

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

วาสนา ไตรพฤษชัยญา และ ปิยะ นิมิตรยงสกุล. การพัฒนาระบบงานโดยใช้ Visual Basic for Applications ใน Excel 5. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2538.

ภาษาอังกฤษ

Fogler, H.S. Elements of chemical reaction engineering, 2nd edition. New Jersey : Prentice-Hall. 1992.

Hanna, O.T. and Sandall, O.C. Computational methodes in chemical engineering. New Jersey : Prentice-Hall, 1995.

Rase, H.F. Chemical reactor design for process plants. vol II. John Wiley&Sons. 1977.

Rase, H.F. Fixed-bed reactor design and diagnostics. gas phase reaction. Butterworth, 1990.

Snyder, J.D. and Subramaniam, B. Numerical simulation of a periodic flow reversal reactor for sulfur dioxide oxidation. Chemical Engineering Science 48 (No.24 1993) : 4051-4064.

ภาคผนวก ก
ที่มาของ Parameter

Bed void fraction, ϵ_b

Particle of Pellet	Normal Charge	Dense Packed
Tablets	0.36	0.31
Extrudates		
Short	0.40	0.33
Long	0.46	0.40
Spheres		
Uniform	0.40	0.36
Mixed Sizes	0.36	0.32
Irregular	0.42(average)	0.42(average)

ที่มา : Rase (1990)

Pellet void fraction, ϵ_p

$$\epsilon_p = 0.4 \text{ (Snyder et al. 1993)}$$

Gas heat capacity, $c_{p,g}$

$$C_{p,SO_2} = 7.208 + 5.633 \times 10^{-3} T - 1.343 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_{p,O_2} = 5.731 + 2.323 \times 10^{-3} T - 4.886 \times 10^{-7} T^2$$

$$C_{p,SO_3} = 8.511 + 9.517 \times 10^{-3} T - 2.325 \times 10^{-6} T^2$$

$$C_{p,N_2} = 6.248 + 8.778 \times 10^{-3} T - 2.130 \times 10^{-8} T^2$$

เมื่อ C_p หน่วย Btu/lb mol. °R และ T หน่วย °R

ที่มา : JANAF Tables อ้างถึงใน Fogler (1992)

Catalyst heat capacity, $c_{p,s}$

ใช้ค่าเฉลี่ย ระหว่างช่วง 300-900 K ; $c_{p,s} = 1000 \text{ J/(kg.K)}$ (Snyder et al. 1993)

Catalyst bulk density, $\rho_{s,b}$

ข้อมูลจากผู้ผลิต ; $\rho_{s,b} = 470 \text{ kg/m}^3$

Equivalent pellet diameter, D_p

ที่มา : Rase (1990)

Shape	D_p
Sphere	d_s , the sphere diameter
Cylinder with length (l_c) equal to diameter (d_c)	d_c
Cylinder, $d_c \neq l_c$	$\frac{6d_c}{4 + 2d_c/l_c}$
Ring with outside diameter of d_o and inside diameter of d_i	$1.5 (d_o - d_i)$
Mixed Sizes	$\frac{1}{\sum Y_i / D_{p,i}}$

where Y_i is volume fraction of size i

Irregular Shapes

$$S_p \bar{D}_v$$

\bar{D}_v = diameter of sphere having same volume as average particle

$$S_p = \text{sphericity} = \frac{\text{surface area of sphere}}{\text{average surface area of particle}}$$

Approximate \bar{D}_v as average diameter from screen analysis

$S_p = 0.5$ to 0.7 with lower value being for rough surface.

* a_s is exterior surface area/volume of catalyst pellet.

Avg. total molar gas concentration, C_b

ใช้ค่าคำนวณของสมการ Ideal Gas ในช่วงภาวะการทำงาน

สมการ Ideal gas : $PV = nRT$

$$C_b = \frac{P}{RT} = \frac{n}{V} \quad ; R = 82.06 \times 10^6 \frac{\text{m}^3 \cdot \text{atm}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Pore Volume per Unit Mass, V_0

$$V_0 = \frac{\epsilon_b \cdot (1 - \epsilon_p)}{\rho_{s,b}} = \frac{0.4 \times (1 - 0.4)}{470 \text{ kg/m}^3} = 4.9 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$$

Effectiveness Factor, $D_{\text{eff}, \text{SO}_2}$

$$D_{\text{eff}, \text{SO}_2} = 0.1 \text{ m}^2/\text{hr} \text{ (Kadlec 1968 อ้างถึงใน Rase, 1977)}$$

Heat of Reaction, ΔH

$$\Delta H = 98,700 \text{ J/mol SO}_2 \text{ (Snyder 1993)}$$

ภาคผนวก ข

วิธีการแก้ชุดสมการ ด้วยวิธี diagonal

ชุดสมการต้นแบบ ที่สามารถ แก้ด้วยวิธี Tridiagonal (Owen,T. and Orville C. 1995) จะต้องอยู่ในรูป

$$b_1x_1 + c_1x_2 = d_1 \quad \dots(1)$$

$$a_2x_1 + b_2x_2 + c_2x_3 = d_2 \quad \dots(2)$$

$$a_3x_2 + b_3x_3 + c_3x_4 = d_3 \quad \dots(3)$$

⋮

⋮

⋮

$$a_{n-1}x_{n-2} + b_{n-1}x_{n-1} + c_{n-1}x_n = d_{n-1} \quad \dots(n-1)$$

$$a_nx_{n-1} + b_nx_n = d_n \quad \dots(n)$$

พิจารณา กำจัดสัมประสิทธิ์ x_1 ของสมการ(1) จะได้

$$x_1 + h_1x_2 = p_1 ; \quad h_1 = \frac{c_1}{b_1}; p_1 = \frac{d_1}{b_1}$$

และ พิจารณา กำจัดสัมประสิทธิ์ x_1 ของสมการ(2) ด้วยร่วมกับสมการ(1) จะได้

$$x_2 + h_2x_3 = p_2 ; \quad h_2 = \frac{c_2}{b_2 - a_2h_1}; p_2 = \frac{d_2 - a_2p_1}{b_2 - a_2h_1}$$

ในทำนองเดียวกัน สามารถกระทำแบบเดียวกันนี้ จนถึงสมการ n

$$x_n + h_nx_{n+1} = p_n ; \quad h_n = \frac{c_n}{b_n - a_nh_{n-1}}; p_n = \frac{d_n - a_np_{n-1}}{b_n - a_nh_{n-1}}$$

แต่ $h_n = 0$

แล้วสามารถแก้ชุดสมการ ได้โดย คำนวณย้อนกลับจากสมการ(n) กลับไปหา สมการ(1)

ดังนั้น สามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไป ได้ดัง

$$x_k + h_kx_{k+1} = p_k ; \quad (k=1,2,3,\dots,n)$$

$$h_k = \frac{c_k}{b_k - a_kh_{k-1}}; p_k = \frac{d_k - a_kp_{k-1}}{b_k - a_kh_{k-1}}$$

ภาคผนวก ค

วิธีวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO₂)ใน process gas stream

อุปกรณ์

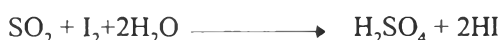
ชุดเครื่องมือทดสอบ REICH ซึ่งแสดงดังรูป “อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์”

ขอบข่ายการวิเคราะห์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน process gas stream ที่ได้จากการสลายตัวของ sludge acid หรือที่ได้จากการเพิ่มออกซิเจน (oxidation) ให้กับกำมะถันในทุกความเข้มข้น วิเคราะห์ได้ด้วยการทดสอบ REICH(Reich Test)

ทฤษฎี

การวิเคราะห์จะเริ่มจากการปล่อย process gas stream ผ่านลงไปนในสารละลายมาตรฐาน ไอโอดีนความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งถึงจุดยุติของน้ำแบ่งซึ่งจะได้สารละลายใส ไม่มีสี ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังนี้



1. วิธีการเตรียมน้ำแบ่ง

ชั่งแบ่งบริสุทธิ์ (annular grade) ประมาณ 2 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อยแล้วคนให้เป็น slurry เทลงในน้ำเดือด 100 มล.คนจนน้ำแบ่งสุก ตั้งทิ้งไว้จนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเติมกรดซัลฟิวริกลงไปประมาณ 0.2 กรัม คนให้สารละลายเข้ากันดีอีกครั้งเก็บไว้ในตู้เย็น

2. วิธีการเตรียมสารละลายกรด HCl ความเข้มข้น 1+1

นำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมาประมาณ 250 มล.ถ่ายลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มล. ซึ่งมีน้ำกลั่นอยู่ประมาณ 200 มล.อย่างช้าๆ คนให้สารละลายเข้ากัน แล้วปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตร 500 มล.

3. วิธีการเตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล

ชั่ง Na₂S₂O₃ 5H₂O ประมาณ 24.8 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น เติมนโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 0.4 กรัม แล้วคนให้สารละลายเข้ากัน ปรับปริมาตรเป็น 1,000 มล. โดยใช้ขวดวัดปริมาตร สารละลายนี้จะมีค่าความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล และต้องนำไป standardize กับสารมาตรฐานปฐมภูมิ K₂Cr₂O₇ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนต่อไป

4. วิธีการเตรียมสารละลายไอโอดีนความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล
- 4.1 ชั่งโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ประมาณ 25 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 500 มล.คนให้สารละลายเข้ากัน
- 4.2 ชั่งไอโอดีน(iodene bisublimed)ประมาณ 12.7 กรัม ด้วยเครื่องชั่งหยาบ (ห้ามใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า เพราะไอของไอโอดีนอาจทำให้เครื่องชั่งชำรุดเสียหาย) ถ่ายลงในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่เตรียมได้จากข้อ 4.1 คนจนกระทั่งไอโอดีนละลายหมด ถ้าไอโอดีนละลายไม่หมดให้เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงไปอีกจนกว่าไอโอดีนละลายหมดแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1,000 มล. โดยใช้ขวดวัดปริมาตร สารละลายนี้จะมีความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล และต้องนำไป standardize กับสามารถมาตรฐานปฐมภูมิ $K_2Cr_2O_7$ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนต่อไป เก็บรักษาไว้ในขวดสีน้ำตาล
5. วิธีการ standardize สารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ ความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล ด้วยสารมาตรฐานปฐมภูมิ $K_2Cr_2O_7$
- 5.1 ชั่ง KI ที่ปราศจากไอโอดีนประมาณ 3 กรัม และ $NaHCO_3$ ประมาณ 1 กรัม ถ่ายลงในขวดไอโอดีนขนาด 300 มล.ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 50 มล. เขย่าจนสารละลายหมด
- 5.2 ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ ที่ผ่านการอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ $120^\circ C$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในโถอบจนถึงอุณหภูมิห้องแล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.12-0.13 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า ถ่ายลงในขวดไอโอดีนในข้อ 5.1 เขย่าให้สารละลายจนหมด เติมกรด HCl (1+1) ปริมาตร 12 มล.พร้อมทั้งเขย่าเพื่อให้สารทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น ใช้น้ำกลั่นกลั้วรอบๆ คอขวดด้านในเล็กน้อย ปิดจุกแก้วและเก็บไว้ในที่มีคนานประมาณ 5 นาที เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่เตรียมไว้ในบิวเรตจนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อนๆ ให้เติมน้ำแ่่งลงไป 2 มล. แล้วไทเทรตต่อไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินหรือสีม่วงเป็นสีเขียวอ่อนของเกลือโครมิก (chromic salt) บันทึกปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้
6. วิธีการ standardize สารละลายไอโอดีนความเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอล ด้วยสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ $Na_2S_2O_3$
- นำสารละลายไอโอดีนมา 25 มล. โดยใช้ปิเปต ถ่ายลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล.ไทเทรตอย่างรวดเร็วด้วยสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ $Na_2S_2O_3$ ที่เตรียมไว้ในบิวเรตจนกระทั่งได้สารละลายสีเหลืองอ่อนๆ ให้เติมน้ำแ่่งลงไป 1 มล. แล้วไทเทรตต่อไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นใสไม่มีสี บันทึกปริมาตรของสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้

7. วิธีการตรวจสอบอุปกรณ์ทดสอบ REICH

เติมน้ำกลั่นลงในกรวยแยกขนาด 250 มล. ในปริมาณที่เหมาะสม รอให้ระดับน้ำทั้งในกรวยแยกและบิวเรตเสมอกัน โดยเปิด stopcock บิวเรตไว้ แล้วนำขวดรูปชมพู่บรรจุน้ำกลั่นประมาณ 175 มล. ต่อเข้ากับอุปกรณ์ทดสอบ REICH ดังในรูป อ่านระดับน้ำในขณะนี้เป็นค่าเริ่มต้น หลังจากนั้นปิด stopcock แล้วเลื่อนบิวเรตให้ต่ำกว่าระดับเดิมเล็กน้อย สังเกตว่าระดับน้ำในบิวเรตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หรือไม่ ถ้าระดับน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่าอุปกรณ์นี้ยังไม่พร้อมวิเคราะห์ให้ตรวจสอบจุดรั่วซึมของอุปกรณ์ใหม่อีกครั้ง ถ้าระดับน้ำคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าอุปกรณ์นี้พร้อมสำหรับการวิเคราะห์

8. วิธีการวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

8.1 Process gas stream ที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูง(10-20%)

8.1.1 นำสารละลายมาตรฐานไอโอดีน 5 มล. โดยใช้ปิเปต ถ่ายลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 150-175 มล. และน้ำแฉ่ง 2 มล. เขย่าให้สารละลายเข้ากัน

8.1.2 นำขวดรูปชมพู่จากข้อ 5.1.1 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทดสอบ REICH ปิดด้วยจุกยางให้แน่น โดยให้ท่อนำก๊าซอยู่ใต้ระดับสารละลายเปิด stopcock ของบิวเรตและปรับระดับน้ำในกรวยแยกและในบิวเรตให้เสมอกันโดยเลื่อนบิวเรตขึ้น-ลง อ่านระดับน้ำในขณะนี้เป็นค่าเริ่มต้น แล้วเลื่อนบิวเรตให้อยู่ต่ำกว่าระดับเดิมประมาณ 12 นิ้ว เริ่มปล่อยก๊าซผ่านลงในสารละลายไอโอดีนอย่างช้าๆ โดยควบคุมจาก sampling valve เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์พร้อมกับแกว่งขวดรูปชมพู่ตลอดเวลาจนกระทั่งได้สารละลายสีฟ้าใส ให้ผ่านก๊าซลงในสารละลายไอโอดีน อย่างช้าที่สุดจนได้สารละลายสีไม่มีสี รีบปิด sampling valve และ stopcock ทันที แล้วปรับระดับน้ำในกรวยแยกและในบิวเรตให้เสมอกันอีกครั้งโดยการเลื่อนบิวเรตขึ้น-ลง บันทึกปริมาตรของน้ำในบิวเรตที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิของน้ำขณะทำการวิเคราะห์

หมายเหตุ : ก่อนผ่าน process gas stream ลงในสารละลายไอโอดีน ให้ blow ก๊าซผ่าน sampling valve นานประมาณ 1-2 นาที

8.2 Process gas stream ที่มีความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่ำ (0.2-1.0%)

8.2.1 นำสารละลายมาตรฐานไอโอดีนมา 1 มล. โดยใช้ปิเปต ถ่ายลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 150-175 มล. และน้ำแฉ่ง 2 มล. เขย่าให้สารละลายเข้ากัน

8.2.2 ดำเนินการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 8.1.2

9. วิธีการคำนวณค่าความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน process gas stream

$$\%SO_2 = \frac{N_{I_2} \times V_{I_2} \times 1,094.40}{N_{I_2} \times V_{I_2} \times 10.944 + \left[C \times \left(\frac{273}{t + 273} \right) \times \left(1 - \frac{w}{760} \right) \right]}$$

C = ปริมาตรของน้ำในบิวเรตที่เพิ่มขึ้น/มล.

t = อุณหภูมิของน้ำขณะทำการวิเคราะห์/องศาเซลเซียส

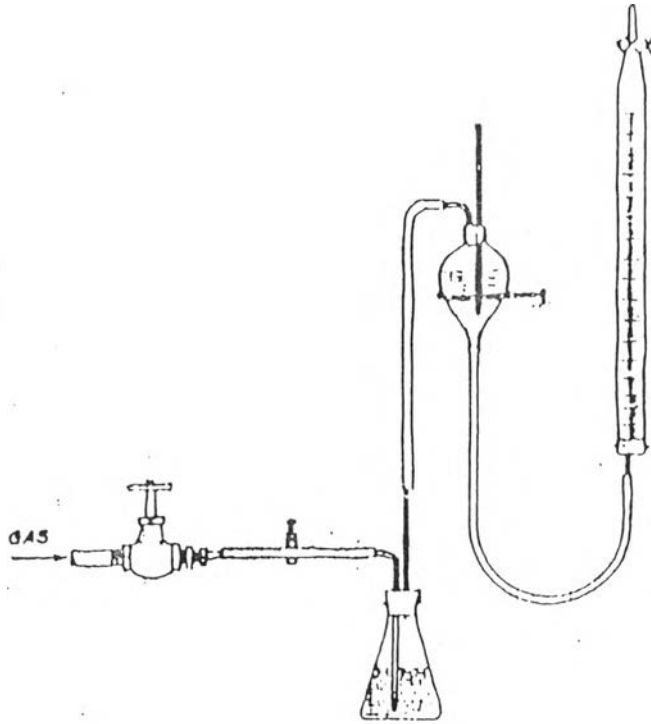
w = Vapor Pressure of Liquid Water ที่อุณหภูมิ t

10. วิธีการคำนวณค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยน (percentage conversion efficiency)

$$\% \text{ การเปลี่ยน} = \frac{(\text{SO}_2 \text{ ในสายก๊าซขาเข้า} - \text{SO}_2 \text{ ในสายก๊าซขาออก}) \times 100}{\text{SO}_2 \text{ ในสายก๊าซขาเข้า}}$$

VAPOR PRESSURE OF LIQUID WATER FROM 20°C TO 40°C

t/°C	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
20	17.535	17.644	17.753	17.863	17.974	18.085	18.197	18.309	18.422	18.534
21	18.65	18.765	18.88	18.996	19.113	19.231	19.349	19.468	19.587	19.707
22	19.827	19.948	20.07	20.193	20.316	20.44	20.565	20.69	20.815	20.941
23	21.068	21.196	21.324	21.453	21.583	21.714	21.845	21.977	22.11	22.243
24	22.377	22.512	22.648	22.785	22.922	23.06	23.198	23.337	23.476	23.616
25	23.756	23.897	24.039	24.182	24.326	24.471	24.617	24.764	24.912	25.06
26	25.209	25.359	25.509	25.66	25.812	25.964	26.117	26.271	26.428	26.582
27	26.739	26.897	27.055	27.214	27.374	27.535	27.696	28.858	28.021	28.185
28	28.349	28.514	28.68	28.847	29.015	29.184	29.354	29.525	29.697	29.87
29	30.043	30.217	30.392	30.568	30.745	30.923	31.102	31.281	31.461	31.642
30	31.824	32.007	32.191	32.376	32.561	32.747	32.934	33.122	33.321	33.503
31	33.695	33.888	34.082	34.276	34.471	34.667	34.864	35.062	35.261	35.462
32	35.663	35.865	36.068	36.272	36.477	36.683	36.891	37.099	37.308	37.518
33	37.729	37.942	38.155	38.369	38.584	38.801	39.018	39.237	39.457	39.677
34	39.898	40.121	40.344	40.569	40.796	41.023	41.251	41.48	41.71	41.942
35	42.175	42.409	42.644	42.88	43.117	43.355	43.595	43.836	44.078	44.32
36	44.563	44.808	45.054	45.301	45.549	45.799	46.05	46.302	46.556	46.811
37	47.067	47.324	47.582	47.841	48.102	48.364	48.627	48.891	49.157	49.424
38	49.692	49.961	50.231	50.502	50.774	51.048	51.323	51.6	51.879	52.16
39	52.442	52.725	53.009	53.294	53.58	53.867	54.156	54.446	54.737	55.03
40	55.324	55.61	55.91	56.21	56.51	56.81	57.11	57.41	57.72	58.03



อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ก๊าซซิลเฟอร์ไดออกไซด์

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์

- เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.2 m
- พื้นที่หน้าตัด 13.85 m²
- ขนาดและรูปร่าง ตัวเร่งปฏิกิริยา ($d_p = 1.5(0.0125-0.005) = 0.01125$ m
- ความลึกของชั้นตัวเร่งปฏิกิริยาชั้นที่ 1 0.50 m

สภาวะก๊าซที่ป้อน

- gas flow rate 5,500 Nm³/hr
- velocity(u) : 397.11 m/hr or 0.11 m/s
- Operate condition : Pressure = 1.4 atm
Temperature = 425 °C
- SO₂ Concentration = 10.5 %

แทนค่า parameter เพื่อหาค่า A, A', A'' และ B, B', B'' ของชุดสมการ

โดย ด้านระยะทางแบ่งเป็น 50 nodes : $\Delta Z = 0.50/50 = 0.01$ m
ด้านเวลา ได้ step ครั้งละ 1 วินาที : $\Delta t = 1$ sec

สมการดุลมวลสาร

$$\begin{aligned}
 b_1 y_1^{n+1} &= d_1 & a_1 = 0 & b_1 = 1 & c_1 = 0 & d_1 = y_0 \\
 a_i y_{i-1}^{n+1} + b_i y_i^{n+1} + c_i y_{i+1}^{n+1} &= d_i \quad (i=2, \dots, m-1) & a_i = A'' & b_i = 1 & c_i = -A'' & d_i = \\
 y_i^n + F_i^n a_m y_m^{n+1} + b_m y_{m+1}^{n+1} &= d_m & a_m = 1 & b_m = -1 & c_m = 0 & d_m = 0
 \end{aligned}$$

โดย

$$A = -\frac{u}{\varepsilon_b} = -\frac{0.11}{0.4} = -0.275$$

$$A' = \frac{1}{\varepsilon_b} = \frac{1}{(0.4)} = 2.50$$

$$A'' = A \cdot \Delta t / 2 \Delta Z$$

$$F_i^n = A f(y_i^n, T_i^n) \Delta t$$

สมการดุลพลังงาน

$$\begin{aligned}
 b_1 T_1^{n+1} &= d_1 & a_1 = 0 & b_1 = 1 & c_1 = 0 & d_1 = T_0 \\
 a_i T_{i-1}^{n+1} + b_i T_i^{n+1} + c_i T_{i+1}^{n+1} &= d_i \quad (i=2, \dots, m-1) & a_i = B'' & b_i = 1 & c_i = -B'' & d_i = \\
 y_i^n + F_i^n a_m T_m^{n+1} + c_m T_{m+1}^{n+1} &= d_m & a_m = 1 & b_m = -1 & c_m = 0 & d_m = 0
 \end{aligned}$$

โดย

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{-c_{p,g} u C_b}{(\varepsilon_b c_{p,g} C_b + \rho_{s,b} c'_{p,s})} = -\frac{(30.27)(0.11)(16.03)}{\{(0.4)(30.27)(0.016) + (470)(1000)\}} = -1.14 * 10^{-4} \\
 B' &= \frac{(1 - \varepsilon_b) \Delta H}{(\varepsilon_b c_{p,g} C_b + \rho_{s,b} c'_{p,s})} = \frac{(1 - 0.4)(98,700)}{\{(0.4)(30.27)(16.03) + (470)(1000)\}} = 1.26
 \end{aligned}$$

$$B'' = B \Delta t / 2 \Delta Z$$

$$G_i^n = B f(y_i^n, T_i^n) \Delta t$$

ประวัติผู้วิจัย

นายอนุรักษ์ หวานเสนาะ เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2512 ที่ อ.แก่งจระยอง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2538 ปัจจุบัน ทำงานกับ บริษัท ไทยคอปเปอร์ (มหาชน) จำกัด จ.ระยอง

