

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กองข้อมูลเชื้อเพลิงแข็ง ส่วนสำรวจแหล่งเชื้อเพลิงแข็ง ธรรมชาติและคุณสมบัติของถ่านหิน กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2537.
- กัญจนา บุญยเกียรติ. เชื้อเพลิงและการเผาไหม้. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- จิตทิน พัฒนาการ และ ประภากร เจริญวิภาสเจต. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากดินขาว. โครงการงานวิจัยปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.
- ธีรชาติ รื่นไกรฤกษ์. ซีโอไลต์ออยกับงานอุตสาหกรรม ประโยชน์ของกากของเสียจากโรงงานไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2526.
- ฝ่ายประชาชน��ค. ไฟฟ้ากับการพัฒนาถ่านหินลิกไนต์. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2528.
- มนตรี ทองคำ. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากถ่านหิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- รุ่งระวี ยิ่งยวด และ นิสาชล ชินพันธ์. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากดินขาว. โครงการงานวิจัยปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.
- รายงานกิจกรรม กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. การศึกษาทดลองทำหินปูนซีเมนต์ถ่านหิน. 51, 2536.
- วิจิตต์จรรยา สรรพกิจจำนง, ธนศักดิ์ ฝักระโทก และ บุญเลิศ พัดจวี. ถ่านหินในงานทาง. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงคมนาคม, 2526.
- วิชาญ ภูพัฒน์. การใช้ซีโอไลต์ในงานผลิตปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์. กรุงเทพมหานคร : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2526.
- สมชาย ไอสวรรณ. จลนพลศาสตร์วิศวกรรมเคมี. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533.
- สุนีย์ ผู้มีธรรม และ วิไลรัตน์ ศิริอดุลย์. การสังเคราะห์ซีโอไลต์จากดินขาว. โครงการงานวิจัยปริญญาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
- อติชา ฉายสุวรรณ, วรินทร์ ชวศิริ และ วิมลรัตน์ ตระการพฤกษ์. แคตตาลิสต์ในโพรงซีโอไลต์ว้ายสำหรับการออกซิเดชันสารประกอบไฮโดรเจน. เอกสารโครงการวิจัย ทูลอดหนุนการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์งบประมาณปี 2540 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ฉนิรุทธ์ ธงไทย.การใช้ประโยชน์ที่ถ้ำลอยในงานวิศวกรรม.เอกสารการประชุมวิชาการครั้งที่ 3
เทคโนโลยีสำหรับการพัฒนาชนบท. ขอนแก่น, 2528.

ภาษาอังกฤษ

Atakul H., J. Peter Wakker, Albert W. Gerritsen and Pieter J. van den Berg. Removal of H₂S from fuel gases at high temperatures using MnO/γ-Al₂O₃. Fuel, 74, 1995, p.187-191.

Atimtay A.T. and Susan L. Littlefield. The Use of Zinc Oxide Sorbents to Removal Hydrogen Sulfide from Coal Gases. American Chem. Div. Fuel Chem, 32, 1987, p.526-533.

Breck D.W. Zeolite Molecular Sieve : Structure, Chemistry and Use. New York : Wiley, 1974.

Cariaso O., PhD thesis, Pennsylvania State Univ., 1972.

Douglas A.S., Donald M.W. and James F.H. Fundamentals of Analytical Chemistry (5th ed) Philadelphia : Saunders College Publishing, 1988.

Dyer A. An Introduction to Zeolites Molecular Sieve. New York : John Wiley & Sons , 1988.

Gangwal S.K., Stogner J.M. and Harkins S.M. Testing of Novel Sorbent for H₂S Removal from Coal Gas. Environmental Progress, 8, No.1, 1989, p.26-34.

Garea A., Viguri J.R. and Irabien J.A. Desulfurization Rate at low Temperature Using Calcium Hydroxide and Fly Ash. Coal Science, 1995, p.1863-1866.

Gasper-Galvin L.D. Zeolite-Supported Metal Oxide Sorbents for Hot-Gas Desulfurization. Ind. Eng. Chem. Res, 37, 1998, p. 4157-4166.

Hollman G.G., Steenbruggen G. and Janssen-Jurkovicova M. A two-step process for the synthesis of zeolites from coal fly ash. Fuel, 78, 1999, p.1225-1230.

