เอกสารอ้างอิง

1. Engelhard Catalysts, pp.41-43., Engelhard Minerals & Chemical corporation, 1977.

2. Harshaw Catalysts, pp. 26., Harshaw Chemical Company, 1980.

3. Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering, 2nd ed.,pp.460-522., Wiley Eastern Limited, New Delhi, 1984

4. Gentry, S.J., Firth, J.G. and Jones, A, "Catalytic Oxidation of Hydroden over Platinum" J.Chem.Soc.Faraday Trans I, 70(3),(1974), 600-4.

5. Larson, A.T. and Smith, F.E. "The Synthesis of Water over Nickel and Copper Catalysts" J. of The American Chemical Society, 47,(1925), 347-355.

6. Benton, A.F. and Emmett,P.H."The Catalytic Synthesis of Water Vapor in Contact With Mettallic Nickel" J. of The American Chemical Society, 48,(1926), 633-640.

7. Mamedov, E'.A., Popovskii, V.V.and Borejkov, G.K. "Mechanism of Catalytic Oxidation of Hydrogen on Ferric Oxide" Kinetics and Catalysis, 10(4),(1969), 697-704.

8. Mamedov,E'.A., Popovskii, V.V.and Borejkov, G.K. "Mechanism of Catalytic Oxidation of Hydrogen on Oxides of Period IV Transition Metals" Kinetics and Catalysis, 11(4), (1970), 807-814.

9. Mamedov, E'.A., Popovskii, V.V. and Borejkov, G.K. "Mechanism of Catalytic Oxidation of Hydroden on Oxides of Period IV Transition Metals" Kinetics and Catalysis, 11(4), (1970), 799-806.

10. Othmer, K. Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd ed., 17, Interscience Publishers, New York, 1969.

11. Satterfield, C.N. Heterogeneous Catalysis in Practice, McGraw-Hill, New York, 1980.

12. Smith, J.M.Chemical Engineering Kinetics, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1970.

13. Carbery, J.J.Chemical and Catalytic Reaction Engineering, McGraw-Hill, New York, 1976.

14. Thomas, J.M. and Thomas, W.J. Introduction to the Principle of Heterogeneous Catalysis, Academic press, New York, 1967.

15. Clark, A. The Theory of Adsorption and Catalysis, pp.3-237.,Academic Press, New York, 1970.

16. Aharoni,C.and Tompkins, F.C.,Adv. Catal., 21(1), 1970.

17. Yang, K.H. and Hougen, O.A., "Determination of Catalytic Mechanism" Chem,Eng. Prog., 46,(1950), 146-156.

18. Hougen,O.A.and Watson, K.M.Kinetics and Catalysis in Chemical Process Principles, part III, Johns Wiley & Sons, Inc.,New York, 1947.

19. Szabo',Z.G.and Kallo',D.(eds.) Contact Catalysis, Elsevier, Amsterdam, 1976 (2vols.)

20. McCabe,W.L.and Smith,J.C.Units Operations of Chemical Engineering, 3rd ed., pp.149., McGraw-Hill,New York, 1976.

21. MeNair, H.M.and Bonelli, E.J.Basic Gas Chromatography, Varian Aerograph, california, 1968.

22. Verdian,A. Gas Analysis Instrumentation, Macmillian, London, 1973.

23. Maymo, J.A.and Smith, J.M., "Catalytic Oxidation of Hydrogen-Intrapellet Heat and Mass transfer" A.I.Ch.E.J., 12(5), (1964), 845-854.

24. Anderson, J.R. Structure of Metallic Catalysts, Academic press, New York, 1975.

25. Hill, C.G., Jr.Chemical Engineering Kinetics & Reactor Design, John Wileg & Sons, Inc., New York, 1977.

26. Wulton, J.W. "Building The Mathematical Model of The Catalyst and Reactor" Chem.Eng.,Feb 17,(1986), 118-124.

27. Satterfield, C.N.Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis, M.I.T. press, Cambridge, 1970.

28. Mears, D.E. "Tests for Transport Limitations in Experimental Catalytic Reactors" Ind.Eng.Chem. Process.Des. Developw., 10(4), (1971), 541-547.

29. Perry, R.H.,Green, D.W.and Maloney,J.O.(eds.) Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th ed.,Sec.3,pp.1-289., McGraw-Hill, New York, 1984.

30. ดวงใจ วีสกุล และคณะ. สถิติธุรกิจ, pp.156-280, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,กรุงเทพฯ, 2526.

31. Walpole, R.E. and Myers, R.H. Proabability and Statistics for Engineers and Scientists, 2nd Ed., pp.238-303, Macmillian, New York, 1978.

32. Draper, N.and Smith, H.Applied Regression Analysis, John Wiley. & Sons, Inc., New York, 1966.

33. Haynes, H.W.,Jr. "Heat and Mass Transfer in Packed Beds-I" AICHEMI Modular Instruction series E Kinetics, 3,(1982), 30-39.

34. Bird, R.B.,Stewart, W.E.and Lightfoot, E.N. Transport Phenomena, pp. 258., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1960.

35. Norton, P.R. "The Hydrogen-Oxygen Reaction on Metal Surfaces" Chem. Phys. Solid. Surf. Heterog. Catal., 4,(1982), 27-72.

36. T.Invi, Y.Miyamoto and Y.Takegami "Low Temperature Oxidation of Hydrogen Enhanced by Spillover on a Nickel-Based Composite Catalyst" Spillover of Adsorbed Species, pp.181-190 Elsevier, Amsterdam, 1983.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานวัดอัตราการไหลของกาซ
สำหรับเครื่องวัดอัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์

รูป ก.1, ก.2, ก.3. แสดงกราฟมาตรฐานวัดอัตราการไหลของกาซออกซิเจน กาซไฮโดรเจน และกาซไนโตรเจน ตามลำดับ เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับความแตกต่างของน้ำที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์ กับอัตราการไหลเชิงปริมาตรวัดโดยเครื่องมือวัดอัตราการไหลกาซแบบฟองสบู่ (bubble flow meter) ซึ่งสภาวะการไหลของกาซที่เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบฟองสบู่ คืออุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง ความดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้น เราสามารถคำนวณค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร ให้อยู่ในรูปอัตราการไหล เชิงโมลได้ ตัวอย่างเช่น

วัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรได้เท่ากับ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร/นาที

อุณหภูมิห้อง 30 °ซ

จากสมการสภาวะกาซอุดมคติ $PV = nRT$

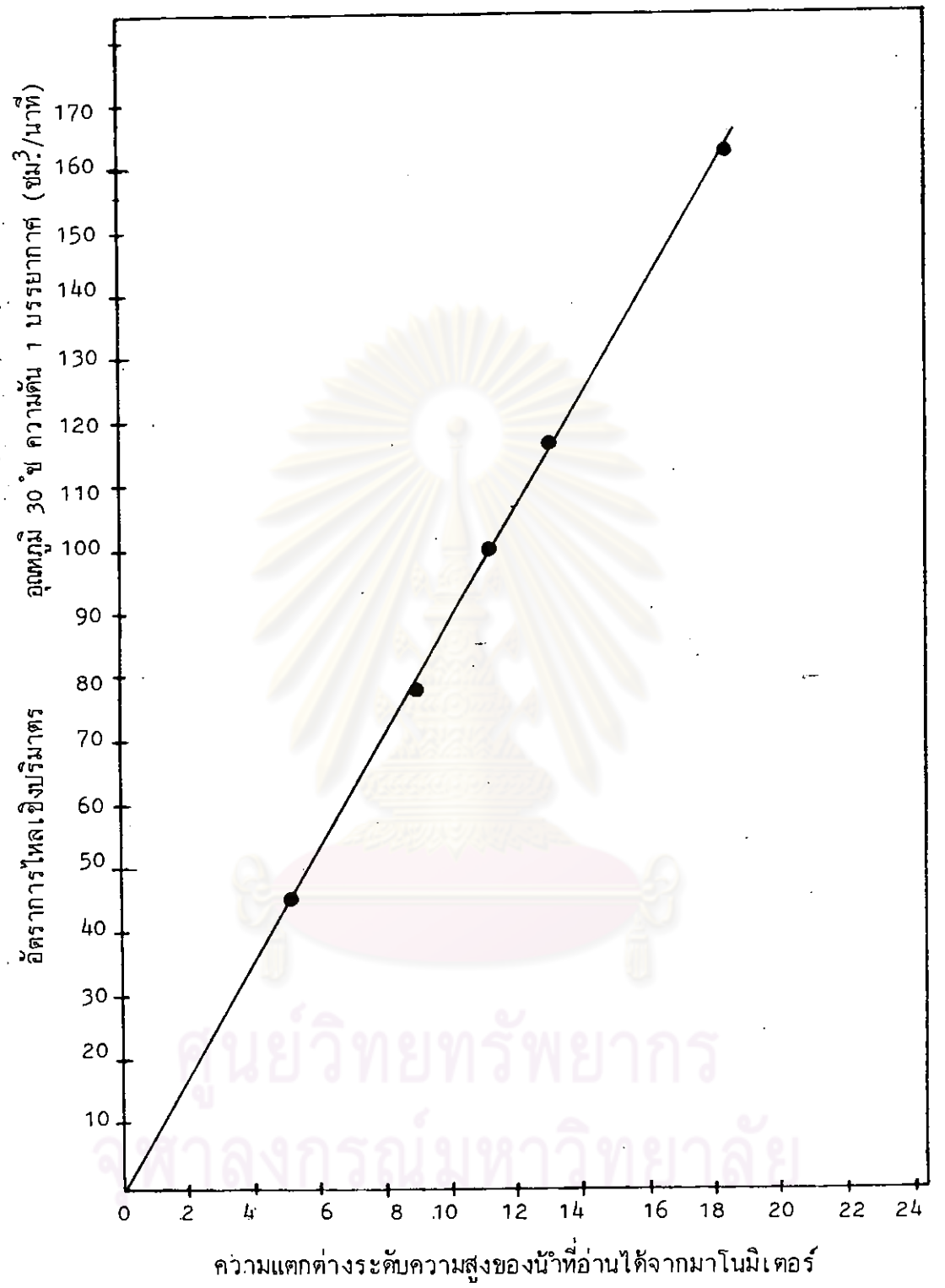
$$n = \frac{PV}{RT}$$

แทนค่า

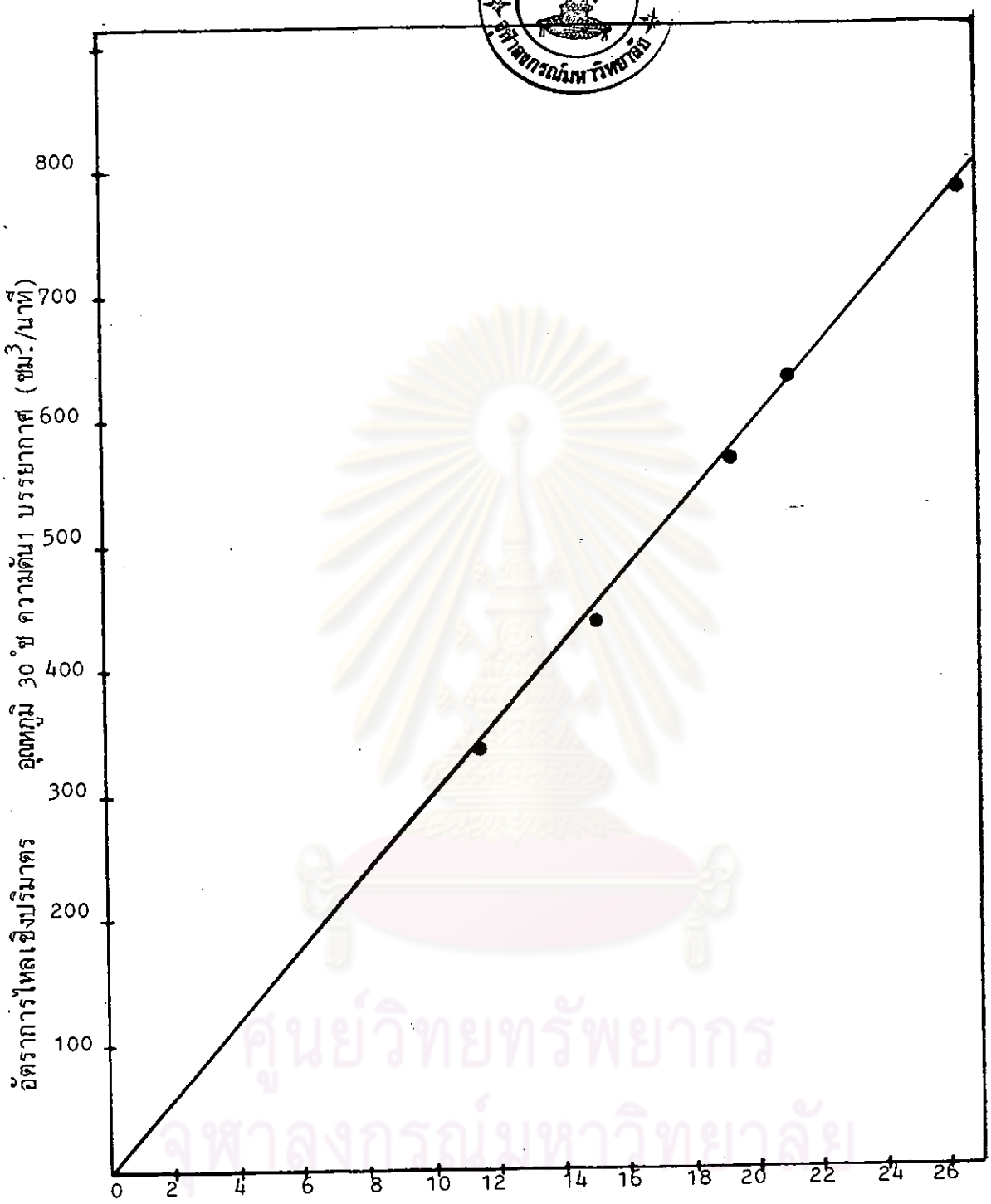
$$n = \frac{(1)\ (10)}{(82.057)(303)} \quad \text{โมล ต่อนาที}$$

$$= 4.02199 \times 10^{-4} \quad "$$

ในการทำการทดลอง เราหาสมการตัวแทนในรูปสมการโพลีโนเมียล แทนความสัมพันธ์เส้นกราฟ ในรูป ก.1, ก.2, ก.3. ก่อนทำการทดลอง ใน1 ชุด การทดลองเราต้องหาสมการตัวแทนนี้ทุก ๆ ครั้ง ขณะทำการทดลองเราเพียงอ่านค่าความแตกต่างของระดับน้ำจากมาโนมิเตอร์ เราก็สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของกาซ จากเครื่องวัดอัตราการไหลของกาซแบบฟองสบู่ได้แล้วคำนวณหาอัตราการไหลของกาซเชิงโมล ตามตัวอย่าง สำหรับโปรแกรมการหาสมการตัวแทนแบบสมการโพลีโนเมียลแสดงไว้ในภาคผนวก ช

