

การผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างต่อเนื่อง

Continuous Production of Hydrogen Sulfide Gas

วรรณนา ภาณุวัฒน์สุข

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบชุดทดลองที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างต่อเนื่อง อาศัยปฏิกิริยาเคมีของโซเดียมซัลไฟด์และกรดซัลฟูริก กระบวนการผลิตเป็นแบบเฟดแบทช์ มีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 9 mg/mL ลงในขวดสังเคราะห์ที่บรรจุน้ำกลั่นและกรดซัลฟูริก โดยใช้หลอดฉีดยา ปริมาตรที่ฉีด 0.5 mL ทุก ๆ 40 sec และใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวที่อัตรา 0.75 mL/min ผลการทดลองพบว่าสามารถผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นประมาณ 200 ppm เริ่มตั้งแต่เวลา 88 sec ถึง 12,651 sec (3 h 30 min 51 sec) ด้วยหลอดฉีดยา และเริ่มตั้งแต่เวลา 76 sec ถึง 12,683 sec (3 h 31 min 23 sec) ด้วยปั๊มดูดจ่ายของเหลว การทดลองดังกล่าวสามารถดำเนินการได้บนโต๊ะปฏิบัติการ โดยการบำบัดก๊าซที่ออกมาด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 8%

คำสำคัญ : ไฮโดรเจนซัลไฟด์, การผลิตอย่างต่อเนื่อง, โต๊ะปฏิบัติการ

Abstract

This research was to design the experimental set using for continuously producing hydrogen sulfide gas. It was relied on the reaction between sodium sulfide and sulfuric acid. The production process was a fed-batch type by adding sodium sulfide solution at the concentration of 9 mg/mL into a synthesized bottle containing distilled water and sulfuric acid. The solution was added by injecting with syringe at 0.5 mL for every 40 sec and feeding with peristaltic pump at the rate of 0.75 mL/min. The result was found that hydrogen sulfide gas could be produced at the approximate concentration of 200 ppm starting from 88 sec to 12,651 sec (3 h 30 min 51 sec) with syringe injection and starting from 76 sec to 12,683 sec (3 h 31 min 23 sec) with peristaltic pump feeding. The experiment was operated on the laboratory table by treatment the effluent gas with sodium hydroxide solution at the concentration of 8 %.

Keywords : hydrogen sulfide, continuous production, laboratory table

1. บทนำ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายไข่เน่า มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าอากาศ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของซากอินทรีย์สารโดยแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)

และยังเป็นองค์ประกอบหนึ่งในก๊าซชีวภาพ ที่พบตามแหล่งเก็บกักกากของเสียหรือน้ำเสียและจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม เมื่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำ จะแปรเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริกหรือที่เรียกกันว่า “ฝนกรด” สามารถกัดกร่อนวัสดุประเภทโลหะและคอนกรีต ซึ่งถ้า

มนุษย์ได้สัมผัสก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะทำให้เกิดการระคายเคืองตา แสบคอ ปวดศีรษะและคลื่นไส้ สำหรับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่นิยมใช้มีด้วยกัน 3 กระบวนการ คือ กระบวนการดูดซับ (Adsorption) จะใช้สารดูดซับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นของแข็งบรรจุในคอลัมน์ กระบวนการดูดซึม (Absorption) อาศัยหลักการละลายของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในตัวทำละลายชนิดต่างๆ และกระบวนการกำจัดด้วยจุลชีพ (Microbial treatment) ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียจำพวก Sulfide oxidation bacteria เช่น เทคโนโลยี Biofiltration การเลือกกระบวนการกำจัดแบบใดแบบหนึ่ง จำเป็นต้องทำการทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าต่อการสร้างระบบกำจัดของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่ง โดยทั่วไปมีการใช้แหล่งของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่จะทำการบำบัด 3 แหล่ง แหล่งที่หนึ่งคือ การเก็บจากบ่อก๊าซชีวภาพของโรงงานอุตสาหกรรมโดยตรง ซึ่งถ้าโรงงานอยู่ไกลจะทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ แหล่งที่สองคือ การสั่งซื้อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่บรรจุในถังความดันสูงจากบริษัทตัวแทนจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 25,000 บาท ต่อปริมาณก๊าซ 5.5 m³ ราคาของถังพร้อมวาล์วควบคุม 45,000 บาท และใช้เวลาในการจัดส่ง 7 d ถ้าไม่มีสินค้าคงคลังต้องใช้เวลอย่างน้อย 30 d (ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2556 บริษัท Linde (Thailand) Public จำกัด) แหล่งสุดท้ายคือการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง โดยการทำปฏิกิริยาของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน จากนั้นจึงบีบก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเข้าถังความดันสูง (Cylinder) แล้วควบคุมอัตราการไหลให้มีค่าเท่ากับ 15-35 L/h โดยให้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ผ่านเข้าระบบ Biofilter มีความเข้มข้นเท่ากับหรือมากกว่า 100 ppm [1] หรือการเตรียมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้มีความเข้มข้น 5-50 ppm เข้าถึงบรรจุก๊าซ โดยการหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M ลงในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่ไม่ระบุความเข้มข้น [2] หรือการเตรียมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่ระบุความเข้มข้นเข้าถึงบรรจุก๊าซด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (ความเข้มข้น 1 %) กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความ

เข้มข้น 0.1 M [3] ซึ่งในระหว่างที่ทำการทดลอง ผู้ทดลองจะต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันหรือทำการทดลองในตู้ดูดควัน (Fume hood) งานวิจัยนี้จึงทำการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ชุดทดลองผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นที่คงที่อย่างต่อเนื่องบนโต๊ะปฏิบัติการและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน

2. วิธีการวิจัย

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Crowcon รุ่น Triple Plus s/n:2560030499) วัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ตั้งแต่ 0-1,000 ppm ได้ผ่านการปรับมาตรฐานจากบริษัท AWJ Innovation Co.,Ltd. (Calibration No. 1311-470, Calibration Date 11 November 2013-2014) เครื่องดูดอากาศ (SKC รุ่น 224-PCXRS) ปรับอัตราการดูดได้ตั้งแต่ 5-5,000 mL/min เครื่องเขย่า (Stuart รุ่น SSL1) ปรับอัตราการเขย่าได้ตั้งแต่ 30-3000 rpm และปั๊มดูดจ่ายของเหลว (Peristaltic pump, Master flex รุ่น L/S Economy) สามารถปรับความเร็วได้ 20-600 rpm พร้อม Pumphead รุ่น 07014-21 และ Tubing L/S 13

2.2 การออกแบบชุดทดลองผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

อาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นโซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) กับกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) แทนการใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เนื่องจากสภาวะที่เกิดขึ้นเป็นไอ HCl ณ อุณหภูมิห้อง ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ลงในขวดสังเคราะห์ขนาด 1,000 mL (ที่วางบนเครื่องเขย่าที่สามารถปรับอัตราเร็วในการเขย่า) โดยมีท่อทางเข้าของสารตั้งต้นและทางออกของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น จากนั้นก๊าซจะผ่านเครื่องตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และตัวดักจับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก่อนออกสู่บรรยากาศ ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 8 % (เดิมฟีนอลฟทาไลน์) จากนั้นเดิมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite) หรือคลอรีน (Clorox) หรือไฮเตอร์ (Haiteer) ประมาณ 10 mL ก่อนเทลงท่อน้ำทิ้ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในรูปของเกลือซัลเฟตที่อยู่ตัวและปรับสภาวะให้เป็นกลาง [4] มีการเพิ่มตัวดักจับความชื้นด้วยสารละลายในขวดขนาด 1,000 mL ก่อนเข้า

เครื่องตรวจวัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Crowcon) และเครื่องดูดอากาศ SKC ที่อัตราการดูด 2 L/min

2.3 การสังเคราะห์หรือผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากการคำนวณตามปริมาณสัมพัทธ์ มีการใช้สารตั้งต้นโซเดียมซัลไฟด์ 4.5 mg กรดซัลฟูริก 1 M ปริมาตร 0.06 mL ลงในขวดสังเคราะห์ที่มีน้ำกลั่นปริมาตรแตกต่างกัน พร้อมกับการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วในการเขย่าสารละลาย บันทึกเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์หรือผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 200 ppm เมื่อทราบปริมาตรของสารละลายและอัตราการเขย่าที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ใน 1 กะ (Batch) แล้วจึงกำหนดให้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารจำกัดปริมาณ (Limiting agent) โดยเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 9 mg/mL บรรจุในหลอดฉีดยา (Syringe) ขนาด 10 mL ที่เสียบติดกับจุกยางซึ่งปิดปากขวดสังเคราะห์ การสังเคราะห์เริ่มต้นด้วยการฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ 0.5 mL ลงในขวดสังเคราะห์ที่มีกรดซัลฟูริก 1 M ปริมาตร 18.9 mL (ดังรูปที่ 1) บันทึกเวลาในการสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 200 ppm ทำการฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เป็นระยะอย่างต่อเนื่อง โดยให้ผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 200 ppm ที่คงที่ เป็นเวลา 3 h หรือมากกว่า จากนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้ในการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์แบบต่อเนื่องด้วยสายยางซิลิโคนที่ต่อเข้าปั๊มดูดจ่ายของเหลว แทนการใช้หลอดฉีดยา (ดังรูปที่ 2)



รูปที่ 1 ชุดสังเคราะห์ก๊าซแบบใช้หลอดฉีดยา

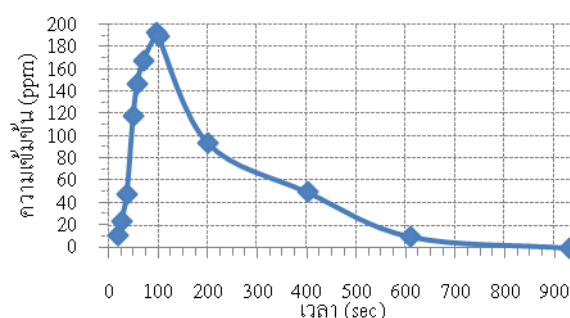


รูปที่ 2 ชุดสังเคราะห์ก๊าซแบบใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลว

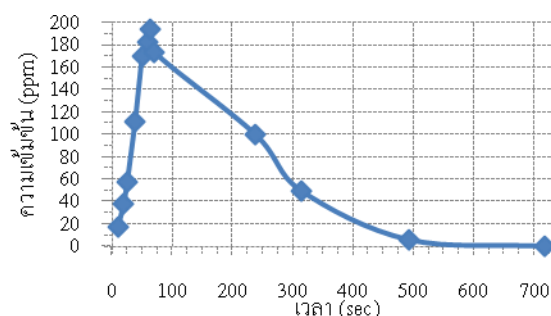
3. ผลการวิจัย

3.1 การผลิตแบบกะ (Batch production)

ผลการวัดความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นด้วยอัตราการเขย่า 100 rpm ณ เวลาต่าง ๆ กัน แสดงในรูปที่ 3 พบว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น มีค่าสูงสุดเท่ากับ 193 ppm ณ เวลา 98 sec แต่ถ้าวัดอัตราการเขย่า 200 rpm แสดงในรูปที่ 4 พบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 194 ppm ณ เวลา 64 sec จากผลการทดลองทั้ง 2 พบว่าการเพิ่มอัตราการเขย่าทำให้อัตราการผลิตก๊าซตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงเวลาที่ได้อัตราความเข้มข้นของก๊าซสูงสุด (Slope) มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.8 ppm/sec



รูปที่ 3 อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อใช้สารละลาย 200 mL เขย่าที่ 100 rpm



รูปที่ 4 อัตราการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อใช้สารละลาย 200 mL เขย่าที่ 200 rpm

เนื่องจากขดสังเคราะห์หมีต่อแก้วและสายยางต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้นการใช้อัตราการเขย่าที่มากกว่า 200 rpm จะทำให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ข้างต้น อีกทั้งปริมาณของสารละลายที่บรรจุภายในขดสังเคราะห์ ควรจะมีปริมาตรที่ไม่มากนัก ทำให้สามารถรองรับการเติมสารตั้งต้นในปริมาณที่มากพอ ระหว่างที่ทำการเขย่าสำหรับการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบปริมาณและอัตราการเขย่าที่เหมาะสม จึงมีการทดลองผลิตก๊าซแบบกะโดยใช้อัตราการเขย่า 100 140 180 และ 200 rpm กับสารละลายที่บรรจุในขดสังเคราะห์ปริมาตร 200 100 และ 50 mL จากนั้นพล็อตกราฟหาค่า slope เพื่อเปรียบเทียบอัตราการผลิตก๊าซ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1 พบว่าการเขย่าที่ 180 rpm กับสารละลายปริมาตร 50 mL อัตราการผลิตก๊าซ (slope) สูงสุดเท่ากับ 2.5 ppm/sec เช่นเดียวกับที่ใช้ปริมาตร 100 mL และเมื่อใช้อัตราการเขย่าที่ 200 rpm กับสารละลายปริมาตร 50 mL สามารถผลิตก๊าซได้ค่า slope ที่สูงเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มปริมาตรสารละลายเป็น 100 mL อัตราการผลิตก๊าซลดลง ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการผลิตก๊าซที่ปริมาตร 50 mL และอัตราการเขย่า 180 rpm ไปใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างต่อเนื่องต่อไป

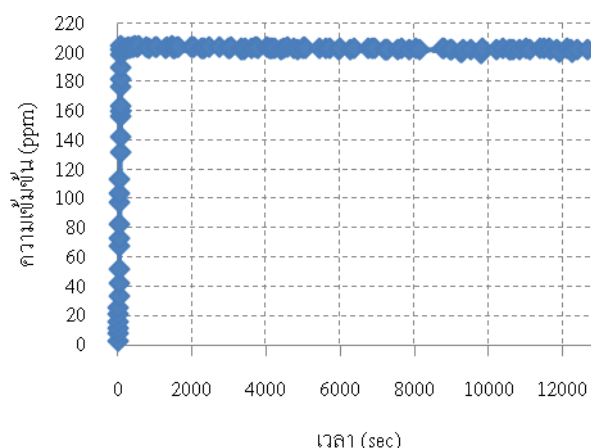
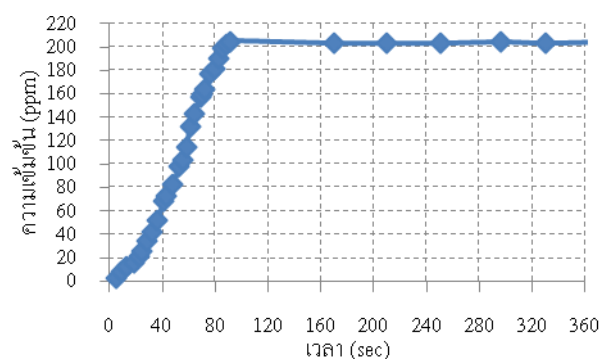
ตารางที่ 1 ค่า slope (ppm/sec) จากการผลิตก๊าซโดยใช้ปริมาตรของสารละลายและอัตราการเขย่าที่แตกต่างกัน

อัตรา การเขย่า ปริมาตร ของสารละลาย	100 rpm	140 rpm	180 rpm	200 rpm
200mL	1.8	2.2	2.4	2.4
100 mL	1.9	2.3	2.5	2.4
50 mL	1.9	2.3	2.5	2.5

3.2 การผลิตแบบเฟดแบทช์ (Fed-Batch production)

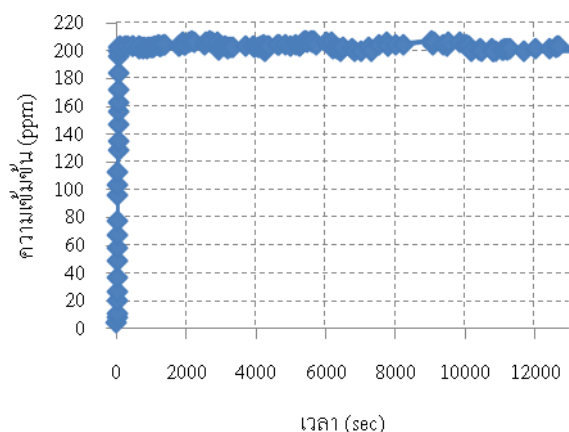
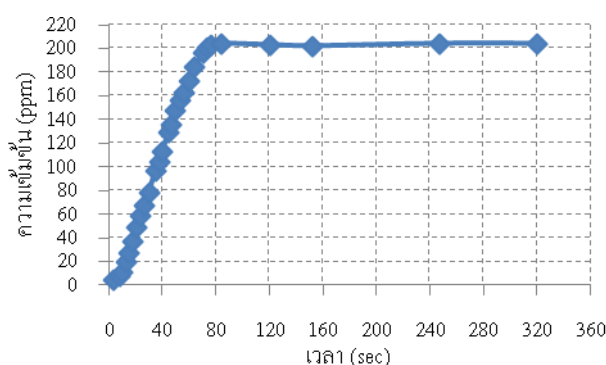
1. เพื่อหาช่วงเวลาในการฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ จึงได้ทดลองผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 9 mg/mL ปริมาตร 0.5 mL ลงในสารละลายปริมาตร 50 mL ที่มีปริมาณกรดซัลฟูริกที่มากเกินไปด้วยอัตราการเขย่าที่ 180 rpm พบว่าเวลาที่ใช้ในการ

ผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ได้ค่าความเข้มข้นสูงสุด (202 ppm) มีค่าเท่ากับ 84 sec จากหลักการ step response ของ first order system ด้วย unit step input ซึ่งจะได้อัตรา output 63.2 % ของค่าสูงสุด จึงได้ทดลองฉีดสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ณ วินาทีที่ 53 (0.632×84 sec) ปรากฏว่าเกิดการสะสมของก๊าซความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่วัดได้เกินกว่า 250 ppm จึงได้ทดลองลดช่วงเวลาในการฉีดเป็น 40 sec พบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกสังเคราะห์ออกมามีความเข้มข้นประมาณ 200 ppm ที่คงที่ เริ่มตั้งแต่เวลา 88 sec หรือ 1 min 28 sec (รูปที่ 5 บน) จนกระทั่งถึงเวลา 12,651 sec หรือ 3 h 30 min 51 sec (รูปที่ 5 ล่าง) อัตราการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นถึงค่าความเข้มข้นสูงสุด (slope) มีค่าเท่ากับ 2.3 ppm/sec และไม่สามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้นหรือได้กลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์บริเวณที่ทดลอง



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) ที่ผลิตได้จากการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ด้วยหลอดฉีด ณ เวลาที่ใช้ในการผลิต (sec) บน : ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตจนถึง 360 sec ล่าง : ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้

2. การเติมด้วยปั๊มดูดจ่ายของเหลว อาศัยการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 9 mg/mL จากบิวเรตต์ที่มีท่อซลิโคนต่อเข้าเครื่องปั๊มดูดจ่ายของเหลวด้วยอัตราการเติม 0.75 mL/min (0.5mL/40sec) พบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกสังเคราะห์ออกมาที่มีความเข้มข้นประมาณ 200 ppm ที่คงที่เริ่มตั้งแต่เวลา 76 sec หรือ 1 min 16 sec (รูปที่ 6 บน) จนกระทั่งถึงเวลา 12,683 sec หรือ 3 h 31 min 23 sec (รูปที่ 6 ล่าง) อัตราการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นถึงค่าความเข้มข้นสูงสุด (slope) มีค่าเท่ากับ 2.6 ppm/sec ซึ่งมากกว่าการใช้หลอดนิตยาแสดงถึงการเข้าทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นที่รวดเร็วกว่าเนื่องจากการเติมสารอย่างต่อเนื่อง และในบริเวณที่ทดลองไม่สามารถตรวจวัดค่าความเข้มข้นหรือได้กลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ppm) ที่ผลิตได้จากการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ด้วยปั๊มดูดจ่ายของเหลว ณ เวลาที่ใช้ในการผลิต (sec) บน : ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการผลิตจนถึง 320 sec ล่าง : ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้

4. สรุป

การสังเคราะห์หรือผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อาศัยการทำปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นโซเดียมซัลไฟด์และกรดซัลฟูริกโดยใช้ขบวนการ 1,000 mL บรรจุน้ำกลั่น 50 mL และกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 M ปริมาตรอย่างน้อย 18.9 mL วางบนเครื่องเขย่าที่ใช้อัตราการเขย่า 180 rpm การสังเคราะห์จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 9 mg/mL การทดลองได้ออกแบบให้มีการเติมแบบเฟดแบทช์ด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด ชนิดแรกคือการใช้หลอดนิตยาขนาด 10 mL ด้วยอัตรา 0.5 mL ทุก ๆ 40 sec และการใช้ปั๊มดูดจ่ายของเหลวด้วยอัตรา 0.75 mL/min พบว่าก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นสูงสุดประมาณ 200 ppm ตั้งแต่เวลา 88 sec จนถึงเวลา 12,651 sec (3 h 30 min 51 sec) เมื่อใช้การเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ด้วยหลอดนิตยา และตั้งแต่เวลา 76 sec จนถึงเวลา 12,683 sec (3 h 31 min 23 sec) เมื่อใช้การเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ด้วยปั๊มดูดจ่ายของเหลว ก๊าซที่เกิดขึ้นมีการกำจัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8%

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Rattanapan, P. Boonsawang and D. Kantachote, "Removal of H_2S in down-flow GAC biofiltration using sulfide oxidizing bacteria from concentrated latex wastewater," *Bioresource Technology*, Vol.100, pp. 125-300, 2009.
- [2] G. Moussavi, K. Naddafi, A. Mesdaghinia and M. A. Deshusses, "The removal of H_2S from process air by diffusion into activated sludge," *Environmental Technology*, Vol.28, pp. 987-993, 2007.
- [3] A. Gangagni Rao, P. Ravichandra and A. Jetty, "Operation of biofilter with mixed agricultural residue as filter material: Effect of humidification and inlet

hydrogen sulfide volume fraction on the performance,”
Chemical and Biochemical Engineering, Vol.20, No.2,
pp. 189-196, 2006.

- [4] J. F. Paulino and J. C. Afonso, “New strategies for
treatment and reuse of spent sulfide caustic stream from
petroleum industry,” Quimica Nova, Vol.35, No.7, pp.
1447- 1452, 2012.