Levenspiel O. Chemical Reaction Engineering (2nd ed) Singapore : John Wiley & Sons , 1972.

Lin S.Y., Al-Shawabkeh A., Horio M., Matsuda H. and Hasatani M. Reaction of Hydrogen Sulfide with Limestone Particles. Coal Science, 1995, p.1891-1894.

Querol, X., Plana F., Alastuey A., Lopezsoler A., Andres J.M., Juan R., Ferrer P. and Ruiz C.R. A fast method for recycling fly ash : Microwave-assisted zeolite synthesis. Environmental Science & Technology, 9, 1997, p. 2527-2533.

- Sang Cheol Paik and Jong Shik Chung. Selective hydrogenation of SO₂ to elemental sulfur over transition metal sulfides supported on Al₂O₃. Applied Catalysis, 8, 1996, p.267-279.
- Satterfield C.N. Heterogeneous Catalysis in Practice. New York : McGraw Hill ,1980.
- Sreeramamurthy R. and Menon P.G. Journal of Catalysis., 37, 1975.
- Srinivasan A. and Grutzeck M.W. The Adsorption of SO₂ by Zeolites Synthesized from Fly Ash. Environmental Science & Technology, 33, 1999, p.1464-1469.
- Steijns M., Derks F., Verloop A. and Mars P. The Mechanism of the Catalytic Oxidation of Hydrogen Sulfide. Journal of Catalysis., 42, 1976, p.87-95.
- Young-Soo Lee, Hee Taik Kim and Kyong-Ok Yoo. Effect of Ferric Oxide on the High-Temperature Removal of Hydrogen Sulfide over ZnO-Fe₂O₃ Mixed Metal Oxide Sorbent. Ind. Eng. Chem. Res., 34, 1995, p.1181-1188.



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การหาปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Douglas A.S., 1988)

เครื่องมือ

ขวดแก้วรูปชมพู่ บิวเรต ปิเปต เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง ORION รุ่น 240 A

สารเคมี

- ก. น้ำกลั่น
- ข. สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.01 M
- ค. สารละลาย CdCl₂ ความเข้มข้น 0.05 M
- ง. Methyl red indicator

วิธีการทดลอง

- นำสารละลายเกินพอ 0.05 M CdCl₂ ที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เทรวมกัน
ล้างขวดด้วยน้ำกลั่น เพื่อให้กรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดลงมาวมกัน

- หยด methyl red เป็น indicator

- ไตเตรตด้วยสารละลาย 0.01 M NaOH สารละลายสีเปลี่ยนจากแดง pH4.4 ไปเป็น
เหลือง pH6.2 ตรวจสอบ pH อีกครั้งด้วยเครื่อง pH meter ให้ได้ค่าประมาณ pH7

- นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากสมการ



จาก (2n) ได้สมการที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

$$\text{mole NaOH} \equiv \text{mole H}_3\text{O}^+ \equiv 0.5 * (\text{mole H}_2\text{S}) \quad (3\text{n})$$

เมื่อ mole NaOH = จำนวนโมลสารละลาย NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยา (โมล)

mole H₃O⁺ = จำนวนโมลสารละลาย H₃O⁺ ที่เกิดขึ้น (โมล)

mole H₂S = จำนวนโมล H₂S ที่ถูกดักจับด้วยสารละลาย CdCl₂ มากเกินพอ

ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถัง โดยใช้สารละลายมาเกนพของ CdCl_2 0.05 M ปริมาตร 150 ml ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 10 นาที

ชนิดของแก๊ส	อัตราการไหล (ml/min)	ปริมาณ NaOH 0.01 M ที่ใช้ไตเตรต (ml)	ความเข้มข้น (% โดยโมล)
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	9.86	33.4	4.18
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	10.02	33.9	4.19
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	9.83	33.4	4.19
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	9.93	33.6	4.17
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	9.97	33.9	4.20
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.4	0	0

ตัวอย่างการคำนวณ : ข้อมูลแรก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการไหลของแก๊สจากถัง (ที่ STP)} &= \frac{9.86 \text{ ml} \mid 10 \text{ min} \mid 273 \text{ K}}{1 \text{ min} \mid \mid 300 \text{ K}} \\ &= 89.73 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลแก๊สจากถัง} &= \frac{89.73 \text{ ml} \mid 1 \text{ gmol} \mid 1 \text{ liter}}{22.414 \text{ liter} \mid 1000 \text{ ml}} \\ &= 4.0 \times 10^{-3} \text{ gmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \text{จำนวนโมล } \text{H}_3\text{O}^+ \text{ ที่เกิดขึ้น} &= \text{จำนวนโมล NaOH ที่เข้าทำปฏิกิริยา} \\ &= \frac{(0.01 \text{ gmol}) \mid 1 \text{ liter} \mid 33.4 \text{ ml}}{1 \text{ liter} \mid (1000 \text{ ml})} \end{aligned}$$

$$= 3.34 \times 10^{-4} \text{ gmol}$$

คำนวณหาปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากสมการ (3ก)

$0.5 \times (\text{จำนวนโมล } \text{H}_3\text{O}^+ \text{ ที่เกิดขึ้น}) = \text{จำนวนโมล } \text{H}_2\text{S} \text{ ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลาย } \text{CdCl}_2 \text{ เกินพอ}$

จำนวนโมล H_2S ที่อยู่ในสารละลาย $\text{CdCl}_2 = 1.67 \times 10^{-4} \text{ gmol}$

ดังนั้น % แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถัง = $\frac{1.67 \times 10^{-4} \text{ gmol}}{4.0 \times 10^{-3} \text{ gmol}} \times 100$

$$= 4.18\%$$

ทั้งนี้จากการทดสอบให้เฉพาะแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุดที่ใช้ในการทดลอง คือ 0.4 มิลลิลิตร

ต่อเวลาที่ไหลผ่าน พบว่าไม่มีผลต่อการไตเตรตกับสารละลาย NaOH 0.01 M.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การหาความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแก๊สผสม

ข้อมูลการทดลอง : อัตราการไหลแก๊สผสม 100 มิลลิลิตรต่อนาที

อุณหภูมิการทดลอง 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ

การผ่านแก๊สเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลาย CdCl_2 เกินพอ 0.05 M 150 ml เป็นเวลา 10 นาที

ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่คำนวณจากความเข้มข้นที่ระบุโดยผู้ผลิต (% โดยโมล)	ปริมาณ NaOH 0.01 M ที่ใช้ไตเตรต (ml)	ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ (% โดยโมล)
0.314	29.5	0.314 ± 0.049
	28.5	
0.236	21.0	0.236 ± 0.023
	20.6	
0.157	13.9	0.157 ± 0.014
	13.7	
0.079	7.2	0.079 ± 0.010
	6.9	

ตัวอย่างการคำนวณ : ข้อมูลแรก

$$\text{ปริมาณการไหลแก๊สผสม (ที่ STP)} = \frac{100 \text{ ml} \mid 10 \text{ min} \mid 273 \text{ K}}{1 \text{ min} \mid \mid 300 \text{ K}}$$

$$= 910 \text{ ml}$$

$$\text{จำนวนโมลแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์} = \frac{910 \text{ ml} \mid 1 \text{ gmol} \mid 1 \text{ liter}}{22.414 \text{ liter} \mid 1000 \text{ ml}}$$

$$= 4.06 \times 10^{-2} \text{ gmol}$$

จาก จำนวนโมล H_3O^+ ที่เกิดขึ้น = จำนวนโมล NaOH ที่เข้าทำปฏิกิริยา

$$= \frac{(0.01 \text{ gmol}) \mid 1 \text{ liter} \mid 29.5 \text{ ml}}{1 \text{ liter} \mid (1000 \text{ ml})}$$

$$= 2.95 \times 10^{-4} \text{ gmol}$$

$0.5 \times (\text{จำนวนโมล } \text{H}_3\text{O}^+ \text{ ที่เกิดขึ้น}) = \text{จำนวนโมล } \text{H}_2\text{S} \text{ ที่อยู่ในสารละลาย } \text{CdCl}_2 \text{ มากเกินพอ}$

$\text{จำนวนโมล } \text{H}_2\text{S} \text{ ที่อยู่ในสารละลาย } \text{CdCl}_2 = 1.475 \times 10^{-4} \text{ gmol}$

$$\% \text{ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแก๊สผสม} = \frac{(1.475 \times 10^{-4} \text{ gmol})}{(4.06 \times 10^{-2} \text{ gmol})} \times 100$$

$$= 0.363 \%$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตาราง ค.1 แสดงข้อมูลการศึกษาแก๊สมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเคลาส์ อุณหภูมิที่ใช้ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจ็อบางด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณแกลลอลยลิกไนต์ที่ใช้ 0.5 กรัม

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
FA1	200	29.5	13.6
FA2	200	28.5	12.3
FB1	300	28.7	10.6
FB2	300	28.5	9.5
FC1	400	29.1	8.7
FC2	400	29.1	9.1
FD1	500	28.7	6.9
FD2	500	28.7	7.0
FE1	600	28.9	6.0
FE2	600	28.7	6.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค2 แสดงข้อมูลการศึกษากัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเคลาส์ อุณหภูมิที่ใช้ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจ็อบางด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณซาบาไซท์ที่ใช้ 0.5 กรัม

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	29.5	8.8
CA2	200	29.1	8.6
CB1	300	28.7	8.6
CB2	300	28.9	8.4
CC1	400	28.9	7.6
CC2	400	28.9	7.9
CD1	500	28.7	6.0
CD2	500	28.9	6.2
CE1	600	28.9	4.4
CE2	600	28.7	5.1

ตาราง ค3 แสดงข้อมูลการศึกษากัมมันตภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของเคลาส์ อุณหภูมิที่ใช้ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจ็อบางด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณซีโอไลต์พีที่ใช้ 0.5 กรัม

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
ZA1	200	29.3	9.6
ZA2	200	28.5	9.7
ZB1	300	29.3	8.8
ZB2	300	28.7	8.8
ZC1	400	28.9	8.4
ZC2	400	28.9	8.2
ZD1	500	28.9	6.4
ZD2	500	28.9	6.8
ZE1	600	29.5	4.8
ZE2	600	28.7	4.7

ตาราง ค4 แสดงข้อมูลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนกับอัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักของซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนแก๊สผสม ช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่ ความดัน 1 บรรยากาศ ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และความเข้มข้นแก๊ส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจือจางด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณซาบาไซต์ที่ใช้ 0.2 กรัม

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	28.7	18.7
CA2	200	28.5	18.9
CB1	300	28.5	17.8
CB2	300	28.5	18.1
CC1	400	28.5	16.5
CC2	400	28.5	16.5
CD1	500	28.7	16.0
CD2	500	28.7	16.2
CE1	600	28.5	14.4
CE2	600	28.9	14.7

ตาราง ค5 แสดงข้อมูลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนกับอัตราส่วนระหว่าง น้ำหนักของซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนแก๊สผสม ช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่ ความดัน 1 บรรยากาศ ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และความเข้มข้นแก๊ส ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจือจางด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่ออนาที ปริมาณซาบาไซต์ที่ใช้ 0.1 กรัม

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	28.7	22.6
CA2	200	28.5	22.9
CB1	300	28.5	22.1
CB2	300	28.5	21.5
CC1	400	28.5	20.2
CC2	400	28.5	19.8
CD1	500	28.5	18.8
CD2	500	28.5	18.9
CE1	600	28.5	17.9
CE2	600	28.5	18.3

ตาราง ค6 แสดงข้อมูลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการเปลี่ยนแปลงกับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนแก๊สผสม ช่วงอุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล และความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล เจือจางด้วยแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาณซาบาไซต์ที่ใช้ 0.05 กรัม

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	28.5	26.3
CA2	200	28.5	26.2
CB1	300	28.7	25.9
CB2	300	28.5	25.6
CC1	400	28.5	24.9
CC2	400	28.5	24.7
CD1	500	28.5	23.9
CD2	500	28.5	23.7
CE1	600	28.7	23.7
CE2	600	28.5	23.3

ตาราง ค7 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.236% โมล กับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 0.3% โมล ที่ใช้ในการศึกษาอัตราการทำปฏิกิริยา หาค่าพลังงานกระตุ้นและอันดับปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนแก๊สผสมที่ 5×10^{-4} กรัม-นาที่-มิลลิลิตร⁻¹

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	20.6	19.1
CA2	200	20.6	18.9
CB1	300	20.8	18.9
CB2	300	20.6	18.7
CC1	400	20.8	18.4
CC2	400	20.6	18.2
CD1	500	20.6	17.4
CD2	500	20.8	17.6
CE1	600	20.8	17.2
CE2	500	21.0	17.4

ตาราง ค8 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.157% โมล กับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 0.2% โมล ที่ใช้ในการศึกษาอัตราการทำปฏิกิริยา หาค่าพลังงานกระตุ้นและอันดับปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนแก๊สผสมที่ 5×10^{-4} กรัม-นาที่-มิลลิลิตร⁻¹

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	13.9	12.8
CA2	200	13.7	12.6
CB1	300	13.9	12.4
CB2	300	13.9	12.4
CC1	400	13.9	12.1
CC2	400	13.7	11.8
CD1	500	13.9	11.6
CD2	500	13.7	11.5
CE1	600	13.9	11.4
CE2	600	13.7	11.3

ตาราง ค9 แสดงข้อมูลความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.079% โมล กับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 0.1% โมล ที่ใช้ในการศึกษาอัตราการทำปฏิกิริยา หาค่าพลังงานกระตุ้นและอันดับปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 200 ถึง 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของซาบาไซต์ต่ออัตราการป้อนแก๊สผสมที่ 5×10^{-4} กรัม-นาที่-มิลลิลิตร⁻¹

การทดลอง	อุณหภูมิ (°C)	NaOH 0.01 M เริ่มต้น (ml)	NaOH 0.01 M หลังทำปฏิกิริยา (ml)
CA1	200	7.2	6.4
CA2	200	6.9	6.2
CB1	300	7.2	6.3
CB2	300	7.2	6.3
CC1	400	6.9	5.8
CC2	400	6.9	5.8
CD1	500	6.9	5.6
CD2	500	7.2	5.8
CE1	600	6.9	5.5
CE2	600	6.9	5.5

ภาคผนวก ง

แสดงตัวอย่างการคำนวณ

คำนวณค่าการเปลี่ยน (X_{H_2S})

$$X_{H_2S} = \frac{C_{H_2S,o} - C_{H_2S}}{C_{H_2S,o}} \quad (1ง)$$

เมื่อ $C_{H_2S,o}$ คือ ความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เริ่มต้น (mol)

C_{H_2S} คือ ความเข้มข้นที่คงที่ของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อเวลาผ่านไป (mol)

ตัวอย่างการคำนวณของการทดลอง FA1 ตาราง ค1

สารตั้งต้นภายในเบต : แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์

ความเข้มข้นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.314% โมล

ความเข้มข้นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 0.4% โมล

อุณหภูมิการทดลอง 200 องศาเซลเซียส

การผ่านแก๊สเข้าทำปฏิกิริยากับสารละลาย $CdCl_2$ เกินพอ 0.05 M 150 ml เป็นเวลา 10 นาที

คำนวณหาปริมาณแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากสมการ



จาก (3ง)

- ปริมาณ NaOH 0.01 M ที่ได้เตร็ดได้เข้าเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 29.5 ml

จำนวนโมล H_3O^+ ที่เกิดขึ้น = จำนวนโมล NaOH ที่เข้าทำปฏิกิริยา

$$= \frac{(0.01 \text{ mol})}{1 \text{ liter}} \times \frac{1 \text{ liter}}{(1000 \text{ ml})} \times 29.5 \text{ ml}$$

$$= 2.95 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$0.5 \times (\text{จำนวนโมล } H_3O^+ \text{ ที่เกิดขึ้น}) = \text{จำนวนโมล } H_2S \text{ ที่อยู่ในสารละลาย } CdCl_2 \text{ มากเกินพอ}$

จำนวนโมล H_2S เข้าเครื่องปฏิกรณ์ = $14.75 \times 10^{-5} \text{ mol}$

- ปริมาณ NaOH 0.01 M ที่ไตเตรตได้หาออกเครื่องปฏิกรณ์เท่ากับ 13.6 ml

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมล } \text{H}_3\text{O}^+ \text{ ที่เกิดขึ้น} &= \text{จำนวนโมล NaOH ที่เข้าทำปฏิกิริยา} \\ &= \frac{(0.01 \text{ mol})}{1 \text{ liter}} \times \frac{1 \text{ liter}}{(1000 \text{ ml})} \times 13.6 \text{ ml} \\ &= 1.36 \times 10^{-4} \text{ mol} \end{aligned}$$

จำนวนโมล H_2S หาออกเครื่องปฏิกรณ์ = $6.8 \times 10^{-5} \text{ mol}$

ดังนั้น $C_{\text{H}_2\text{S},0} = 14.75 \times 10^{-5} \text{ mol}$

$$C_{\text{H}_2\text{S}} = 6.8 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

แทนค่า $C_{\text{H}_2\text{S},0}$ และ $C_{\text{H}_2\text{S}}$ ลงใน (1ง) จะได้

$$\begin{aligned} X_{\text{H}_2\text{S}} &= \frac{(14.75 - 6.8) \times 10^{-5}}{14.75 \times 10^{-5}} \\ &= 0.539 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ๑

รายละเอียดเพิ่มเติม

ตารางแสดงสมบัติของซาบาไนด์ (Breck D.W., 1974)

Structure Group:	4
Reference:	143, 150, 152, 178
Chemical Composition	
Typical Oxide Formula:	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot 6.5 \text{H}_2\text{O}$
Typical Unit Cell Contents:	$\text{Ca}_2 [(\text{AlO}_2)_4 (\text{SiO}_2)_4] \cdot 13 \text{H}_2\text{O}$
Variations:	Na,K; Si/Al = 1.6–3
Crystallographic Data	
Symmetry:	Rhombohedral Density: 2.05–2.10 g/cc
Space Group:	$R\bar{3}m$ Unit Cell Volume: 822 Å ³
Unit Cell Constants:	a = 9.42 Å X-Ray Powder Data: Table 3.7 β = 94°28'
Hexagonal,	a = 13.78; c = 15.06
Structural Properties	
Framework: Stereo 2.19	Configuration of D6R units in sequence ABCABC linked by tilted 4-rings
SBU:	D6R Void volume: 0.47 cc/cc
Cage type:	Ellipsoidal. Framework density: 1.45 g/cc 6.7 x 10 Å
Channel System: Fig. 2.29a	Three-dimensional
Hydrated–	
Free Apertures:	8-rings, 3.7 x 4.2 Å 6-rings, 2.6 Å
Cation Locations:	Coordinated with 4 H ₂ O in the cavity
Dehydrated–	
Free Apertures:	3.1 x 4.4 Å
Cation Locations:	0.6 Ca ²⁺ in S _I ; 0.35 Ca ²⁺ in S _{II} ; 1/16 Ca ²⁺ in S _{III}
Effect of Dehydration:	Some framework distortion
Location of H ₂ O Molecules:	In cavities, 5 per Ca ²⁺ ion
Largest Molecule Adsorbed:	n-paraffin hydrocarbons
Kinetic Diameter, σ, Å:	4.3

ตารางแสดงสมบัติซีโอไลต์พี (Breck D.W., 1974)

Structure Group:	1		
Reference:	77-80, 206		
Chemical Composition			
Typical Oxide Formula:	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2.0-5.0 \text{SiO}_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$		
Typical Unit Cell Contents:	$\text{Na}_6 [(\text{AlO}_2)_6 (\text{SiO}_2)_{10}] \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$		
Variations:	Si/Al = 1.1 to 2.5		
Crystallographic Data			
Symmetry:	Near Cubic	Density:	2.01 g/cc
Space Group:	14/amd	Unit Cell Volume:	1015 Å ³
Unit Cell Constants:	a = 10.05 Å	X-Ray Powder Data:	Tables 4.74, 4.75
Structural Properties			
Framework:	Stereo 2.6	Same as gismondine	
SBU:	S4R	Void volume:	0.41 cc/cc
		Framework density:	1.57 g/cc
Channel System:	Fig. 2.30b	Three-dimensional, to a and to b	
Hydrated--			
Free Apertures:		Distorted 8-rings, 3.1 x 4.4 Å and 2.8 x 4.9 Å	
Cation Locations:		Coordinated to H ₂ O at channel intersections	
Dehydrated--			
Free Apertures:		~ 2.6	
Cation Locations:		Unknown--probably blocking channels	
Effect of Dehydration:		Framework shrinks to a = 9.6 Å, volume decreases 31%	
Largest Molecule Adsorbed:	H ₂ O		
Kinetic Diameter, σ, Å:	2.6		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกษม ไตรทรัพย์ เกิดวันที่ 17 มิถุนายน พุทธศักราช 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีวิศวกรรม จากภาควิชาเคมี-เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย