

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

การออกแบบและการจำลองกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

โดยกระบวนการ Desulfurization (โปรแกรมคอมพิวเตอร์)

Design and Simulation of a Claus Desulfurization Process

โดย

นางสาวศศิชา เมสนุกูล 5932963923

นางสาวอุษณิษา พัฒนวีรางกูล 5932983423

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

อาจารย์ณัฐพล พินทุโยธิน

โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ การออกแบบและการจำลองกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
โดยกระบวนการ Desulfurization (โปรแกรมคอมพิวเตอร์)
(Design and Simulation of a Claus Desulfurization Process)

ชื่อนิติผู้ทำโครงการ นางสาวศศิชา เมสนุกุล รหัสนิต 5932963923
นางสาวอุษณิษา พัฒนวีรางกุล รหัสนิต 5932983423

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ณัฐพล พิณฑุโยธิน

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาพร้อมกับก๊าซทิ้งหลังการเผาไหม้ โดยการฉีดส่วนผสมของน้ำกับหินปูนเข้าไปทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ผสมอยู่ในก๊าซทิ้งนั้น ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดการรวมตัวและตกตะกอนเป็นยิบซัม ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คณะผู้จัดทำมีความสนใจและเล็งเห็นความสำคัญของกระบวนการ จึงมีความต้องการที่จะต่อยอดและพัฒนากระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยกระบวนการ Desulfurization โดยใช้ โปรแกรม Aspen Plus ในการออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เกิดผลเสียน้อยที่สุดและคุ้มทุนมากที่สุด

คำสำคัญ: ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ยิบซัม, กระบวนการ Claus Desulfurization, Simulation

ลายมือชื่อนิติ.....ศศิชา.....เมสนุกุล.....

(นางสาวศศิชา เมสนุกุล)

ลายมือชื่อนิติ.....อุษณิษา.....พัฒนวีรางกุล.....

(นางสาวอุษณิษา พัฒนวีรางกุล)

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....ณัฐพล.....พิณฑุโยธิน.....

(อาจารย์ ณัฐพล พิณฑุโยธิน)

ภาควิชา เคมีเทคนิค

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

Title Design and Simulation of a Claus Desulfurization Process
Student name Ms.Sasicha Mesnukul Student ID 5932963923
Ms.Usanisa Pattanaveerangkoon Student ID 5932983423
Advisor Ajarn Nathapol Pintuyothin
Department of chemical technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic year 2019

Abstract

Oil and gas was an important role in human activities as the primary energy source that cannot be replaced easily with other energy sources. On the other hand, their depletion and environmental impact are becoming world primary concerns. Nowadays, the environment has been seriously polluted. A large amount of sulfur dioxide emitted from flue gas is an important cause of environmental pollution. Liquid-phase Claus recovery process is a new process design based on traditional Claus Technology. We used desulfurization to reduce a sulfur content of purified gas to a new level, which is below the environmental tolerant level. A sulfur recovery process can also be obtained for future application

Keyword : Sulfur dioxide, Claus Desulfurization Process, Simulation, Aspen Plus

.....Sasicha Mesnukul.....

(Ms.Sasicha Mesnukul)

.....Usanisa P.....

(Ms.Usanisa Pattanaveerangkoon)

.....Nathapol Pintuyothin.....

(Ajarn Nathapol Pintuyothin)

Department of Chemical Technology
Major: Chemical Engineering

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การออกแบบและการจำลองกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยกระบวนการ Desulfurization (โปรแกรมคอมพิวเตอร์)” สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ อาจารย์ณัฐพล พิณฑุโยธิน ที่ช่วยสละเวลาให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมถึงคอยแก้ปัญหาในข้อผิดพลาดต่างๆ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ได้มอบโอกาสให้คณะผู้จัดทำได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบความดีทั้งหลายของงานวิจัยชิ้นนี้ให้แก่ทุกท่านที่ได้กล่าวมาข้างต้นและผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนาม มา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

17 เมษายน 2563

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3	ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4	สมมติฐาน.....	2
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6	คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.7	วิธีดำเนินการวิจัย.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	3
2.2	Claus Process.....	3
2.3	กระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ หรือ Desulfurization.....	4
2.4	Flue-gas desulfurization.....	4
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.5.1	การศึกษา Fluidized bed Claus reactor.....	5
2.5.2	ข้อมูลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา Claus.....	7

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1	โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย.....	11
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	11
3.3	การออกแบบกระบวนการ.....	11

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1	การทำงานของกระบวนการ.....	14
4.1.1	การดูดซึมและการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S absorption and desorption).14	
4.1.2	การนำตัวดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ (Absorbent Recycling).....	15
4.1.3	การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂ absorption).....	15
4.1.4	ปฏิกิริยา Claus และการแยก (Claus reaction and Separation).....	16

4.2 ตารางคุณวลสารและพลังงานในแต่ละสายป้อนของกระบวนการ.....	17
4.3 ตารางการใช้พลังงานของอุปกรณ์.....	19
4.4 ผลที่ได้จากการรันผ่านโปรแกรม Aspen Plus V9.....	22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	23
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	23
เอกสารอ้างอิง.....	24

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1	แสดงมุมและความยาวของพันธะของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	3
รูปที่ 2	แสดงค่า Conversion และอุณหภูมิของปฏิกิริยา Claus.....	6
รูปที่ 3	แผนผังการไหลของกระบวนการ Claus.....	7
รูปที่ 4	เครื่องมือ (แผนผัง).....	8
รูปที่ 5	การวัดเชิงทดลองของส่วนเบี่ยงเบนอุณหภูมิตามแนวแกนระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับ set point.....	10
รูปที่ 6	แสดงการออกแบบกระบวนการ.....	12
รูปที่ 7	การดูดซึมและการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S absorption and desorption).....	14
รูปที่ 8	การนำตัวดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ (Absorbent Recycling).....	15
รูปที่ 9	การดูดซึมแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂ absorption).....	16
รูปที่ 10	ปฏิกิริยา Claus และการแยก (Claus reaction and Separation).....	16

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงการควบคุมมลสารและพลังงานในแต่ละสายป้อนของกระบวนการ.....	17
ตารางที่ 2 แสดงการใช้พลังงานของอุปกรณ์.....	19
ตารางที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการรันผ่านโปรแกรม Aspen Plus V9.....	22

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ซากดึกดำบรรพ์ หรือ ฟอสซิล (Fossil) เกิดจากการทับถมกันของซากพืชซากสัตว์เมื่อประมาณ 500 ล้านปีก่อน เป็นชั้นหนาจนกลายเป็นชั้นหินใต้ผิวโลก ทำให้ได้รับความร้อนใต้พิภพและเกิดการสลายตัวของอินทรีย์สารจนทำให้ซากพืชซากสัตว์เหล่านั้นกลายเป็นวัตถุที่สามารถเป็นเชื้อเพลิงและให้พลังงานได้ ซึ่งมี 3 สถานะ คือ ของแข็งหรือถ่านหิน ของเหลวหรือน้ำมันดิบ และก๊าซหรือก๊าซธรรมชาติ ซึ่งรวมเรียกว่า พลังงานฟอสซิล หรือ พลังงานเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ มนุษย์เราใช้ประโยชน์จากฟอสซิลมากมาย เช่น การใช้ถ่านหินในการให้พลังงาน ความร้อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่สำคัญในการผลิตกระแสไฟฟ้า การนำน้ำมันดิบไปกลั่นได้น้ำมันหลายชนิด เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนพาหนะ รวมถึงผลิตภัณฑ์บางชนิดที่ได้จากการแยกน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ ยังสามารถนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งต้นให้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น พลาสติกและผงซักฟอก เป็นต้น

แต่การใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลนั้นก็ได้มีแต่ข้อดีเสมอไป เพราะนอกจากจะให้ผลผลิตเป็นพลังงานความร้อนแล้ว ก็ยังปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น ซึ่งก๊าซเหล่านี้เมื่อเกิดการสะสมในบรรยากาศเป็นจำนวนมาก จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกและนำไปสู่ภาวะโลกร้อน อีกทั้งยังทำให้อากาศที่เราใช้หายใจ เต็มไปด้วยมลพิษและฝุ่นละออง

กระบวนการ Desulfurization เป็นกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาพร้อมกับก๊าซทิ้งหลัง การเผาไหม้ โดยการฉีดส่วนผสมของน้ำกับหินปูนเข้าไปทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ผสมอยู่ในก๊าซทิ้งนั้น ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดการรวมตัวและตกตะกอนเป็นยิบซัม ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คณะผู้จัดทำมีความสนใจและเล็งเห็นความสำคัญของกระบวนการ จึงมีความต้องการที่จะต่อยอดและพัฒนากระบวนการโดยใช้ โปรแกรม Aspen Plus V9 ในการออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 แสดงกระบวนการการนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคโนโลยี Claus
- 1.2.2 ออกแบบและพัฒนากระบวนการ Desulfurization เพื่อดูความเหมาะสมของกระบวนการอย่างละเอียด เพื่อลดปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ที่อาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 1.2.3 จำลองกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เกิดผลเสียน้อยที่สุด และคุ้มทุนมากที่สุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- (1) การใช้งานโปรแกรม Aspen Plus ในการออกแบบกระบวนการอุตสาหกรรมในโรงงาน
- (2) ออกแบบกระบวนการ Claus โดยใช้การ Desulfurization และการนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ใหม่ให้ได้ประโยชน์สูงสุด

1.4 สมมติฐาน

สามารถเพิ่มปริมาณซัลเฟอร์ให้น้ำกลับมาใช้ใหม่ได้มากยิ่งขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เกิดการนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ใหม่อย่างมีคุณภาพ

1.5.2 ลดการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผลเสียต่อธรรมชาติ

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Claus Process, Desulfurization, Sulfur dioxide

1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	เดือน					
	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
1.ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	→				
2.วางแผนการดำเนินงาน		←	→			
3.ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ		←	→			
4.วิเคราะห์ผลการทดลอง					←	→
5.สรุปผลการทดลองและอภิปราย					←	→

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์^[5]

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide) เป็นก๊าซไม่มีสีไม่มีไอที่ระดับความเข้มข้นสูง จะมีกลิ่นฉุนแสบจมูกเมื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน ในอากาศจะเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และจะรวมตัวเป็นกรดกำมะถัน เมื่อมีความชื้นเพียงพอหากอยู่ร่วมกับอนุภาคมวลสารที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น แอมโมเนีย เกล็ด และวานาเดียม จะเกิดมีปฏิกิริยาเติมออกซิเจนเกิดเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และเป็นกรดกำมะถันเช่นกัน การสันดาปเชื้อเพลิงเพื่อใช้พลังงานในการดำรงชีพของมวลมนุษย์ ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และอนุภาคมวลสาร กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ ก็เป็นแหล่งกำเนิดของมลพิษทั้งสองเช่นกัน ก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์และละอองกรดกำมะถัน ก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง นอกจากนี้ก๊าซนี้ยังทำให้น้ำฝนที่ตกลงมามีสภาพความเป็นกรดมากขึ้นซึ่งจะทำลายระบบนิเวศน์ ป่าไม้ แหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมถึงการกัดกร่อนอาคารและโบราณสถานอีกด้วย

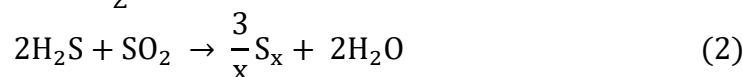
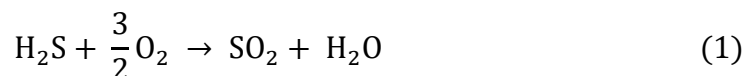


รูปที่ 1 แสดงมุมและความยาวของพันธะของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์

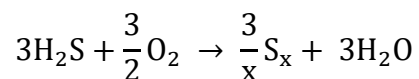
2.2 Claus Process^[4]

กระบวนการ Claus นั้นไม่ใช่กระบวนการทำให้สารบริสุทธิ์ด้วยแก๊ส หรือ Gas purification แต่เป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สำคัญที่สุด โดยการนำกำมะถัน หรือ Sulfur กลับมาใช้ใหม่ หรือ Recovery กระบวนการ Claus Process มีหลายขั้นตอนในการนำกำมะถันออกมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งมักพบใน ก๊าซธรรมชาติดิบ (Raw natural gas) และก๊าซที่เป็นผลพลอยได้ที่มิก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบและกระบวนการในอุตสาหกรรมอื่นๆ

ปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้นใน Claus process (ยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและเชื้อเพลิงอื่นๆ) สามารถแสดงได้เป็น



และปฏิกิริยาโดยรวมแสดงได้เป็น



โดย S_x จะแทนอัตราส่วนของกำมะถัน ($x = 1, 2, \dots, 8$) รวมถึงยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยกระบวนการนี้ประกอบด้วย การเผาไหม้บางส่วนของไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแก๊สที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (Sour gas) เพื่อสร้างแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอุณหภูมิที่สูง ซึ่งติดตามโดยปฏิกิริยาของไฮโดรเจนซัลไฟด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์มากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่รองรับที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้เกิดกำมะถัน ใน Claus process ไฮโดรเจนในไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเปลี่ยนเป็นไอน้ำแทน

2.3 กระบวนการกำจัดซัลเฟอร์ หรือ Desulfurization^[6]

Desulfurization คือ กระบวนการทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดซัลเฟอร์ออกจากวัสดุ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำจัดกำมะถันออกจากโมเลกุล กระบวนการเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีปริมาณกำมะถันที่ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น Claus Process เป็นต้น สารประกอบที่ไม่มีกำมะถันจะไม่สามารถใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาจำนวนมากได้ จึงสามารถช่วยลดการปล่อยสารประกอบกำมะถันที่เป็นอันตรายออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดฝนกรด

2.4 Flue-gas desulfurization^[7]

Flue-gas desulfurization หรือ FGD คือระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง

เนื่องจากกฎระเบียบด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดซึ่งจำกัดการปล่อย SO_2 ได้ถูกประกาศใช้ในหลายประเทศ ดังนั้น SO_2 จะถูกลบออกจากก๊าซไอเสียด้วยวิธีการที่หลากหลาย วิธีการทั่วไปที่ใช้กำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากก๊าซไอเสียมีดังนี้

- Wet Scrubbing
- Spray-dry
- Wet sulfuric acid process
- SNOX Flue gas desulfurization
- Dry sorbent injection systems

ระบบ FGD ส่วนใหญ่จะมี 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 สำหรับการกำจัดเถ้าลอย ส่วนขั้นตอนที่ 2 สำหรับกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และต่อมาจึงมีการพยายามกำจัดทั้งเถ้าลอยและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในขั้นตอนเดียว แต่ระบบนั้นประสบปัญหาค่าบำรุงรักษาที่ค่อนข้างสูงและมีประสิทธิภาพในการกำจัดที่ต่ำ

ในระบบ Wet Scrubbing โดยปกติแล้วก๊าซไอเสีย หรือ Flue gas จะผ่านขั้นตอนที่ 1 ซึ่งได้แก่การกำจัดเถ้าลอยแล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามการฉีดแบบแห้งหรือการพ่นฝอย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นครั้งแรกจากนั้นจะผ่านเข้าสู่เครื่องดักฝุ่น