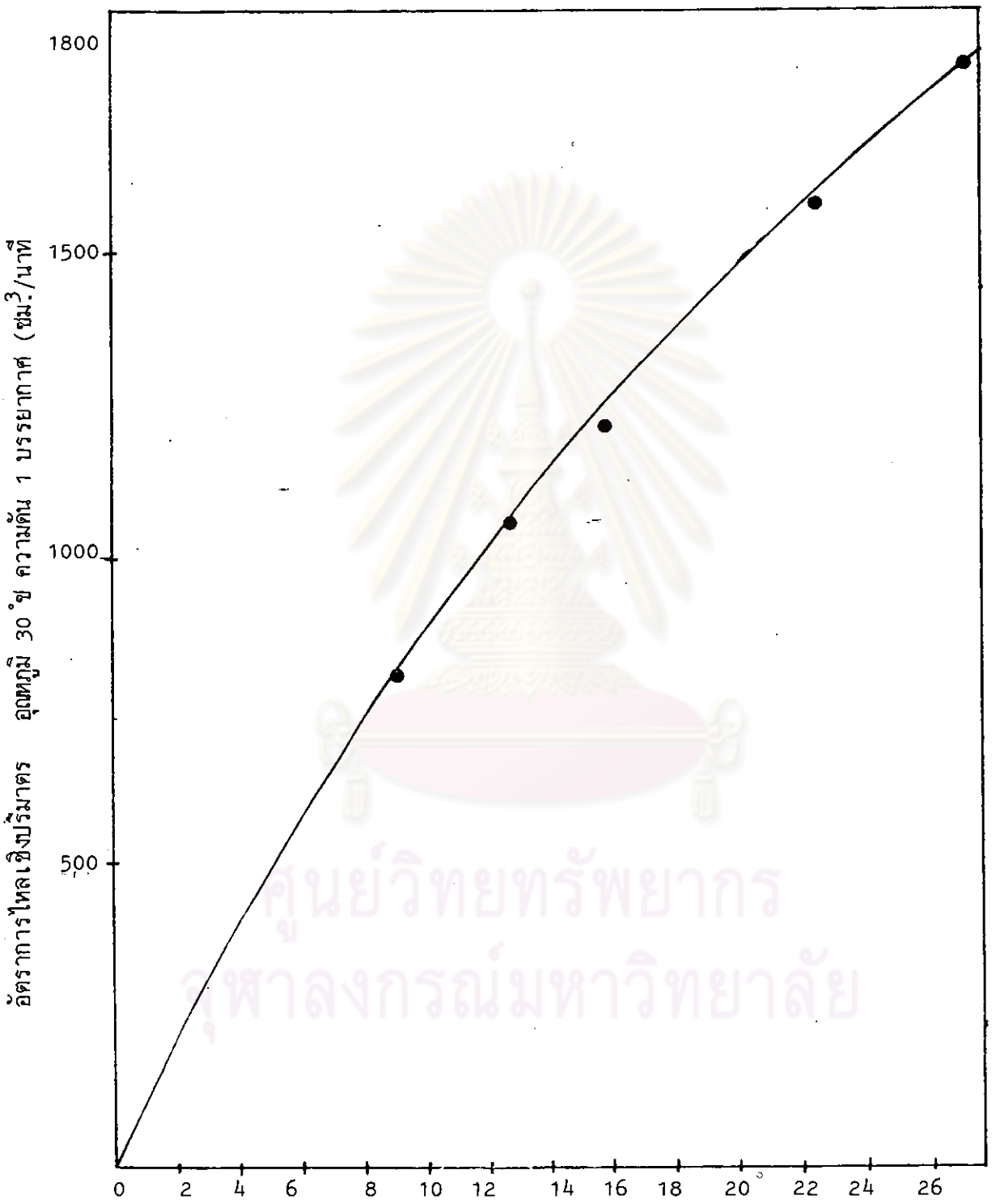


รูป ก.1 กราฟมาตรฐานวัดอัตราการไหลของกาซออกซิเจนด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์



รูป ก.2 กราฟมาตรฐานวัดอัตราการไหลของกาซไฮโดรเจนด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก.3 กราฟมาตรฐานวัดอัตราการไหลของกาซไนโตรเจนด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

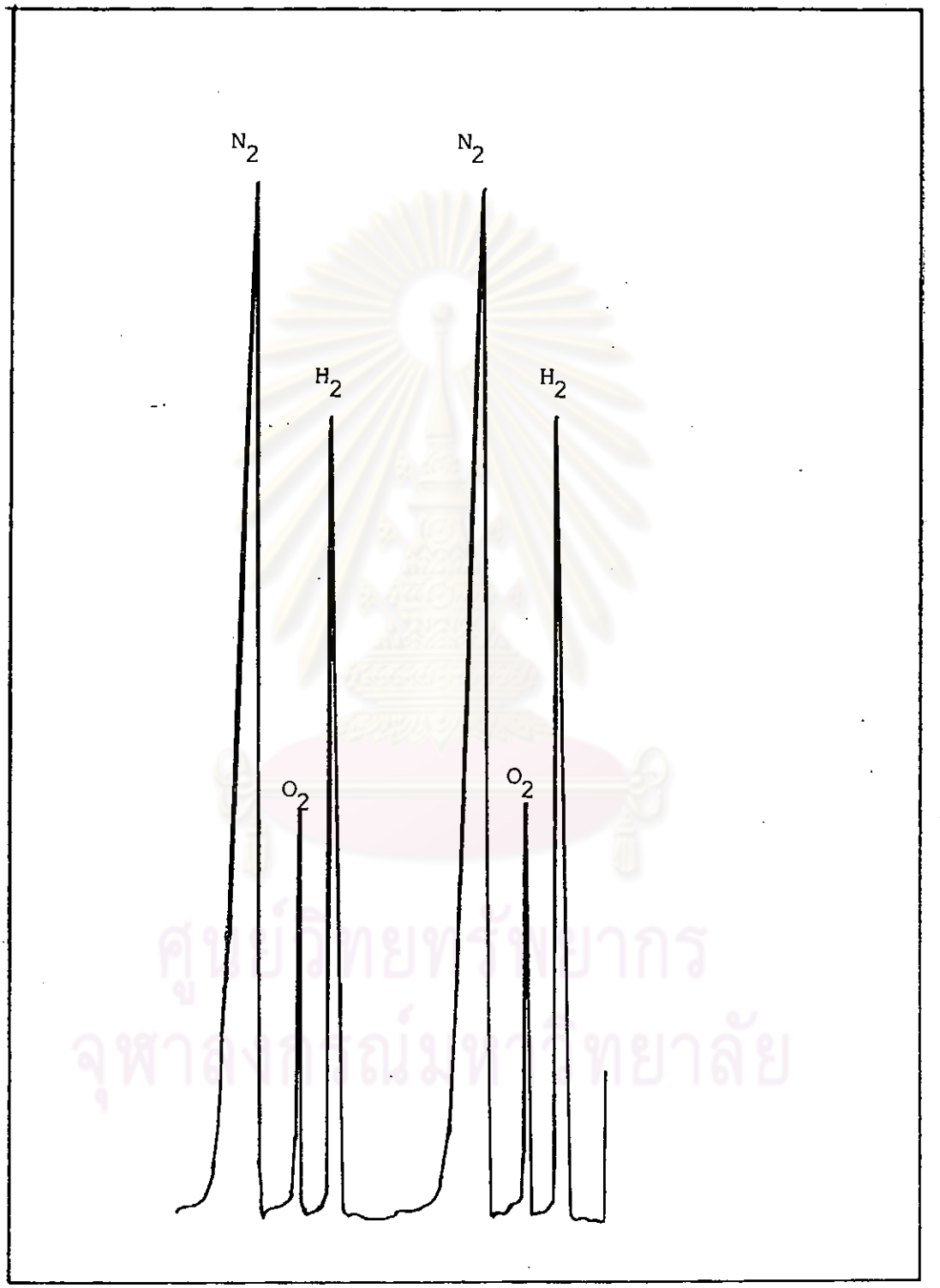
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์หาปริมาณกาซตัวอย่างด้วย เครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี

รูป ข. 1 แสดงโครมาโตแกรมตัวอย่างที่ได้จากเทคนิคการวัดด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวาล์วเก็บตัวอย่าง (sampling valve) ผลการวิเคราะห์สองครั้งให้โครมาโตแกรมเหมือนกัน รูป ข.2, ข.3, ข.4 แสดงกราฟมาตรฐานสำหรับวัดหาปริมาณกาซออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน ตามลำดับ เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาซในหน่วยเปอร์เซนต์โมล กับพื้นที่ภายใต้โครมาโตแกรมยกเว้นกรณี กาซออกซิเจน, เราใช้ความสูงของโครมาโตแกรมแทน เพราะโครมาโตแกรมของกาซออกซิเจน เป็นรูปสามเหลี่ยมที่แคบมาก ๆ กราฟรูปนี้เรากระทำได้โดยการฉีดปริมาณสารที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ผ่านเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี วัดพื้นที่ภายใต้โครมาโตแกรม ก็สามารถสร้างรูปที่ ข.2, ข.3, ข.4 ได้ การหาพื้นที่ภายใต้โครมาโตแกรม ในที่นี้เราใช้สูตรหาพื้นที่รูปสามเหลี่ยมซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความสูงของโครมาโตแกรม กับความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูงโครมาโตแกรม

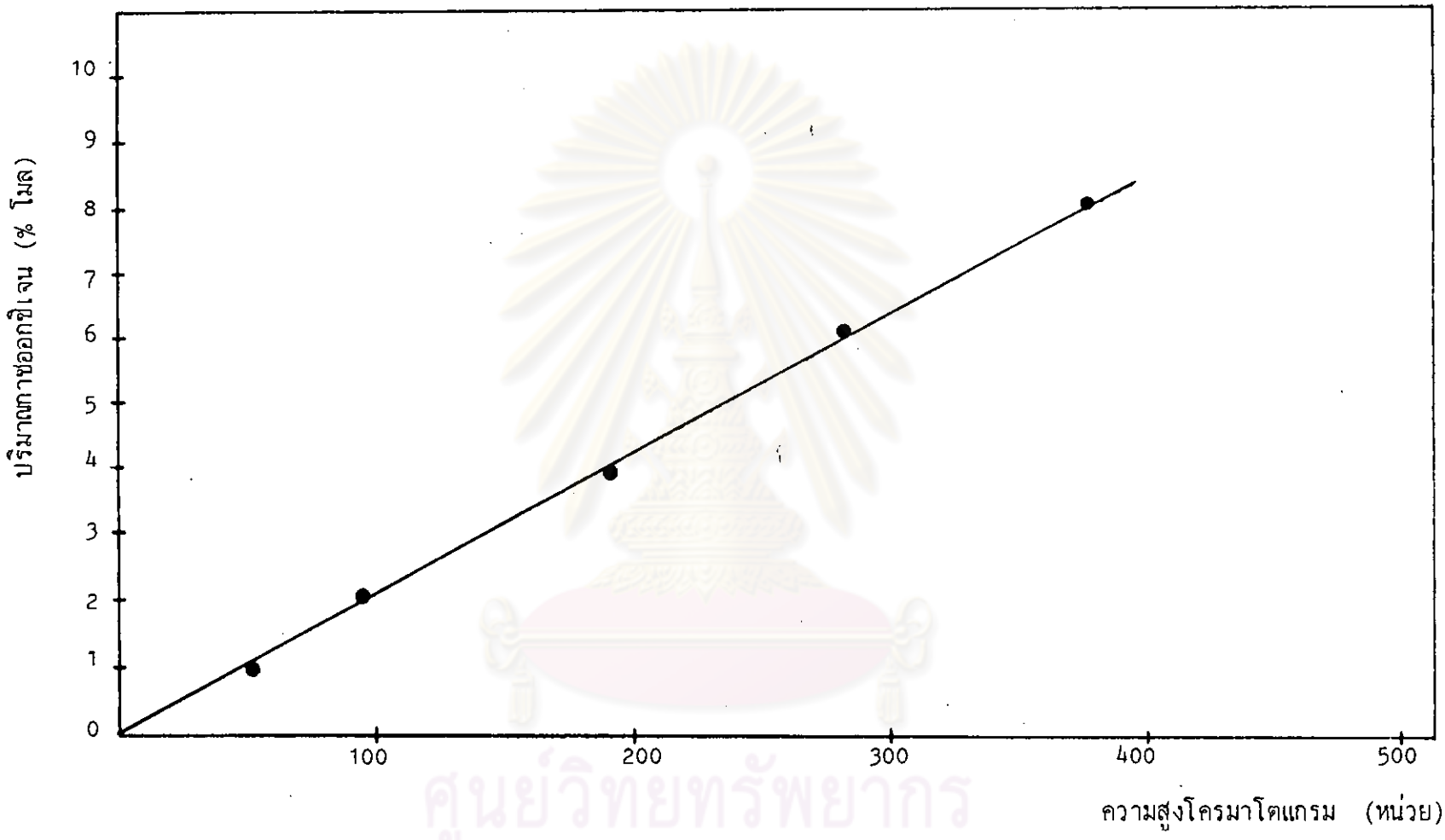
ในการทดลอง เมื่อเราได้ข้อมูลระหว่างปริมาณสาร และพื้นที่ภายใต้โครมาโตแกรม แล้วเราจะใช้เครื่องคำนวณคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก หาสมการเส้นตรงตัวแทน แล้วใช้สมการเส้นตรงตัวแทนนี้ คำนวณหาปริมาณสารตัวอย่าง โดยป้อนข้อมูลค่าพื้นที่ภายใต้โครมาโตแกรม จากสารตัวอย่างเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เราก็จะทราบปริมาณสาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



