เอกสารอ้างอิง

1. Kittrell, J.A. and Eldridge, J.W., "Novel Catalyst Preparation Method for NO_x Control ", Environmental Progress. Vol.4, No.2, 1985, 78-84.
2. Mason, H.B., "Survey of Control Tecniques for Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources ", AIChE Symposium Series. Vol.75, No.188, 1979, 1-13.
3. Parker.A, Industrial Air Pollution Handbook , McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, England, 1978, 500-504.
4. Yamaguchi.M et.al., "Remove NO_x from HNO_3 Tail Gas", Hydrocarbon Processing, August, 1976, 101-106.
5. Maxwell, J.F., "Air Pollution I, Bangkok Toxic ", Bussiness in Thailand, April, 1972, 34-38.
6. Hall, H.J. and Bartok.W, "NO_x Control from Stationary Sources ", Environmental Science & Technology, Vol.5, No.4, April, 1971, 320-326.
7. Hightower, J.W., "Catalyst for Automobile Emission Control", Preparation of Catalyst, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976, 615-635
8. Srivastava, R.K. and Mulholland, J.A., "Low NO_x , High Efficiency Multistaged Burner : Gaseous Fuel Results", Environmental Progress. Vol. 7, No. 1, 1988, 63-70.
9. Reed, R.M. and Harvin, R.L., " Nitric Acid Plant Fume Abater", Chemical Engineering Progress. Vol.68, No.4, 1972, 78-79.
10. Wark.K and Warner, C.F., Air Pollution : Its Origin and Control , Harper & Row, Publishers, Inc., New York, 1976, 357-393.
11. Wood, S.C., "Select the Right NO_x Control Technology", Chemical Engineering Progress, Vol.90, No.1, January, 1994, 31-49.
12. Newman, D.J. et.al., "Elimination of Nitrogen Oxides from Gas Streams", U.S. Patent 3,467,492.
13. Mahaligam.R et.al., "Catalysts Development and Evaluation in the Control of High-Temperature NO_x Emissions", AIChE J., Vol.77, No.211, 1981, 9-26.

14. Bretschneider.B and Kurfurst.J, Air Pollution Control Technology, Elsevier Science Publishing Company, Inc., New York, 1987, 267-269.

15. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง "Industrial Catalysts Technology", จัดโดยศูนย์วิจัยปิโตรเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 5-6 สิงหาคม 2534.

16. Mcketta, J.J., Encyclopedia of Chemical Processing and Design, Marcel Dekker, Inc., New York, 1978, Vol.6 (Ca-Cat), 420-487.

17. Mark, H.F. et al., Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley & Sons, New York, USA, 1978, Vol.4, 534-540.

18. Bond, G.C., Heterogeneous Catalysis : Principles and Applications, Charendon Press Oxford, Great Britain, USA, 2nd ed., 1980.

19. วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์, คะตะไลซิสแบบเฮทเทอโรจีเนียส หลักทฤษฎีและการประยุกต์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ตุลาคม 2534, 8.

20. Satterfield, C.N., Heterogeneous Catalysis in Practice, McGraw-Hill, USA, 1980.

21. Trim, D.L., Design of Industrial Catalyst, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1980, 91-99, 155.

22. Mukhlyonov, I.P., Catalyst Technology, Mir Publishers, Moscow, USSR, 1976, 69.

23. Wolfe, Catalyst Handbook, Wolfe Scientific Books, London, Great Britain, 1970, 38-43.

24. Fogler, H.S., Elements of Chemical Reaction Engineering, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, 1986, 203-211, 237.

25. Levenspiel. O, Chemical Reaction Engineering, John Willey & Sons, USA, 1972,. 2 nd ed., 27, 107-111, 460-562.

26. Boudart.M, Kinetics of Chemicsl Processes, Prentice-Hall, New Jersey, USA, 1968, 10-16.

27. Hougen, O.A. and Watson K.M., Chemical Process Principles : Part III Kinetics and Catalysis, John Willey & Sons, USA, 1962, 942-958.

28. Hill, C.G., Jr., An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design, John Willey & Sons, USA, 1977, 24-27, 40-44, 178-181.

29. Hashimoto.K, Reaction Kinetics and Reactor Design of Gas Solid Reactions. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 1987, 7-17.

30. Kowalczyk, L.S., "Selectivity-II", AIChE J. : Modular Instruction Series : Series E. Kinetics. Vol.4. Reactor Stability. Sensitivity and Mixing Effect, 13-21.

31. Morita.N and Teshima.H, "Evaluation of Rate Data-II Differential Reactor and its Alternative", AIChE J. : Modular Instruction Series : Series E. Kinetics. Vol.2. Reactor and Rate Data. 59-63.

32. Fulton, J.W., "Building the Mathematical Model of the Catalyst and Reactor", Chemical Engineering, February, Vol.17, 118-124, 1986.

33. Rose, L.M., Chemical Reactor Design in Practice. Elsevier Scientific Publishing Company, USA, 1981, 251-252.

34. Butt, J.B., Reaction Kinetics and Reactor Design. Prentice-Hall, Inc., 1980, 355-391

35. Inomata.M et.al., "Mechanism of the Reaction of NO and NH_3 on Vanadium Oxide Catalyst in the Present of Oxygen under the Dilute Gas Condition", J.Catalysis. Vol.62, 1980, 140-148.

36. Odenbrand, C.U. et.al., "Catalytic Reduction of Nitrogen Oxides ; 1. The Reduction of NO", Applied Catalysis. Vol.18, 1985, 335-352.

37. Nekrich, E.M. et.al., "Reduction of Nitric Oxide by Methane on Metal Oxides in Presence of Sulfur Dioxide", Tezisy Dokl.-Ukr. Resp. Konf. Fiz. Khim., 12th ed., 1977, 145-146.

38. Jones, J.H. et.al., "Selective Catalytic Reaction of Hydrogen with Nitric Oxide in the Presence of Oxygen", Environmental Science & Technology, Vol.5, No.9, September, 1971, 790-798.

39. Baurele, G.L. and Nobe.K, "Nitric Oxide Reduction with Hydrogen on Mixed Metal Oxide Catalysts", Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Develop., Vol.13, No.3, 1974, 185-193.

40. Masami.T et.al., "Catalytic Reduction of Nitric Oxide with Hydrogen or Methane", Waseda Daigaku Rikogaku Kenkyusho. Vol.68, 1975, 25-31.

41. Willett, J.E., Gas Chromatography. John Wiley & Sons, 1991.

42. Fluka Chemika-BioChemika Handbook, Switzerland, 1990/1991, 63.

43. Shelef.M and Gandhi, H.S., "Ammonia Formation in Catalytic Reduction of Nitric Oxide by Molecular Hydrogen", Ind. Eng. Chem..Prod. Res. Develop., Vol.11, No.1, 1972, 2-11.

44. Newman, D.J. et.al., "Apparatus for Exothermic Catalytic Reactions", U.S. Patent 4,617,175.

45. Hinshelwood, C.N., Kinetics of Chemical Change, Clarendon Press, Oxford, 1940, 140-145.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณหาปริมาณคอปเปอร์ไนเตรทสำหรับการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

สารเคมี คอปเปอร์ไนเตรท [$Cu(NO_3)_2.3H_2O$] น้ำหนักโมเลกุล 241.60

คอปเปอร์ [Cu] น้ำหนักโมเลกุล 63.54

ตัวรองรับ อลูมินา [Al_2O_3]

ปริมาตรภายในรูพรุน 0.58 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณคอปเปอร์ 10% บนตัวรองรับอลูมินา น้ำหนัก 1 กรัม

น้ำหนักตัวรองรับ = 1.0000 กรัม

ปริมาตรรูพรุน = 0.58x1.0000

= 0.5800 ลูกบาศก์เซนติเมตร

∴ ชั่ง $Cu(NO_3)_2.3H_2O$ = $1.000 \times \frac{10}{90} \times \frac{241.60}{63.54}$

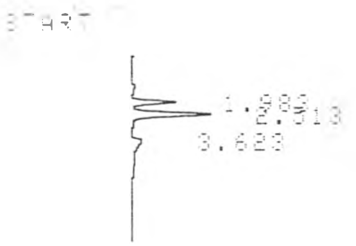
= 0.4225 กรัม

ละลายน้ำปริมาตร = 0.58 ลูกบาศก์เซนติเมตร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รูปแสดงตัวอย่างโครมาโตแกรมที่ได้จากเครื่องบันทึกผล



CHROMATOPAC C-R6A FILE 1
SAMPLE NO 3 METHOD 41
REPORT NO 3119

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	1.983	899			29.2765	O_2
2	2.513	1923	V		62.3487	N_2
3	3.623	238			7.7748	NO
	TOTAL	3060			100	

ภาคผนวก ค

แสดงสมบัติของก๊าซต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

สารประกอบ	น้ำหนักโมเลกุล	ความหนาแน่น(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
NO	30.01	1.34×10^{-3}
H_2	2.02	8.98×10^{-5}
N_2	28.02	1.25×10^{-3}
H_2O	18.02	5.86×10^{-4}
He	4.00	1.77×10^{4}

แสดงสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา 10% CuO/Al_2O_3 ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติต่างๆ	10% CuO/Al_2O_3
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดตัวเร่งปฏิกิริยา (μm)	173
ค่าความพรุน (Porosity)	0.59
ความหนาแน่น (Bulk Density ; g/cm^3)	1.02
ความนำความร้อน (Thermal Conductivity ; W/m.K)	0.29
พื้นที่ผิว (Surface Area ; m^2/g)	172

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การคำนวณเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา

<u>การคำนวณสมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชนิดต่างๆ กับพื้นที่พีค โดยใช้วิธี Linear Regression</u>

Linear Regression เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและพื้นที่พีคของก๊าซ ซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$V_i = A + BP_i \qquad \text{---------------------(1)}$$

โดย V_i = ปริมาตรของก๊าซ i

A = ค่าคงที่ (จุดตัดแกน y)

B = Regression Coeffient (ความชัน)

P_i = พื้นที่พีคของก๊าซ i

จาก Linear Regression สามารถหาค่าต่างๆ ได้ ดังนี้

ผลการคำนวณด้วยวิธีการ Linear Regression		
ชนิดของก๊าซ	**NO**	**N_2**
ค่าความชัน	6.2381×10^{-7}	5.2864×10^{-7}
ค่าความคลาดเคลื่อนของความชัน	6.0894×10^{-10}	9.5517×10^{-10}
จุดตัดแกนตั้ง	0	0
ค่าความคลาดเคลื่อนจุดตัดแกนตั้ง	8.7027×10^{-6}	1.3651×10^{-5}
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.99997	0.99997
จำนวนข้อมูล	10	10

<u>การคำนวณสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนออกไซด์ (Conversion of NO)</u>

ตัวอย่างที่ 2.1

สภาวะการทดลอง

1. อัตราการไหลของ NO/He ที่อุณหภูมิห้อง เท่ากับ 30.1526 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
2. อัตราการไหลของ H_2/He ที่อุณหภูมิห้อง เท่ากับ 7.3001 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
3. อัตราการไหลรวม ที่อุณหภูมิห้อง เท่ากับ 150.0891 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
4. อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา เท่ากับ 200 องศาเซลเซียส
5. อุณหภูมิของ Effluent gas เท่ากับ 34 องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิห้อง
6. สัดส่วนจำนวนโมลของ NO และ H_2 เท่ากับ 1 : 1
7. ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ 10% CuO/Al_2O_3 ขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1015 กรัม

อัตราการไหลของ NO ในสายป้อน

$$= 5000\times10^{-6}\ cm^3_{NO} / cm^3_{NO/He} \times 30.1526\ cm^3_{NO/He} / min$$

$$= 0.1508\ cm^3_{NO} / min$$

จากการทดลอง ได้ผลการทดลองเป็นพื้นที่พีคของ NO = 435 unit

จากผลการคำนวณโดยวิธี Linear Regression จะได้

$$V_{NO} = 6.2381\times10^{-7} \times \text{พื้นที่พีคของ NO}$$

$$= 6.2381\times10^{-7} \times 435$$

$$= 2.7136\times10^{-4}\ cm^3_{NO} / cm^3_{Eff.gas}$$

∴ อัตราการไหลของ NO ในอัตราการไหลของ Effluent gas

$$= 2.7136\times10^{-4}\ cm^3_{NO} / cm^3_{Eff.gas} \times 150.0891\ cm^3 / min$$

$$= 0.0407\ cm^3 / min$$

ดังนั้น สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของ NO

$$= \frac{(0.1508-0.0407)}{0.1508}$$

$$= 0.7301$$

ตัวอย่างที่ 2.2

สภาวะการทดลอง

1. สภาวะการทดลองเหมือนตัวอย่างที่ 2.1

อัตราการไหลของ NO ในสายป้อน

$= 5000\times10^{-6}\ cm^3_{NO} / cm^3_{NO/He}\ \times\ 30.1526\ cm^3_{NO/He} / min$

$= 0.1508\ cm^3_{NO} / min$

ความเข้มข้นของ NO ในสายป้อน

$= 0.1508\ cm^3_{NO} / min\ /\ 150.0891\ cm^3_{Feed} / min$

$= 1.0045\times10^{-3}\ cm^3_{NO} / cm^3_{Feed}$

$= 1004.49\ ppm$

จากการทดลอง ได้ผลการทดลองเป็นพื้นที่พีคของ NO = 435 unit ซึ่งจากกราฟมาตรฐานของ NO จะได้ความเข้มข้นของ NO = 267 ppm

จาก สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของ NO = $\dfrac{[NO]_{in} - [NO]_{out}}{[NO]_{in}}$

$\therefore$ สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของ NO = $\dfrac{(1004.49-267)}{1004.49}$

$= 0.7342$

<u>การคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ STP</u>

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = \frac{\text{อัตราการไหลของ NO x สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของ NO}}{\text{น้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา}}$$

= Mole NO Reacted / hr g cat.

ตัวอย่างที่ 3

สภาวะของการทดลอง

1. สภาวะของการทดลองเหมือนตัวอย่างที่ 2.1

(STP = 0 องศาเซลเซียส , 1 บรรยากาศ)

NO/He 10^6 cm^3/min มี NO 5000 cm^3/min

NO/He 30.1526 cm^3/min มี NO $\frac{30.1526x5000}{10^6}$ cm^3/min

$= 0.1508$ cm^3/min

$= 9.0458x10^{-3}$ lit/hr

$\therefore$ อัตราการไหลของ NO ที่ 0 องศาเซลเซียล $= \frac{9.0458x10^{-3}x(273+0)}{(273+34)}$

$= 8.0439x10^{-3}$ lit/hr

จาก

$$\text{จำนวนโมล (n)} = \frac{PV}{RT}$$

$$\therefore \quad \text{จำนวนโมล (n) ของ NO} = \frac{(1)(8.0439x10^{-3})}{(0.082)(273+0)}$$

$= 3.5933x10^{-4}$ mole/hr.

ดังนั้น

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = \frac{3.5933x10^{-4} \text{ x } 0.7342}{0.1015}$$

$= 2.5992x10^{-3}$

<u>ความเร็วเชิงสเปส (Space Velocity : ชั่วโมง$^{-1}$)</u>

$$\text{ความเร็วเชิงสเปส} = \frac{\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซผ่านเตาปฏิกรณ์เคมี}}{\text{ปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยา}}$$

ตัวอย่างที่ 4

สภาวะการทดลอง

1. สภาวะของการทดลองเหมือนตัวอย่างที่ 2.1

อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส $= \frac{150.0891\text{x}(273+200)}{(273+34)}$

$= 231.2448\ \text{cm}^3/\text{min}$

$= 13874.6862\ \text{cm}^3/\text{hr}$

ปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์เคมี (V_C)

$$= \pi(D_R^2)\ h / 4$$

เมื่อ D_R = เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเตาปฏิกรณ์เคมี = 1.2 cm

h = ความสูงของตัวเร่งปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์เคมี = 0.13 cm

ดังนั้น

ปริมาตรของตัวเร่งปฏิกิริยาในเตาปฏิกรณ์เคมี (V_C) $= \pi\ (1.2)^2\ (0.13) / 4$

$= 0.1470\ \text{cm}^3$

$\therefore$ ความเร็วเชิงสเปส $= \frac{13874.6862}{0.1470}$

= 94385.6203 ชั่วโมง$^{-1}$

<u>เวลาที่สัมผัสตัวเร่งปฏิกิริยา (Contact Time : วินาที)</u>

$$\text{เวลาที่สัมผัสตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{\text{ปริมาตรของเตาปฏิกรณ์เคมี}}{\text{อัตราการไหลเชิงปริมาตรของก๊าซผ่านตัวเร่งปฏิกิริยา}}$$

ตัวอย่างที่ 5

สภาวะการทดลอง

1. สภาวะของการทดลองเหมือนตัวอย่างที่ 2.1

อัตราการไหลของก๊าซที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส = 231.2448 cm^3/min

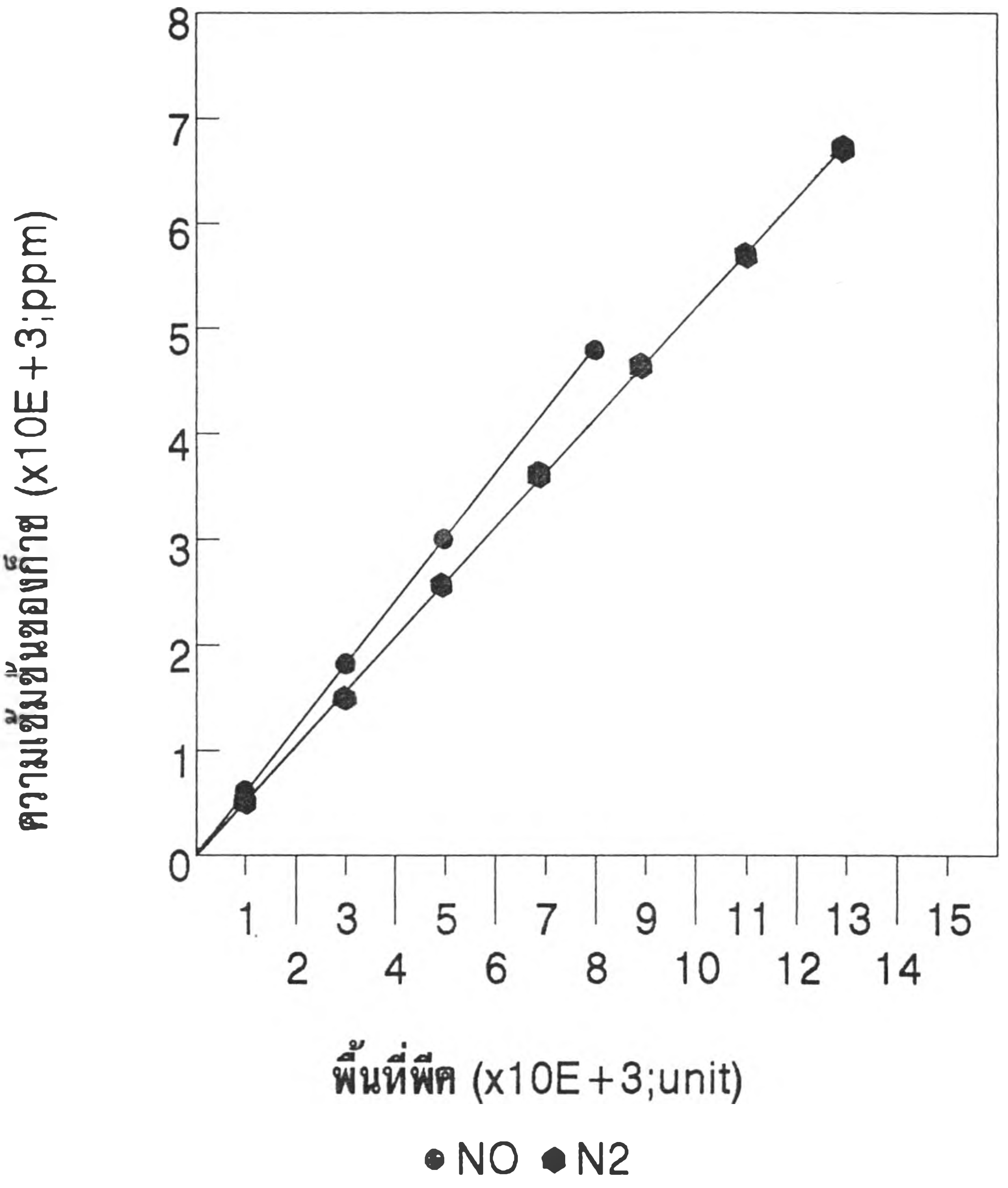
ปริมาตรของเตาปฏิกรณ์เคมี = 0.1470 cm^3

$$\therefore \text{เวลาที่สัมผัสตัวเร่งปฏิกิริยา} = \frac{0.1470}{231.2448}$$

$= 6.3569 \times 10^{-4}$ นาที

$= 0.0381$ วินาที

ภาคผนวก จ



กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเข้มข้นของก๊าซชนิดต่างๆกับค่าพื้นที่ใต้กราฟจากเครื่องบันทึกผล

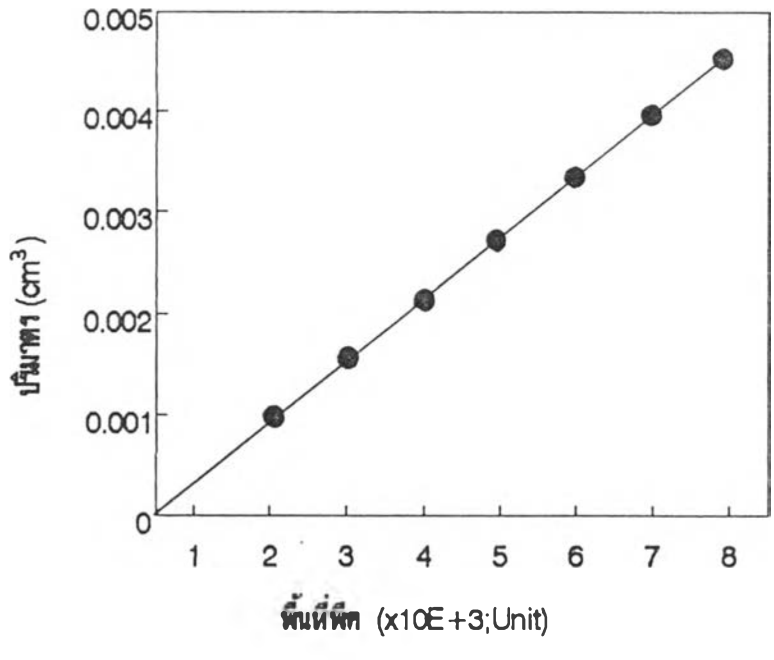
ภาคผนวก ฉ

LINEAR REGRESSION [illegible] NO

พื้นที่พีค (Unit)	ปริมาตรก๊าซ NO (cm^3)
0	0
0.5	0.00031
1	0.00067
2	0.00115
3	0.00172
4	0.00229
5	0.00286
6	0.00343
7	0.004
8	0.00457

Regression Output:

Constant	0
Std Err of Y Est	8.7027E-06
R Squared	9.9997E-01
No. of Observations	10
Degrees of Freedom	9
X Coefficient(s)	6.2381E-07
Std Err of Coef.	6.0894E-10



ตัวอย่างผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี Linear Regression

จากโปรแกรม Lotus 1-2-3 (Release 2.3 ; ไทย)

ภาคผนวก ช

การคำนวณหาสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

จากปฏิกิริยา

$$2NO + 2H_2 \text{ -----------------> } N_2 + 2H_2O$$

จากสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา

$$-r_A = k\, C_{NO}^{\alpha}\, C_{H2}^{\beta}$$

$$\ln(-r_A) = \ln k + \alpha \ln(C_{NO}) + \beta \ln(C_{H2}) \qquad \text{------------(1)}$$

การหาเลขยกกำลังความเข้มข้นไนโตรเจนออกไซด์ (α)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไฮโดรเจนมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ (Excess Hydrogen)

ดังนั้น จาก (1) จะได้

$$\ln k + \beta \ln(C_{H2}) = \text{ค่าคงที่}$$

$$\ln(-r_A) = \alpha \ln(C_{NO}) + \text{ค่าคงที่}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์เป็นสมการเส้นตรง ที่มีความชันเป็นเลขยกกำลังความเข้มข้นไนโตรเจนออกไซด์ (α)

การหาเลขยกกำลังความเข้มข้นไฮโดรเจน (β)

จากกรณี Excess Hydrogen จะได้สมการอัตราการเกิดปฏิกิริยา เป็น

$$-r_A = k' C_{NO}^{\alpha}$$

โดย $k' = k\, C_{H2}^{\beta}$

ดังนั้น $\ln k' = \ln k + \beta \ln(C_{H2}) = P$

นั่นคือ $P = \ln(-r_A) - \alpha \ln(C_{NO})$

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร P กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเป็นสมการเส้นตรงที่มีค่าความชันเป็นเลขยกกำลังความเข้มข้นไฮโดรเจน (β)

การหาแฟคเตอร์แห่งความถี่ (A) และพลังงานกระตุ้น (E) จากสมการอาร์เรเนียส

จากสมการอาร์เรเนียส

$$k = A e^{-E/RT}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E}{RT}$$

จาก (1) จะได้

$$\ln k = \ln(-r_A) - \alpha \ln(C_{NO}) - \beta \ln(C_{H2}) = Q$$

$$= \frac{-E}{RT} + \ln A$$

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Q กับค่าส่วนกลับของอุณหภูมิเป็นสมการเส้นตรงที่มีค่าความชันเป็นผลลบของสัดส่วนของพลังงานกระตุ้นกับค่าคงที่ของก๊าซ และมีจุดตัดแกนตั้งเป็นค่าลอการิทึมของแฟคเตอร์แห่งความถี่ในสมการอาร์เรเนียส

ภาคผนวก ซ

ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนต่างๆ

ตารางที่ ซ.1 แสดงผลการทดลองเพื่อหาสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนออกไซด์ ในกรณีที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา CuO/Al_2O_3 ที่มีปริมาณของ CuO ค่าต่างๆ กัน

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1 กรัม

อัตราส่วนของสารตั้งต้น $NO : H_2 = 1 : 1$ โดยโมล

อุณหภูมิ (^{o}ซ)	พื้นที่พีค (unit)					
	8% CuO/Al_2O_3		10% CuO/Al_2O_3		12% CuO/Al_2O_3	
	NO	N_2	NO	N_2	NO	N_2
200	692	1305	645	1328	659	1318
250	491	1425	405	1463	449	1468
300	362	1513	268	1554	433	1465
350	248	1551	178	1602	236	1574
400	207	1594	-	1651	194	1605

ตารางที่ ซ.2 แสดงผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของสารตั้งต้นในสภาวะที่ขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของของไหลกับผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.1003 กรัม และก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1003 กรัม
ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส
อัตราส่วนของสารตั้งต้น NO : H_2 = 1 : 1 โดยโมล

อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 34 ^{0}C (cm^3/min)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
61.05	138	2240
95.51	160	1595
128.11	151	995
159.89	256	805
192.50	342	807
223.18	580	880
255.52	717	790
290.88	1033	890
325.16	1253	892
358.77	1627	940

ตารางที่ ซ.3 แสดงผลการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลของสารตั้งต้นในสภาวะที่ขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างบรรยากาศของของไหลกับผิวด้านนอกของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาหนัก 0.2027 กรัม และก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.2027 กรัม
ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส
อัตราส่วนของสารตั้งต้น NO : H_2 = 1 : 1 โดยโมล

อัตราการไหลของสารตั้งต้นที่อุณหภูมิ 34 ^{0}C (cm^3/min)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
182.76	138	1460
211.19	137	1222
242.60	158	1050
274.30	255	1195
320.23	415	1505
365.71	606	1595
425.64	766	1400
465.03	909	1390
525.92	1103	1305
585.16	1217	1295

ตารางที่ ช.4 แสดงผลการทดลองเพื่อหาขนาดของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสภาวะขจัดผลของความต้านทานการถ่ายเทมวลและความร้อนจากสารตั้งต้นและผลิตผลผ่านรูพรุนตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดต่างๆ และก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส น้ำหนัก 0.1 กรัม
อัตราส่วนของสารตั้งต้น NO : H_2 = 1 : 1 โดยโมล

ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่พีค (unit)	
(mesh)	NO	N_2
80/100	261	1564
60/80	292	1548
40/60	286	1542
30/40	1011	1150
20/30	1581	812

ตารางที่ ซ.5 แสดงผลการทดลองการเกิดปฏิกิริยาโดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

อัตราส่วนของสารตั้งต้น NO : H_2 = 1 : 1 โดยโมล อัตราการไหลของสารตั้งต้น = 150.5128 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที		
อุณหภูมิ	พื้นที่พีค (unit)	
(^{0}ซ)	NO	N_2
200	2657	150
250	2407	297
300	2073	496
350	1762	702
400	1686	721

ตารางที่ ซ.6 แสดงผลการทดลองเพื่อหาอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลอง โดยเก็บก๊าซตัวอย่างในเวลาต่างๆโดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1017 กรัม
ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส
อัตราส่วนของสารตั้งต้น NO : H_2 = 1 : 1 โดยโมล
อัตราการไหลของสารตั้งต้น = 150.1937 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

เวลาที่เกิดปฏิกิริยา	พื้นที่พีค (unit)	
(hr:min)	NO	N_2
0:00	1364	908
0:05	226	1597
0:20	283	1551
0:40	286	1540
1:00	284	1546
1:20	309	1536
1:40	307	1538
2:00	303	1540
2:20	316	1535
2:40	302	1541
3:00	300	1542
3:20	296	1545
3:40	332	1530
4:00	317	1532
4:20	304	1541
4:40	295	1546
5:00	328	1531
5:20	345	1528
5:40	345	1525
6:00	342	1527
6:20	345	1523
6:40	346	1523
7:00	340	1524

ตารางที่ ซ.7 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1009 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0316	378	78
0.0502	522	171
0.0697	558	330
0.0884	581	509
0.1138	573	735

ตารางที่ ซ.8 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส		น้ำหนัก 0.1009 กรัม
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0320	358	93
0.0527	480	220
0.0708	508	374
0.0889	496	550
0.1152	402	851

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ซ.9 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส		น้ำหนัก 0.1009 กรัม
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0319	332	106
0.0527	437	246
0.0693	380	429
0.0886	355	630
0.1155	256	951

ตารางที่ ช.10 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1009 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0321	308	125
0.0528	369	282
0.0705	303	498
0.0888	258	749
0.1153	161	1002

ตารางที่ ซ.11 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1009 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0318	272	141
0.0525	310	317
0.0694	268	497
0.0893	201	720
0.1152	138	1009

ตารางที่ ช.12 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1015 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.1004	428	698
0.1181	473	847
0.1352	536	961
0.1603	588	1165
0.1801	623	1338

ตารางที่ ซ.13 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1015 กรัม
ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.1013	292	798
0.1178	320	929
0.1338	325	1067
0.1600	432	1268
0.1804	418	1470

ตารางที่ ซ.14 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1015 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.1004	209	834
0.1169	232	971
0.1348	238	1083
0.1601	287	1347
0.1801	331	1550

ตารางที่ ซ.15 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1015 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0990	126	870
0.1179	138	1026
0.1345	166	1181
0.1602	135	1429
0.1805	162	1611

ตารางที่ ซ.16 แสดงผลการทดลองการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดเทียบกับความเข้มข้นของไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส โดยใช้ก๊าซตัวอย่างวิเคราะห์ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ตัวเร่งปฏิกิริยาขนาด 60/80 เมช น้ำหนัก 0.1015 กรัม ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส		
สัดส่วนของ NO ในสารตั้งต้น (%)	พื้นที่พีค (unit)	
	NO	N_2
0.0991	-	870
0.1177	-	1061
0.1331	125	1193
0.1603	-	1451
0.1804	122	1640

5179

ประวัติผู้เขียน

นายอรุพงศ์ วุ่นสะยุคะ เกิดวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2512 จังหวัดปัตตานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ในสาขาวิศวกรรมเคมี ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2534

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย