

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัณทิมา ศิริวีระชัย, " การขจัดกำมะถันในถ่านหินโดยวิธีออกซิเดชันในสารละลายเบส," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ชนะ นิลคูหา, การผลิต การจำหน่ายและการใช้แร่ของไทย. ข่าวสารการธรณี, 21(5),23-24 2519.

สายจิตต์ อภาชีวะ, "การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมที่สำคัญจากแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

อรุณรัตน์ วุฒิมลลชัย, "ตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ่านหินอัดก้อน," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ภาษาอังกฤษ

Altar, A., " Chemistry, Thermodynamics and kinetics of reaction of Sulfur in Coal-gas reaction: A review," Fuel, 57, 1978: 201-212.

Barin I. and O. Knacke, Thermochemical Properties of inorganic Substance, Springer Verlag, Berlin 1973.

Borwardt, R.H., "Kinetic of the reaction of SO₂ with calcined limestone," Environmental Science & Technology, 4(1), 1970: 59-63.

_____. R.D.Harvey, "Properties of carbonate rocks related to SO₂ reactivity," Environmental Science & Technology, 6(4), 1972: 350-360.

_____. K.R. Bruce and J. Blake, "An Investigation of Product-Layer Diffusivity for CaO Sulfation," Industrial & Engineering Chemistry Research, 20(10), 1987: 1993-1998.

Boynton, R.S., Chemistry and Technology of Lime and Limestone, PP. 192-913; A division of John Wiley & Sons, New York, 1967.

Burdett, N.A., "The Inhibition of the Limestone Sulphation Process During Fluidized Bed Combustion - A theoretical Approach," J. Inst. Energy., 429, 1983: 198-2082.

- Burdett, M.A., J.R.P. Cooper, S. Dearnley, W.S. kyte, and M.F.Tunneliffe, "The application of direct limestone injection to UK power station," *Journal of the institute of energy*, 64, 1985: 64-69.
- Car , D.D. and Rooney," Limestone and Dolomite." *Industrial Minerals and Rocks*. pp. 757-789, AIMPE, Inc., New York, 1975.
- Carello, S. A. and C. F. Vilela,"Evaluation of the reactivity of South Brasilian limestone in relation to pure SO₂ through thermoanalysis and scanning electron microscopy," *Ind. Eng. Chem. Res.*, 32, 1993: 3135-3142.
- Chen, J.M. and R.T. Yang, "fluidized-bed combustion of coal with time additives. Kinetics and mechaism of regeneration of lime sorbent" *Ind. Eng. Chem. fundam.*, 18(2) , 1979: 134-138.
- Ciambelli,P.,Lucarelli,D. and R. Valentino," SO₂ reactivity of carbonate rock: the influence of porosity and purity," *Fuel*. 64, 1985: 816-820.
- Dam-johansen, K. and K. Ostergaard,"High-temperature reaction between sulfur dioxide and limestone-I. Comparison of limestone in two laboratory reactor and a pilot plant," *Chem. Engng Sci.* 46, 1991: 827-837.
- Desal, N. J. and R.T.Yong, "Catalytic fluidized-bed combustion Emhancement of sulfation of calcium oxide by iron oxide," *Ind.Eng.Chem. Piccess Des. Dev.*, 22 , 1983: 119-123.
- Elliott, R.C., *Coal Desulfurization Prior to Combustion*, PP. 6-36 and 127-208, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New York, 1978.
- Gilbert,T., "Forms of Sulfur in Coal," *Chemistry of Coal Utilization (Lowry,H.H.,ed.)* Vol. 1, PP. 425-439, John Wiley & Son, New York, 1963.
- Gioia, F. and G. Mura, "Influence of catalysts on SO₂ control in Coal combustion with limestone," *International Chemical Engineering* , 20(3), 1980 : 458-465.
- Gullett B.K. and K.R. Bruce, Pove distribution changes of Calcium-based Sorbents Reacting with Sulfur Dioxide., *AIChE J.*, 33(10), 1989: 1719-1726.
- Hartman, M. and O. Trnka."Reactiona between calcium oxide and flue gas containg sulfur dioxide at lower temperature," *AIChE J.* 39, 1993: 615.
- _____. R.W.Coughlin, "Recation of slufur dioxide with limestone and the influence of pore structure," *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 13, 1974: 248-253.

- Hartman, M. and R.W. Coughlin, "Reaction of sulfur dioxide with limestone and the grain model," *AIChE Journal*, 22(3), 1976: 490-497.
- Hsia, C., G.R.St. Pierre and K. Raghunathan, "Diffusion through CaSO_4 formed during the reaction of CaO with SO_2 and O_2 ," *AIChE Journal*, 39(4), 1993: 698-700.
- Lallai, A., G. Mura, A. Viola, and F. Giodia, "Removal of sulfur during the combustion of coal by adding limestone," *International Chemical Engineering*, 19(3), 1979: 445-443.
- Meyer, R.A., *Coal Handbook*, 1st. ed., PP. 1-50, Marcel Dekker Ltd., New York, 1981.
- Mobley, J.D. and J.C.S. Chang, "The adipic acid entranced limestone flue gas desulfurization process," *Journal of the air pollution control association*, 31(12), 1981 : 1249-1253.
- Perry J. H., *Chemical Engineering* Handbook*, Mc-Graw-Hill, New York, 1975.
- Simons, G.A., A.R. Garman and A.A. Boni, "The kinetic rate of SO_2 sorption by CaO ," *AIChE Journal*, 33(2), 1987: 211-217.
- Slack, A.V., "Throwaway Process: Dry System," *Pollution control Reviw*e, Vol. 4, PP. 14-52, Noyes Data Corporation, New Jersey; 1971.
- Steinfeld, J.I., J.S. Francisco and W.L. HASE., Chemical kinetic and dynamics. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989.
- Supartipanish, S., Y. ukkakimapan, N. Pithchayokul, V. Tawaytibpong, J. Meesuk, and S. Krobbuaban, "Tertiary Coal in Thailand," *Abstr. Geology and Mineral Resources of Thailand*, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand , 1983.
- Van Nostrand's, *Scientific Encyclopedia*, P.820; Little Educational Publisher Inc., 5th ed., 1976.
- Williams, H., F.J. Turner and C.M. Gilbert, *Petrography: An Introduction to the study of Rocks in Thin Sections*, 2nd Edition, W.H. Freeman and Company, San Francisco 1982.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ธาตุในเถ้าสารดูดซับที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบด้วยเทคนิคทาง X-Ray Fluorescence Spectrometry ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer Model EDXRF XR-200 โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีดังแสดงในตารางที่ ก.1 - ก.3

ตารางที่ ก.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุในเถ้าเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารดูดซับตัวอย่างด้วยเทคนิคทาง X-Ray Fluorescence Spectrometry

	Lime(lab grade)	Lime(comm grade)	Limestone	Dolomite
Ca	70.939	69.834	70.619	52.112
Mg	0.226	0.555	<0.5	16.188
Fe	0.024	0.073	0.214	0.104
Si		0.317	0.354	<0.5
Al	0.074	0.075	0.046	<0.5
Mn			0.011	<0.5
Cu				0.024

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบออกไซด์ในเถ้าสารดูดซับตัวอย่างด้วยเทคนิคทาง X-Ray Fluorescence Spectrometry

เปอร์เซ็นต์ธาตุ	CaO(Lab.g)	CaO(Com.g)	Limestone	Dolomite
CaO	99.25	97.712	98.811	72.914
MgO	0.376	0.921	<0.5	26.842
Fe ₂ O ₃	0.035	0.104	0.410	0.199
SiO ₂		0.677	0.758	<0.5
Al ₂ O ₃	0.139	0.141	0.088	<0.5
MnO ₂			0.018	<0.5
CuO				0.029

หมายเหตุ ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและคำนวณผลให้อยู่ในรูปของออกไซด์ของธาตุนั้น

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการสูญเสียโดยน้ำหนักของสารดูดซับเนื่องจากการออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที

สารดูดซับตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย
CaO(Lab.g)	25.34
CaO(Com.g)	24.63
Limestone	41.52
Dolomite	44.66

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 การคำนวณหาองค์ประกอบออกไซด์ของสารดูดซับ

ข้อมูลที่ใช้จากตารางที่ ก.2, ก.3

สารดูดซับ Lime(lab.grade) : CaO 99.25 เทียบกับน้ำทั้งหมด

ร้อยละการสูญเสียจากการเผาไหม้ 25.34

ดังนั้นจะมี CaO อยู่ทั้งหมดเมื่อเทียบกับสารดูดซับ 100 กรัม = 0.9925×74.66 กรัม
= 74.11

คิดปริมาณ CaO เป็นร้อยละโดยน้ำหนักในสารดูดซับ = 74.11

ข.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาโดยใช้วิธีทางสถิติ

การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการทดลองรูปพิเศษที่มีการทดลองที่ใช้สิ่งทดลองพร้อมกันสองสิ่งขึ้นไป และต้องการศึกษาผลกระทบร่วมของสิ่งทดลองเหล่านั้นพร้อมกัน (interaction) เป็นสำคัญ

การวิเคราะห์ความแปรหนึ่งทางสำหรับการทดลองแบบแฟคทอเรียลสองสิ่งทดลอง
ตารางวิเคราะห์ดังนี้

แหล่งความคลาดเคลื่อน	df	SS	MS=SS/df	F
A	a-1	SS_a	MS_a	MS_a / MS_e
B	b-1	SS_b	MS_b	MS_b / MS_e
AB	(a-1)(b-1)	SS_{ab}	MS_{ab}	MS_{ab} / MS_e
Error	ab(n-1)	SS_e	MS_e	
Total	nab-1	SS_T		

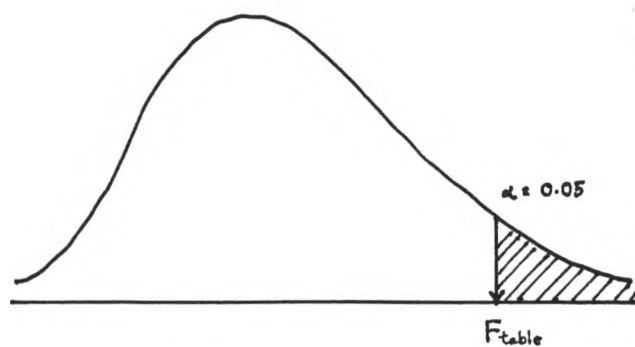
ในการพิจารณาว่าปัจจัยไหนมีผลต่อการขจัดจะพิจารณาดูที่ค่า F โดยค่า F ของปัจจัยต่างๆแสดงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า F ของปัจจัยต่างๆ

ปัจจัย	degree of freedom V_1, V_2	F_{table} ที่ $\alpha = 0.05$
SO ₂	2,12	3.88
Temp	3,12	3.49
SO ₂ *Temp	6,12	3.00

H₀ : ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันที่นัยสำคัญ 0.05 (ปัจจัยไม่มีผล)

H₁ : ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันที่นัยสำคัญ 0.05 (ปัจจัยมีผล)



หมายเหตุ : ถ้าค่า $F_{cal} > F_{table}$ ค่า F_{cal} จะตกอยู่ในขอบเขตวิกฤตซึ่งหมายถึงการปฏิเสธสมมติฐาน H₀ คือ ปัจจัยที่ศึกษามีผล

ข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาของสารดูดซับทั้ง 4 ชนิดแสดงในตารางที่ ข.2-ข.5

ข.3 การคำนวณทางจลนพลศาสตร์

C_{AO} = ความเข้มข้นของ SO₂ ในฟลูแก๊สขณะไม่มีสารดูดซับ, โมลต่อลิตร

C_A = ความเข้มข้นของ SO₂ ในฟลูแก๊สขณะมีสารดูดซับ, โมลต่อลิตร

R_{AO} = อัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาเริ่มต้น (initial reaction rate), โมลต่อลิตร.วินาที

ข้อมูลการทดลอง: สารดูดซับ Lime(lab.grade)

ปริมาณฟลูแก๊สที่ปล่อยออกมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

เวลา 5 นาที

ปริมาณ SO_2 ที่ปล่อยออกมาเมื่อไม่มีสารดูดซับ = $2.0500 \cdot 10^{-4}$ โมล

ปริมาณ SO_2 ที่ปล่อยออกมาเมื่อมีสารดูดซับ = $1.3709 \cdot 10^{-4}$ โมล

ปริมาณฟลูแก๊สทั้งหมดที่ปล่อยออกมาในเวลา 5 นาที = 2.5 ลิตร

ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} C_{\text{AO}} &= 2.0500 \cdot 10^{-4} / 2.5 \\ &= 0.82 \cdot 10^{-4} \quad \text{โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{A}} &= 1.3709 \cdot 10^{-4} / 2.5 \\ &= 0.5484 \cdot 10^{-4} \quad \text{โมลต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{AO}} &= (C_{\text{AO}} - C_{\text{A}}) / t \\ &= (0.82 \cdot 10^{-4} - 0.5484 \cdot 10^{-4}) / 300 \\ &= 0.9054 \cdot 10^{-7} \quad \text{โมลต่อลิตร วินาที} \end{aligned}$$

ข.4 ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมา

ข้อมูลการทดลอง: ไม่ใช้สารดูดซับ

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

เวลา 10 นาที

ครั้งที่ 1	M = ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้	= 0.05125	โมล/ลิตร
	V = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ดีเตรต	= 17.1	มิลลิลิตร
	B = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้เป็น Blank	= 1.2	มิลลิลิตร

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาซึ่งจับโดยสารละลาย H_2O_2 คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} S &= M \cdot (V - B) / 2000 \\ &= 0.05125 \cdot (17.1 - 1.2) / 2000 \end{aligned}$$

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาครั้งที่ 1 = $4.074 \cdot 10^{-4}$ โมล

ครั้งที่ 2	M = ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้	= 0.05125	โมล/ลิตร
	V = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ดีเตรต	= 17.3	มิลลิลิตร
	B = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้เป็น Blank	= 1.2	มิลลิลิตร

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาครั้งที่ 2 = $4.125 \cdot 10^{-4}$ โมล

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาเฉลี่ย = $4.10 \cdot 10^{-4}$ โมล

ข้อมูลการทดลอง: สารดูดซับ Lime(lab.grade)

ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
เวลา 10 นาที

ครั้งที่ 1
 $M = 0.05125$ โมล/ลิตร
 $V = 12.1$ มิลลิลิตร
 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาครั้งที่ 1 = $2.7931 \cdot 10^{-4}$ โมล
 ครั้งที่ 2
 $M = 0.05125$ โมล/ลิตร
 $V = 12.1$ มิลลิลิตร
 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาครั้งที่ 2 = $2.7931 \cdot 10^{-4}$ โมล
 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาเมื่อมีสารดูดซับเฉลี่ย = $2.7931 \cdot 10^{-4}$ โมล

ข.5 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับจับได้

ข้อมูลการทดลอง: สารดูดซับ Lime(lab.grade)

ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

เวลา 10 นาที

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สารดูดซับจับได้} &= (4.10 - 2.7931) \cdot 10^{-4} \text{ โมล} \\ &= 1.3069 \cdot 10^{-4} \text{ โมล} \end{aligned}$$

ข.6 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์ในสารดูดซับ

ข้อมูลการทดลอง: สารดูดซับ Lime(lab.grade) = 15.7852 มิลลิกรัม

ร้อยละโดยน้ำหนักของ CaO ในสารดูดซับ = 74.11

ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

เวลา 10 นาที

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ CaO ในสารดูดซับ} &= 0.7411 \cdot 15.7852 \cdot 10^{-3} / 56 \\ &= 2.0892 \cdot 10^{-4} \text{ โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์} &= 1.3069 \cdot 10^{-4} / 2.0892 \cdot 10^{-4} \\ &= 0.6255 \end{aligned}$$

ข.7 ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อแคลเซียมแมกนีเซียมออกไซด์ในสารดูดซับ

ข้อมูลการทดลอง: สารดูดซับ Lime(lab.grade) = 15.7852 มิลลิกรัม

ร้อยละโดยน้ำหนักของ CaO ในสารดูดซับ = 74.11

ร้อยละโดยน้ำหนักของ MgO ในสารดูดซับ = 0.28

ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในฟลูแก๊ส 2000 ppm

อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

เวลา 10 นาที

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณ CaO และ MgO ในสารดูดซับ} &= (0.7411 * 15.7852 * 10^{-3} / 56) + (0.0028 * 15.7852 * 10^{-3} / 40) \\ &= 2.1002 * 10^{-4} \text{ โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณซิลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์} &= 1.3069 * 10^{-4} / 2.1002 * 10^{-4} \\ &= 0.6223 \end{aligned}$$

ข.8 การเช็คอัตราเร็วของ mass flow meter

mass flow meter อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับความร้อนของแก๊สจำนวนโมเลกุลที่ผ่านและความจุความร้อนของแก๊สนั้น

$$\text{corrected flow} = \text{factor for actual gas} * \text{output reading}$$

factor เป็นค่าได้มาจากการทดสอบจากแหล่งผลิตและรับรองมาแล้ว ดังแสดงในตารางที่ ข.6

ในการทดลองใช้ mass flow meter ขนาด 50 sccm สำหรับแก๊สออกซิเจนและใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นตัวปรับเทียบดังนั้นสามารถคำนวณค่าที่ใช้เช็คที่ controller ได้

$$\text{จากตาราง : factor for actual gas O}_2 = 0.996$$

$$\text{factor for calibrated gas} = 1.000$$

$$\text{อัตราเร็วที่ต้องการ (collected flow)} = 31.5 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที}$$

$$\text{output reading} = 1.000 * 31.5 / 0.996$$

$$= 31.63$$

นั่นคือต้องเช็คให้แก๊สออกซิเจนไหลผ่าน mass flow meter ด้วยอัตราเร็ว 31.63 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ที่ 25 องศาเซลเซียสและ 760 มิลลิเมตรปรอท โดยอุณหภูมิและความดันห้องไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

ใช้ mass flow meter ขนาดเต็มสเกล 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที หน้าปัด controller เป็น 100

อัตราเร็ว 31.63 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที หน้าปัด controller เป็น 100 * 31.63/50 = 63.26 ดังนั้นการเช็คแก๊สออกซิเจนต้องให้หน้าปัด controller เป็น 63.26

ตารางที่ ๑.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Lime (lab.grade)

```
MTB > anova abs = so2|temp;
SUBC> means so2|temp.
```

Factor	Type	Levels	Values
so2	fixed	3	1000 2000 3000
temp	fixed	4	750 800 850 900

Analysis of Variance for abs

Source	DF	SS	MS	F	P
so2	2	0.0309686	0.0154843	27.76	0.000
temp	3	0.0178778	0.0059593	10.68	0.001
so2*temp	6	0.0042576	0.0007096	1.27	0.339
Error	12	0.0066943	0.0005579		
Total	23	0.0597984			

MEANS

so2	N	abs
1000	8	0.61637
2000	8	0.68370
3000	8	0.69910

temp	N	abs
750	6	0.62553
800	6	0.65810
850	6	0.68687
900	6	0.69507

so2	temp	N	abs
1000	750	2	0.60100
1000	800	2	0.61330
1000	850	2	0.62560
1000	900	2	0.62560
2000	750	2	0.63780
2000	800	2	0.67420
2000	850	2	0.69910
2000	900	2	0.72370
3000	750	2	0.63780
3000	800	2	0.68680
3000	850	2	0.73590
3000	900	2	0.73590

ตารางที่ ๓.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Lime (comm.grade)

```
MTB > anova abs = so2|temp;
SUBC> means so2|temp.
```

Factor	Type	Levels	Values
so2	fixed	3	1000 2000 3000
temp	fixed	4	750 800 850 900

Analysis of Variance for abs

Source	DF	SS	MS	F	P
so2	2	0.0093680	0.0046840	30.95	0.000
temp	3	0.0085580	0.0028527	18.85	0.000
so2*temp	6	0.0011135	0.0001856	1.23	0.358
Error	12	0.0018163	0.0001514		
Total	23	0.0208559			

MEANS

so2	N	abs
1000	8	0.40635
2000	8	0.44480
3000	8	0.45103

temp	N	abs
750	6	0.40740
800	6	0.42537
850	6	0.44897
900	6	0.45450

so2	temp	N	abs
1000	750	2	0.39080
1000	800	2	0.40320
1000	850	2	0.41570
1000	900	2	0.41570
2000	750	2	0.41570
2000	800	2	0.43230
2000	850	2	0.46560
2000	900	2	0.46560
3000	750	2	0.41570
3000	800	2	0.44060
3000	850	2	0.46560
3000	900	2	0.48220

ตารางที่ ๗.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Limestone

```
MTB > anova abs = so2|temp;
SUBC> means so2|temp.
```

Factor	Type	Levels	Values
so2	fixed	3	1000 2000 3000
temp	fixed	4	750 800 850 900

Analysis of Variance for abs

Source	DF	SS	MS	F	P
so2	2	0.0048943	0.0024472	14.58	0.001
temp	3	0.0108907	0.0036302	21.63	0.000
so2*temp	6	0.0003101	0.0000517	0.31	0.921
Error	12	0.0020144	0.0001679		
Total	23	0.0181095			

MEANS

so2	N	abs
1000	8	0.43843
2000	8	0.46068
3000	8	0.47293

temp	N	abs
750	6	0.42433
800	6	0.45400
850	6	0.47033
900	6	0.48070

so2	temp	N	abs
1000	750	2	0.40950
1000	800	2	0.43620
1000	850	2	0.44510
1000	900	2	0.46290
2000	750	2	0.42730
2000	800	2	0.45400
2000	850	2	0.48070
2000	900	2	0.48070
3000	750	2	0.43620
3000	800	2	0.47180
3000	850	2	0.48520
3000	900	2	0.49850

ตารางที่ ข.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับสารดูดซับ Dolomite

```
MTB > anova abs = so2|temp;
SUBC> means so2|temp.
```

Factor	Type	Levels	Values
so2	fixed	3	1000 2000 3000
temp	fixed	4	750 800 850 900

Analysis of Variance for abs

Source	DF	SS	MS	F	P
so2	2	0.144553	0.072276	214.57	0.000
temp	3	0.058933	0.019644	58.32	0.000
so2*temp	6	0.012490	0.002082	6.18	0.004
Error	12	0.004042	0.000337		
Total	23	0.220018			

MEANS

so2	N	abs
1000	8	0.53860
2000	8	0.66150
3000	8	0.72565

temp	N	abs
750	6	0.68440
800	6	0.68923
850	6	0.62657
900	6	0.56747

so2	temp	N	abs
1000	750	2	0.59280
1000	800	2	0.55670
1000	850	2	0.50610
1000	900	2	0.49880
2000	750	2	0.67960
2000	800	2	0.70850
2000	850	2	0.67960
2000	900	2	0.57830
3000	750	2	0.78080
3000	800	2	0.80250
3000	850	2	0.69400
3000	900	2	0.62530



ตารางที่ ๓.6 Gas conversion data

GAS	Symbol	Cp @ 21°C cal/gr (°C)	Density g/l @ 21°C	Cp @ 21°C cal/lit (°C)	Theor. Factor Cp Air/Cp Gas	GAS	Symbol	Cp @ 21°C cal/gr (°C)	Density g/l @ 21°C	Cp @ 21°C cal/lit (°C)	Theor. Factor Cp Air/Cp Gas
Acetylene	C ₂ H ₂	0.4022	1.0900	0.4385	0.658	Hydrogen Chloride	HCl	0.1935	1.5210	0.2943	0.980
Air		0.2402	1.2006	0.2883	1.000	Hydrogen Fluoride	HF	0.34	0.83	0.2822	1.02
Allene	C ₃ H ₄	0.3600	1.6990	0.6117	0.471	Hydrogen Iodide	HI	0.0570	5.3520	0.3054	0.344
Ammonia	NH ₃	0.5150	0.7160	0.3690	0.782	Hydrogen Selenide	H ₂ Se	0.1063	3.2570	0.3568	0.802
Argon	Ar	0.1246	1.5580	0.2066	1.396	Hydrogen Sulfide	H ₂ S	0.2469	1.4250	0.3521	0.819
Arsine	AsH ₃	0.1175	3.2320	0.3798	0.759	Isobutane	C ₄ H ₁₀	0.2945	2.4780	0.9778	0.295
Boron Trichloride	BCl ₃	0.1266	4.9460	0.6252	0.460	Isobutylene	C ₄ H ₈	0.3389	2.3280	0.9093	0.317
Boron Trifluoride	BF ₃	0.1766	2.8570	0.5045	0.571	Krypton	Kr	0.0600	3.4740	0.2084	1.283
1-3 Butadiene	C ₄ H ₆	0.2412	2.322	0.7924	0.384	Methane	CH ₄	0.5325	0.6660	0.3547	0.813
Butane	C ₄ H ₁₀	0.4070	2.5160	1.0216	0.282	Methyl Acetylene	C ₃ H ₄	0.354	1.666	0.5876	0.490
1-Butene	C ₄ H ₈	0.3693	2.3980	0.8956	0.325	Methylamine	C ₂ H ₅ N	0.3983	1.2370	0.5166	0.558
Carbon Dioxide	CO ₂	0.2042	1.8360	0.3749	0.769	Methyl Bromide	CH ₃ Br	0.1127	4.0280	0.4541	0.635
Carbon Monoxide	CO	0.2491	1.1610	0.2892	0.997	Methyl Chloride	CH ₃ Cl	0.1995	2.1420	0.4272	0.675
Carbonyl Fluoride	COF ₂	0.1699	2.7540	0.4679	0.616	Methyl Fluoride	CH ₃ F	0.2671	1.4350	0.3833	0.752
Carbonyl Sulfide	COS	0.1691	2.5180	0.4258	0.677	Methyl Mercaptan	CH ₃ S	0.2506	1.3930	0.4994	0.577
Chlorine	Cl ₂	0.1178	2.9700	0.3499	0.324	Neon	Ne	0.2461	0.8360	0.2058	1.401
Chlorine Trifluoride	ClF ₃	0.1639	3.8500	0.6310	0.457	Nitric Oxide	NO	0.2378	1.2450	0.3008	0.958
Cyanogen	C ₂ N ₂	0.2668	2.1810	0.5819	0.495	Nitrogen	N ₂	0.2485	1.1610	0.2885	1.000
Cyclopropane	C ₃ H ₆	0.3124	1.7450	0.5451	0.529	Nitrogen Dioxide*	NO ₂	0.1915	3.3940	0.6500	0.443
Deuterium	D ₂	1.7311	0.1671	0.2893	0.997		N ₂ O ₄	0.1995	3.3340	0.6770	0.425
Diborane	B ₂ H ₆	0.4884	1.1660	0.5695	0.507	Nitrogen Trioxide**	N ₂ O ₃				
Dichlorosilane	H ₂ SiCl ₂	0.1456	4.2250	0.6152	0.469	Nitrogen Trifluoride	NF ₃	0.1783	2.9500	0.5250	0.548
Dimethylamine	(CH ₃) ₂ NH	0.3623	1.9030	0.6895	0.418	Nitrous Oxide	N ₂ O	0.2087	1.8370	0.3834	0.752
Dimethyl Ether	(CH ₃) ₂ O	0.3364	1.9450	0.6543	0.441	Oxygen	O ₂	0.2182	1.3270	0.2896	0.995
Ethane	C ₂ H ₆	0.4186	1.2589	0.5270	0.547	Pentaborane	B ₅ H ₉	0.5648	2.8690	1.6206	0.178
Ethyl Chloride	C ₂ H ₅ Cl	0.2400	2.8330	0.7039	0.410	n-Pentane	C ₅ H ₁₂	0.4000	3.2900	1.3120	0.220
Ethylene	C ₂ H ₄	0.3673	1.1710	0.4301	0.670	Phosgene	COCl ₂	0.1396	4.1750	0.5828	0.495
Ethylene Oxide	C ₂ H ₄ O	0.2578	1.7890	0.4613	0.625	Phosphine	PH ₃	0.2603	1.4210	0.3699	0.779
Fluorine	F ₂	0.1978	1.5750	0.3115	0.925	Propane	C ₃ H ₈	0.3948	1.8620	0.7351	0.392
Fluoroform	CHF ₃	0.1734	2.9030	0.5034	0.573	Propylene	C ₃ H ₆	0.3584	1.7795	0.6378	0.452
Freon 11	CCl ₃ F	0.1410	5.9060	0.8328	0.346	Silane	SiH ₄	0.3190	1.3370	0.4266	0.576
Freon 12	CCl ₂ F ₂	0.1464	5.0350	0.7377	0.391	Silicon Tetrafluoride	SiF ₄	0.1581	4.2550	0.7321	0.394
Freon 13	CClF ₃	0.1539	4.3340	0.6670	0.432	Sulfur Dioxide	SO ₂	0.1484	2.7180	0.4035	0.714
Freon 13B1	CBrF ₃	0.1127	6.3770	0.7184	0.401	Sulfur Hexafluoride	SF ₆	0.1363	6.1410	0.9753	0.295
Freon 14	CF ₄	0.1649	3.6650	0.5044	0.477	Trimethylamine	(CH ₃) ₃ N	0.3674	2.5980	0.9544	0.202
Freon 22	CHClF ₂	0.1584	3.7330	0.5913	0.488	Tungsten Hexafluoride	WF ₆	0.0948	12.3470	1.1705	0.246
Freon 114	C ₂ Cl ₂ F ₄	0.1568	7.1220	1.1167	0.175	Uranium Hexafluoride	UF ₆	0.0790	14.6850	1.1601	0.249
Genetron 21	CHCl ₂ F	0.1473	4.2890	0.6317	0.456	Vinyl Bromide	C ₂ H ₃ Br	0.1226	4.5450	0.5618	0.513
Genetron 115	C ₂ ClF ₅	0.1631	6.6580	1.0859	0.265	Vinyl Chloride	C ₂ H ₃ Cl	0.2029	2.6560	0.5389	0.535
Germane	GeH ₄	0.1396	3.1770	0.4435	0.650	Vinyl Fluoride	C ₂ H ₃ F	0.2408	1.9180	0.4619	0.624
Helium	He	1.2412	0.1658	0.2058	1.401	Water Vapor	H ₂ O	0.4453	0.8206	0.3554	0.789
Hydrogen	H ₂	3.4110	0.0835	0.2847	1.013	Xenon	Xe	0.0383	5.4761	0.2097	1.375
Hydrogen Bromide	HBr	0.0879	3.765	0.2968	0.971						

ภาคผนวก ค

ข้อมูลและผลวิเคราะห์ที่ใช้ในการหาสมการอัตราเร็วเริ่มต้น

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Lime(lab.grade)

TEMP(°C)	C_{AO} 10(-4) mole	C_A 10(-4) mole	C_{AO} 10(-4) mole/l	C_A 10(-4) mole/l	$[-R_{AO}]$ 10(-7) mole/l	$\ln C_{AO}$	$\ln[-R_{AO}]$
750	1.1275	0.6919	0.4510	0.2768	0.5808	-10.0066	-16.6614
	2.0500	1.4734	0.8200	0.5894	0.7687	-9.4088	-16.3811
	3.2800	2.6394	1.3120	1.0558	0.8542	-8.9388	-16.2757
800	1.1275	0.6791	0.4510	0.2716	0.5979	-10.0066	-16.6324
	2.0500	1.3709	0.8200	0.5484	0.9054	-9.4088	-16.2175
	3.2800	2.5369	1.3120	1.0148	0.9908	-8.9388	-16.1273
850	1.1275	0.6663	0.4510	0.2665	0.6150	-10.0066	-16.6042
	2.0500	1.3069	0.8200	0.5228	0.9908	-9.4088	-16.1273
	3.2800	2.4600	1.3120	0.9840	1.0933	-8.9388	-16.0289
900	1.1275	0.6406	0.4510	0.2563	0.6492	-10.0066	-16.5502
	2.0500	1.2556	0.8200	0.5023	1.0592	-9.4088	-16.0606
	3.2800	2.3831	1.3120	0.9533	1.1958	-8.9388	-15.9393

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Lime(comm.grade)

TEMP(°C)	C_{AO} 10(-4) mole	C_A 10(-4) mole	C_{AO} 10(-4) mole/l	C_A 10(-4) mole/l	$[-R_{AO}]$ 10(-7)mole/l	$\ln C_{AO}$	$\ln[-R_{AO}]$
750	1.1275	0.7559	0.4510	0.3024	0.4954	-10.0066	-16.8205
	2.0500	1.4991	0.8200	0.5996	0.7346	-9.4088	-16.4265
	3.2800	2.7163	1.3120	1.0865	0.7517	-8.9388	-16.4036
800	1.1275	0.7431	0.4510	0.2973	0.5125	-10.0066	-16.7866
	2.0500	1.4350	0.8200	0.5740	0.8200	-9.4088	-16.3165
	3.2800	2.6394	1.3120	1.0558	0.8542	-8.9388	-16.2757
850	1.1275	0.6919	0.4510	0.2768	0.5808	-10.0066	-16.6614
	2.0500	1.3325	0.8200	0.5330	0.9567	-9.4088	-16.1624
	3.2800	2.5113	1.3120	1.0045	1.0250	-8.9388	-16.0934
900	1.1275	0.7175	0.4510	0.2870	0.5467	-10.0066	-16.7220
	2.0500	1.3325	0.8200	0.5330	0.9567	-9.4088	-16.1624
	3.2800	2.5113	1.3120	1.0045	1.0250	-8.9388	-16.0934

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Limestone

TEMP(°C)	C_{AO} 10(-4) mole	C_A 10(-4) mole	C_{AO} 10(-4) mole/l	C_A 10(-4) mole/l	$[-R_{AO}]$ 10(-7)mole/l	$\ln C_{AO}$	$\ln[-R_{AO}]$
750	1.1275	0.7431	0.4510	0.2973	0.5125	-10.0066	-16.7866
	2.0500	1.5759	0.8200	0.6304	0.6321	-9.4088	-16.5768
	3.2800	2.7419	1.3120	1.0968	0.7175	-8.9388	-16.4501
800	1.1275	0.7303	0.4510	0.2921	0.5296	-10.0066	-16.7538
	2.0500	1.4478	0.8200	0.5791	0.8029	-9.4088	-16.3376
	3.2800	2.6522	1.3120	1.0609	0.8371	-8.9388	-16.2959
850	1.1275	0.6919	0.4510	0.2768	0.5808	-10.0066	-16.6614
	2.0500	1.3966	0.8200	0.5586	0.8712	-9.4088	-16.2559
	3.2800	2.5625	1.3120	1.0250	0.9567	-8.9388	-16.1624
900	1.1275	0.6278	0.4510	0.2511	0.6663	-10.0066	-16.5242
	2.0500	1.3069	0.8200	0.5228	0.9908	-9.4088	-16.1273
	3.2800	2.4344	1.3120	0.9738	1.1275	-8.9388	-15.9981

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองที่ใช้หาสมการอัตราเร็วและค่าพารามิเตอร์ของสารดูดซับ Dolomite

TEMP(°C)	C_{AO} 10(-4) mole	C_A 10(-4) mole	C_{AO} 10(-4) mole/l	C_A 10(-4) mole/l	$[-R_{AO}]$ 10(-7)mole/l	$\ln C_{AO}$	$\ln[-R_{AO}]$
750	1.1275	0.3203	0.4510	0.1281	1.0763	-10.0066	-16.0446
	2.0500	0.9225	0.8200	0.3690	1.5033	-9.4088	-15.7140
	3.2800	2.0628	1.3120	0.8251	1.6229	-8.9388	-15.6339
800	1.1275	0.2947	0.4510	0.1179	1.1104	-10.0066	-16.0134
	2.0500	0.9225	0.8200	0.3690	1.5033	-9.4088	-15.7140
	3.2800	2.0244	1.3120	0.8098	1.6742	-8.9388	-15.6028
850	1.1275	0.4228	0.4510	0.1691	0.9396	-10.0066	-16.1804
	2.0500	1.0250	0.8200	0.4100	1.3667	-9.4088	-15.8057
	3.2800	2.1269	1.3120	0.8508	1.5375	-8.9388	-15.6879
900	1.1275	0.5253	0.4510	0.2101	0.8029	-10.0066	-16.3376
	2.0500	1.1275	0.8200	0.4510	1.2300	-9.4088	-15.9111
	3.2800	2.2550	1.3120	0.9020	1.3667	-8.9388	-15.8057

ผลการวิเคราะห์หาค่าคงที่ต่างๆ โดยโปรแกรม MINITAB บน MICROSOFT WINDOW
แสดงดังตารางที่ ค.5-ค.8

ตารางที่ ค.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Lime(lab.grade)

The regression equation is

$$\ln[-RAo] = - 9.77 + 0.496 \ln[CAo] - 2024 \ 1/T$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-9.7687	0.6958	-14.04	0.000
ln[CAo]	0.49556	0.05453	9.09	0.000
1/T	-2023.9	511.3	-3.96	0.003

s = 0.08255 R-sq = 91.6% R-sq(adj) = 89.7%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	2	0.66945	0.33472	49.12	0.000
Error	9	0.06133	0.00681		
Total	11	0.73077			

SOURCE	DF	SEQ SS
ln[CAo]	1	0.56268
1/T	1	0.10676

ตารางที่ ค.6 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Lime(comm.grade)

The regression equation is

$$\ln[-RAo] = - 9.75 + 0.511 \ln[CAo] - 2005 \ 1/T$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-9.7499	0.9651	-10.10	0.000
ln[CAo]	0.51101	0.07564	6.76	0.000
1/T	-2004.8	709.2	-2.83	0.020

s = 0.1145 R-sq = 85.6% R-sq(adj) = 82.4%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	2	0.70309	0.35154	26.82	0.000
Error	9	0.11797	0.01311		
Total	11	0.82106			

SOURCE	DF	SEQ SS
ln[CAo]	1	0.59833
1/T	1	0.10475

ตารางที่ ค.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Limestone

The regression equation is

$$\ln[-RAo] = - 9.54 + 0.434 \ln[CAo] - 3036 1/T$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-9.5407	0.6131	-15.56	0.000
ln[CAo]	0.43361	0.04804	9.03	0.000
1/T	-3035.7	450.5	-6.74	0.000

s = 0.07273 R-sq = 93.4% R-sq(adj) = 91.9%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	2	0.67098	0.33549	63.43	0.000
Error	9	0.04760	0.00529		
Total	11	0.71858			

SOURCE	DF	SEQ SS
ln[CAo]	1	0.43080
1/T	1	0.24018

ตารางที่ ค.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราเร็วสำหรับสารดูดซับ Dolomite

The regression equation is

$$\ln[-RAo] = - 13.4 + 0.440 \ln[CAo] + 1841 1/T$$

Predictor	Coef	Stdev	t-ratio	p
Constant	-13.3957	0.6652	-20.14	0.000
ln[CAo]	0.43966	0.05213	8.43	0.000
1/T	1840.6	488.8	3.77	0.004

s = 0.07891 R-sq = 90.5% R-sq(adj) = 88.3%

Analysis of Variance

SOURCE	DF	SS	MS	F	p
Regression	2	0.53120	0.26560	42.65	0.000
Error	9	0.05604	0.00623		
Total	11	0.58725			

SOURCE	DF	SEQ SS
ln[CAo]	1	0.44290
1/T	1	0.08830



ประวัติผู้เขียน

นาย วัชรศักดิ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2534 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2535