

Ci = ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบ (g m^{-3})

Ce = ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ออกจากระบบ (g m^{-3})

V = ปริมาตรของตัวกลางในถังปฏิกรณ์ (m^3)

3. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

3.1 คุณลักษณะของตะกอนเชื้อจุลินทรีย์

ในการศึกษานี้ แหล่งตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 แหล่ง ได้แก่ ฟาร์มหมู โรงงานแป่งมันสำปะหลัง และโรงงานน้ำมันปาล์มเพื่อนำมาหาแหล่งเชื้อที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการนำมาวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ sulfur oxidizing bacteria (SOB) และเทคนิค real-time polymerase chain reaction (qPCR) เพื่อดูคุณภาพและปริมาณของคุณสมบัติของแบคทีเรียโดยเฉพาะให้กลุ่มของ *Thiobacillus* sp. and *Eubacteria* domain ตามลำดับ

3.1.1 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ sulfur oxidizing bacteria

การวัดกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ SOB นั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการคัดเลือกแหล่งของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีไฮโอซัลเฟตเป็นแหล่งของซัลเฟอร์ที่จะใช้ในการหากิจกรรมของจุลินทรีย์ของแหล่งเชื้อทั้ง 3 แหล่งและมีตัวควบคุมโดยไม่ใส่ตะกอนเชื้อ ซึ่งพบว่าแหล่งเชื้อจากฟาร์มหมูสามารถใช้ไฮโอซัลเฟตได้เร็วกว่าแหล่งเชื้ออื่นๆ ใน 2-3 วันแรก ของการทดลอง โดยวันที่ 3 มีอัตราการใช้ $1.34 \text{ gNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (ตารางที่ 8) ในขณะที่แหล่งเชื้ออื่นๆ มีอัตราการใช้สูงสุดในวันที่ 4 ของการทดลองในอัตรา 0.95 และ $0.86 \text{ gNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ จากโรงงานแป่งมันสำปะหลังและโรงงานน้ำมันปาล์ม ตามลำดับ เมื่อคำนวณกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ SOB จากทั้ง 3 แหล่งในการใช้ไฮโอซัลเฟต พบว่ากิจกรรมของจุลินทรีย์จากแหล่งเชื้อของฟาร์มหมู โรงงานแป่งมันสำปะหลัง และโรงงานน้ำมันปาล์ม มีค่า 6.70, 4.76 และ $4.30 \text{ gNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ g}^{-1} \text{ VSS d}^{-1}$ ตามลำดับ (ตารางที่ 9) และจากผลของการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ Duncan analysis ซึ่งสามารถอ้างได้ว่าแหล่งเชื้อจากฟาร์มหมูนั้นแสดงผลกิจกรรมสูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับแหล่งเชื้ออื่น โดยสามารถที่จะย่อยซัลเฟตได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าเมื่อเทียบกับแหล่งเชื้ออื่นๆ

ตารางที่ 8 อัตราการใช้ไฮโอซัลเฟตจากแหล่งเชื้อทั้ง 3 แหล่งในแต่ละวัน

เวลาการทดลอง (วัน)	อัตราการใช้ไฮโอซัลเฟต ($\text{gNa}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ l}^{-1} \text{ d}^{-1}$)		
	ฟาร์มหมู	โรงงานแป่งมันสำปะหลัง	โรงงานน้ำมันปาล์ม
0	0	0	0
1	1.02	0.81	0.66
2	1.31	0.58	0.82
3	1.34	0.57	0.75
4	1.01	0.95	0.86
5	0.82	0.78	0.77
6	0.68	0.67	0.65



ตารางที่ 9 กิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่ม SOB และจำนวนของแบคทีเรียในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. และ *Eubacteria* domain โดยใช้ยีน 16S rRNA จากแหล่งเชื้อทั้ง 3 แหล่ง

แหล่งจุลินทรีย์เริ่มต้น	ความเข้มข้น ตะกอนจุลินทรีย์ (gVSS l ⁻¹)	กิจกรรม SOB (gNa ₂ S ₂ O ₃ g ⁻¹ VSS d ⁻¹)	จำนวน <i>Thiobacillus</i> sp. (copies rDNA g ⁻¹ VSS)	จำนวน <i>Eubacteria</i> domain (copies rDNA g ⁻¹ VSS)
โรงงานน้ำมันปาล์ม	38.90	4.30 ^a	9.6 x 10 ⁷	1.71 x 10 ⁸
โรงงานแป่งมันสำปะหลัง	24.33	4.76 ^c	9.2 x 10 ⁸	1.42 x 10 ¹⁰
ฟาร์มหมู	39.00	6.70 ^e	8.5 x 10 ⁷	2.23 x 10 ⁸

3.1.2 ปริมาณของจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในแหล่งเชื้อต่างๆ โดยใช้เทคนิค real-time polymerase chain reaction (qPCR)

Real-time PCR ได้ถูกนำมาใช้ในการหาปริมาณประชากรจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. และ *Eubacteria* domain จากแหล่งเชื้อต่างๆ โดยเพิ่มปริมาณยีน 16S rRNA ของ *Thiobacillus* sp. และ *Eubacteria* domain (รวมทั้ง *Thiobacillus* sp.) เพื่อที่จะนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน ในการสร้างกราฟมาตรฐานนั้นใช้ *Thiobacillus thioparus* ที่เจือจางพลาลสมิตตีเอนเออยู่ที่ 10²-10⁸ copies rDNA กราฟมาตรฐานที่ได้แสดงค่า R² ที่ 0.995, amplification efficiency ที่ 91.5% และ slope ที่ -3.544 โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า C_t ที่ได้ของตัวอย่างกับกราฟมาตรฐาน โดยค่า C_t คือค่าที่ตัวอย่างนั้นมีสัญญาณ fluorescence ผ่านค่าที่ได้ตั้งไว้ที่เรียกว่า threshold จากผลการทดลองปรากฏว่าจำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. ดังแสดงในตารางที่ 9 พบว่า จำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. จากฟาร์มหมู โรงงานแป่งมันสำปะหลัง และโรงงานน้ำมันปาล์ม อยู่ที่ 8.5 x 10⁷, 9.2 x 10⁸ และ 9.6 x 10⁷ copies rDNA g⁻¹VSS ตามลำดับ ในส่วนของกราฟมาตรฐานของแบคมีเรียในกลุ่มของ *Eubacteria* domain นั้นได้ใช้พลาลสมิตตีได้จาก *E.coli* DH5α ซึ่งทำการเจือจางให้อยู่ในช่วง 10³-10⁹ copies rDNA ซึ่งกราฟมาตรฐานที่ได้นั้นมีค่า R² ที่ 0.987, amplification efficiency ที่ 105.5% และ slope ที่ -3.196 จำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Eubacteria* domain มีค่า 2.23 x 10⁸, 1.42 x 10¹⁰ และ 1.71 x 10⁸ copies rDNA g⁻¹VSS ตามลำดับ โดยผลที่ได้จำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Eubacteria* domain มีค่าสูงกว่าในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. ในขณะที่จำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. จากโรงงานแป่งมันสำปะหลังมีค่ามากกว่าแหล่งอื่นๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. ระหว่างแหล่งเชื้อจากฟาร์มหมูกับโรงงานแป่งมันสำปะหลัง จะพบว่าจำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ *Thiobacillus* sp. และ *Eubacteria* domain มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของจุลินทรีย์หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ SOB ร่วมกับปริมาณของจุลินทรีย์ หรือ จำนวนจุลินทรีย์ในกลุ่มของ SOB ดังที่แสดงในตารางที่ 9 นั้นพบว่า แหล่งเชื้อจากฟาร์มหมูมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อตั้งต้นในการเริ่มระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เนื่องจากมีกิจกรรมและจำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่มของ SOB ที่มีค่าสูง

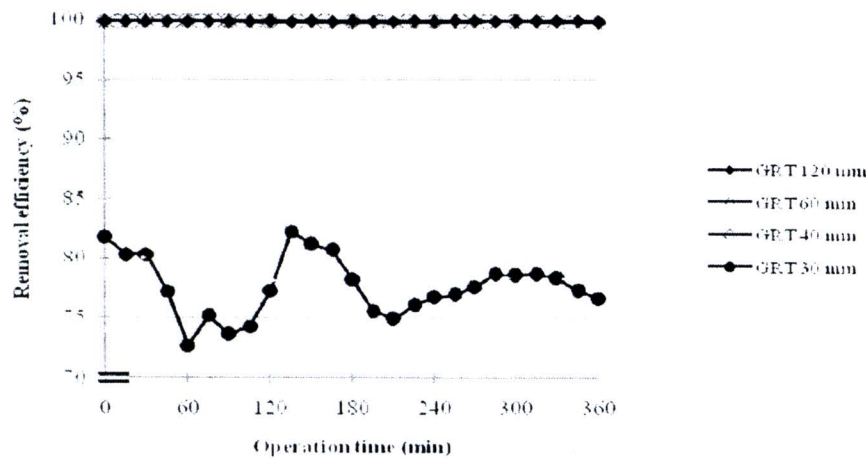
3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของถังปฏิกรณ์

การทดลองได้ใช้ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มหมูเป็นเชื้อเริ่มต้นในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยในถังปฏิกรณ์นั้นได้ใส่ตะกอนเชื้อลงไปแล้วทำการ recirculated เป็นระยะเวลา 15 วันโดยให้ผ่านวัสดุตัวกลางเพื่อเป็นการตรึงเชื้อจุลินทรีย์ ในการศึกษาประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์นั้น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกป้อนเข้าสู่ระบบด้วยความเข้มข้นคงที่ที่ 3,000 ppmv โดยค่อยๆ เพิ่มอัตราการไหล ให้มีระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) ที่ 120, 60, 40 และ 30 นาที ที่อัตราการป้อนภาระซัลเฟอร์ (SLR) ที่ 2.06, 4.12, 6.19 and 8.25 g m⁻³ h⁻¹ ตามลำดับ ในขณะที่มีการดำเนินระบบ ประสิทธิภาพการ

กำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ (RE), ความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (EC), ค่าความเป็นกรดต่าง (pH), ค่าของออกซิเจนที่ละลายน้ำ(DO) และ metabolic products (ซัลไฟด์, ซัลเฟต และซัลเฟอร์) ได้มีการติดตามและวิเคราะห์

3.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดและความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดูจากร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกกำจัดไปด้วยถึงปฏิกรณ์ (removal efficiency; RE) โดยค่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแต่ละการทดลองที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่ 120, 60, 40 และ 30 นาทีได้แสดงไว้รูปที่ 4 จะพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่ 120, 60 และ 40 นาทีมีค่ามากกว่าร้อยละ 99.8 ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่ 30 นาทีนั้น พบว่ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ที่สภาวะการเดินระบบต่อเนื่องที่ 360 นาที และที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 30 นาที พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงเนื่องมาจากระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่สั้น ส่งผลให้จุลินทรีย์มีเวลาในการที่จะสัมผัส (contact time) น้อย และทำให้จุลินทรีย์มีเวลาไม่เพียงพอในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้เต็มประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการกักเก็บก๊าซอื่นๆ ยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพของการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่คำนึงถึงปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ถูกกำจัดต่อระยะเวลาต่อปริมาตรในส่วนของคุณวสุตตัวกลาง โดยความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (elimination capacity; EC) ในการศึกษานี้อยู่ที่ 2.06, 4.12, 6.18 และ 6.40 g H₂S m⁻³ h⁻¹ ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 120, 60, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ เพื่อที่จะทราบถึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของแต่ละระยะเวลาการกักเก็บก๊าซต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงใช้วิธีการทางสถิติของ Duncan วิเคราะห์ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 10



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่ละระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ

ตารางที่ 10 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (RE) และความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (EC) แต่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT)

GRT (min)	SLR (g H ₂ S m ⁻³ h ⁻¹)	RE (%)	EC (g H ₂ S m ⁻³ h ⁻¹)
120	2.06	99.88 ^a	2.06 ^a
60	4.13	99.82 ^a	4.12 ^b
40	6.19	99.81 ^a	6.18 ^c
30	8.25	77.37 ^b	6.40 ^d

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Duncan analysis สามารถที่จะสรุปได้ว่าระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่สั้นที่สุดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างสมบูรณ์ อยู่ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 40 นาที และผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 120, 60 และ 40 นาทีนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 30 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 30 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 80 และมีความยากในการควบคุมสภาวะในการดำเนินระบบ เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะถูกจำกัดด้วยปริมาณของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบ สำหรับความสามารถในการกำจัดที่แสดงในตารางที่ 10 จะพบว่าเมื่อภาระซัลไฟด์ (SLR) สูงขึ้น ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) จะลดลง โดยที่ภาระซัลไฟด์สูงทำให้ถึงปฏิกรณ์มีความสามารถในการกำจัดได้สูงขึ้น ซึ่งที่ภาระซัลไฟด์ต่ำหรือระยะเวลาการกักเก็บก๊าซนาน ทำให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบมีเวลานานในการสัมผัสกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดมีค่าสูง ในขณะที่ภาระซัลไฟด์สูงหรือระยะเวลาการกักเก็บก๊าซต่ำ ทำให้จุลินทรีย์มีเวลาในการที่จะสัมผัสกับไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อย จึงไม่สามารถที่จะกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างสมบูรณ์จะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะต่ำ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบ ความสามารถในการกำจัดและประสิทธิภาพในการกำจัดในการวิจัยนี้กับการวิจัยของคนอื่น สามารถสรุปได้ในตารางที่ 11 แม้ว่าความสามารถในการกำจัดกำจัดในการทดลองนี้จะต่ำกว่าแต่ในการศึกษานี้ระบบสามารถรับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าการศึกษานี้

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบ ความสามารถในการกำจัดและประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในการศึกษานี้กับเอกสารอื่น

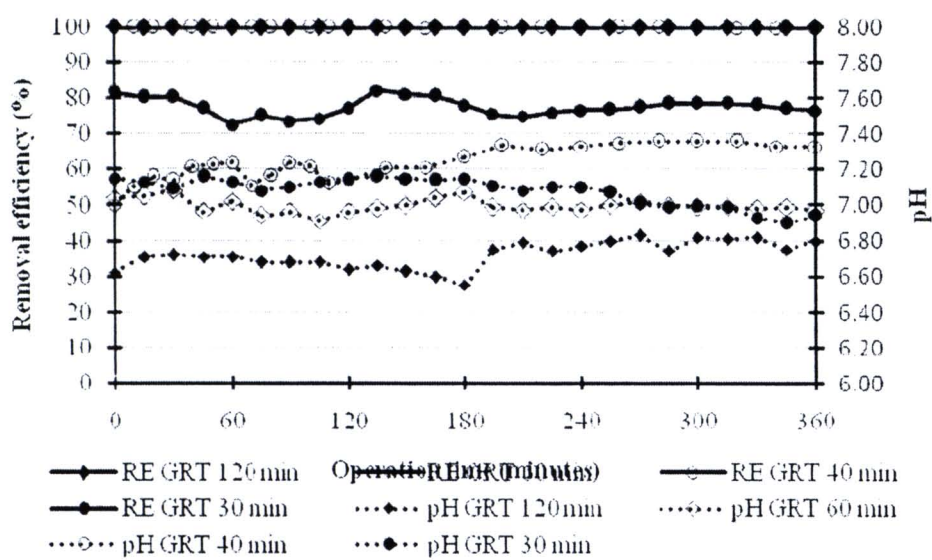
References of research study	[H ₂ S] (ppmv)	EC (g H ₂ S m ⁻³ h ⁻¹)	RE (%)
Chung, et al. (1996)	1 - 60	25	70
Cox and Deshusses (2002)	50 - 170	20	70 - 80
Oyarzun, et al. (2003)	355	55	100
Malhautier, et al. (2003)	46 - 184	28	100
Jones, et al. (2004)	20 -100	14	85
Chung, et al (2005)	27 - 220	6.6	100
Kim, et al. (2008)	10 - 130	8	99
Jiang, et al. (2009)	20 - 400	36	99
Ramirez, et al. (2009)	-	14.9	99.8
Farjah, et al. (2010)	10 - 80	31	90
This study	1500	6.18	99.8

3.2.2 สภาวะแวดล้อมภายในถังปฏิกรณ์ในระหว่างการดำเนินระบบ (Operating condition)

3.2.2.1 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

ในระหว่างการดำเนินระบบ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และค่าการละลายของออกซิเจน (DO) ในถังปฏิกรณ์ได้มีการวัดและติดตามค่าอย่างต่อเนื่อง ในการทดลองนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างได้รักษาไว้ที่ประมาณ 7 เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตธาตุซัลเฟอร์เป็นผลิตภัณฑ์หลักสุดท้ายของจุลินทรีย์ในกลุ่ม SOB (Bosch, 2008) มี SOB หลายสายพันธุ์ เช่น *T. thioparus*, *T. dinitrificans*, *T. novellus* จะเจริญได้ดีในอาหารที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ 6-8 (Syed, et al., 2006) โดยในการที่ทำให้ค่าความเป็นกรดต่างเหมาะสมในสภาวะการเจริญของ SOB เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับถังปฏิกรณ์ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่างที่มีการทดลองนั้นได้แสดงในรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้

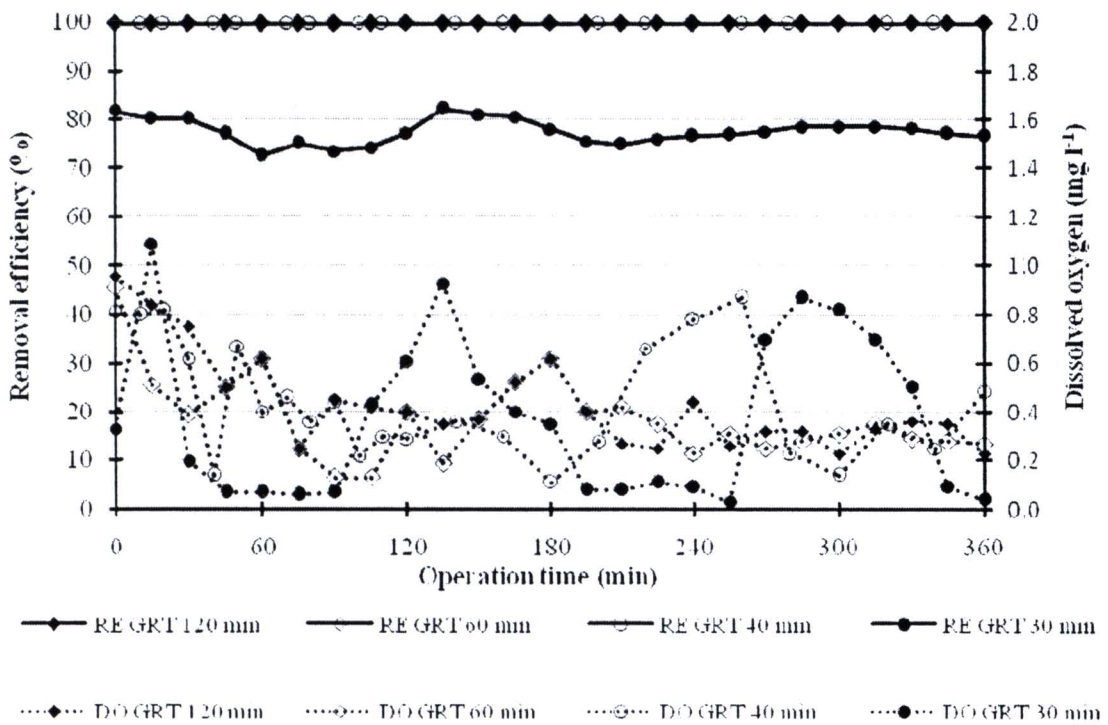
ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างนั้นอยู่ในช่วง 6.6-7.6 ไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (RE) แม้ว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างจะมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ 7.0 ± 0.5 โดยจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงนี้แสดงว่าในระบบนั้นมีบัฟเฟอร์สูง (high buffering capacity) (Dumont, et al., 2008; Filho, et al., 2010) ความสามารถในการที่จะรักษาค่าความเป็นกรดเป็นด่างนั้นเป็นคุณสมบัติที่มีประโยชน์ในการที่จะรักษาและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับถังปฏิกรณ์โดยทำให้มีความเหมาะสมในการเจริญของจุลินทรีย์ที่เกาะอยู่กับวัสดุตัวกลาง



รูปที่ 5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ในระหว่างที่มีการมีการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

3.2.2.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen)

ค่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ควรพิจารณา โดยได้มีการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำในส่วนของเหลวหรือในจุลินทรีย์แขวนลอยในระบบ เนื่องจากว่าออกซิเจนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการควบคุมการออกซิเดชัน (Potivichayanon et al, 2005) ซึ่งการออกซิเดชันของซัลไฟด์หลายชนิดไปเป็นซัลเฟอร์หรือซัลเฟตไดออกไซด์ขึ้นอยู่กับระดับของออกซิเจน (Gonzalez, 2005) ในสภาวะที่ออกซิเจนจำกัด ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเปลี่ยนไปเป็นซัลเฟอร์ให้เป็นผลิตภัณฑ์หลัก ในขณะที่ซัลเฟตจะเกิดขึ้นเมื่อมีออกซิเจนที่มากเกินไปและเมื่อซัลไฟด์ถูกจำกัด (Syed, et al., 2006) เมื่ออัตราส่วนของออกซิเจนต่อซัลไฟด์มีค่าสูง ซัลเฟตจะถูกผลิตขึ้นเนื่องจากว่าจุลินทรีย์ต้องการพลังงานไปใช้ในการเจริญมากกว่าที่จะผลิตซัลเฟอร์ (Janssen, 1995) หากต้องการให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการเป็นซัลเฟอร์ ควรกำหนดให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่เกิน 1.0 mg l^{-1} โดยในรูปที่ 6 แสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำในระหว่างที่มีการดำเนินระบบ



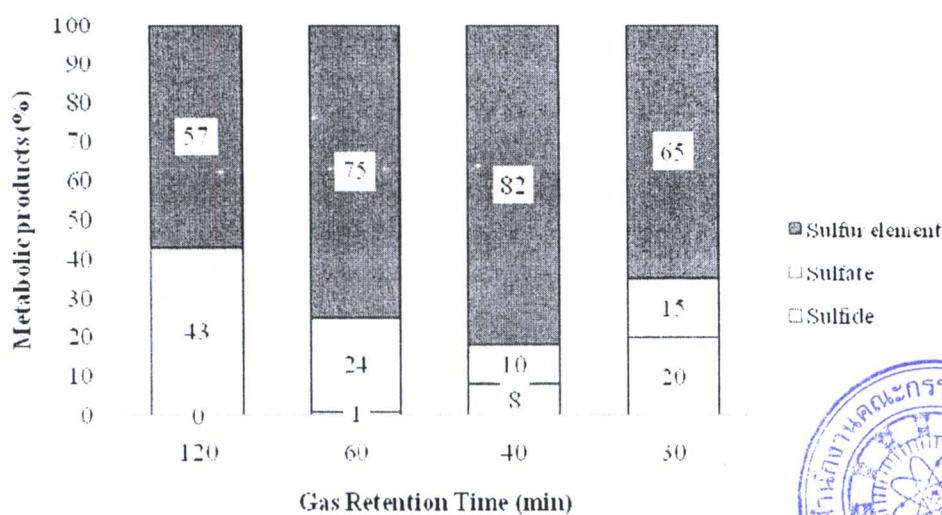
รูปที่ 6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่างที่มีการดำเนินระบบในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำจะลดลงจาก 1.1 ถึง 0.04 mg l⁻¹ ซึ่งการลดลงของออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้นอาจเนื่องมาจากการนำออกซิเจนไปใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยแบคทีเรียที่อยู่ในถังปฏิกรณ์หรือที่เกาะอยู่เป็นฟิล์มชีวที่หนาขึ้นบริเวณผิวของวัสดุตัวกลาง (Devanny, et al., 1999; Potivichayanon, 2005) การควบคุมระดับของออกซิเจนที่ละลายน้ำให้คงที่ตามที่กำหนดด้วยอุปกรณ์ที่มีอยู่นั้นทำได้ยาก การเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้น ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 120, 60 และ 40 นาทีนั้นค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้นจะอยู่ในช่วง ที่ 0.1-1.0 mg l⁻¹ ในขณะที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 30 นาทีจะอยู่ที่ 0.03 ถึง 1.09 mg l⁻¹ เมื่อออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าสูงกว่า 1 mg l⁻¹ นั้นจะมีการป้อนก๊าซไนโตรเจนเข้าไปสู่ระบบเพื่อที่จะลดปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ แต่เมื่อออกซิเจนที่ละลายน้ำในระบบต่ำที่สุดหรือเข้าใกล้ 0 mg l⁻¹ ก็จะมีการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ระบบ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 30 นาที ค่าออกซิเจนละลายน้ำจะต่ำและสูงกว่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาการกักเก็บก๊าซอื่นๆ เนื่องจากว่าที่อัตราการไหลที่สูงสุดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เมื่อออกซิเจนที่ละลายน้ำเข้าใกล้ 0 mg l⁻¹ จะมีการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ระบบในระยะเวลาสั้นๆ โดยประสิทธิภาพการกำจัดที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ 30 นาทีก็มีความผันผวนเนื่องมาจากค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อมีการป้อนออกซิเจนเข้าไปในระบบจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทั่วไปแล้วเมื่อป้อนออกซิเจนเข้าสู่ระบบ ออกซิเจนจะเข้าไปเจือจางไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เข้าสู่ระบบจึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงขึ้น โดยประสิทธิภาพในการกำจัดจะสูงขึ้นเมื่อปริมาณของออกซิเจนที่ป้อนเข้าสู่ระบบอยู่ในช่วงที่เหมาะสม จากผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าเมื่อภาระซัลไฟด์สูงขึ้น ออกซิเจนละลายน้ำจึงถูกจุลินทรีย์ดึงไปใช้ในกระบวนการออกซิเดชันมากขึ้นซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ Burgess, et al. (2001) โดยได้รายงานว่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของออกซิเจนต่อไฮโดรเจนซัลไฟด์ควรอยู่ที่ 100:1 v/v

3.2.3 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น (Metabolic products)

ในระหว่างที่มีการดำเนินระบบ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำในถังปฏิกรณ์จะมีการควบคุมอยู่ที่ 7.0 ± 0.5 และ < 1.0 mg l⁻¹ ตามลำดับ โดยในการย่อยสลายไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเกิดผลิตภัณฑ์เช่น ซัลไฟด์ ซัลเฟต

และซัลเฟอร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะและจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบด้วย (Dumont, et al., 2008) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในระบบได้แสดงในรูปที่ 7 ในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในรูปของซัลเฟอร์ ซัลไฟด์ และซัลเฟต จากรูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ซัลไฟด์มีปริมาณน้อยที่สุดคือมีค่า 0, 1.29, 33.62 and 95.16 mg l⁻¹ หรือร้อยละ 0, 1, 8 and 19 ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 120, 60, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ ทั้งนี้ที่พบซัลไฟด์ในปริมาณต่ำ เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ไม่คงตัวจึงสามารถที่จะถูกออกซิไดส์ได้ง่าย (Vannini, et al., 2008) ส่วนซัลเฟตที่เกิดขึ้นมีค่า 56.89, 61.32, 37.65 และ 67.59 mg l⁻¹ หรือร้อยละ 43, 24, 10 และ 13 ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 120, 60, 40 และ 30 นาที ตามลำดับ ยิ่งไปกว่านั้นซัลเฟอร์ที่พบในระบบมีค่าสูงที่สุด คือร้อยละ 57, 75, 82 และ 68 หรือ 75.17, 191.49, 330 และ 302.54 mg l⁻¹ ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 120, 60, 40 และ 30 นาทีตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jansen, et al., (1995) ที่พบซัลเฟอร์อยู่ประมาณร้อยละ 60 – 80 เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ปริมาณของออกซิเจนที่จำกัดนั้นจะส่งผลให้การย่อยสลายซัลไฟด์กลายเป็นซัลเฟอร์มากกว่าที่จะเป็นซัลเฟต ในทางตรงกันข้ามจากการศึกษาของ Ramirez, et al. (2009) และ Chaiprapat, et al. (2010) นั้นได้ใช้ *Thiobacillus thioparus* ATCC 23645 และ *Alcaligenes faecalis* T307 ในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์และพบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่แล้วคือ ซัลเฟต ซึ่งจะเห็นได้ว่าซัลเฟอร์จะเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม โดยค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำจะถูกควบคุมในระดับ 0.5 mg l⁻¹ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าที่อัตราการไหลสูงกว่าหรือระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่สั้น ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของซัลไฟด์อยู่ในส่วนของจุลินทรีย์แขวนลอย ยกตัวอย่างเช่น ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ GRT 40 นาที ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นคือ ซัลเฟอร์ (ร้อยละ 82) ในขณะที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 30 นาที ผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นคือ ซัลเฟอร์ (ร้อยละ 65) และพบซัลไฟด์ในปริมาณมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 30 นาทีที่มีค่าผันผวนทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถที่จะย่อยสลายไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นรูปแบบอื่นเนื่องจากระยะเวลาในการสัมผัสที่สั้นกว่า



รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในการทดลอง



3.2.4 ผลของสภาวะในการดำเนินระบบต่อประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

ในตารางที่ 12 ได้แสดงให้เห็นถึงข้อมูลเกี่ยวกับถึงปฏิกรณ์ในแต่ละระยะเวลาการกักเก็บก๊าซที่ต่างๆ โดยจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 120, 60 และ 40 นาทีมีค่ามากกว่าร้อยละ 99.8 ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะน้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ระยะเวลาการกักเก็บก๊าซ (GRT) 30 นาที ส่วนสภาวะแวดล้อมในถังปฏิกรณ์ไม่ว่าค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำและค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่ควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ SOB ในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้เป็น metabolic products ตามที่ต้องการ คือ ซัลเฟอร์ (S⁰) จึงเป็นสิ่ง