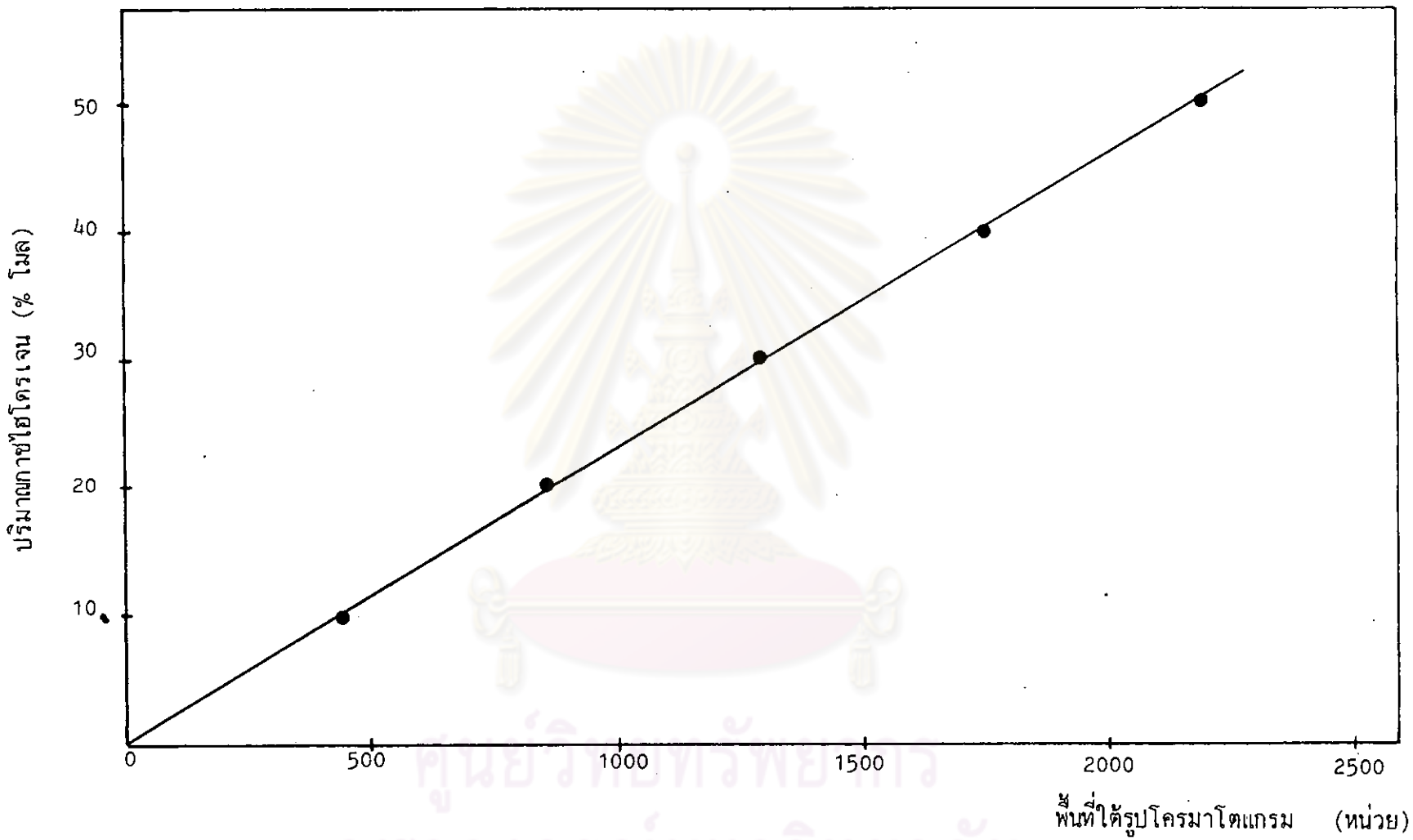
รูป ข. 1 แสดงโครมาโตแกรมตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์กาซตัวอย่าง ด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี ทำการวิเคราะห์สองครั้งด้วยวาล์วเก็บตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



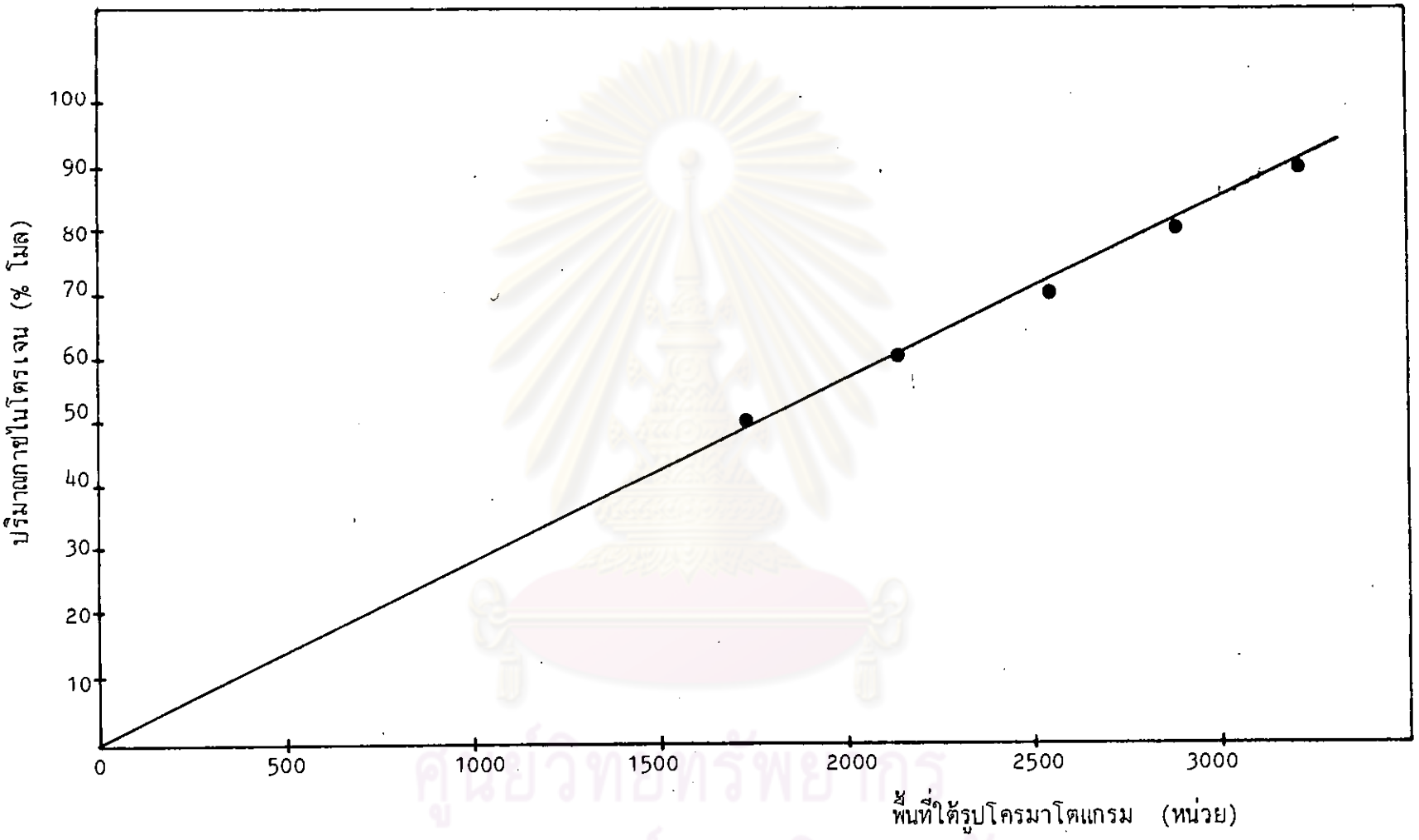
รูป ข.2 กราฟมาตรฐาน สำหรับวัดหาปริมาณกาซออกซิเจน ด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ข.3 กราฟมาตรฐานสำหรับวัดหาปริมาณกาซไฮโดรเจน ด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ข.4 กราฟมาตรฐานสำหรับวัดหาปริมาณกาซไนโตรเจน ด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี

ภาคผนวก ค

แสดงตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโลหะ
สำหรับใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นสารสะลายโลหะ พลาตินัม สมมุติว่า เรา ต้องการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา พลาตินัม บนซับพอร์ทอลูมินา ที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 70 เมตร^2 /กรัม ความเข้มข้นของพลาตินัม 0.005 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักรวม

ใช้อะลูมินา ขนาด 100-150 เมช ตามระบบ Tyler 10 กรัม

ปริมาตรรูพรุนของอะลูมินา 1.03 $\frac{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร}}{\text{กรัม}}$

ดังนั้นต้องการเนื้อโลหะพลาตินัม $= \frac{10\times0.005}{99.995}$

$= 5.00025 \times 10^{-4}$ กรัม

ปริมาตรรูพรุนของอะลูมินาทั้งหมด $= 10\times1.03 = 10.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

ดังนั้นต้องเตรียมสารละลายโลหะพลาตินัมมีความเข้มข้น

$= \frac{5.00025 \times 10^{-4}}{10.3}$ $\frac{\text{กรัม}}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตร}}$

$= 4.85461 \times 10^{-5}$ "

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

แสดงผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์กาซตัวอย่าง
ด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี และด้วยเครื่องวัด
อัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์

ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์กาซตัวอย่างด้วยเครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี และด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์แสดงในตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 แสดงผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์กาซตัวอย่างด้วยเครื่อง หรือเทคนิคกาซโครมาโตกราฟฟี และด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของกาซแบบมาโนมิเตอร์

ครั้งที่	กาซ	สัดส่วนเชิงโมลวิเคราะห์โดย เครื่องกาซโครมาโตกราฟฟี	สัดส่วนเชิงโมลวิเคราะห์โดย เครื่องวัดอัตราการไหลแบบมาโนมิเตอร์	เปอร์เซนต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบ
1	O_2	2.57	2.56	0.39
	H_2	18.42	18.13	1.59
	N_2	77.78	79.31	1.96
2	O_2	4.68	4.62	1.29
	H_2	18.30	17.69	3.45
	N_2	78.06	77.68	0.49
3	O_2	6.13	6.18	0.81
	H_2	18.08	17.52	3.19
	N_2	75.45	76.30	1.12
4	O_2	4.05	4.1	1.23
	H_2	29.84	29.70	0.47
	N_2	66.94	66.21	1.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ครั้งที่	กาซ	สัดส่วนเชิงโมลวิเคราะห์โดย		เปอร์เซนต์
		เครื่องกาซโครมา โตกราฟฟี	เครื่องวัดอัตราการไหล แบบมาโนมิเตอร์	ความผิดพลาด เปรียบเทียบ
5	O_2	3.94	3.92	0.51
	H_2	34.53	34.15	1.11
	N_2	62.44	61.92	0.83

จากตารางที่ ง.1 จะพบว่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดเปรียบเทียบค่าที่น้อยกว่าระหว่างเทคนิคทั้งสอง มีค่าสูงสุด 3.45 ต่ำสุด 0.39 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ตัวอย่างการคำนวณหาสภาวะการทดลองที่ถือว่ามีการไหลของกาซเป็นแบบปลัก

สมการที่ใช้ในการคำนวณในที่นี้ใช้สมการที่(3.26)ตามผลงานของ Mears(28)

$$\frac{L}{d_p} > \frac{20n}{Pe_a} \ln \frac{C_i}{C_f} \qquad \text{จ.1}$$

เมื่อ L = ความสูงของเบดตัวเร่งปฏิกิริยา

d_p = ขนาดเส้นผิวศูนย์กลางของตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาด = 200 - 250 mash

n = ลำดับของปฏิกิริยา

Pe_a = ตัวเลขเพคเลต (Peclet Number) = $d_p \bar{V}/D_a$

C_i = ความเข้มข้นของกาซขาเข้าของกาซที่สนใจ

C_f = ความเข้มข้นของกาซขาออกของกาซที่สนใจ

$\bar{V}$ = ความเร็วซุปเปอร์ฟิเชียล

D_a = การแพร่ของกาซที่สนใจในแนวแทนของเตาปฏิกรณ์

d_p เฉลี่ย = 0.01128 เซนติเมตร

ให้ n = 1.7

จากรายงานของ Mears (28) และ Satterficld (11) กล่าวว่าค่า Pe_a มีค่าประมาณเท่ากับ 2 เมื่อค่าตัวเลขเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 2 โดยที่ตัวเลขเรย์โนลด์มีค่า

$$Re = \frac{\rho d_p \bar{V}}{\mu} > 2$$

เนื่องจากค่า D_a หาได้ยากดังนั้นเราจะใช้ค่า $Pe_a \doteq 2$ ซึ่งจะเป็นเช่นนั้นได้ค่า $Re > 2$ เราต้องคำนวณหาค่า Re ว่า สภาวะใดที่ทำให้ค่า $Re > 2$

จากการทดลอง การทำการทดลองกับตัวเร่งปฏิกิริยา พลาตินัม สภาวะกาซขาเข้ามีกาซออกซิเจน กาซไฮโดรเจน และกาซไนโตรเจน 2.08, 27.97, 69.93 % โดยปริมาตร

ตามลำดับ เราต้องคำนวณหาค่าความหนาแน่นกาซ (ρ) และค่าความหนืดของกาซผสม (μ)

จากสมการของกาซอุดมคติ

$$PV = nRT$$

$$= \frac{n(M)}{V} = \frac{P(M)}{RT}$$

เมื่อ M = น้ำหนักโมเลกุลของกาซผสม

$$= (0.0208)(32) \times 0.2797(2) \times 0.6993(28) = 20.80$$

R = ค่าคงที่กาซ = 82.057 $\frac{\text{บรรยากาศ.ลูกบาศก์เซนติเมตร}}{\text{กรัมโมล.องศาเคลวิน}}$

T = อุณหภูมิกาซผสมในหน่วยเคลวิน = 303 K

P = ความดันกาซรวม = 1 บรรยากาศ

ดังนั้น ρ = 8.3657×10^{-4} กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

คำนวณหาค่าความหนืดของกาซผสม จากสมการ (29)

$$\mu_{\text{รวม}} = \sum_i \frac{y_i \mu_i}{\sum_j y_j \Phi_{ij}} \qquad (จ.2)$$

เมื่อ y_i = เศษส่วนเชิงโมลของกาซ i ในกาซผสม

μ_i = ค่าความหนืดของกาซ i

$$\Phi_{ij} = \frac{[1 + (\mu_i/\mu_j)^{\frac{1}{2}} (M_j/M_i)^{\frac{1}{4}}]}{[8 + (1+M_i/M_j)]^{\frac{1}{2}}}$$

และ $\Phi_{ji} = (\mu_j/\mu_i)(M_i/M_j)\Phi_{ij}$

ในที่นี้ $\mu_{O_2} = 2026 \times 10^{-7}$ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร.วินาที (20)

$\mu_{N_2} = 1766 \times 10^{-7}$ "

$\mu_{H_2} = 880 \times 10^{-7}$ "

จากการแทนค่า และหาค่าความหนืดของกาซผสมได้ว่า

μรวม = 1751×10^{-7} กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร.วินาที

ตัวเลขเรย์โนลด์มีค่ามากกว่า 2 แสดงว่า

$$\frac{(8.3657 \times 10^{-4})(0.01128)\bar{V}}{1751 \times 10^{-7}}$$

$\therefore$ $\bar{V} > 37.11$ เซนติเมตร/วินาที

หรือ $Q > 37.11 \times A$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที

เมื่อ Q = อัตราการไหลของกาซเชิงปริมาตร

A = พื้นที่หน้าตัดของเตาปฏิกรณ์เคมี

$= \frac{\pi D^2}{4}$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเตาปฏิกรณ์ = 5.25 มม.