การพิจารณาการออกแบบที่สำคัญอีกประการ คือ ก๊าซไอเสียที่ออกมาจะอึมตัวด้วยน้ำและจะมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่บ้างบางส่วน ก๊าซเหล่านี้มีการกักความร้อนสูงต่ออุปกรณ์ปลายทางเช่นพัดลมท่อและสแต็ค วิธีที่อาจช่วยให้สามารถลดการกักความร้อนได้ 2 วิธี ได้แก่

1. ทำให้อุณหภูมิของก๊าซสูงกว่าจุดน้ำค้าง หรือ Dew point
2. เลือกวัสดุที่ออกแบบมาให้ทนทานต่อสภาพการกักความร้อน

แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 2 วิธี ที่ได้กล่าวมานั้นต่างต้องใช้ต้นทุนที่สูง จึงขึ้นอยู่กับวิศวกรในการตัดสินใจ

ประเภทของ Scrubber ที่ใช้ในกระบวนการ FGD

เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของแก๊สและของเหลวให้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด มีการออกแบบเครื่อง scrubber, spray towers, venturis, plate towers และ packed bed แบบเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากการขยายขนาดจากการเสียบและอาจพังทลายลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการ FGD และประสิทธิภาพการทำงานของ การดูดซึม แนวโน้มคือการใช้เครื่อง scrubber แบบง่าย เช่น spray tower แทนที่จะเป็นเครื่องที่มีความซับซ้อน การกำหนดค่าของ tower อาจเป็นแนวตั้งหรือแนวนอนและก๊าซไอเสียสามารถไหลไปได้ทั้งทางเดียวกันและ ตรงกันข้ามกับของเหลว ข้อเสียเปรียบหลักของ spray tower คือ ต้องใช้อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซที่สูงขึ้น สำหรับการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เทียบเท่ากับการออกแบบเครื่องดูดซึมอื่นๆ

FGD scrubber ผลิตน้ำเสียที่ผ่านการปรับขนาดซึ่งต้องได้รับการบำบัดเพื่อให้เป็นไปตามข้อบังคับการ ปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของการ แลกเปลี่ยนไอออนผ่านเยื่อเมมเบรนและระบบการแยกสารด้วยไฟฟ้าได้เปิดใช้งานบำบัดน้ำเสียของ FGD ซึ่งมี ประสิทธิภาพสูงเพื่อให้สอดคล้องกับขีดจำกัดการปล่อย EPA วิธีการบำบัดนั้นมีลักษณะคล้ายคลึงกับการบำบัดของ อุตสาหกรรมขนาดใหญ่

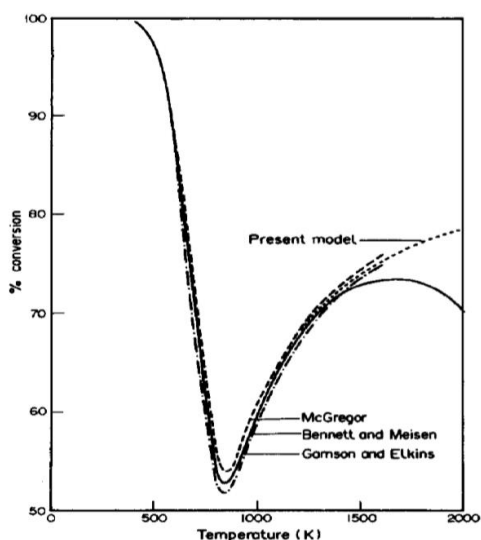
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การศึกษา Fluidized bed Claus reactor^[2]

- กระบวนการ Claus ประกอบไปด้วยวัฏประสงค์หลัก 3 ประการได้แก่

1. กระบวนการ Claus ประกอบด้วย เตาหลอม (Furnace) และเครื่องปฏิกรณ์แบบเบด (Fluidized bed reactor) 2 ตัว ถูกจำลองทางคณิตศาสตร์โดยสมมติว่าความสมดุลทางอุณหพลศาสตร์นั้นเกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์
2. การเปลี่ยนแปลง Conversion ของซัลเฟอร์ในกระบวนการเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิด์เบด จะถูกสร้างและและตรวจสอบก่อนทำการทดลอง
3. ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาขนาดของเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิด์เบดที่เหมาะสม

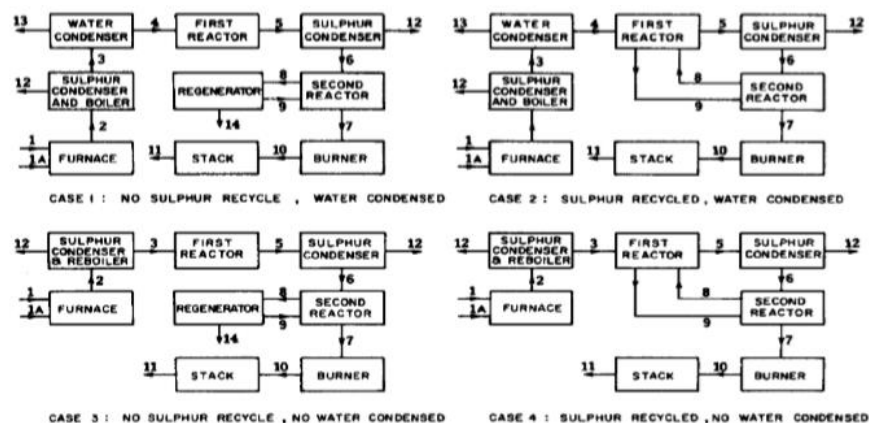
การจำลองสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกถูกพัฒนาในรูปแบบของการใช้เตาเผา Claus และเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิด์เบดจำนวน 2 เครื่อง แบ่งการจำลองออกมาเป็น 4 กรณี



รูปที่ 2 แสดงค่า Conversion และอุณหภูมิของปฏิกิริยา Claus

- แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ Claus

แบบจำลองคุณภาพทางอุณหพลศาสตร์ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของเตาหลอมและเครื่องปฏิกรณ์แบบ Claus แบบฟลูอิด์เบด 2 ชุด ซึ่งทั้ง 4 กรณีที่แสดงในรูปที่ 3 เป็นไปดังนี้



รูปที่ 3 แผนผังการไหลของกระบวนการ Claus

ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 น้ำทั้งหมดจากคอนเดนเซอร์จะอยู่ด้านบนของเครื่องปฏิกรณ์เครื่องแรก ในกรณีที่ 1 กำมะถันที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ตัวที่ 2 ซึ่งต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของกำมะถันเพื่อป้องกันความเหนียวของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา ด้วยเหตุนี้การแยกตัวออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกแยกออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาต่างหาก ในกรณีที่ 2 ตัวเร่งปฏิกิริยากำมะถันที่รับมา จะถูกรีไซเคิลไปยังเครื่องปฏิกรณ์ตัวแรก ส่วนในกรณีที่ 3 และ กรณีที่ 4 นั้นคล้ายคลึงกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ยกเว้นจะไม่มีคอนเดนเซอร์ของน้ำ

ข้อตกลงเพื่อความถูกต้องของขั้นตอนการคำนวณกรณีที่ 5 ที่เกี่ยวข้องกับเตาหลอมเท่านั้นที่ได้รับการพิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 2

ขั้นตอนการคำนวณสำหรับกรณีที่ 1 ได้รับการกำหนดไว้ การพัฒนาสมการสมดุลสำหรับกรณีที่ 1 มีการตั้งสมมติฐานหลักดังต่อไปนี้

1. สารขาเข้าของเตาหลอมจะประกอบไปด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์บริสุทธิ์และปริมาณอากาศที่สัมพันธ์กัน
2. ความดันรวมภายในเครื่องปฏิกรณ์มีค่าอยู่ที่ 0.5, 1.0 และ 2.0 atm
3. อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์เครื่องแรกมีค่าอยู่ระหว่าง 400 - 805 เคลวิน ในขณะที่เครื่องปฏิกรณ์ตัวที่สองจะถูกเก็บไว้ที่ 383.2 เคลวินซึ่งก็คือต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของกำมะถัน

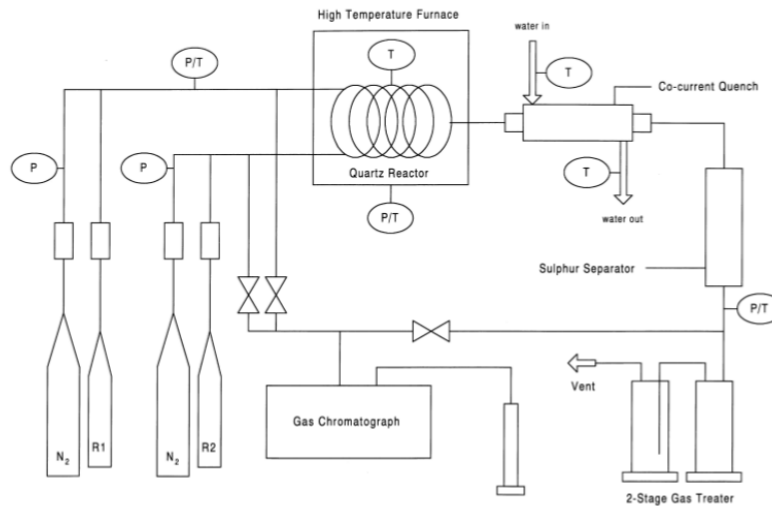
2.5.2 ข้อมูลการทดลองที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา Claus^[3]

เครื่องมือการทดลองในรูปที่ 4 ประกอบด้วยถังก๊าซแรงดัน ที่ขนส่งสารตั้งต้นผ่านระบบควบคุมการไหลไปยังเครื่องปฏิกรณ์ที่ไหลอยู่ในเตาเผาอุณหภูมิสูง ระบบ Quench และแก๊สโครมาโตกราฟสำหรับการวิเคราะห์สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาจะถูกปล่อยจากความดันทรงกระบอกไปยังความดันของเครื่องปฏิกรณ์ ที่มีอุปกรณ์ควบคุมที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นอัตราไหลจะถูกควบคุมโดย Linde FM4660 (Mass flow

controllers) หรือ MFC ที่เชื่อมต่อกับคอนโซลหลัก ตัวควบคุมการไหลของมวลถูก Calibrate ก่อนที่จะทำการทดลองอย่างไรก็ตามเพื่อให้แน่ใจว่าอัตราการไหลนั้นถูกต้อง Alexander Wright ก็ทำการทดสอบด้วยเช่นกัน จนในที่สุดอัตราการไหลก็สอดคล้องเท่ากับ 1% ซึ่งวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลได้แม่นยำถึง 1%

เครื่องปฏิกรณ์แบบ Quarts ถูกนำมาใช้ในการทดลองนี้เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบของโลหะหรือเซรามิกที่อาจมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยา เครื่องปฏิกรณ์แต่ละเครื่องจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 มิลลิเมตร และมีความยาวที่ต่างกัน 3 ขนาด เพื่อให้เวลาอยู่อาศัยจากประมาณ 0.5 วินาที ถึงประมาณ 2.0 วินาที ที่อุณหภูมิระหว่าง 800 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส ตามเงื่อนไขทั่วไปของเตาปฏิริยาส่วนหน้าของ Claus เครื่องปฏิกรณ์มีความยาว pre-heat length แล้วจึงตามด้วยห้องผสมและจากนั้นเป็นโซนที่มีอุณหภูมิสูง



รูปที่ 4 เครื่องมือ (แผนผัง)

เครื่องปฏิกรณ์ถูกขจัดด้วยเหตุผล 2 ประการ ได้แก่

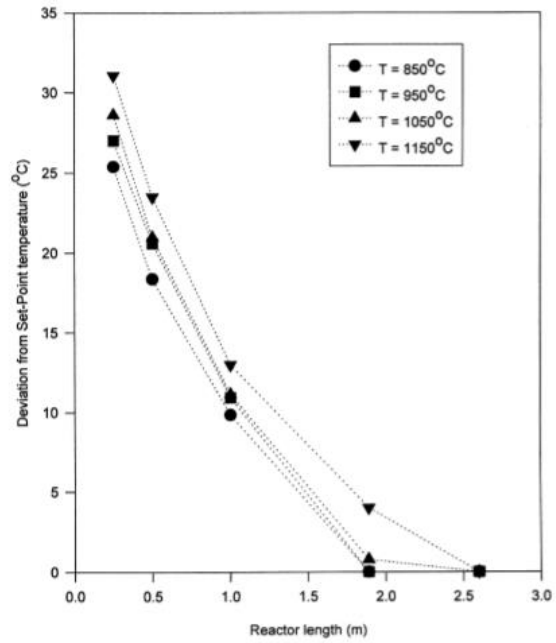
1. เพื่อมีความยาวพอเหมาะที่จะเหมาะสมกับระยะเวลาที่ต้องการ
2. เพื่อสร้างการไหลรองซึ่งจะช่วยลดการแพร่กระจายตามแนวแกนหรือการไหล Poiseuille

จึงช่วยเพิ่มการไหลของ plug flow เครื่องปฏิกรณ์ถูกออกแบบมาเพื่อตอบสนองเงื่อนไขของ Cutler, Antal และ Jones (1988) ที่กำหนดไว้สำหรับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบ Plug Flow Cutler และคณะ แสดงให้เห็นว่าแม้ในการไหลแบบราบเรียบ ข้อผิดพลาดในข้อมูลจลนศาสตร์ที่ได้จากการสมมติว่าการไหลแบบ Plug Flow นั้นโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าไม่กี่เปอร์เซ็นต์จนถึงสูงสุด 11% ถ้าเป็นไปตามเกณฑ์มิติของความร้อนและมวล แต่ในความจริงแล้ว Cutler และคณะ (1988) แสดงให้เห็นว่าในการบรรลุข้อมูลจลนศาสตร์มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

เนื่องจากความผิดพลาดอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องปฏิกรณ์ดำเนินการในแบบ plug flow รูปแบบการคำนวณแบบไดนามิกของไหล (CFD) ของปฏิริยาได้รับการพัฒนาโดย British Oxygen Corporation (BOC) ผลการจำลองแบบของเครื่องปฏิกรณ์นี้แสดงให้เห็นว่าระบอบการไหลนั้นใกล้เคียงกับ plug-flow มากขึ้น (Hawboldt, 1998) ตามเกณฑ์ของตัวตัดและผลลัพธ์ของการจำลอง CFD เครื่องปฏิกรณ์อาจถูกพิจารณาว่าทำงานในการไหลแบบPlug โดยไม่มีข้อผิดพลาด

ก๊าซผลิตภัณฑ์จากเครื่องปฏิกรณ์ควอตซ์ถูกดักตัวอย่างรวดเร็วต่อน้ำในตัวแลกเปลี่ยนที่อุณหภูมิโดยทั่วไปจะน้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส ภายใน 5-10 มิลลิวินาที สิ่งนี้แสดงให้เห็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องปฏิกรณ์ที่แม่นยำในที่สุดก่อนที่จะปล่อยก๊าซไปที่แก๊สโครมาโตกราฟผ่านตัวแยกและตัวกรองเพื่อกำจัดกัมมันตภาพรังสีที่มีสถานะเป็นแข็ง

คุณลักษณะที่สำคัญของระบบเครื่องปฏิกรณ์นี้ คือ สามารถทำงานได้ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ง่ายกว่า เพราะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในระบบตอบสนองไม่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไข มีการให้ความร้อนแบบไอโซเทอร์มอลด้วยความร้อนก่อนอย่างรวดเร็วและทำการทดลองภายใต้สภาวะเจือจาง โดยการรักษาความเข้มข้นของสารตั้งต้นให้ต่ำกว่า 5% ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใด ๆ เนื่องจากความร้อนของปฏิริยาจะลดลงหากไม่ถูกกำจัด ในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิทดลองสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ 3.05 เมตร เป็นพล็อตของการเบี่ยงเบนจากอุณหภูมิจุดเตาที่ตั้งเป็นฟังก์ชันของความยาว รูปนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นภายใน 303 องศาเซลเซียส ของจุดตั้งฉากภายในระยะ 25 เซนติเมตรแรกหลังจากนั้นความเบี่ยงเบนลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 1.2% ที่ 1.0 เมตร



รูปที่ 5 การวัดเชิงทดลองของส่วนเบี่ยงเบนอุณหภูมิตามแนวแกนระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับ set point

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 Aspen Plus V9

เป็น simulation program ที่ใช้คำนวณและออกแบบกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งนิยมใช้กันทั่วโลก

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.2.2 ติดตั้งโปรแกรม Aspen Plus V9 สำหรับใช้ในการออกแบบ

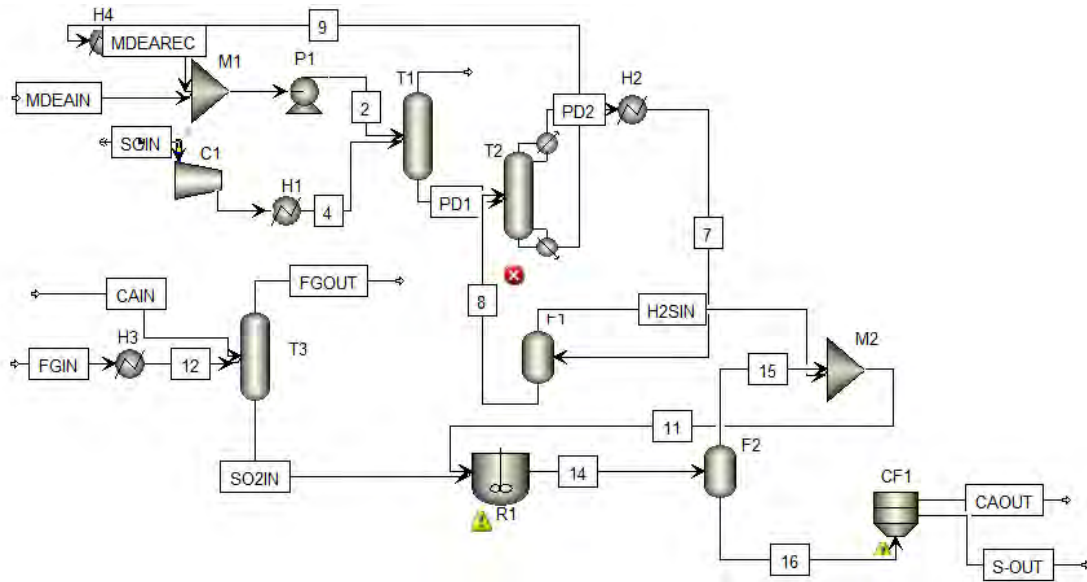
3.2.3 ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ

3.2.4 พัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.2.5 สรุปผลอภิปรายและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

3.3 การออกแบบกระบวนการ^[1]

จากเทคโนโลยีการกำจัดซัลเฟอร์ การดูดซึมและการรีไซเคิลก๊าซดูดซึมที่มีอยู่ดั้งเดิม ในการทดลองนี้จะแสดงถึงการออกแบบกระบวนการใหม่สำหรับการนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ใหม่จากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในก๊าซธรรมชาติและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในก๊าซที่ถูกเผาไหม้ผ่านปฏิกิริยา Wet Claus โดยกระบวนการใหม่นี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การดูดซึมและการแยกของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S absorption and desorption), การรีไซเคิลแบบดูดซึม (absorbent recycling), การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2 absorption) และปฏิกิริยา Claus และการแยกสาร (Claus reaction and separation) แผนภาพของกระบวนการแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการออกแบบกระบวนการ

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการ ได้แก่

- 1) เครื่องปฏิกรณ์ (R_1)
- 2) เครื่องหมุนเหวี่ยง (CF_1)
- 3) ปั๊ม (P_1)
- 4) คอมเพรสเซอร์ (C_1)
- 5) เครื่องผสม 2 เครื่อง (M_1 และ M_2)
- 6) คอลัมน์ flash จำนวน 2 คอลัมน์ (F_1 และ F_2)
- 7) คอลัมน์การดูดซึม จำนวน 3 คอลัมน์ (T_1 , T_2 และ T_3)
- 8) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จำนวน 4 เครื่อง (H_1 , H_2 , H_3 และ H_4)

แบบจำลองของเครื่องปฏิกรณ์ที่เราใช้คือ RCSTR และแบบจำลองของคอลัมน์ T_1 - T_3 คือ RadFrac เนื่องจากระบบปฏิกิริยาเป็นระบบที่มีอิเล็กโทรไลต์ วิธีการของคุณสมบัติที่เราเลือกคือ ELECNRTL ในส่วนการดูดซึมและการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซธรรมชาติจะถูกอัดความดันด้วยเครื่อง C_1 และทำให้อุ่นขึ้นโดยเครื่อง H_1 เพื่อให้ได้อุณหภูมิและความดันที่ต้องการของคอลัมน์การดูดซึม T_1 ในขณะเดียวกันการรีไซเคิล MDEA นั้นถูกผสมและสูบโดย T_1 เพื่อดูดซึมไฮโดรเจนซัลไฟด์ หลังจากการดูดซึมไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซมีเทนที่ถูกดูดซึมจะถูกส่งออกมาเป็นก๊าซธรรมชาติและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้นที่ดูดซึม MDEA จากด้านล่างของ T_1 จะถูกส่งไปยัง

คอลัมน์ desorption T₂ เป็นการทำให้ไฮโดรเจนซัลไฟด์บริสุทธิ์ และการทำให้ MDEA เกิดขึ้นใหม่อีกรอบ สำหรับการรีไซเคิล MDEA ที่สร้างใหม่จะถูกนำกลับไปบีบ P₁ และไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกส่งไปยัง flash 1 เพื่อแยก MDEA และน้ำออกจากกัน หลังจากนั้น MDEA ที่แยกจะถูกส่งไปยัง T₂ เพื่อนำมาใช้ซ้ำและไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกทำให้บริสุทธิ์และส่งไปยังเครื่องปฏิกรณ์สำหรับการผลิตซัลเฟอร์

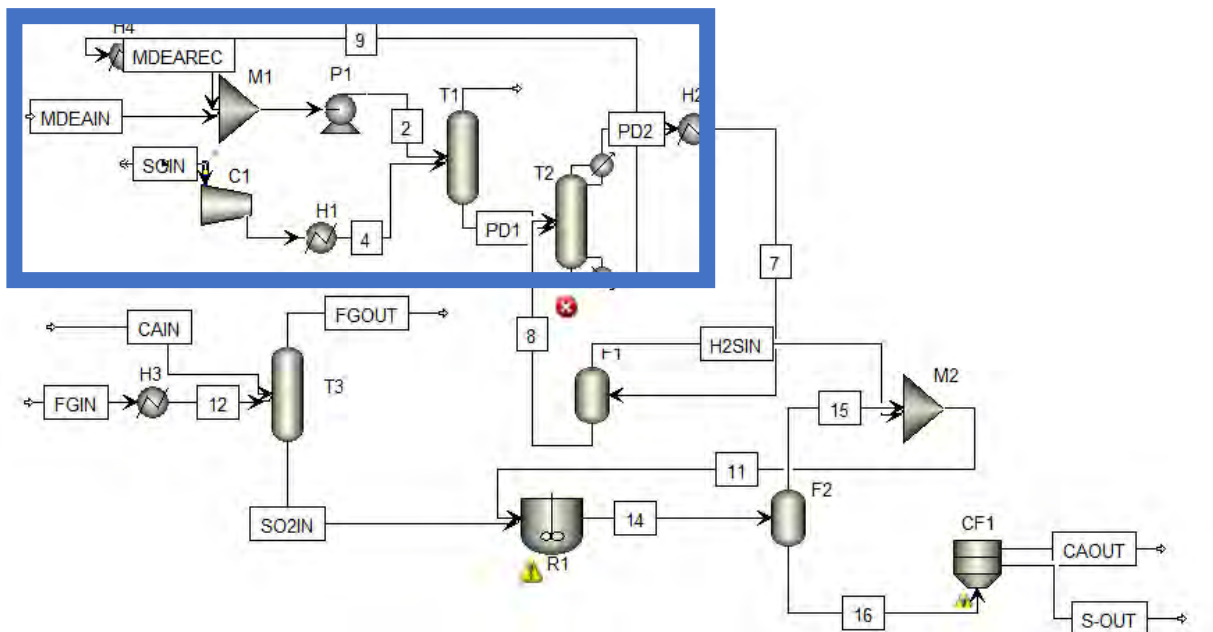
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทำงานของกระบวนการ

4.1.1 การดูดซึมและการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S absorption and desorption)

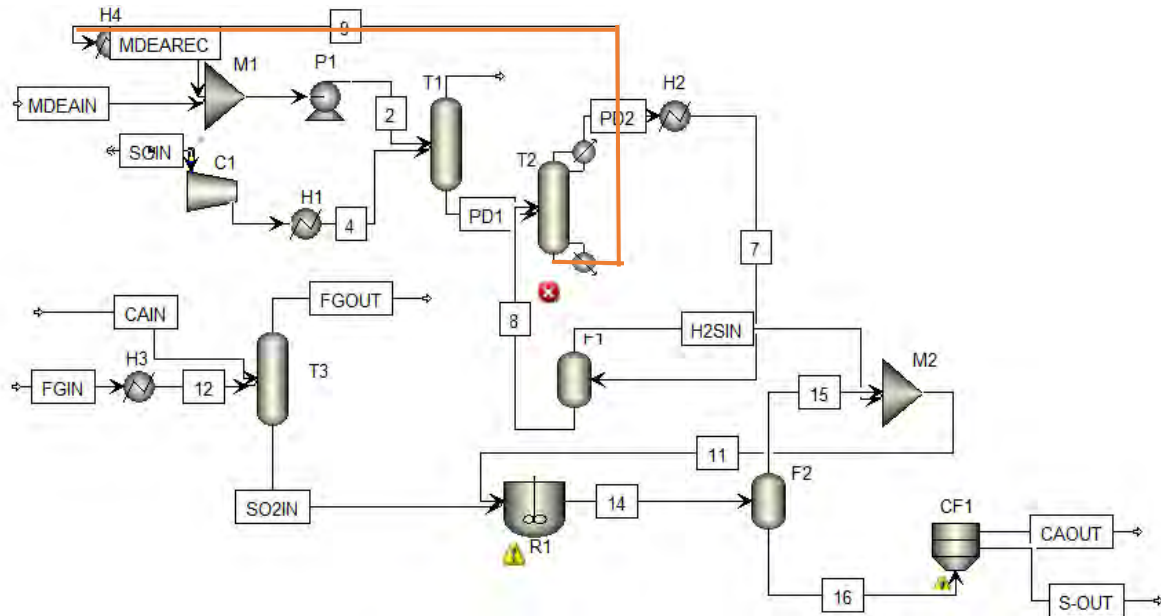
ในส่วนแรกของกระบวนการเป็นส่วนที่สาย SGIN ที่ประกอบไปด้วยก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ปริมาณ 500 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 1 กิโลปาสคาล ผ่านไปยังคอมเพรสเซอร์ (C1) ซึ่งตั้งให้ทำการเปลี่ยนแปลงสายไปที่ความดัน 100 กิโลปาสคาล หลังจากนั้นเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (H1) ซึ่งตั้งค่าไว้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล และเข้าสู่หอดูดซึม (T1) ซึ่งมีจำนวนชั้นเท่ากับ 50 ชั้นและความดัน 100 กิโลปาสคาล ส่วนสาย MDEAIN ประกอบไปด้วย MDEA ปริมาณ 500 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล ผ่านไปยังเครื่องผสม (M1) หลังจากนั้นเข้าสู่ปั๊ม (P1) ซึ่งตั้งค่าให้ทำการเปลี่ยนแปลงสายไปที่ความดัน 100 กิโลปาสคาล และเข้าสู่หอดูดซึม (T1) หลังจากทั้ง 2 สายผ่านเข้าสู่หอดูดซึม (T1) แล้วจะแยกออกเป็น 2 สาย คือ สาย NG จะเป็น Natural Gas ที่เราสามารถปล่อยออกสู่บรรยากาศได้ และสาย PD1 จะเป็นสายที่ประกอบไปด้วยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซชนิดอื่นเพื่อนำเข้าสู่หอดูดซึม (T2) ซึ่งมีจำนวนชั้นเท่ากับ 10 ชั้นและความดัน 0.1 เมกะปาสคาลเพื่อทำการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกมาและอีกส่วนจะเป็นการรีไซเคิลของสารดูดซึม MDEA กลับไปใช้ในกระบวนการ



รูปที่ 7 การดูดซึมและการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S absorption and desorption)

4.1.2 การนำตัวดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ (Absorbent Recycling)

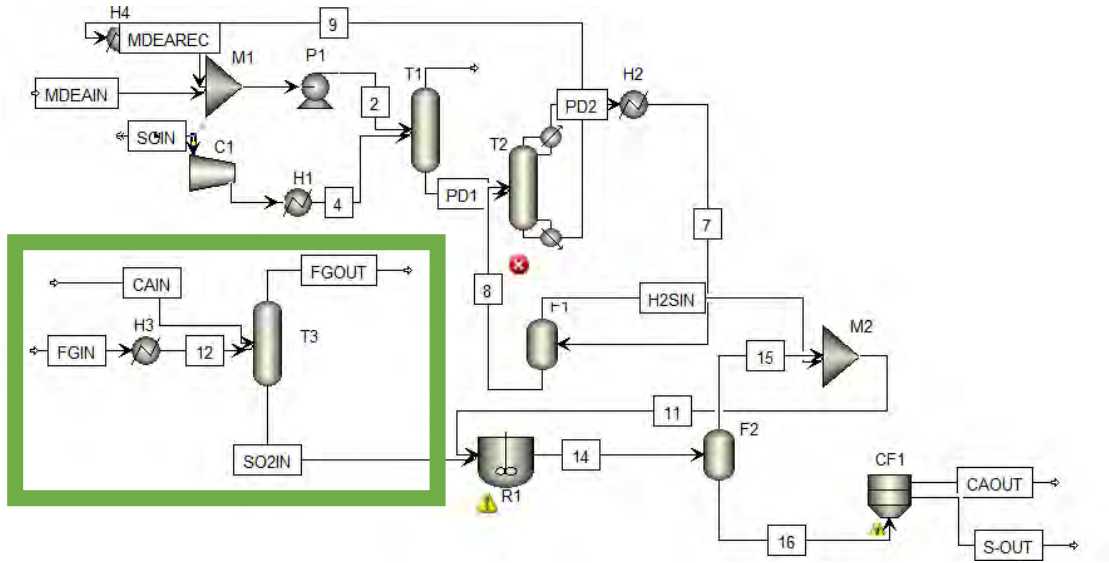
ถัดมาจะเป็นการนำตัวดูดซึมกลับมาใช้ในกระบวนการใหม่เป็นการนำสายที่อยู่ในสถานะของเหลวของหอดูดซึม (T2) เข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (H4) ซึ่งตั้งค่าไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 1 กิโลปาสคาล ได้มาเป็นสาย MDEAREC เพื่อนำกลับมารวมกับสาย MDEAIN และเข้าสู่เครื่องผสม (M1) ต่อไป



รูปที่ 8 การนำตัวดูดซึมกลับมาใช้ใหม่ (Absorbent Recycling)

4.1.3 การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂ absorption)

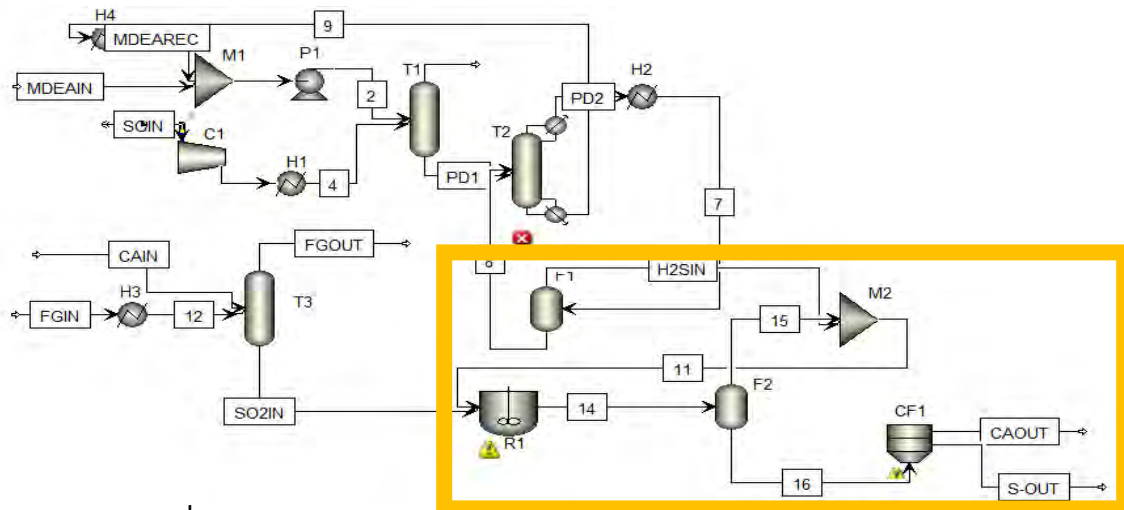
ถัดมาจะเป็นในส่วนของกระบวนการที่สาย FGIN ที่ประกอบไปด้วยก๊าซไนโตรเจน (N₂) ก๊าซออกซิเจน (O₂) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ปริมาณ 1,500 กิโลโมลต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล ผ่านไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (H₃) ซึ่งตั้งค่าไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล และผ่านเข้าไปยังหอดูดซึม (T3) ซึ่งมีจำนวนชั้นเท่ากับ 20 ชั้นและความดัน 100 กิโลปาสคาล ส่วนสาย CAIN ประกอบไปด้วยกรดซัลฟิวริกปริมาณ 1,500 กิโลโมลต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล ผ่านเข้าสู่หอดูดซึม (T3) หลังจากนั้นทั้ง 2 สายผ่านเข้าสู่หอดูดซึม ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แยกได้ออกมาเป็น 2 สาย คือ สาย FGOUT ประกอบไปด้วยก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนเป็นส่วนมาก ส่วนอีกสาย คือ SO₂IN ประกอบไปด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดซัลฟิวริกเป็นส่วนใหญ่ เพื่อนำไปใช้ในส่วนถัดไปของกระบวนการ



รูปที่ 9 การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂ absorption)

4.1.4 ปฏิกริยา Claus และการแยก (Claus reaction and Separation)

สายที่อยู่ในสถานะก๊าซที่ได้ออกมาจากหอดูดซึม (T2) ผ่านเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (H2) ซึ่งตั้งค่าไว้ที่ 70 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล ผ่านเข้าสู่คอลัมน์ Flash (F1) ซึ่งตั้งค่าไว้ที่ความดัน 100 กิโลปาสคาลและมีสัดส่วนของก๊าซ (Vapor fraction) เท่ากับ 0.5 นำสาย H2SIN ผ่านเข้าสู่เครื่องผสม (M2) และเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ (R1) ซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาล เช่นเดียวกับสาย SO2IN ที่ได้มาจากส่วนของการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วจะผ่านเข้าสู่คอลัมน์ Flash (F2) ซึ่งตั้งค่าไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสและความดัน 100 กิโลปาสคาลแยกออกได้เป็น 2 สาย คือ สาย 15 จะนำกลับไปผสมกับ H2SIN ที่เครื่องผสม (M2) และสาย 16 จะผ่านเข้าสู่เครื่องหมุนเหวี่ยง (CF1) แยกเป็นผลิตภัณฑ์ได้ 2 สาย คือ CAOUT และ S-OUT



รูปที่ 10 ปฏิกริยา Claus และการแยก (Claus reaction and Separation)

4.2 ตารางคุณสมบัติสารและพลังงานในแต่ละสายป้อนของกระบวนการ





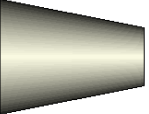


ตารางที่ 1 แสดงการคุณสมบัติสารและพลังงานในแต่ละสายป้อนของกระบวนการ



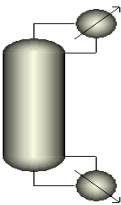

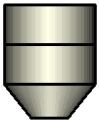

Steam	1	2	3	4	7	8	9	11	12	14	15
Temp (oC)	25.86	25.92	544.08	70.00	70.00	-161.61	-147.845914	2.406404	25	120	25
Temp (K)	298.86	298.92	817.08	343.00	343.00	111.39	125.15	275.41	298.00	393.00	298.00
Pressure (psia)	1.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100	100	100	100	100
Phase	Liquid	Liquid	Vapor	Vapor	Vapor	Liquid	Liquid	Vapor	Vapor	Mixed	Vapor
Mass flow (kg/h)	5824165.94	5824165.94	8133.22	8133.22	16.04	8.02	5764584.057	129.7093	43323.97	288466.2	121.687969
Molar flow (kmol/h)	73171.48	73171.48	500.00	500.00	1.00	0.50	72671.4788	4.74646	1500	1508.824	4.24645974
Energy flow (MJ/h)	-22504148.45	-22503480.83	-24191.58	-36290.03	-73.26	-44.69	-24371224.1	-49.3777	-901.343	-2221258	-8.7401419
Component molar flow											
H2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
HYDRO-01	545.92	545.92	6.20	6.20	0.00	0.00	545.9217573	0	0	0	0
METHA-01	27625.55	27625.55	493.80	493.80	1.00	0.50	27625.55204	0.582412	0	0.582412	0.08241201
NITRO-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	3.299273	1197	5.250788	3.29927336
OXYGE-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.856355	300	2.175648	0.8563548
SULFU-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00842	3	0.814723	0.00841958
METHY-01	45000.01	45000.01	0.00	0.00	0.00	0.00	44500.005	0	0	0	0
HSO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
SO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
Na+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
CITRI-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	2.89E-13	0	1500	2.89E-13
H+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
SULFU-02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0


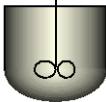
16	CAIN	CAOUT	FGIN	FGOUT	H2SIN	MDEAIN	MDEAREC	NG	PD1	PD2	SGIN	SO2IN	S-OUT
25	25	25	25	25.02106	-161.608	25	25	-161.608	-147.846	-161.608	25	25.0268	
298.00	298.00	298.00	298.00	298.02	111.39	298.00	298.00	111.39	125.15	111.39	298.00	298.03	
100	100	100	100	100	100	100	1	100	100	100	1	100	
Liquid	Liquid	Liquid	Vapor	Vapor	Vapor	Liquid	Mixed	Vapor	Liquid	Vapor	Vapor	Liquid	
288343.2	288188	288343.2	43323.97	43175.43	8.02138	59581.88	5764584	1.604276	5832298	16.04276	8133.223	288336.5	
1504.529	1500	1504.529	1500	1495.923	0.5	500	72671.48	0.1	73671.38	1	500	1504.077	
-2287223	-2286928	-2287223	-901.343	-660.848	-40.6375	-226955	-2.2E+07	-8.1275	-2.5E+07	-81.275044	-37111.7	-2287168	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	545.9218	1.08E-10	552.1218	2.63E-45	6.2	0	
0.498489	0	0.498489	0	0	0.5	0	27625.55	0.1	28119.25	1	493.8	0	
1.906239	0	1.906239	1197	1195.048	0	0	0	0	0	0	0	1.951515	
1.318237	0	1.318237	300	298.6807	0	0	0	0	0	0	0	1.319293	
0.806145	0	0.806145	3	2.193697	0	0	0	0	0	0	0	0.806303	
0	0	0	0	0	0	500	44500.01	0	45000.01	1.49E-249	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1500	1500	1500	0	1.03E-10	0	0	0	0	0	0	0	1500	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

4.3 ตารางการใช้พลังงานของอุปกรณ์

ตารางที่ 2 แสดงการใช้พลังงานของอุปกรณ์

เครื่อง	สัญลักษณ์ (Symbol)	ตัวย่อใน โปรแกรม	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	ชนิด (Type)	สายเข้า (Inlet)	สายขาออก (Outlet)
Heater		H1	70	100	Heat exchanger	3	4
Heater		H2	70	100	Heat exchanger	PD2	7
Heater		H3	25	100	Heat exchanger	FGIN	12
Heater		H4	25	1	Heat exchanger	9	MDEAREC
Compressor		C1	-	100	Isentropic	SGIN	3
Mixer		M1	-	-	Mixer	MDEAIN, MDEAREC	1
Mixer		M2	-	-	Mixer	H2SIN, 15	11

Pump		P1	-	100	Discharge pressure	1	2
Column		T1	-	100	RadFrac	2, 4	NG, PD1
Column		T2	-	100	RadFrac	PD1, 8	PD2, 9
Column		T3	-	100	RadFrac	CAIN, 12	FGOUT, SO2IN
Centrifuge		CF1	-	-	Decanter	16	CAOUT, S-OUT
Flash		F1	-	100	Separation	7	8, H2SIN

Flash		F2	25	100	Separation	14	15, 16
Reactor		R1	120	100	RCSTR	SO2IN, 11	14

4.4 ผลที่ได้จากการรันผ่านโปรแกรม Aspen Plus V9

ตารางที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการรันผ่านโปรแกรม Aspen Plus V9

เครื่อง	ผล	วิธีการที่จะแก้ปัญหา
T2	ERROR การดุลมวลของสายขาเข้าเครื่องกับสายขาออกของเครื่องมีค่าไม่สมดุลกัน ซึ่งมีค่าของ Flow แตกต่างกันอยู่ประมาณ 0.012	ทำการคำนวณสายขาเข้าและสายขาออกของเครื่องว่ามีส่วนไหนที่หายไปแล้วจึงทำการรันต่อไป
R1	WARNING อัตราของปฏิกิริยามีค่ามากกว่าศูนย์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาต้องมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารตั้งต้นแต่เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องถูกส่งต่อมาจากหอดูดซึม (T2) แต่จากเครื่องยังไม่สามารถแยกได้เนื่องจากปัจจัยยังไม่เหมาะสม จึงทำให้เครื่องปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้	ทำการปรับค่าของหอดูดซึม (T2) ให้แยกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ออกมา แล้วจึงทำการรันเครื่องปฏิกิริยา (R1) ต่อไป
CF1	WARNING ยังไม่สามารถทำการแยกได้เนื่องจากยังไม่มีของแข็งที่ได้ออกมาจากการรันคอลัมน์ Flash (F2) ทำให้ผลของสาย S-OUT ยังไม่ปรากฏในกระบวนการ	เมื่อเครื่องปฏิกิริยา (R1) สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ก็จะสามารถทำการแยกผลิตภัณฑ์ออกมาจากเครื่องหมุนเหวี่ยง (CF1) ได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การออกแบบกระบวนการนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ใหม่และทำการจำลองโดยใช้สมการจลนศาสตร์และปฏิกิริยาที่มีอยู่โดย ASPEN Plus เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการนำซัลเฟอร์กลับมาใช้ใหม่อื่น ๆ กระบวนการใหม่นี้มีข้อดี คือ การออกแบบกระบวนการง่าย เงื่อนไขของการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ยากเกินไป ความปลอดภัยสูง และสารดูดซึมที่สามารถรีไซเคิลได้ ยิ่งไปกว่านั้นกระบวนการนี้สามารถจัดการกับซัลไฟด์ในก๊าซที่ถูกละลายและก๊าซธรรมชาติเพื่อลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อมแถมยังได้ผลิตภัณฑ์ซัลเฟอร์ที่มีมูลค่าสูงอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 แก้ปัญหาเครื่องที่ยังไม่สามารถรันออกมาได้
- 5.2.2 ศึกษาปัจจัยเพิ่มเติมเพื่อทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มากขึ้น
- 5.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yang Yang, Xiao Feng, Qiao Zhang, Process design and simulation of a novel wet Claus desulfurization technology
- [2] Bonsut A. K. and Meisent A., Fluidize bed claus reactor studies
- [3] Monnery W. D., Hawboldt K. A., Pollock A., Svrcek W. Y., New experimental data and kinetic rate expression for the Claus reaction
- [4] A.L. Martí ´nez-Salazar a,, J.A. Melo-Banda a, M.A. Coronel-Garci ´a a, Pedro M. Garcı ´a-Vite a, Iris Martí ´nez-Salazar b, J.M. Domı ´nguez-Esquivel c, Technoeconomic analysis of hydrogen production via hydrogen sulfide methane reformation
- [5] Wikipedia “Sulfur dioxide”. [online], accessed 16 April 2020, from http://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_dioxide
- [6] Wikipedia “Desulfurization”. [online], accessed 16 April 2020, from <http://en.wikipedia.org/wiki/Desulfurization>
- [7] Wikipedia “Flue-gas desulfurization”. [online], accessed 16 April 2020, from http://en.wikipedia.org/wiki/Flue-gas_Desulfurization