

การลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบผลิตก๊าซด้วย กระบวนการทางชีวภาพ

วรรณพร วัฒนสุนทร^{1,5} วิษณุ สีโหน^{2,5} เฉลิมชัย เรืองชัยนิคม³ ปัญญามี สัจจกมล³
อรทัย ชวาลภาฤทธิ์² สุภาภรณ์ จุฬาลักษณ์านุกุล⁴ และ วรวิภา จุฬาลักษณ์านุกุล^{5,6,7*}

บทคัดย่อ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นับเป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบได้ทั้งในธรรมชาติ ท่อน้ำทิ้ง บ่อน้ำมันดิบ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงของเสียภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมีผลกระทบต่อสุขภาพในสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม รวมทั้งการกัดกร่อนของเครื่องมือ ปัจจุบันมีหลายวิธีการที่สามารถลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบต่างๆ อย่างไรก็ตาม การนำวิธีทางชีวภาพมาใช้เพื่อลดก๊าซซัลไฟด์นี้โดยการใช้จุลินทรีย์นับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ ในบทความนี้จะกล่าวถึง สาเหตุการเกิดและผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ บทบาทของแบคทีเรียในกลุ่มซัลเฟอร์ออกซิไดซิงค์ (Sulfur-Oxidizing Bacteria) หรือ เอสโอบี (SOB) และแบคทีเรียในกลุ่มไนเตรไรดิวซิงค์ซัลไฟด์ออกซิไดซิงค์ (Nitrate-Reducing, Sulfide-Oxidizing Bacteria) หรือ เอ็นอาร์-เอสโอบี (NR-SOB) ในการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น รวมถึงการคัดแยกเอสโอบีและเอ็นอาร์-เอสโอบีจากแหล่งต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน

คำสำคัญ: ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แบคทีเรียซัลเฟอร์ออกซิไดซิงค์ แบคทีเรียไนเตรไรดิวซิงค์ซัลไฟด์ออกซิไดซิงค์

¹หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท.

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

⁵หน่วยปฏิบัติการวิจัยการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยตัวเร่งชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

⁶ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

⁷สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน, email: warawut.c@chula.ac.th

Hydrogen Sulfide Reduction in Gas Production Systems by Biological Processes

Wannapawn Watsuntorn^{1,5} Witsanu Seehone^{2,5}
Chalermchai Ruangchainikom³ Panyamee Sachakamol³
Orathai Chavanparit² Suphang Chulalaksananukul⁴
and Warawut Chulalaksananukul^{5,6,7*}

ABSTRACT

Hydrogen sulfide is a crucial problem found in nature, sewage, oil reservoir, biogas production, as well as wastewater under strictly anaerobic condition. Hydrogen sulfide causes a wide range of effects to human health, environment, equipment corrosion. Using microorganism to convert hydrogen sulfide to elemental sulfur is a potential method since this method is safe, environmentally friendly and saves cost. This article; therefore, reviews the effect of hydrogen sulfide, the role of sulfur-reducing bacteria or SOB and nitrate-reducing, sulfide-oxidizing bacteria or NR-SOB in the hydrogen sulfide removal, and the isolation of SOB and NR-SOB from many sources for using to reduce hydrogen sulfide that occurs presently.

Keywords: Hydrogen sulfide, Sulfur-reducing bacteria, Nitrate-reducing, Sulfide-oxidizing bacteria

¹ Program in Biotechnology, Faculty of Science, Chulalongkorn University

² PTT research & Technology Institute

³ Department of Chemical engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

⁴ Department of Chemical engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

⁵ Biofuels by Biocatalysts Research Unit, Faculty of Science, Chulalongkorn University

⁶ Department of Botany, Faculty of Science, Chulalongkorn University

⁷ Aquatic Resources Research Institute, Chulalongkorn University

* Corresponding author, email: warawut.c@chula.ac.th

บทนำ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดขึ้นในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลชีวภาพ จากการย่อยสลายสารจำพวกโปรตีนหรือสารที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน [1] ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่พบในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้น โดยมีปริมาณ 0.1-2% ของก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยพบว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการผลิตปุ๋ยธรรมชาติและของเสียจากอุตสาหกรรมมีการปลดปล่อยปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูง อีกทั้งก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังสามารถเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงกลั่นปิโตรเลียม อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ และอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เป็นต้น [2] นอกจากกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์แล้วก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นยังมีความเป็นพิษสูง การได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือก และทำให้เกิดอาการปวดหัววิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้พะอืดพะอม หากได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับความเข้มข้นที่สูงสามารถทำให้หมดสติได้ หรือหากได้รับก๊าซชนิดนี้ที่ความเข้มข้นมากกว่า 700 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจร้ายแรงจนนำไปสู่การเสียชีวิตได้ รวมถึงปัญหาสำคัญอีกประการของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในด้านอุตสาหกรรม คือสามารถกัดกร่อนภายในอุปกรณ์เครื่องจักรจนเกิดความเสียหาย [2]

ปัจจุบันการกำจัดหรือลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในทางพาณิชย์ยังคงใช้วิธีทางเคมี เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและมีประสิทธิภาพ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก [2] การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำได้หลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การใช้สารเคมี การออกซิเดชันโดยใช้ความร้อนหรือเทอร์มอลออกซิเดชัน (Thermal Oxidation) โดยพบว่ากระบวนการคลอส (Claus Process) เป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมในการลด หรือกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในทางอุตสาหกรรม โดยในขั้นแรกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์บางส่วนถูกออกซิไดซ์ด้วยอากาศไปเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หลังจากนั้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ผสมกันจะทำปฏิกิริยากัน ซึ่งมีบอกไซต์ (Bauxite) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์เป็นซัลเฟอร์ (S^0) และน้ำ พบว่า 90-95% ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ ส่วนที่เหลือจะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือซัลเฟอร์ต่อไป [2] วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยวิธีทางเคมีเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก [2] ดังนั้นการใช้วิธีทางชีวภาพเพื่อกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจเนื่องจากเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีทางเคมีและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide)

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารประกอบที่ได้จากราซัลเฟอร์ ลักษณะทางกายภาพเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไร้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ คล้ายไข่เน่า ก๊าซชนิดนี้มีชื่อเรียกอื่นๆ อีกหลายชื่อ เช่น กรดไฮโดรซัลฟิวริก ก๊าซทอระบายน้ำ เป็นต้น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ [6]

สมบัติ	ข้อมูล
สูตรเคมี	H ₂ S
น้ำหนักโมเลกุล	34.08
สี	ไม่มีสี
สถานะ	ก๊าซ
จุดหลอมเหลว	-85.49 °C
จุดเดือด	-60.33 °C
ความดันไอ	15,600 mmHg ที่ 25 °C
ความหนาแน่น	1.5392 g/L ที่ 0 °C, 760 mmHg
กลิ่น	คล้ายไข่เน่า
ค่าคงที่การแตกตัว	pK _a (1) = 7.04, pK _a (2) = 11.96
อุณหภูมิวิกฤติ	100.4 °C
ความดันวิกฤติ	88.9 atm
การละลายน้ำ	ละลาย: 3980 mg/L ที่อุณหภูมิ 20 °C

ผลกระทบของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พบได้ในธรรมชาติ บ่อน้ำมันดิบ กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โรงงานกระดาษ โรงงานแป้งมันฝรั่ง อุตสาหกรรมน้ำมันพืช รวมถึงแหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อด้านอุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม และที่สำคัญยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอีกด้วย

- ผลกระทบในด้านอุตสาหกรรม

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้เกิดกรดซัลฟิวริกก่อให้เกิดการกัดกร่อนของอุปกรณ์ เครื่องจักร ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเครื่องจักร [3]

- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเมื่อออกสู่ชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ โดยเมื่อสัมผัสสู่บรรยากาศ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟต เมื่อรวมตัวกับไอน้ำหรือฝนทำให้มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งมีผลกระทบต่อพืชทำให้พืชเติบโตช้า หากไหลลงในแหล่งน้ำทำให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ได้ [4] สาธารณรัฐนามิเบียเป็นแห่งหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเกิดขึ้นห่างจากบริเวณชายฝั่งของสาธารณรัฐนามิเบียประมาณ 150 เมตร เนื่องมาจากลักษณะของกระแสบริเวณนั้นเป็นแบบน้ำผุด (Upwelling) ดังนั้นกระแสน้ำเย็นจะนำสารอาหารจากใต้ทะเลขึ้นมาซึ่งผิวน้ำทำให้พืชน้ำสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อพืชเหล่านั้นตายและตกลงก้นทะเลจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งมีความเป็นพิษต่อปลาและสัตว์ทะเลอื่นๆ รวมถึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ของชายฝั่งอีกด้วย [5]

- ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต

เมื่อสิ่งมีชีวิตได้สูดดมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ความเข้มข้นต่ำไปยังความเข้มข้นสูงล้วนมีผลกระทบต่อระบบต่างๆ ในร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 2 หากมนุษย์ได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับที่ต่ำอาจทำให้เกิดอาการเวียนหัว อาเจียน รวมถึงมีอาการมวนท้อง และเมื่อได้รับในปริมาณมากขึ้น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะไปทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ในกระแสเลือด และไปยับยั้งกระบวนการหายใจในระดับเซลล์ นำไปสู่การหายใจที่เป็นอัมพาตและเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตได้ [2, 6]

ตารางที่ 2 แสดงระดับของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ผลที่เกิดขึ้น	แหล่งอ้างอิง
0.011	เริ่มได้รับกลิ่น	Amoore & Hautala., 1983 [7]
2.8	เกิดภาวะหลอดลมหดตัวในผู้ที่เป็โรคหืด	Jappinen <i>et al.</i> , 1990 [8]
5.0	อาการระคายเคืองตา	Vanhoorne <i>et al.</i> , 1995 [9]
7-14	ความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดเพิ่มขึ้น ลดกิจกรรมของเอนไซม์ซีเตรท ซินเทสใน กล้ามเนื้อลาย ลดการนำเข้าของก๊าซออกซิเจน	Bhambhani & Singh, 1991 [10]; Bhambhani <i>et al.</i> , 1996, 1997 [11, 12]
28	มีอาการปวดหัว อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ รวมถึงมีผลกระทบต่อความจำ	Ahlhorg, 1951 [13]
> 140	ประสาทรับกลิ่นไม่ทำงาน	Hirsch & Zavala, 1999 [14]
> 560	เกิดภาวะหายใจลำบาก	Spolyar, 1951 [15]
≥ 700	ถึงแก่ชีวิต	Beauchamp <i>et al.</i> , 1984 [16]

การเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากแบคทีเรียในกลุ่มรีดิวซิงค์ซัลเฟต

(Sulfate Reducing Bacteria)

สาเหตุหลักของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดจากแบคทีเรียในกลุ่มรีดิวซิงค์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria) หรือ เอสอาร์บี (SRB) แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถใช้ซัลเฟต (Sulfate; SO_4^{2-}) และไฮโดรเจน (Hydrogen; H_2) เป็นแหล่งพลังงาน โดยใช้ซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายแทนการใช้ ออกซิเจนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเป็นแหล่งพลังงานผ่านกระบวนการซัลเฟตรีดักชัน (Sulfate Reduction) โดยรีดิวซิงค์ซัลเฟตประกอบซัลเฟตได้เป็นซัลไฟด์ดังสมการที่ 1 [17]



โดยการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ เกิดจากเอสอาร์บีใช้ซัลเฟตเป็นสารตั้งต้นเปลี่ยนเป็นอะดีโนซีนฟอสโฟซัลเฟต (Adenosine Phosphosulfate) หรือ เอพีเอส (APS) โดยเอนไซม์ซัลเฟตอะดีนิลิลทรานสเฟอเรส (Sulfate Adenylyltransferase) หลังจากนั้นเอพีเอสจะถูกเอนไซม์เอพีเอสรีดักเทส (APS Reductase) เปลี่ยนเป็นซัลไฟต์ (Sulfite; SO_3^{2-}) และซัลไฟด์ (Sulfide; S^{2-}) ตามลำดับ [18, 19, 20] ดังแสดงรูปที่ 1 ซัลไฟต์ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนในน้ำได้เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในที่สุด



รูปที่ 1 การเกิดซัลไฟด์จากเอสอาร์บี [19]

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถทำได้ทั้งวิธีกายภาพและเคมีโดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 3 โดยวิธีทางกายภาพ เช่น กระบวนการนาโนฟิลเทรชัน (Nanofiltration) เป็นวิธีการกำจัดซัลเฟตซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่นำไปสู่การเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมถึงวิธีทางเคมี ซึ่งเป็นการนำสารเคมีมาใช้ในการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือการใส่สารเพื่อยับยั้งเอสอาร์บีซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่น กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) หรือ โคโคไดเอมีน (Cocodiamine) [21] วิธีทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้สารเคมีเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม [2] อีกทั้งการใช้สารไบโอไซด์ (Biocide) ยังมีความเป็นพิษและบางชนิดเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย จึงนำไปสู่การนำวิธีทางชีวภาพมาใช้เพื่อลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

วิธีการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	ข้อดี	ข้อเสีย	แหล่งอ้างอิง
วิธีทางกายภาพ	เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำ	สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ในปริมาณที่ต่ำ ในบางกระบวนการมีความร้อนเกิดขึ้น ทำให้ยากแก่การควบคุม	Syed <i>et al.</i> , 2006 [2]
วิธีทางเคมี	ให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูง	มีค่าใช้จ่ายที่สูง สารเคมีบางตัวมีความเป็นพิษส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ ก่อให้เกิดปัญหาแก๊สแวนดัล้อม	จันทิมา., 2551 [22] Syed <i>et al.</i> , 2006 [2]
วิธีทางชีวภาพ	เป็นวิธีที่ประหยัด ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูง	ใช้พื้นที่ในการติดตั้งเป็นจำนวนมาก หากออกแบบมาเป็นระบบ	Syed <i>et al.</i> , 2006 [2] ปัทมา., 2552 [4]

การใช้วิธีทางชีวภาพโดยใช้แบคทีเรียเพื่อลดปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การใช้วิธีทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยนำมาใช้เพื่อกำจัดหรือลดปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ประหยัด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แบคทีเรียกลุ่มหลักๆ ที่มีบทบาทในการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้แก่

แบคทีเรียในกลุ่มซัลเฟอร์ออกซิไดซิงค์ (Sulfur-Oxidizing Bacteria) หรือ เอสโอบี (SOB)

แบคทีเรียกลุ่มซัลเฟอร์ออกซิไดซิงค์เป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรซัลเฟอร์ในธรรมชาติ สามารถใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเป็นแหล่งพลังงานโดยให้อยู่ในรูปของซัลเฟอร์หรือซัลเฟตผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันบางส่วน ในสถานะที่มีออกซิเจนจำกัดจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นซัลเฟอร์ หรืออาจเกิดเป็นซัลเฟตในกรณีที่ซัลไฟด์มีปริมาณจำกัด โดยมีปฏิกิริยาอื่นๆที่เกี่ยวข้องแสดงในตารางที่ 4 แบคทีเรียกลุ่มนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่น กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ แบคทีเรียกลุ่ม *Thiobacillus* sp. เป็นตัวอย่างแบคทีเรียในกลุ่มของเอสโอบีที่มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดซัลไฟด์ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ในสถานะที่หลากหลาย เช่น สถานะที่เป็นกรดมาก สถานะที่มีออกซิเจนน้อย [2]

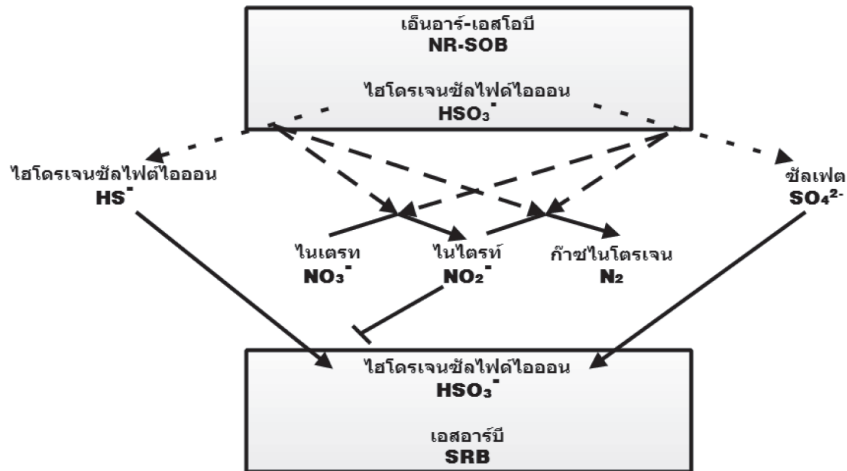
ตารางที่ 4 แสดงปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับแบคทีเรียในกลุ่มที่ใช้พลังงานจากปฏิกิริยาเคมี (Chemotrophic Bacteria) [2]

แบคทีเรีย	กลไกของปฏิกิริยา	แหล่งอ้างอิง
<i>Thiobacillus thiooparus</i>	$2\text{HS}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{OH}^-$	Chung <i>et al.</i> , 1996 [23]
	$2\text{S} + 3\text{O}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	
	$\text{H}_2\text{S} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	Kim <i>et al.</i> , 2002 [24]
<i>Thiobacillus denitrificans</i>	$3\text{HS}^- + 3.9\text{NO}_3^- + 0.2\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + 1.7\text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_{1.8}\text{O}_{0.5}\text{N}_{0.2} + 1.9\text{N}_2 + 3\text{SO}_4^{2-} + 2.3\text{H}_2\text{O}$	Kleerebezem and Mendez., 2002 [25]
	$14.5\text{HS}^- + 5\text{NO}_3^- + 0.2\text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + 20.3\text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_{1.8}\text{O}_{0.5}\text{N}_{0.2} + 2.5\text{N}_2 + 14.5\text{S} + 27.4\text{H}_2\text{O}$	
	$55\text{S} + 20\text{CO}_2 + 50\text{NO}_3^- + 38\text{H}_2\text{O} + 4\text{NH}_4^+ \rightarrow 4\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} + 25\text{N}_2 + 55\text{SO}_4^{2-} + 64\text{H}^+$	Lampe and Zhang., 1996 [26]
	$5\text{HS}^- + 8\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ \rightarrow 5\text{SO}_4^{2-} + 4\text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	McComas and Sublette., 2001 [27]
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	$2\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$	Mesa <i>et al.</i> , 2002 [28]
	$2\text{FeS}_2 + 7.5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$	Takano <i>et al.</i> , 1997 [29]

แบคทีเรียในกลุ่มไนเตรตรีดิวซิงค์ ซัลไฟด์ออกซิไดซิงค์ (Nitrate-Reducing, Sulfide-Oxidizing Bacteria) หรือ เอ็นอาร์-เอสโอบี (NR-SOB)

แบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้ซัลไฟด์เป็นแหล่งพลังงานเช่นเดียวกับเอสโอบี แต่ถ้าแบคทีเรียสามารถใช้ไนเตรท (NO_3^-) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนผ่านปฏิกิริยารีดักชันได้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) จะจัดเป็นแบคทีเรียในกลุ่มเอ็นอาร์-เอสโอบี ไนไตรท์ที่เกิดสามารถยับยั้งเอสอาร์บีซึ่งเป็นสาเหตุหลักในการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยยับยั้งที่เอนไซม์ซัลไฟด์รีดักเตส (Sulfite Reductase) ในเอสอาร์บี จากการทดลองในแหล่งน้ำมันปิโตรเลียมพบว่า เมื่อใส่ *Thiomicrospira denitrificans* สายพันธุ์ CVO ซึ่งอยู่ในกลุ่มเอ็นอาร์-เอสโอบีและไนเตรทลงไปพบว่า ค่ารีดอกซ์มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งเอสอาร์บี เนื่องจากเอสอาร์บีไม่สามารถเจริญได้ในบริเวณที่ค่ารีดอกซ์มีค่าที่สูงและทำให้ความเข้มข้นของซัลไฟด์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งยังพบว่าเอ็นอาร์-เอสโอบีและเอสอาร์บีมีความสัมพันธ์แบบอยู่ร่วมกัน [30] โดยเอสอาร์บี

รีดิวซ์ซัลเฟตที่มีอยู่เป็นซัลไฟด์ หลังจากนั้นเอ็นอาร์-เอสโอบีนำอิเล็กตรอนซึ่งได้รับอิเล็กตรอนจากกระบวนการออกซิเดชันซัลไฟด์ ไปรีดิวซ์ไนเตรทได้เป็นไนโตรเจนโดยผ่านสารตัวกลาง คือ ไนไตรท์ ซึ่งไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจะไปยับยั้งกระบวนการรีดักชันที่จะเปลี่ยนซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ ดังแสดงในรูปที่ 2 [31]



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์แบบการอยู่ร่วมกันระหว่างเอ็นอาร์-เอสโอบีและเอสอาร์บี [31]

เทคโนโลยีทางชีวภาพสำหรับควบคุมการปลดปล่อยไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบท่อน้ำเสีย

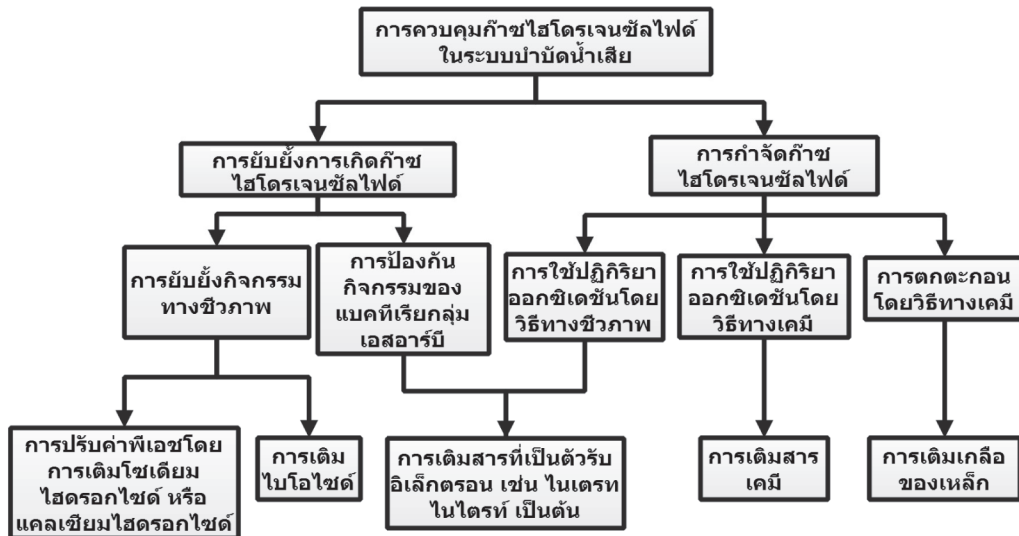
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซชนิดหนึ่งซึ่งปล่อยจากระบบท่อน้ำเสียก่อให้เกิดปัญหาในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการทำให้เกิดการกัดกร่อนของคอนกรีต กลิ่นของก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นเมื่อออกสู่บรรยากาศ รวมถึงอันตรายต่อคนงานหากได้รับการสูดดม โดยปัญหาการกัดกร่อนคอนกรีตพบว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 0.1-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดการกัดกร่อนในปริมาณเล็กน้อย หากได้รับความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่รุนแรงในคอนกรีต ในลาสเวกัส ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า 10% ของท่อน้ำเสียมีการกัดกร่อนจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมสูงถึง 400 ล้านดอลลาร์/ปีเช่นเดียวกับในประเทศเยอรมันซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 100 พันล้านยูโรต่อปี [32]

การแก้ปัญหาการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบท่อน้ำเสียมีหลายวิธี เช่น

1. การออกแบบระบบท่อระบายน้ำให้มีการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในปริมาณที่น้อย
2. การใช้เทคโนโลยีควบคุมปริมาณซัลเฟตให้ลดลง
3. การปรับปรุงท่อให้สามารถทนต่อการกัดกร่อนจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้
4. การลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ปล่อยจากระบบท่อน้ำเสีย

การเพิ่มคาร์บอนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอสอาร์บีและลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยการปรับพีเอชหรือใส่สารยับยั้ง ได้แก่ โมลิบเดต [32]

นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่นๆ ในทางเคมีและชีวภาพที่ใช้ในการควบคุมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบน้ำเสีย โดยมีทั้งการยับยั้งและกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3 เช่น การเติมเกลือของเหล็ก หรือการตกตะกอนของเฟอร์รัสซัลไฟด์ เพื่อกำจัดซัลไฟด์ที่สามารถละลายได้จากท่อน้ำเสีย การใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือคลอรีนเพื่อออกซิไดซ์ซัลไฟด์ทำให้ปริมาณของซัลไฟด์มีปริมาณที่ลดลง รวมถึงการใส่ไนเตรทหรือไนไตรท์ร่วมกับเอ็นอาร์-เอสโอบีเพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ได้เป็นอนุพันธ์ของซัลเฟอร์ [32]



รูปที่ 3 การใช้วิธีทางเคมีและชีวภาพในการควบคุมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบน้ำเสีย

สำหรับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยวิธีทางชีวภาพ สามารถใช้แบคทีเรียหลากหลายสายพันธุ์ที่อยู่ในกลุ่มเอสโอบีและเอ็นอาร์-เอสโอบีในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากบ่อน้ำมันและระบบท่อน้ำเสีย ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวภาพ โดย *Thiomicrospira denitrificans* และ *Thiobacillus denitrificans* เป็นตัวอย่างของแบคทีเรียที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะที่มีไนเตรทอยู่ ดังเช่นในการทดลองของ Nematı และคณะ [30] ใช้แบคทีเรียในกลุ่ม *Thiomicrospira denitrificans* กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดในบริเวณบ่อน้ำมัน พบว่าสามารถยับยั้งการเกิดของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และยังยับยั้งเอสอาร์บีซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ นอกจากนี้แบคทีเรีย *Beggiatoa* sp. ยังเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่มีการนำไปใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถออกซิไดซ์ซัลไฟด์ได้เป็นซัลเฟอร์เก็บไว้ภายในเซลล์และเกิดผลิตภัณฑ์เป็นซัลเฟตต่อไป [32]

จากประโยชน์ที่พบในแบคทีเรียดังกล่าวไว้ข้างต้น การคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียมีความสำคัญอย่างมากในการกำจัดหรือลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงนำไปสู่การศึกษาเกี่ยวกับการคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้แหล่งในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่แตกต่างกันดังนี้

การคัดแยกเชื้อจากน้ำเสียจากโรงงานยางพารา

ดวงพร และคณะ [33] คัดแยกเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Thiobacillus* spp. จากน้ำเสียจากแหล่งบ้านเรือนและโรงงานแปรรูปน้ำยางพารา ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถใช้แหล่งอาหารและคาร์บอนจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน พีเอช และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ 6.5 และ 30-35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อนำแบคทีเรียกลุ่มนี้ไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีสารซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ พบว่า *Thiobacillus* sp. WI1 สามารถลดค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ได้มากที่สุด โดยลดถึง 54% ส่วนบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ลดได้ถึง 33% ในขณะที่ *Thiobacillus* sp. WI4 สามารถลดค่าบีโอดีได้สูงสุดคิดเป็น 83% ส่วนซีโอดีลดได้ถึง 46% การทดลองครั้งนี้นับว่าเป็นประโยชน์มากเนื่องจากในประเทศไทยมีโรงงานยางพาราอยู่มาก อีกทั้งในแบคทีเรียกลุ่ม *Thiobacillus* spp. ที่มีอยู่แล้วในแหล่งน้ำเสียและโรงงานแปรรูปยางพารา มาใช้ในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นวิธีที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพอีกด้วย

Kantachote และคณะ [34] คัดแยกแบคทีเรีย *Alcaligenes* spp. ซึ่งเป็นเอสโอบีจากน้ำเสียจากโรงงานยางพาราทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้การตรวจสอบทางด้านสัณฐานวิทยา สรีรวิทยา ชีวเคมี และนำเชื้อแบคทีเรียที่ได้มาทดสอบประสิทธิภาพการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากน้ำเสียในถังปฏิกรณ์ซัลเฟต ก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่าสามารถลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นและก๊าซมีเทนยังมีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกด้วย การทดลองนี้เป็นการทดลองที่คล้ายคลึงกับการทดลองข้างต้นแต่มีการอธิบายถึงขั้นตอนการทดลองที่ละเอียดกว่า มีการนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ไปทดสอบความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และทำให้เห็นถึงประโยชน์ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อาจมีการต่อยอดงานวิจัยนี้เพื่อนำไปใช้ลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับที่สูงขึ้น เช่น ระดับนำร่อง (Pilot Scale) ระดับโรงงาน (Plant Scale) ได้ในอนาคต

การคัดแยกเชื้อจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge)

Luo และคณะ [35] คัดแยกแบคทีเรียได้ 8 กลุ่มได้แก่ *Acinetobacter*, *Rhodopseudomonas*, *Pseudomonas*, *Halothiobacillus*, *Ochrobactrum*, *Paracoccus*, *Thiobacillus*, และ *Alcaligenes* โดยคัดแยกแบคทีเรียทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลทางประวัติชาติพันธุ์ (Phylogeny) โดยใช้ข้อมูลของยีน 16s rRNA จากแถบดีเอ็นเอด้วยเทคนิคดีจีจีอี (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis, DGGE) จากข้อมูลเทคนิคดีจีจีอีและการตรวจสอบความสามารถในการออกซิไดซ์ไทโอซัลเฟต พบว่า *Halothiobacillus* และ *Rhodopseudomonas* มีความสามารถในการออกซิไดซ์ไทโอซัลเฟตได้สูงสุดและเป็นแบคทีเรียหลักที่พบได้ในการทดลอง

Zhang และคณะ [36] ได้เก็บตัวอย่างจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ เพื่อคัดเลือกเอ็นอาร์-เอสโอบี จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียในกลุ่ม *Paracoccus* โดยตรวจสอบจากข้อมูลทางประวัติชาติพันธุ์ พบว่าแบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอช 7 และทำการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการเปลี่ยนรูปไทโอซัลเฟต ไนเตรท-ไนโตรเจน ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน

การคัดเลือกแบคทีเรียทั้ง 2 วิธีข้างต้นใช้เทคนิคในการคัดเลือกที่แตกต่างกัน อีกทั้งเป็นการทดลองนี้เป็นเพียงการคัดแยกแบคทีเรียในกลุ่มเอสโอบี ยังไม่มีการนำแบคทีเรียที่คัดแยกได้ไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ควรนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในระบบต่างๆ

การคัดแยกเชื้อจากบ่อน้ำมัน

Gevertz และคณะ [37] เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำมันแห่งหนึ่งในประเทศแคนาดา และเมื่อนำข้อมูลจากลำดับเบสสายดีเอ็นเอของยีน 16s rRNA มาจัดเป็นประวัติชาติพันธุ์พบว่า เป็นแบคทีเรียในกลุ่ม *Thiomicrospira denitrificans* สายพันธุ์ CVO และแบคทีเรียสายพันธุ์หนึ่งที่ตั้งชื่อว่า FWKO มีความใกล้เคียงกับยีสต์ *Arcobacter* พบว่าแบคทีเรียทั้งสองสายพันธุ์ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน โดยสายพันธุ์ CVO ใช้ซัลไฟด์และอนุพันธ์ของซัลเฟอร์เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ในขณะที่สายพันธุ์ FWKO สามารถใช้ได้ทั้งไฮโดรเจน ฟอรัมเมต และซัลไฟด์ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 5-40 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์ CVO สามารถเจริญได้โดยผ่านกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ของไนเตรท หรือไนไตรท์ ในขณะที่สายพันธุ์ FWKO เจริญได้โดยผ่านกระบวนการรีดักชันจากไนเตรทเป็นไนไตรท์เท่านั้น งานวิจัยนี้นับว่าเป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์เนื่องจากการนำแบคทีเรียในกลุ่ม *Thiomicrospira denitrificans* สายพันธุ์ CVO ที่คัดเลือกได้จากงานวิจัยนี้มาใช้ประโยชน์เพื่อยับยั้งการเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ร่วมกับไนเตรท อีกทั้งยังสามารถควบคุมเอสตารีบ์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในแหล่งน้ำมันได้อีกด้วย [31]

การคัดแยกเชื้อจากแหล่งน้ำใต้ดิน

Kodama และคณะ [38] สามารถคัดแยกเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ YK-1 จากแหล่งน้ำใต้ดินซึ่งมีความใกล้เคียงกับแบคทีเรียสายพันธุ์ *Thiomicrospira denitrificans* โดยมีความคล้ายคลึงกัน 90% โดยตรวจสอบจากข้อมูลของยีน 16s rRNA จากผลการทดลองพบว่า เป็นแบคทีเรียที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานใช้ซัลไฟด์ อนุพันธ์ของซัลเฟอร์ ไทโอซัลเฟต และใช้ในเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และพบว่าแบคทีเรียสายพันธุ์นี้ไม่สามารถเจริญในน้ำมันดิบได้เนื่องจากไม่ได้ใช้แหล่งคาร์บอนเป็นน้ำมันดิบ แต่สามารถเจริญได้หากแหล่งน้ำมันดิบนั้นมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจึงนำไปได้ว่าแบคทีเรียชนิดนี้ใช้น้ำมันดิบเป็นตัวให้อิเล็กตรอนไม่ใช่แหล่งคาร์บอน เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของ Gevertz [37] พบว่าการเติมซัลเฟตในบริเวณผิวน้ำของแหล่งน้ำมันมีความสำคัญต่อวัฏจักรของซัลเฟอร์ แต่ในงานวิจัยนี้พบว่าซัลเฟตสามารถเกิดขึ้นได้จากแบคทีเรียสายพันธุ์ YK-1 โดยเกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชันของซัลไฟด์

จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า สามารถคัดแยกแบคทีเรียเอสโอบีและเอ็นอาร์-เอสโอบีได้จากหลากหลายแหล่งไม่ว่าจะเป็น บ่อน้ำมัน บ่อน้ำบาดาลเสีย เป็นต้น อีกทั้งแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มีหลายสายพันธุ์แตกต่างกันไป ซึ่งพบว่าความสามารถในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจเกิดจากแบคทีเรียเพียงชนิดเดียว หรือเกิดจากการทำงานร่วมกันของแบคทีเรียหลายชนิด (Bacterial Consortium) วิธีการคัดเลือกแบคทีเรียแต่ละกลุ่มที่มีบทบาทในการลดไฮโดรเจนซัลไฟด์มีวิธีแตกต่างกันออกไปในแต่ละงานวิจัย โดยแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ซึ่งเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดปัญหาในหลายด้านไม่ว่าจะเป็นด้านกลิ่น ปัญหาต่ออุปกรณ์การใช้งาน รวมทั้งปัญหาต่อสิ่งมีชีวิต

สรุป

ปัจจุบันก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นจากทางธรรมชาติและทางอุตสาหกรรม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม การนำเอสโอบีและเอ็นอาร์-เอสโอบีเพื่อนำไปใช้ในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ นับเป็นวิธีทางชีวภาพที่ประหยัด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีทางเคมี ดังนั้นที่ผ่านมามีงานวิจัยหลากหลายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำสายพันธุ์แบคทีเรียในกลุ่มเอสโอบีและเอ็นอาร์-เอสโอบี เช่น *Thiomicrospira denitrificans* หรือ *Thiobacillus* spp. มาใช้เพื่อลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดจากหลากหลายแหล่ง เช่น ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ หรือแหล่งน้ำเสีย เป็นต้น การลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ล้วนมีประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นการลดและป้องกัน ในด้านกลิ่น การเกิด การกัดกร่อนของอุปกรณ์เครื่องใช้ในระบบ อีกทั้งยังไม่พบว่าการใช้แบคทีเรียเหล่านี้เกิดความไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ถึงแม้การใช้วิธีทางชีวภาพในปัจจุบันยังมีการใช้อยู่น้อยกว่าวิธีทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่มีความสะดวก เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถหาได้ง่าย แต่ในอนาคตมีแนวโน้มการนำจุลินทรีย์มาใช้ในการลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น อาจมีการผสมวิธีทางชีวภาพและเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม เพื่อให้ได้จุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์ สุภางค์ จุฬาลักษณ์านุกูล และ วรฤติ จุฬาลักษณ์านุกูล. 2553. ก๊าซชีวภาพ แหล่งพลังงานทดแทน. *วารสารวิทยาศาสตร์ มศว* 26(2): 197-210.
2. Syed, M., Soreanu, G., Falletta, P., and Beland, M. 2006. Removal of Hydrogen Sulfide from Gas Streams Using Biological Processes – A Review. *Canadian Biosystems Engineering* 48: 2.1-2.14.
3. Gusseme, B. D., Schryver, P. D., Cooman, M. D., Verbeken, K., Boeckx, P., Verstraete, W., and Boon, N. 2009. Nitrate-Reducing, Sulfide-Oxidizing Bacteria as Microbial Oxidants for Rapid Biological Sulfide Removal. *Federation of European Microbiological Societies* 67: 151-161.
4. ปัทมา อรุณราช จรรย์ บุญกาญจน์ และ จันทิมา ชั่งสิริพร. 2552. การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการดูดซึมและปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโปแทสเซียม เปอร์แมงกาเนตในหอดูดซึมแบบแพค. ได้จาก :[http://phoenix.eng.psu.ac.th/qa/KPR/Thesis/Rep_PSU_Bud52/Ref_Bud52/ChE/Pattama\(11_3\).pdf](http://phoenix.eng.psu.ac.th/qa/KPR/Thesis/Rep_PSU_Bud52/Ref_Bud52/ChE/Pattama(11_3).pdf). 7 กรกฎาคม 2557.
5. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ. 2556. แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือแก๊สไข่เน่า แก๊สพิษที่ไม่ควรมองข้าม ได้จาก: <http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards/item/62-แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์>. 7 กรกฎาคม 2557.
6. HSDB. 2014. Hydrogen Sulfide. Available from: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+576>. 10 March 2014.

7. Amoores, J. E., and Hautala, E. 1983. Odor as an Aid to Chemical Safety: Odor Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatilities for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Dilution. *Journal of Applied Toxicology* 3(6): 272-290.
8. Jappinen, P., Vikka, V., Marttila, O., and Haahtela, T. 1990. Exposure to Hydrogen Sulfide and Respiratory Function. *British Journal of Industrial Medicine* 47: 824-828.
9. Vanhoome, M., de Rouck, A., and de Bacquer, D. 1995. Epidemiological Study of Eye Irritation by Hydrogen Sulphide and/or Carbon Disulphide Exposure in Viscose Rayon Workers. *Annals of Occupational Hygiene* 39: 307-315.
10. Bhambhani, Y., and Singh, M. 1991. Physiological Effects of Hydrogen Sulfide Inhalation during Exercise in Healthy Men. *Journal of Apply Physiology* 71: 1872-1877.
11. Bhambhani, Y., Burnham, R., Snydmiller, G., MacLean, I., and Martin, T. 1996. Effects of 5 ppm Hydrogen Sulfide Inhalation on Biochemical Properties of Skeletal Muscle in Exercising Men and Women. *American Industrial Hygiene Association Journal* 57: 464-468.
12. Bhambhani, Y., Burnham, R., Snydmiller, G., and MacLean, I. 1997. Effects of 10-ppm Hydrogen Sulfide Inhalation in Exercising Men and Women. Cardiovascular, metabolic, and biochemical responses. *Journal of Occupational Environmental Medicine* 39(2): 122-129.
13. Ahlberg, G. 1951. Hydrogen Sulfide Poisoning in Shale Oil Industry. *Archives of Industrial Hygiene and Occupational Medicine* 3: 247-266.
14. Hirsch, A. R., and Zavala, G. 1999. Long Term Effects on the Olfactory System of Exposure to Hydrogen Sulfide. *Occupational and Environmental Medicine* 56: 284-287.
15. Spolyar, L. W. 1951. Three Men Overcome by Hydrogen Sulfide in Starch Plant. *Industrial Health Monthly* 11: 116-117.
16. Beauchamp, R. O. J., Bus, J. S., Popp, J. A., Boreiko, C. J., and Andjelkovich, D. A. 1984. A Critical Review of the Literature on Hydrogen Sulfide Toxicity. *Critical Reviews in Toxicology* 13: 25-97.
17. Muyzer, G., and Stams, J. M. A. 2008. The Ecology and Biotechnology of Sulphate-Reducing Bacteria. *Nature Reviews Microbiology* 6: 441-454.
18. Dos Santos, E. S., de Souza, L. C. V., de Assis, P. N., Almeida, P. F., and de Souza E. R. 2013. Novel Potential Inhibitors for Adenylylsulfate Reductase to Control Souring of Water in Oil Industries. Available from: [http:// dx.doi.org/ 10.1080/ 07391102.2013.834850](http://dx.doi.org/10.1080/07391102.2013.834850). 10 March 2014.

19. Korte, H. L., Zane, G. M., Deutschbauer, A. M., Price, M. N., Arkin, A. P., and Wall, J. D. Relationship between Nitrate and Nitrite Stress Responses of *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough and *Desulfovibrio alaskensis* G20. Available from: <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/16018/RelationshipNitrateNitriteStress.pdf?sequence=1>. 1 September 2014.
20. Bick, J. A., Dennis, J. J., Zylstra, G. J., Nowack, J., and Leusmak, T. 2000. Identification of a New Class of 5'-Adenylylsulfate (APS) Reductase from Sulfate-Assimilating Bacteria. *Journal of Bacteriology* 182(1): 135-142.
21. Haveman, S. A., Greene, E. A., and Voordouw, G. 2005. Gene Expression Analysis of the Mechanism of Inhibition of *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough by Nitrate-Reducing, Sulfide-Oxidizing Bacteria. *Environmental Microbiology* 7(9): 1461-1465.
22. จันทิมา ชั่งสิริพร วันใหม่ เลิศตระการสกุล ผกาพรรณ อ่อนขวัญเพชร และ นิรัตติศัย รักมาก. 2551. การกำจัด H₂S ในแก๊สชีวภาพด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน. ได้จาก: http://phoenix.eng.psu.ac.th/qa/KPR/Research/Rep_Bud52/Ref_4_2_2/21_juntima152P1161FPaper.pdf. 7 กรกฎาคม 2557.
23. Chung, Y. C., Huang, C., and Tseng, C. P. 1996. Operation Optimization of *Thiobacillus thioparus* CH11 Biofilter for Hydrogen Sulfide Removal. *Journal of Biotechnology* 52(1): 31- 38.
24. Kim, H., Kim, J. Y., Chung S. J., and Xie, Q. 2002. Long-term Operation of a Biofilter for Simultaneous Removal of H₂S and NH₃. *Air & Waste Management Association* 52(12): 1389-1398.
25. Kleerebezem, R., and Mendez, R. 2002. Autotrophic Denitrification for Combined Hydrogen Sulfide Removal from Biogas and Post-denitrification. *Water Science and Technology* 45(10): 349-356.
26. Lampe, D. G., and Zhang, T. C. 1996. Evaluation of Sulfur-Based Autotrophic Denitrification. In Proceedings of the HSRC/ WERC Joint Conference on the Environment. Great Plains/ Rocky Mountain Hazardous Substance Research Center. Available from: <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/96Proceed/lampe.pdf>. 7 July 2014.
27. McComas, C., and Sublette, L. K. 2001. Characterization of a Novel Biocatalyst System for Sulphide Oxidation. *Biotechnology Progress* 17(3): 439-446.
28. Mesa, M. M., Macías, M., and Cantero, D. 2002. Biological Iron Oxidation by *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* 16(2): 69-73.
29. Takano, B., Koshida, M., Fujiwara, Y., Sugimori, K., and Takayangi, S. 1997. Influence of Sulfur-Oxidizing Bacteria on the Budget of Sulphate in Yugama Crater Lake, Kusatsu-Shirane Volcano, Japan. *Biogeochemistry* 38(3): 227-253.

30. Nemati, M., Jenneman, G. E., and Voordouw, G. 2001. Mechanistic Study of Microbial Control of Hydrogen Sulfide Production in Oil Reservoirs. *Biotechnology and Bioengineering* 74(5): 424-434.
31. Greene, E. A., Hubert, C., Nemati, M., Jenneman, G. E., and Voordouw, G. 2003. Nitrite Reductase Activity of Sulphate-Reducing Bacteria Prevents their Inhibition by Nitrate-Reducing, Sulphide- Oxidizing Bacteria. *Environmental Microbiology* 5(7): 607-617.
32. Zhang, L., Schryver, P. D., Gussem, B. D., Muynck, W.D., Boon, N., and Verstraete, W. 2007. Chemical and Biological Technologies for Hydrogen Sulfide Emission Control in Sewer Systems: A Review. *Water Research* 42(1): 1-12.
33. ดวงพร คันธโชติ และ วสันต์ อินนุพัฒน์. 2547. การแยก *Thiobacillus* sp. เพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งจากการทำยางพาราแผ่น. *วารสารวิทยาศาสตร์สงขลานครินทร์* 26(5): 649-657.
34. Kantachote, D., Charernjiratrakul, W., Noparatnaraporn, N., and Oda, K. 2008. Selection of Sulfur Oxidizing Bacterium for Sulfide Removal in Sulfate Rich Wastewater to Enhance Biogas Production. *Electronic Journal of Biotechnology* 11(2): 1-12.
35. Luo, J., Tian, G., and Lin, W. 2013. Enrichment, Isolation and Identification of Sulfur-Oxidizing Bacteria from Sulfide Removing Bioreactor. *Journal of Environmental Sciences* 25(7): 1393-1399.
36. Zhang, Y., Chen, M., Yang, J., and Zhou, J. 2011. Screening and Identification of Nitrate-Reducing, Sulfide-Oxidizing Bacteria and their Characteristics. *2nd International Conference on Environmental Science and Technology* 6: 252-256.
37. Gevertz, D., Telang, A. J., Voordouw, G., and Jenneman, G. E. 2002. Isolation and Characterization of Strains CVO and FWKO B. Two Novel Nitrate-Reducing, Sulfide-Oxidizing Bacteria Isolated from Oil Field Brine. *Applied and Environmental Microbiology* 66(6): 2491-2501.
38. Kodama, Y., and Watanabe, K. 2003. Isolation and Characterization of a Sulfur-Oxidizing Chemolithotroph Growing on Crude Oil under Anaerobic Conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 69(1): 107-112.

ได้รับบทความวันที่ 3 มิถุนายน 2557

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 17 กันยายน 2557