$Q > 8.03$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/วินาที

หรือ $Q > 482$ ลูกบาศก์เซนติเมตร/นาที

ดังนั้นจากสมการ จ.1 เราจะหาความสัมพันธ์ระหว่าง L กับ $\frac{C_i}{C_f}$ ได้คือ

$$\frac{L}{(0.01128)} > \frac{(20)(1.7)}{2} \ln \frac{C_i}{C_f} \qquad \text{จ.3}$$

สมการ จ.3 แสดงว่า เมื่ออัตราการไหลของกาซรวมมากกว่า 482 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที แล้วการไหลของกาซจะเป็นแบบปลัก ถ้าความสัมพันธ์ ระหว่าง L และ $\frac{C_i}{C_f}$ เป็นไปตามสมการ จ.3 ซึ่งสามารถสรุปผลในตารางได้ดังนี้

ตาราง จ.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง L กับ $\frac{C_i}{C_f}$ เมื่ออัตราการไหลของกาซรวมมากกว่า 482 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที การไหลถือว่าเป็นแบบปลัก

C_i / C_f	การเปลี่ยนรูป (%)	L > (mm)
2:1.75	12.5	0.25
2:1.5	25	0.55
2:1	50	1.33
3:1	66	2.11
4:1	75	2.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลดิบ (raw data)

ตารางที่ ฉ.1 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 % Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 68 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0156 กรัม ขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลกาซรวมขาเข้า 876 ซม^3/นาที ความเข้มข้น กาซออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน เท่ากับ 1.90,28.83,69.27 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

เวลาที่ผ่านไป (ชม.)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน (X_{O_2})
1	0.391
2	0.390
3	0.388
4	0.389
5	0.394
6	0.395
7	0.391
10	0.392
15	0.385
18	0.387
21	0.389
24	0.390

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.2 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3% Ni / Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 175 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0484 กรัม ขนาด 150-200 เมช อัตราการไหลของกาซ ผสมรวมขาเข้า 228 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน เท่ากับ 4.13, 43.50, 43.77 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

เวลาที่ผ่านไป (ซม.)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน (X_{O_2})
1	0.750
2	0.751
3	0.751
5	0.750
8	0.734
12	0.748
16	0.750
20	0.749
24	0.748

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.3 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3 % Cu/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายใน 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 300 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0175 กรัม ขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 380 ซม^3 / นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน กาซไนโตรเจน เท่ากับ 5.44,61.04,33.52 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ

เวลาที่ผ่านไป (ซม.)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน (X_{O_2})
1	0.368
3	0.367
5	0.365
8	0.363
13	0.366
17	0.367
20	0.369

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.4 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 % Pt/Al_2O_3 70เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0156 กรัม ขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลของกาซผสมขาเข้า 876 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน เท่ากับ 1.90, 28.83, 69.27 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมลต่อนาที เท่ากับ 6.69512×10^{-4}, 1.01457×10^{-2}, 2.78110×10^{-3}, ตามลำดับ

อุณหภูมิ °ซ	อัตราการไหลของกาซขาออก (10^4โมล/นาที)			สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน
	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	
36	4.36584	99.28081	27.35441	0.347
51	4.12327	99.40175	27.12489	0.384
73	4.06335	99.03982	27.22587	0.393
94	3.88844	98.90315	27.00124	0.419
114	3.72216	99.39418	27.11876	0.444
134	3.56324	98.7317	27.31241	0.467
162	3.39607	98.43359	27.00011	0.493
209	3.02914	97.99023	27.22078	0.547
233	2.32781	97.52027	27.00027	0.652

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.5 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3 % Ni/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0157 กรัม ขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลกาซผสมขาเข้า 530 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.65,60.19 36.16 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 7.86546×10^{-4}, 1.29494×10^{-2}, 7.77714×10^{-3} ตามลำดับ

อุณหภูมิ °ช	อัตราการไหลของกาซขาออก (10^4โมล/นาที) ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน
390	4.31423	117.97689	77.69708	0.451
324	5.01187	119.32811	78.31821	0.363
265	5.50941	122.62196	79.70428	0.299
203	6.28116	122.21233	79.36127	0.242
178	6.70924	123.61877	79.87175	0.147
161	6.68565	123.24841	79.77162	0.15
150	6.76430	123.18927	79.58421	0.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.6 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 3 % Cu/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0151 กรัม ขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลเข้าของกาซผสมเท่ากับ 529 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.59, 60.30, 36.11 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 7.62867×10^{-4}, 1028081×10^{-2}, 7.66882×10^{-3}ตามลำดับ

อุณหภูมิ °ซ	อัตราการไหลของกาซขาออก (10^4โมล/นาที) ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน
393	3.08604	122.25634	75.78177	0.595
306	5.10761	123.6994	76.51081	0.330
265	5.93591	125.54476	76.40362	0.222
252	6.107353	126.03836	76.96967	0.199
241	6.419127	126.66228	76.55625	0.158
220	7.59867	127.70877	76.15699	0.003
200	7.59767	127.69191	76.70027	0.003

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.7 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 5 % Co/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0151กรัมขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลขาเข้าของกาซผสมเท่ากับ 529 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.60, 60.22, 36.18 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาทีเท่ากับ 7.64992×10^{-4}, 1.27911×10^{-2}, 7.68369×10^{-3} ตามลำดับ

อุณหภูมิ	อัตราการไหลของกาซขาออก (10^4)โมล/นาที)			สัดส่วนการเปลี่ยน
°ช	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	รูปกาซออกซิเจน
352	7.60123	125.78632	75.93482	ไม่สามารถวัดได้
282	7.59784	124.65114	75.78761	"
227	7.58631	125.78231	75.58261	"
161	7.57547	125.65432	75.34218	"
127	7.61282	127.00112	76.00021	"
97	7.59117	124.78621	75.57864	"
60	7.60002	123.58931	75.84393	"
33	7.58293	125.62187	75.98761	"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.8 แสดงผลการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา 1 % Ni/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0155 กรัม ขนาด 150 - 200 เมช อัตราการไหลขาเข้าของกาซผสมรวมเท่ากับ 531 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน เท่ากับ 3.58, 60.42, 36.00 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมลต่อนาทีเท่ากับ 7.60742×10^{-4}, 1028336×10^{-2}, 7.64546×10^{-3}, ตามลำดับ

อุณหภูมิ °ช	อัตราการไหลของกาซขาออก (10^4โมล/นาที)			สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน
	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	
295	7.55462	129.72312	75.83211	ไม่สามารถวัดได้
237	7.58742	130.11231	75.73421	"
181	7.51682	129.9321	75.34522	"
133	7.53762	129.12312	75.44591	"
85	7.51428	129.43211	75.83112	"
39	7.57111	130.00231	75.90001	"

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.9 แสดงค่าสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% $Pt./Al_2O_3$ 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0058 กรัม ผสมกับซับพอร์ทเฉื่อยที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 1-2 เมตร^2/ กรัม 0.0065 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 490-1500 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน กาซไนโตรเจน 2.07, 27.83, 70.00 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4 โมล/นาที)	อัตราการไหลออก(10^4 โมล/นาที)	สัดส่วนโมลขาออก(%)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลา : กรัม-นาที/โมล
O_2	4.03844	3.04133	1.5597	0.250	14.291
H_2	54.37279	50.69932	26.0021		
N_2	136.94198	131.42875	70.4054		
O_2	7.34463	5.95673	1.6981	0.189	7.896
H_2	98.31822	94.71587	27.0121		
N_2	246.84733	241.10281	69.6781		
O_2	9.16387	7.77090	1.7405	0.152	6.329
H_2	122.80515	119.49149	27.1587		
N_2	308.43967	302.87659	69.3248		
O_2	10.97719	9.30794	1.7689	0.152	5.283
H_2	147.37885	144.70481	27.2243		
N_2	368.56749	362.64871	69.0011		

ต่อตารางที่ ฉ.9

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4โมล) นาที	อัตราการไหลออก(10^4โมล) นาที	สัดส่วนโมลขาออก(%)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลา กรัม-นาที/โมล
O_2	12.78608	11.25035	1.8362	0.120	4.536
H_2	171.40967	169.71721	27.2453		
N_2	429.22697	425.26361	69.5428		
O_2	15.49015	13.94064	1.8701	0.100	5.744
H_2	207.93312	206.48912	27.3824		
N_2	521.88614	515.68714	69.2485		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.10 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0065 กรัม ผสมกับซับพอร์ทเฉื่อยที่มีพื้นที่ผิวทั้งหมด 1-2 เมตร^2/กรัม 0.0065 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 500-1075 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน 2.07,27.96,69.97 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4โมล) นาที	อัตราการไหลออก(10^4โมล) นาที	สัดส่วนโมลขาออก(%)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลา กรัม-นาที/โมล
O_2	4.14530	3.06908	1.5403		
H_2	55.84584	53.01287	26.8354	0.259	15.439
N_2	139.71931	135.84214	69.0001		
O_2	5.61916	4.31022	1.6013		
H_2	75.22469	71.60679	26.5487	0.233	11.389
N_2	188.74323	185.62391	69.1234		
O_2	7.44166	5.89126	1.6508		
H_2	99.81405	95.71324	26.7588	0.208	8.600
N_2	249.99497	243.88711	69.0001		
O_2	8.88567	7.20306	1.6965		
H_2	118.93612	113.57089	26.7588	0.189	7.203
N_2	298.33918	291.58621	69.0001		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.11 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปของกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบต่างๆ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/ กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0119 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซขาเข้า 1000-2000 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.08,27.97,69.95 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4โมล) นาที	อัตราการไหลออก (10^4โมล) นาที	สัดส่วนโมลขาออก(%)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลา กรัม-นาที/โมล
O_2	8.9913	5.92574	1.3810	0.340	13.234
H_2	120.53431	117.35912	27.3507		
N_2	301.32250	303.13204	70.6451		
O_2	12.65800	9.40124	1.5588	0.256	9.401
H_2	168.90902	166.35636	27.5831		
N_2	423.84989	428.75793	71.0912		
O_2	16.07261	12.78573	1.6604	0.204	7.403
H_2	216.56456	209.41827	27.1957		
N_2	542.69478	546.24383	70.9369		
O_2	14.46268	11.21739	1.6351	0.225	8.228
H_2	193.99393	187.63600	27.3507		
N_2	486.04616	487.98176	71.1305		
O_2	10.83483	7.70014	1.4912	0.289	10.983
H_2	145.57529	140.43102	27.1957		
N_2	363.66120	368.86271	71.4335		

ตารางที่ ฉ.12 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005% Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/ กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0209 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตรการไหลกาซขาเข้า 1800-3070 ซม^3/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.08,27.96,69.96 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4โมล) นาที	อัตราการไหลออก(10^4โมล) นาที	สัดส่วนโมลขาออก(%)	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลา กรัม-นาที/โมล
O_2	15.37591	10.23102	1.3919	0.335	13.592
H_2	206.56641	197.98011	26.9346		
N_2	516.77661	514.83604	70.0419		
O_2	19.12826	13.69961	1.4938	0.283	10.926
H_2	256.6996	248.16226	27.0595		
N_2	642.67813	648.80498	70.7454		
O_2	22.90978	17.33775	1.5787	0.243	9.122
H_2	307.24331	289.24256	26.2461		
N_2	769.71277	764.80309	69.6396		
O_2	25.56415	19.77346	1.6127	0.226	8.175
H_2	342.25875	322.80953	26.2464		
N_2	858.54557	861.48395	70.2616		
O_2	17.24731	12.06871	1.4599	0.300	12.117
H_2	231.02513	222.59882	26.6849		
N_2	580.18693	581.34887	70.3233		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.13 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่ค่าตัวประกอบเวลาต่างๆ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005%Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม ที่อุณหภูมิ 53 °ซ ความดันรวม 1 บรรยากาศ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0281 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลเข้าของกาซรวม 2647-4512 ซม^3/นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 2.08,27.93,69.98 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ตามลำดับ

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4โมล) นาที	อัตราการไหลออก(10^4โมล) นาที	สัดส่วนโมลขาออก	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลา กรัม-นาที/โมล
O_2	22.07353	15.03958	1.4260	0.318	12.730
H_2	295.95678	285.42200	27.0627		
N_2	741.56662	743.89309	70.5333		
O_2	25.75298	18.47400	1.4971	0.282	10.911
H_2	345.42898	334.47793	27.1055		
N_2	865.73178	868.79751	70.4058		
O_2	29.40257	21.86117	1.5503	0.256	9.557
H_2	394.31224	382.82372	27.1482		
N_2	987.61760	987.22189	70.0095		
O_2	33.74654	25.83339	1.5947	0.234	8.326
H_2	452.61875	440.53234	27.4899		
N_2	1134.24863	1131.29104	69.8348		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต่อตารางที่ ฉ.13

กาซ	อัตราการไหลเข้า(10^4โมล/นาที)	อัตราการไหลออก(10^4โมล/นาที)	สัดส่วนโมลขาออก	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน	ตัวประกอบเวลากรัม-นาที/โมล
O_2	37.51947	29.42918	1.6302	0.215	7.489
H_2	504.44677	490.71972	27.4045		
N_2	1263.78743	1277.93466	70.7879		
O_2	36.42129	28.69546	1.6522	0.212	7.715
H_2	487.27238	473.64587	27.2244		
N_2	1221.07522	1220.65870	70.6584		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.14 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 % Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0190 กรัม ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลของกาซผสม 2066 ซม.^{3}/นาที ความเข้มข้นของกาซออกซิเจน,กาซไฮโดรเจน,กาซไนโตรเจน 1.87, 20.99, 77.14 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ ในหน่วย โมล/นาที เท่ากับ 1.54796×10^{-3}, 1.736108×10^{-2}, 6.380883×10^{-3} ตามลำดับ

อุณหภูมิ °ช	อัตราการไหลของกาซขาออก (10^4โมล/นาที)			สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน
	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	
33	11.90134	163.45412	644.43245	0.231
60	11.23791	164.12725	643.58671	0.274
80	10.84434	161.32723	640.52238	0.299
99	10.60863	160.38686	645.48246	0.315
125	10.30721	160.02847	640.28296	0.334

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.15 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปกาซออกซิเจน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 % Pt/Al_2O_3 70 เมตร^2/กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0103 ขนาด 200-250 เมช อัตราการไหลกาซผสม 2020 ซม.^{3} /นาที ความเข้มข้นกาซออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน, 1.67, 20.58, 77.75 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร ตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที 1.37636×10^{-3}, 1.69734×10^{-2}, 6.41064×10^{-2} ตามลำดับ

อุณหภูมิ °ซ	อัตราการไหลออกของกาซ (10^4โมล/นาที)			สัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน
	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	
29	11.20671	166.62022	642.21851	0.186
52	10.89071	165.98823	640.87213	0.209
80	10.22676	165.66032	639.53139	0.257
106	9.77754	164.76187	639.68667	0.289
144	9.44749	164.110179	639.66634	0.313
176	8.92711	163.06102	641.35516	0.351
222	8.46155	162.91299	640.72438	0.385

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.16 แสดงสัดส่วนการเปลี่ยน รูปกาซออกซิเจนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ความดัน 1 บรรยากาศ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 % Pt/Al_2O_3 350 เมตร^2/กรัม น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา 0.0193 กรัม ขนาด 200 - 250 เมช อัตราการไหลกาซผสม 2364 ซม^3./นาที ความเข้มข้นการออกซิเจน, กาซไฮโดรเจน, กาซไนโตรเจน 1.99, 17.72, 80.29 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรตามลำดับ ในหน่วยโมล/นาที เท่ากับ 1.87735×10^{-3}, 1.66467×10^{-2}, 7.54688×10^{-2}ตามลำดับ

อุณหภูมิ	อัตราการไหลออกของกาซ (10^4โมล/นาที)			สัดส่วนการเปลี่ยน
°ซ	ออกซิเจน	ไฮโดรเจน	ไนโตรเจน	รูปกาซออกซิเจน
37	16.64675	160.21352	750.82604	0.113
64	16.3883	159.69661	752.05892	0.127
100	15.68701	159.29402	750.59675	0.164
149	15.02638	157.97276	753.04968	0.199
203	13.38935	154.6987	748.97033	0.287
250	11.92843	153.77686	750.59675	0.365

