ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสครับเบอร์แบบแพคเบด

นางสาวธนิตา ทองเงา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABSORPTION EFFICIENCY OF SULFUR DIOXIDE AND HYDROGEN SULFIDE IN PACKED BED SCRUBBER

Miss Tanitha Thong-Ngow

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสครับเบอร์แบบแพคเบด
โดย	นางสาวธนิตา ทองเงา
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

ธนิตา ทองเงา : ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสครับเบอร์แบบแพคเบด. (ABSORPTION EFFICIENCY OF SULFUR DIOXIDE AND HYDROGEN SULFIDE IN PACKED BED SCRUBBER) อ. ที่ปรึกษา : รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 170 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสครับเบอร์แบบแพคเบด ในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ตัวกลางพลาสติกชนิด Tellerette ขนาด 70 มิลลิเมตร บรรจุตัวกลางสูง 1.50 เมตรและใช้การไหลแบบไหลสวนทางกัน ทั้งนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งใช้เป็นตัวดูดซึม อัตราส่วนของเหลวต่ออากาศ (L/G) และความเร็วก๊าซ โดยการทดลองนี้ทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในช่วง 200 - 500 ส่วนในล้านส่วน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 50 – 200 ส่วนในล้านส่วน แปรผันความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตั้งแต่ 0 ถึง 0.025 โมลาร์ ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของน้ำและอากาศ (L/G) ที่ 5 - 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ และความเร็วก๊าซที่ 0.707 - 1.627 เมตรต่อนาทีที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยมีจุดเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมด 5 จุด ที่ระดับความสูงตัวกลาง 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.20 และ 1.50 เมตร

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย NaOH เท่ากับ 0.01 และ 0.002 โมลาร์ตามลำดับ เพิ่มอัตราส่วนของเหลวต่ออากาศ (L/G) และลดความเร็วของก๊าซ เวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่สุดคือ 60 วินาที สำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และ 120 วินาที สำหรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ความสูงตัวกลางคือ 1.5 เมตร ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์คือร้อยละ 98 และ 100 ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ..... ลายมือชื่อนิสิต.....ธนิตา ทองเงา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2551

4870587421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: SULFUR DIOXIDE / HYDROGEN SULFIDE / PACKED BED SCRUBBER / ABSORPTION / REMOVAL EFFICIENCY

TANITHA THONG-NGOW : ABSORPTION EFFICIENCY OF SULFURDIOXIDE AND HYDROGEN SULFIDE IN PACKED BED SCRUBBER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI, 170 pp.

The objective of this research was to study the absorption efficiency of Sulfur Dioxide and Hydrogen Sulfide in Packed Bed Scrubber. The experiments were performed in a bench-scale packed bed scrubber packed with 70 mm Tellerette plastic media up to height of 1.50 m and operated in countercurrent mode. The operating variables included gas concentrations, NaOH concentrations, gas velocity and liquid to gas ratio (L/G). The inlet concentrations of SO_2 varied from 200-500 ppm and H_2S varied from 50-200 ppm. The concentration of NaOH aqueous solutions were 0-0.025 molar. In addition, gas velocity varied from 0.707 – 1.627 m/min and L/G ratio varied from 5 – 13 l/m^3. The sample ports were placed along the column at heights of 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.20 and 1.50 meters.

The results showed that, the amount of sulfur dioxide and Hydrogen Sulfide absorbed could be improved with an increase in the concentration of sodium hydroxide solution, L/G ratio and decrease gas velocity. The optimum concentrations of sodium hydroxide solution were 0.01 molar for Sulfur Dioxide and 0.002 molar for Hydrogen Sulfide. Moreover, the contact times were 60 seconds for Sulfur Dioxide and 120 seconds Hydrogen Sulfide. The highest removal efficiency of Sulfur Dioxide and Hydrogen Sulfide in Packed Bed Scrubber were 98% and 100%, respectively.

Department Environmental Engineering... Student's signature.....Tanitha Thong-Ngow.....

Field of study Environmental Engineering...Advisor's signature.....

Academic year 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ตลอดมา และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์นี้และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ และครูอนันต์ วีระณรงค์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนด้านเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆ และทุกท่านที่ไม่อาจกล่าวนามได้ทั้งหมด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ณ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.1 สมบัติของก๊าซ..... 3

2.2 หอดูดซึม..... 4

2.3 ประเภทและลักษณะอุปกรณ์ต่างๆ..... 8

2.4 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ..... 11

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 19

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย..... 19

3.2 ชุดการทดลอง..... 20

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 27

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 34

บทที่ 4 ผลการทดลอง..... 35

4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์..... 35

4.2. ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 56

4.3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 79

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... 82
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 82
5.2 การออกแบบใช้งาน..... 87
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 87
รายการอ้างอิง..... 88
ภาคผนวก..... 91
ภาคผนวก ก เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์..... 92
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์..... 100
ภาคผนวก ค ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 129
ภาคผนวก ง วิธีผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 166
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 170

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์.... 3

ตารางที่ 2.2 ชนิดของตัวกลาง (Type of packing media).....9

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรและค่าที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา..... 17

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 19

ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นของสารโซเดียมไบซัลไฟต์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
ในการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....20

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของสารโซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้
ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 21

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อัตราไหลก๊าซ
และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง..... 28

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อัตราไหลก๊าซ
และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง..... 31

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์ตรวจวัด..... 34

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 36

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นสารดูดซึม..... 37

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์เป็นสารดูดซึม..... 38

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์เป็นสารดูดซึม..... 39

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม..... 57

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นสารดูดซึม..... 58

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นสารดูดซึม..... 59

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นสารดูดซึม..... 60
ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์
โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 79
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม..... 81
ตารางที่ 5.1 สรุปตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของสครับเบอร์
แบบแพคเบดในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์
เมื่อเพิ่มค่าตัวแปรขึ้น..... 86
ตารางที่ 5.2 สรุปตัวแปรที่เหมาะสมต่างๆที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของสครับเบอร์
แบบแพคเบดในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 87
ตารางที่ ข.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 101
ตารางที่ ข.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์..... 102
ตารางที่ ข.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์..... 103
ตารางที่ ข.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้ใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์..... 104
ตารางที่ ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดย
ใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ..... 105
ตารางที่ ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ.... 111
ตารางที่ ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ..... 117
ตารางที่ ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ..... 123
ตารางที่ ค.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 130
ตารางที่ ค.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์..... 131

ตาราง หน้า

ตารางที่ ค.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์..... 132
ตารางที่ ค.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์..... 133
ตารางที่ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม
ที่ความสูงระดับต่างๆ..... 134
ตารางที่ ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ..... 142
ตารางที่ ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลาย
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ..... 150
ตารางที่ ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายด์
โซเดียมไฮดรอกไซเข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ..... 158
ตารางที่ ง.1 ความเข้มข้นของสารโซเดียมไบซัลไฟต์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการผลิต
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์..... 167
ตารางที่ ง.2 ความเข้มข้นของสารโซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการผลิต
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 169

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 2.1 แบบจำลองของทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น..... 6
รูปที่ 2.2 หอบรรจุแบบแพค แบบไหลสวนทางกัน..... 7
รูปที่ 2.3 หอบรรจุแบบแพค แบบไหลทางเดียวกัน..... 7
รูปที่ 2.4 หอบรรจุแบบแพค แบบไหลตัดกัน..... 8
รูปที่ 2.5 ลักษณะของตัวกลาง..... 9
รูปที่ 2.6 ลักษณะตัวกลางชนิด Tellerette..... 10
รูปที่ 2.7 กระบวนการถ่ายเทมวลที่สภาวะสมดุล..... 12
รูปที่ 3.1 ชุดสร้างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 20
รูปที่ 3.2 ชุดผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการวิจัย..... 21
รูปที่ 3.3 ชุดผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในการวิจัย..... 22
รูปที่ 3.4 หอสครับเบอร์แบบแพคเบดระดับขนาดห้องปฏิบัติการ..... 23
รูปที่ 3.5 ชุดทดลองหอสครับเบอร์แบบแพคเบด..... 23
รูปที่ 3.6 วัสดุตัวกลางชนิด Tellerette..... 24
รูปที่ 3.7 ลักษณะการบรรจุวัสดุตัวกลางชนิด Tellerette ในหอสครับเบอร์แบบแพคเบด..... 24
รูปที่ 3.8 แผ่นรองรับตัวบรรจุ (Packing Support)..... 25
รูปที่ 3.9 ตัวกระจายของเหลว (Liquid Distributor)..... 26
รูปที่ 3.10 การติดตั้งตัวกระจายของเหลว (Liquid Distributor)..... 26
รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ดักละอองน้ำ (Mist Eliminator)..... 27
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับความเข้มข้นก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม……..……..36
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นก๊าซ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม.....37
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นก๊าซ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม.....38
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นก๊าซ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม.....39
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซค์กับความเข้มข้น
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที.....40

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที..... 41
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 41
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที..... 42
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม.....43
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม..... 43
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม..... 44
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม..... 44
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 45
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 46
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 46
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 47

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที.....48
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที.... 48
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที.....49
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที...49
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์
เป็นตัวดูดซึมที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที..... 50
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์
เป็นตัวดูดซึมที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที..... 50
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 51
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที..... 51
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที..... 52
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที..... 52

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 53
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที.....53
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที..... 54
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที..... 54
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 55
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที..... 55
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับความเข้มข้นก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 61
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นก๊าซ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 61
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นก๊าซ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม.....62
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นก๊าซ
โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 62
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้น
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราการไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที.....63

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราการไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที……..……64
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราการไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที……..…… 64
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราการไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที..... 65
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม……66
รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 66
รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม……... 67
รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม..... 67
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 ลิตรต่อนาที โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม.....68
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 ลิตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม……..……69
รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 ลิตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม……..69
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 ลิตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม.....70

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที……..71
รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที..... 71
รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 72
รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที..... 72
รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที..... 73
รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที……..…73
รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที……74
รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที……..74
รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที……..…..75
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที…….. 75

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 76
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที..... 76
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที..... 77
รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที..... 77
รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที..... 78
รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์
เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราการไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที.....78
รูปที่ 4.65 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม..... 80
รูปที่ 4.66 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่ความเข้มข้นก๊าซ 200 ส่วนในล้านส่วน.....81
รูปที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลก๊าซกับปริมาณสารโซเดียมไบซัลไฟต์
ที่ใช้ในการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นสารละลายต่างๆ.....168
รูปที่ ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลก๊าซกับปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์
ที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นสารละลายต่างๆ..... 169

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นมลพิษอากาศที่มีผลกระทบรุนแรงทั้งในระดับท้องถิ่นและภูมิภาค เมื่ออากาศมีความชื้นสูงก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีโอกาสรวมตัวกันเป็นละอองกรด และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าฝนกรด (Acid rain) โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Fossil Fuel) ที่มีกำมะถันเจือปน เช่น การเผาถ่านหินเพื่อผลิตไฟฟ้า การเผาน้ำมันเตา สำหรับอุตสาหกรรมบางประเภท ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม การผลิตกรดกำมะถัน การถลุงแร่และสังกะสี ทำให้ธาตุกำมะถันที่เจือปนอยู่ในวัตถุดิบหรือสินแร่รั่วไหลออกมาระหว่างการผลิต ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น พบในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับยาง โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานน้ำตาล ในเหมืองถ่านหิน โรงงานทำเครื่องกระป๋อง และทำสี ตลอดจนโรงบำบัดน้ำเสีย

ประเทศไทยได้กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน (พ.ศ. 2549) ว่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จากการผลิตทั่วไป ต้องไม่เกิน 60 - 950 ส่วนในล้านส่วน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการผลิตทั่วไป ต้องไม่เกิน 80 - 100 ส่วนในล้านส่วน

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศ ทั้งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์สู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยระบบสครับเบอร์แบบแพคเบด โดยศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของสครับเบอร์แบบแพคเบด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสครับเบอร์แบบแพคเบด ในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)

1.2.2 เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้เป็นตัวดูดซึม

1.2.3 เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการเดินระบบที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ ความเร็วก๊าซ (Gas Velocity) อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ (L/G) และความสูงของวัสดุตัวกลาง (Height of Packing Media)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การวิจัยนี้ทดลองกับถังปฏิกรณ์ระดับห้องปฏิบัติการ (Bench scale)

1.3.2 ทดลองกับตัวกลางบรรจุ (Packing Media) ชนิด Tellerette ขนาด 70 มิลลิเมตร

1.3.3 กำหนดความสูงตัวกลางบรรจุ เท่ากับ 1.5 เมตร

1.3.4 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตั้งแต่ 200 ถึง 500 ส่วนในล้านส่วน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ 50 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน

1.3.5 เปลี่ยนแปลงความเร็วก๊าซตั้งแต่ 0.707 ถึง 1.627 เมตรต่อนาที (อัตราไหลก๊าซ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที)

1.3.6 เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ (L/G) ตั้งแต่ 6 ถึง 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ

1.3.7 ตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซที่ทางเข้าและออกที่ระดับความสูง 0 ถึง 1.5 เมตรของถังปฏิกรณ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาระบบ และสามารถนำไปใช้งานจริงตามที่ออกแบบ และสามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้งาน

1.4.2 ระบบสครับเบอร์แบบแพคเบดเป็นทางเลือกหนึ่ง ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของก๊าซ

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุนคล้ายกลิ่นไม้ขีดไฟขณะติดไฟ ละลายน้ำได้ดีมาก มีฤทธิ์เป็นกรด และเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต หากเข้าสู่ร่างกายมีผลทำให้หลอดลมส่วนบนอักเสบ ถุงลมโป่งพอง เนื้อเยื่อปอดเป็นผังผืดไม่มีการแลกเปลี่ยนออกซิเจนกับเลือดเกิดอาการหอบ หัวใจวายตายได้

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นก๊าซที่มีกลิ่นฉุนรุนแรง ไม่มีสี ติดไฟได้ เมื่อได้รับก๊าซในปริมาณน้อยจะมีอาการแสบตา แสบจมูก ไอ ปวดศีรษะ ชีพจรเต้นเร็วขึ้น ความดันลดลง แล้วหมดสติ เมื่อสูดดมเข้าไปประสาทจะชาทำให้ไม่ได้กลิ่นต่อไป ถ้าสูดเข้าไปมากๆจะตายได้ภายใน 2 - 3 นาที

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

ลักษณะทางกายภาพและเคมีของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (U.S. Environmental Protection Agency, 2004)

Characteristic	SO_2	H_2S
CAS number	7446-09-5	7783-06-4
Molecular Weight	64.06 g/mol	34.08 g/mol
Density	2.551 g/L	1.363 g/L
Phase	gas	gas
Melting point	-72.4 ^{o}C	-82.30 ^{o}C
Boiling point	-10.0 ^{o}C	-60.28 ^{o}C
Henry's Constant	0.00081 atm-m^3/mole	0.00856 atm-m^3/mole
Solubility @ 20^{o}C in water	9.4 g/100 ml	0.33 g/ 100 ml
Conversion factor in air	1 ppm= 2.62 mg/m^3	1 ppm= 1.39 mg/m^3
Thershold limit Value	TWA : 2 ppm	TWA : 10 ppm
	STEL : 5 ppm	STEL : 15 ppm

2.2 หอดูดซึม

2.2.1 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึม คือกระบวนการถ่ายเทมวลสารระหว่างวัฏภาคก๊าซกับวัฏภาคของเหลว โดยก๊าซจะถูกดูดซึมและถูกถ่ายเทจากระหว่างวัฏภาคก๊าซไปยังวัฏภาคของเหลว การดูดซึมก๊าซด้วยของเหลวจะเกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณก๊าซในของเหลวน้อยกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดสมดุลทางเคมีหรือการละลายที่อิ่มตัว ความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นจริงกับความเข้มข้นขณะสมดุลทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนของการดูดซึม

ในการดูดซึมมลพิษที่เป็นก๊าซ อัตราการดูดซึมขึ้นกับการจับคู่ระหว่างสารดูดซึม (ของเหลวหรือสารละลาย) กับสารถูกดูดซึม (ก๊าซ) ในการละลายหรือการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซและของเหลว เช่น ความหนืดและความหนาแน่น และสภาวะของสารดูดซึม เช่น อุณหภูมิ พื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลว อัตราไหลของก๊าซและของเหลว

2.2.1.1 ศัพท์ที่ใช้ในกระบวนการดูดซึมคือ

1) ตัวดูดซึม (Absorbent) คือ ของเหลว เช่น น้ำ สารละลาย

2) ตัวถูกดูดซึม หรือ ตัวถูกละลาย (Absorbate or Solute) คือ ก๊าซที่ปนเปื้อนมลพิษ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และอื่นๆ

3) ก๊าซตัวพา (Carrier gas) คือ ก๊าซเฉื่อย

4) ผิวสัมผัส (Interface) คือ พื้นที่ที่ก๊าซและตัวดูดซึมสัมผัสซึ่งกันและกัน

2.2.1.2 กลไกการดูดซึมแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) โมเลกุลของมลพิษแพร่ (Diffuse) ผ่านวัฏภาคก๊าซไปยังผิวของเหลว

2) โมเลกุลนั้นจะละลายเข้าไปในของเหลวนั้นที่ผิวสัมผัส

3) มลพิษที่ละลายนั้นจะแพร่จากผิวสัมผัสเข้าไปในวัฏภาคของเหลว

2.2.1.3 หลักการโดยทั่วไปของการดูดซึมมีอยู่ 2 ประการ คือ

1) ความสามารถในการละลาย (Solubility) ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการดูดซึมสารปนเปื้อน คือความสามารถในการละลายของสารปนเปื้อนโดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการละลายคือ อุณหภูมิและความดันของระบบ ซึ่งความสามารถในการละลายนั้นใช้การวัดที่สภาวะสมดุล โดยวัดปริมาตรก๊าซและของเหลวในภาชนะปิด และตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จนปริมาตรของก๊าซที่ถูกดูดซึมเข้าไปในของเหลวเท่ากับปริมาณสารที่ละลายได้ ณ จุดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนรูปของสารมลพิษอีก และความเข้มข้นของก๊าซในส่วนที่เป็นก๊าซและในของเหลวจะคงที่ คือระบบก๊าซและของเหลวจะเกิดการสมดุล

กฎของเฮนรี่ (Henry's law) สามารถใช้ทำนายความสามารถในการละลาย เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายถูกทำให้เจือจางลงมาก ดังสมการที่ 2.1

$$Y^{*} = Hx \qquad (2.1)$$

เมื่อ Y^{*} = สัดส่วนโมลของก๊าซในสภาวะสมดุลกับของเหลว

x = สัดส่วนโมลของตัวถูกละลายในของเหลว

H = ค่าคงที่ในกฎของเฮนรี่ หน่วย สัดส่วนโมลของก๊าซต่อสัดส่วนโมลของเหลว

2) การเคลื่อนย้ายมวลสาร ใช้แบบจำลองของทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น อธิบายการเคลื่อนย้ายมวลที่มีอยู่ในสถานะก๊าซ และของเหลวบริเวณระหว่างผิวของ 2 ส่วน คือ ส่วนของก๊าซ และของเหลว โดยมีสมมติฐานว่ามีการผสมอย่างสมบูรณ์ทั้งในก๊าซ และของเหลว โดยมีความสมดุลกันของการเคลื่อนย้ายมวลทั้งเข้าและออก

สมการที่ 2.2 และ 2.3 แสดง การเคลื่อนย้ายมวลสาร A จากสถานะก๊าซไปยังสถานะของเหลว

$$N_A = K_g (p_{AG} - p_{AI}) \qquad (2.2)$$

$$N_A = K_l (C_{AL} - C_{AI}) \qquad (2.3)$$

เมื่อ N_A = อัตราส่วนของการเคลื่อนย้ายองค์ประกอบของสาร A

= หน่วย กรัมโมล/ชั่วโมง.ตารางเมตร

K_g = ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลสถานะก๊าซ

= หน่วย กรัมโมล/ชั่วโมง. ตารางเมตร. ปาสคาล

K_l = ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลสถานะของเหลว

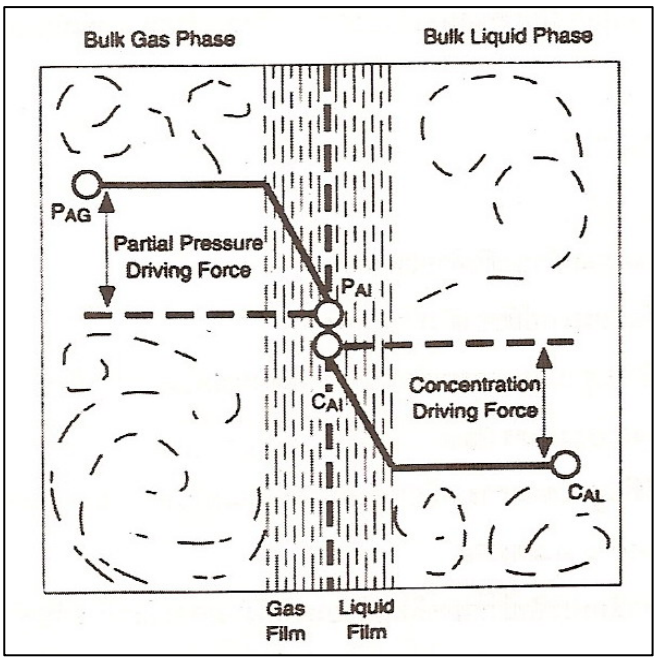
= หน่วย กรัมโมล/ชั่วโมง. ตารางเมตร. ปาสคาล

p_{AG} = ค่าความเข้มข้นของก๊าซในสถานะก๊าซ

p_{AI} = ค่าความเข้มข้นของก๊าซที่ชั้นผิวสัมผัส

C_{AL} = ค่าความเข้มข้นของของเหลวในสถานะของเหลว

C_{AI} = ค่าความเข้มข้นของของเหลวที่ชั้นผิวสัมผัส

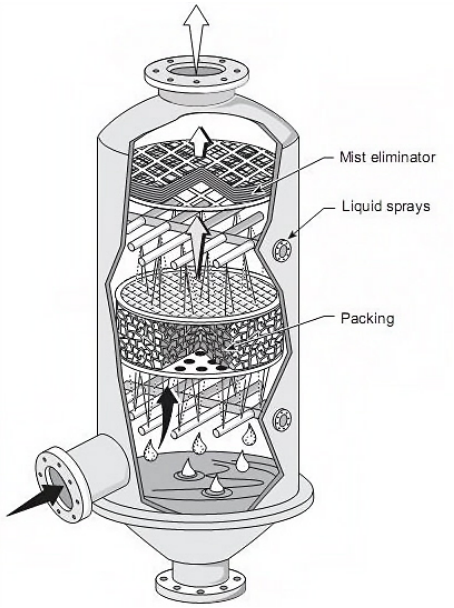


รูปที่ 2.1 แบบจำลองของทฤษฎีเยื่อ 2 ชั้น
ที่มา : McCabe และ Smith (1967)

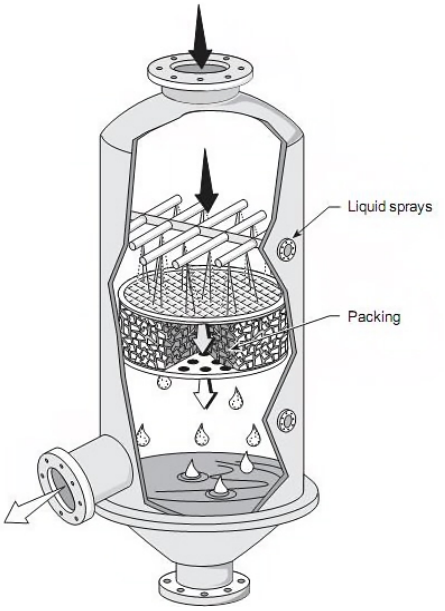
2.2.2 **หอดูดซึม** (Absorption column)

หอดูดซึม เป็นเครื่องมือแยกสารใช้สำหรับดูดซึมก๊าซ โดยการดูดซึมต้องการให้แก๊สและของเหลวมีการสัมผัสกันมากที่สุด เครื่องมือดูดซึมที่ใช้ในปัจจุบันคือ หอดูดซึมแบบแพคเบด (Packed Bed Tower) หอดูดซึมแบบถาด (Plate tower) หอดูดซึมแบบสเปรย์ (Spray tower) เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหอดูดซึมแบบแพคเบด (Packed Bed tower)

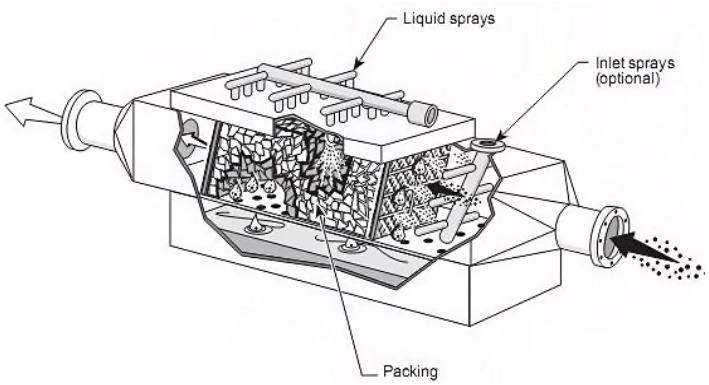
หอดูดซึมแบบแพคเบด (Packed Bed tower) เป็นเครื่องมือแยกสารใช้สำหรับดูดซึมก๊าซ โดยจะทำการกระจายของเหลวที่เป็นตัวดูดซึมเหนือวัสดุตัวกลาง (Packing media) เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างเฟสสำหรับให้ก๊าซและของเหลวสัมผัสกันอย่างต่อเนื่อง โดยหอบรรจุแบบแพคที่นิยมใช้ทั่วไปมี 3 ประเภทคือ แบบไหลสวนทาง (Counter current flow) แบบไหลทางเดียวกัน (Co current flow) และแบบไหลตัดกัน (Cross current flow) ดังรูปที่ 2.2 ถึง 2.4 ในงานวิจัยนี้ใช้แบบไหลสวนทาง ซึ่งกระแสของก๊าซปนเปื้อนจะถูกปล่อยเข้ามาทางด้านล่างของหอและไหลขึ้นสู่วัสดุตัวกลาง (Packing media) ส่วนของเหลวที่เป็นตัวดูดซึมจะถูกนำเข้าทางด้านบนของหอ โดยวิธีการสเปรย์และไหลลงสู่วัสดุตัวกลาง ในทางทฤษฎีวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงที่สุด หากให้ก๊าซนั้นสัมผัสกับของเหลวที่เป็นตัวดูดซึมมากที่สุด และให้กระบวนการทั้งหมดเกิดในคอลัมน์ขนาดที่มีความสูงเพียงพอ



รูปที่ 2.2 หอบรรจุแบบแพค (Packed Bed tower) แบบไหลสวนทางกัน (Counter current flow)
ที่มา: Perry, Green และ Maloney (1984)



รูปที่ 2.3 หอบรรจุแบบแพค (Packed Bed tower) แบบไหลทางเดียวกัน (Co current flow)
ที่มา: Perry, Green และ Maloney (1984)



รูปที่ 2.4 หอบรรจุแบบแพค (Packed Bed tower) แบบไหลตัดกัน (Cross current flow)
ที่มา: Perry, Green และ Maloney (1984)

2.2.2.1 ลักษณะที่สำคัญของหอดูดซึม

1) มีพื้นที่สัมผัสระหว่างก๊าซ-ของเหลวมาก

2) มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารสูง (High Mass Transfer Coefficient)

3) มีแรงขับเคลื่อนสูง (High driving force) เช่นความดันย่อย (Partial Pressure) สูง และผลต่างของความเข้มข้น (Concentration Difference) สูง เป็นต้น

2.3 ประเภทและลักษณะอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.3.1 วัสดุตัวกลาง (Packing Media) (ปิยะสาร ประเสริฐธรรม, 2542)

มีหน้าที่ทำให้เกิดพื้นที่ผิวสำหรับการดูดซึม มักทำมาจากวัสดุต่างๆเช่น เซรามิก กระเบื้อง โลหะ และพลาสติกทนความร้อนที่มีความหนาแน่นสูง ดังรูปที่ 2.5

2.3.1.1 ลักษณะที่สำคัญของวัสดุตัวกลางที่ดีคือ

1) ควรให้พื้นที่ที่เปียกของเหลวต่อปริมาตรของหอมีค่าสูง เพื่อให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากขึ้น

2) ควรมีปริมาณช่องว่าง (Void volume) มาก เพื่อให้ก๊าซและของเหลวไหลผ่านโดยสะดวก ไม่ให้เกิดความดันลดมากเกินไป

3) ควรมีลักษณะที่เปียกของเหลวได้ดี

4) ควรมีความหนาแน่นต่ำ เพราะว่าในหอดูดซึมที่ขนาดใหญ่ น้ำหนักของวัสดุตัวกลางจะมาก ซึ่งมีผลเกี่ยวกับการค้ำจุนให้อยู่ในหอได้

5) ควรมีราคาไม่สูงมากนัก

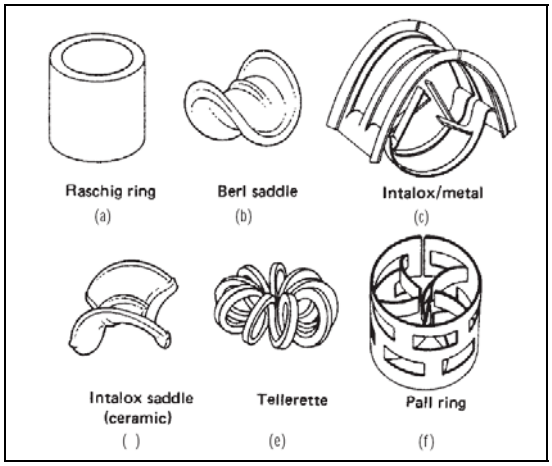
2.3.1.2 วัสดุตัวกลางแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1) แบบสแตค (Stacked packing) เช่นกริด (grids) จะมีโครงสร้างที่เปิด สามารถใช้กับอัตราไหลของก๊าซที่สูงได้โดยมีความดันลดไม่มากนัก เช่น ใช้ในหอหล่อเย็น (Cooling towers)

2) แบบสุ่ม (Random packing) ใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการของอุตสาหกรรม ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของตัวกลาง (Type of packing media) (Strigle, 1994)

ชนิดของตัวกลาง	**ลักษณะ**
Raschig ring	มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มักทำมาจากเซรามิก เหล็ก พลาสติก และคาร์บอน มีราคาถูก แต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบอื่นๆ
Berl saddle	มีลักษณะดีกว่า Raschig ring เพราะมีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสต่อหน่วย เกิดการไหลไปตามผนังหอน้อย มีความดันลดสูง
Intalox saddle	มีประสิทธิภาพสูงแต่ราคาแพง ให้ลักษณะเบดที่สม่ำเสมอจึงมีพื้นที่ปิดกั้นการไหลของของเหลวและก๊าซน้อย มีความดันลดต่ำกว่า Berl saddle
Pall ring	มีลักษณะคล้ายกับ Raschig ring แต่มีผนังเปิด ให้อัตราการถ่ายเทมวลสูงกว่า แต่ราคาแพง วัสดุที่ใช้มักทำด้วยโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน
Tellerette	มีความดันลดต่ำมาก มักใช้ในการบำบัดมลพิษอากาศ



รูปที่ 2.5 ลักษณะของตัวกลาง

ที่มา: Perry, Green และ Maloney (1984)

2.3.2 **วัสดุตัวกลางชนิด** Tellerette

วัสดุตัวกลางชนิด Tellerette เป็นวัสดุตัวกลางที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในเครื่องสัมผัสแบบเปียก (Wet scrubber) หอหล่อเย็น (Cooling tower) และหอดูดซึม (Absorption column) ดังรูปที่ 2.6

2.3.2.1 ลักษณะของตัวกลาง (Characteristics) (Billet, 1995)

1) มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรตัวกลางสูง
2) สามารถกระจายน้ำได้ดี และมีโครงสร้างที่โค้งมน
3) สามารถลดความดันลดได้สูงเนื่องจากมีพื้นที่ว่าง (Void space) สูง
4) ทำมาจากพลาสติกซึ่งสามารถทนการกัดกร่อนได้ดี
5) มีน้ำหนักเบา

2.3.2.2 ลักษณะทางกายภาพ (Physical properties)

1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง : 70 มิลลิเมตร
2) พื้นที่ผิวตัวกลาง : 105 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร
3) สัดส่วนพื้นที่ว่าง (free volume) : 96%
4) Packing Factor : 18 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 2.6 ลักษณะตัวกลางชนิด Tellerette
ที่มา: Strigle (1994)

2.3.3 **แผ่นรองรับตัวบรรจุ** (Packing support)

หน้าที่ของแผ่นรองรับมีไว้เพื่อรับน้ำหนักของตัวบรรจุที่เปียก แต่จะยอมให้ก๊าซและของไหลผ่านได้สะดวก การออกแบบแผ่นรองรับตัวบรรจุที่ดีที่สุด ควรแยกช่องการไหลของก๊าซออกจากของเหลวโดยให้ช่องทางไหลของก๊าซอยู่ข้างบนเหนือช่องทางไหลของของเหลว

2.3.4 **ตัวกระจายของเหลว** (Liquid distributor)

เพื่อให้ได้ประสิทธิผลสูงในหอบรรจุ การกระจายของเหลวบนตัวบรรจุอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นพบว่ามีแบบตัวกระจายของเหลวหลายชนิด เช่น ถ้าหอบรรจุมีขนาดเล็กจะมีเพียงรูเปิดตรงกลางยอดหัวหรือหัวฉีดฝอยเพียงตัวเดียวก็เพียงพอสำหรับการกระจายของเหลวที่ดีแต่สำหรับหอที่มีขนาดใหญ่ต้องใช้ตัวกระจายที่สามารถกระจายได้ดีทุกค่าอัตราการไหล

2.3.5 **อุปกรณ์กำจัดละอองน้ำ** (Mist eliminator)

ใช้ในงานที่ต้องการดักจับของเหลวออกจากก๊าซ หรือแยกเฟสของ ของเหลวกับของเหลวออกจากกัน มีประโยชน์ดังนี้ ลดการปนเปื้อนและการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ ลดมลพิษทางน้ำและทางอากาศ ป้องกันอุปกรณ์เสียหาย

2.4 **พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ (นพภาพร พานิช และคณะ**, 2547)

2.4.1 **อัตราส่วนของของเหลวต่อก๊าซ** (Liquid to Gas Ratio)

อัตราไหลและองค์ประกอบของกระแสที่จะไหลเข้าสู่ระบบ สมดุลมวลจะถูกใช้เพื่อพิจารณาอัตราไหลและองค์ประกอบในแต่ละกระแสที่จะเข้าสู่ระบบ

$$G_m\,(in) + L_m\,(in) = G_m(out) + L_m\,(out) \qquad (2.7)$$

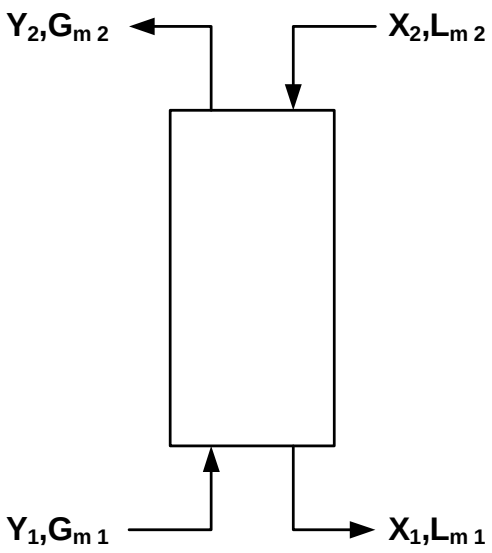
เมื่อ L_m = อัตราไหลของของเหลว หน่วย กรัมโมล/ ชั่วโมง

G_m = อัตราไหลของก๊าซ หน่วย กรัมโมล/ ชั่วโมง

$$Y_1 - Y_2 = (L_m/G_m)\,(X_2 - X_1) \qquad (2.8)$$

เมื่อ X_1, X_2 = เศษส่วนโมลของตัวละลายในของเหลวบริสุทธิ์ที่ด้านล่างและบนหอ

Y_1, Y_2 = เศษส่วนโมลของตัวละลายในก๊าซเฉื่อยที่ด้านล่างและบนหอ



รูปที่ 2.7 กระบวนการถ่ายเทมวลที่สภาวะสมดุล
ที่มา: Perry, Green และ Maloney (1984)

2.4.2 **ความต้องการของเหลวในระบบ** (Liquid Requirement)

ในการออกแบบระบบจะใช้อัตราไหลของอากาศที่จะต้องทำการบำบัด (G_m) ความเข้มข้นสารมลพิษก่อนเข้าระบบ (Y_1) ความเข้มข้นสารมลพิษในสารละลายก่อนเข้าระบบ (X_2) และค่าความเข้มข้นความเข้มข้นสารมลพิษที่ออกจากระบบ (Y_2) เป็นตัวกำหนดสภาพการทำงาน การพิจารณาอัตราไหลที่ต่ำสุด $(L_m/G_m)_{min}$ เป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการทำงานของตัวดูดซึม โดยทั่วไปอัตราไหลของของเหลวหรือสารละลายจะอยู่ในช่วงร้อยละ 25 ถึง 100 จากค่าความต้องการต่ำสุด เช่น 1.5 เท่าของค่าอัตราส่วนของเหลวต่ออากาศที่ต่ำสุด $(L_m/G_m)_{min}$

2.4.3 **เส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซึม** (Packed Tower Diameter)

ตัวแปรหลักที่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหอดูดซึม คือ ความเร็วก๊าซที่ทำให้เกิดการสมดุลกับหยดของเหลว ถ้าหอดูดซึมมีขนาดเล็กส่งผลให้ความเร็วของอากาศที่มีทิศทางจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของหอสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งของเหลวถูกกระแสอากาศดันไหลย้อนขึ้นด้านบนหอ เรียกว่าความเร็วไหลย้อนกลับ (Flooding velocity) ดังนั้นจึงต้องออกแบบเส้นผ่านศูนย์กลางหอให้ได้ความเร็วของก๊าซที่ไม่ทำให้เกิดการไหลย้อนของเหลวในหอดูดกลืน

2.4.4 ความสูงของหอดูดซึม

เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของหอถูกกำหนดแล้ว ความสูงของหอจะหาได้เช่นกัน ความสูงของของตัวกลางที่บรรจุในหอนั้น หมายถึงความกว้างของตัวกลางและขนาดของความสูงของตัวกลาง ใช้เพื่อให้เกิดการแยกสารมลพิษที่สมบูรณ์

การหาความสูงของตัวกลางหาได้จากสมการที่ 2.9

$$Z = HTU*NTU \qquad (2.9)$$

เมื่อ HTU = ความสูงของ Transfer Unit

= หน่วย เมตร

NTU = จำนวนของ Transfer Unit

= หน่วย เมตร

จำนวนและความสูงของ Transfer Unit ใช้ได้ทั้งในสภาพของก๊าซและของเหลว ดังสมการ 2.10

$$Z = N_{OG}*H_{OG} = N_{OL}*H_{OL} \qquad (2.10)$$

เมื่อ N_{OG} = จำนวนของ Transfer Unit ที่ขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นก๊าซฟิล์มทั้งหมด

N_{OL} = จำนวนของ Transfer Unit ที่ขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นของเหลวฟิล์ม

H_{OG} = ความสูงของ Transfer Unit ที่ขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นก๊าซฟิล์มทั้งหมด

H_{OL} = ความสูงของ Transfer Unit ที่ขึ้นกับประสิทธิภาพของแผ่นของเหลวฟิล์ม

การหาค่า N_{OG} หาได้จากสมการ 2.11

$$N_{OG} = \frac{\ln\left[\frac{(Y_1-mX_2)}{(Y_2-mX_2)}(1+(mG_m/L_m)) + (mG_m/L_m)\right]}{(1-(mG_m/L_m))} \qquad (2.11)$$

เมื่อ m = ความชันของเส้นสมดุล

G_m = อัตราไหลของก๊าซ, หน่วย กิโลกรัมโมลต่อชั่วโมง

L_m = อัตราไหลของของเหลว, หน่วย กิโลกรัมโมลต่อชั่วโมง

X_2 = สัดส่วนโมลของสารละลายเข้าไปในหอดูดซึม

Y_1 = สัดส่วนโมลของสารละลายในก๊าซที่เข้าไป

Y_2 = สัดส่วนโมลของสารละลายในก๊าซที่ออกมา

2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยทวี โตจิรกุล (2531) ศึกษาการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอธาโนลามีน (MEA) ในหอดูดซึมแบบแพค ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.205 เมตร บรรจุวัสดุตัวกลางชนิดราสจิกริง บรรจุแบบสุ่มสูงเท่ากับ 4.05 เมตร อุณหภูมิปฏิบัติการภายในหอดูดซึมประมาณ 39-43 องศาเซลเซียส และความดันเท่ากับ 1 บรรยากาศ พบว่าปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายโมโนเอธาโนลามีน เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 โมล ทำปฏิกิริยากับสารละลายโมโนเอธาโนลามีน 2 โมล และอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงตลอดความสูงของหอ คืออุณหภูมิจะสูงขึ้นจนถึงช่วงกลางหอเนื่องจากเกิดการคายความร้อน และจะลดลงเนื่องจากสัมผัสกับก๊าซเย็นที่เข้ามาจากก้นหอ

วิทย์ธวัช ปราการวิวัฒน์ (2541) ศึกษาการดูดซึมก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผสมกับสารละลายโปแตสเซียมเปอร์มังกาเนต ($KMnO_4$) ในหอดูดซึมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.19 เมตร บรรจุด้วยวัสดุบรรจุชนิดแรชชิกริงสูง 1.10 เมตร พบว่า อัตราไหลของของเหลวไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดกลืน และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากร้อยละ 0 ถึง 12 โดยน้ำหนัก ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซสูงสุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก และเมื่อทดลองกับสารละลายผสมพบว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดกลืนอย่างเดียว

สถิตย์ จุ้ยเตย (2541) ศึกษาผลของการเติมออกซิเจนต่อการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดซึมแบบแพค โดยศึกษาภายใต้อุณหภูมิ 40-90 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.68, 23.15, 32.12 และ 50.04 โดยมวล โดยใช้อัตราไหลของของเหลวและแก๊สคงที่ที่ 200 ลิตรต่อชั่วโมงและ 18 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นทำให้เกิดการตกตะกอนขององค์ประกอบซัลเฟตและซัลไฟต์มากขึ้น ทำให้เกิดตะกอนอุดตันที่วัสดุบรรจุ ส่งผลให้ปริมาณการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง แต่เมื่อป้อนอากาศเข้าไปในหอดูดซึมจะช่วยเปลี่ยนเกลือโซเดียมซัลไฟต์ให้เป็นเกลือของโซเดียมซัลเฟตได้ อย่างไรก็ตามพบว่า องค์ประกอบของซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากการดูดซึมไม่ได้ส่งผลต่อการเกิดองค์ประกอบของซัลเฟตในของเหลวที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงๆ แต่จะส่งผลในกรณีที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่ำที่ร้อยละ 12.68 โดยมวล และการเติมอากาศในหอดูดซึมช่วยลดอุณหภูมิของหอดูดซึมได้

Majeed, Korda และ Molnar (1995) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในถังปฏิกรณ์ ALT (Air Lift Tube) โดยแปรผันความเร็วก๊าซและความเข้มข้นก๊าซ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต และจะสูงขึ้นเมื่อลดความเข้มข้นก๊าซและความเร็วก๊าซ

Aroonwilas, Tontiwachwuthikul และ Chakma (2001) ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการเดินเครื่องและออกแบบ การดูดซึมคาร์บอนไดออกไซด์ ในหอดูดซึมโดยใช้วัสดุบรรจุ สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมคาร์บอนไดออกไซค์ มีหลายปัจจัยดังนี้คือ การเพิ่มอัตราไหลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางมีผลต่ออัตราไหลของของเหลว คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางที่สูงจะดูดซึมได้ดีที่สุด ในขณะที่พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลางที่ต่ำจะจะดูดซึมได้น้อยที่สุด และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิที่สูงมากกว่า 36 องศาเซลเซียส สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารจะลดลง ร้อยละ 10 การจัดเรียงตัวของตัวกลาง 90 องศา และ 45 องศา มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทำให้ประสิทธิภาพการดูดซึมมากกว่าจัดเรียงตัวของตัวกลาง 0 องศา และคุณภาพการกระจายตัวของน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมน้อยมาก

Senol (2001) ศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารของหอบรรจุแบบแพคโดยจัดเรียงแบบสุ่ม โดยใช้วัสดุบรรจุชนิดราสจิกริง 3 แบบคือ 6.25, 9 และ 10.8 มิลลิเมตร ขนาดหอบรรจุ 9 เซนติเมตร สูง 1.90 เมตร ใช้การกระจายน้ำจากด้านบนของหอที่ความหนาแน่นเท่ากับ 470 จุดต่อตารางเมตรของหอ พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสารขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างไอกับของเหลว และสัดส่วนของการท่วม โดยเมื่อพื้นที่ผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น ทำให้มีการถ่ายเทมวลสารดีขึ้นเพราะสามารถสัมผัสกับสารดูดกลืนได้ดี

Sultan, Hamed และ Sultan (2002) ศึกษาตัวแปรต่างๆที่ทางเข้าของหอบรรจุที่มีผลต่อการนำของเหลวมาใช้ซ้ำโดยศึกษาตัวแปรต่างๆดังนี้คือ อุณหภูมิ อัตราไหลของสารละลาย ความเข้มข้นสารละลาย อัตราไหลของอากาศ และความชื้น พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราไหลของอากาศจาก 0.005-0.023 กิโลกรัม ต่อ วินาที เพิ่มอุณหภูมิที่ทางเข้า และเพิ่มอัตราไหลของสารละลายทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารเพิ่มขึ้น แต่ความดันไอของอากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความชื้นของอากาศมีผลทำให้พลังงานศักย์สำหรับการถ่ายเทมวลสารลดลง และเมื่อเพิ่มความชื้นของอากาศที่เข้าและความเข้มข้นสารละลายที่เข้า อัตราการนำกลับมาใช้ใหม่จะลดลงด้วย

Wang, Lana และ Chuang (2004) ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทมวลสารของก๊าซกับของเหลว ในหอแบบใช้วัสดุบรรจุชนิดราสจิกริง แบบเซรามิก โดยศึกษาปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรเจนซัลไฟด์กับกรดซัลฟุริก ใช้หอที่ทำจากแก้ว ที่มีขนาด 0.06 เมตร สูง 1 เมตร โดยใช้สารละลายกรดประมาณ 5 ลิตร ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 96 โดยมวล พบว่า เมื่ออัตราไหลของของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 0.764-1.27 กิโลกรัมต่อตารางเมตร-วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนย้ายมวลสถานะของเหลว (K_L) จะเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่า K_L ยังจะคงที่เมื่ออัตราไหลเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดจากร้อยละ 90 โดยมวล เป็นร้อยละ 96 โดยมวลมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น

Godini และ Mowla (2007) ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอทาโนลามีน (MEA) เข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวล เป็นสารดูดซึมในหอดูดซึมแบบแพคเบด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหอ 25 เซนติเมตร สูง 370 เซนติเมตร โดยใช้วัสดุตัวกลางชนิดราสจิกริง ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซจากการเปลี่ยนความดันจาก 1 ถึง 10 บาร์ อัตราส่วนน้ำต่ออากาศ (L/G) 0.1 ถึง 0.4 โมลของเหลวต่อโมลก๊าซ และขนาดวัสดุตัวกลาง 0.5 และ 1 นิ้ว พบว่าเมื่อเพิ่มความดันและอัตราส่วนน้ำต่ออากาศ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น และขนาดวัสดุตัวกลางที่มีขนาดเล็กมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าวัสดุตัวกลางขนาดใหญ่กว่า

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรและค่าที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา

แหล่งอ้างอิง	**ชนิด ถังปฏิกรณ์**	**สารมลพิษ**	**ความเข้มข้นสารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)**	**สารดูดซึม (Absorbent)**	**ความเข้มข้นสารดูดซึม**	**ความเร็วก๊าซ (เมตรต่อวินาที)**	**อัตราส่วนของเหลวต่ออากาศ (L/G)**	**ประสิทธิภาพการกำจัด (%)**
Majeed, Korda และ Molnar (1995)	ALT absorber	SO_2	1000-4000	NaOH	N/A	1.77-7.1	N/A	91.2-99.1
Chien และ Chu (2000)	หอแบบแพค (Packed tower)	SO_2/ NO_x	1000/300-800	$NaClO_2$	N/A	N/A	5-10 (l/m^3)	46.7-96.8/ 59.8-100
Colle, Vandershuren และ Thomas (2004)	หอแบบแพค (Packed tower)	SO_2	N/A	H_2SO_4/H_2O_2	47 %wt (H_2SO_4)/ 2.6 %wt (H_2O_2)	0.621-0.786	N/A	95.0-98.0

N/A : ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบตัวแปรและค่าที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา (ต่อ)

แหล่งอ้างอิง	**ชนิด ถังปฏิกรณ์**	**สารมลพิษ**	**ความเข้มข้นสารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)**	**สารดูดซึม (Absorbent)**	**ความเข้มข้นสารดูดซึม**	**ความเร็วก๊าซ (เมตรต่อวินาที)**	**อัตราส่วนของเหลวต่ออากาศ (L/G)**	**ประสิทธิภาพการกำจัด (%)**
Moosavi, และคณะ (2005)	หอแบบแพค (Packed tower)	H_2S	30 - 300	$NaClO_2$, H_2O_2 และ $KMnO_4$	N/A	0.02 – 0.23	N/A	> 99.5
Lu, Zheng และ He (2006)	หอแบบแพค (Packed tower)	H_2S	12,000-15,000	MDEA, TBEE และ MDEA	2.5,1.5 และ 1.0 $Kmol/m^3$	0.005-0.05	N/A	99-99.8
Godini และ Mowla (2008)	หอแบบแพค (Packed tower)	H_2S	15,000	MEA	15%wt	N/A	0.1-0.4 (mol MEA/ mol GAS)	70-99

N/A : ไม่มีข้อมูล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อัตราไหลก๊าซ และอัตราส่วนของเหลวต่ออากาศที่เหมาะสมระบบในสครับเบอร์แบบแพคเบด

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆในงานวิจัยครั้งนี้ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ตัวแปร	วิธี,เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่นและขนาด
ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	เครื่องวัดก๊าซไอเสียและค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้แบบพกพา	Testo 335/ 0-5,000 ส่วนในล้านส่วน
ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ 4 ชนิดแบบพกพา	M40 Multi-Gas Monitor/ 0-500 ส่วนในล้านส่วน
อัตราการไหลของอากาศ	Flow meter	Dwyer/ 1-70 ลิตรต่อนาที
ความดันลดของตัวกลาง	Manometer	Dwyer/ Series 477-3 Max. pressure 29 psi
ค่าความเป็นกรด ด่าง	pH meter	Metrohm/ pH 0-14
การป้อนก๊าซ	ปั๊มอากาศ	Tiger/ 119.6 ลิตรต่อนาที
การป้อนของเหลว	ปั๊มน้ำ	Resun/ 0-4,800 ลิตรต่อชั่วโมง
การป้อนสารเคมี	ปั๊มดูดสารเคมี	Watson/ 0-50 รอบต่อนาที

3.2 ชุดการทดลอง

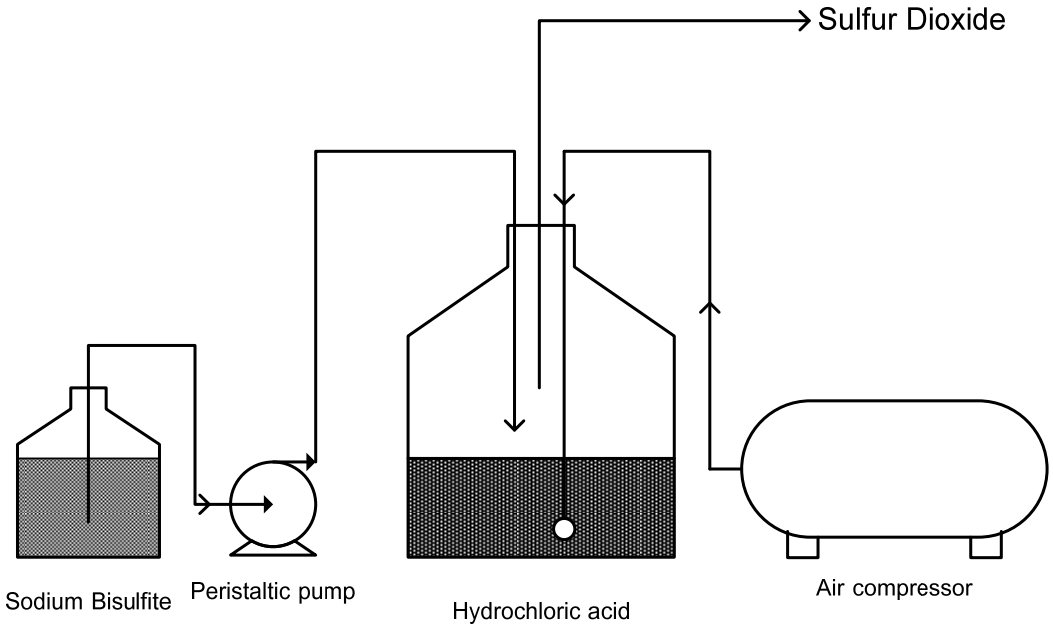
3.2.1 ชุดผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เตรียมจากการใช้เครื่องปั๊มอากาศเป่าอากาศผ่านขวดแก้วขนาด 20 ลิตรที่บรรจุกรดไฮโดรคลอริก เพื่อเติมอากาศและเจือจางความเข้มข้นก๊าซ โดยจะเติมสารโซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่อยู่ในขวดดังรูปที่ 3.1 เมื่อทั้งสองสารทำปฏิกิริยากันจะได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนการปรับความเข้มข้นของก๊าซนั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มหรือลดความเข้มข้นและอัตราการใช้สารโซเดียมไบซัลไฟต์ ดังแสดงตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2 ตามลำดับ

รูปที่ 3.1 ชุดสร้างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตารางที่ 3.2 ความเข้มข้นของสารโซเดียมไบซัลไฟต์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้นโซเดียมไบซัลไฟต์ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
200	3.25	0.5
300	6.50	0.5
500	9.75	0.5



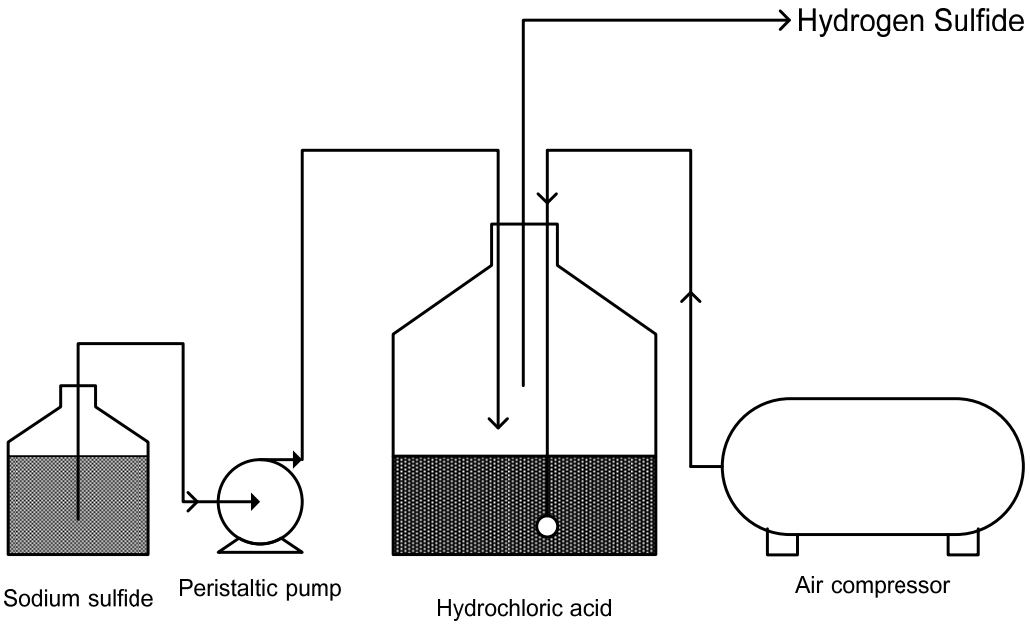
รูปที่ 3.2 ชุดผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.2 **ชุดผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์**

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เตรียมจากการใช้เครื่องปั๊มอากาศเป่าอากาศผ่านขวดแก้วขนาด 20 ลิตรที่บรรจุกรดไฮโดรคลอริก เพื่อเติมอากาศและเจือจางความเข้มข้นก๊าซ โดยจะเติมสารโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่อยู่ในขวดดังรูปที่ 3.1 เมื่อทั้งสองสารทำปฏิกิริยากันจะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่วนการปรับความเข้มข้นของก๊าซนั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มหรือลดความเข้มข้นและอัตราการใช้สารโซเดียมซัลไฟด์ ดังแสดงตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของสารโซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้นโซเดียมซัลไฟด์ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
50	5.53	0.5
100	8.58	0.5
150	11.44	0.5
200	14.30	0.5

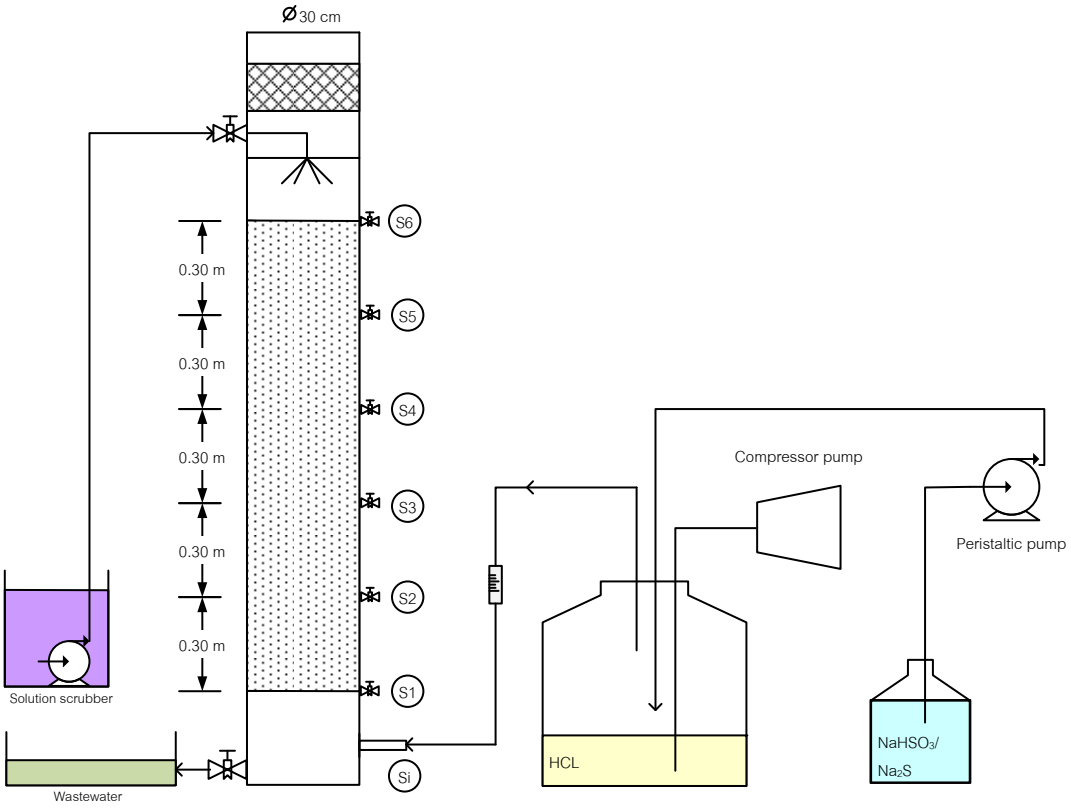


รูปที่ 3.3 ชุดผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.3 ชุดสครับเบอร์แบบแพคแบด

3.2.3.1 หอสครับเบอร์แบบแพคเบด

หอสครับเบอร์แบบแพคเบดที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นขนาดระดับห้องปฏิบัติการ (Bench –Scale) ซึ่งทำจากท่อพีวีซี (Poly Vinyl Chloride) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร สูง 2.40 เมตร บรรจุตัวกลางสูง 1.5 เมตร มีจุดเก็บตัวอย่างอากาศ 6 จุด ที่ระดับ 0, 0.30, 0.60, 0.90, 1.20 และ 1.50 เมตร ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5



รูปที่ 3.4 หอสครับเบอร์แบบแพคเบดระดับขนาดห้องปฏิบัติการ

รูปที่ 3.5 ชุดทดลองหอสครับเบอร์แบบแพคเบด

3.2.3.2 **วัสดุตัวกลาง** (Packing Media)

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบชนิด Tellerette ทำมาจากพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) มีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร พื้นที่ผิวต่อปริมาตร 105 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร และสัดส่วนช่องว่าง (void volume) ร้อยละ 96 ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7

รูปที่ 3.6 วัสดุตัวกลางชนิด Tellerette

รูปที่ 3.7 ลักษณะการบรรจุวัสดุตัวกลางชนิด Tellerette ในหอสครับเบอร์แบบแพคเบด

3.2.3.3 **แผ่นรองรับตัวบรรจุ** (Packing Support)

แผ่นรองรับตัวบรรจุ หน้าที่ของแผ่นรองรับมีไว้เพื่อรับน้ำหนักของตัวบรรจุที่เปียก แต่จะยอมให้ก๊าซและของเหลวไหลผ่านได้สะดวก ในงานวิจัยนี้จะใช้แผ่นพลาสติกเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตรต่อช่อง เพื่อให้มีขนาดเล็กกว่าตัวบรรจุโดยเจาะรูกระจายเต็มแผ่นพลาสติกดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 แผ่นรองรับตัวบรรจุ (Packing Support)

3.2.3.4 **ตัวกระจายของเหลว** (Liquid Distributor)

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง การกระจายของเหลวบนตัวบรรจุอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับหอที่มีขนาดเล็กจะมีเพียงรูเปิดตรงกลางยอดหัวหรือหัวฉีดฝอยเพียงตัวเดียวก็เพียงพอสำหรับการกระจายของเหลวที่ดี สำหรับงานวิจัยนี้ใช้หัวฉีดฝอยเป็นตัวกระจายของเหลว ขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.9 และ 3.10

รูปที่ 3.9 ตัวกระจายของเหลว (Liquid Distributor)

รูปที่ 3.10 การติดตั้งตัวกระจายของเหลว (Liquid Distributor)

3.2.3.5 **อุปกรณ์ดักละอองน้ำ** (Mist Eliminator)

ใช้ในงานที่ต้องการดักจับของเหลวออกจากก๊าซ หรือแยกเฟสของของเหลวกับของเหลวออกจากกัน มีประโยชน์คือ ลดการปนเปื้อนและการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ ลดมลพิษทางน้ำและทางอากาศ ป้องกันอุปกรณ์เสียหาย ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 อุปกรณ์ดักละอองน้ำ (Mist Eliminator)

3.3 **วิธีดำเนินการวิจัย**

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาประสิทธิภาพของระบบ Packed Bed Scrubber ในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการเดินระบบที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยทำการทดลองกับก๊าซแต่ละชนิด และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

3.3.1 **การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ของระบบสครับเบอร์แบบแพคเบด**

1). เตรียมความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทางเข้าหอ แปรผันความเข้มข้นของก๊าซประมาณ 200 ถึง 500 ส่วนในล้านส่วน โดยทำการทดลองทีละความเข้มข้น

2). แปรผันความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.001, 0.01, 0.025 โมลาร์ตามลำดับ ป้อนเข้าหอโดยควบคุมอัตราไหลของเหลวประมาณ 0.65 ลิตรต่อนาที ให้คงที่ตลอดการทดลอง ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

3). แปรผันอัตราไหลเข้าของก๊าซเท่ากับ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาทีตามลำดับ

4). แปรผันอัตราส่วนของเหลวต่ออากาศเท่ากับ 6 ถึง 12 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อัตราไหลก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหลก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)
1	200	50	0
2			0.001
3			0.01
4			0.025
5		75	0
6			0.001
7			0.01
8			0.025
9		95	0
10			0.001
11			0.01
12			0.025
13		115	0
14			0.001
15			0.01
16			0.025
17	300	50	0
18			0.001
19			0.01
20			0.025
21		75	0
22			0.001

ตารางที่ 3.4 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อัตราไหลก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหลก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)
23	300	75	0.01
24			0.025
25		95	0
26			0.001
27			0.01
28			0.025
29		115	0
30			0.001
31			0.01
32			0.025
33	500	50	0
34			0.001
35			0.01
36			0.025
37		75	0
38			0.001
39			0.01
40			0.025
41		95	0
42			0.001
43			0.01
44			0.025
45		115	0
46			0.001
47			0.01
48			0.025

3.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของระบบสครับเบอร์แบบแพคเบด

1). เตรียมความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่ทางเข้าหอ แปรผันความเข้มข้นของก๊าซประมาณ 50 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน โดยทำการทดลองทีละความเข้มข้น

2). แปรผันความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0, 0.001, 0.002, 0.005 โมลาร์ตามลำดับ ป้อนเข้าหอโดยควบคุมอัตราไหลของเหลวประมาณ 0.65 ลิตรต่อนาที ให้คงที่ตลอดการทดลอง ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่

3). แปรผันอัตราไหลเข้าของก๊าซเท่ากับ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาทีตามลำดับ

4). แปรผันอัตราส่วนของเหลวต่ออากาศเท่ากับ 6 ถึง 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อัตราไหลก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหลก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)
1	50	50	0
2			0.001
3			0.002
4			0.005
5		75	0
6			0.001
7			0.002
8			0.005
9		95	0
10			0.001
11			0.002
12			0.005
13		115	0
14			0.001
15			0.002
16			0.005
17	100	50	0
18			0.001
19			0.002
20			0.005
21		75	0
22			0.001
23			0.002
24			0.005
25		95	0
26			0.001

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อัตราไหลก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหลก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)
27	100	95	0.002
28			0.005
29		115	0
30			0.001
31			0.002
32			0.005
33	150	50	0
34			0.001
35			0.002
36			0.005
37		75	0
38			0.001
39			0.002
40			0.005
41		95	0
42			0.001
43			0.002
44			0.005
45		115	0
46			0.001
47			0.002
48			0.005
49	200	50	0
50			0.001
51			0.002
52			0.005

ตารางที่ 3.5 ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อัตราไหลก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์แต่ละชุดการทดลอง (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหลก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)
53	200	75	0
54			0.001
55			0.002
56			0.005
57		95	0
58			0.001
59			0.002
60			0.005
61		115	0
62			0.001
63			0.002
64			0.005

3.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ของระบบสครับเบอร์แบบแพคเบดที่ความสูงของตัวกลางระดับต่าง

1). ทำการทดลองดังข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 โดยวัดความเข้มข้นก๊าซที่จุดเข้า – ออก และตลอดความสูงหอ คือที่ 0.3, 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร ตามลำดับ บันทึกค่า

2). วัดความเข้มข้นทุกจุดในข้อ 1). ที่เวลา 5, 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ บันทึกค่า

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ มีวิธีดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การวิเคราะห์ตรวจวัด

ตัวแปร	จุดเก็บตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์
1. ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	Si และ S1-S6	เครื่องวัดก๊าซไอเสียและค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้แบบพกพา
2.ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	Si และ S1-S6	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ 4 ชนิดแบบพกพา
3. ความดันลดของตัวกลาง	S1-S6	Manometer
4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	W	pH meter
5. อัตราไหลก๊าซ	Inlet	Rotameter
6. อัตราไหลของเหลว	Solution scrubber tank	คำนวนจากการวัดปริมาตรน้ำเทียบกับเวลา (Q=V/t)

บทที่ 4
ผลการทดลอง

การวิจัยเรื่องประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในสครับเบอร์แบบแพคเบดนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของสครับเบอร์แบบแพคเบดในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สำหรับเป็นตัวดูดซึม และศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการเดินระบบที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ได้ผลดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

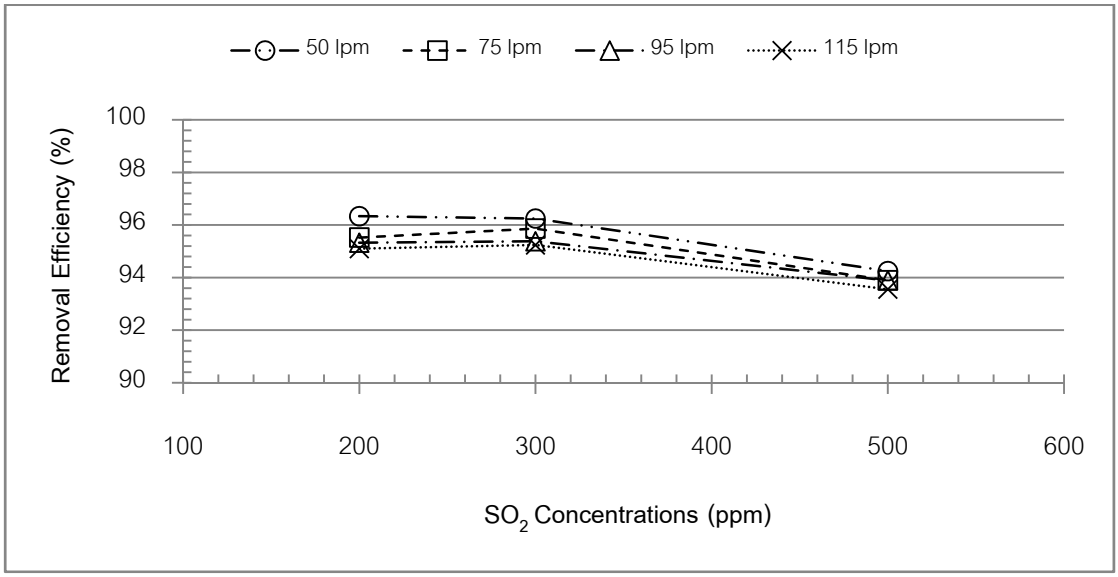
การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับ 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน อัตราไหลอากาศที่ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาทีตามลำดับ อัตราไหลของเหลวประมาณ 0.650 ลิตรต่อนาที และอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6, 7, 8 และ 12 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรต่อก๊าซ โดยบรรจุตัวกลางสูง 1.5 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

4.1.1 อิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

รูปที่ 4.1 ถึง 4.4 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับความเข้มข้นก๊าซ 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน ที่อัตราไหล 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาทีตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 95.10 - 96.33 และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 93.56 - 94.25 แต่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมแล้ว พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้นโดยที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมลาร์ มีประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 96.06 – 97.37 และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 97.03 - 98.02

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม

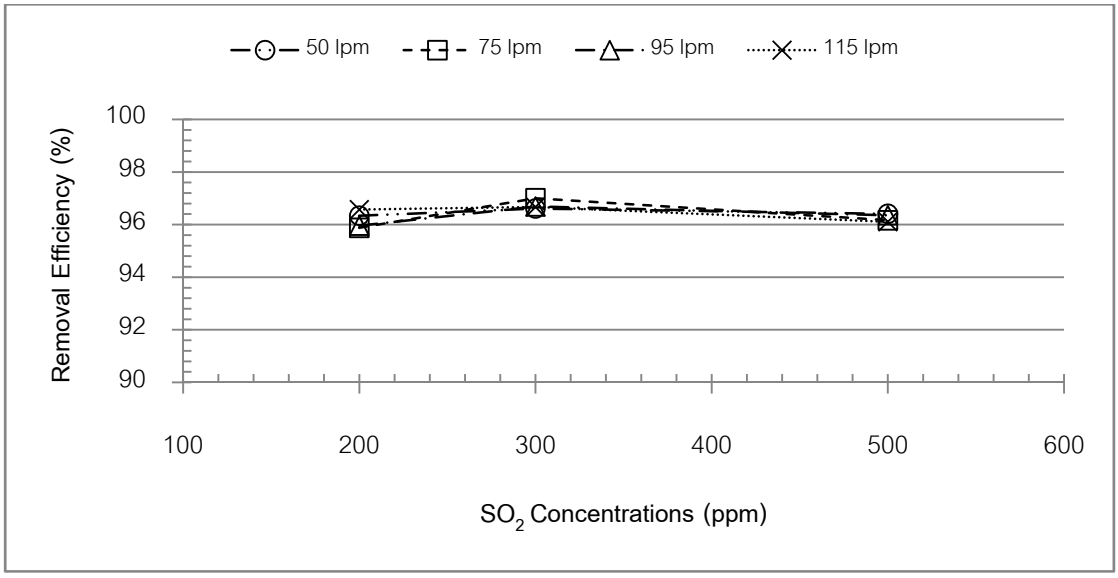
ความเข้มข้นก๊าซ (SO_2) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ SO_2 (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	น้ำ	เริ่มต้น	สุดท้าย	
200	50	0.613	191	7	96.33
	75	0.615	201	9	95.52
	95	0.613	214	10	95.33
	115	0.697	204	10	95.10
300	50	0.613	293	11	96.25
	75	0.613	290	12	95.86
	95	0.665	303	14	95.38
	115	0.681	294	14	95.24
500	50	0.613	504	29	94.25
	75	0.630	508	31	93.90
	95	0.668	491	30	93.89
	115	0.602	481	31	93.56



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด กับความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นสารดูดซึม

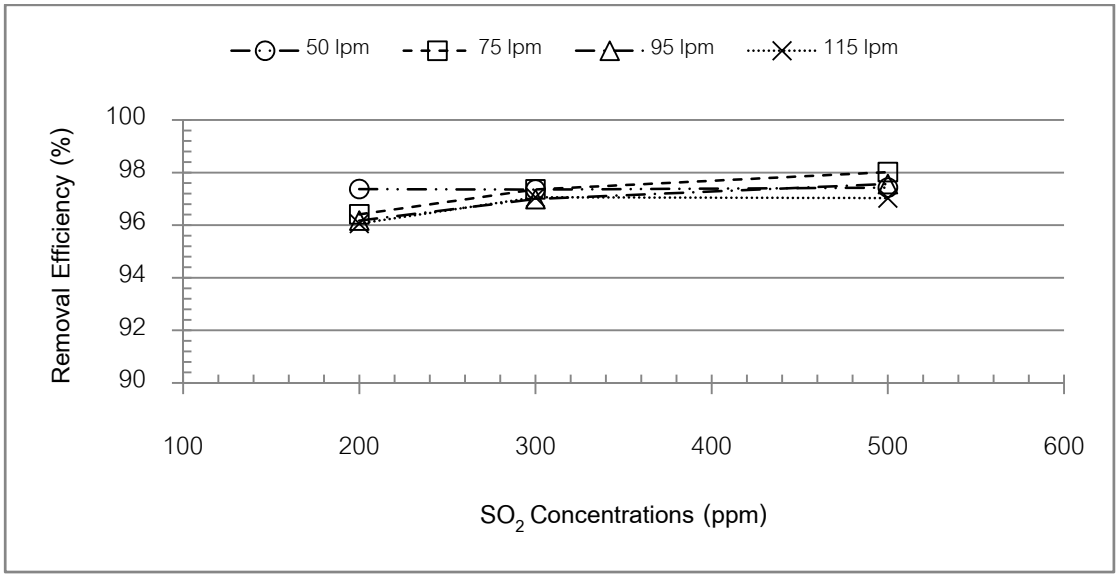
ความเข้มข้นก๊าซ (SO_2) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ SO_2 (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	NaOH	เริ่มต้น	สุดท้าย	
200	50	0.745	191	7	96.33
	75	0.613	194	8	95.88
	95	0.666	198	8	95.96
	115	0.620	204	7	96.57
300	50	0.676	295	10	96.61
	75	0.704	300	9	97.00
	95	0.665	302	10	96.69
	115	0.666	330	11	96.67
500	50	0.615	501	18	96.41
	75	0.607	495	19	96.16
	95	0.623	494	18	96.36
	115	0.667	488	19	96.11



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์เป็นสารดูดซึม

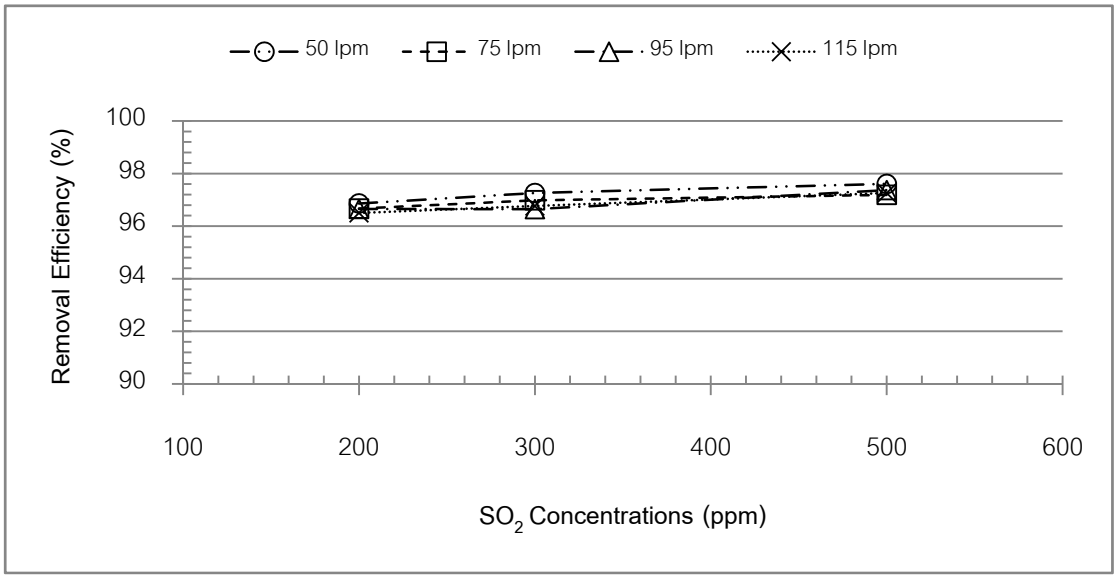
ความเข้มข้นก๊าซ (SO_2) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ SO_2 (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	NaOH	เริ่มต้น	สุดท้าย	
200	50	0.598	190	5	97.37
	75	0.657	195	7	96.41
	95	0.686	209	8	96.17
	115	0.674	203	8	96.06
300	50	0.619	302	8	97.35
	75	0.665	303	8	97.36
	95	0.665	299	9	96.99
	115	0.649	306	9	97.06
500	50	0.615	505	13	97.43
	75	0.629	504	10	98.02
	95	0.621	492	12	97.56
	115	0.623	471	14	97.03



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์เป็นสารดูดซึม

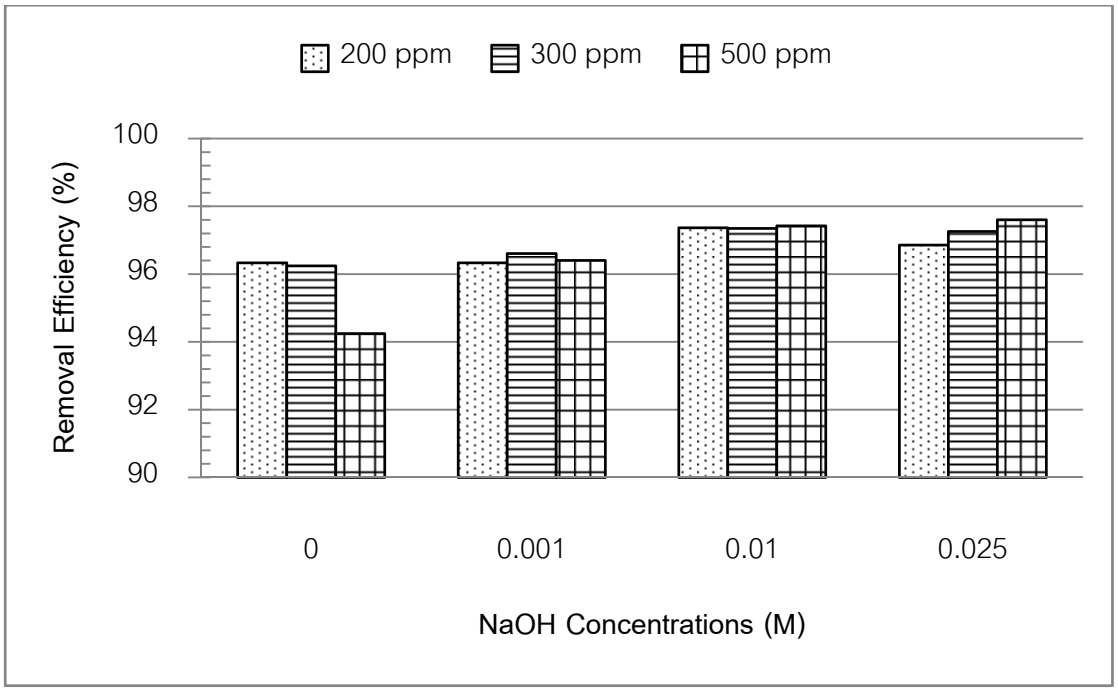
ความเข้มข้นก๊าซ (SO_2) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ SO_2 (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	NaOH	เริ่มต้น	สุดท้าย	
200	50	0.675	191	6	96.86
	75	0.674	210	7	96.67
	95	0.613	209	7	96.65
	115	0.714	200	7	96.50
300	50	0.692	292	8	97.26
	75	0.665	298	9	96.98
	95	0.665	298	10	96.64
	115	0.641	309	10	96.76
500	50	0.627	501	12	97.61
	75	0.633	498	14	97.19
	95	0.636	494	13	97.37
	115	0.663	474	13	97.26



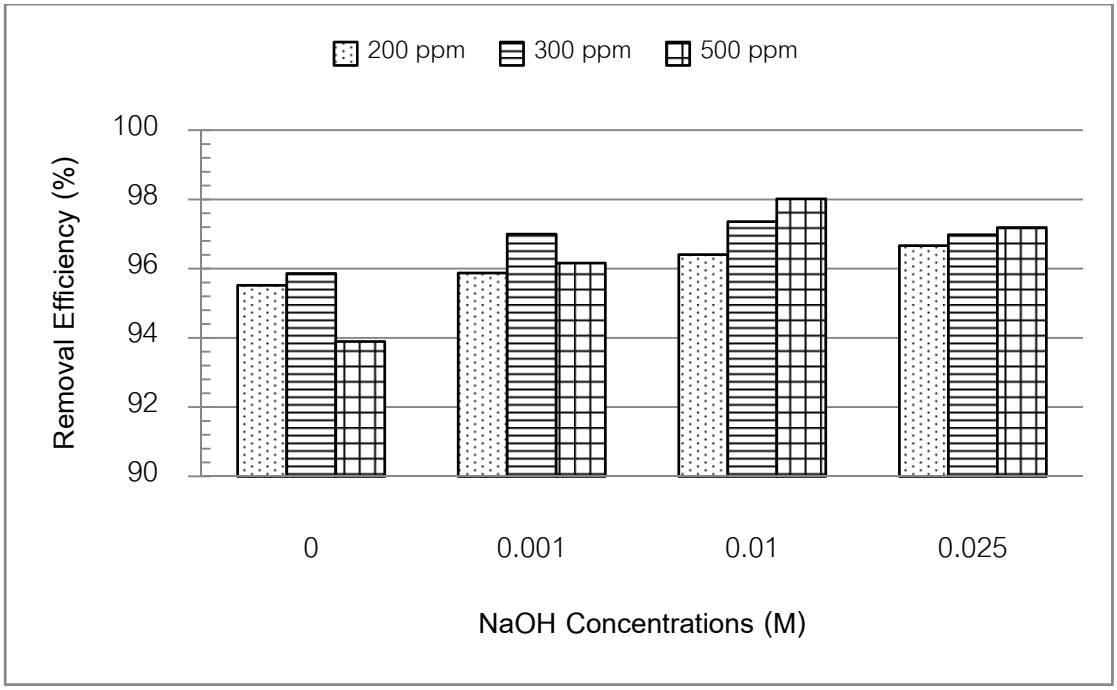
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

4.1.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

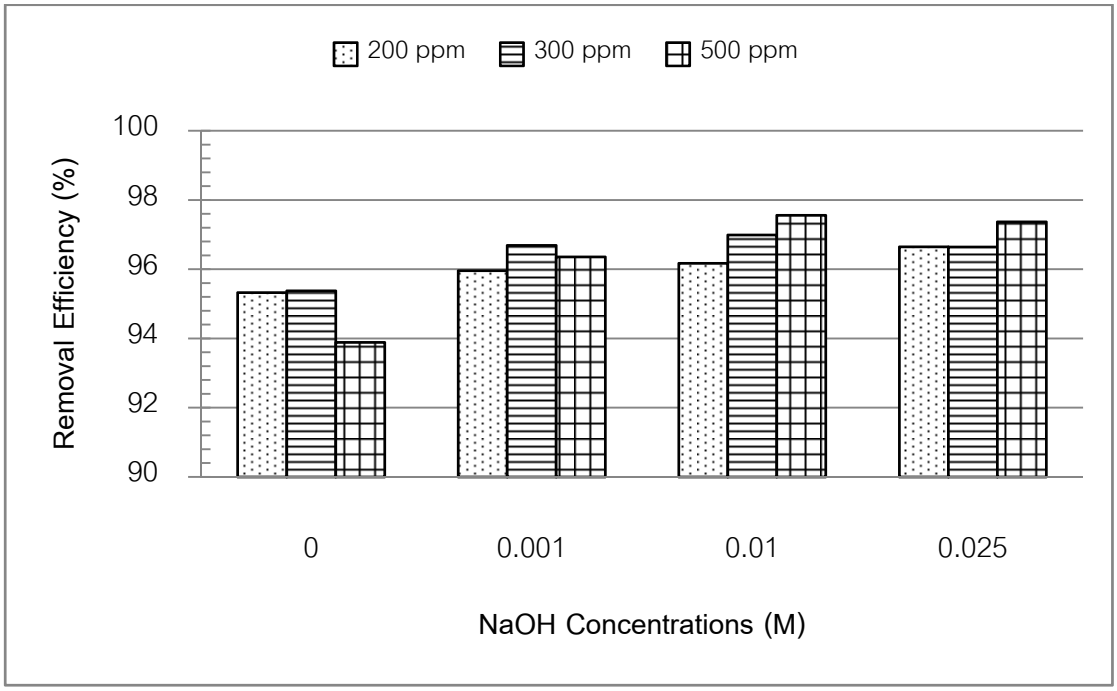
ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมที่ความเข้มข้นสารละลาย 0, 0.001, 0.01 และ 0.025 โมลาร์ ที่อัตราไหลก๊าซ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาทีพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น คือเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0, 0.001, 0.01 และ 0.025 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่แต่ละความเข้มข้นสารละลายเท่ากับร้อยละ 93.56 - 96.33, 95.88 - 97.00, 96.06 - 98.02 และ 96.50 - 97.61 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.8



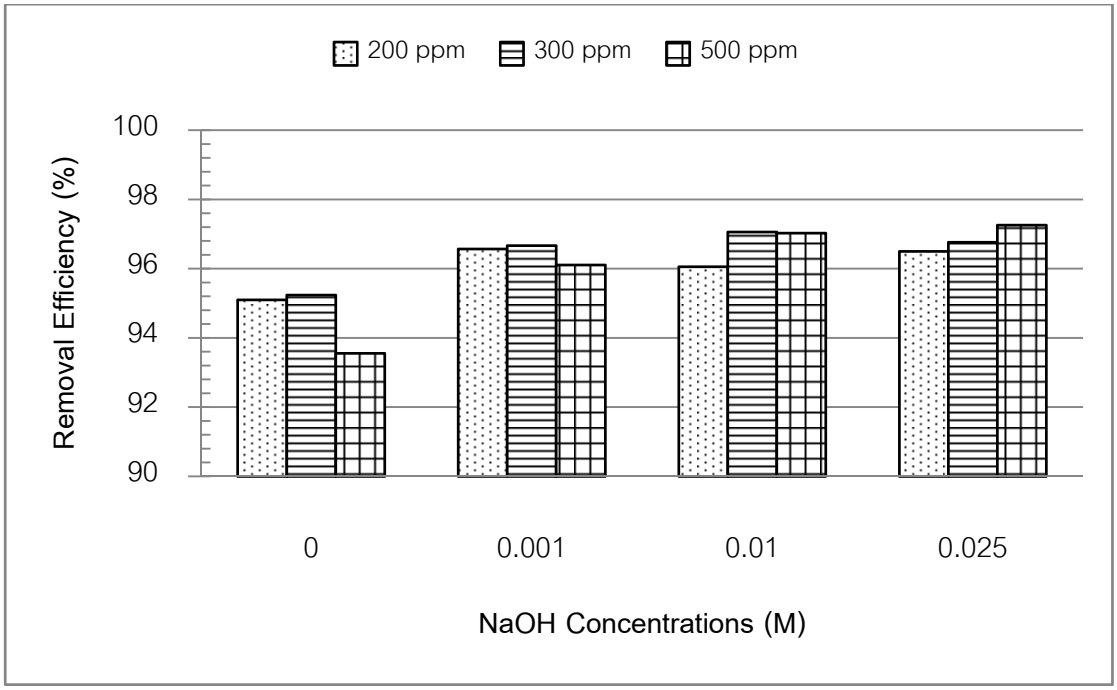
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซค์ กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซค์ กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



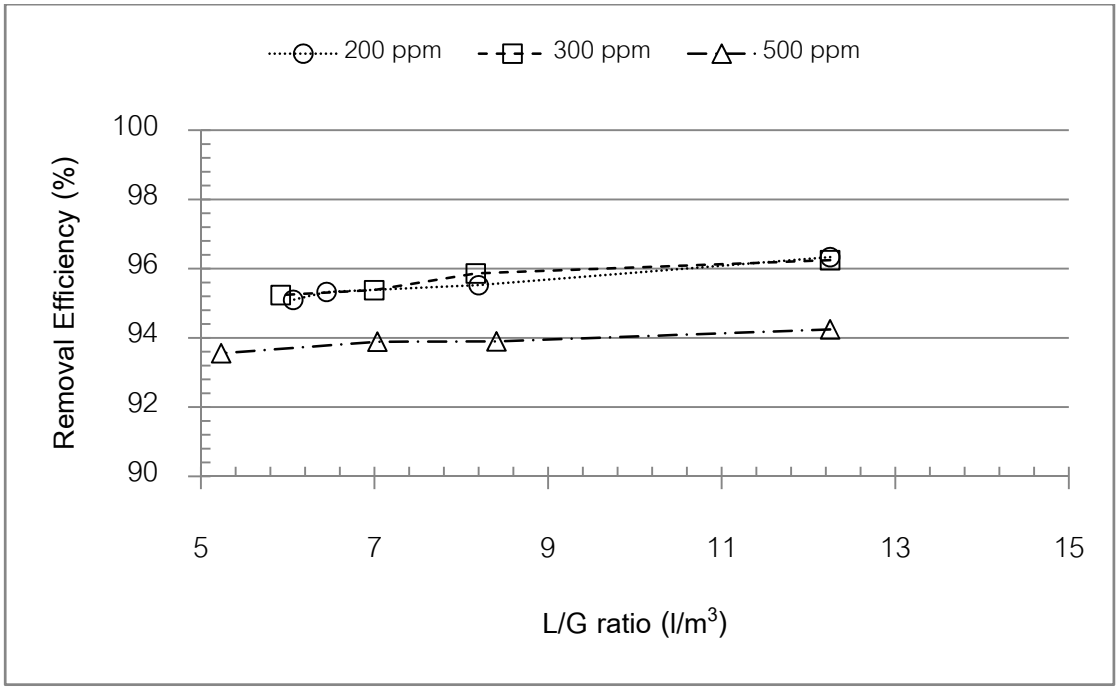
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซค์ กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



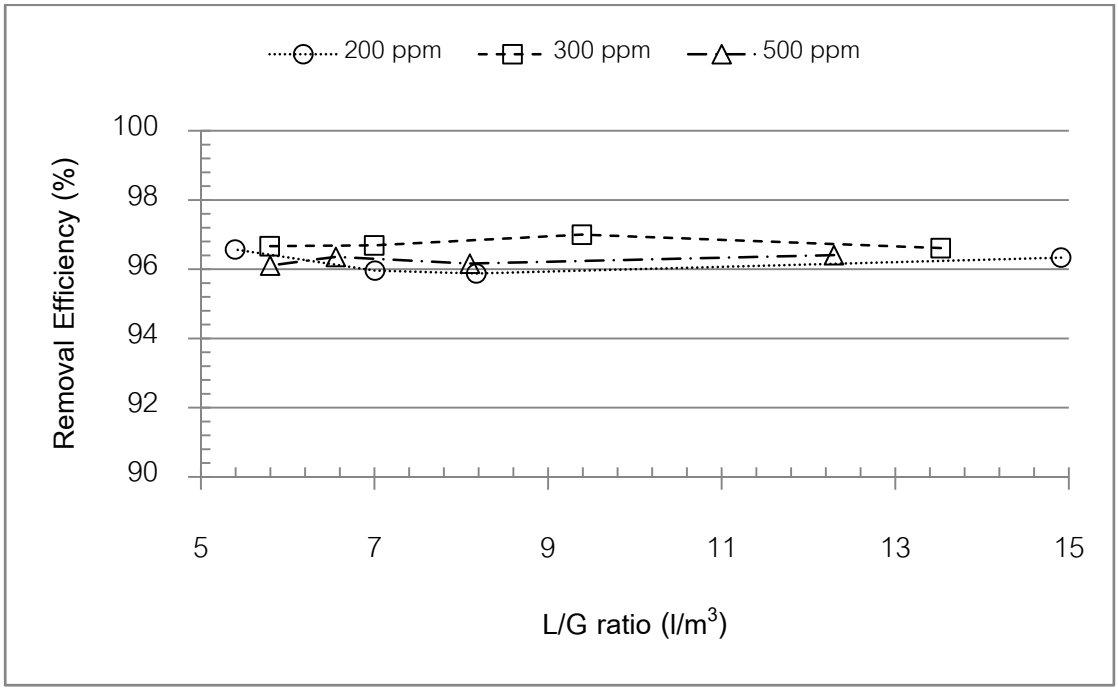
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซค์ กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที

4.1.3 อิทธิพลของอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

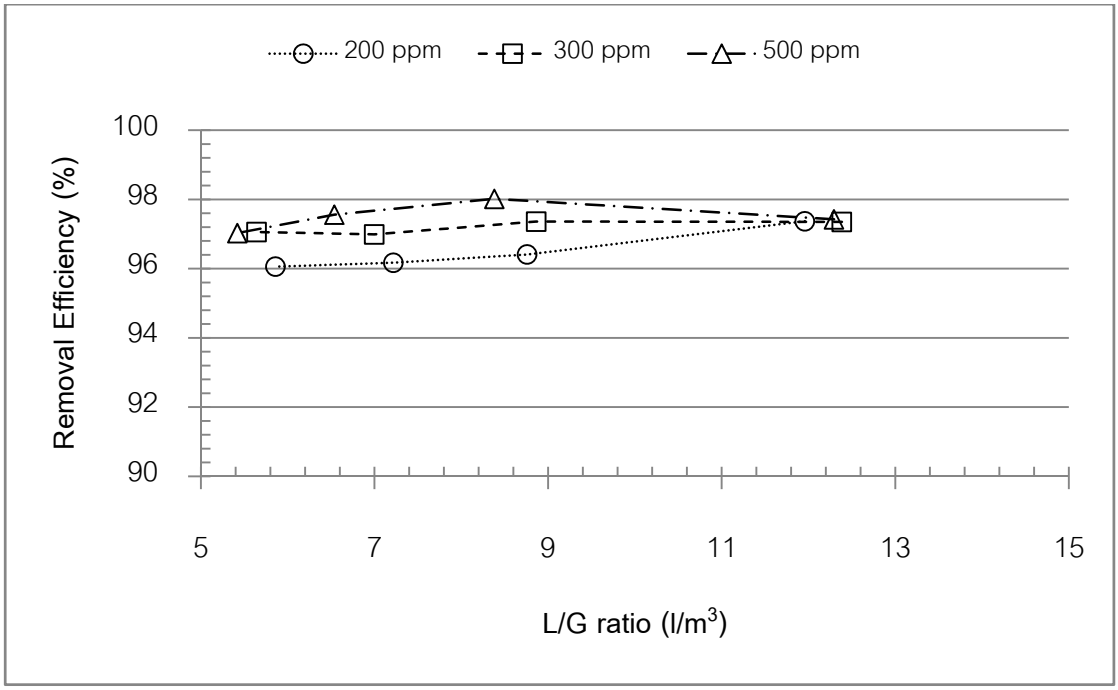
ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน ที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6, 7, 8 และ 12 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นคือ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 96.06 - 97.26 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 7, 8 และ 12 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ โดยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของแต่ละค่าจะเท่ากับร้อยละ 95.96 - 97.56, 95.88 - 98.02 และ 96.34 - 97.60 ตามลำดับดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.12



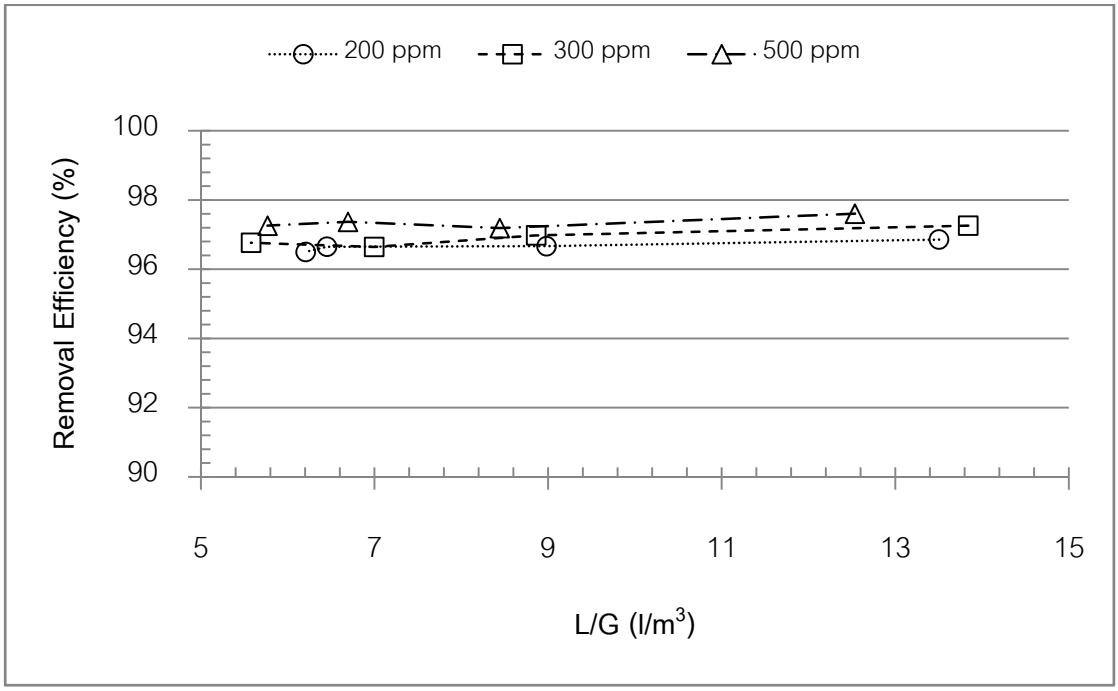
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม

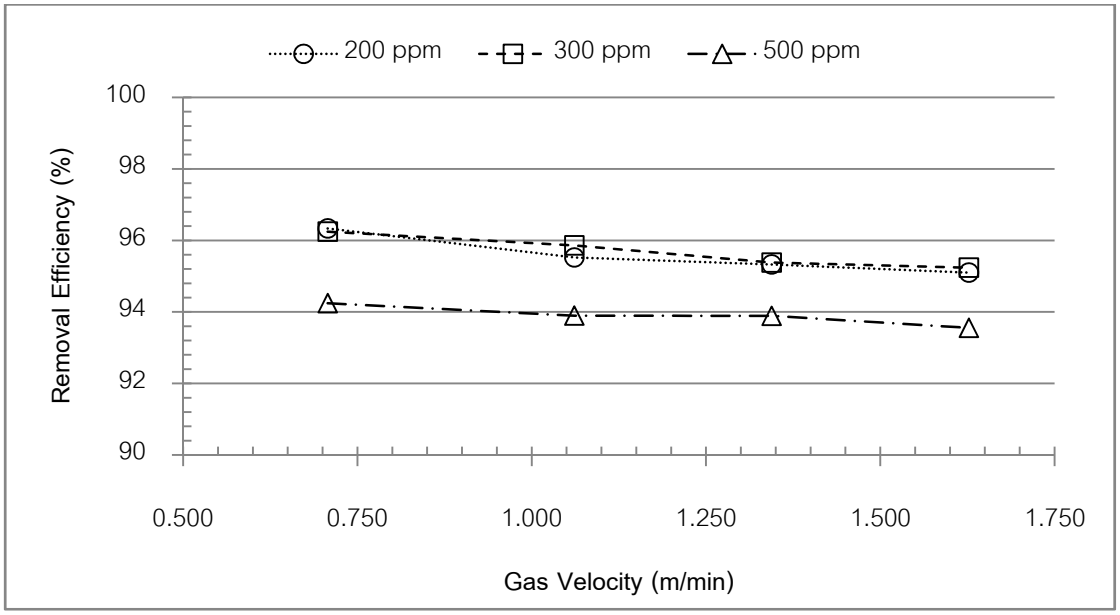


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม

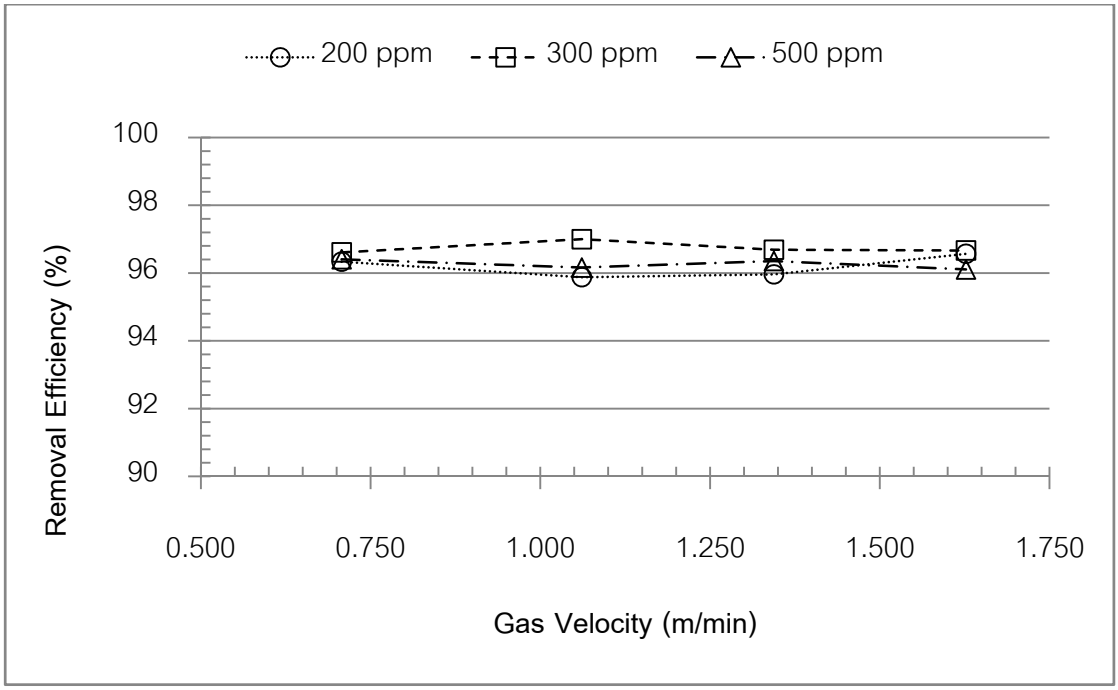
4.1.4 อิทธิพลของความเร็วก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน ที่ความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้นคือ เมื่อความเร็วก๊าซเท่ากับ 0.707 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 97.60 – 96.34 และลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเท่ากับร้อยละ 95.88 – 98.02, 95.96 – 97.56 และ 96.06 – 97.26 ตามลำดับดังรูปที่ 4.13 ถึง 4.16

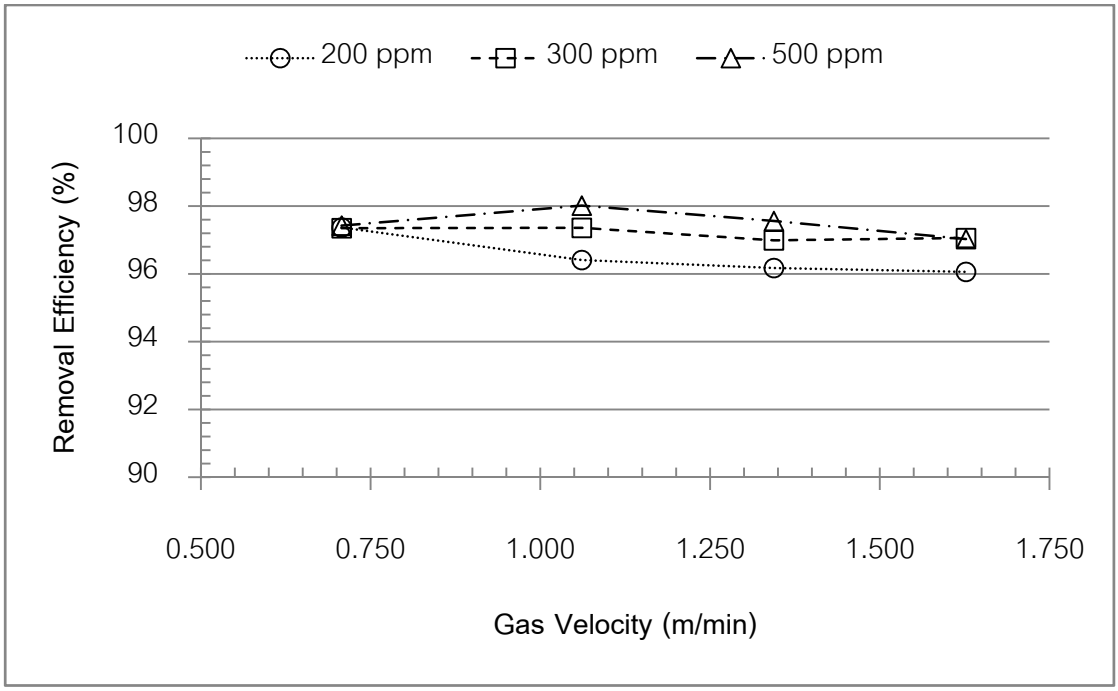
ความเร็วก๊าซมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารละลายที่ใช้เป็นตัวดูดซึมด้วยเช่นกัน โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน เมื่อเพิ่มความเร็วก๊าซขึ้นประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงเล็กน้อย เมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม แต่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นด้วย แต่ยังคงมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วก๊าซและประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.01 และ 0.025 โมลาร์



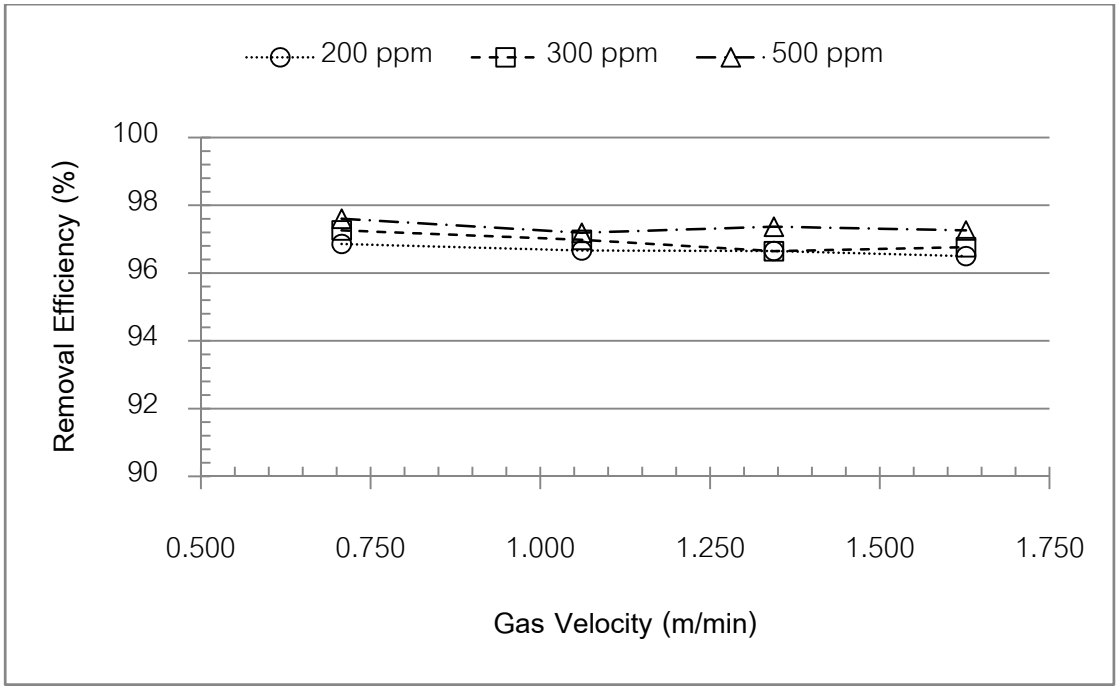
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

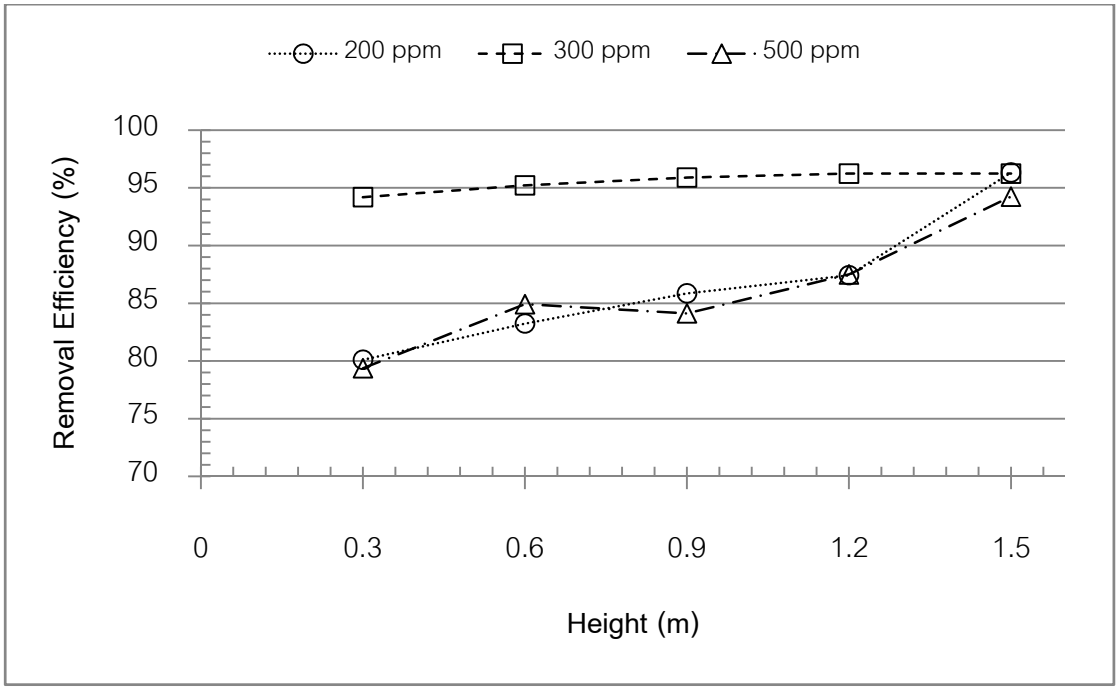


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

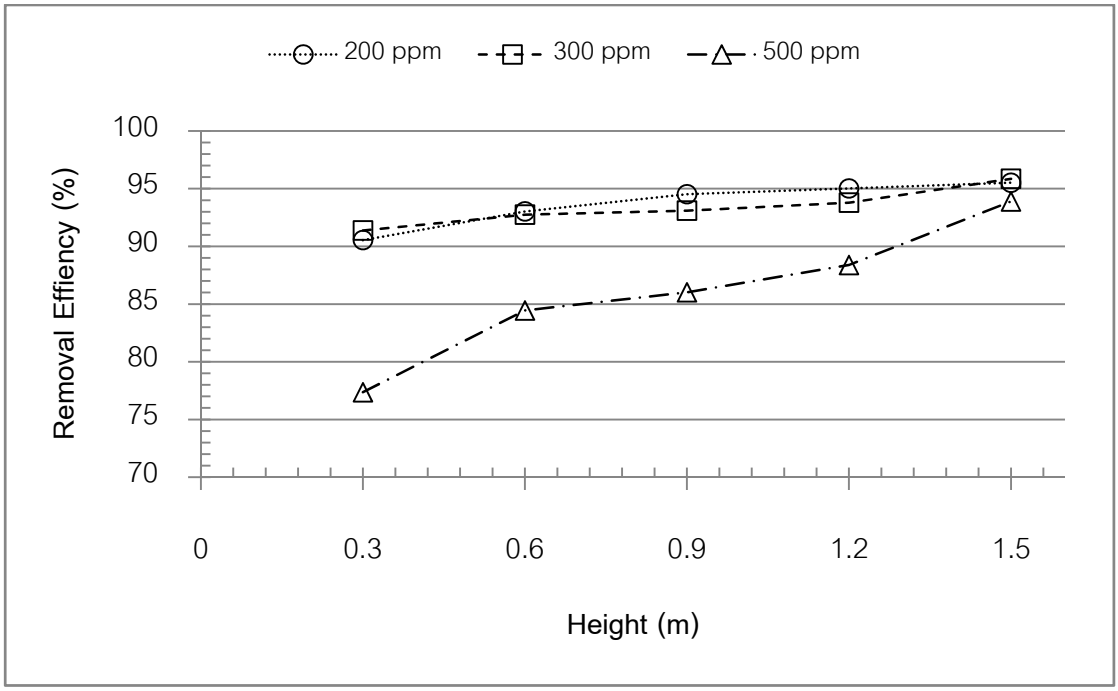
4.1.5 อิทธิพลของความสูงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน ที่อัตราการไหลก๊าซ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความสูงตัวกลางเท่ากับ 0.3 เมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 80.81 – 95.73 และเมื่อความสูงตัวกลางเพิ่มขึ้นเป็น 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80.81 – 95.73, 85.66 – 96.55, 85.25 -96.95, 86.67 – 97.36 และ 95.88 – 98.02 ตามลำดับดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.32

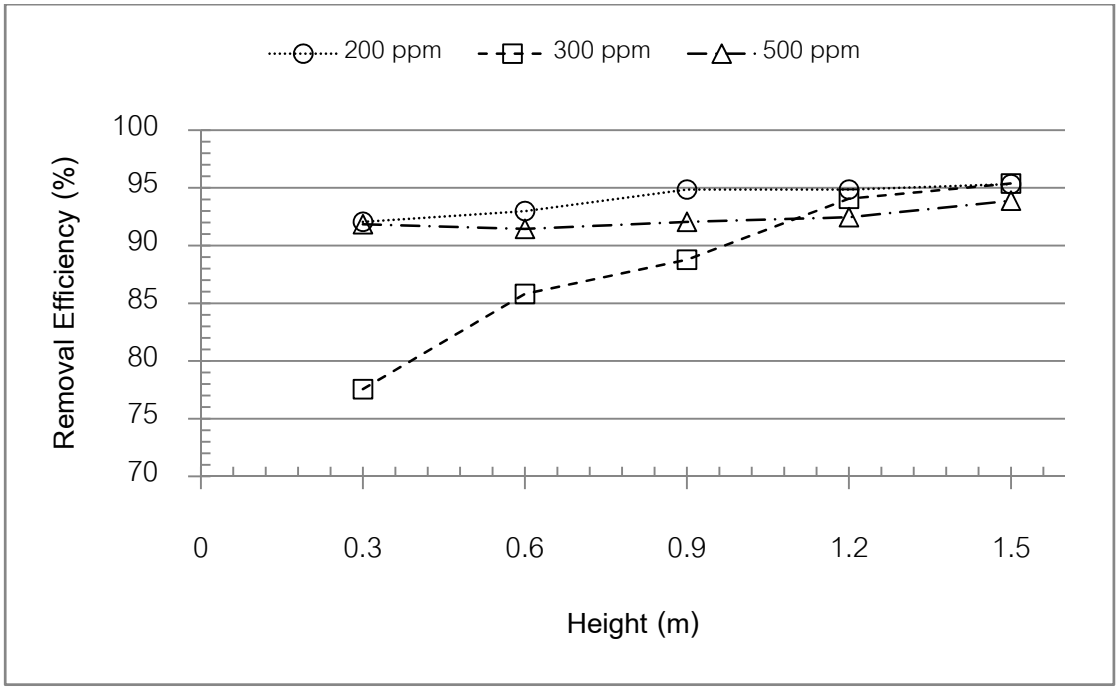
จากรูปที่ 4.17 ถึง 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม พบว่าที่ความสูงตัวกลางน้อย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.32



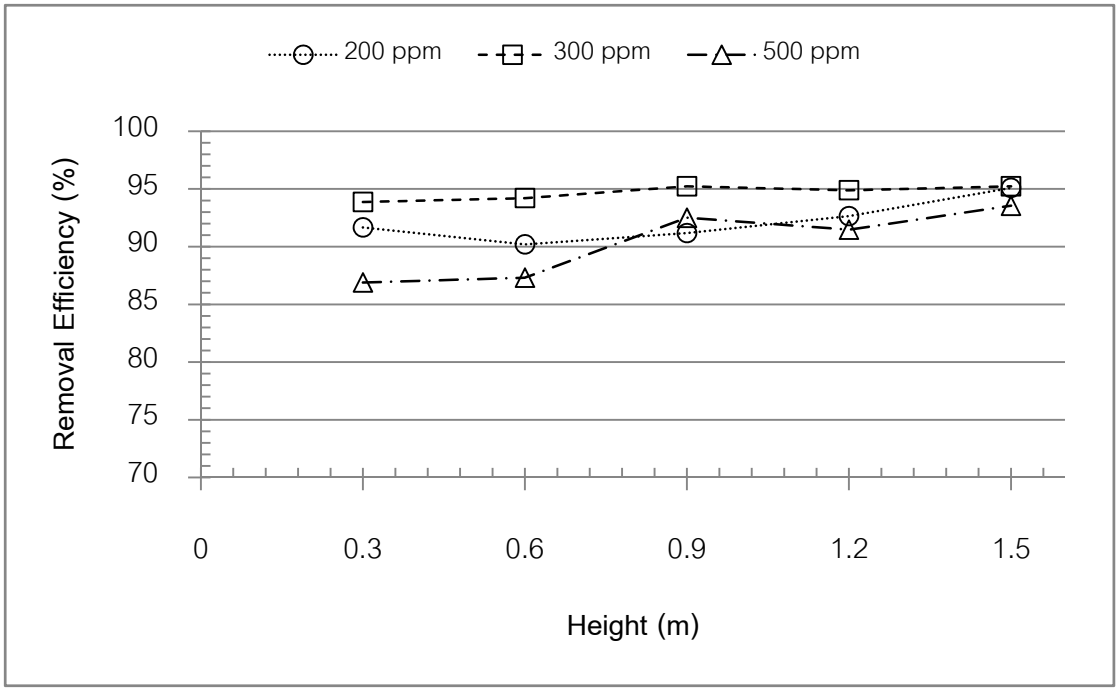
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



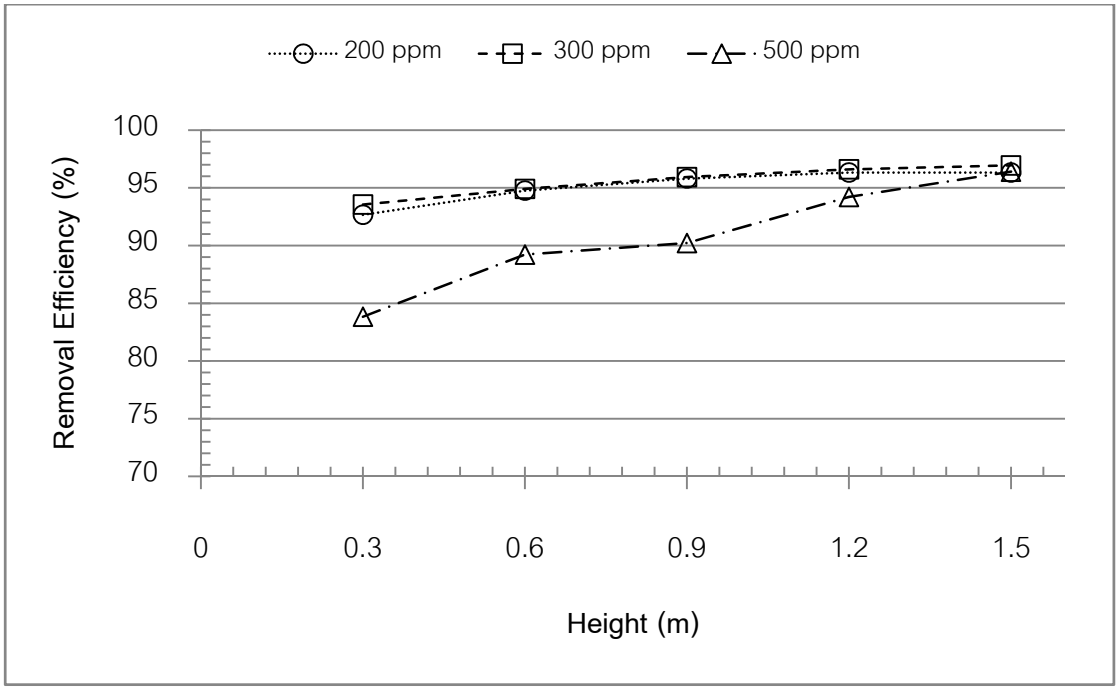
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



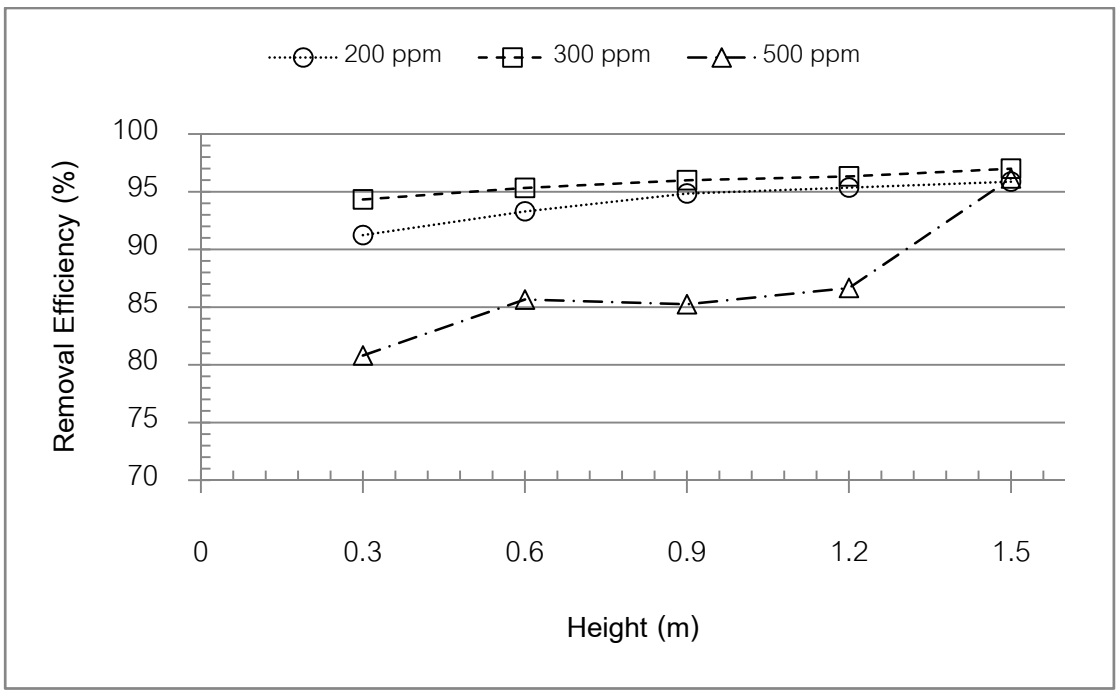
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



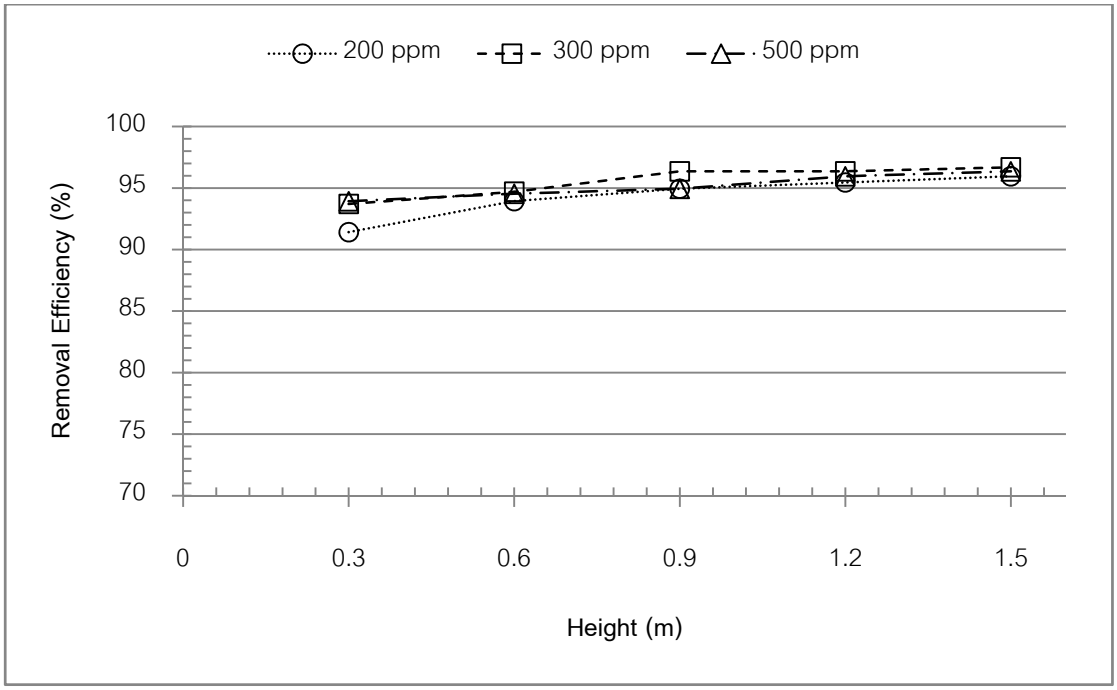
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที



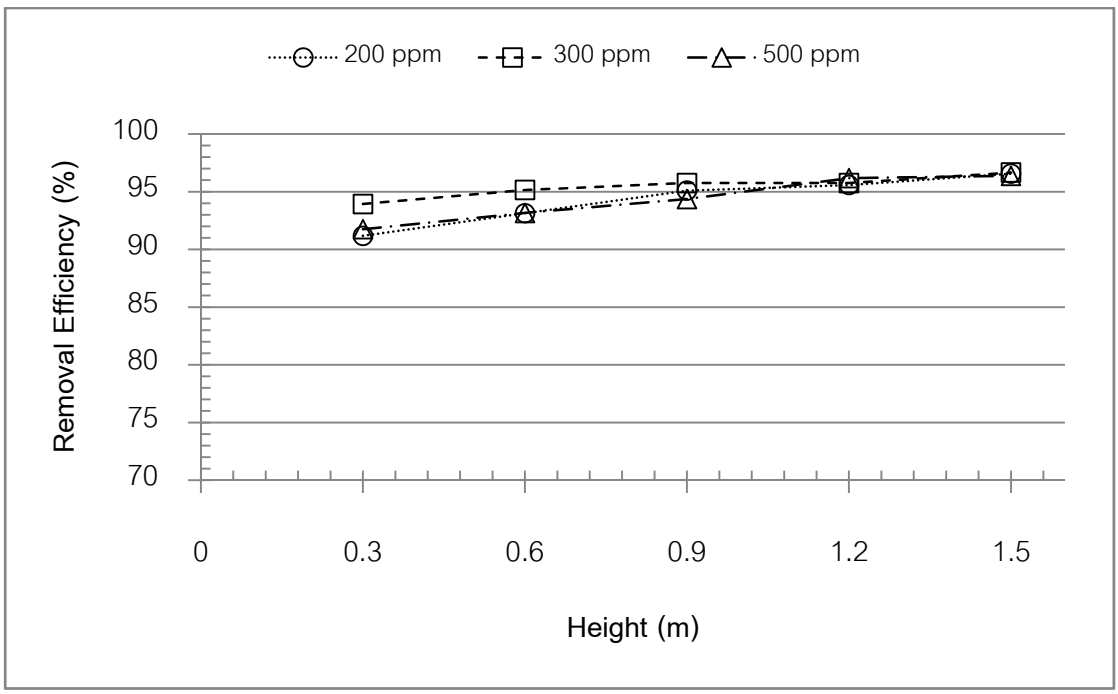
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



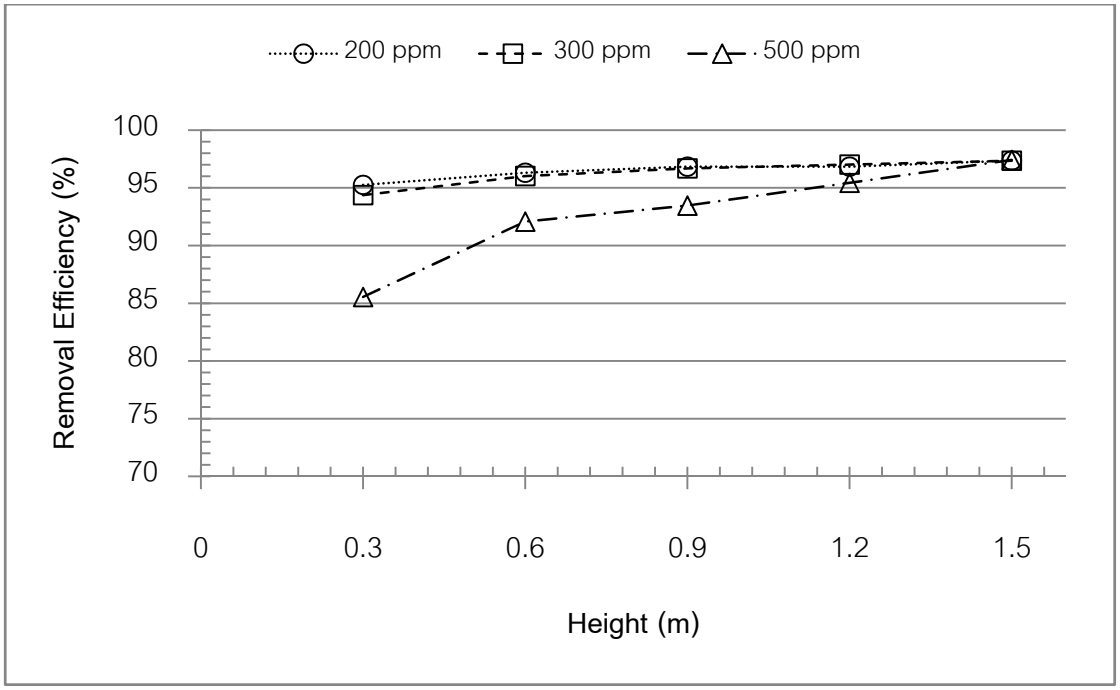
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



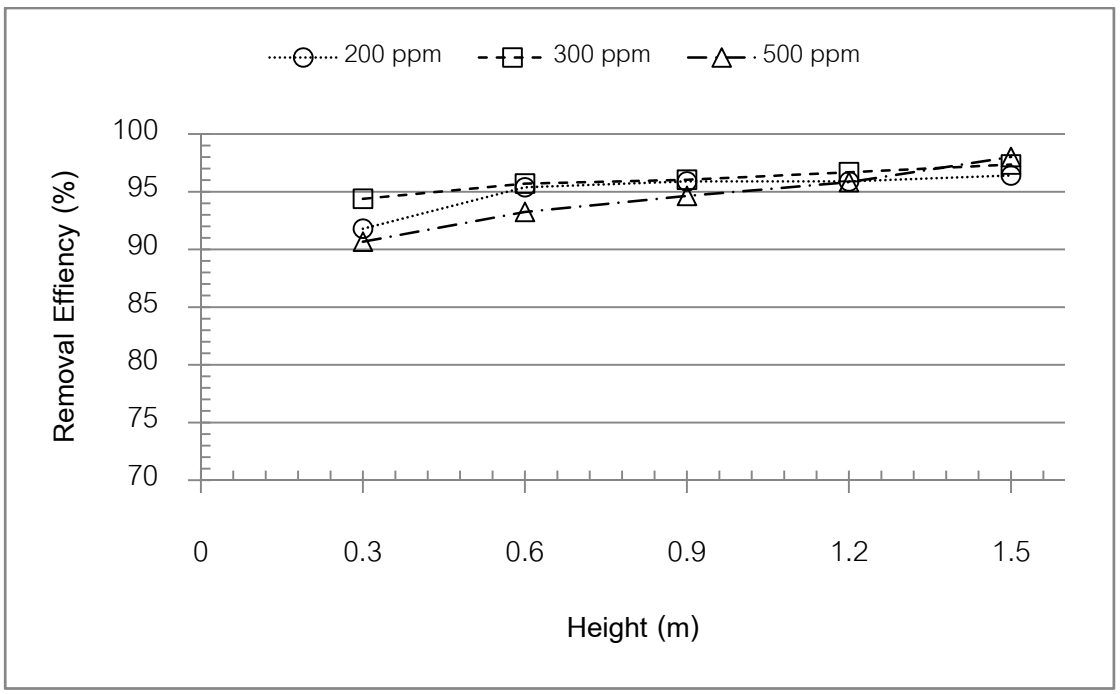
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



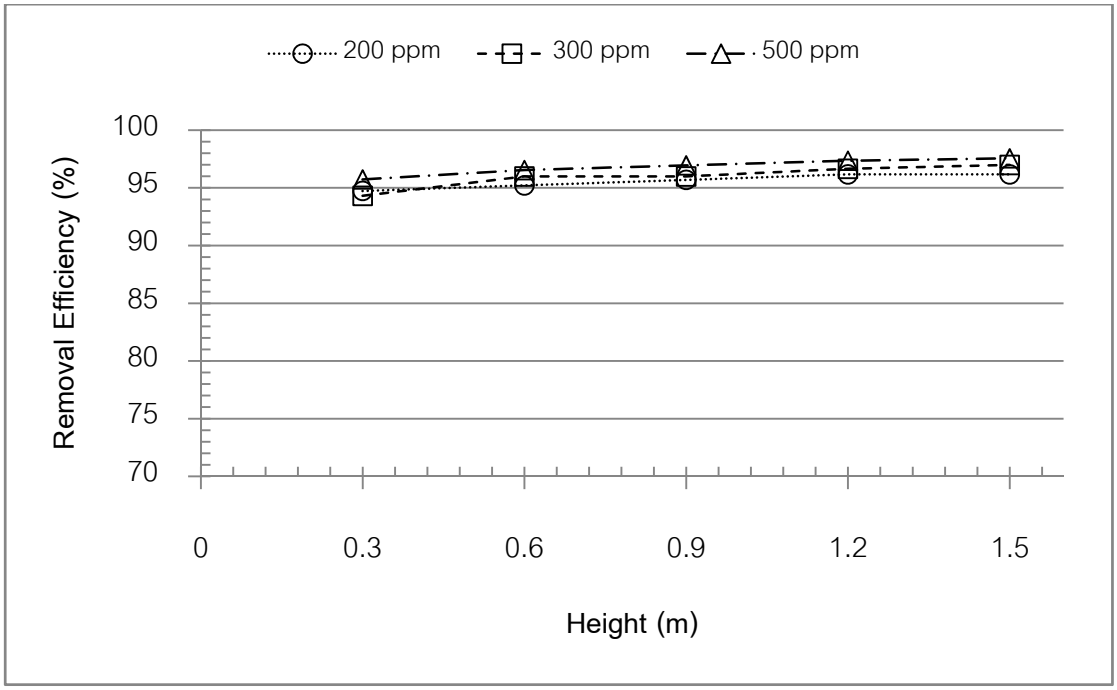
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที



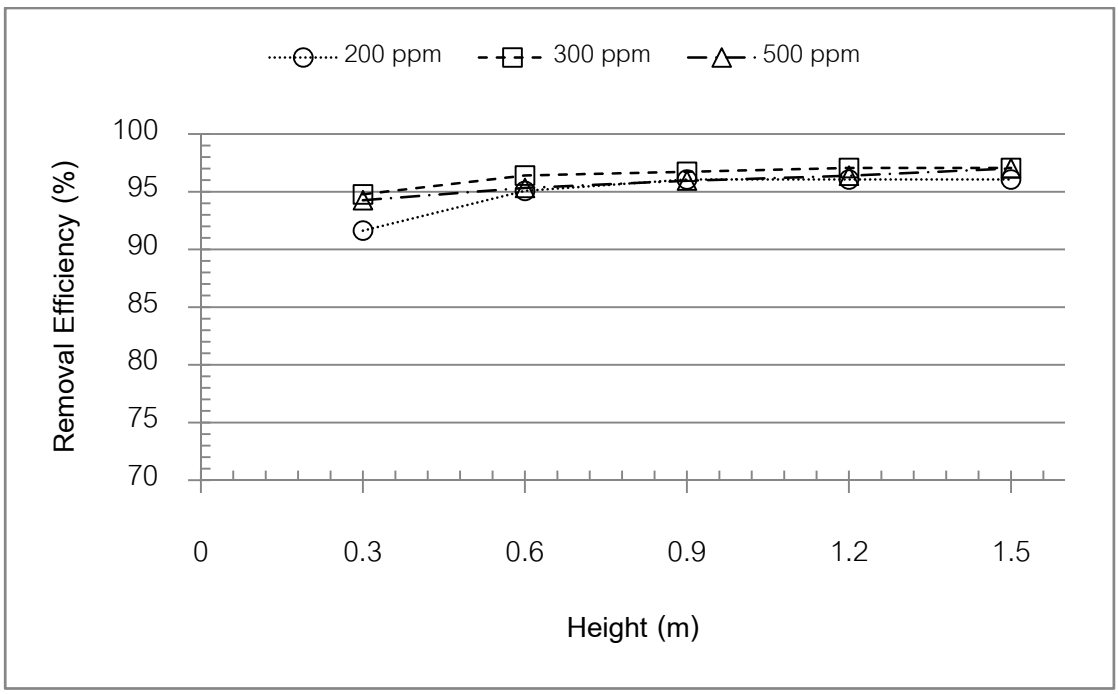
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



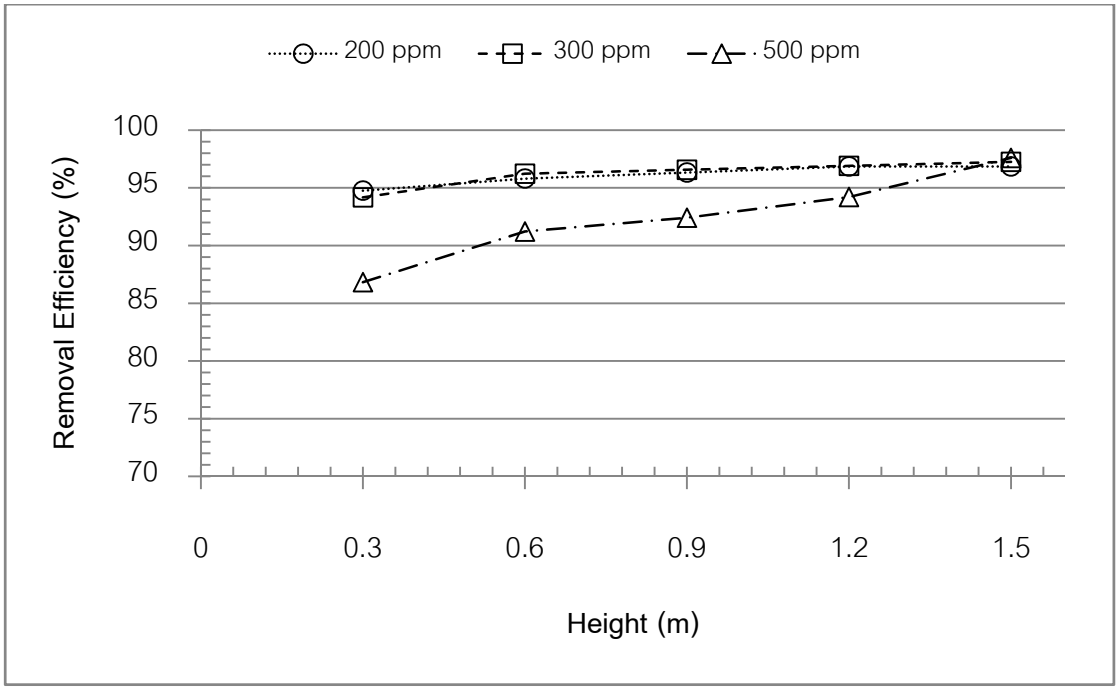
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



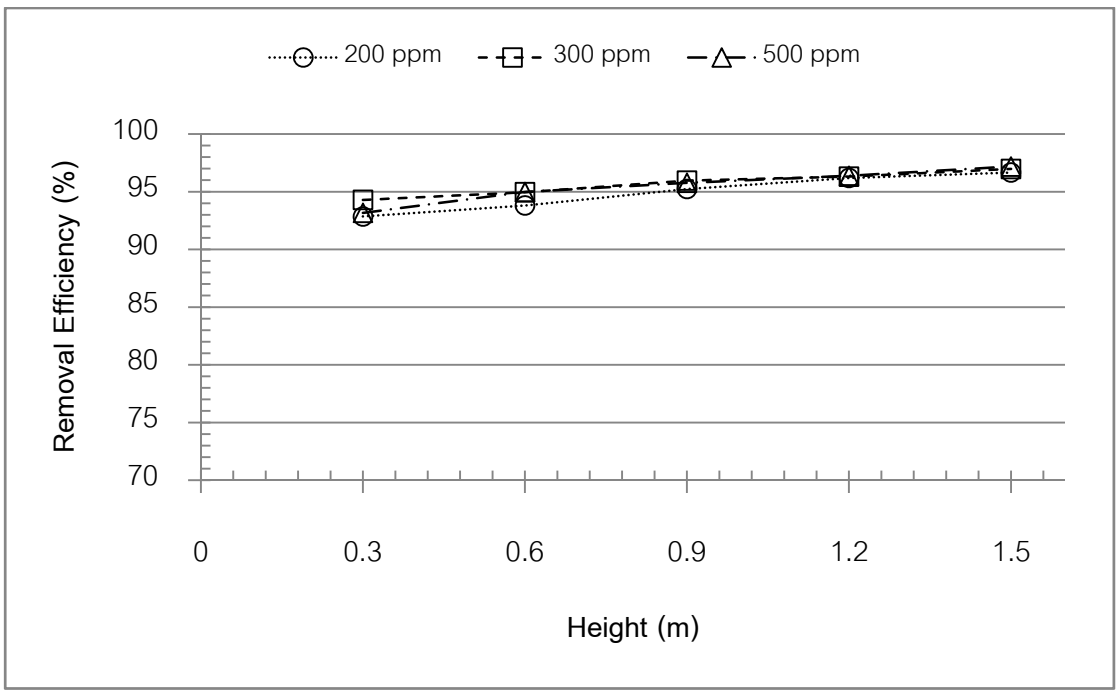
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



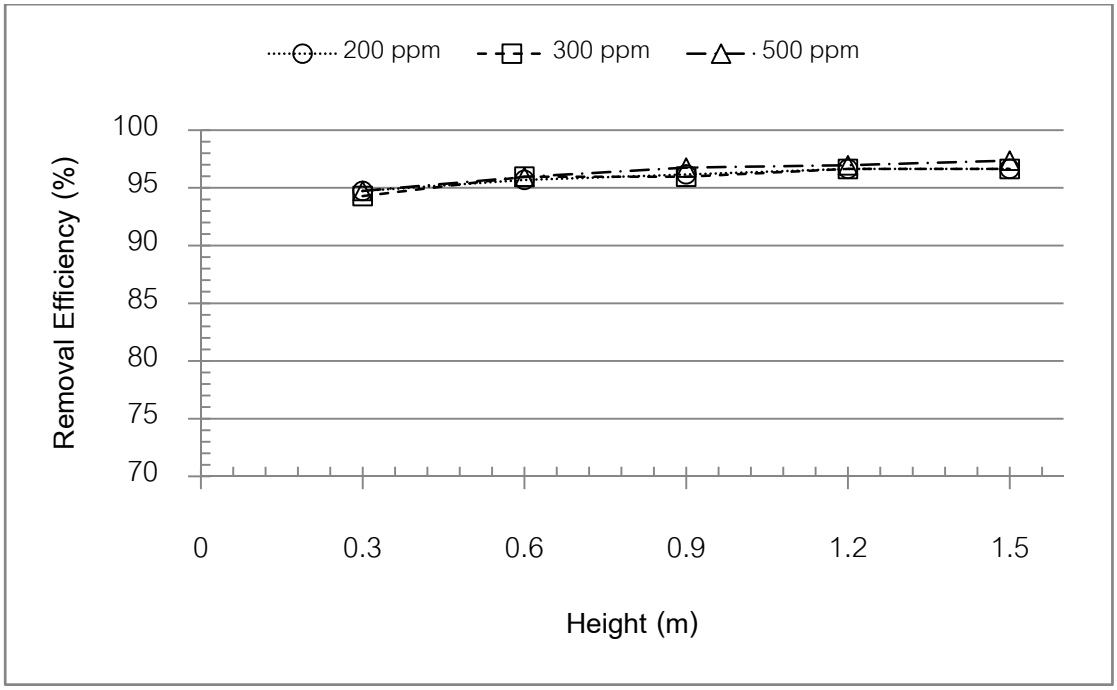
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที



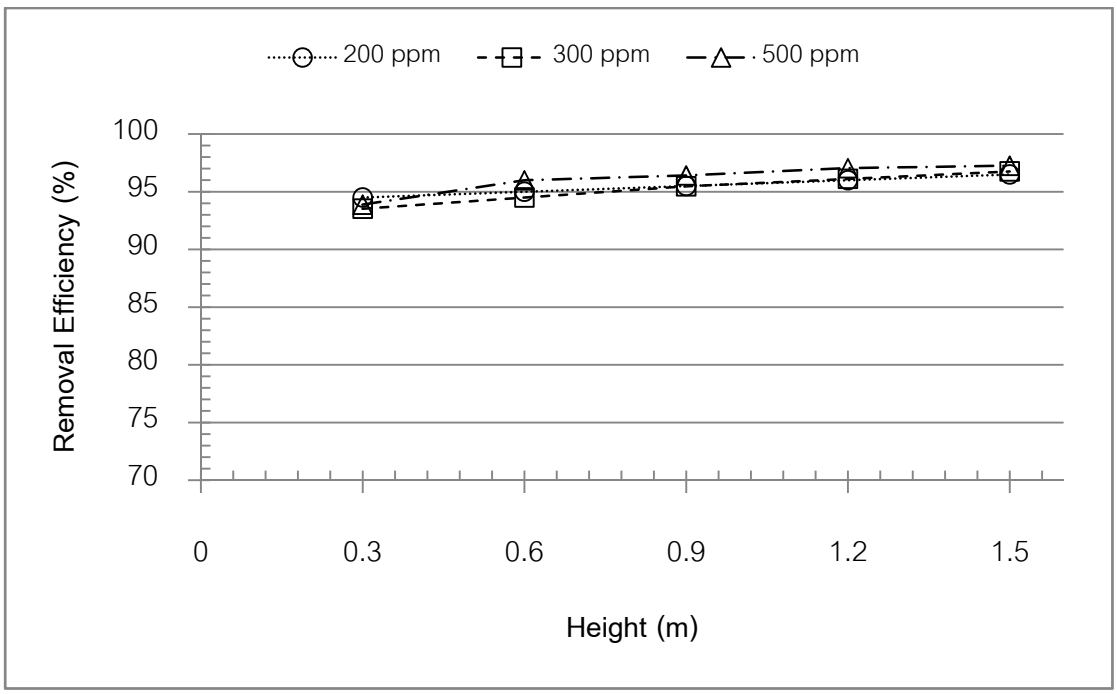
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที

4.2 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ 50 – 200 ส่วนในล้านส่วน และอัตราการไหลอากาศที่ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที อัตราไหลของเหลวประมาณ 0.650 ลิตรต่อนาที และอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6, 7, 8 และ 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ โดยบรรจุตัวกลางสูง 1.5 เมตรตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ถึง 4.8

4.2.1 อิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

รูปที่ 4.33 ถึง 4.36 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ที่อัตราการไหล 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ พบว่าเมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 73.08 - 100 และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 39.47 – 84.80 และเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมแล้ว พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้นโดยที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.001 โมลาร์ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 100 และประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน อยู่ที่ร้อยละ 89.53 – 100

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยมีความสัมพันธ์กับอัตราไหลก๊าซ และความเข้มข้นสารละลายที่ใช้เป็นตัวดูดซึมด้วย คือหากต้องการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จำเป็นต้องลดอัตราไหลก๊าซให้มีค่าลดลงหรือเพิ่มความเข้มข้นสารละลายที่ใช้เป็นตัวดูดซึม เช่น ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน หากใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมมีประสิทธิภาพการบำบัดตั้งแต่ร้อยละ 39.47-84.80 โดยเพิ่มขึ้นตามอัตราไหลก๊าซที่ลดลง แต่เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.001 โมลาร์ ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 86.91-100 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.002 โมลาร์ มีประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 ทุกอัตราไหลก๊าซ

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

ความเข้มข้นก๊าซ (H_2S) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ H_2S (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	น้ำ	เริ่มต้น	สุดท้าย	
50	50	0.661	50	0	100.00
	75	0.689	54	2	96.30
	95	0.674	48	7	85.42
	115	0.657	52	14	73.08
100	50	0.667	110	7	93.64
	75	0.655	102	19	81.37
	95	0.668	102	53	48.04
	115	0.671	92	54	41.30
150	50	0.682	144	10	93.06
	75	0.643	155	49	68.39
	95	0.668	152	83	45.39
	115	0.638	151	89	41.06
200	50	0.654	204	31	84.80
	75	0.637	195	62	68.21
	95	0.639	191	105	45.03
	115	0.665	190	115	39.47

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นสารดูดซึม

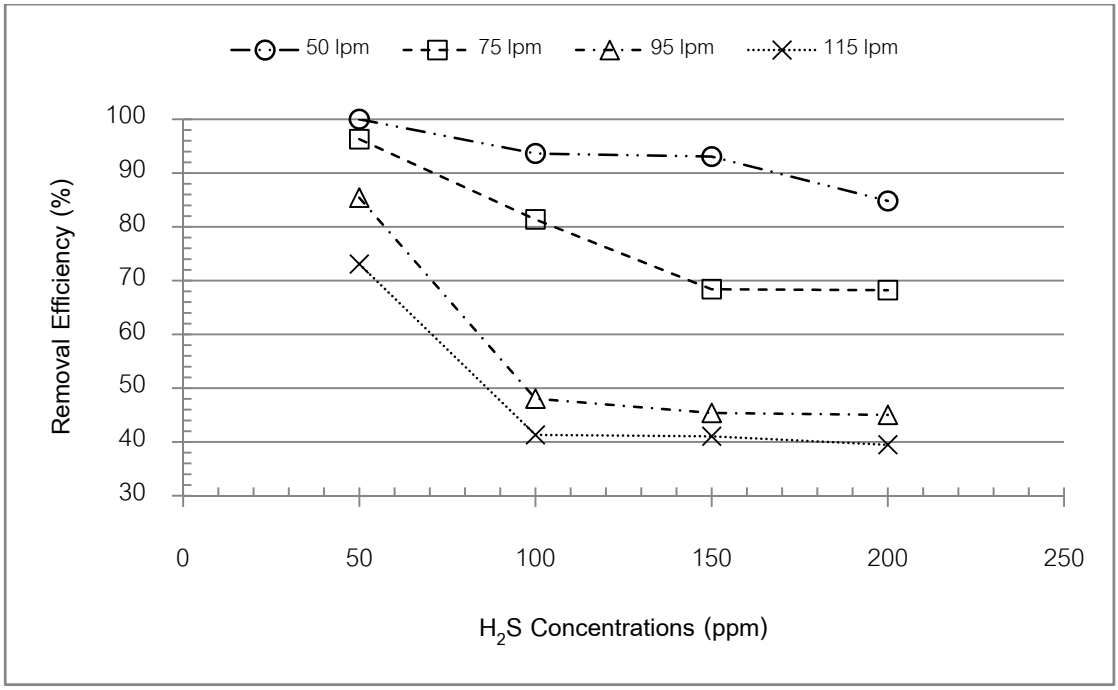
ความเข้มข้นก๊าซ (H_2S) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ H_2S (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	NaOH	เริ่มต้น	สุดท้าย	
50	50	0.686	58	0	100.00
	75	0.672	53	0	100.00
	95	0.620	56	6	89.29
	115	0.641	51	12	76.47
100	50	0.639	95	0	100.00
	75	0.653	95	7	92.63
	95	0.648	109	15	86.24
	115	0.641	95	16	83.16
150	50	0.638	157	0	100.00
	75	0.623	152	17	88.82
	95	0.618	152	21	86.18
	115	0.633	151	26	82.78
200	50	0.677	189	0	100.00
	75	0.676	191	20	89.53
	95	0.688	198	23	88.38
	115	0.628	191	25	86.91

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นสารดูดซึม

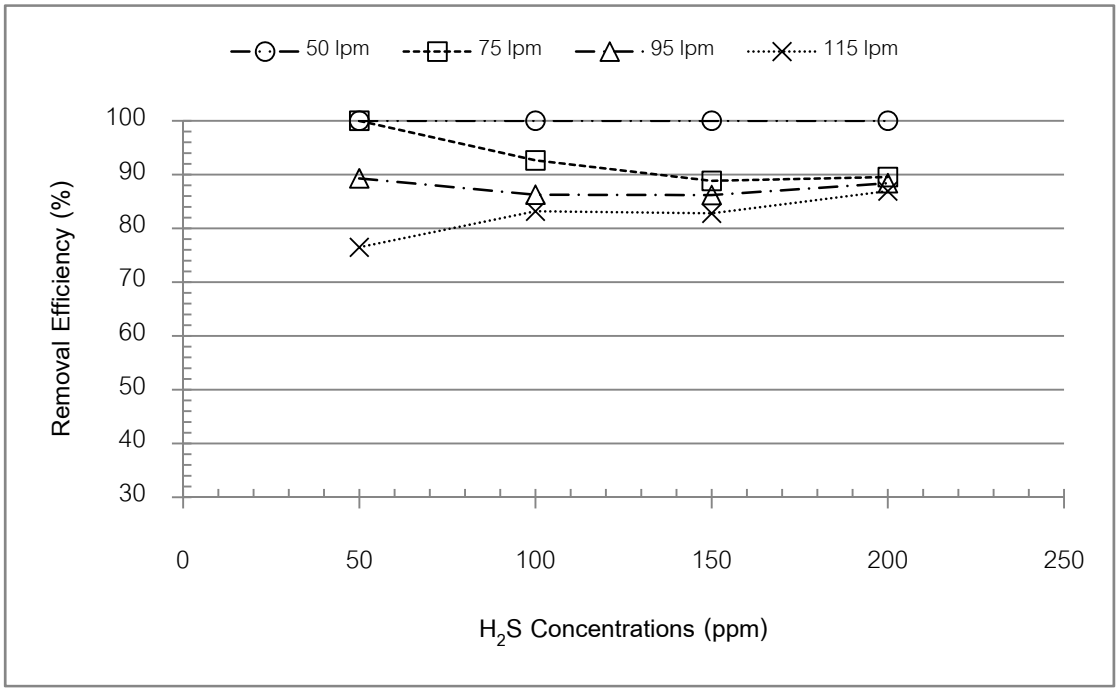
ความเข้มข้นก๊าซ (H_2S) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ H_2S (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	NaOH	เริ่มต้น	สุดท้าย	
50	50	0.660	57	0	100
	75	0.639	57	0	100
	95	0.664	52	0	100
	115	0.633	51	0	100
100	50	0.679	91	0	100
	75	0.651	106	0	100
	95	0.680	104	0	100
	115	0.662	106	0	100
150	50	0.602	155	0	100
	75	0.606	148	0	100
	95	0.704	157	0	100
	115	0.670	147	0	100
200	50	0.641	196	0	100
	75	0.640	193	0	100
	95	0.710	193	0	100
	115	0.663	192	0	100

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซต่างๆโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นสารดูดซึม

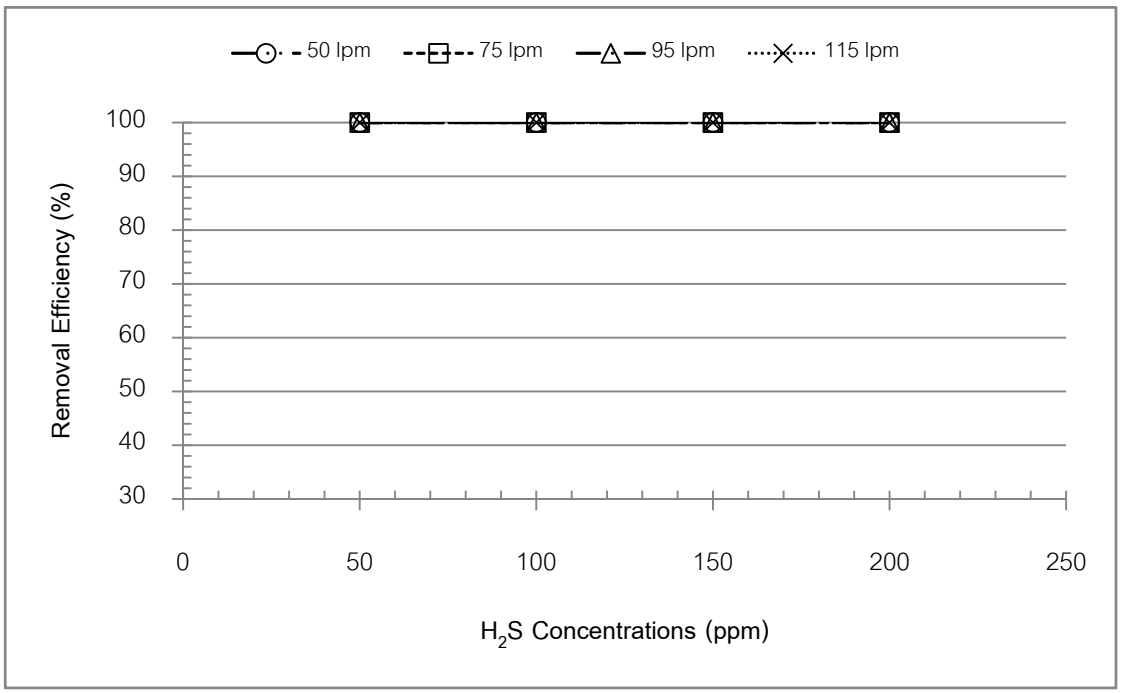
ความเข้มข้นก๊าซ (H_2S) (ส่วนในล้านส่วน)	อัตราไหล (ลิตรต่อนาที)		ความเข้มข้นก๊าซ H_2S (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	NaOH	เริ่มต้น	สุดท้าย	
50	50	0.646	45	0	100
	75	0.686	56	0	100
	95	0.643	54	0	100
	115	0.654	54	0	100
100	50	0.692	93	0	100
	75	0.674	93	0	100
	95	0.693	95	0	100
	115	0.657	99	0	100
150	50	0.613	152	0	100
	75	0.583	145	0	100
	95	0.643	144	0	100
	115	0.629	154	0	100
200	50	0.694	184	0	100
	75	0.658	192	0	100
	95	0.692	183	0	100
	115	0.728	195	0	100



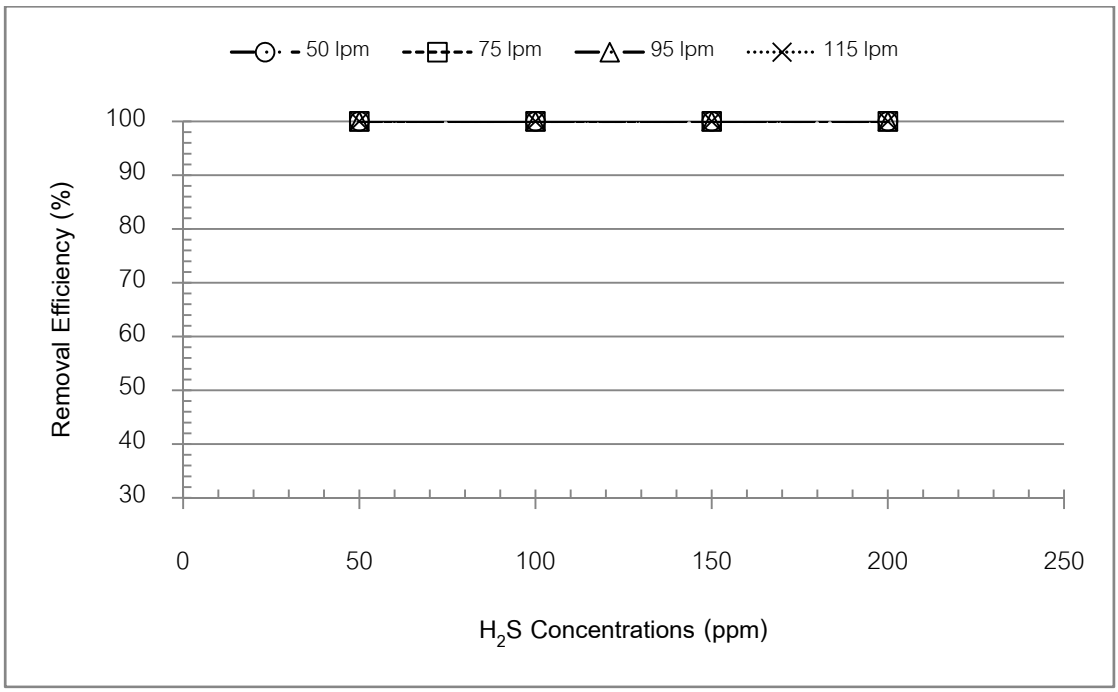
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม



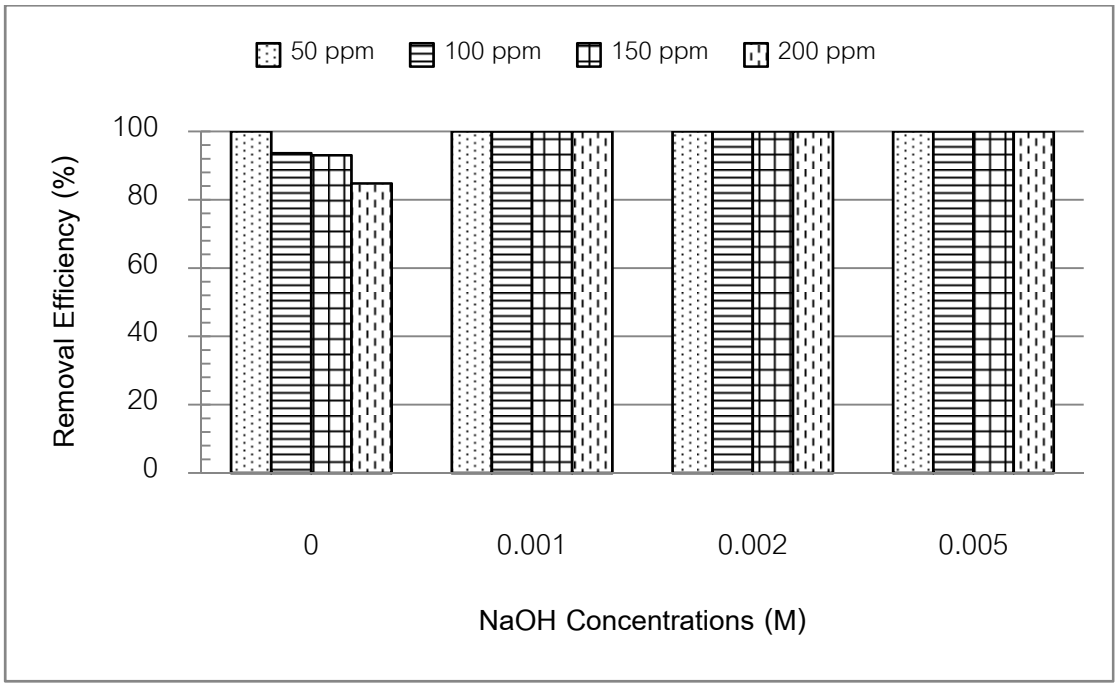
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม



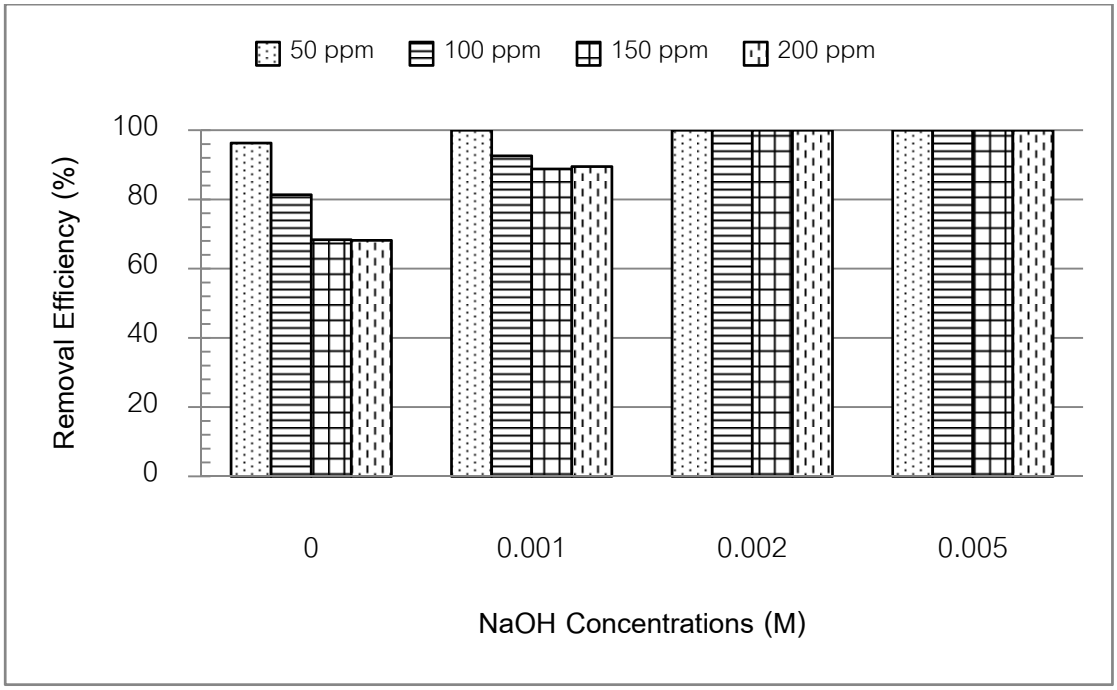
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดกับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

4.2.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

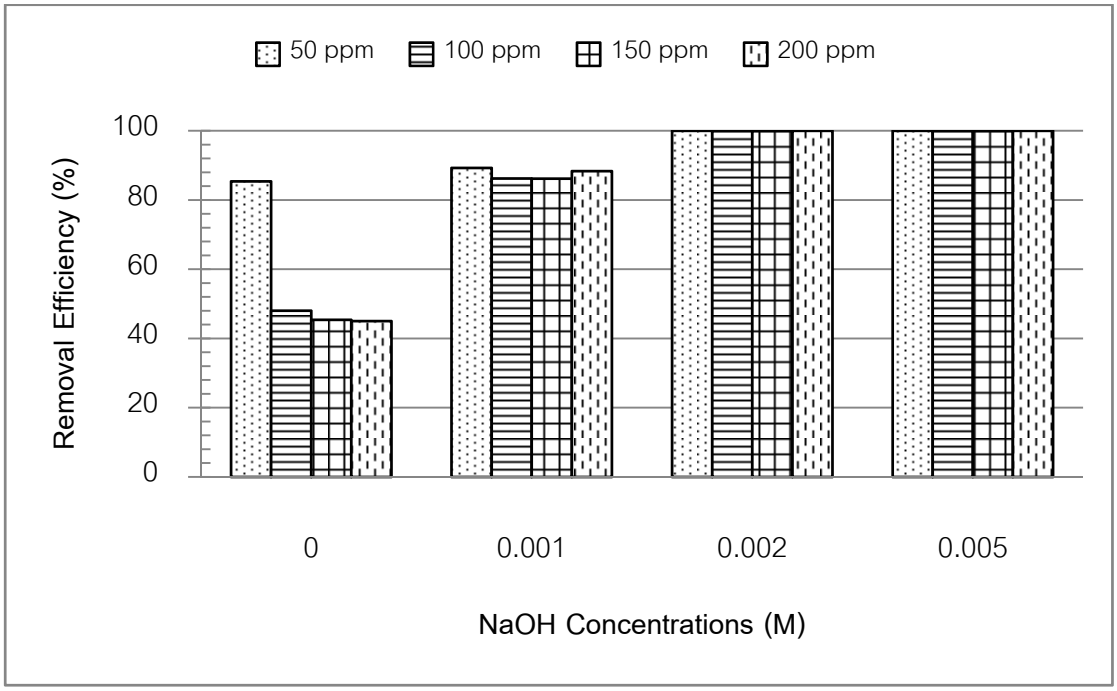
ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมที่ความเข้มข้นสารละลาย 0, 0.001, 0.002 และ 0.005 โมลาร์ ที่อัตราไหลก๊าซ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาทีพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น คือ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0, 0.001, 0.002 และ 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แต่ละความเข้มข้นสารละลายเท่ากับร้อยละ 39.47 - 100, 76.47 - 100, 100 และ 100 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.37 ถึง 4.40



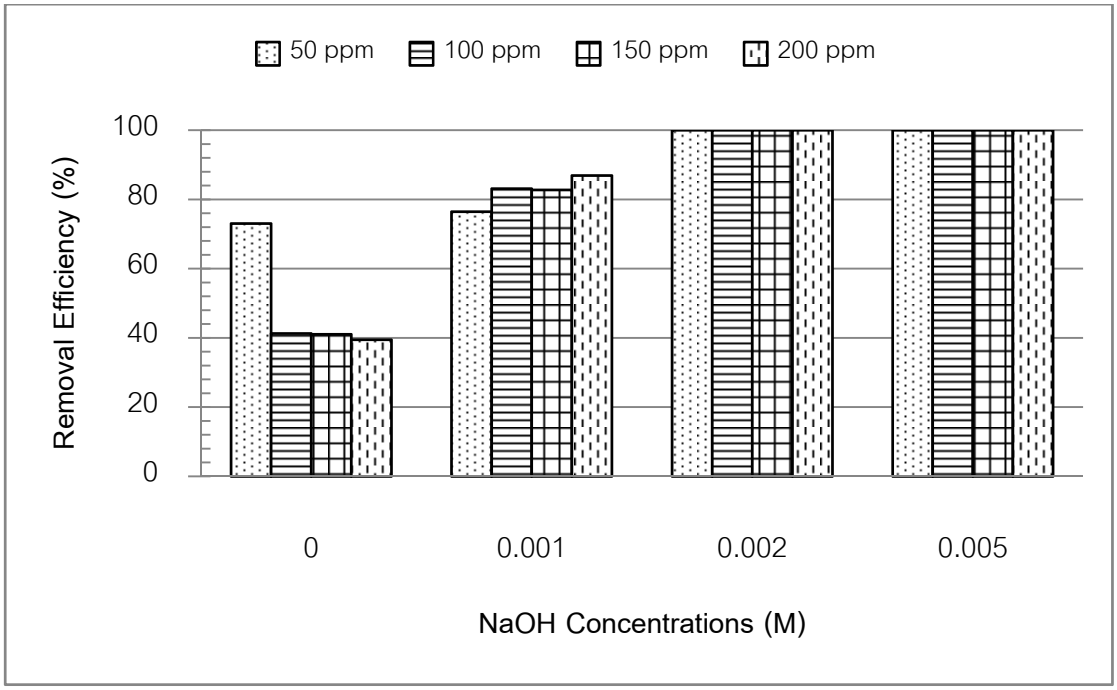
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที

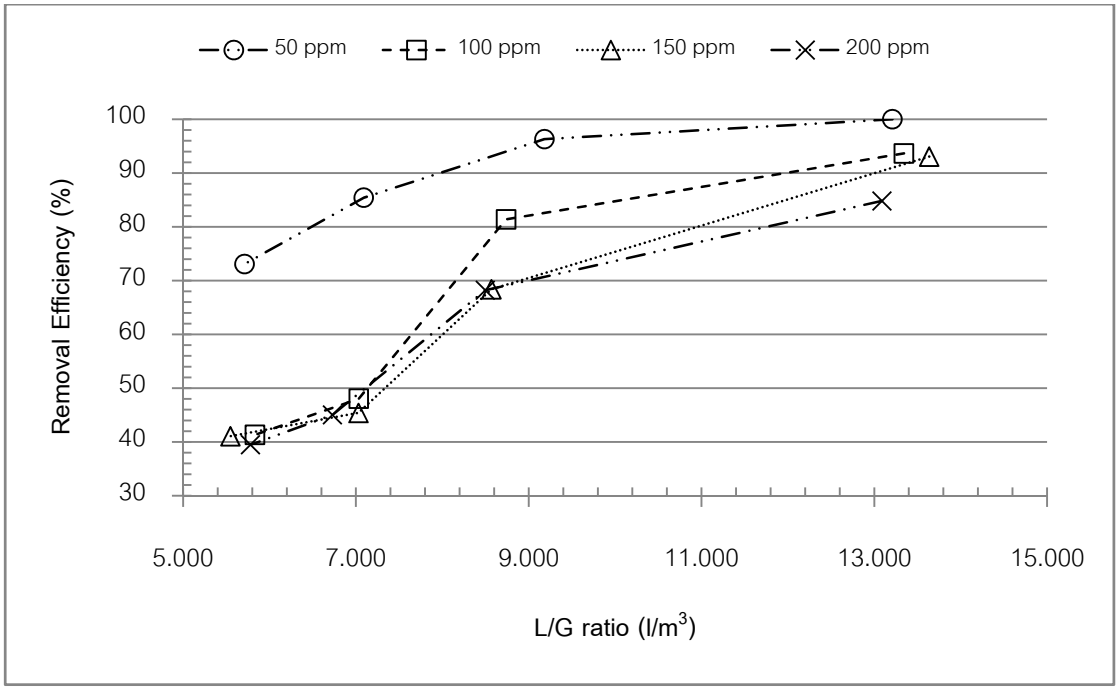


รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที

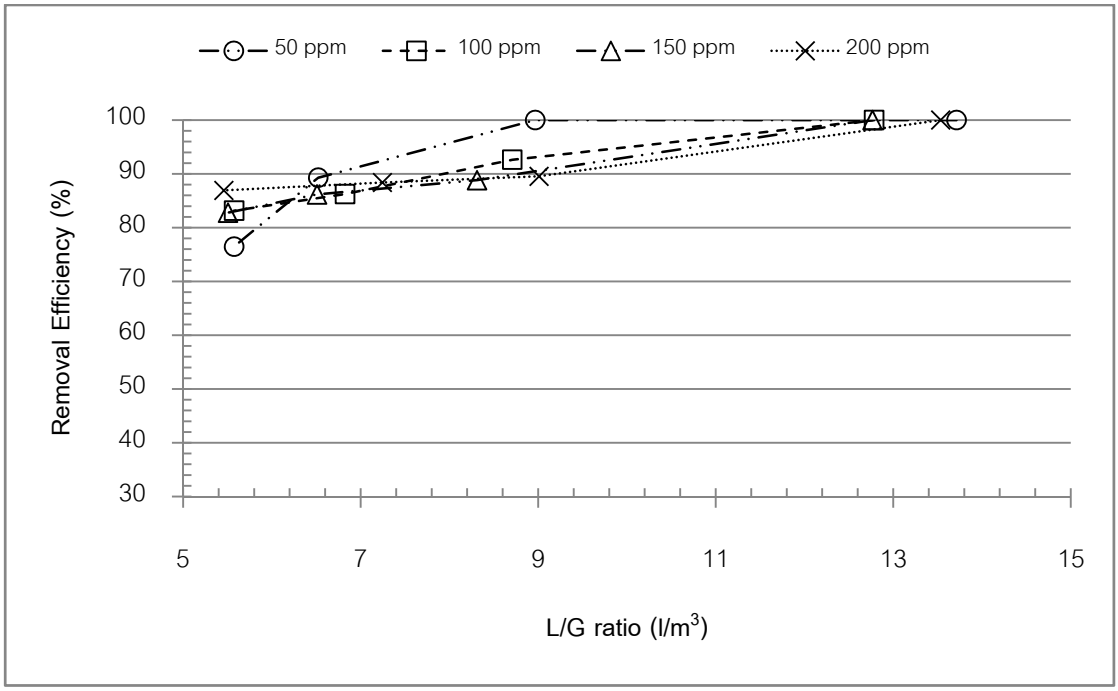
4.2.3 อิทธิพลของอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6, 7, 9 และ 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้น คือ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 76.47 - 100 และเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 7, 8 และ 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ โดยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแต่ละค่าจะเท่ากับร้อยละ 86.18 - 100, 88.82 - 100 และ 100 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.41 ถึง 4.44

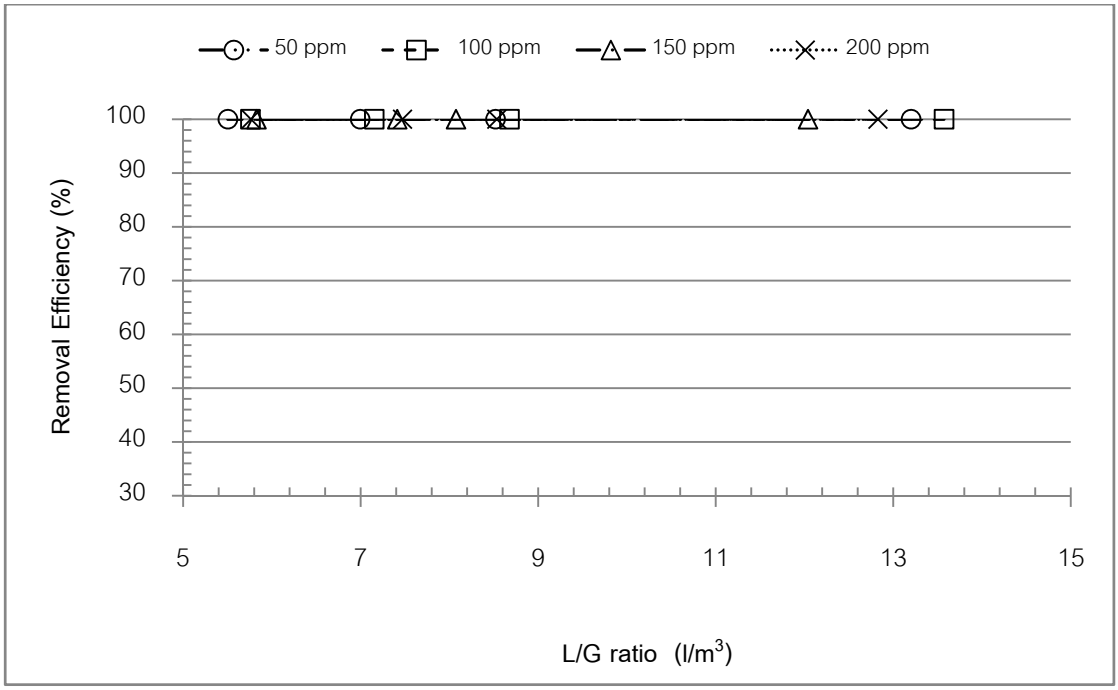
จากรูปที่ 4.41 ถึง 4.44 อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน สามารถเพิ่มอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซให้สูงขึ้นถึง 13.53 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ ที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงถึงร้อยละ 100 ได้



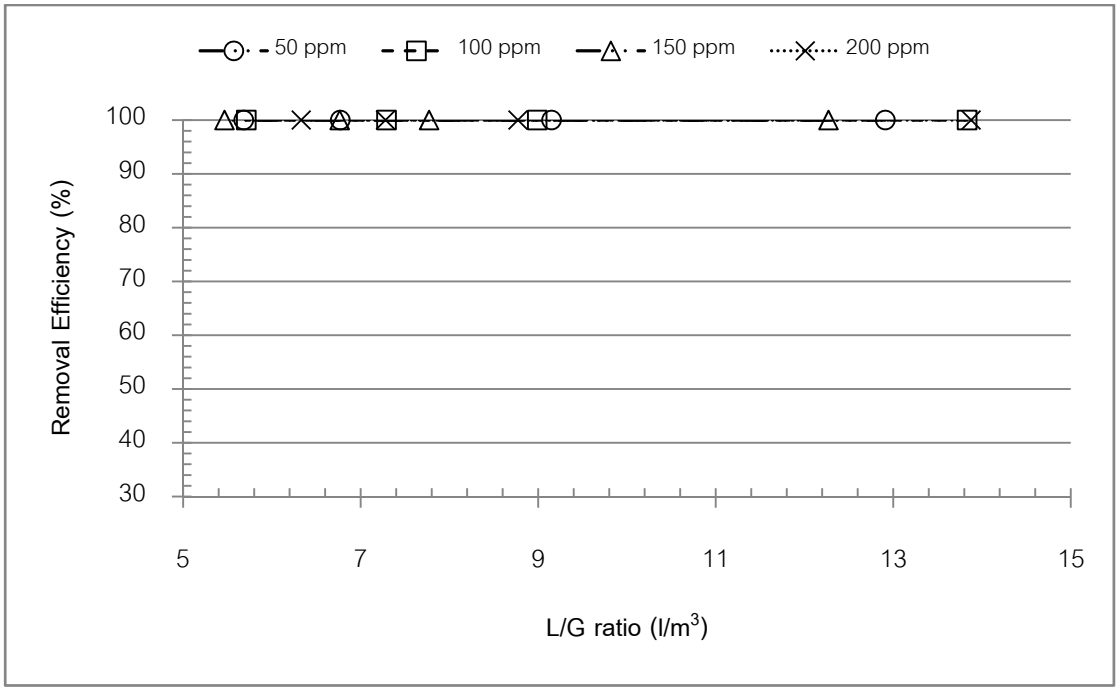
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

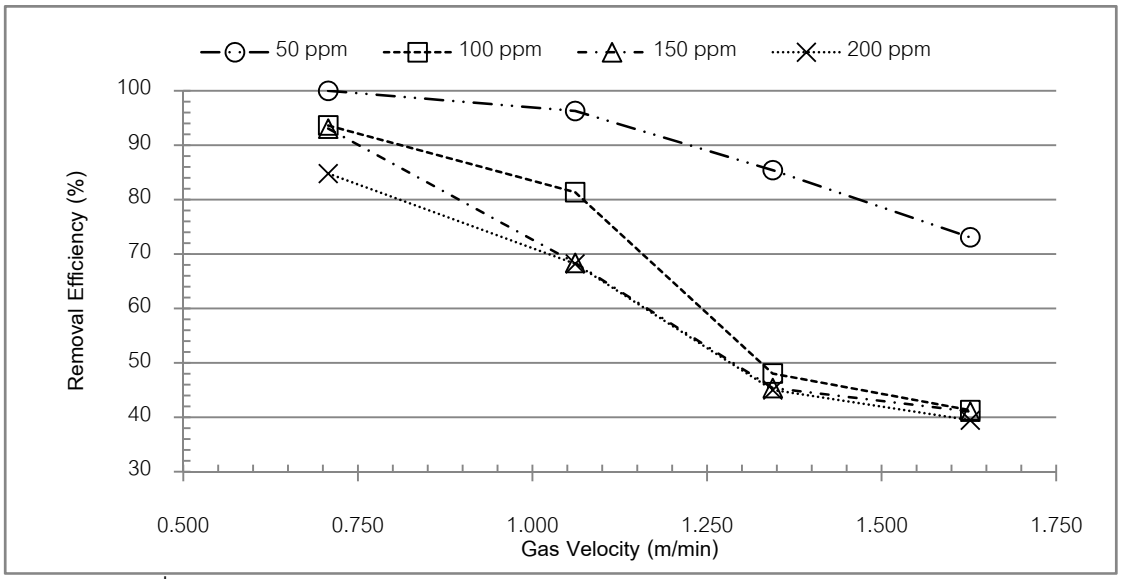


รูปที่ 4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

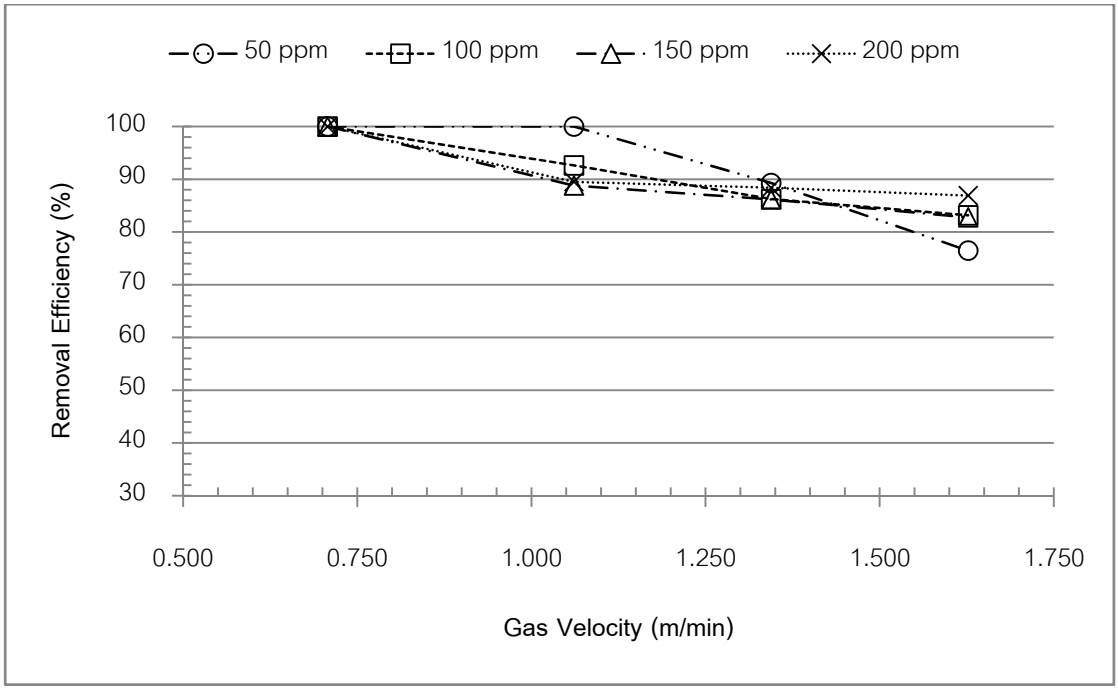
4.2.4 อิทธิพลของความเร็วก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ที่ความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 ลิตรต่อนาที พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วก๊าซคือ เมื่อความเร็วก๊าซเท่ากับ 0.707 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 100 และลดลงเรื่อยๆเมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเท่ากับร้อยละ 88.82 - 100, 86.18 -100 และ 76.47 - 100 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.45 ถึง 4.48

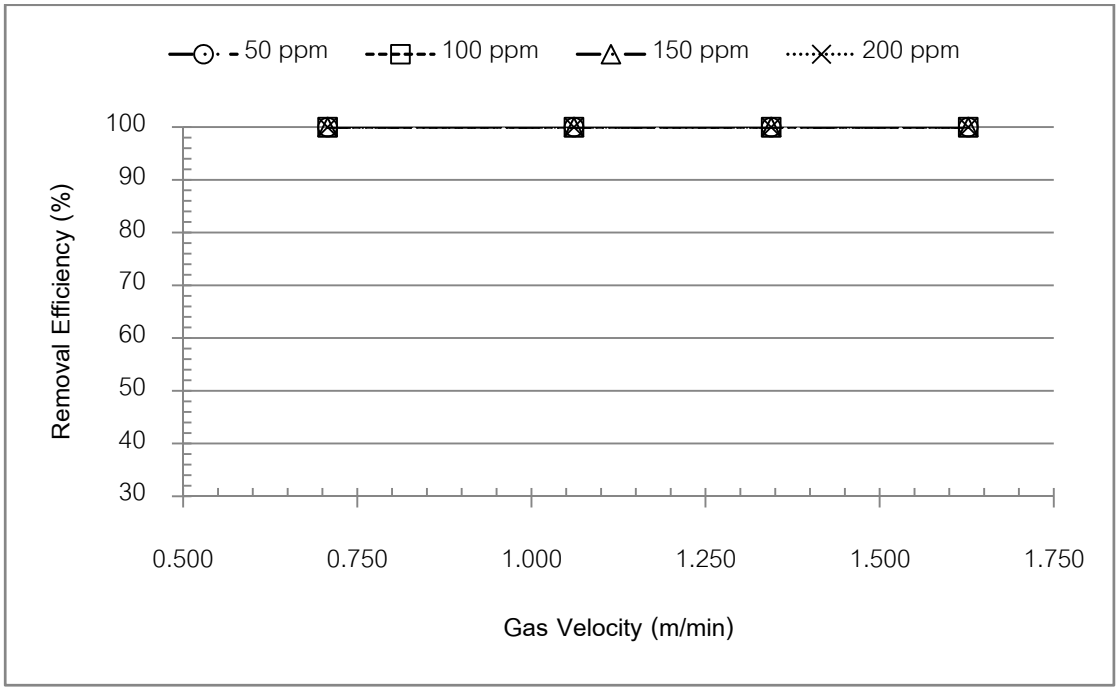
ความเร็วก๊าซมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารละลายที่ใช้เป็นตัวดูดซึมด้วยเช่นกัน โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน เมื่อเพิ่มความเร็วก๊าซจาก 0.707 เมตรต่อนาที ไปจนถึง 1.627 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงจากร้อยละ 84.80 ไปเป็นร้อยละ 39.47 เมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม แต่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ ประสิทธิภาพการบำบัดก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่ยังคงมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วก๊าซ คือประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงจากร้อยละ 100 ไปเป็นร้อยละ 86.91 และประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 100 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 0.002 โมลาร์



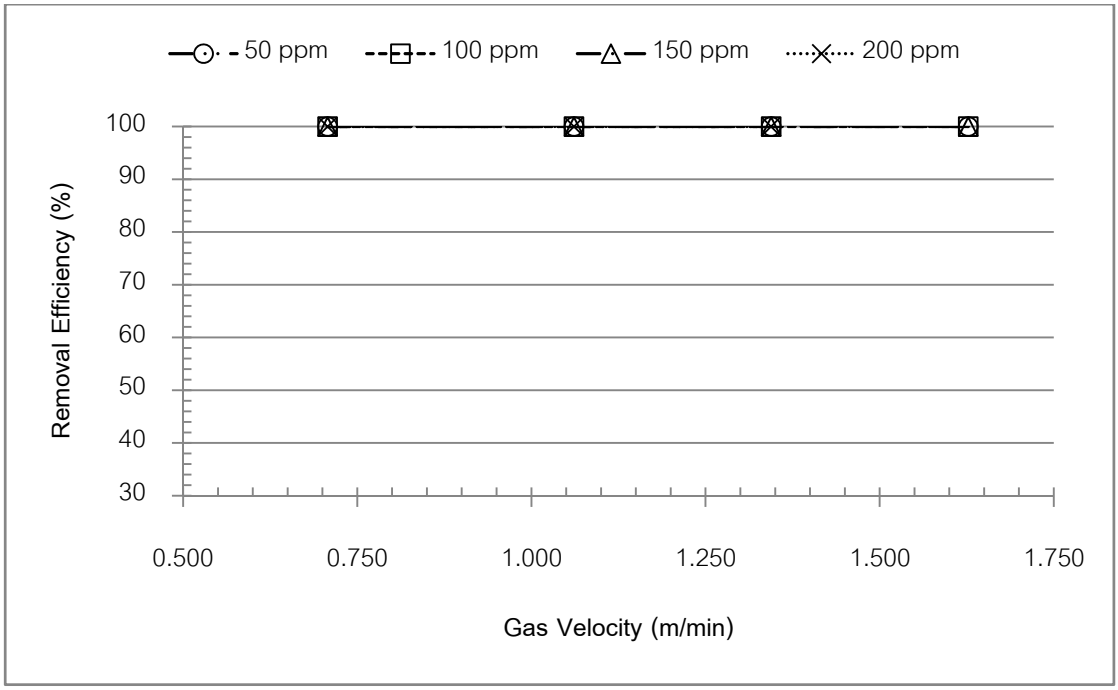
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับความเร็วก๊าซ โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับความเร็วก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับความเร็วก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

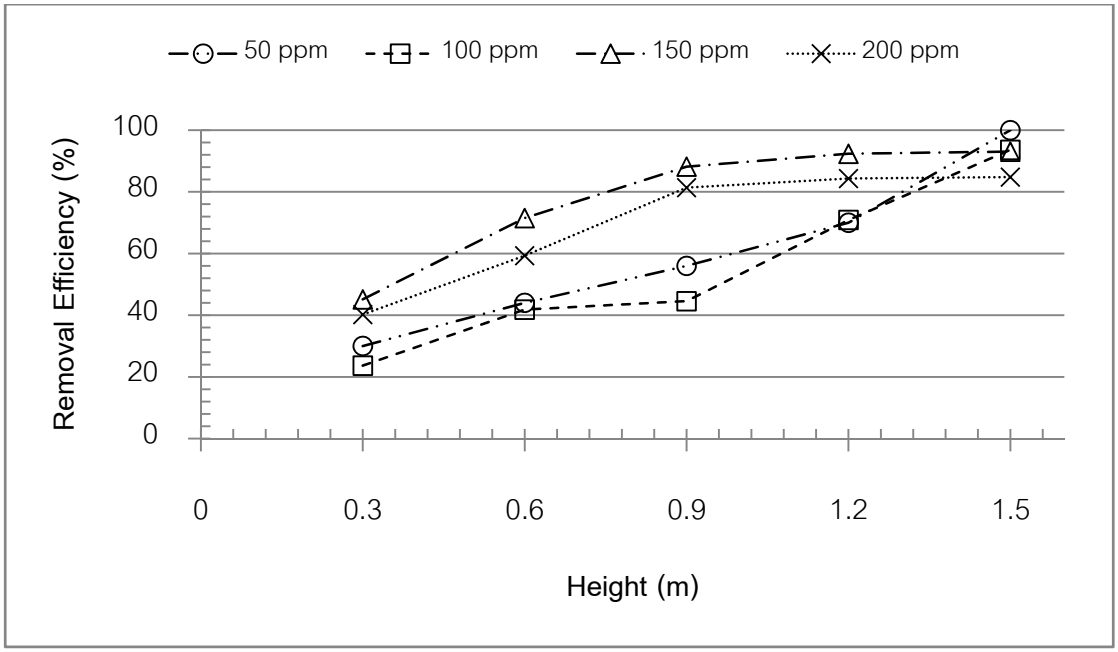


รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับความเร็วก๊าซ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม

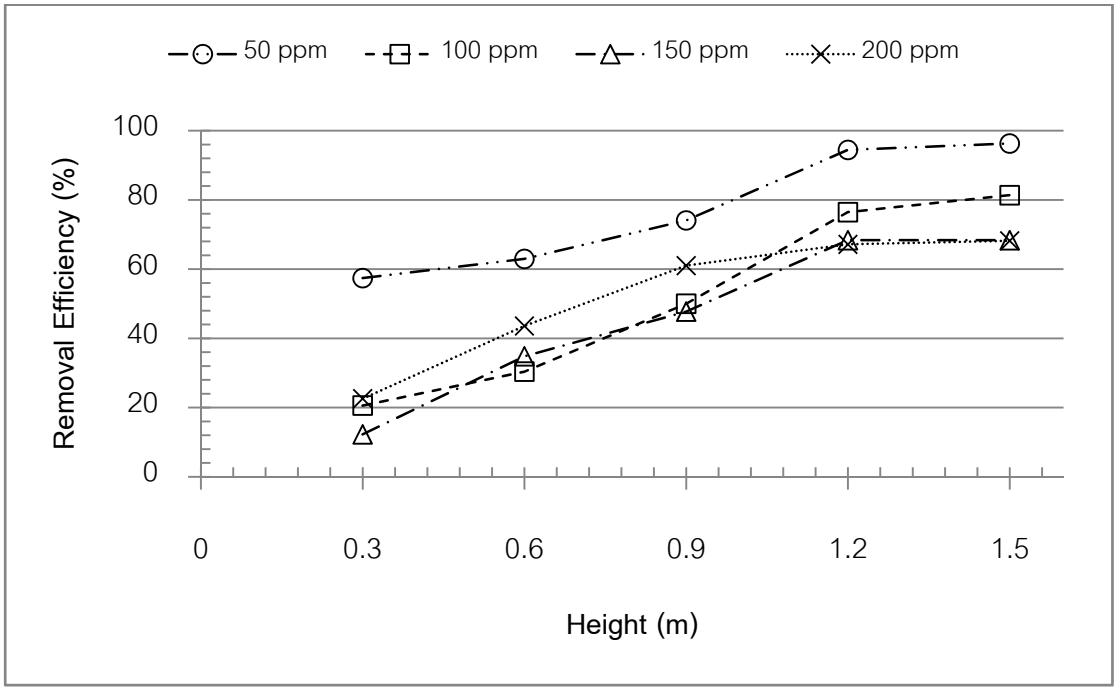
4.2.5 อิทธิพลของความสูงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ที่อัตราไหลก๊าซ 50, 75, 95 และ 115 ลิตรต่อนาที เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมตามลำดับพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความสูงตัวกลางเท่ากับ 0.3 เมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 6.49 - 100 และเมื่อความสูงตัวกลางเพิ่มขึ้นเป็น 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7.34 - 100, 9.17 - 100, 14.68 - 100 และ 76.47 – 100 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.49 ถึง 4.64

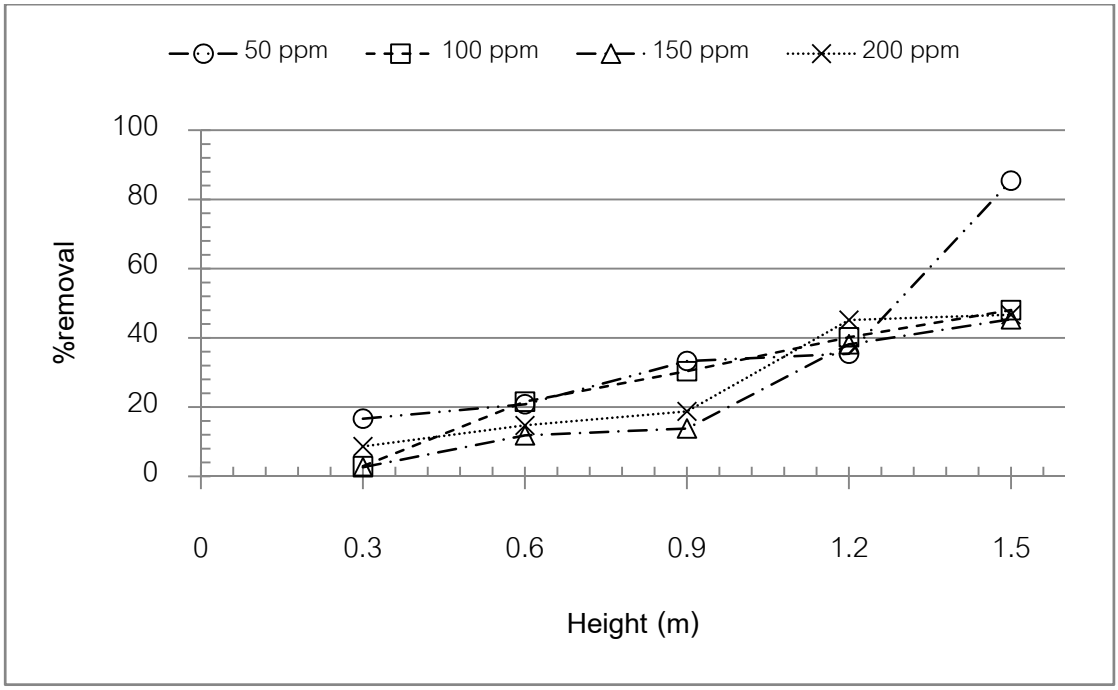
ตัวกลางมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับอัตราไหลก๊าซและความเข้มข้นสารละลาย ที่ความสูงตัวกลางเท่ากับ 0.3 เมตร ประสิทธิภาพจะต่ำที่สุดและประสิทธิภาพสูงขึ้นเรื่อยๆตามระดับความสูงตัวกลางที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอัตราไหลก๊าซหรือลดความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงตามความสูงเช่นกัน



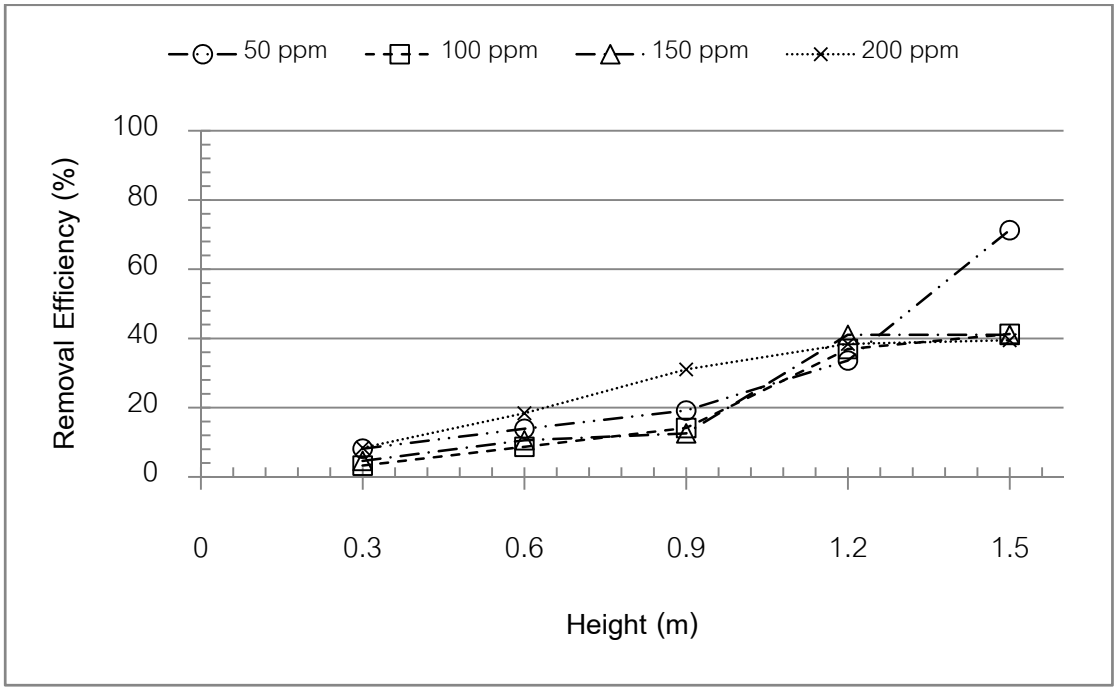
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



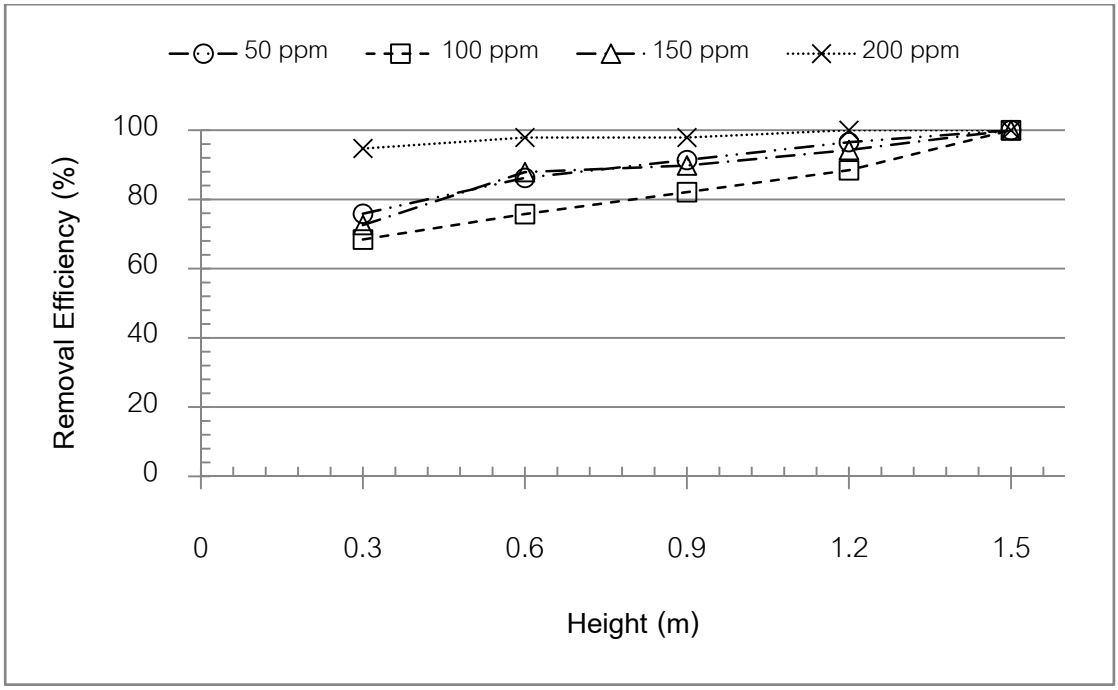
รูปที่ 4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



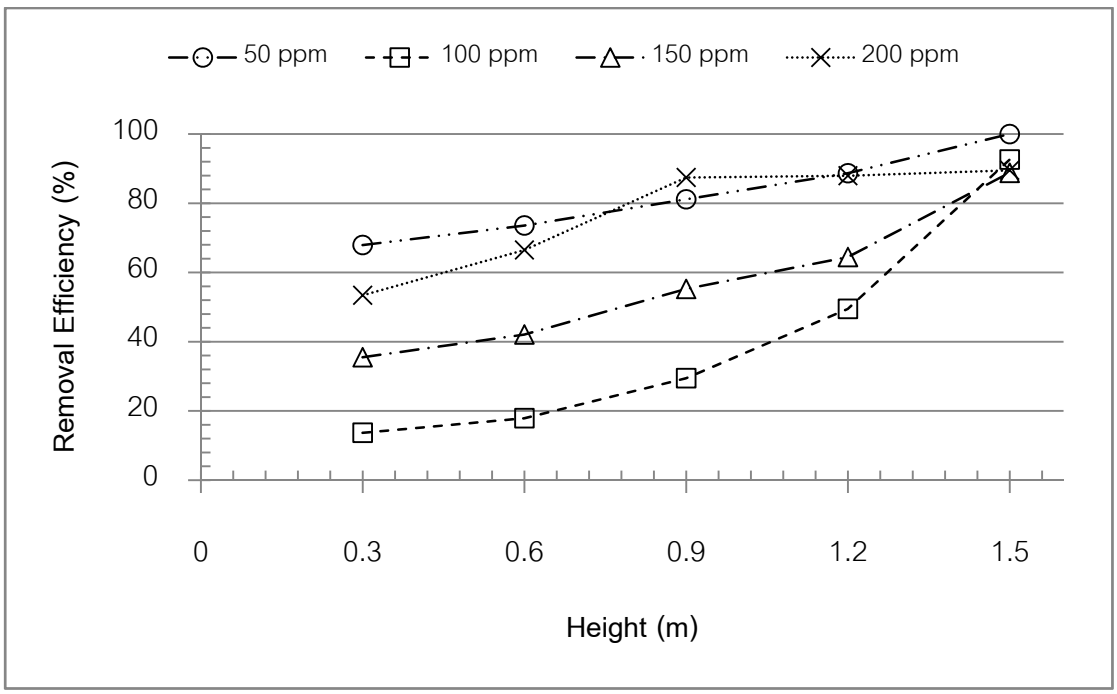
รูปที่ 4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



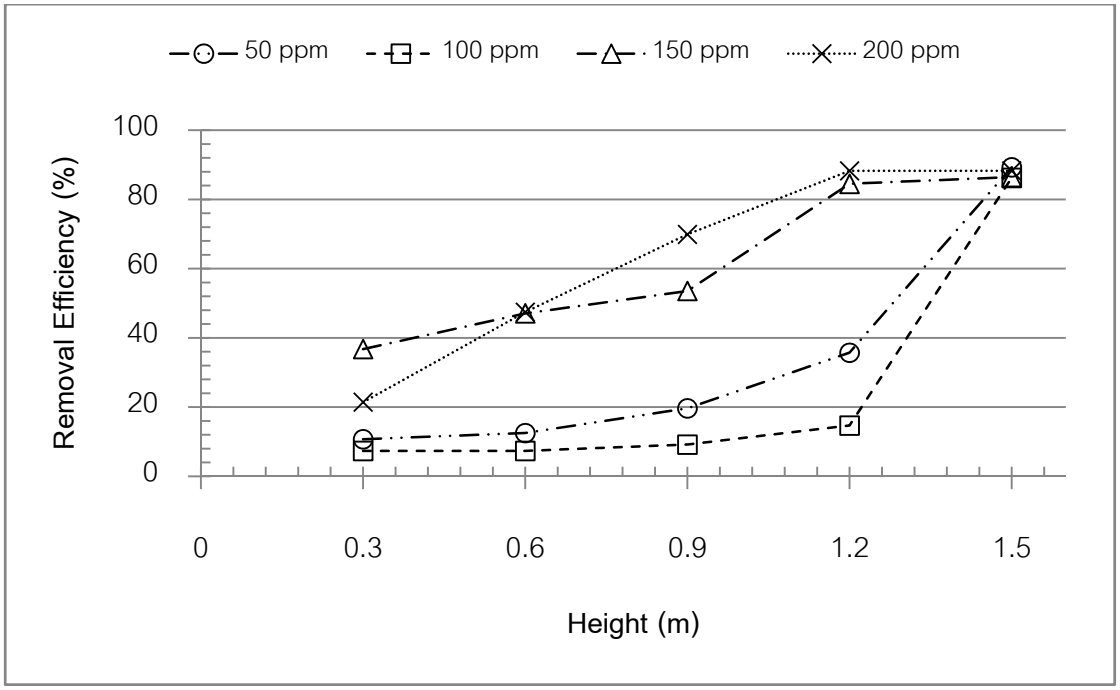
รูปที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที



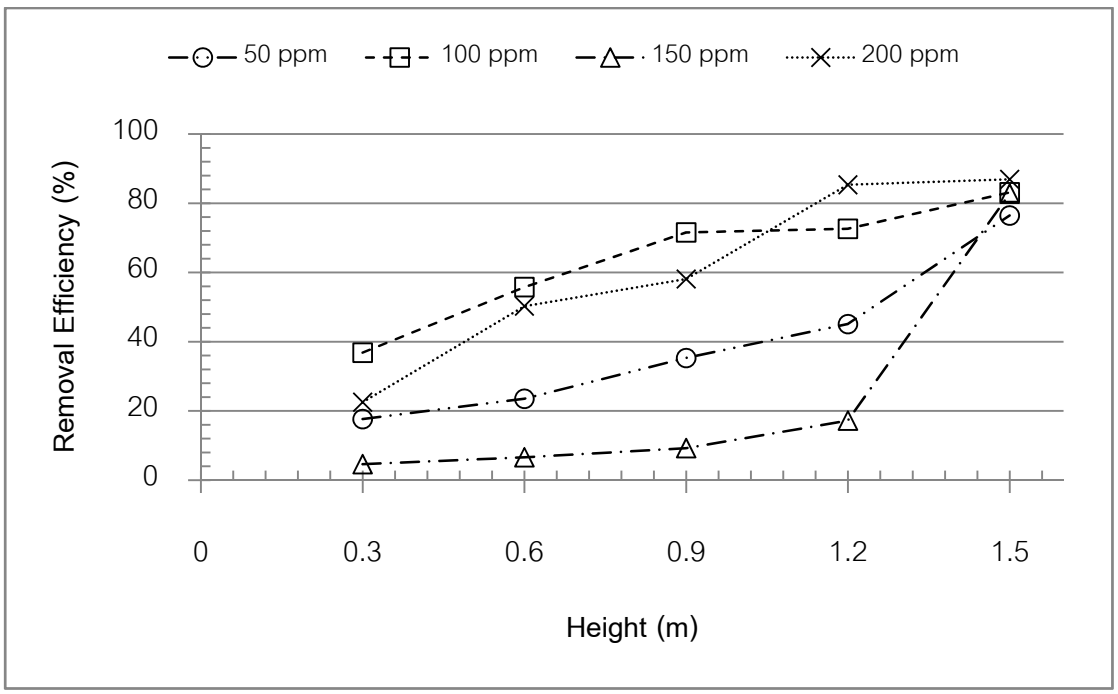
รูปที่ 4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



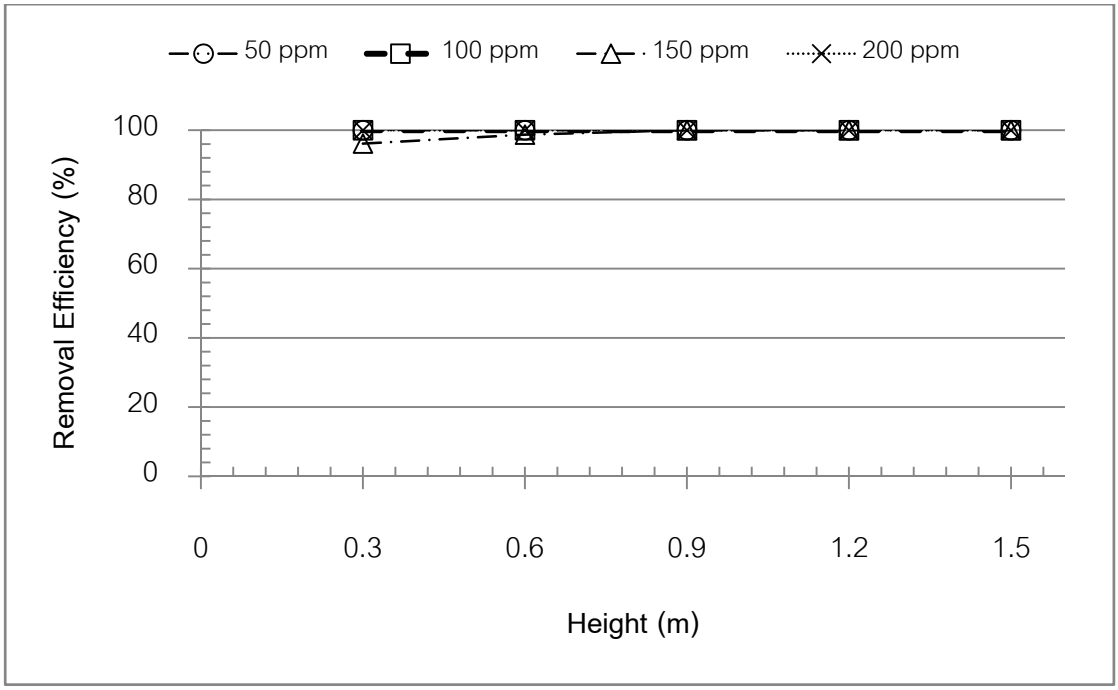
รูปที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



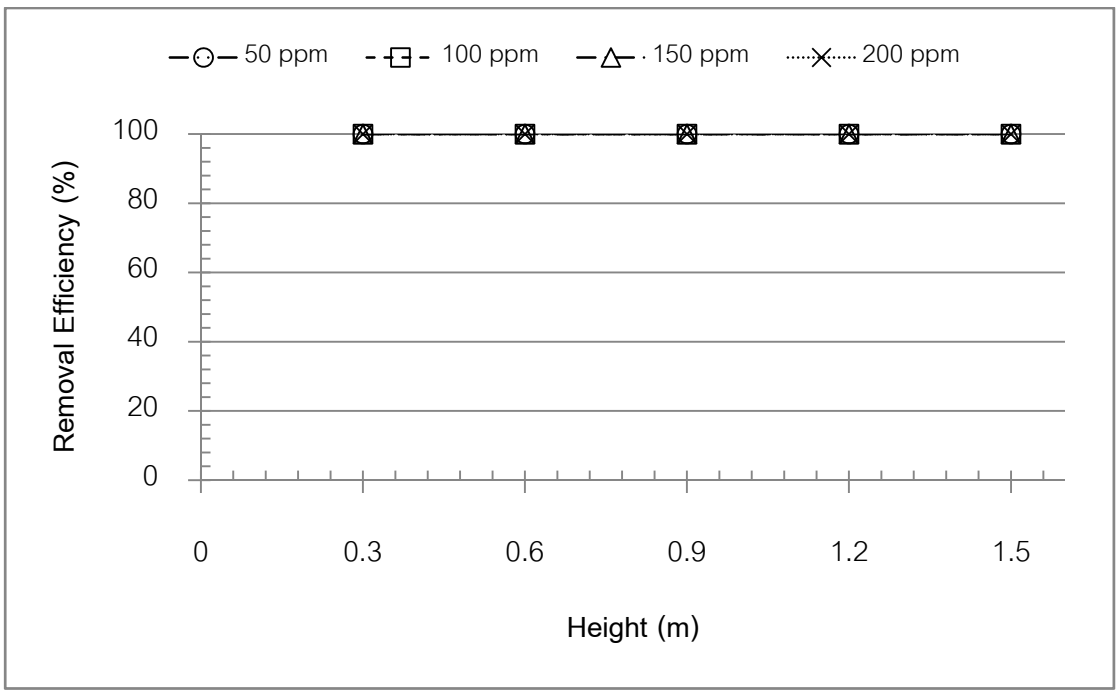
รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



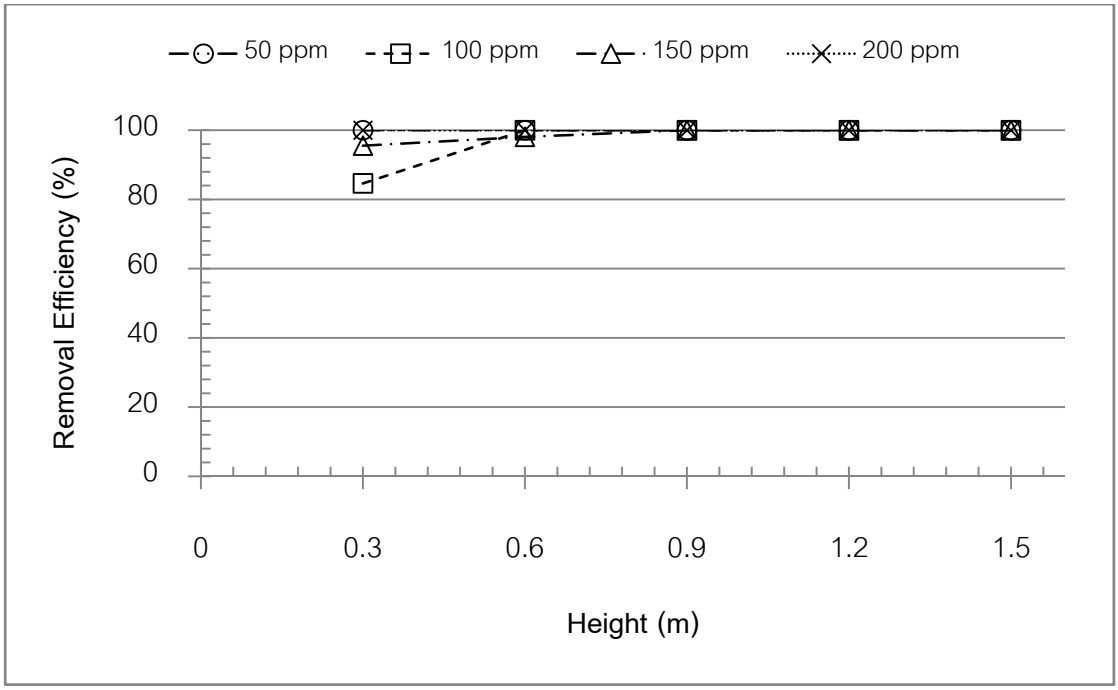
รูปที่ 4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที



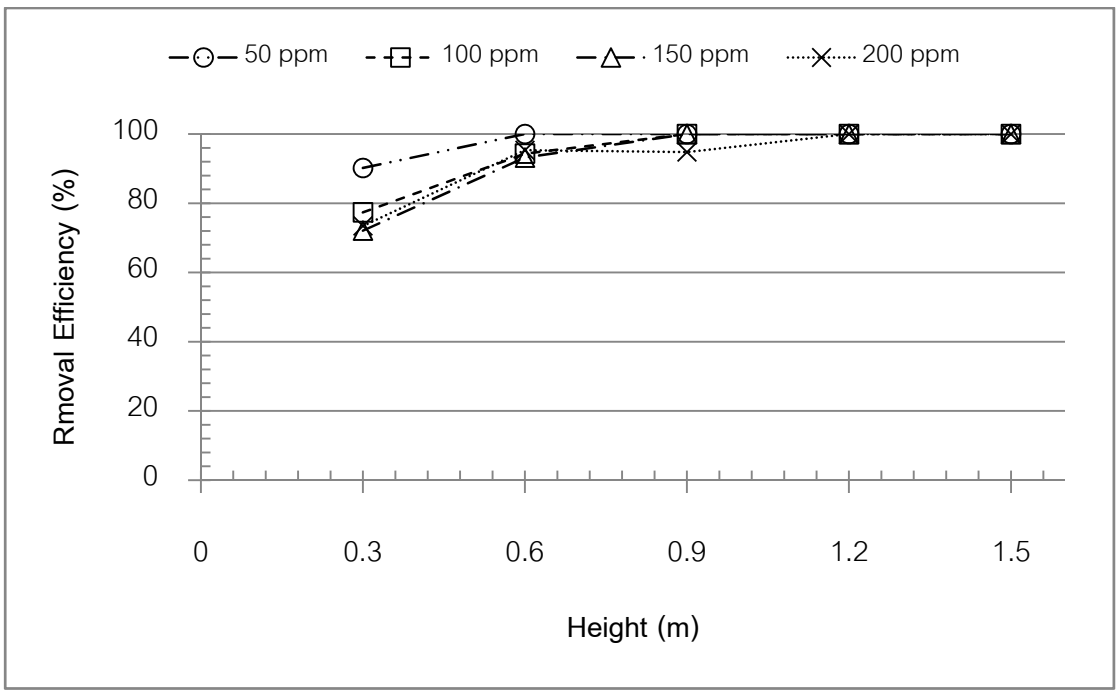
รูปที่ 4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



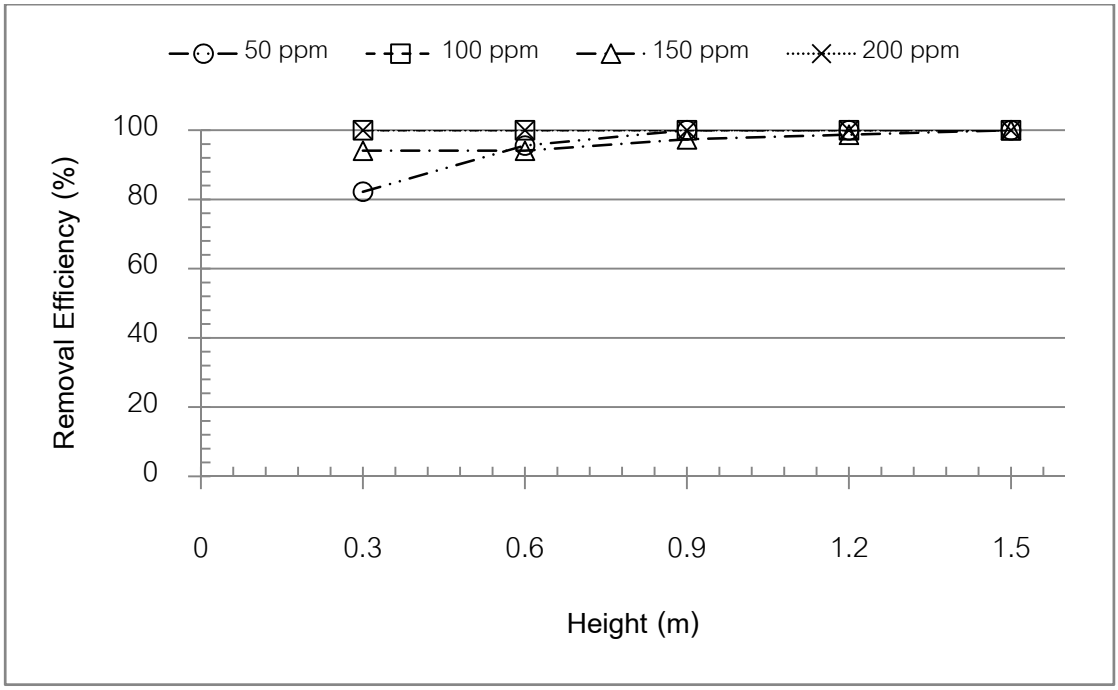
รูปที่ 4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



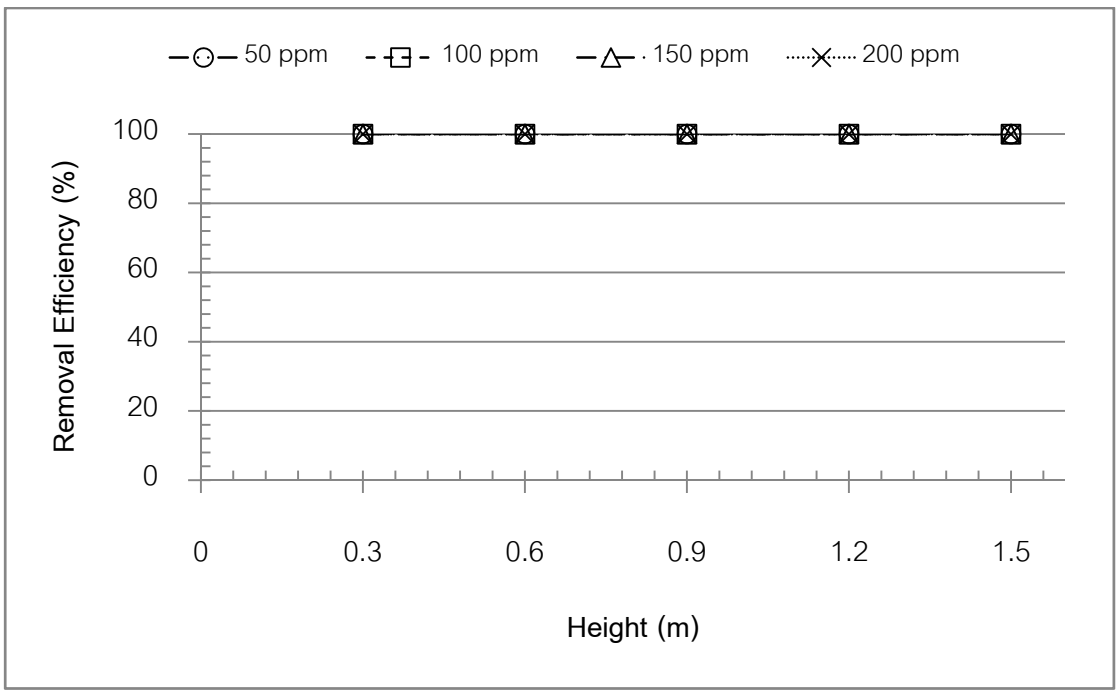
รูปที่ 4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



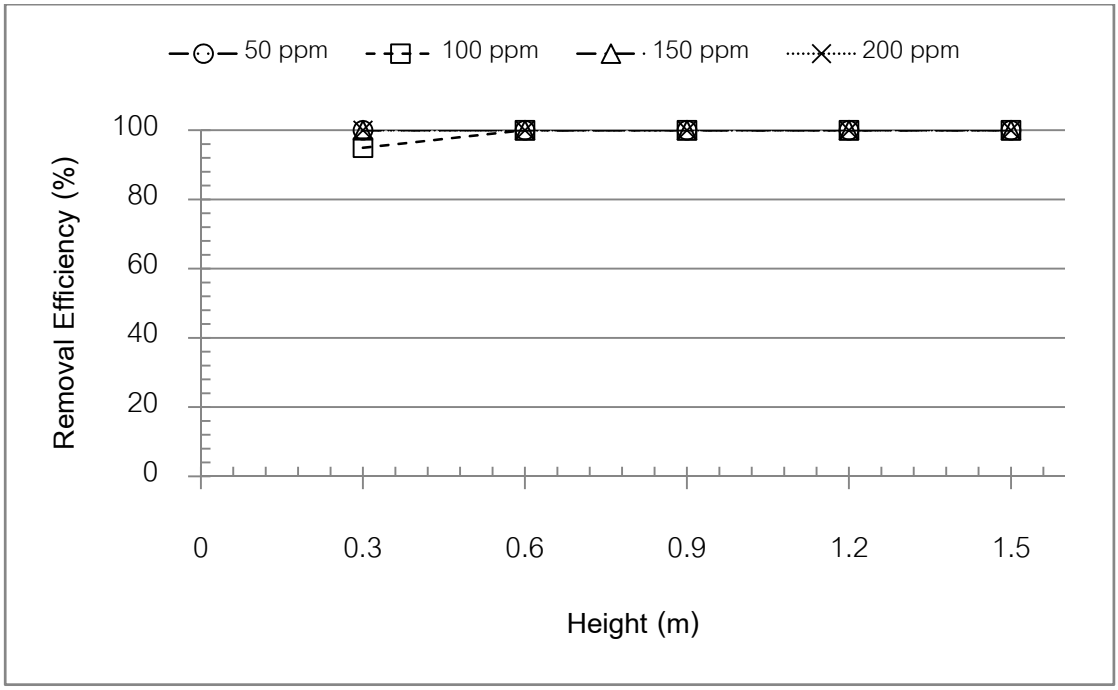
รูปที่ 4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที



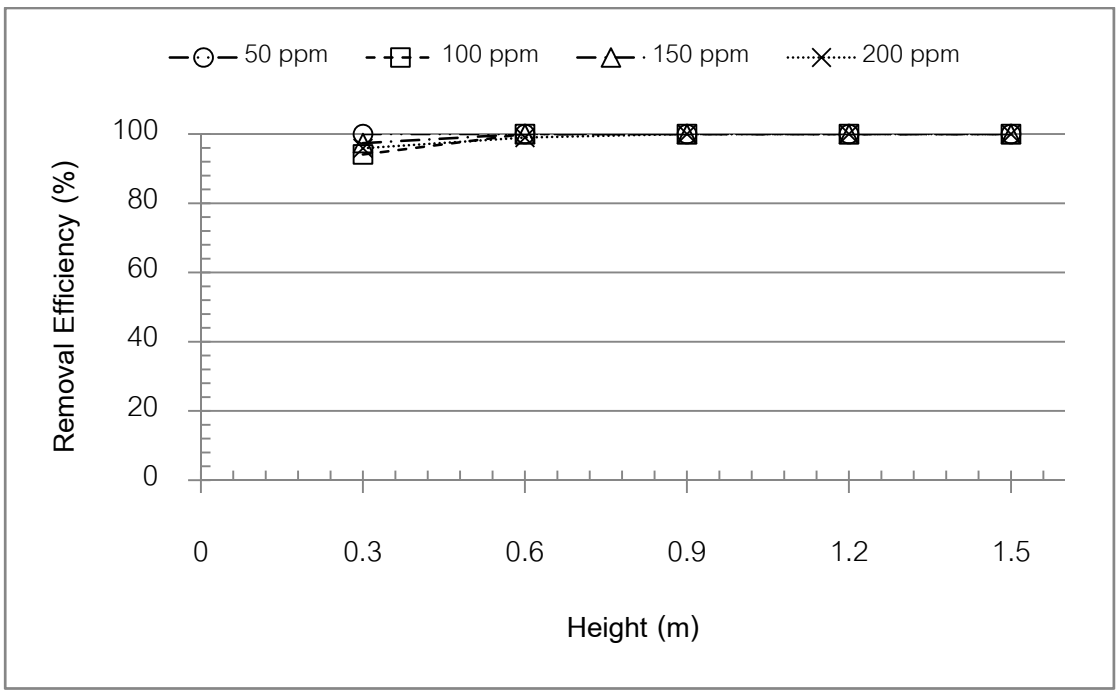
รูปที่ 4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 50 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที



รูปที่ 4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 95 ลิตรต่อนาที



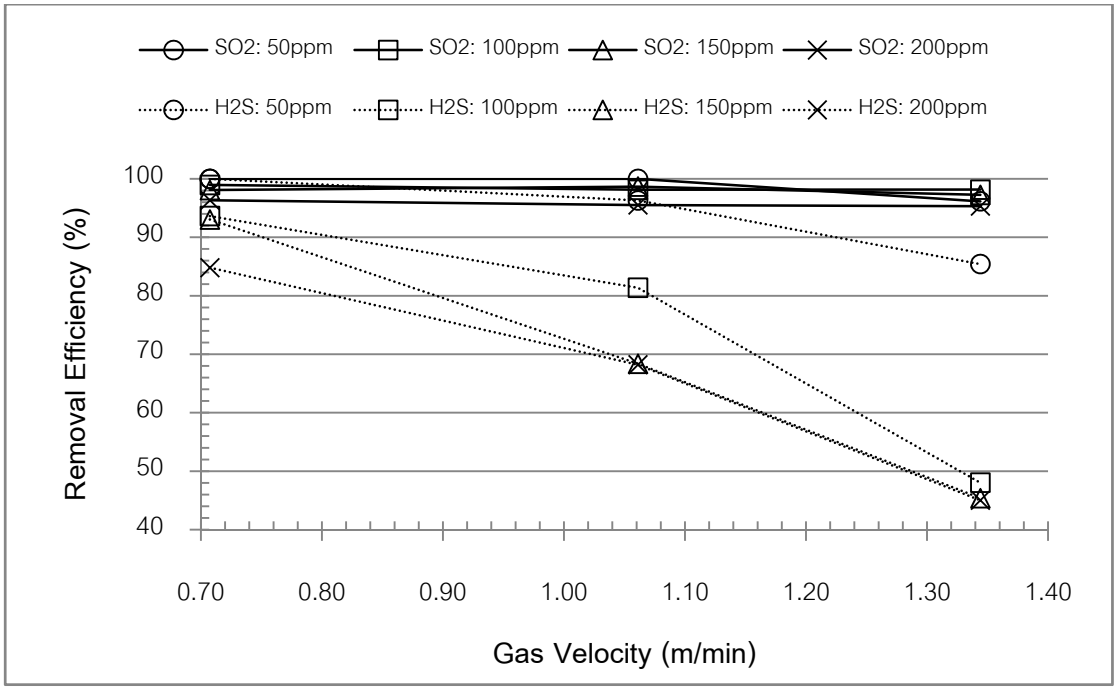
รูปที่ 4.64 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กับระดับความสูงตัวกลางโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราไหลก๊าซ 115 ลิตรต่อนาที

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการทดลองประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซทั้งสองชนิดคือ 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน และความเร็วก๊าซ 0.707, 1.061 และ 1.344 เมตรต่อนาทีโดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม พบว่าระบบบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 95 – 100 สำหรับระบบบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 45 – 100 ดังแสดงในรูปที่ 4.65 และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม

ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเร็วก๊าซ (เมตรต่อนาที)	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
	ก๊าซ	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	
50	0.707	56	0	100.00	50	0	100.00
	1.061	47	0	100.00	54	2	96.30
	1.344	52	2	96.15	48	7	85.42
100	0.707	96	1	98.96	110	7	93.64
	1.061	107	2	98.13	102	19	81.37
	1.344	108	2	98.15	102	53	48.04
150	0.707	157	3	98.09	144	10	93.06
	1.061	151	2	98.68	155	49	68.39
	1.344	146	4	97.26	152	83	45.40
200	0.707	191	7	96.34	204	31	84.80
	1.061	201	9	95.52	195	62	68.21
	1.344	214	10	95.33	191	105	45.03

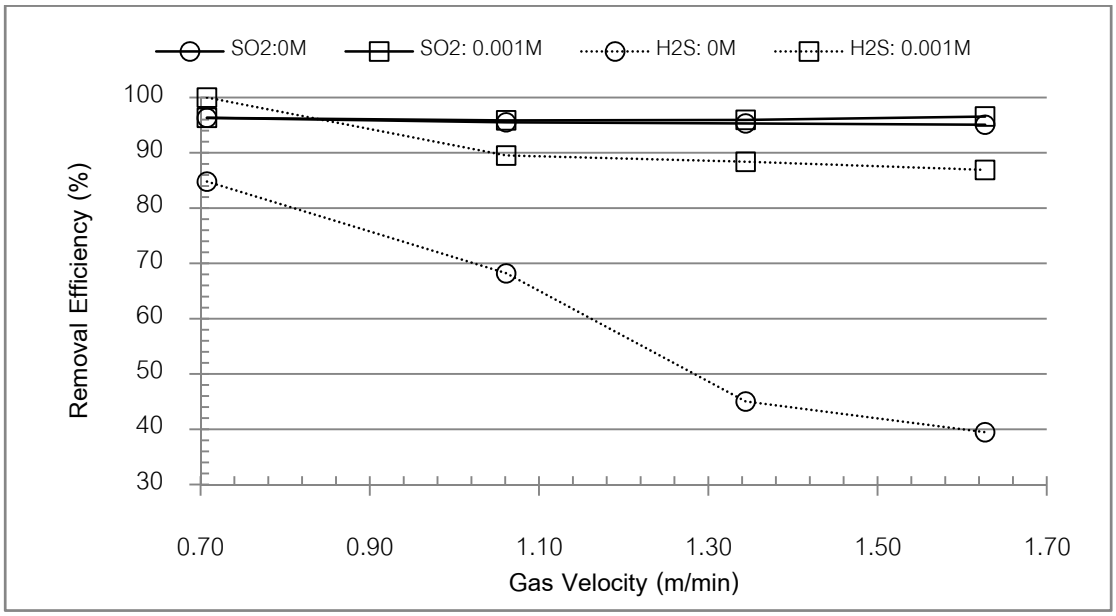


รูปที่ 4.65 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม

ตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.66 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีอยู่ในช่วงร้อยละ 96 เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มจากประสิทธิภาพเมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมเพียงร้อยละ 0.05 แต่สำหรับระบบบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วงร้อยละ 87 – 100 เพิ่มจากประสิทธิภาพเมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมได้ถึงร้อยละ 47

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม

ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้นสารละลาย (โมลาร์)	ความเร็วก๊าซ (เมตรต่อนาที)	ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)	ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)		ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)
		ก๊าซ	เริ่มต้น	สุดท้าย		เริ่มต้น	สุดท้าย	
200	0	0.707	191	7	96.34	204	31	84.80
		1.061	201	9	95.52	195	62	68.21
		1.344	214	10	95.33	191	105	45.03
		1.627	204	10	95.10	190	115	39.47
	0.001	0.707	191	7	96.34	189	0	100.00
		1.061	194	8	95.88	191	20	89.53
		1.344	198	8	95.96	198	23	88.38
		1.627	204	7	96.57	191	25	86.91



รูปที่ 4.66 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซ 200 ส่วนในล้านส่วน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ของระบบสครับเบอร์แบบแพคเบดในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ทั้งความเข้มข้นก๊าซ ความเข้มข้นสารละลาย อัตราส่วนของเหลวต่ออากาศ ความเร็วก๊าซ และความสูงของตัวกลาง ซึ่งตัวแปรต่างๆเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมด แต่ในระบบบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์นั้นพบว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้อยมาก อิทธิพลของตัวแปรต่างๆส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าแตกต่างกันไม่มาก คืออยู่ในช่วงร้อยละ 93.56 ถึง98.02 เท่านั้น แต่สำหรับระบบบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อิทธิพลของตัวแปรต่างๆมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าคือมีประสิทธิภาพการบำบัดตั้งแต่ร้อยละ 39.74 ถึง 100 โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 200, 300 และ 500 ส่วนในล้านส่วน และความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าที่ค่าความเข้มข้นก๊าซเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลง

1) เมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้น โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 95.10 - 96.33 และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วนมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำสุดที่ร้อยละ 93.56 - 94.25 สามารถอธิบายได้จากค่าความสามารถการละลายของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อก๊าซมีความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้มีปริมาณของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่ความสามารถการละลายในตัวทำละลายมีปริมาณจำกัด ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

แต่เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมแล้ว พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้นโดยที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 โมลาร์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 96.06 – 97.37 และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วนมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 97.03 - 98.02 สามารถอธิบายได้โดยหลักการถ่ายเทมวลสารคือเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้นทำให้มีความแตกต่างของแรงขับเคลื่อนสูง (High Driving Force) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

2) เมื่อใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้น คือที่อัตราไหลก๊าซ 75 ลิตรต่อนาที ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 96.30 และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 68.21 และเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึมแล้ว พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อความเข้มข้นก๊าซมากขึ้นโดยที่ความเข้มข้นสารละลาย 0.001 โมลาร์ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 100 และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ร้อยละ 89.53 สามารถอธิบายได้จากค่าความสามารถการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อก๊าซมีความเข้มข้นมากขึ้นทำให้มีปริมาณของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่ความสามารถการละลายในตัวทำละลายมีปริมาณจำกัด ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงเมื่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้น

5.1.2 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

อิทธิพลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0, 0.001, 0.01 และ 0.025 โมลาร์ และความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ดูดซึมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 0, 0.001, 0.002 และ 0.005 โมลาร์

1) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น คือเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0, 0.001, 0.01 และ 0.025 โมลาร์เป็นตัวดูดซึมประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่แต่ละความเข้มข้น

สารละลายเท่ากับร้อยละ 93.56 - 96.33, 95.88 - 97.00, 96.06 - 98.02 และ 96.50 - 97.61 ตามลำดับ

2) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายเพิ่มขึ้น คือเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0, 0.001, 0.002 และ 0.005 โมลาร์เป็นตัวดูดซึมประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แต่ละความเข้มข้นสารละลายเท่ากับร้อยละ 39.47 - 100, 76.47 - 100, 100 และ 100 ตามลำดับ

เมื่อความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้น อธิบายได้จากอัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ คือเมื่อเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเช่นกัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงมีมากขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซจึงเพิ่มขึ้นด้วย

5.1.3 การศึกษาอิทธิพลของอัตราไหลของเหลวต่อก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการศึกษาอิทธิพลของอัตราไหลของเหลวต่อก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้อัตราไหลของเหลวต่อก๊าซตั้งแต่ 6, 7, 8, 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ พบว่าอัตราไหลของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้น

1) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นคือ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 96.06 - 97.26 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 7, 8 และ 12 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ โดยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของแต่ละค่าจะเท่ากับร้อยละ 95.96 - 97.56, 95.88 - 98.02 และ 96.34 - 97.60 ตามลำดับ

2) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นคือ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวดูดซึม ที่อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ 6 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 76.47 - 100 และเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 7, 8 และ 13 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ โดยประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแต่ละค่าจะเท่ากับร้อยละ 86.18 - 100, 88.82 - 100 และ 100 ตามลำดับ

5.1.4 การศึกษาอิทธิพลของความเร็วก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ความเร็วก๊าซเท่ากับ 0.707, 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที พบว่าความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลง

1) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลงเล็กน้อยเมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้นคือ เมื่อความเร็วก๊าซเท่ากับ 0.707 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 97.60 – 96.34 และลดลงล็กน้อย เมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะเท่ากับร้อยละ 95.88 – 98.02, 95.96 – 97.56 และ 96.06 – 97.26 ตามลำดับ

2) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วก๊าซคือ เมื่อความเร็วก๊าซเท่ากับ 0.707 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับร้อยละ 100 และลดลงเรื่อยๆเมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 1.061, 1.344 และ 1.627 เมตรต่อนาที ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเท่ากับร้อยละ 88.82 - 100, 86.18 -100 และ 76.47 - 100 ตามลำดับ

ความเร็วก๊าซมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง อธิบายได้โดยพิจารณาจากเวลาสัมผัส (Contact Time) คือเมื่อความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้น ก๊าซจะขึ้นไปสู่ด้านบนของหอ และออกไปสู่ภายนอกหอได้เร็วขึ้น ทำให้มีระยะเวลาการสัมผัสกับตัวดูดซึมน้อยลง และเมื่อก๊าซสัมผัสกับตัวดูดซึมน้อยลงส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงด้วยเช่นกัน

5.1.5 การศึกษาอิทธิพลของความสูงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการศึกษาอิทธิพลของความสูงที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าที่ความสูงตัวกลางเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นด้วย

1) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ความสูงตัวกลางเท่ากับ 0.3 เมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 80.81 – 95.73 และเมื่อความสูงตัวกลางเพิ่มขึ้นเป็น 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 80.81 – 95.73, 85.66 – 96.55, 85.25 -96.95, 86.67 – 97.36 และ 95.88 – 98.02 ตามลำดับ

2) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความสูงตัวกลางเท่ากับ 0.3 เมตร มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับร้อยละ 6.49 - 100 และเมื่อความสูงตัวกลางเพิ่มขึ้นเป็น 0.6, 0.9, 1.2 และ 1.5 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 7.34 - 100, 9.17 - 100, 14.68 - 100 และ 76.47 – 100 ตามลำดับ

ความสูงของตัวกลางมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ อธิบายได้โดยพิจารณาจากพื้นที่ผิวสัมผัส คือเมื่อเพิ่มความสูงตัวกลาง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลวให้มากขึ้น และเมื่อก๊าซสัมผัสกับตัวดูดซึมมากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างทั้งความเข้มข้นก๊าซ ความเข้มข้นสารละลาย อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ ความเร็วก๊าซ และความสูงของตัวกลางซึ่งหากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เหล่านี้จะสามารถพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพที่สูงยิ่งขึ้นต่อไป

ตารางที่ 5.1 สรุปตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของสครับเบอร์แบบแพคเบดในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อเพิ่มค่าตัวแปรขึ้น

ตัวแปร	ประสิทธิภาพการบำบัด	
	SO_2	H_2S
1. ความเข้มข้นก๊าซ	+	+
2. ความเข้มข้นสารละลาย	+	++
3. อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ	+	+
4. ความเร็วก๊าซ	-	- -
5. ความสูงตัวกลาง	+	++

หมายเหตุ: (+) = เพิ่มขึ้นเล็กน้อย (< 10%) (++) = เพิ่มขึ้นมาก (> 10%)

(-) = ลดลงเล็กน้อย (< 10%) (- -) = ลดลงมาก (> 10%)

5.2 การออกแบบการใช้งาน

การทดลองประสิทธิภาพการบำบัดของสครับเบอร์แบบแพคเบดในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลตัวแปรต่างๆของความเข้มข้นก๊าซ ความเข้มข้นสารละลาย อัตราส่วนของเหลวต่ออากาศ ความเร็วก๊าซ และความสูงของ

ตัวกลางที่เหมาะสมเพื่อเป็นเกณฑ์การออกแบบของสครับเบอร์แบบแพคเบด สภาวะการทำงาน และตัวแปรต่างๆสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.2 สรุปตัวแปรที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของสครับเบอร์แบบแพคเบดในการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตัวแปร	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
1. ขอบเขตการทดลอง		
- ความเข้มข้นก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)	200 - 500	50 - 200
- ความเร็วก๊าซ(เมตรต่อนาที)	0.707 – 1.627	0.707 – 1.627
2. สภาวะที่เหมาะสม		
- ความเข้มข้นสารดูดซึม NaOH (โมลาร์)	$\geq$ 0.01	$\geq$ 0.002
- อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ (L/G) (ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรของก๊าซ)	$\geq$ 6 - 13	$\geq$ 6 - 13
- ความสูงตัวกลาง (เมตร)	$\geq$ 1.5	$\geq$ 1.5
- เวลาสัมผัส (วินาที)	$\geq$ 60	$\geq$ 120
- ประสิทธิภาพการบำบัด (ร้อยละ)		
- น้ำ	$>$ 93	$>$ 35
- NaOH	$>$ 96	100

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ร่วมกับก๊าซอื่นๆ เพื่อให้สอดคล้องกับอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งปล่อยมลพิษ

5.3.2 ศึกษาอิทธิพลของสารละลายที่ใช้เป็นสารดูดซึมอื่นๆ เพื่อให้มีตัวเลือกในการเลือกใช้สารเคมีมาบำบัดมากขึ้น

5.3.3 ศึกษาปริมาณการดูดซึมก๊าซในสารละลายที่ใช้ เพื่อให้ทราบค่าโดยมวลว่าระบบสามารถดูดซึมได้มากหรือน้อยเพียงใด เพื่อนำไปสู่การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

5.3.4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดโดยปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น แผ่นรองรับวัสดุตัวกลางที่มีระบบกระจายก๊าซและของเหลวได้สะดวก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ชัยทวี โตจิรกุล. 2531. การดูดซึมแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอธาโนลามีนในหอดูดซึมแบบแพค. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐพล รัตนมุขย์. 2549. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และ วราวุธ เสือดี. 2547. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยะสาร ประเสริฐธรรม. 2542. หลักการออกแบบเครื่องมือแยกสาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิทย์ธวัช ปราการวิวัฒน์. 2541. การดูดกลืนไนโตรเจนออกไซด์ในหอดูดกลืน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สถิตย์ จุ้ยเตย. 2541. ผลของการเติมออกซิเจนต่อการดูดกลืนแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในหอดูดกลืนแบบเบดนิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรางค์ อนุกูล. 2542. ปฏิบัติการเคมีคุณภาพวิเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Aroonwilas, A.; Tontiwachwuthikul, P.; and Chakma, A. 2001. Effects of operating and design parameters on CO_2 absorption in columns with structured packings. Separation and Purification Technology 24: 403-411.

Billet, R. Packed towers in processing and environmental technology. 1995. Germany: VCH Verlagsgesellschaft mbdH.

Chien, T.W., and Chu, H. 2000. Removal of SO_2 and NO from flue gas by wet scrubbing using an aqueous $NaClO_2$ solution. Hazardous Materials 80: 43-57.

Colle, S., Vanderschuren, J., and Thomas, D. 2004. Pilot-scale validation of kinetics of SO_2 absorption into sulphuric acid solutions containing hydrogen peroxide. Chemical Engineering and Processing 43: 1397-1402.

Godini, H.R., and Mowla, D. 2008. Selectivity study of H_2S and CO_2 absorption from gaseous mixtures by MEA in packed beds. Chemical Engineering Research and Design 86: 401-409.

Lu, J.G., Zheng, Y.F., and He, D.L. 2006. Selective absorption of H_2S from gas mixtures into aqueous solutions of blend amines of methydiethanolamine and 2-tertiarybutylamino-2-ethoxyethanol in packed column. Separation and Purification Technology 52: 209-217.

McCabe, W., and Smith, C. 1967. Unit operations of Chemical Engineering. New York: McGraw Hill.

Majeed, J.G., Korda, B., and Molnar, E.B. 1995. Comparison of the efficiencies of sulfur dioxide absorption using calcium carbonate slurry and sodium hydroxide solution in an ALT reactor. Gas Separation & Purification 9: 111-120.

Moosavi, G.R., Naddafi, K., Mesdaghinia, A., Vaezi, F., and Mahmoudi, M. 2005. H2S removal in oxidative Packed Bed Scrubber using different chemical oxidants. Journal of Applied Sciences 5: 651-654.

Perry, R.H., Green, D.W., and Maloney, J.O. 1984. Perry's chemical engineers' handbook. 6 th ed. Malaysia: McGraw-Hill.

Senol, A. 2001. Mass transfer efficiency of randomly-packed column: modeling considerations. Chemical Engineering and Processing 40: 41-48.

Strigle, R.F. 1994. Packed tower design and applications random and structured packing. 2 nd ed. The United States of America: Gulf publishing.

Sultan, G.I., Hamed, A.M., and Sultan, A.A. 2002. The effect of inlet parameters on the performance of packed tower-regenerator. Renewable Energy 26: 271-283.

Wang, H., Lana, G.D., and Chuang, K.T. 2004. Mass-transfer characteristics for gas-liquid reaction of H_2S and sulfuric acid in a packed column. Industrial & Engineering Chemistry Research 43: 5486-5853.

U.S. Environmental Protection Agency. 2004. Hydrogen sulfide [Online]. Available from: http://www.epa.gov[2005, June 21]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (Material Safety Data Sheet)

1. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.1 การชี้บ่งเคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป : Sulfur dioxide

ชื่อพ้องอื่นๆ : Sulfurous oxide; Sulfur oxide; Sulfurous anhydride; Sulfur dioxide, anhydrous, 99.9%;

สูตรโมเลกุล : SO_2

รหัส CAS NO. : 7446-09-5

1.2 การใช้ประโยชน์ (Uses)

ใช้เป็นสารทำให้สารลอยตัว, ในกระบวนการผลิตอาหาร, ใช้เป็นสารจับตะกั่ว และในการรีไซเคิล

1.3 ค่ามาตรฐานและความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

LC_{50} : 6602 / 1 ชั่วโมง mg/m^3

IDLH(ppm) : 100 ppm

PEL-TWA : 5 ppm

TLV-TWA : 2 ppm

TLV-STEL : 5 ppm

1.4 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ : เป็นก๊าซภายใต้สภาวะที่มีความดัน

สี : ไม่มีสี

กลิ่น : ฉุนเฉพาะตัว

น้ำหนักโมเลกุล : 64

จุดเดือด : -10 °C

จุดหลอมเหลว : -76 °C

ความถ่วงจำเพาะ : 1.4

ความดันไอ : 2538 mm.Hg ที่ 21 °C

ความหนาแน่นไอ : 2.3

ความสามารถในการละลายน้ำ: 23 g/ 100 ml ที่ 0 °C

แฟคเตอร์แปลงหน่วย 1 ppm = 2.62 mg/ m^3

1.5 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ	- การหายใจเข้าไป จะก่อให้เป็นพิษ เกิดอาการบวมน้ำ (Edema)ในทางเดินหายใจ ไอของสารจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการน้ำท่วมปอด ซึ่งอาการนี้สามารถเกิดได้ตั้งแต่สัมผัสกับสาร 1 – 2 ชั่วโมง และอาจทำให้ตายได้
สัมผัสทางผิวหนัง	- การสัมผัสถูกผิวหนัง การสัมผัสกับไอระเหยของสารที่มีความเข้มข้นสูง จะทำให้เกิดแผลไหม้
กินหรือกลืนเข้าไป	- การกินหรือกลืนเข้าไป จะทำให้เกิดแผลไหม้ในหลอดอาหารและกระเพาะอาหาร
สัมผัสถูกตา	- การสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง เกิดแผลไหม้และอาจทำลายดวงตาได้
การก่อมะเร็ง ความผิดปกติ,อื่น ๆ	- จะมีผลกระทบต่อระบบในร่างกาย ทำให้การหายใจถูกกด กระสับกระส่าย อึดอัด

1.6 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- สารที่เข้ากันไม่ได้

เบส แอมโมเนีย โลหะ โลหะออกไซด์ ฮาโลเจน สารประกอบ ฮาโลเจน ฮาโลเจนออกไซด์ ไฮไดรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ เอไซด์ คาร์ไบด์ อะเซติไลด์ สารออกซิไดซ์ อัลคีน เอมีน เอทิลีนออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซิงค์ไดเอทิล

- เป็นอันตรายเมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะต่าง ๆ
- สารนี้สามารถทำปฏิกิริยาได้กับ

ฮาโลเจน ลิเธียมไนเตรท โพแทสเซียมคลอเรต เมทเทิลอะเซททิไลด์ และโซเดียมไฮไดร ภายใต้สภาพที่มีความชื้นเกิดเป็นโลหะที่มีฤทธิ์กัดกร่อนและโลหะออกไซด์ได้

1.7 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

- จุดวาบไฟ : ไม่เกิดการเผาไหม้

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มี ไอระเหยหนักกว่าอากาศ จึงใช้น้ำกำจัดไอระเหย เพื่อลดอุณหภูมิของถังบรรจุด้วยน้ำและป้องกันไม่ให้น้ำที่ใช้ดับเพลิงแล้ว ไหลลงสู่แหล่งน้ำบนดินหรือใต้

ดิน ดังนั้นสารดับเพลิงควรใช้สารดับเพลิงที่เหมาะสมกับวัสดุที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง โดยให้สวมใส่อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว (SCBA) และชุดป้องกันสารเคมีให้ใช้น้ำฉีดเป็นฝอยเพื่อหล่อเย็นภาชนะบรรจุที่ถูกเพลิงไหม้

1.8 การเก็บรักษา/ สถานที่เก็บ/ เคลื่อนย้าย/ ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิดเมื่อไม่ได้ใช้งาน
- เก็บในที่ที่เย็นและอากาศถ่ายเทได้ดี
- เก็บห่างจากแสงอาทิตย์
- เก็บภายใต้ความดันและจัดให้มีวาล์วควบคุมความดัน
- เก็บห่างจากสารที่ไหม้ไฟได้และแหล่งเกิดประกายไฟ
- อย่าหายใจเอาไอระเหยของสารนี้เข้าไป
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังและตา
- เข้าได้เฉพาะบุคคลที่ได้รับอนุญาต
- ชื่อทางการขนส่ง : Sulphur Dioxide
- ประเภทอันตราย : 2.3
- รหัส UN : 1079
- ประเภทการบรรจุหีบห่อ : กลุ่ม II

1.9 การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

- วิธีการปฏิบัติเมื่อเกิดอุบัติเหตุกรณีรั่วไหล ให้เคลื่อนย้ายแหล่งของการจุดติดไฟทั้งหมดออกไป
- ให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว
- ใช้การฉีดน้ำเป็นฝอยเพื่อลดการเกิดไอระเหย
- ให้เคลื่อนย้ายภาชนะบรรจุสารออกไปอยู่ในบริเวณที่ปลอดภัย

1.10 การปฐมพยาบาล (First Aid)

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไป ให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกไปที่ที่มีอากาศบริสุทธิ์ ให้ความอบอุ่นแก่ร่างกายผู้ป่วยและจัดให้ผู้ ป่วยอยู่ในท่าที่สบาย พร้อมถอดเสื้อผ้าที่เปรอะเปื้อนสารเคมีออก ล้างทำความสะอาดเสื้อผ้าด้วยน้ำอย่างน้อย 20 นาที นำส่งไปพบแพทย์
กินหรือกลืนเข้าไป	ถ้ากลืนกินหรือเข้าไป ให้ผู้ป่วยบ้วนล้างปากด้วยน้ำ ให้ผู้ป่วยดื่มน้ำ 200 – 300 มล. นำส่งไปพบแพทย์ทันที
สัมผัสถูกผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ให้ทำการล้างหรืออาบน้ำ นำส่งไปพบแพทย์ทันที
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมาก ๆ อย่างน้อย 20 นาที โดยการถ่างเปลือกตาให้น้ำไหล ผ่าน นำส่งไปพบแพทย์ทันที

2. ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.1 การบ่งชี้เคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป : Hydrogen sulfide

ชื่อพ้องอื่นๆ :Dihydrogen monosulfide; Dihydrogen sulfide; Hydrogen sulphide; Hydrosulfuric acid; Sewer gas; Stink damp; Sulfur hydride; Sulfureted Hydrogen

สูตรโมเลกุล : H_2S

CAS No. : 7783 – 06 – 4

2.2 การใช้ประโยชน์

ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ และใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคในการเกษตร

2.3 ค่ามาตรฐาน/ความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

OSHA PEL : Ceiling 20 ppm.; Peak 50 ppm. ระยะเวลาสัมผัส 10 นาที

ACGIH TLV : TWA 10 ppm.; STEL 15 ppm.

IDLH : 300 ppm.

LC_{50} : 444 ppm.

2.4 สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ : ก๊าซ

สี : ไม่มีสี

กลิ่น : คล้ายไข่เน่า

น้ำหนักโมเลกุล : 34.08

จุดเดือด : - 60.33 °C

จุดหลอมเหลว : - 85.49 °C

ความถ่วงจำเพาะ : 0.916 ที่ - 60.33 °C

ความดันไอ : 20 mm.Hg ที่ 25.5 °C

ความหนาแน่นไอสัมพัทธ์ : 1.19

ความสามารถในการละลายน้ำ : 1 g ละลายในน้ำ 242 ml ที่ 20 °C

แฟคเตอร์แปลงหน่วย : 1.39 mg/ m^3

2.5 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ	- การหายใจเข้าไปทำให้วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ ถ้าได้รับสารปริมาณมากจะทำให้หมดสติ หรือมีอาการโคม่า อาจทำให้เสียชีวิตได้
สัมผัสทางผิวหนัง	- การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง
กินหรือกลืนเข้าไป	-
สัมผัสถูกตา	- การสัมผัสถูกตาจะก่อให้เกิดการระคายเคือง โรคเยื่อบุตาอักเสบ และเยื่อตาขาวได้รับบาดเจ็บ
การก่อมะเร็ง ความผิดปกติ,อื่น ๆ	- สารนี้ทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ การเดินอาหาร ไต ท่อไตกระเพาะปัสสาวะ - เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

2.6 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความคงตัว
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรดไนตริก หรือสารออกซิไดซ์อย่างแรง
- สารเคมีอันตรายที่เกิด : ออกไซด์ของซัลเฟอร์จากการสลาย
- อันตรายจากปฏิกิริยา : จะไม่เกิดขึ้น

2.7 การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

- จุดวาบไฟ : ไม่ปรากฏ
- จุดลุกติดไฟได้เอง : 290 °C
- ค่า LEL : 4 %
- ค่า UEL : 44 %

เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หนักกว่าอากาศ และอาจสะสมตัวในบริเวณพื้นที่ต่ำและอาจจะเคลื่อนตัวไปยังบริเวณที่มีเปลวไฟ จึงเป็นเหตุให้เกิดการลุกติดไฟขึ้นได้ ดังนั้นควรจะมีอุปกรณ์ดับเพลิงและควรมีอากาศไหลผ่านบริเวณที่ก๊าซอยู่อย่างต่อเนื่อง ทั้งยังควรมีระบบระบายอากาศด้วยเพื่อป้องกันการลุกติดไฟ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.8 การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ทำจาก Carbon steel หรือ Stainless steel
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ, เย็น และแห้ง
- เก็บห่างจากแหล่งจุดติดไฟ

- ชื่อในการขนส่ง : Hydrogen sulfide
- ชื่อฉลากในการขนส่ง : Poison gas, Flammable gas
- รหัส UN : 1053

2.9 การควบคุมการแพร่กระจาย/ การป้องกันส่วนบุคคล (Exposure control and Personal protection)

- การควบคุมด้านวิศวกรรม (Engineering control)

ใช้ระบบระบายอากาศเพื่อป้องกันการสะสมของก๊าซ ซึ่งอาจเป็นเหตุให้เกิดการลุกติดไฟและระเบิดขึ้นได้

- การป้องกันใบหน้าและดวงตา (Eye/Face protection)

ใช้แว่นตาป้องกันสารเคมีหรือหน้ากากป้องกันสารพิษแบบเต็มหน้าทุกครั้งเมื่อต้องสัมผัสกับก๊าซ

- การป้องกันผิวหนัง (Skin protection)

ใช้ถุงมือป้องกันที่ทำจาก Neoprene, Butyl rubber, PVC, Polyethylene

- การป้องกันระบบทางเดินหายใจ (Respiratory protection)

ควรจะมีระบบช่วยหายใจไว้ใช้ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน

- การป้องกันทั่วไป (Other/General protection)

รองเท้านิรภัย, ฝักบัวนิรภัย และน้ำยาล้างตา

2.10 การปฐมพยาบาล (First Aid)

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจลำบากใช้ออกซิเจนช่วยและนำส่งไปพบแพทย์
กินหรือกลืนเข้าไป	คล้ายวิธีหายใจเข้าไป
สัมผัสถูกผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนังให้ล้างออกด้วยน้ำและสบู่อย่างน้อย 15 นาที พร้อมกับถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปรอะเปื้อนสารเคมีออก นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที นำส่งไปพบแพทย์

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ข.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม

NO.	SO_2 (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	SO_2 inlet (ppm)	SO_2 outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
1	200	50	0.613	12.250	191	7	96.335
5		75	0.615	8.200	201	9	95.522
9		95	0.613	6.447	214	10	95.327
13		115	0.697	6.063	204	10	95.098
17	300	50	0.613	12.250	293	11	96.246
21		75	0.613	8.167	290	12	95.862
25		95	0.665	6.997	303	14	95.380
29		115	0.681	5.919	294	14	95.238
33	500	50	0.613	12.250	504	29	94.246
37		75	0.630	8.405	508	31	93.898
41		95	0.668	7.033	491	30	93.890
45		115	0.602	5.233	481	31	93.555

ข.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์

NO.	SO_2 (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	SO_2 inlet (ppm)	SO_2 outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
2	200	50	0.745	14.909	191	7	96.335
6		75	0.559	7.454	194	8	95.876
10		95	0.666	7.007	198	8	95.960
14		115	0.620	5.394	204	7	96.569
18	300	50	0.676	13.524	295	10	96.610
22		75	0.704	9.390	300	9	97.000
26		95	0.665	6.997	302	10	96.689
30		115	0.666	5.792	330	11	96.667
34	500	50	0.615	12.294	501	18	96.407
38		75	0.607	8.099	495	19	96.162
42		95	0.623	6.554	494	18	96.356
46		115	0.667	5.797	488	19	96.107

ข.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์

NO.	SO_2 (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	SO_2 inlet (ppm)	SO_2 outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
3	200	50	0.598	11.958	190	5	97.368
7		75	0.657	8.758	195	7	96.410
11		95	0.686	7.217	209	8	96.172
15		115	0.674	5.858	203	8	96.059
19	300	50	0.619	12.384	302	8	97.351
23		75	0.665	8.863	303	8	97.360
27		95	0.665	6.997	299	9	96.990
31		115	0.649	5.641	306	9	97.059
35	500	50	0.615	12.294	505	13	97.426
39		75	0.629	8.381	504	10	98.016
43		95	0.621	6.538	492	12	97.561
47		115	0.623	5.420	471	14	97.028

ข.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์

NO.	SO_2 (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	SO_2 inlet (ppm)	SO_2 outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
4	200	50	0.675	13.503	191	6	96.859
8		75	0.674	8.982	210	7	96.667
12		95	0.613	6.453	209	7	96.651
16		115	0.714	6.207	200	7	96.500
20	300	50	0.692	13.841	292	8	97.260
24		75	0.665	8.863	298	9	96.980
28		95	0.665	6.997	298	10	96.644
32		115	0.641	5.578	309	10	96.764
36	500	50	0.627	12.536	501	12	97.605
40		75	0.633	8.444	498	14	97.189
44		95	0.636	6.695	494	13	97.368
48		115	0.663	5.768	474	13	97.257

ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

SO_2 (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	50	0.613	Inlet	178	186	188	191	185.75	178	186	188	191	185.75
			0										
			0.3	55	45	46	38	46	69.101	75.806	75.532	80.105	75.136
			0.6	47	37	34	32	37.5	73.596	80.108	81.915	83.246	79.716
			0.9	36	27	35	27	31.25	79.775	85.484	81.383	85.864	83.127
			1.2	26	18	24	24	23	85.393	90.323	87.234	87.435	87.596
			1.5	10	11	8	7	9	94.382	94.086	95.745	96.335	95.137
			Outlet	5	6	5	5	5.25	97.191	96.774	97.340	97.382	97.172
200	75	0.615	Inlet	197	198	196	201	198	197	198	196	201	198
			0										
			0.3	27	20	19	19	21.25	86.294	89.899	90.306	90.547	89.262
			0.6	20	16	13	14	15.75	89.848	91.919	93.367	93.035	92.042
			0.9	17	14	12	11	13.5	91.371	92.929	93.878	94.527	93.176
			1.2	15	12	10	10	11.75	92.386	93.939	94.898	95.025	94.062
			1.5	12	10	9	9	10	93.909	94.949	95.408	95.522	94.947
			Outlet	11	9	8	8	9	94.416	95.455	95.918	96.020	95.452

ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2 (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	95	0.613	Inlet	210	208	212	214	211	210	208	212	214	211
			0										
			0.3	63	18	19	17	29.25	70.000	91.346	91.038	92.056	86.110
			0.6	25	15	14	15	17.25	88.095	92.788	93.396	92.991	91.818
			0.9	16	12	11	11	12.5	92.381	94.231	94.811	94.860	94.071
			1.2	14	12	11	11	12	93.333	94.231	94.811	94.860	94.309
			1.5	13	11	10	10	11	93.810	94.712	95.283	95.327	94.783
			Outlet	12	9	9	8	9.5	94.286	95.673	95.755	96.262	95.494
200	115	0.697	Inlet	209	205	207	204	206.25	209	205	207	204	206.25
			0										
			0.3	47	30	25	17	29.75	77.512	85.366	87.923	91.667	85.617
			0.6	35	28	20	20	25.75	83.254	86.341	90.338	90.196	87.532
			0.9	24	19	18	18	19.75	88.517	90.732	91.304	91.176	90.432
			1.2	23	18	17	15	18.25	88.995	91.220	91.787	92.647	91.162
			1.5	18	15	11	10	13.5	91.388	92.683	94.686	95.098	93.464
			Outlet	13	12	11	10	11.5	93.780	94.146	94.686	95.098	94.428

ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid		H_2O									
	flow	flow	Height	Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	(lpm)	(lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	50	0.613	Inlet	278	281	298	293	287.5	278	281	298	293	287.5
			0										
			0.3	40	22	18	17	24.25	85.612	92.171	93.960	94.198	91.485
			0.6	43	20	15	14	23	84.532	92.883	94.966	95.222	91.901
			0.9	34	16	12	12	18.5	87.770	94.306	95.973	95.904	93.488
			1.2	26	14	12	11	15.75	90.647	95.018	95.973	96.246	94.471
			1.5	15	11	11	11	12	94.604	96.085	96.309	96.246	95.811
			Outlet	9	8	8	7	8	96.763	97.153	97.315	97.611	97.210
300	75	0.613	Inlet	280	275	284	290	282.25	280	275	284	290	282.25
			0										
			0.3	28	28	25	25	26.5	90.000	89.818	91.197	91.379	90.599
			0.6	26	23	20	21	22.5	90.714	91.636	92.958	92.759	92.017
			0.9	17	19	20	20	19	93.929	93.091	92.958	93.103	93.270
			1.2	13	18	18	18	16.75	95.357	93.455	93.662	93.793	94.067
			1.5	16	15	13	12	14	94.286	94.545	95.423	95.862	95.029
			Outlet	7	6	7	7	6.75	97.500	97.818	97.535	97.586	97.610

ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid		H_2O									
	flow	flow	Height	Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	(lpm)	(lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	95	0.665	Inlet	310	303	305	303	305.25	310	303	305	303	305.25
			0										
			0.3	87	80	64	68	74.75	71.935	73.597	79.016	77.558	75.527
			0.6	80	57	45	43	56.25	74.194	81.188	85.246	85.809	81.609
			0.9	64	44	33	34	43.75	79.355	85.479	89.180	88.779	85.698
			1.2	37	20	19	18	23.5	88.065	93.399	93.770	94.059	92.323
			1.5	21	14	14	14	15.75	93.226	95.380	95.410	95.380	94.849
			Outlet	14	11	11	11	11.75	95.484	96.370	96.393	96.370	96.154
300	115	0.681	Inlet	290	286	294	294	291	290	286	294	294	291
			0										
			0.3	40	32	18	18	27	86.207	88.811	93.878	93.878	90.693
			0.6	27	22	17	17	20.75	90.690	92.308	94.218	94.218	92.858
			0.9	18	17	16	14	16.25	93.793	94.056	94.558	95.238	94.411
			1.2	15	14	15	15	14.75	94.828	95.105	94.898	94.898	94.932
			1.5	14	14	14	14	14	95.172	95.105	95.238	95.238	95.188
			Outlet	11	10	7	7	8.75	96.207	96.503	97.619	97.619	96.987

ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid		H_2O									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	Height (m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	50	0.613	Inlet	486	494	504	504	497	486	494	504	504	497
			0										0
			0.3	149	120	114	104	121.75	69.342	75.709	77.381	79.365	75.449
			0.6	118	83	82	76	89.75	75.720	83.198	83.730	84.921	81.892
			0.9	119	83	80	80	90.5	75.514	83.198	84.127	84.127	81.742
			1.2	99	68	65	63	73.75	79.630	86.235	87.103	87.500	85.117
			1.5	45	36	30	29	35	90.741	92.713	94.048	94.246	92.937
			Outlet	34	26	23	23	26.5	93.004	94.737	95.437	95.437	94.653
500	75	0.630	Inlet	498	507	496	508	502.25	498	507	496	508	502.25
			0										
			0.3	186	135	123	115	139.75	62.651	73.373	75.202	77.362	72.147
			0.6	157	102	88	79	106.5	68.474	79.882	82.258	84.449	78.766
			0.9	143	98	81	71	98.25	71.285	80.671	83.669	86.024	80.412
			1.2	124	78	68	59	82.25	75.100	84.615	86.290	88.386	83.598
			1.5	102	51	39	31	55.75	79.518	89.941	92.137	93.898	88.873
			Outlet	33	27	22	22	26	93.373	94.675	95.565	95.669	94.820

ข.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2 (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	95	0.668	Inlet	491	504	499	491	496.25	491	504	499	491	496.25
			0										
			0.3	165	44	47	40	74	66.395	91.270	90.581	91.853	85.025
			0.6	137	38	42	42	64.75	72.098	92.460	91.583	91.446	86.897
			0.9	102	35	39	39	53.75	79.226	93.056	92.184	92.057	89.131
			1.2	47	33	37	37	38.5	90.428	93.452	92.585	92.464	92.232
			1.5	36	39	30	30	33.75	92.668	92.262	93.988	93.890	93.202
			Outlet	26	25	24	24	24.75	94.705	95.040	95.190	95.112	95.012
500	115	0.602	Inlet	491	481	481	481	483.5	491	481	481	481	483.5
			0										
			0.3	110	64	61	63	74.5	77.597	86.694	87.318	86.902	84.628
			0.6	64	60	56	61	60.25	86.965	87.526	88.358	87.318	87.542
			0.9	57	32	30	36	38.75	88.391	93.347	93.763	92.516	92.004
			1.2	69	56	64	41	57.5	85.947	88.358	86.694	91.476	88.119
			1.5	39	33	31	31	33.5	92.057	93.139	93.555	93.555	93.077
			Outlet	28	24	23	23	24.5	94.297	95.010	95.218	95.218	94.936

ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.001 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	50	0.745	Inlet	191	192	192	191	191.5	191	192	192	191	191.5
			0										
			0.3	15	16	15	14	15	92.147	91.667	92.188	92.670	92.168
			0.6	12	13	11	10	11.5	93.717	93.229	94.271	94.764	93.995
			0.9	10	10	9	8	9.25	94.764	94.792	95.313	95.812	95.170
			1.2	9	9	8	7	8.25	95.288	95.313	95.833	96.335	95.692
			1.5	9	8	8	7	8	95.288	95.833	95.833	96.335	95.822
			Outlet	8	8	7	6	7.25	95.812	95.833	96.354	96.859	96.214
200	75	0.559	Inlet	192	190	194	194	192.5	192	190	194	194	192.5
			0										
			0.3	17	18	17	17	17.25	91.146	90.526	91.237	91.237	91.037
			0.6	11	13	13	13	12.5	94.271	93.158	93.299	93.299	93.507
			0.9	6	10	10	10	9	96.875	94.737	94.845	94.845	95.326
			1.2	6	9	8	9	8	96.875	95.263	95.876	95.361	95.844
			1.5	5	8	7	8	7	97.396	95.789	96.392	95.876	96.363
			Outlet	5	7	6	7	6.25	97.396	96.316	96.907	96.392	96.753

ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.001 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	95	0.666	Inlet	196	195	202	198	197.75	196	195	202	198	197.75
			0										
			0.3	21	18	18	17	18.5	89.286	90.769	91.089	91.414	90.640
			0.6	18	11	12	12	13.25	90.816	94.359	94.059	93.939	93.294
			0.9	16	9	10	10	11.25	91.837	95.385	95.050	94.949	94.305
			1.2	12	9	9	9	9.75	93.878	95.385	95.545	95.455	95.065
			1.5	11	8	8	8	8.75	94.388	95.897	96.040	95.960	95.571
			Outlet	9	8	8	7	8	95.408	95.897	96.040	96.465	95.952
200	115	0.62	Inlet	207	203	196	204	202.5	207	203	196	204	202.5
			0										
			0.3	20	19	19	18	19	90.338	90.640	90.306	91.176	90.615
			0.6	16	16	15	14	15.25	92.271	92.118	92.347	93.137	92.468
			0.9	11	12	10	10	10.75	94.686	94.089	94.898	95.098	94.693
			1.2	10	10	9	9	9.5	95.169	95.074	95.408	95.588	95.310
			1.5	8	9	7	7	7.75	96.135	95.567	96.429	96.569	96.175
			Outlet	7	7	6	6	6.5	96.618	96.552	96.939	97.059	96.792

ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.001 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	50	0.676	Inlet	295	290	291	295	292.75	295	290	291	295	292.75
			0										
			0.3	20	19	19	19	19.25	93.220	93.448	93.471	93.559	93.425
			0.6	15	15	14	15	14.75	94.915	94.828	95.189	94.915	94.962
			0.9	12	12	12	12	12	95.932	95.862	95.876	95.932	95.901
			1.2	10	11	11	10	10.5	96.610	96.207	96.220	96.610	96.412
			1.5	9	10	10	10	9.75	96.949	96.552	96.564	96.610	96.669
			Outlet	9	9	9	9	9	96.949	96.897	96.907	96.949	96.926
300	75	0.704	Inlet	296	294	302	300	298	296	294	302	300	298
			0										
			0.3	19	18	18	17	18	93.581	93.878	94.040	94.333	93.958
			0.6	16	15	14	14	14.75	94.595	94.898	95.364	95.333	95.048
			0.9	13	12	11	12	12	95.608	95.918	96.358	96.000	95.971
			1.2	11	11	10	11	10.75	96.284	96.259	96.689	96.333	96.391
			1.5	10	9	9	9	9.25	96.622	96.939	97.020	97.000	96.895
			Outlet	10	9	9	9	9.25	96.622	96.939	97.020	97.000	96.895

ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.001 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	95	0.665	Inlet	299	293	295	302	297.25	299	293	295	302	297.25
			0										
			0.3	19	19	18	19	18.75	93.645	93.515	93.898	93.709	93.692
			0.6	18	17	17	16	17	93.980	94.198	94.237	94.702	94.279
			0.9	13	12	12	11	12	95.652	95.904	95.932	96.358	95.962
			1.2	10	11	11	11	10.75	96.656	96.246	96.271	96.358	96.383
			1.5	9	10	10	10	9.75	96.990	96.587	96.610	96.689	96.719
			Outlet	9	9	9	8	8.75	96.990	96.928	96.949	97.351	97.055
300	115	0.666	Inlet	291	320	330	330	317.75	291	320	330	330	317.75
			0										
			0.3	20	20	20	20	20	93.127	93.750	93.939	93.939	93.689
			0.6	17	16	16	16	16.25	94.158	95.000	95.152	95.152	94.865
			0.9	14	14	14	14	14	95.189	95.625	95.758	95.758	95.582
			1.2	11	12	12	14	12.25	96.220	96.250	96.364	95.758	96.148
			1.5	10	10	12	11	10.75	96.564	96.875	96.364	96.667	96.617
			Outlet	9	9	11	10	9.75	96.907	97.188	96.667	96.970	96.933

ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.001 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	50	0.615	Inlet	506	500	501	501	502	506	500	501	501	502
			0										
			0.3	111	82	79	81	88.25	78.063	83.600	84.232	83.832	82.432
			0.6	76	54	57	54	60.25	84.980	89.200	88.623	89.222	88.006
			0.9	83	54	54	49	60	83.597	89.200	89.222	90.220	88.059
			1.2	67	44	33	29	43.25	86.759	91.200	93.413	94.212	91.396
			1.5	29	28	20	18	23.75	94.269	94.400	96.008	96.407	95.271
			Outlet	24	23	20	18	21.25	95.257	95.400	96.008	96.407	95.768
500	75	0.607	Inlet	501	494	505	495	498.75	501	494	505	495	498.75
			0										
			0.3	123	118	96	95	108	75.449	76.113	80.990	80.808	78.340
			0.6	95	89	71	71	81.5	81.038	81.984	85.941	85.657	83.655
			0.9	82	77	73	73	76.25	83.633	84.413	85.545	85.253	84.711
			1.2	75	66	66	66	68.25	85.030	86.640	86.931	86.667	86.317
			1.5	57	29	20	19	31.25	88.623	94.130	96.040	96.162	93.738
			Outlet	26	24	20	19	22.25	94.810	95.142	96.040	96.162	95.538

ข.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.001 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	95	0.623	Inlet	490	491	493	494	492	490	491	493	494	492
			0										
			0.3	130	46	37	30	60.75	73.469	90.631	92.495	93.927	87.631
			0.6	105	37	32	27	50.25	78.571	92.464	93.509	94.534	89.770
			0.9	82	30	25	25	40.5	83.265	93.890	94.929	94.939	91.756
			1.2	43	24	19	20	26.5	91.224	95.112	96.146	95.951	94.608
			1.5	40	19	16	18	23.25	91.837	96.130	96.755	96.356	95.269
			Outlet	27	18	14	14	18.25	94.490	96.334	97.160	97.166	96.288
500	115	0.667	Inlet	499	494	492	488	493.25	499	494	492	488	493.25
			0										
			0.3	145	54	41	41	70.25	70.942	89.069	91.667	91.598	85.819
			0.6	125	42	36	34	59.25	74.950	91.498	92.683	93.033	88.041
			0.9	95	36	29	28	47	80.962	92.713	94.106	94.262	90.511
			1.2	68	27	20	19	33.5	86.373	94.534	95.935	96.107	93.237
			1.5	52	21	18	19	27.5	89.579	95.749	96.341	96.107	94.444
			Outlet	31	19	17	17	21	93.788	96.154	96.545	96.516	95.751

ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

SO_2	Gas	Liquid		NaOH 0.01 M									
	flow	flow	Height	Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	(lpm)	(lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	50	0.598	Inlet	191	192	190	190	190.75	191	192	190	190	190.75
			0										
			0.3	8	10	8	9	8.75	95.812	94.792	95.789	95.263	95.414
			0.6	7	7	7	7	7	96.335	96.354	96.316	96.316	96.330
			0.9	7	7	6	6	6.5	96.335	96.354	96.842	96.842	96.593
			1.2	7	7	6	6	6.5	96.335	96.354	96.842	96.842	96.593
			1.5	6	6	5	5	5.5	96.859	96.875	97.368	97.368	97.118
			Outlet	6	6	5	5	5.5	96.859	96.875	97.368	97.368	97.118
200	75	0.657	Inlet	193	198	194	195	195	193	198	194	195	195
			0										
			0.3	17	16	16	16	16.25	91.192	91.919	91.753	91.795	91.665
			0.6	14	10	9	9	10.5	92.746	94.949	95.361	95.385	94.610
			0.9	10	8	8	8	8.5	94.819	95.960	95.876	95.897	95.638
			1.2	8	8	8	8	8	95.855	95.960	95.876	95.897	95.897
			1.5	8	7	7	7	7.25	95.855	96.465	96.392	96.410	96.280
			Outlet	7	7	7	7	7	96.373	96.465	96.392	96.410	96.410

ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.01 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	95	0.686	Inlet	198	210	209	209	206.5	198	210	209	209	206.5
			0										
			0.3	12	11	12	11	11.5	93.939	94.762	94.258	94.737	94.424
			0.6	10	9	10	10	9.75	94.949	95.714	95.215	95.215	95.274
			0.9	9	8	9	9	8.75	95.455	96.190	95.694	95.694	95.758
			1.2	8	8	8	8	8	95.960	96.190	96.172	96.172	96.124
			1.5	7	7	8	8	7.5	96.465	96.667	96.172	96.172	96.369
			Outlet	7	6	7	7	6.75	96.465	97.143	96.651	96.651	96.727
200	115	0.674	Inlet	200	195	201	203	199.75	200	195	201	203	199.75
			0										
			0.3	21	16	17	17	17.75	89.500	91.795	91.542	91.626	91.116
			0.6	15	11	10	10	11.5	92.500	94.359	95.025	95.074	94.239
			0.9	11	10	8	8	9.25	94.500	94.872	96.020	96.059	95.363
			1.2	9	8	8	8	8.25	95.500	95.897	96.020	96.059	95.869
			1.5	8	7	8	8	7.75	96.000	96.410	96.020	96.059	96.122
			Outlet	7	6	6	6	6.25	96.500	96.923	97.015	97.044	96.871

ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.01 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	50	0.619	Inlet	310	301	303	302	304	310	301	303	302	304
			0										
			0.3	16	17	17	17	16.75	94.839	94.352	94.389	94.371	94.488
			0.6	11	12	12	12	11.75	96.452	96.013	96.040	96.026	96.133
			0.9	10	10	10	10	10	96.774	96.678	96.700	96.689	96.710
			1.2	9	9	9	9	9	97.097	97.010	97.030	97.020	97.039
			1.5	7	8	8	8	7.75	97.742	97.342	97.360	97.351	97.449
			Outlet	7	8	8	8	7.75	97.742	97.342	97.360	97.351	97.449
300	75	0.665	Inlet	295	304	300	303	300.5	295	304	300	303	300.5
			0										
			0.3	19	19	18	17	18.25	93.559	93.750	94.000	94.389	93.925
			0.6	15	14	11	13	13.25	94.915	95.395	96.333	95.710	95.588
			0.9	12	12	10	12	11.5	95.932	96.053	96.667	96.040	96.173
			1.2	10	11	10	10	10.25	96.610	96.382	96.667	96.700	96.590
			1.5	9	9	8	8	8.5	96.949	97.039	97.333	97.360	97.170
			Outlet	8	9	8	8	8.25	97.288	97.039	97.333	97.360	97.255

ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.01 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	95	0.665	Inlet	295	299	300	299	298.25	295	299	300	299	298.25
			0										
			0.3	19	18	18	17	18	93.559	93.980	94.000	94.314	93.963
			0.6	15	14	11	12	13	94.915	95.318	96.333	95.987	95.638
			0.9	12	12	10	12	11.5	95.932	95.987	96.667	95.987	96.143
			1.2	10	11	10	10	10.25	96.610	96.321	96.667	96.656	96.563
			1.5	9	9	9	9	9	96.949	96.990	97.000	96.990	96.982
			Outlet	8	9	8	8	8.25	97.288	96.990	97.333	97.324	97.234
300	115	0.649	Inlet	306	304	306	306	305.5	306	304	306	306	305.5
			0										
			0.3	19	17	16	16	17	93.791	94.408	94.771	94.771	94.435
			0.6	16	11	11	11	12.25	94.771	96.382	96.405	96.405	95.991
			0.9	13	11	12	10	11.5	95.752	96.382	96.078	96.732	96.236
			1.2	11	10	10	9	10	96.405	96.711	96.732	97.059	96.727
			1.5	10	9	9	9	9.25	96.732	97.039	97.059	97.059	96.972
			Outlet	9	8	8	8	8.25	97.059	97.368	97.386	97.386	97.300

ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.01 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	50	0.615	Inlet	505	485	485	505	495	505	485	485	505	495
			0										
			0.3	93	84	77	73	81.75	81.584	82.680	84.124	85.545	83.483
			0.6	51	40	35	40	41.5	89.901	91.753	92.784	92.079	91.629
			0.9	32	27	27	33	29.75	93.663	94.433	94.433	93.465	93.999
			1.2	24	22	22	23	22.75	95.248	95.464	95.464	95.446	95.405
			1.5	22	20	14	13	17.25	95.644	95.876	97.113	97.426	96.515
			Outlet	20	18	13	13	16	96.040	96.289	97.320	97.426	96.768
500	75	0.629	Inlet	500	497	501	504	500.5	500	497	501	504	500.5
			0										
			0.3	132	58	54	47	72.75	73.600	88.330	89.222	90.675	85.457
			0.6	89	41	37	34	50.25	82.200	91.751	92.615	93.254	89.955
			0.9	76	31	32	27	41.5	84.800	93.763	93.613	94.643	91.705
			1.2	37	23	21	21	25.5	92.600	95.372	95.808	95.833	94.903
			1.5	12	12	9	10	10.75	97.600	97.586	98.204	98.016	97.851
			Outlet	7	7	6	6	6.5	98.600	98.592	98.802	98.810	98.701

ข.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.01 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	95	0.621	Inlet	489	492	494	492	491.75	489	492	494	492	491.75
			0										
			0.3	49	21	21	21	28	89.980	95.732	95.749	95.732	94.298
			0.6	41	17	18	17	23.25	91.616	96.545	96.356	96.545	95.265
			0.9	35	16	15	15	20.25	92.843	96.748	96.964	96.951	95.876
			1.2	27	14	13	13	16.75	94.479	97.154	97.368	97.358	96.590
			1.5	19	13	12	12	14	96.115	97.358	97.571	97.561	97.151
			Outlet	18	12	11	11	13	96.319	97.561	97.773	97.764	97.354
500	115	0.623	Inlet	476	474	471	471	473	476	474	471	471	473
			0										
			0.3	50	33	28	27	34.5	89.496	93.038	94.055	94.268	92.714
			0.6	41	27	24	22	28.5	91.387	94.304	94.904	95.329	93.981
			0.9	33	22	20	19	23.5	93.067	95.359	95.754	95.966	95.036
			1.2	30	18	17	17	20.5	93.697	96.203	96.391	96.391	95.670
			1.5	22	15	15	14	16.5	95.378	96.835	96.815	97.028	96.514
			Outlet	18	14	14	14	15	96.218	97.046	97.028	97.028	96.830

ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.025 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	50	0.675	Inlet	191	190	192	191	191	191	190	192	191	191
			0										
			0.3	11	14	10	10	11.25	94.241	92.632	94.792	94.764	94.107
			0.6	8	9	8	8	8.25	95.812	95.263	95.833	95.812	95.680
			0.9	7	8	7	7	7.25	96.335	95.789	96.354	96.335	96.203
			1.2	6	7	6	6	6.25	96.859	96.316	96.875	96.859	96.727
			1.5	5	6	6	6	5.75	97.382	96.842	96.875	96.859	96.989
			Outlet	5	5	5	5	5	97.382	97.368	97.396	97.382	97.382
200	75	0.674	Inlet	202	214	207	210	208.25	202	214	207	210	208.25
			0										
			0.3	19	16	16	15	16.5	90.594	92.523	92.271	92.857	92.061
			0.6	15	14	14	13	14	92.574	93.458	93.237	93.810	93.270
			0.9	11	10	9	10	10	94.554	95.327	95.652	95.238	95.193
			1.2	10	9	9	8	9	95.050	95.794	95.652	96.190	95.672
			1.5	9	8	8	7	8	95.545	96.262	96.135	96.667	96.152
			Outlet	8	8	8	7	7.75	96.040	96.262	96.135	96.667	96.276

ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.025 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
200	95	0.613	Inlet	210	210	209	209	209.5	210	210	209	209	209.5
			0										
			0.3	13	12	11	11	11.75	93.810	94.286	94.737	94.737	94.392
			0.6	10	10	9	9	9.5	95.238	95.238	95.694	95.694	95.466
			0.9	8	8	8	8	8	96.190	96.190	96.172	96.172	96.181
			1.2	7	7	7	7	7	96.667	96.667	96.651	96.651	96.659
			1.5	7	7	7	7	7	96.667	96.667	96.651	96.651	96.659
			Outlet	6	6	6	6	6	97.143	97.143	97.129	97.129	97.136
200	115	0.714	Inlet	199	196	195	200	197.5	199	196	195	200	197.5
			0										
			0.3	12	6	10	11	9.75	93.970	96.939	94.872	94.500	95.070
			0.6	9	5	8	10	8	95.477	97.449	95.897	95.000	95.956
			0.9	8	4	7	9	7	95.980	97.959	96.410	95.500	96.462
			1.2	7	3	6	8	6	96.482	98.469	96.923	96.000	96.969
			1.5	7	3	6	7	5.75	96.482	98.469	96.923	96.500	97.094
			Outlet	5	3	6	7	5.25	97.487	98.469	96.923	96.500	97.345

ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.025 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	50	0.692	Inlet	296	290	291	292	292.25	296	290	291	292	292.25
			0										
			0.3	16	18	17	17	17	94.595	93.793	94.158	94.178	94.181
			0.6	12	13	12	11	12	95.946	95.517	95.876	96.233	95.893
			0.9	11	12	10	10	10.75	96.284	95.862	96.564	96.575	96.321
			1.2	10	11	9	9	9.75	96.622	96.207	96.907	96.918	96.663
			1.5	9	10	8	8	8.75	96.959	96.552	97.251	97.260	97.006
			Outlet	9	9	7	7	8	96.959	96.897	97.595	97.603	97.263
300	75	0.665	Inlet	291	294	295	298	294.5	291	294	295	298	294.5
			0										
			0.3	18	19	18	17	18	93.814	93.537	93.898	94.295	93.886
			0.6	16	16	15	15	15.5	94.502	94.558	94.915	94.966	94.735
			0.9	13	13	12	12	12.5	95.533	95.578	95.932	95.973	95.754
			1.2	12	11	11	11	11.25	95.876	96.259	96.271	96.309	96.179
			1.5	10	10	9	9	9.5	96.564	96.599	96.949	96.980	96.773
			Outlet	9	9	8	8	8.5	96.907	96.939	97.288	97.315	97.112

ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.025 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
300	95	0.665	Inlet	295	294	299	298	296.5	295	294	299	298	296.5
			0										
			0.3	19	18	18	17	18	93.559	93.878	93.980	94.295	93.928
			0.6	15	14	11	12	13	94.915	95.238	96.321	95.973	95.612
			0.9	12	12	10	12	11.5	95.932	95.918	96.656	95.973	96.120
			1.2	10	11	10	10	10.25	96.610	96.259	96.656	96.644	96.542
			1.5	10	10	10	10	10	96.610	96.599	96.656	96.644	96.627
			Outlet	8	9	8	8	8.25	97.288	96.939	97.324	97.315	97.217
300	115	0.641	Inlet	301	316	308	309	308.5	301	316	308	309	308.5
			0										
			0.3	21	21	20	20	20.5	93.023	93.354	93.506	93.528	93.353
			0.6	19	17	16	17	17.25	93.688	94.620	94.805	94.498	94.403
			0.9	16	14	13	14	14.25	94.684	95.570	95.779	95.469	95.376
			1.2	15	12	12	12	12.75	95.017	96.203	96.104	96.117	95.860
			1.5	13	11	10	10	11	95.681	96.519	96.753	96.764	96.429
			Outlet	11	10	9	9	9.75	96.346	96.835	97.078	97.087	96.837

ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.025 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	50	0.627	Inlet	500	495	501	501	499.25	500	495	501	501	499.25
			0										
			0.3	106	72	66	66	77.5	78.800	85.455	86.826	86.826	84.477
			0.6	106	54	48	44	63	78.800	89.091	90.419	91.218	87.382
			0.9	86	45	38	38	51.75	82.800	90.909	92.415	92.415	89.635
			1.2	76	39	29	29	43.25	84.800	92.121	94.212	94.212	91.336
			1.5	24	15	13	12	16	95.200	96.970	97.405	97.605	96.795
			Outlet	19	14	13	12	14.5	96.200	97.172	97.405	97.605	97.095
500	75	0.633	Inlet	503	510	507	498	504.5	503	510	507	498	504.5
			0										123
			0.3	67	57	41	34	49.75	86.680	88.824	91.913	93.173	90.147
			0.6	57	39	27	25	37	88.668	92.353	94.675	94.980	92.669
			0.9	50	34	24	21	32.25	90.060	93.333	95.266	95.783	93.611
			1.2	43	29	21	18	27.75	91.451	94.314	95.858	96.386	94.502
			1.5	23	20	18	14	18.75	95.427	96.078	96.450	97.189	96.286
			Outlet	16	13	12	11	13	96.819	97.451	97.633	97.791	97.424

ข.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

SO_2	Gas	Liquid	Height	NaOH 0.025 M									
				Concentration of SO_2 (ppm)					Removal Efficiency (%)				
(ppm)	flow (lpm)	flow (lpm)	(m)	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg	5 MIN	10 MIN	20 MIN	30 MIN	avg
500	95	0.636	Inlet	492	490	492	494	492	492	490	492	494	492
			0										
			0.3	44	28	27	26	31.25	91.057	94.286	94.512	94.737	93.648
			0.6	39	22	20	20	25.25	92.073	95.510	95.935	95.951	94.867
			0.9	34	19	17	16	21.5	93.089	96.122	96.545	96.761	95.629
			1.2	28	17	16	15	19	94.309	96.531	96.748	96.964	96.138
			1.5	18	16	13	13	15	96.341	96.735	97.358	97.368	96.951
			Outlet	16	14	12	12	13.5	96.748	97.143	97.561	97.571	97.256
500	115	0.663	Inlet	476	474	476	474	475	476	474	476	474	475
			0										
			0.3	39	30	28	29	31.5	91.807	93.671	94.118	93.882	93.369
			0.6	39	24	18	19	25	91.807	94.937	96.218	95.992	94.738
			0.9	34	19	17	17	21.75	92.857	95.992	96.429	96.414	95.423
			1.2	27	17	14	14	18	94.328	96.414	97.059	97.046	96.212
			1.5	22	15	13	13	15.75	95.378	96.835	97.269	97.257	96.685
			Outlet	17	14	11	11	13.25	96.429	97.046	97.689	97.679	97.211

ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ค.1 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึม

NO.	H_2S (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	H_2S inlet (ppm)	H_2S outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
1	50	50	0.661	13.210	50	0	100.000
5		75	0.689	9.183	54	2	96.296
9		95	0.674	7.091	48	7	85.417
13		115	0.657	5.711	52	14	73.077
17	100	50	0.667	13.343	110	7	93.636
21		75	0.655	8.738	102	19	81.373
25		95	0.668	7.033	102	53	48.039
29		115	0.671	5.832	92	54	41.304
33	150	50	0.682	13.636	144	10	93.056
37		75	0.643	8.569	155	49	68.387
41		95	0.668	7.030	152	83	45.395
45		115	0.638	5.547	151	89	41.060
49	200	50	0.654	13.089	204	31	84.804
53		75	0.637	8.499	195	62	68.205
57		95	0.639	6.728	191	105	45.026
61		115	0.665	5.780	190	115	39.474

ค.2 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์

NO.	H_2S (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	H_2S inlet (ppm)	H_2S outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
2	50	50	0.686	13.712	58	0	100.000
6		75	0.672	8.966	53	0	100.000
10		95	0.620	6.522	56	6	89.286
14		115	0.641	5.574	51	12	76.471
18	100	50	0.639	12.784	95	0	100.000
22		75	0.653	8.707	95	7	92.632
26		95	0.648	6.824	109	15	86.239
30		115	0.641	5.574	95	16	83.158
34	150	50	0.638	12.766	157	0	100.000
38		75	0.623	8.311	152	17	88.816
42		95	0.618	6.508	152	21	86.184
46		115	0.633	5.506	151	26	82.781
50	200	50	0.677	13.534	189	0	100.000
54		75	0.676	9.009	191	20	89.529
58		95	0.688	7.245	198	23	88.384
62		115	0.628	5.458	191	25	86.911

ค.3 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์

NO.	H_2S (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	H_2S inlet (ppm)	H_2S outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
3	50	50	0.660	13.201	57	0	100.000
7		75	0.639	8.520	57	0	100.000
11		95	0.664	6.994	52	0	100.000
15		115	0.633	5.504	51	0	100.000
19	100	50	0.679	13.572	91	0	100.000
23		75	0.651	8.677	106	0	100.000
27		95	0.680	7.154	104	0	100.000
31		115	0.662	5.759	106	0	100.000
35	150	50	0.602	12.040	155	0	100.000
39		75	0.606	8.075	148	0	100.000
43		95	0.704	7.413	157	0	100.000
47		115	0.670	5.827	147	0	100.000
51	200	50	0.641	12.828	196	0	100.000
55		75	0.640	8.533	193	0	100.000
59		95	0.710	7.472	193	0	100.000
63		115	0.663	5.763	192	0	100.000

ค.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์

NO.	H_2S (ppm)	Air Flow (LPM)	Liquid Flow (LPM)	L/G (L/M^3)	H_2S inlet (ppm)	H_2S outlet (ppm)	Removal Efficiency (%)
4	50	50	0.646	12.910	45	0	100.000
8		75	0.686	9.150	56	0	100.000
12		95	0.643	6.771	54	0	100.000
16		115	0.654	5.683	54	0	100.000
20	100	50	0.692	13.831	93	0	100.000
24		75	0.674	8.989	93	0	100.000
28		95	0.693	7.291	95	0	100.000
32		115	0.657	5.711	99	0	100.000
36	150	50	0.613	12.270	152	0	100.000
40		75	0.583	7.771	145	0	100.000
44		95	0.643	6.764	144	0	100.000
48		115	0.629	5.466	154	0	100.000
52	200	50	0.694	13.877	184	0	100.000
56		75	0.658	8.772	192	0	100.000
60		95	0.692	7.281	183	0	100.000
64		115	0.728	6.330	195	0	100.000

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	50	0.661	Inlet	56	52	50	50	52	56	52	50	50	52
			0										
			0.3	52	42	38	35	41.75	7.143	19.231	24.000	30.000	20.093
			0.6	51	38	32	28	37.25	8.929	26.923	36.000	44.000	28.963
			0.9	45	33	27	22	31.75	19.643	36.538	46.000	56.000	39.545
			1.2	41	28	20	15	26	26.786	46.154	60.000	70.000	50.735
			1.5	15	4	2	0	5.25	73.214	92.308	96.000	100.000	90.380
			Outlet	10	4	0	0	3.5	82.143	92.308	100.000	100.000	93.613
50	75	0.689	Inlet	53	50	51	54	52	53	50	51	54	52
			0										
			0.3	36	24	22	23	26.25	32.075	52.000	56.863	57.407	49.586
			0.6	31	21	19	20	22.75	41.509	58.000	62.745	62.963	56.304
			0.9	27	19	15	14	18.75	49.057	62.000	70.588	74.074	63.930
			1.2	18	11	4	3	9	66.038	78.000	92.157	94.444	82.660
			1.5	12	5	2	2	5.25	77.358	90.000	96.078	96.296	89.933
			Outlet	12	5	2	0	4.75	77.358	90.000	96.078	100.000	90.859

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	95	0.674	Inlet	49	49	48	48	48.5	49	49	48	48	48.5
			0										
			0.3	45	41	40	40	41.5	8.163	16.327	16.667	16.667	14.456
			0.6	43	38	37	38	39	12.245	22.449	22.917	20.833	19.611
			0.9	40	38	36	32	36.5	18.367	22.449	25.000	33.333	24.787
			1.2	39	35	32	31	34.25	20.408	28.571	33.333	35.417	29.432
			1.5	14	8	6	7	8.75	71.429	83.673	87.500	85.417	82.005
			Outlet	14	8	5	4	7.75	71.429	83.673	89.583	91.667	84.088
50	115	0.657	Inlet	54	52	51	52	52.25	54	52	51	52	52.25
			0										
			0.3	49	50	46	47	48	9.259	3.846	9.804	9.615	8.131
			0.6	47	46	43	44	45	12.963	11.538	15.686	15.385	13.893
			0.9	45	43	41	40	42.25	16.667	17.308	19.608	23.077	19.165
			1.2	41	37	30	31	34.75	24.074	28.846	41.176	40.385	33.620
			1.5	16	16	14	14	15	70.370	69.231	72.549	73.077	71.307
			Outlet	16	17	14	14	15.25	70.370	67.308	72.549	73.077	70.826

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	50	0.667	Inlet	98	97	105	110	102.5	98	97	105	110	102.5
			0										
			0.3	95	86	85	84	87.5	3.061	11.340	19.048	23.636	14.271
			0.6	89	81	79	64	78.25	9.184	16.495	24.762	41.818	23.065
			0.9	78	73	71	61	70.75	20.408	24.742	32.381	44.545	30.519
			1.2	65	49	36	32	45.5	33.673	49.485	65.714	70.909	54.945
			1.5	33	17	9	7	16.5	66.327	82.474	91.429	93.636	83.466
			Outlet	33	17	9	7	16.5	66.327	82.474	91.429	93.636	83.466
100	75	0.655	Inlet	103	103	102	102	102.5	103	103	102	102	102.5
			0										
			0.3	97	83	83	81	86	5.825	19.417	18.627	20.588	16.115
			0.6	86	59	72	71	72	16.505	42.718	29.412	30.392	29.757
			0.9	54	52	58	51	53.75	47.573	49.515	43.137	50.000	47.556
			1.2	32	28	29	24	28.25	68.932	72.816	71.569	76.471	72.447
			1.5	24	21	20	19	21	76.699	79.612	80.392	81.373	79.519
			Outlet	24	21	20	19	21	76.699	79.612	80.392	81.373	79.519

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	95	0.668	Inlet	106	105	108	102	105.25	106	105	108	102	105.25
			0										
			0.3	104	104	102	99	102.25	1.887	0.952	5.556	2.941	2.834
			0.6	99	80	99	80	89.5	6.604	23.810	8.333	21.569	15.079
			0.9	85	74	78	71	77	19.811	29.524	27.778	30.392	26.876
			1.2	61	61	62	61	61.25	42.453	41.905	42.593	40.196	41.787
			1.5	55	54	56	53	54.5	48.113	48.571	48.148	48.039	48.218
			Outlet	55	54	56	53	54.5	48.113	48.571	48.148	48.039	48.218
100	115	0.671	Inlet	94	94	92	92	93	94	94	92	92	93
			0										
			0.3	93	90	90	89	90.5	1.064	4.255	2.174	3.261	2.688
			0.6	88	87	86	84	86.25	6.383	7.447	6.522	8.696	7.262
			0.9	81	81	80	79	80.25	13.830	13.830	13.043	14.130	13.708
			1.2	64	65	64	58	62.75	31.915	30.851	30.435	36.957	32.539
			1.5	59	59	55	54	56.75	37.234	37.234	40.217	41.304	38.997
			Outlet	59	59	55	54	56.75	37.234	37.234	40.217	41.304	38.997

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	50	0.682	Inlet	146	145	145	144	145	146	145	145	144	145
			0										
			0.3	118	78	76	79	87.75	19.178	46.207	47.586	45.139	39.528
			0.6	93	51	44	41	57.25	36.301	64.828	69.655	71.528	60.578
			0.9	58	27	21	17	30.75	60.274	81.379	85.517	88.194	78.841
			1.2	44	16	11	11	20.5	69.863	88.966	92.414	92.361	85.901
			1.5	42	16	11	10	19.75	71.233	88.966	92.414	93.056	86.417
			Outlet	42	16	11	10	19.75	71.233	88.966	92.414	93.056	86.417
150	75	0.643	Inlet	153	153	156	155	154.25	153	153	156	155	154.25
			0										
			0.3	144	135	134	136	137.25	5.882	11.765	14.103	12.258	11.002
			0.6	120	103	99	101	105.75	21.569	32.680	36.538	34.839	31.406
			0.9	95	83	78	81	84.25	37.908	45.752	50.000	47.742	45.351
			1.2	61	56	48	49	53.5	60.131	63.399	69.231	68.387	65.287
			1.5	61	50	48	49	52	60.131	67.320	69.231	68.387	66.267
			Outlet	61	50	48	49	52	60.131	67.320	69.231	68.387	66.267

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	95	0.668	Inlet	144	155	149	152	150	144	155	149	152	150
			0										
			0.3	143	149	147	148	146.75	0.694	3.871	1.342	2.632	2.135
			0.6	139	138	135	134	136.5	3.472	10.968	9.396	11.842	8.920
			0.9	135	132	134	131	133	6.250	14.839	10.067	13.816	11.243
			1.2	101	92	90	94	94.25	29.861	40.645	39.597	38.158	37.065
			1.5	98	88	84	83	88.25	31.944	43.226	43.624	45.395	41.047
			Outlet	98	88	84	83	88.25	31.944	43.226	43.624	45.395	41.047
150	115	0.38	Inlet	156	150	151	151	152	156	150	151	151	152
			0										
			0.3	154	146	145	144	147.25	1.282	2.667	3.974	4.636	3.139
			0.6	147	137	134	135	138.25	5.769	8.667	11.258	10.596	9.073
			0.9	134	131	134	132	132.75	14.103	12.667	11.258	12.583	12.653
			1.2	91	91	90	89	90.25	41.667	39.333	40.397	41.060	40.614
			1.5	91	90	89	89	89.75	41.667	40.000	41.060	41.060	40.946
			Outlet	91	90	89	88	89.5	41.667	40.000	41.060	41.722	41.112

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	50	0.654	Inlet	197	201	208	204	202.5	197	201	208	204	202.5
			0										
			0.3	195	118	122	122	139.25	1.015	41.294	41.346	40.196	30.963
			0.6	165	82	84	83	103.5	16.244	59.204	59.615	59.314	48.594
			0.9	103	58	44	38	60.75	47.716	71.144	78.846	81.373	69.770
			1.2	78	36	35	32	45.25	60.406	82.090	83.173	84.314	77.496
			1.5	73	35	34	31	43.25	62.944	82.587	83.654	84.804	78.497
			Outlet	73	35	34	31	43.25	62.944	82.587	83.654	84.804	78.497
200	75	0.637	Inlet	196	195	195	195	195.25	196	195	195	195	195.25
			0										
			0.3	195	194	177	151	179.25	0.510	0.513	9.231	22.564	8.204
			0.6	195	191	155	110	162.75	0.510	2.051	20.513	43.590	16.666
			0.9	188	186	91	76	135.25	4.082	4.615	53.333	61.026	30.764
			1.2	172	162	67	64	116.25	12.245	16.923	65.641	67.179	40.497
			1.5	155	145	64	62	106.5	20.918	25.641	67.179	68.205	45.486
			Outlet	155	145	64	62	106.5	20.918	25.641	67.179	68.205	45.486

ค.5 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	H_2O									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	95	0.639	Inlet	191	195	194	191	192.75	191	195	194	191	192.75
			0										
			0.3	190	184	188	180	185.5	0.524	5.641	3.093	5.759	3.754
			0.6	172	170	172	168	170.5	9.948	12.821	11.340	12.042	11.538
			0.9	165	162	165	160	163	13.613	16.923	14.948	16.230	15.429
			1.2	145	134	136	108	130.75	24.084	31.282	29.897	43.455	32.180
			1.5	121	112	113	105	112.75	36.649	42.564	41.753	45.026	41.498
			Outlet	121	112	113	105	112.75	36.649	42.564	41.753	45.026	41.498
200	115	0.665	Inlet	191	193	195	190	192.25	191	193	195	190	192.25
			0										
			0.3	174	175	173	174	174	8.901	9.326	11.282	8.421	9.483
			0.6	169	164	154	155	160.5	11.518	15.026	21.026	18.421	16.498
			0.9	162	159	131	131	145.75	15.183	17.617	32.821	31.053	24.168
			1.2	119	119	116	117	117.75	37.696	38.342	40.513	38.421	38.743
			1.5	118	118	114	115	116.25	38.220	38.860	41.538	39.474	39.523
			Outlet	118	118	114	115	116.25	38.220	38.860	41.538	39.474	39.523

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	50	0.686	Inlet	57	57	57	58	57.25	57	57	57	58	57.25
			0										
			0.3	32	24	14	14	21	43.860	57.895	75.439	75.862	63.264
			0.6	20	16	8	8	13	64.912	71.930	85.965	86.207	77.253
			0.9	11	11	5	5	8	80.702	80.702	91.228	91.379	86.003
			1.2	3	3	2	2	2.5	94.737	94.737	96.491	96.552	95.629
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
50	75	0.672	Inlet	56	58	54	53	55.25	56	58	54	53	55.25
			0										
			0.3	38	24	20	17	24.75	32.143	58.621	62.963	67.925	55.413
			0.6	34	17	15	14	20	39.286	70.690	72.222	73.585	63.946
			0.9	23	12	11	10	14	58.929	79.310	79.630	81.132	74.750
			1.2	8	6	6	6	6.5	85.714	89.655	88.889	88.679	88.234
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	95	0.620	Inlet	56	57	56	56	56.25	56	57	56	56	56.25
			0										
			0.3	56	52	50	50	52	0.000	8.772	10.714	10.714	7.550
			0.6	55	50	49	49	50.75	1.786	12.281	12.500	12.500	9.767
			0.9	54	45	45	45	47.25	3.571	21.053	19.643	19.643	15.977
			1.2	45	36	36	36	38.25	19.643	36.842	35.714	35.714	31.978
			1.5	12	8	6	6	8	78.571	85.965	89.286	89.286	85.777
			Outlet	6	3	2	2	3.25	89.286	94.737	96.429	96.429	94.220
50	115	0.641	Inlet	48	53	54	51	51.5	48	53	54	51	51.5
			0										
			0.3	42	42	43	42	42.25	12.500	20.755	20.370	17.647	17.818
			0.6	40	39	40	39	39.5	16.667	26.415	25.926	23.529	23.134
			0.9	33	33	34	33	33.25	31.250	37.736	37.037	35.294	35.329
			1.2	26	27	28	28	27.25	45.833	49.057	48.148	45.098	47.034
			1.5	12	12	13	12	12.25	75.000	77.358	75.926	76.471	76.189
			Outlet	3	3	3	3	3	93.750	94.340	94.444	94.118	94.163

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	50	0.639	Inlet	94	96	95	95	95	94	96	95	95	95
			0										
			0.3	94	61	40	30	56.25	0.000	36.458	57.895	68.421	40.694
			0.6	94	60	28	23	51.25	0.000	37.500	70.526	75.789	45.954
			0.9	93	41	21	17	43	1.064	57.292	77.895	82.105	54.589
			1.2	90	27	14	11	35.5	4.255	71.875	85.263	88.421	62.454
			1.5	50	4	0	0	13.5	46.809	95.833	100.000	100.000	85.660
			Outlet	14	3	0	0	4.25	85.106	96.875	100.000	100.000	95.495
100	75	0.653	Inlet	96	95	95	95	95.25	96	95	95	95	95.25
			0										
			0.3	96	81	79	82	84.5	0.000	14.737	16.842	13.684	11.316
			0.6	92	78	74	78	80.5	4.167	17.895	22.105	17.895	15.515
			0.9	78	68	66	67	69.75	18.750	28.421	30.526	29.474	26.793
			1.2	60	52	48	48	52	37.500	45.263	49.474	49.474	45.428
			1.5	10	8	8	7	8.25	89.583	91.579	91.579	92.632	91.343
			Outlet	4	4	4	3	3.75	95.833	95.789	95.789	96.842	96.064

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	95	0.648	Inlet	104	108	103	109	106	104	108	103	109	106
			0										
			0.3	104	100	102	101	101.75	0.000	7.407	0.971	7.339	3.929
			0.6	104	100	102	101	101.75	0.000	7.407	0.971	7.339	3.929
			0.9	101	97	99	99	99	2.885	10.185	3.883	9.174	6.532
			1.2	90	92	93	93	92	13.462	14.815	9.709	14.679	13.166
			1.5	20	18	16	15	17.25	80.769	83.333	84.466	86.239	83.702
			Outlet	14	14	14	14	14	86.538	87.037	86.408	87.156	86.785
100	115	0.641	Inlet	98	96	97	95	96.5	98	96	97	95	96.5
			0										
			0.3	98	78	62	60	74.5	0.000	18.750	36.082	36.842	22.919
			0.6	98	57	44	42	60.25	0.000	40.625	54.639	55.789	37.763
			0.9	98	39	28	27	48	0.000	59.375	71.134	71.579	50.522
			1.2	84	25	27	26	40.5	14.286	73.958	72.165	72.632	58.260
			1.5	29	18	19	16	20.5	70.408	81.250	80.412	83.158	78.807
			Outlet	9	8	10	10	9.25	90.816	91.667	89.691	89.474	90.412

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	50	0.638	Inlet	156	158	159	157	157.5	156	158	159	157	157.5
			0										
			0.3	110	44	44	43	60.25	29.487	72.152	72.327	72.611	61.644
			0.6	46	18	19	19	25.5	70.513	88.608	88.050	87.898	83.767
			0.9	25	16	18	16	18.75	83.974	89.873	88.679	89.809	88.084
			1.2	13	10	8	9	10	91.667	93.671	94.969	94.268	93.643
			1.5	2	0	0	0	0.5	98.718	100.000	100.000	100.000	99.679
			Outlet	2	0	0	0	0.5	98.718	100.000	100.000	100.000	99.679
150	75	0.623	Inlet	154	153	154	152	153.25	154	153	154	152	153.25
			0										
			0.3	149	111	108	98	116.5	3.247	27.451	29.870	35.526	24.024
			0.6	129	94	98	88	102.25	16.234	38.562	36.364	42.105	33.316
			0.9	102	77	81	68	82	33.766	49.673	47.403	55.263	46.526
			1.2	82	58	59	54	63.25	46.753	62.092	61.688	64.474	58.752
			1.5	18	18	18	17	17.75	88.312	88.235	88.312	88.816	88.419
			Outlet	9	6	6	5	6.5	94.156	96.078	96.104	96.711	95.762

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	95	0.618	Inlet	144	152	155	152	150.75	144	152	155	152	150.75
			0										
			0.3	139	99	97	98	108.25	3.472	34.868	37.419	35.526	27.822
			0.6	136	89	87	82	98.5	5.556	41.447	43.871	46.053	34.232
			0.9	129	70	75	72	86.5	10.417	53.947	51.613	52.632	42.152
			1.2	103	70	24	24	55.25	28.472	53.947	84.516	84.211	62.787
			1.5	31	24	23	21	24.75	78.472	84.211	85.161	86.184	83.507
			Outlet	10	10	10	9	9.75	93.056	93.421	93.548	94.079	93.526
150	115	0.633	Inlet	157	158	156	151	155.5	157	158	156	151	155.5
			0										
			0.3	153	149	143	144	147.25	2.548	5.696	8.333	4.636	5.303
			0.6	148	148	140	141	144.25	5.732	6.329	10.256	6.623	7.235
			0.9	140	141	138	137	139	10.828	10.759	11.538	9.272	10.599
			1.2	138	136	127	125	131.5	12.102	13.924	18.590	17.219	15.459
			1.5	28	29	27	26	27.5	82.166	81.646	82.692	82.781	82.321
			Outlet	28	29	27	26	27.5	82.166	81.646	82.692	82.781	82.321

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	50	0.677	Inlet	184	183	185	189	185.25	184	183	185	189	185.25
			0										
			0.3	17	10	10	10	11.75	90.761	94.536	94.595	94.709	93.650
			0.6	4	4	4	4	4	97.826	97.814	97.838	97.884	97.840
			0.9	5	4	4	4	4.25	97.283	97.814	97.838	97.884	97.705
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
200	75	0.676	Inlet	198	188	186	191	190.75	198	188	186	191	190.75
			0										
			0.3	174	97	94	89	113.5	12.121	48.404	49.462	53.403	40.848
			0.6	106	64	65	64	74.75	46.465	65.957	65.054	66.492	60.992
			0.9	33	26	24	24	26.75	83.333	86.170	87.097	87.435	86.009
			1.2	28	23	23	23	24.25	85.859	87.766	87.634	87.958	87.304
			1.5	26	22	22	20	22.5	86.869	88.298	88.172	89.529	88.217
			Outlet	16	12	12	11	12.75	91.919	93.617	93.548	94.241	93.331

ค.6 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.001 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.001 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	95	0.688	Inlet	198	196	191	198	195.75	198	196	191	198	195.75
			0										
			0.3	198	173	158	154	170.75	0.000	11.735	17.277	22.222	12.809
			0.6	163	137	130	103	133.25	17.677	30.102	31.937	47.980	31.924
			0.9	92	77	79	59	76.75	53.535	60.714	58.639	70.202	60.773
			1.2	24	24	24	23	23.75	87.879	87.755	87.435	88.384	87.863
			1.5	24	24	24	23	23.75	87.879	87.755	87.435	88.384	87.863
			Outlet	18	18	18	18	18	90.909	90.816	90.576	90.909	90.803
200	115	0.628	Inlet	198	197	197	191	195.75	198	197	197	191	195.75
			0										
			0.3	163	160	155	148	156.5	17.677	18.782	21.320	22.513	20.073
			0.6	126	104	99	95	106	36.364	47.208	49.746	50.262	45.895
			0.9	98	94	96	80	92	50.505	52.284	51.269	58.115	53.043
			1.2	73	40	31	28	43	63.131	79.695	84.264	85.340	78.108
			1.5	30	29	28	25	28	84.848	85.279	85.787	86.911	85.706
			Outlet	30	29	28	25	28	84.848	85.279	85.787	86.911	85.706

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	50	0.660	Inlet	57	56	57	57	56.75	57	56	57	57	56.75
			0										
			0.3	5	0	0	0	1.25	91.228	100.000	100.000	100.000	97.807
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
50	75	0.639	Inlet	56	54	57	57	56	56	54	57	57	56
			0										
			0.3	14	5	0	0	4.75	75.000	90.741	100.000	100.000	91.435
			0.6	5	0	0	0	1.25	91.071	100.000	100.000	100.000	97.768
			0.9	4	0	0	0	1	92.857	100.000	100.000	100.000	98.214
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	95	0.664	Inlet	47	52	51	52	50.5	47	52	51	52	50.5
			0										
			0.3	10	0	0	0	2.5	78.723	100.000	100.000	100.000	94.681
			0.6	6	0	0	0	1.5	87.234	100.000	100.000	100.000	96.809
			0.9	7	0	0	0	1.75	85.106	100.000	100.000	100.000	96.277
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
50	115	0.633	Inlet	51	50	53	51	51.25	51	50	53	51	51.25
			0										
			0.3	14	4	5	5	7	72.549	92.000	90.566	90.196	86.328
			0.6	12	0	0	0	3	76.471	100.000	100.000	100.000	94.118
			0.9	6	0	0	0	1.5	88.235	100.000	100.000	100.000	97.059
			1.2	5	0	0	0	1.25	90.196	100.000	100.000	100.000	97.549
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	50	0.679	Inlet	90	90	91	91	90.5	90	90	91	91	90.5
			0										
			0.3	2	0	0	0	0.5	97.778	100.000	100.000	100.000	99.444
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
100	75	0.651	Inlet	104	106	105	106	105.25	104	106	105	106	105.25
			0										
			0.3	6	0	0	0	1.5	94.231	100.000	100.000	100.000	98.558
			0.6	2	0	0	0	0.5	98.077	100.000	100.000	100.000	99.519
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	95	0.680	Inlet	106	102	104	104	104	106	102	104	104	104
			0										
			0.3	48	16	16	16	24	54.717	84.314	84.615	84.615	77.065
			0.6	12	0	0	0	3	88.679	100.000	100.000	100.000	97.170
			0.9	3	0	0	0	0.75	97.170	100.000	100.000	100.000	99.292
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
100	115	0.662	Inlet	104	103	102	106	103.75	104	103	102	106	103.75
			0										
			0.3	98	24	23	24	42.25	5.769	76.699	77.451	77.358	59.319
			0.6	21	6	6	6	9.75	79.808	94.175	94.118	94.340	90.610
			0.9	12	0	0	0	3	88.462	100.000	100.000	100.000	97.115
			1.2	5	0	0	0	1.25	95.192	100.000	100.000	100.000	98.798
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	50	0.602	Inlet	152	156	154	155	154.25	152	156	154	155	154.25
			0										
			0.3	84	11	6	6	26.75	44.737	92.949	96.104	96.129	82.480
			0.6	42	3	2	2	12.25	72.368	98.077	98.701	98.710	91.964
			0.9	16	0	0	0	4	89.474	100.000	100.000	100.000	97.368
			1.2	9	0	0	0	2.25	94.079	100.000	100.000	100.000	98.520
			1.5	4	0	0	0	1	97.368	100.000	100.000	100.000	99.342
			Outlet	4	0	0	0	1	97.368	100.000	100.000	100.000	99.342
150	75	0.606	Inlet	148	149	149	148	148.5	148	149	149	148	148.5
			0										
			0.3	21	0	0	0	5.25	85.811	100.000	100.000	100.000	96.453
			0.6	4	0	0	0	1	97.297	100.000	100.000	100.000	99.324
			0.9	3	0	0	0	0.75	97.973	100.000	100.000	100.000	99.493
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	95	0.704	Inlet	154	154	158	157	155.75	154	154	158	157	155.75
			0										
			0.3	13	11	7	7	9.5	91.558	92.857	95.570	95.541	93.882
			0.6	8	3	4	3	4.5	94.805	98.052	97.468	98.089	97.104
			0.9	4	2	0	0	1.5	97.403	98.701	100.000	100.000	99.026
			1.2	3	0	0	0	0.75	98.052	100.000	100.000	100.000	99.513
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
150	115	0.670	Inlet	147	147	146	147	146.75	147	147	146	147	146.75
			0										
			0.3	44	42	42	41	42.25	70.068	71.429	71.233	72.109	71.210
			0.6	13	12	10	10	11.25	91.156	91.837	93.151	93.197	92.335
			0.9	5	2	0	0	1.75	96.599	98.639	100.000	100.000	98.810
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	50	0.641	Inlet	194	192	195	196	194.25	194	192	195	196	194.25
			0										
			0.3	18	2	0	0	5	90.722	98.958	100.000	100.000	97.420
			0.6	2	0	0	0	0.5	98.969	100.000	100.000	100.000	99.742
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
200	75	0.640	Inlet	191	196	195	196	194.5	191	196	195	196	194.5
			0										
			0.3	3	0	0	0	0.75	98.429	100.000	100.000	100.000	99.607
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.7 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.002 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	95	0.710	Inlet	193	196	191	196	194	193	196	191	196	194
			0										
			0.3	27	0	0	0	6.75	86.010	100.000	100.000	100.000	96.503
			0.6	5	0	0	0	1.25	97.409	100.000	100.000	100.000	99.352
			0.9	3	0	0	0	0.75	98.446	100.000	100.000	100.000	99.611
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
200	115	0.663	Inlet	192	192	193	192	192.25	192	192	193	192	192.25
			0										
			0.3	101	66	54	51	68	47.396	65.625	72.021	73.438	64.620
			0.6	26	10	8	9	13.25	86.458	94.792	95.855	95.313	93.104
			0.9	9	9	9	10	9.25	95.313	95.313	95.337	94.792	95.188
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	50	0.646	Inlet	49	46	45	45	46.25	49	46	45	45	46.25
			0										
			0.3	8	7	8	8	7.75	83.673	84.783	82.222	82.222	83.225
			0.6	3	2	2	2	2.25	93.878	95.652	95.556	95.556	95.160
			0.9	2	0	0	0	0.5	95.918	100.000	100.000	100.000	98.980
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
50	75	0.686	Inlet	59	58	56	56	57.25	59	58	56	56	57.25
			0										
			0.3	13	3	2	0	4.5	77.966	94.828	96.429	100.000	92.306
			0.6	7	0	0	0	1.75	88.136	100.000	100.000	100.000	97.034
			0.9	3	0	0	0	0.75	94.915	100.000	100.000	100.000	98.729
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
50	95	0.643	Inlet	56	56	55	56	55.75	56	56	55	56	55.75
			0										
			0.3	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
50	115	0.654	Inlet	53	56	54	54	54.25	53	56	54	54	54.25
			0										
			0.3	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	50	0.692	Inlet	92	94	92	93	92.75	92	94	92	93	92.75
			0										
			0.3	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
100	75	0.674	Inlet	92	94	92	93	92.75	92	94	92	93	92.75
			0										
			0.3	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
100	95	0.693	Inlet	93	98	97	99	96.75	93	98	97	99	96.75
			0										
			0.3	15	4	4	5	7	83.871	95.918	95.876	94.949	92.654
			0.6	11	0	0	0	2.75	88.172	100.000	100.000	100.000	97.043
			0.9	4	0	0	0	1	95.699	100.000	100.000	100.000	98.925
			1.2	3	0	0	0	0.75	96.774	100.000	100.000	100.000	99.194
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
100	115	0.657	Inlet	101	100	99	102	100.5	101	100	99	102	100.5
			0										
			0.3	15	6	6	6	8.25	85.149	94.000	93.939	94.118	91.801
			0.6	5	0	0	0	1.25	95.050	100.000	100.000	100.000	98.762
			0.9	3	0	0	0	0.75	97.030	100.000	100.000	100.000	99.257
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	50	0.613	Inlet	149	152	154	152	151.75	149	152	154	152	151.75
			0										
			0.3	32	9	10	9	15	78.523	94.079	93.506	94.079	90.047
			0.6	10	4	4	9	6.75	93.289	97.368	97.403	94.079	95.535
			0.9	3	2	2	4	2.75	97.987	98.684	98.701	97.368	98.185
			1.2	0	0	0	2	0.5	100.000	100.000	100.000	98.684	99.671
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
150	75	0.583	Inlet	145	154	153	151	150.75	145	154	153	151	150.75
			0										
			0.3	11	0	0	0	2.75	92.414	100.000	100.000	100.000	98.103
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
150	95	0.643	Inlet	142	141	145	144	143	142	141	145	144	143
			0										
			0.3	16	0	0	0	4	88.732	100.000	100.000	100.000	97.183
			0.6	3	0	0	0	0.75	97.887	100.000	100.000	100.000	99.472
			0.9	2	0	0	0	0.5	98.592	100.000	100.000	100.000	99.648
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
150	115	0.629	Inlet	153	152	153	154	153	153	152	153	154	153
			0										
			0.3	18	4	4	4	7.5	88.235	97.368	97.386	97.403	95.098
			0.6	3	0	0	0	0.75	98.039	100.000	100.000	100.000	99.510
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	50	0.694	Inlet	188	152	154	152	161.5	188	152	154	152	161.5
			0										
			0.3	36	0	0	0	9	80.851	100.000	100.000	100.000	95.213
			0.6	29	0	0	0	7.25	84.574	100.000	100.000	100.000	96.144
			0.9	5	0	0	0	1.25	97.340	100.000	100.000	100.000	99.335
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
200	75	0.658	Inlet	198	189	192	192	192.75	198	189	192	192	192.75
			0										
			0.3	11	5	2	0	4.5	94.444	97.354	98.958	100.000	97.689
			0.6	6	2	0	0	2	96.970	98.942	100.000	100.000	98.978
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ค.8 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.005 โมลาร์ เป็นตัวดูดซึมที่ความสูงระดับต่างๆ (ต่อ)

H_2S (ppm)	Gas flow (lpm)	Liquid flow (lpm)	Height (m)	NaOH 0.005 M									
				Concentration of H_2S (ppm)					Removal Efficiency (%)				
				5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg	5 MIN	15 MIN	25 MIN	35 MIN	avg
200	95	0.692	Inlet	183	184	184	183	183.5	183	184	184	183	183.5
			0										
			0.3	7	2	0	0	2.25	96.175	98.913	100.000	100.000	98.772
			0.6	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			0.9	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
200	115	0.728	Inlet	192	193	193	195	193.25	192	193	193	195	193.25
			0										
			0.3	98	8	8	8	30.5	48.958	95.855	95.855	95.897	84.141
			0.6	28	4	2	2	9	85.417	97.927	98.964	98.974	95.321
			0.9	5	0	0	0	1.25	97.396	100.000	100.000	100.000	99.349
			1.2	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			1.5	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
			Outlet	0	0	0	0	0	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

ภาคผนวก ง.
วิธีผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

วิธีผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์

ง.1 ชุดผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

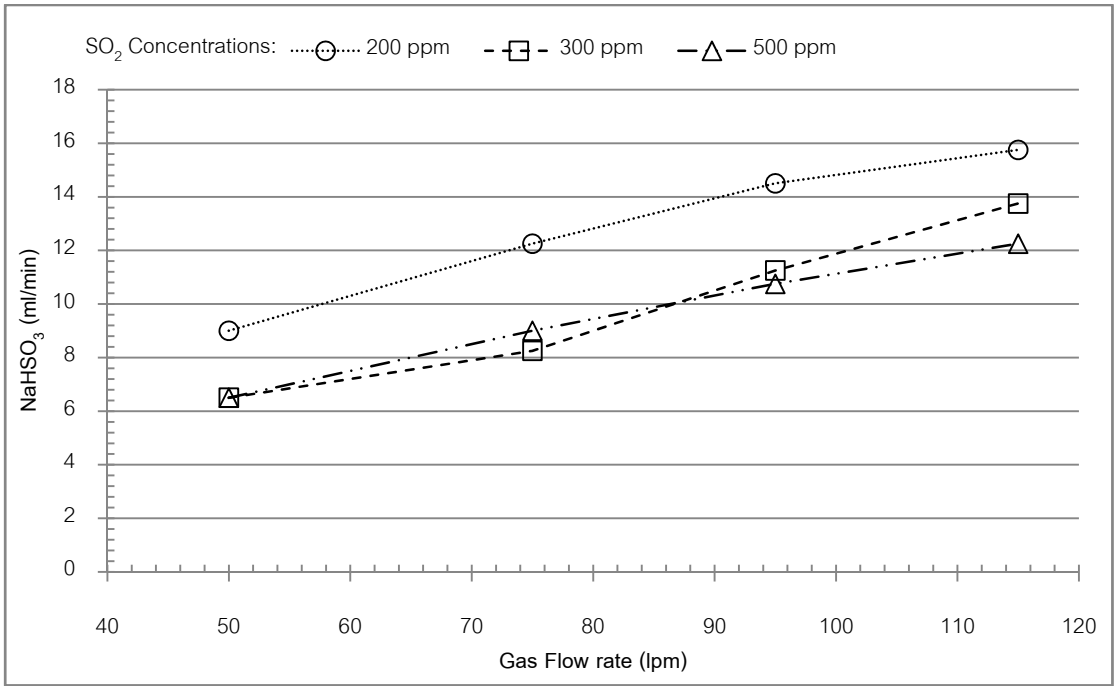
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เตรียมจากการใช้เครื่องปั๊มอากาศเป่าอากาศผ่านขวดแก้วขนาด 20 ลิตรที่บรรจุกรดไฮโดรคลอริก เพื่อเติมอากาศและเจือจางความเข้มข้นก๊าซ โดยจะเติมสารโซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่อยู่ในขวดเมื่อทั้งสองสารทำปฏิกิริยากันจะได้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ส่วนการปรับความเข้มข้นของก๊าซนั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มหรือลดความเข้มข้นและอัตราการใช้สารโซเดียมไบซัลไฟต์ ดังรูปที่ ง.1

สมการการเกิดปฏิกิริยา

$$NaHSO_3\,(s) + HCl\,(aq) \longrightarrow SO_2\,(g) + NaCl\,(aq) + H_2O\,(l)$$

ตารางที่ ง.1 ความเข้มข้นของสารโซเดียมไบซัลไฟต์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แต่ละความเข้มข้น

ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้นโซเดียมไบซัลไฟต์ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
200	3.25	0.5
300	6.50	0.5
500	9.75	0.5



รูปที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลก๊าซกับปริมาณสารโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่แต่ละความเข้มข้น

ง.2 ชุดผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

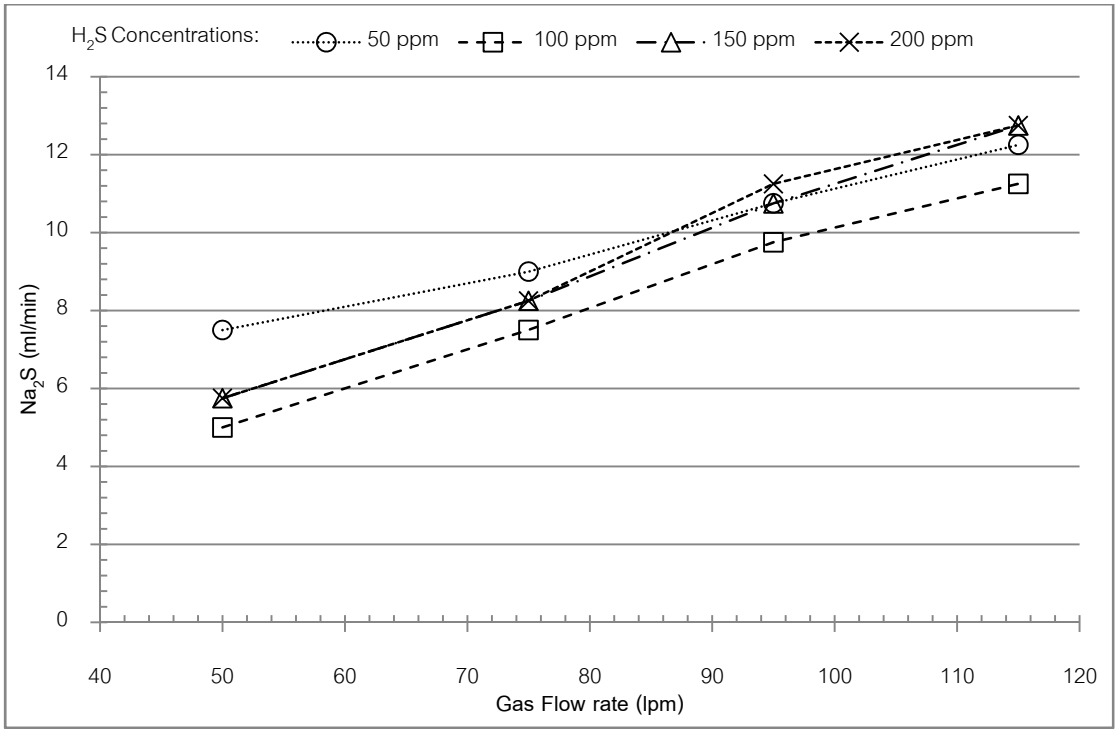
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เตรียมจากการใช้เครื่องปั๊มอากาศเป่าอากาศผ่านขวดแก้วขนาด 20 ลิตรที่บรรจุกรดไฮโดรคลอริก เพื่อเติมอากาศและเจือจางความเข้มข้นก๊าซ โดยจะเติมสารโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่อยู่ในขวด เมื่อทั้งสองสารทำปฏิกิริยากันจะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ส่วนการปรับความเข้มข้นของก๊าซนั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มหรือลดความเข้มข้นและอัตราการใช้สารโซเดียมซัลไฟด์ ดังรูปที่ ง.2

สมการการเกิดปฏิกิริยา

$$Na_2S\ (s) + 2HCl\ (aq) \longrightarrow H_2S\ (g) + 2NaCl\ (aq)$$

ง.2 ความเข้มข้นของสารโซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่ละความเข้มข้น

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้นโซเดียมซัลไฟด์ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
50	5.72	0.5
100	8.58	0.5
150	11.44	0.5
200	14.30	0.5



รูปที่ ง.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลก๊าซกับปริมาณสารโซเดียมซัลไฟด์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่แต่ละความเข้มข้น

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธนิตา ทองเงา เกิดเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2547 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548