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

การหาสมการตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงรูปของกาซออกซิเจนกับค่าตัวประกอบเวลาในรูปสมการโพลีโนเมียล

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงรูปของกาซออกซิเจนกับค่าตัวประกอบเวลาอยู่ในรูปสมการเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่3.13 รูปสมการที่เหมาะสมเป็นสมการตัวแทนจึงควรจะอยู่ในรูปสมการโพลีโนเมียล สมการโพลีโนเมียลที่ใช้ได้แก่

$$Y = A_o + A_1X + A_2X^2 + A_3X^3 + \text{---------} A_nX^n \qquad (ช.1)$$

โดยค่า nมีค่าสูงสุดถึง 5 ด้วยการใช้การวิเคราะห์แบบถดถอย (regression analysis) หาสมการตัวแทนหรือเรียกว่าสมการเส้นถดถอย พิจารณาดูว่า สมการ ช.1 ที่มีค่า n และค่าคงที่ $A_o.A_1 \ldots A_n$ เท่าไร ที่เหมาะสมที่สุดเป็นสมการตัวแทนวิธีการวิเคราะห์อาศัยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (method of least squares) ร่วมกับเมทริกซ์ (matrix) แก้สมการหาค่า คงที่ A_n และค่า n เมื่อ n =1, 2, 3, 4, และ 5 ตามลำดับ ในขณะเดียวกัน ใช้ค่าสถิติ F(F-test) ทดสอบ แต่ละสมการด้วยว่ามีค่าเท่าใด กล่าวคือ เมื่อ n =1 ทำการคำนวณตามวิธีกำลังสองน้อยที่สุด และใช้เมทริกซ์หาค่า A_o และ A_1 จาก ข้อมูลการทดลองและคำนวณค่าสถิติ F ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึง n = 5 ต่อจากนั้น เลือกสมการที่ให้ค่าสถิติ F มากสุด เป็นสมการตัวแทนค่าสถิติ F ยิ่งมากหมายความว่ามีความมั่นใจสูง ที่ข้อมูลการทดลองและสมการตัวแทนมีความใกล้เคียงกัน ตัวอย่างการคำนวณค่าสถิติ F มีแสดงไว้ในภาคผนวก ฌ

ในการทดลองของเรามีการหาสมการตัวแทน ตามสมการ ฉ.1 มากดังนั้น เพื่อความสะดวก เราใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เข้าช่วยคำนวณค่าต่าง ๆ ตามโปรแกรม รายละเอียดของโปรแกรมมีอยู่ในภาคผนวก ช เป็นโปรแกรมของ บริษัท Addisan-Wiley Publishing จำกัด เขียนโดย นาย James D.Spain ชื่อโปรแกรมว่า Poly-Fit ดังนั้นตัวอย่างการหาสมการตัวแทนในที่นี้ จะเป็นการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณตามโปรแกรมที่ให้ไว้ในภาคผนวก ช โดยใช้ข้อมูลดิบระหว่างค่าตัวประกอบเวลากับสัดส่วนการเปลี่ยนรูปกาซออกซิเจน แสดงในภาคผนวก ฉ ตารางที่ ฉ.11, ฉ.12, ฉ.13

ผลการคำนวณตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะพบว่า กรณีที่ n = 2 ให้ค่าสถิติ F สูงสุด ดังนั้นเราจะสรุปได้ว่า สมการโพลีโนเมียลตัวแทนคือ

$$Y = 5.042644\times10^{-4} + 0.031795X - 5.21458\times10^{-4}X^2 \qquad (ช.2)$$

ซึ่งในที่นี้ Y ของเราก็คือค่าการเปลี่ยนแปลงรูปกาซออกซิเจน และX คือค่าตัวประกอบเวลา ผลการเปรียบเทียบระหว่างสมการตัวแทนตามสมการ ช.2 กับข้อมูล แสดงไว้ในรูปที่ ช.1 จะพบว่า มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE BEST FITTING POLYNOMIAL EQUATION IS:
Y = A0 + A1*X
A0 = .0215786854

A1 = .0241250072

THE COEFFICIENT OF DETERM.,R^2 IS:.983

THE CORRELLATION COEFFICIENT IS:.991

REAL X	REAL Y	MODEL Y	RESIDUAL
0	0	.021	-.022
12.7301	.3187	.328	-.01
10.9113	.2826	.284	-3E-03
9.557	.2565	.252	4E-03
8.3267	0001.2344	.222	.011
7.4894	.2156	.202	.013
7.7152	.2121	.207	4E-03
13.5926	.3346	.349	-.015
10.9262	.2838	.285	-2E-03
9.1227	.2432	.241	1E-03
8.1755	.2262	.218	7E-03
12.1178	.3002	.313	-.014
10.9830	9.2893	.286	2E-03
8.228	.225	.22	4E-03
7.4039	.2045	.2	4E-03
9.4011	.2572	.248	8E-03
13.2349	.3409	.34	0

THE RESIDUAL SUM OF SQUARES IS:1E-03

THE RESIDUAL MEAN SQUARE IS:0

THE STANDARD ERROR OF THE REGRESSION ESTIMATE:0

THE VALUE OF F IS:919.93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE BEST FITTING POLYNOMIAL EQUATION IS:
Y = A0 + A1*X + A2*X^2
A0 = 5.04264361E-04

A1 = .031795065

A2 = -5.21458044E-04

THE COEFFICIENT OF DETERM.,R^2 IS:.996

THE CORRELLATION COEFFICIENT IS:.998

REAL X	REAL Y	MODEL Y	RESIDUAL
0	0	0	-1E-03
12.7301.3187		.32	-3E-03
10.9113.2826		.285	-3E-03
9.557	.2565	.256	-1E-03
8.32670001.2344		.229	5E-03
7.4894	.2156	.209	6E-03
7.7152	.2121	.214	-3E-03
13.5926.3346		.336	-2E-03
10.9262.2838		.285	-2E-03
9.1227	.2432	.247	-4E-03
8.1755	.2262	.225	0
12.1178.3002		.309	-.01
10.98309.2893		.286	2E-03
8.228	.225	.226	-2E-03
7.4039	.2045	.207	-3E-03
9.4011	.2572	.253	3E-03
13.2349.3409		.329	.01

THE RESIDUAL SUM OF SQUARES IS:0

THE RESIDUAL MEAN SQUARE IS:0

THE STANDARD ERROR OF THE REGRESSION ESTIMATE:0

THE VALUE OF F IS:3882.38

THE BEST FITTING POLYNOMIAL EQUATION IS:
Y = A0 + A1*X + A2*X^2 + A3*X^3
A0 = -7.47564991E-05

A1 = .0355967564

A2 = -1.24726279E-03

A3 = 3.38589698E-05

THE COEFFICIENT OF DETERM.,R^2 IS:.996

THE CORRELLATION COEFFICIENT IS:.998

REAL X	REAL Y	MODEL Y	RESIDUAL
0	0	-1E-03	0
12.7301	.3187	.32	-3E-03
10.9113	.2826	.283	-2E-03
9.557	.2565	.255	0
8.3267	0001.2344	.229	5E-03
7.4894	.2156	.21	4E-03
7.7152	.2121	.215	-4E-03
13.5926	.3346	.338	-4E-03
10.9262	.2838	.284	-1E-03
9.1227	.2432	.246	-4E-03
8.1755	.2262	.226	0
12.1178	.3002	.308	-9E-03
10.9830	9.2893	.285	4E-03
8.228	.225	.227	-3E-03
7.4039	.2045	.208	-5E-03
9.4011	.2572	.252	4E-03
13.2349	.3409	.331	9E-03

THE RESIDUAL SUM OF SQUARES IS:0

THE RESIDUAL MEAN SQUARE IS:0

THE STANDARD ERROR OF THE REGRESSION ESTIMATE:0

THE VALUE OF F IS:3846.42

THE BEST FITTING POLYNOMIAL EQUATION IS:
Y = A0 + A1*X + A2*X^2 + A3*X^3 + A4*X^4

A0 = -3.19974424E-05

A1 = .014875235

A2 = 4.87622526E-03

A3 = -5.56164247E-04

A4 = 1.85600074E-05

THE COEFFICIENT OF DETERM.,R^2 IS:.995

THE CORRELLATION COEFFICIENT IS:.997

REAL X	REAL Y	MODEL Y	RESIDUAL
0	0	-1E-03	0
12.730	1.3187	.319	-1E-03
10.911	3.2826	.283	-1E-03
9.557	.2565	.256	-1E-03
8.3267	0001.2344	.23	4E-03
7.4894	.2156	.209	5E-03
7.7152	.2121	.215	-4E-03
13.592	6.3346	.339	-6E-03
10.926	2.2838	.283	0
9.1227	.2432	.247	-5E-03
8.1755	.2262	.226	-1E-03
12.117	8.3002	.306	-7E-03
10.983	09.2893	.284	4E-03
8.228	.225	.227	-3E-03
7.4039	.2045	.207	-3E-03
9.4011	.2572	.253	3E-03
13.234	9.3409	.331	9E-03

THE RESIDUAL SUM OF SQUARES IS:0

THE RESIDUAL MEAN SQUARE IS:0

THE STANDARD ERROR OF THE REGRESSION ESTIMATE:0

THE VALUE OF F IS:3724.93

THE BEST FITTING POLYNOMIAL EQUATION IS:
Y = A0 + A1*X + A2*X^2 + A3*X^3 + A4*X^4 + A5*X^5

A0 = -2.65215401E-03

A1 = -3.18872929E-03

A2 = .0122798085

A3 = -1.65869296E-03

A4 = 8.95094127E-05

A5 = -1.67120015E-06

THE COEFFICIENT OF DETERM.,R^2 IS:.879

THE CORRELLATION COEFFICIENT IS:.937

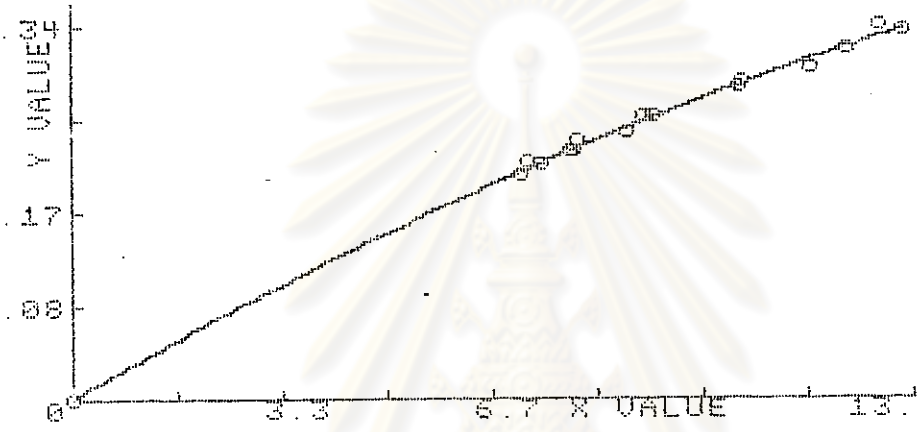
REAL X	REAL Y	MODEL Y	RESIDUAL
0	0	-3E-03	2E-03
12.7301.3187		.316	1E-03
10.9113.2826		.28	2E-03
9.557 .2565		.254	2E-03
8.326700013344		.227	6E-03
7.4894 .2156		.207	7E-03
7.7152 .2121		.213	-2E-03
13.5926.3346		.337	-3E-03
10.9262.2838		.28	3E-03
9.1227 .2432		.245	-3E-03
8.1785 .2262		.224	1E-03
12.1178.3002		.303	-4E-03
10.98309.2893		.281	7E-03
8.228 .225		.225	-1E-03
7.4039 .2045		.205	-1E-03
9.4011 .2572		.25	6E-03
13.2349.3409		.328	.012

THE RESIDUAL SUM OF SQUARES IS:0

THE RESIDUAL MEAN SQUARE IS:0

THE STANDARD ERROR OF THE REGRESSION ESTIMATE:0

THE VALUE OF F IS:2179.06



รูป ช.1 แสดงผลการเปรียบเทียบสมการตัวแทน(——)กับข้อมูลการทดลอง (o) ตามสมการตัวแทน ช.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

โปรแกรม Poly-Fit

```
1  IF  PEEK (104) = 64 THEN  GOTO 5
2 P$ = "RUN POLYFIT":D$ =  CHR$ (4)
3  POKE 104,64: POKE 16383,0: POKE 103,0: PRINT
   D$;P$
4  STOP
5  REM
60  POKE 232,0: POKE 233,08
70 D$ = "": REM  CONTROL-D CHAR
80  PRINT D$;"BLOAD SMALL CHARACTERS,A$0800
   "
85  REM  THE SMALL CHARACTERS BINARY FILE W
   AS PRODUCED BY MINNESOTA EDUCATIONAL CO
   MPUTING CONSORTIUM AND IS AVAILABLE ON
   THE PROGRAMMERS AID VOL.1 DISKETTE
87  HOME
90  SCALE= 2:SC = 2: ROT= 0:X0 = 90:Y0 = 50
   :L$ = "POLYFIT": HCOLOR= 2: HGR : GOSUB
   3500
93  FOR I = 1 TO 1000: NEXT I
95  SCALE= 1:SC = 1: TEXT
100  HOME : PRINT : PRINT : PRINT "
     POLY-FIT"
110  PRINT : PRINT "A PROGRAM FOR FITTING V
   ARIOUS POLYNOMIALEQUATIONS TO REAL DATA
   "
115  PRINT : PRINT "COPYRIGHT (C) 1981
                    ADDISON-WESLEY PUBLISH
   ING COMPANY,INC."
120  PRINT : PRINT "DEVELOPED FOR THE TEXT:
                    BASIC MICROCOMPUTER MO
   DELS IN BIOLOGY  BY JAMES D. SPAIN."
127  VTAB 22: INPUT "FOR INTRODUCTION...PRE
   SS <RETURN>";Q$: HOME
130  PRINT : PRINT "THE PROGRAM ALLOWS THE
   USER TO ENTER A  NUMBER OF X,Y DATA POI
   NTS WHICH MAY BE  FITTED BY LEAST SQUAR
   ES TO DIFFERENT   POLYNOMIALS."
140  PRINT : PRINT "THE COEFFICIENTS ARE PR
   OVIDED ALONG WITHSTATISTICS NECESSARY T
   O JUDGE HOW WELL  THE EQUATION FITS THE
    DATA."
160  VTAB 22: INPUT "PRESS RETURN TO CONTIN
   UE";A$
161  DIM A(6,12),S(9),Z(12),C(6)
162  DIM X(100),Y(100)
163  HOME : PRINT "YOU MAY ENTER DATA IN EI
   THER OF THE     FOLLOWING WAYS:
                        1. FROM THE KEYBOAR
   D.                   2. FROM A PREVIOUS
   LY SAVED DISK FILE."
165  PRINT : PRINT : INPUT "WHICH MODE OF D
   ATA ENTRY (1 OR 2) ? ";A$:A$ =  LEFT$ (
   A$,1)
166  IF A$ = "1" OR A$ = "K" THEN  GOTO 190

168  IF A$ < > "2" THEN  PRINT "PLEASE TYP
   E EITHER (1) OR (2)": INPUT A$: GOTO 16
   6
170  PRINT : INPUT "     NAME OF TEXT FILE
   TO BE USED? ";N$
172 D$ =  CHR$ (4)
174  PRINT D$;"OPEN";N$: PRINT D$;"READ";N$
   : INPUT N: FOR I = 1 TO N: INPUT X(I),Y
   (I): NEXT : PRINT D$;"CLOSE";N$
176 XM = 0:YM = 0: FOR T = 1 TO N: IF X(T) >
   XM THEN XM = X(T)
178  IF Y(T) > YM THEN YM = Y(T)
179  NEXT
180  GOTO 292
190  PRINT
200  INPUT "HOW MANY DATA POINTS ARE YOU GO
   ING TO  ENTER (AT LEAST 7 PLEASE) ? ";
   N
220  HOME : PRINT "IF YOU MAKE AN ERROR TYP
   E IN 'E' AND  PRESS <RETURN>"
223  PRINT
225  PRINT "BECAUSE OF THE EXPONENTIATION R
   EQUIRED  IN THIS PROGRAM, ALL DATA SHOU
   LD BE  NORMALIZED TO NUMBERS BETWEEN
    -100 AND  +100.  PARTICULARLY IF YOU A
   RE FITTING  HIGHER POLYNOMIALS."
226  PRINT : PRINT "NOTE...THERE IS NO LIMI
   TATION AGAINST  ZERO OR NEGATIVE NUMBE
   RS IN THIS PROGRAM"
227  PRINT
230  FOR C = 1 TO N: REM  ENTERING N DATA
   POINTS
240  PRINT "ENTER (X,Y) DATA POINT NUMBER "
   C" ";: INPUT " ";X,Y
```

```
242  IF  LEFT$ (X$,1) = "E" OR  LEFT$ (Y$,1
     ) = "E" THEN C = C - 1: PRINT " "; GOTO
     240
250 X =  VAL (X$)
260 Y =  VAL (Y$)
270  REM  IF X OR Y IS TO BE TRANSFORMED, P
     UT TRANSFORM EQUATIONS HERE
280  LET X(C) = X:Y(C) = Y
283  IF X > XM THEN XM = X
285  IF Y > YM THEN YM = Y
290  NEXT C
292  PRINT : INPUT "DO YOU NEED TO CORRECT
     ANY OF THE DATA ?";Q$
294  IF  LEFT$ (Q$,1) = "Y" THEN  GOSUB 600
     0
300  HOME : PRINT "CALCULATING THE SUMS OF
     SQUARES FOR DATA...PLEASE STAND BY"
310  FOR C = 1 TO N
320  LET Z(1) = Z(1) + X(C)
330  LET Z(2) = Z(2) + X(C) ^ 2
340  LET Z(3) = Z(3) + X(C) ^ 3
350  LET Z(4) = Z(4) + X(C) ^ 4
360  LET Z(5) = Z(5) + X(C) ^ 5
370  LET Z(7) = Z(7) + X(C) ^ 7
380  LET Z(6) = Z(6) + X(C) ^ 6
390  LET Z(8) = Z(8) + X(C) ^ 8
400  LET Z(9) = Z(9) + X(C) ^ 9
410  LET Z(10) = Z(10) + X(C) ^ 10
420  LET S(1) = S(1) + Y(C)
430  LET S(2) = S(2) + X(C) * Y(C)
440  LET S(3) = S(3) + Y(C) * X(C) ^ 2
450  LET S(4) = S(4) + Y(C) * X(C) ^ 3
460  LET S(5) = S(5) + Y(C) * X(C) ^ 4
470  LET S(6) = S(6) + Y(C) * X(C) ^ 5
480  LET S(9) = S(9) + Y(C) ^ 2
490  NEXT C
500  TEXT : HOME : PRINT "THE FOLLOWING POL
     YNOMIAL EQUATIONS MAY  BE FITTED TO THE
      DATA:"
502  PRINT
503  PRINT "1. STRAIGHT LINE   Y = A0 + A1*
     X"
504  PRINT
505  PRINT "2. QUADRATIC      Y = A0 + A1*X
     + A2*X^2"
507  PRINT
510  PRINT "3. CUBIC Y = A0 + A1*X + A2*X^2
      + A3*X^3"
515  PRINT : PRINT "4. QUARTIC Y = A0 + A1*
     X + A2*X^2                        + A3*X
     ^3 + A4*X^4"
517  PRINT
520  PRINT "5. QUINTIC Y = A0 + A1*X + A2*X
     ^2                      + A3*X^3 + A4*X
     ^4 +A5*X^5"
530  PRINT : INPUT "ENTER THE NUMBER OF THE
     EQUATION TO BE  FITTED. ";R
540  IF R + 2 > N OR R > 5 THEN  PRINT "SOR
     RY...THE ";R;" ORDER POLYNOMIAL CAN NOT
      BE FITTED TO ..... ";N;" DATA POINTS
     ! ": GOTO 530
550  REM  SETTING MATRIX TO ZERO
560  FOR I = 1 TO 6
570  FOR J = 1 TO 12
580  LET A(I,J) = 0
590  NEXT J
600  NEXT I
610  REM  LOADING THE MATRIX WITH THE SUMS
     OF SQUARES
620  LET A(1,1) = N:A(1,2) = Z(1):A(2,1) =
     Z(1):A(2,2) = Z(2)
630  IF R = 1 THEN  GOTO 730
640  LET A(3,1) = Z(2):A(1,3) = Z(2):A(2,3)
     = Z(3):A(3,2) = Z(3):A(3,3) = Z(4)
650  IF R = 2 THEN  GOTO 730
660  LET A(4,1) = Z(3):A(1,4) = Z(3):A(2,4)
     = Z(4):A(4,2) = Z(4):A(3,4) = Z(5):A(4
     ,3) = Z(5):A(4,4) = Z(6)
670  IF R = 3 THEN  GOTO 730
680  LET A(5,1) = Z(4):A(1,5) = Z(4):A(2,5)
     = Z(5):A(5,2) = Z(5):A(3,5) = Z(6):A(5
     ,3) = Z(6):A(4,5) = Z(7):A(5,4) = Z(7):
     A(5,5) = Z(8)
690  IF R = 4 THEN  GOTO 730
700  LET A(6,1) = Z(5):A(1,6) = Z(5):A(2,6)
     = Z(6):A(6,2) = Z(6):A(3,6) = Z(7):A(6
     ,3) = Z(7):A(4,6) = Z(8):A(6,4) = Z(8)
710  LET A(5,6) = Z(9):A(6,5) = Z(9):A(6,6)
     = Z(10)
720  REM  SETTING UP THE IDENTITY MATRIX NE
     EDED FOR INVERSION
730  LET M = R + 1
740  FOR I = 1 TO M
750  LET A(I,I + M) = 1
760  NEXT I
770  IF PF = 0 THEN  PRINT "CURVE FITTING C
     ALCULATIONS IN PROGRESS."
780  REM  INVERSION OF MATRIX...A
790  FOR T = 1 TO M
800  FOR B = 1 TO M
810  LET F(B) = A(B,T)
820  NEXT B
830  FOR J = T TO 2 * M
840  LET A(T,J) = A(T,J) / F(T)
850  NEXT J
860  IF T = M THEN  GOTO 930
870  LET C = T + 1
880  FOR I = C TO M
890  FOR J = 1 TO 2 * M
900  LET A(I,J) = A(I,J) - A(T,J) * F(I)
```

```
910  NEXT J
920  NEXT I
930  NEXT T
940  FOR I = M TO 2 STEP  - 1
950  FOR B = M TO I STEP  - 1
960  LET F(B) = A(I - 1,B)
970  NEXT B
980  FOR B = M TO I STEP  - 1
990  FOR J = I TO 2 * M
1000  LET A(I - 1,J) = A(I - 1,J) - A(B,J) *
   F(B)
1010  NEXT J
1020  NEXT B
1030  NEXT I
1040  FOR I = 1 TO M
1050  FOR J = M + 1 TO 2 * M
1060  LET K = J - M
1070  LET A(I,K) = A(I,J)
1080  NEXT J
1090  NEXT I
1100  REM  MULTIPLICATION OF MAT C = A * S

1110  FOR I = 1 TO 6
1120  LET C(I) = 0
1130  NEXT I
1140  FOR I = 1 TO M
1150  FOR J = 1 TO M
1160  LET C(I) = C(I) + A(I,J) * S(J)
1170  NEXT J
1180  NEXT I
1182  IF PF = 0 THEN  GOTO 1187
1183  PRINT : PRINT "THE BEST FITTING POLYN
   OMIAL EQUATION IS:"
1184  PRINT "    Y = A0 + A1*X ";: IF R > 1
    THEN  PRINT "+ A2*X^2 ";: IF R > 2 THEN
    PRINT "+ A3*X^3 ";: IF R > 3 THEN  PRINT
   "+ A4*X^4 ";: IF R > 4 THEN  PRINT "+ A
   5*X^5";
1185  PRINT " ": GOTO 1200
1187  HOME
1190  PRINT "FOLLOWING ARE THE COEFFICIENTS
    OF THE  POLYNOMIAL OF ORDER ";R
1195  PRINT
1200  PRINT "A0 = ";C(1):A0(R) =  INT (C(1)
    * 10000) / 10000
1205  PRINT
1210  PRINT "A1 = ";C(2):A1(R) =  INT (C(2)
    * 10000) / 10000
1215  PRINT
1220  IF R > 1.5 THEN  PRINT "A2 = ";C(3):A
   2(R) =  INT (C(3) * 10000) / 10000
1225  PRINT
1230  IF R > 2.5 THEN  PRINT "A3 = ";C(4):A
   3(R) =  INT (C(4) * 10000) / 10000
1235  PRINT
1240  IF R > 3.5 THEN  PRINT "A4 = ";C(5):A
   4(R) =  INT (C(5) * 10000) / 10000
1245  PRINT
1250  IF R > 4.5 THEN  PRINT "A5 = ";C(6):A
   5(R) =  INT (C(6) * 10000) / 10000
1255  PRINT
1260  LET R2 = C(1) * S(1) + C(2) * S(2) +
   C(3) * S(3) + C(4) * S(4) + C(5) * S(5)
    + C(6) * S(6) - (S(1) ^ 2) / N
1270  LET R2 = R2 / (S(9) - (S(1) ^ 2) / N)

1280  LET CR =  SQR (R2)
1290  PRINT "THE COEFFICIENT OF DETERM.,R^2
    IS:"; INT (R2 * 1000) / 1000
1295  PRINT
1300  PRINT "THE CORRELLATION COEFFICIENT
   IS:"; INT (CR * 1000) / 1000
1310  LET RC(R) =  INT (CR * 1000) / 1000
1312  IF PF = 1 THEN  GOTO 1330
1315  PRINT
1320  INPUT "TO COMPARE REAL DATA WITH MODE
   L DATA ....PRESS (RETURN)";0$: HOME
1330  PRINT : PRINT "REAL X    REAL Y    MO
   DEL Y    RESIDUAL": PRINT
1340  LET D2 = 0
1350  FOR C = 1 TO N
1360  LET Y1 = C(1) + C(2) * X(C) + C(3) +
   X(C) ^ 2 + C(4) * X(C) ^ 3 + C(5) * X(C
   ) ^ 4 + C(6) * X(C) ^ 5
1370  LET D = Y(C) - Y1
1380  LET D2 = D2 + D ^ 2
1390  PRINT X(C);: HTAB 8: PRINT Y(C);: HTAB
   18: PRINT  INT (Y1 * 1000) / 1000;: HTAB
   32: PRINT  INT (D * 1000) / 1000
1400  NEXT C
1405  PRINT : PRINT
1407  IF PF = 1 THEN  GOTO 1420
1410  INPUT "FOR ADDITIONAL STATISTICS..PRE
   SS RETURN";0$
1415  HOME
1420  PRINT "THE RESIDUAL SUM OF SQUARES IS
   :"; INT (D2 * 1000) / 1000
1430  LET RM(R) =  INT (D2 * 1000 / (N - M)
   ) / 1000
1435  PRINT
1440  PRINT : PRINT "THE RESIDUAL MEAN SQUA
   RE IS:";RM(R)
1450  PRINT : PRINT "THE STANDARD ERROR OF
   THE REGRESSION   ESTIMATE:"; INT ( SQR
   (RM(R)) * 10000) / 10000
1455  PRINT
1460  LET F = R2 * (S(9) - (S(1) ^ 2) / N) /
   (D2 / (N - M))
1470  PRINT : PRINT "THE VALUE OF F IS:"; INT
   (F * 100) / 100
```

```
1475  IF PF = 1 THEN  GOTO 2500
1480  LET VF(R) =  INT (F * 100) / 100
1483  PRINT : INPUT "DO YOU WANT TO SEE THE
    MODEL GRAPHED IN RELATION TO THE DATA
    POINTS ? ";Q$
1485  IF  LEFT$ (Q$,1) = "Y" THEN  GOTO 250
    0
1490  INPUT "DO YOU WANT TO FIT ADDITIONAL
    EQUATIONS (YES OR NO) ";Q$
1500  IF  LEFT$ (Q$,1) = "Y" THEN  GOTO 300

1545  TEXT : HOME
1550  PRINT "SUMMARY OF CURVE FITTING RESUL
    TS"
1560  PRINT : PRINT "EQUATION                F
     VALUE"
1570  PRINT : PRINT "1. STR. LINE          "
    ; INT (VF(1))
1575  PRINT : PRINT "2. QUADRATIC           "
    ; INT (VF(2))
1580  PRINT : PRINT "3. CUBIC               "
    ; INT (VF(3))
1585  PRINT : PRINT "4. QUARTIC             "
    ; INT (VF(4))
1590  PRINT : PRINT "5. QUINTIC             "
    ; INT (VF(5))
1600  PRINT : PRINT : INPUT "WOULD YOU LIKE
     HARD-COPY OF THE SUMMARY ? ";Q$
1610  IF  LEFT$ (Q$,1) <  > "Y" THEN  GOTO
    1715
1620  PR# 1
1630  PRINT "SUMMARY OF RESULTS OF FITTING
    POLYNOMIAL EQUATIONS TO A SET OF DATA:"

1640  PRINT : PRINT "    LINE","QUADRATIC",
    "CUBIC","QUARTIC","QUINTIC"
1645  PRINT : PRINT "A0   ";A0(1),A0(2),A0(
    3),A0(4),A0(5)
1650  PRINT "A1   ";A1(1),A1(2),A1(3),A1(4)
    ,A1(5)
1655  PRINT "A2   ",A2(2),A2(3),A2(4),A2(5)

1660  PRINT "A3   ","  ",A3(3),A3(4),A3(5)
1665  PRINT "A4   ","  ","   ",A4(4),A4(5)
1670  PRINT "A5   ","  ","  ","   ",A5(5)
1675  PRINT
1680  PRINT "R    ";RC(1),RC(2),RC(3),RC(4),
    RC(5)
1685  PRINT
1690  PRINT "F    ";VF(1),VF(2),VF(3),VF(4),
    VF(5)
1695  PRINT
1700  PRINT "RMS ";RM(1),RM(2),RM(3),RM(4),
    RM(5)
1710  PR# 0
1715  TEXT : HOME : INPUT "DO YOU WANT HARD
    -COPY OF THE STATISTICS ON THE BEST FIT
    TING MODEL ? ";Q$
1720  IF  LEFT$ (Q$,1) = "Y" THEN  GOTO 173
    0
1722  PRINT : INPUT "DO YOU WANT TO FIT ANO
    THER EQUATION TO  DATA ? ";A$
1723  IF  LEFT$ (A$,1) = "Y" THEN  HOME : GOTO
    200
1725  PRINT : INPUT " WOULD YOU LIKE TO SAV
    E YOUR DATA IN A  TEXT FILE? ";Q$
1726  IF  LEFT$ (Q$,1) = "Y" THEN  GOTO 700
    0
1726  PRINT : INPUT "DO YOU WANT TO FIT ANO
    THER SET OF DATA ? ";Q$: IF  LEFT$ (Q$,
    1) = "Y" THEN  TEXT : HOME : RUN 161
1729  PRINT : PRINT "HOPE POLYFIT WAS USEFU
    L.................PROGRAM START POINTER
     RESET TO STANDARD LOCATION.": POKE 103
    ,1: POKE 104,8: POKE 2048,0: STOP
1730  FOR C = 1 TO 5
1733  IF VF(C) > VF THEN R = C:VF = VF(C)
1735  NEXT C
1740 PF = 1: PR# 1: GOTO 550
2499  REM  GRAPH OF DATA ALONG WITH MODEL C
    URVE
2500 X$ = "X VALUE":Y$ = "Y VALUE": HCOLOR=
    3: HGR : GOSUB 3000
2505 ZF = 1:ZG = 0
2510  FOR I = 0 TO 260 STEP 2
2520 X = I * XM / 260
2530 Y = C(1) + C(2) * X + C(3) * X ^ 2 + C
    (4) * X ^ 3 + C(5) * X ^ 4 + C(6) * X ^
    5
2540  GOSUB 4000
2545  IF YO < 0 OR YO > 149 THEN ZG = 0
2550  NEXT I
2555 ZG = 0
2560  FOR C = 1 TO N
2570 ZO = 1:X = X(C):Y = Y(C): GOSUB 4000
2580  NEXT C
2585  IF PF = 1 THEN  PR# 0: VTAB 21: PRINT
    "TYPE....EXEC HARD COPY....PRESS (RETUR
    N)": PRINT : PRINT "AFTER HARD COPY IS
    OBTAINED.............TYPE ....GOTO 1490
      ...PRESS (RETURN)": TEXT : STOP
2590  VTAB 22
2600  GOTO 1490
3000  REM  AXES AND UNITS FOR GRAPHS
3010  REM   SUBROUTINE DEVELOPED BY J. SPAI
    N,MICHIGAN TECH UNIV.,AND B.J. WINKEL,A
    LBION COLLEGE
3020  REM   DEFINE X$=VARIABLE PLOTTED ON X
     AXIS
```

```
3030  REM  DEFINE Y$=VARIABLE PLOTTED ON Y
    AXIS
3040  REM   DEFINE YM =MAXIMUM UNITS ON THE
     Y AXIS
3045  REM  DEFINE XM = MAXIMUM UNITS ON THE
     X AXIS
3050  HCOLOR= 3: SCALE= 1:SC = 1: ROT= 0
3055  REM    LIST OF RESERVED VARIABLES:X,X
    0,XM,X$,Y,Y0,YM,Y$,I,ZF,ZB,ZP,Z0,L,L$,S
    C
3060  HPLOT 23,0 TO 23,149
3070  HPLOT 25,149 TO 279,149
3075  FOR I = 9 TO 116 STEP 35
3080  HPLOT 26,I TO 23,I: NEXT I
3085  FOR I = 55 TO 279 STEP 32
3090  HPLOT I,146 TO I,149: NEXT I
3095  REM  WRITE VARIABLE NAME ON X-AXIS
3100 Z0 = 0:L$ = X$:X0 = 175:Y0 = 150
3110  GOSUB 3500
3120  REM  WRITE VARIABLE NAME ON Y-AXIS
3130 Z0 = 1:L$ = Y$:X0 = 10:Y0 = 60
3140  GOSUB 3500
3150  REM  WRITE UNITS ON THE X-AXIS
3155 Y0 = 150:Z0 = 0
3160 L$ =  LEFT$ ( STR$ (XM),3):X0 = 260: GOSUB
    3500
3165 L$ =  LEFT$ ( STR$ (XM / 2),3):X0 = 14
    6: GOSUB 3500
3170 L$ =  LEFT$ ( STR$ (XM / 4),3):X0 = 82
    : GOSUB 3500
3172  REM  WRITE UNITS ON Y-AXIS
3175 X0 = 1
3180 L$ =  LEFT$ ( STR$ (YM),3):Y0 = 5: GOSUB
    3500
3185 L$ =  LEFT$ ( STR$ (YM / 2),3):Y0 = 75
    : GOSUB 3500
3190 L$ =  LEFT$ ( STR$ (YM / 4),3):Y0 = 11
    1: GOSUB 3500
3195  DRAW 48 AT 15,150
3200  RETURN
3500  REM  ALPHANUMERIC CHARACTERS FOR HGR
3510  REM  THE FOLLOWING MUST BE DEFINED
3511  REM  BEFORE ENTERING THE SUBROUTINE
3512  REM  L$ = "CHARACTER STRING"
3513  REM  Y0 = THE INITIAL Y POSITION
3514  REM  X0 = THE INITIAL X POSITION
3515  REM  SET Z0 = 0 IF PRINTING HORIZONTA
    L
3516  REM  SET Z0 = 1 IF PRINTING VERTICALL
    Y
3520  FOR Z = 1 TO  LEN (L$):Z3 =  ASC ( MID$
    (L$,Z,1))
3530  IF Z0 <  > 0 THEN  GOTO 3570
3540  IF Z3 > 64 THEN  DRAW Z3 - 64 AT X0 +
    (Z - 1) * 7 * SC,Y0: GOTO 3600
3550  DRAW Z3 AT X0 + (Z - 1) * 7 * SC,Y0: GOTO
    3600
3570  ROT= 48: IF Z3 > 64 THEN  DRAW Z3 - 6
    4 AT X0,Y0 - (Z - 1) * 7: GOTO 3600
3580  DRAW Z3 AT X0,Y0 - (Z - 1) * 7
3600  ROT= 0: NEXT Z
3610  RETURN
4000  REM  PLOTTING X AND Y VALUES
4005  REM  FOR LINE PLOT MAKE ZP=1
4006  REM  TO PLOT (+) SET ZP = 1
4007  REM  TO PLOT (D) SET Z0 = 1
4010 X0 = 23 + X * 253 / XM
4020 Y0 = 149 - Y * 140 / YM
4030  IF X0 > 279 OR X0 < 0 OR Y0 > 149 OR
    Y0 < 0 THEN  GOTO 4050
4033  IF ZP = 1 THEN  DRAW 43 AT X0 - 2,Y0 -
    3:ZP = 0: GOTO 4050
4034  IF Z0 = 1 THEN  DRAW 79 AT X0 - 2,Y0 -
    4:Z0 = 0: GOTO 4050
4035  IF ZB = 1 THEN  HPLOT  TO X0,Y0: GOTO
    4050
4040  HPLOT X0,Y0: IF ZF = 1 THEN ZB = 1
4050  RETURN
6000  PRINT : INPUT "     WHICH DATA POINT
    NUMBER DO YOU WANTTO CHANGE? ";AN
6005  IF (AN > N) OR (AN < 0) THEN  PRINT "
    ";: PRINT "THAT NUMBER DOESN'T EXIST IN
     YOUR FILE. TRY AGAIN.": GOTO 6000
6007  PRINT "CURRENT VALUES FOR DATA POINT
    NUMBER    "AN" ARE "X(AN)", "Y(AN)"."
6010  PRINT "ENTER NEW X AND Y VALUES FOR D
    ATA POINT NUMBER ";AN;: INPUT X(AN),Y(A
    N)
6020  INPUT "MORE CORRECTIONS? (Y/N) ";AN$
6030  IF  LEFT$ (AN$,1) = "Y" THEN 6000
6040  RETURN
7000  PRINT : INPUT "ENTER NAME OF NEW FILE
    ";N$
7010 D$ =  CHR$ (4)
7015  PRINT D$;"MON C,I,O"
7020  PRINT D$;"OPEN "N$
7025  PRINT D$;"DELETE";N$
7027  PRINT D$;"OPEN";N$
7030  PRINT D$;"WRITE "N$
7040  PRINT N
7050  FOR I = 1 TO N
7060  PRINT X(I);",";Y(I)
7070  NEXT
7080  PRINT D$;"CLOSE "N$
```

ภาคผนวก ฌ

การวิเคราะห์หาค่าคงที่ในสมการอัตราเร็วปฏิกิริยา

จากภาคผนวก ช เราหาสมการตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงรูปของกาซออกซิเจน กับค่าตัวประกอบเวลา ตามสมการ(ช.2)ดังนี้

$$X_{O_2} = 5.042644 \times 10^{-4} + 0.031795(T.F.) - 5.21458 \times 10^{-4}(T.F.)^2 \quad (ฌ.1)$$

เมื่อ T.F. = ค่าตัวประกอบเวลา เราทราบแล้วว่า ถ้าเราดิฟเฟอเรนชิเอทสมการ (ฌ.1) จะได้ค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา ดังนั้น

$$\frac{d\,X_{O_2}}{d(T.F.)} = 0.031795 - 0.001042916\,(T.F.) = (-r_{O_2}) \quad (ฌ.2)$$

ด้วยการแทนค่า T.F. ลงในสมการ(ฌ.2)ที่ค่าความดันย่อยกาซออกซิเจนต่าง ๆ เราจะได้ข้อมูล ระหว่างอัตราเร็วปฏิกิริยากับความดันย่อยกาซออกซิเจน ข้อมูลค่า T.F. ที่ความดันย่อยกาซออกซิเจนค่าต่าง ๆ แสดงในตารางที่ ฉ.11,ฉ.12,ฉ.13 ผลการคำนวณตามสมการ(ฌ.2) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ ฌ.1

สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาที่เราหาค่าคงที่ของสมการอยู่ในรูป

$$-r_{O_2} = k\ P_{O_2}^{n} \quad (ฌ.3)$$

ใส่ ln ทั้งสองข้างจะได้

$$\ln(-r_{O_2}) = \ln k + n \ln P_{O_2} \quad (ฌ.4)$$

ดังนั้นเราใช้ข้อมูลในตารางที่ ฌ.1 ร่วมกับสมการ (ฌ.4)ใช้วิธีหาสมการถดถอยเส้นตรง (linear reqression analysis)(30)หาค่า k และ n ของสมการอัตราเร็ว ซึ่งได้ความสัมพันธ์ตามสมการ (ฌ.4)ดังนี้

$$\ln(-r_{O_2}) = 0.733438 + 1.72691 \ln P_{O_2} \quad (ฌ.5)$$

$$\ln k = -0.7334$$

$$k = 0.4803$$

และ $$k = 1.7269$$

ตารางที่ ฌ.1 แสดงค่าอัตราเร็วปฏิกิริยาที่ความดันย่อยกาซออกซิเจนต่างๆ

ตัวประกอบเวลา กรัม-นาที/โมล	ความดันย่อยกาซออกซิเจน (10^2บรรยากาศ, P_{O_2})	อัตราเร็วปฏิกิริยา (10^4โมล/กรัม-นาที, $-r_{O_2}$)	$\ln(P_{O_2})$	$\ln(-r_{O_2})$
12.730	1.426	3.0864	-4.2503	-8.0833
10.911	1.497	3.4026	-4.2016	-7.9858
9.557	1.555	3.6379	-4.1667	-7.9189
8.226	1.594	3.8518	-4.1385	-7.8617
7.489	1.630	3.9973	-4.1165	-7.8247
7.715	1.652	3.9581	-4.1031	-7.8345
13.593	1.392	2.9365	-4.2745	-8.1331
10.926	1.494	3.3999	-4.2038	-7.9866
9.123	1.578	3.7135	-4.1485	-7.8983
8.176	1.613	3.8781	-4.1273	-7.8549
12.118	1.459	3.1929	-4.2268	-8.0494
10.983	1.491	3.3901	-4.2055	-7.9894
8.228	1.635	3.8689	-4.1134	-7.8573
7.404	1.660	4.0122	-4.0981	-7.8209
9.401	1.559	3.6651	-4.1613	-7.9115
13.234	1.381	2.9981	-4.2824	-8.1122

กราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ(ฌ.5)แสดงในรูปที่ 4.3 การใช้วิธีหาสมการถดถอยดังกล่าว ต้องตรวจสอบความมั่นใจว่ามีกี่เปอร์เซนต์ ที่ถือได้ว่าสมการถดถอยที่เราหาได้นั้นเป็นสมการแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลการทดลอง โดยใช้ความรู้ทางสถิติเข้าช่วย ในที่นี้จะใช้วิธีการหาค่าสถิติ F (F-test) ตรวจสอบความมั่นใจ วิธีการหาค่าสถิติ F มีดังนี้ (30), (31), (32)

สมมติว่า มีข้อมูลชุด X และ Y ความสัมพันธ์ของข้อมูลนี้ จากการใช้วิธีการหาสมการถดถอยเส้นตรง ได้ว่า

$$Y = a + bX$$

โดยการตั้งสมมติฐานว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กัน จะปฏิเสธสมมติฐานนี้ ก็ต่อเมื่อ

$$F > F_{1-\alpha, (1, n-2)}$$

เมื่อ F = ค่าสถิติ F

$$= \frac{\text{ส่วนเบี่ยงเบนเนื่องจากสมการเส้นถดถอย}}{\text{ส่วนเบี่ยงเบนจากสมการเส้นถดถอย}}$$

ส่วนเบี่ยงเบนเนื่องจากสมการเส้นถดถอย $= b \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i$

ส่วนเบี่ยงเบนจากสมการเส้นถดถอย $= \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i^2 - b \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i}{n - 2}$

n = จำนวนชุดข้อมูล $X_i Y_i$

α = ระดับความมีนัยสำคัญ หมายถึง ช่วงของขอบเขตความเชื่อมั่น หรือโอกาสของความคลาดเคลื่อน

ถ้าเราให้ค่า α =5% หรือ 0.05 ระดับความเชื่อมั่นของเราจะเป็น $1-\alpha = 1-0.05=$ 95 เปอร์เซนต์ ดังนั้นถ้าค่าสถิติF ที่คำนวณได้จากข้อมูลการทดลองมีค่ามากกว่า สถิติ $F_{95(1, n-2)}$ ซึ่งได้จากการเปิดตาราง แล้ว เราจะมีความมั่นใจ 95 เปอร์เซนต์ ที่ข้อมูลมีความสัมพันธ์ ตามสมการถดถอยเส้นตรงนั้น

ในที่นี้เราให้

$$Y = \ln(-r_{O_2})$$

$$X = \ln P_{O_2}$$

คำนวณค่าสถิติ Fจากตารางที่ ฌ.1 ผลการคำนวณค่าเทอมต่างๆ แสดงในตารางที่ ฌ.2 ผลปรากฏว่า

$$F = 137.713$$

จากตารางการกระจายแบบ F (F-distribution) (31)

$$F_{0.99(1,14)} = 8.86 < 137.713$$

ดังนั้นในที่นี้เรามีความมั่นใจ 99 เปอร์เซนต์ว่าข้อมูลการทดลองมีความสัมพันธ์กันตามสมการ(ฌ.5)

ตารางที่ ฌ.2 แสดงการคำนวณเทอมต่างๆ เพื่อคำนวณค่าสถิติ F

$Y(\ln -r_{O_2})$	$X(\ln Po_2)$	Y^2	XY
-8.0833	-4.2503	65.3401	34.3565
-7.9858	-4.2016	63.7731	33.5535
-7.9189	-4.1667	62.7091	32.9959
-7.8618	-4.1385	61.8077	32.5358
-7.8247	-4.1165	61.2259	32.2101
-7.8346	-4.1031	61.3805	32.1457
-8.1331	-4.2745	66.1476	34.7691
-7.9866	-4.2038	63.7853	33.5743
-7.8984	-4.1486	62.3843	32.7669
-7.8549	-4.1273	61.7009	32.4195
-8.0494	-4.2268	64.7932	34.0233
-7.9895	-4.2056	63.8317	33.6004
-7.8573	-4.1135	61.7379	32.3209
-7.8209	-4.0981	61.1679	32.0513
-7.9114	-4.1613	62.5917	32.9217
-8.1122	-4.2823	65.8072	34.7392

$$\Sigma Y^2 = 1010.1840 \quad \Sigma XY = 530.9845$$

$$b = 1.7269$$

$$b\Sigma XY = 916.965$$

$$\frac{\Sigma Y^2 - b\Sigma XY}{n-2} = \frac{93.219}{14} = 6.658$$

$$F = \frac{916.965}{6.658} = 37.713$$

ภาคผนวก ญ

การคำนวณทดสอบผลการถ่ายเทมวลและความร้อน
ภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยาตามสมการขีดจำกัด

การคำนวณในที่นี้อาศัยสมการขีดจำกัดของ Mears (28)

1 การถ่ายเทมวลภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยา

สมการขีดจำกัดของ Mears กล่าวว่าการถ่ายเทมวลภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่คำนึงถึงได้ ถ้า

$$\frac{(-r)\, r_p}{C_b\, k_c} < \frac{0.15}{n}$$

เมื่อ $(-r)$ = อัตราเร็วปฏิกิริยาต่อปริมาตรหนึ่งหน่วยของตัวเร่งปฏิกิริยา, โมล/วินาที-ซม^3

r_p = รัศมีของตัวเร่งปฏิกิริยา, ซม.

C_b = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นในกาซเฟส, โมล/ซม^3 ในที่นี้คือกาซออกซิเจน

K_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลระหว่างกาซกับตัวเร่งปฏิกิริยา, ซม/วินาที

R = ค่าคงที่กาซ = 82.057 ซม^3-บรรยากาศ/โมล-องศาเคลวิน

จากข้อมูลการทดลองตารางที่ ฉ.11 และ ฌ.1 ที่ค่าตัวประกอบเวลา 13.234 อัตราเร็วปฏิกิริยา 2.9987×10^{-4} โมลออกซิเจน/กรัม.วินาที อุณหภูมิที่ทำการทดลอง 32 °ซ องค์ประกอบกาซขาเข้าและขาออกเป็นดังนี้

	น้ำหนักโมเลกุล	สัดส่วนโมลขาเข้า (%)	สัดส่วนโมลขาออก (%)
O_2	32	2.08	1.38
H_2	2	27.97	27.35
N_2	28	69.95	70.64

วัดความหนาแน่นของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ = 0.8071 กรัม/ซม.^{3}

$$(-r) = \frac{2.9987\times10^{-4}}{0.8071} = 3.7131\times10^{-4} \quad \frac{\text{โมล}}{\text{ซม.}^3\text{วินาที}}$$

$$C_b = \frac{P_i}{RT} = \frac{(0.0208 + 0.0138)/2}{82.057\ (303)}$$

$$= 6.9737\times10^{-7} \quad \text{โมล/ซม.}^3$$

ขนาดตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้งาน 200 - 250 เมช

$$r_p = \frac{2.54}{225} = 1.1289\times10^{-2} \quad \text{ซม.}$$

- หาค่า k_c

ใช้สูตรการคำนวณของ Cryners และคณะ (33)

เมื่อ $0.1 < Re < 100$

$$J_m = \frac{1.33}{(Re)^{0.4}} = \frac{k_c}{u}\left(\frac{\mu}{\rho D_m}\right)^{2/3}$$

k_c = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบพา , ซม/วินาที

μ = ความเร็วซุปเปอร์ฟิเชียล , ซม/วินาที

ρ = ความหนาแน่นของของไหล

D_m = สัมประสิทธิ์การแพร่ , ซม/วินาที

μ = ความหนืด , กรัม/ซม.-วินาที

Re = ตัวเลขเรย์โนลด์ = $\frac{\rho u\, d_p}{\mu}$

d_p = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเร่งปฏิกิริยา , ซม.

$\therefore \rho = \frac{P(\bar{M})}{RT}$

$\bar{M} = (0.0208)(32)+0.2797(2)+0.6994(28)$

$\doteq 20.8097$

$$\rho = \frac{(1)(20.8097)}{82.057\ (303)} = 8.3694\ 10^{-4} \quad \text{กรัม/ซม.}^3$$

อัตราการไหลของกาซขาเข้า ตามตารางที่ ฉ.11 = 1076 ซม^3/นาที

เส้นผ่าศูนย์กลางเตาปฏิกรณ์เท่ากับ 5.25 มิลลิเมตร

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{4\times1076}{60\times\pi\times(0.525)^2} = 82.89 \quad \text{ซม/วินาที}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- หาค่า μ (29) ของกาซผสม

$$\mu_{\text{รวม}} = \sum_i \frac{Y_i \mu_i}{\sum_j Y_j \Phi_{ij}}$$

เมื่อ Y_i = สัดส่วนโมลของกาซ i

μ_i = ความหนืดกาซ i

$$\Phi_{ij} = \frac{[1+(\mu_i/\mu_j)^{\frac{1}{2}}(M_j/M_i)^{\frac{1}{4}}]}{[8+(1+M_i/M_j]^{\frac{1}{2}}}$$

$$\Phi_{ji} = (\mu_j/\mu_i)(M_i/M_j)\,\Phi_{ij}$$

μ_{O_2} = 2026×10^{-7} กรัม/ซม-วินาที

μ_{H_2} = 880×10^{-7} "

μ_{N_2} = 1766×10^{-7} "

แทนค่า จะได้ว่า $\mu_{\text{รวม}}$ = 1751×10^{-7} "

- คำนวณค่า Re

$$Re = \frac{(8.3694 \times 10^{-4})(82.8917)(2\times 1.1289\times 10^{-2})}{1751 \times 10^{-7}}$$

$$= 8.9405$$

- คำนวณค่า J_m

$$J_m = \frac{1.33}{(8.9405)^{0.4}} = 0.5537$$

- หาค่า D_m

ประมาณค่า $D_m = D_{O_2, N_2}$ เพราะองค์ประกอบของกาซส่วนใหญ่เป็นกาซไนโตรเจน

คำนวณ D_{O_2, N_2} จากสูตร (34)

$$D_{AB} = 0.0018583 \frac{\sqrt{T^3(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B})}}{P \sigma_{AB}^2 \Omega_{AB}}$$

ได้ค่า D_{O_2, N_2} = 0.2398 ซม^2/วินาที

- คำนวณค่า k_c

$$0.5537 = \frac{k_c}{82.8917} \left(\frac{1751 \times 10^{-7}}{8.3694\times 10^{-4}(0.2398)} \right)^{2/3}$$

k_c = 50.257 ซม/วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- คำนวณสมการขีดจำกัด

$$\frac{(-r)\,r_p}{C_b\,k_c} = \frac{3.7131\times10^{-4}\times(1.1289\times10^{-2})}{6.9737\times10^{-7}\times 50.257}$$

$$= 1.195\times10^{-1} \approx 10^{-1}$$

$$\frac{0.15}{n} = \frac{0.15}{1.7269} = 8.691\times10^{-2} \approx 10^{-1}$$

$$\frac{(-r)\,r_p}{C_b\,k_c} \approx \frac{0.15}{n}$$

จากข้อมูลตารางที่ ฉ.13 และ ฌ.1 ที่ค่าตัวประกอบเวลา 7.489 อัตราเร็วปฏิกิริยาเท่ากับ 4.0122×10^{-4} $\frac{\text{โมล}}{\text{กรัม.วินาที}}$

$$(-r) = \frac{4.0122\times10^{-4}}{0.8017} = 4.9708\times10^{-4}\ \frac{\text{โมลออกซิเจน}}{\text{ซม.วินาที}}$$

องค์ประกอบกาซขาเข้าและขาออกเป็นดังนี้

	สัดส่วนโมลขาเข้า (%)	สัดส่วนโมลขาออก (%)
O_2	2.07	1.63
H_2	27.94	27.40
N_2	69.99	70.79

อัตราการไหลขาเข้า 4512 ซม^3/นาที

$$C_b = \frac{(0.020)+0.0163)/2}{82.057\ (303)} = 7.4566\times10^{-7}\ \frac{\text{โมล}}{\text{ซม}^3}$$

$$\bar{u} = \frac{4512}{60\times\pi\times(0.525)^2} = 347.392\ \text{ซม/วินาที}$$

- คำนวณค่า Re

$$\text{Re} = \frac{(8.3694\times10^{-4})(347.392)(2\times1.1289\times10^{-2})}{1751\times10^{-7}}$$

$$= 37.469$$

- คำนวณค่า J_m

$$= \frac{1.33}{(37.469)^{0.4}} = 0.3122$$

C_p = ความจุความร้อนของกาซ , $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{กรัม. °ซ}}$

λ_f = ค่าความนำความร้อนของของไหล, $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{ซม. วินาที. °ซ}}$

$C_p \approx C_{p,N_2} = 2.5 \frac{\text{คาลอรี}}{\text{กรัม. °ซ}}$ (33)

- หาค่า λ_f ของกาซผสม

คำนวณค่า λ_f จากสมการ (34)

$$\lambda_{f,\text{รวม}} = \sum_i \frac{y_i \lambda_i}{\sum_j y_j \Phi_{ij}}$$

λ_i = ค่าความนำความร้อนของกาซ i

ค่า λ_i หาได้จากสมการ (34)

$$\lambda_i = 1.9891 \times 10^{-4} \frac{\sqrt{T/M}}{\sigma^2 \Omega_{k'}}$$

ซึ่งจะได้ว่า ที่อุณหภูมิ 53 °ซ

$\lambda_{H_2} = 3.5579 \times 10^{-4}$ $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{วินาที.ซม. °ซ}}$

$\lambda_{O_2} = 5.1304 \times 10^{-5}$ "

$\lambda_{N_2} = 5.0241 \times 10^{-5}$ "

จากการแทนค่าต่าง ๆหาค่า $\lambda_{\text{รวม}}$ ได้ว่า

$\lambda_{\text{รวม}} = 1.0559 \times 10^{-4}$ $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{วินาที.ซม. °ซ}}$

- คำนวณค่า h แทนค่าต่าง ๆ ได้ว่า

$$0.5537 = \frac{h}{(82.8917)(8.3694\times10^{-4})(2.5)} \left(\frac{2.5\times1751\times10^{-7}}{1.0559 \times 10^{-4}} \right)^{2/3}$$

$h = 3.7301 \times 10^{-2}$ $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{วินาที.ซม.}^2\text{ °ซ}}$

- คำนวณสมการขีดจำกัด

$$\frac{-\Delta H(-r)r_p}{h\ T_b} = \frac{(115,600)(3.7131 \times10^{-4})(1.1289 \times10^{-2})}{(3.7301 \times10^{-2})\ (326)}$$

$$= 3.9848 \times10^{-2} \approx 10^{-2}$$

- คำนวณค่า k_c

$$0.3122 = \frac{k_c}{347.392}\left(\frac{1751 \times 10^{-7}}{8.3694\times10^{-4}\times0.2398}\right)^{2/3}$$

$$k_c = 118.738 \quad \text{ซม/วินาที}$$

- คำนวณสมการขีดจำกัด

$$\frac{(-r)\, r_p}{C_b\, k_c} = \frac{4.9709\times10^{-4} \times 1.1289\times10^{-2}}{7.4566\times10^{-7}\ (118.738)}$$

$$= 6.338 \times 10^{-2} \approx 10^{-1}$$

$$\frac{(-r)\, r_p}{C_b\, k_c} \approx \frac{0.15}{n}$$

จากการคำนวณทดสอบตามสมการขีดจำกัดทั้งสภาวะ ที่ค่าตัวประกอบเวลาสูงสุด และต่ำสุด ซึ่งเป็นสภาวะอัตราการไหลต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ พบว่าอาจยังมีผลของการถ่ายเทมวลเกี่ยวข้องด้วย

2 การถ่ายเทความร้อนภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยา

สมการขีดจำกัดกล่าวว่า (28)

$$\left|\frac{-\Delta H(-r)\, r_p}{h\, T_b}\right| < \frac{0.15\, RT_b}{E_s}$$

เมื่อ $-\Delta H$ = ค่าความร้อนจากปฏิกิริยา, $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{โมล}}$

h = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพา, $\frac{\text{คาลอรี}}{\text{ซม}^2\text{.วินาที.}\ ^\circ\text{ซ}}$

T_b = 53 °ซ

= 326 องศาเคลวิน

จากการทดลอง E_a/R = 579

ที่ค่าตัวประกอบเวลา 13.234

- คำนวณค่า h (33)

$$J_m = J_m = \frac{h}{\mu\rho\, C_p}\left(\frac{C_p\mu}{r_f}\right)^{2/3}$$

$$\frac{0.15\ R\ T_b}{E} = \frac{0.15}{597}(326) = 8.1909\ \ 10^{-2}\ \ 10^{-1}$$

$$\left|\frac{-\Delta H(-r)\ r_p}{h\ T_b}\right| < \frac{0.15\ E_s T_b}{R}$$

จากการคำนวณตามสมการขีดจำกัด ที่สภาวะค่าตัวประกอบสูงสุด คือ 13.234 ซึ่งมีอัตราการไหลต่ำสุด พบว่าไม่มีผลของการถ่ายเทความร้อนภายนอกตัวเร่งปกิกิริยาเกี่ยวข้อง ดังนั้นกล่าวได้ว่าทุกสภาวะการทดลองไม่มีผลของการถ่ายเทความร้อนภายนอกตัวเร่งปฏิกิริยาเกี่ยวข้องด้วย เพราะที่ค่าตัวประกอบเวลามากกว่านี้ อัตราการไหลมากกว่า การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาก็จะดีขึ้นตามไปด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติ

นายกอบบุญ หล่อทองคำ เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2503 จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี เกียรตินิยมอันดับ 1 จากคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี เมื่อปีการศึกษา 2524

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย