

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย

August

คู่มือความปลอดภัยสารเคมีไฮโดรเจนซัลไฟด์

1

ข่าวการเสียชีวิตของนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ของโรงงานแห่งหนึ่ง โดยมีสถานที่เกิดเหตุคือบ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานนั้น จากรายงานข่าวเบื้องต้นพบว่าเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นในบ่อบำบัดน้ำเสีย การเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวย่อมเกี่ยวข้องกับเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ ซึ่งมีหน้าที่ในการวิเคราะห์งานเพื่อชี้บ่งอันตราย และกำหนดมาตรการป้องกันหรือขั้นตอนการทำงานอย่างปลอดภัย รวมทั้งประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในการทำงานของกิจกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการ ซึ่งรวมถึงการบำบัดน้ำเสียของโรงงานด้วย บทความนี้จึงขอกล่าวถึงความรู้เกี่ยวกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย มีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้



ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์คืออะไร

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีสูตรทางเคมีคือ H_2S เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายไข่เน่า จึงถูกเรียกชื่อว่า ก๊าซไข่เน่า เป็นก๊าซไวไฟสูง (highly flammable) และเป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษสูง (extremely toxic) มีสัญลักษณ์รูปเพชร NFPA 704 ดังภาพที่ 1 ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับคุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3625>

Hydrogen Sulfide

Colorless gas; rotten-egg smell. Irritating to eyes/skin/respiratory tract. Poison! Inhalation causes headache, dizziness, nausea; high levels (>1000 ppm) can be instantly fatal causing respiratory paralysis. Cardiac effects may occur. Highly flammable.



CAS No. 7783-06-4

ภาพที่ 1 สัญลักษณ์ NFPA 704 ของของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ที่มา: <http://www.mysafetylabels.com/chemical-label/hydrogen-sulfide-nfpa-hazard-label/sku-lb-1592-071.aspx>

สำหรับความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลทั้งก่อให้เกิดการระคายเคือง (irritant) และทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน (asphyxia) ประเภท systemic/toxic/chemical asphyxiant ซึ่งหมายถึงก๊าซที่ทำให้เกิดภาวะเซลล์ขาดออกซิเจน โดยอากาศที่หายใจเข้าไปมีความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในระดับปกติ ก๊าซนี้ที่ระดับความเข้มข้นในอากาศ 50 ppm ขึ้นไป จะออกฤทธิ์โดยการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cytochrome oxidase ทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมแบบใช้ออกซิเจน (aerobic metabolism) ใน mitochondria ถูกยับยั้ง ส่งผลให้ร่างกายมีกระบวนการเมตาบอลิซึมแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic metabolism) ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำในการสร้างพลังงาน ทำให้เซลล์ในร่างกายขาดพลังงาน จนอวัยวะสำคัญต่างๆ เสียหน้าที่ และมีภาวะเลือดเป็นกรดแบบแลคติก (lactic acidosis) อย่างไรก็ตามอันตรายและผลต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น (level) และระยะเวลาในการสัมผัส (duration of exposure)

กรณีสัมผัสที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะส่งผลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อปอด และเยื่อปอดทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอาการน้ำตาไหล ไอและหายใจสั้น ๆ หายใจขัด อาการเหล่านี้จะเป็นอยู่นานหลายชั่วโมงหรือหลายวันขึ้นอยู่กับบุคคล แต่หากยังคงสัมผัสซ้ำหรือสัมผัสติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน อาจ

เป็นสาเหตุให้เกิดอาการตาอักเสบ ปวดหัว อ่อนล้า กระจกกระส่าย นอนไม่หลับ ระบบย่อยอาหารถูกรบกวนและน้ำหนักลด

และเกิดการระคายเคืองที่ระบบทางเดินหายใจ (เช่นการไอ หายใจขัดและมีการสะสมของของไหลที่ปอด เป็นต้น) ปวดหัว เวียนศีรษะ ทรงตัวไม่ค่อยได้ คลื่นไส้ อาเจียน

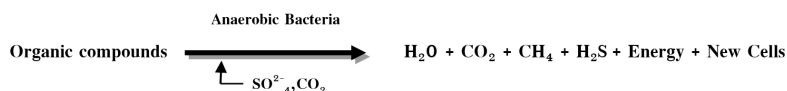
กรณีสัมผัสที่ระดับความเข้มข้นสูง อาจมีอาการเจ็บแน่นหน้าอก ความดันโลหิตต่ำ ชัก ช็อค หหมดสติอย่างเฉียบพลัน และหยุดหายใจ โดยอาการอาจเกิดขึ้นรุนแรงอย่างรวดเร็วหลังการสูดดม และอาจเสียชีวิตในเวลาเป็นนาทีเท่านั้น

นอกจากนี้เราสามารถได้กลิ่นไข่น้ำจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ อย่างไรก็ตามเมื่อสูดดมที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆอย่างต่อเนื่อง หรือสูดดมที่ระดับความเข้มข้นระดับสูง เราอาจไม่ได้กลิ่นที่เรียกอาการนี้ว่าolfactory fatigue ดังนั้นจึงไม่ควรใช้กลิ่นเป็นตัวชี้วัด หรือเป็นการเตือนว่ามีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่หรือไม่

ความรู้เพิ่มเติมเรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ <https://www.osha.gov/SLTC/hydrogensulfide/hazards.html> https://www.osha.gov/OshDoc/data_Hurricane_Facts/hydrogen_sulfide_fact.pdf

น้ำเสียเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้อย่างไร

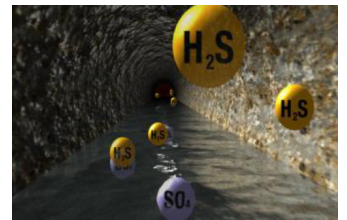
โดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศหรือไร้ออกซิเจนอิสระในน้ำเสีย (ค่าDO หรือ Dissolved Oxygen ในน้ำเสียเป็นศูนย์) ซึ่งเกิดขึ้นจากแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Bacteria)หรือแบคทีเรียที่อาศัยสารประกอบอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนละลายน้ำ สามารถเขียนเป็นสมการโดยรวมอย่างง่าย คือ



จากสมการข้างต้นพบว่ากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศทำให้เกิดก๊าซขึ้นได้หลายชนิดคือก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) กลไกการย่อยสลายนี้เป็นปฏิกิริยาเคมีแบบออกซิเดชัน-รีดักชัน(รีดอกซ์) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนเกิดขึ้นระหว่างสารให้และรับอิเล็กตรอน โดยทั่วไปในน้ำเสียสารอินทรีย์หรือมลสารอื่นในน้ำเสียเป็นสารให้อิเล็กตรอน (Electron donor) และสารประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในน้ำเสียเป็นสารรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) กระบวนการ/กลไกนี้อาศัยแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogenic/Acetogenic bacteria) แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate reducing bacteria : SRB)ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศแบ่งตามสารให้อิเล็กตรอน สารรับอิเล็กตรอน แหล่งคาร์บอนที่ใช้และผลผลิตที่เกิดขึ้น

Type of anaerobic bacteria	Common reaction name	Carbon source	Electron donor	Electron acceptor	Products
Acidogenic/Acetogenic bacteria	Acidogenesis/Acetogenesis	Organic compounds	Organic compounds	Organic compounds	Volatile fatty acids(VFAs)(acetate, propionate, butyrate)
Sulfate reducing bacteria(SRB)	Sulfate reduction	Organic compounds	Organic compounds	SO_4^{2-}	H_2S , CO_2 , H_2O
Methanogenic bacteria	methanogenesis	Organic compounds	Volatile fatty acids(VFAs)	CO_2	CH_4



สาเหตุที่กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัดชนิด ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ต่อจากนั้นแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นต่อไป (อย่างไรก็ตามในกรณีที่มี SO₂-4 อยู่ในแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากพลังงานที่แบคทีเรียได้รับจากการใช้ SO₂-4 มากกว่าการใช้ CO₂) โดยสรุปกระบวนการที่เกิดขึ้นมี 3 ขั้นตอน คือ

1. กระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis)
2. กระบวนการสร้างกรด (acidogenesis) และ
3. เป็นกระบวนการสร้างมีเทน/ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (methanogenesis/ sulfate reduction)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศนี้ถูกนำไปใช้เป็นกระบวนการ/ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Treatment) ได้ผลพลอยได้จากการบำบัดที่สำคัญคือ CH₄ ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ (สำหรับ H₂S ที่เกิดขึ้นในระบบด้วยนั้นจำเป็นต้องมีระบบบำบัด/กำจัดออกก่อนนำก๊าซไปใช้งานเนื่องจาก H₂S เมื่อรวมตัวกับน้ำหรือความชื้นจะเกิดกรดซัลฟูริกมีฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรงต่อวัสดุต่างๆ)

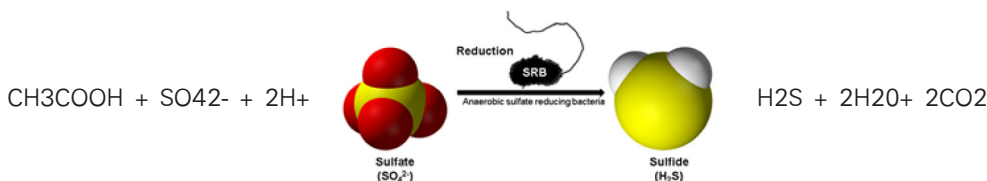
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จึงเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการออกแบบและจัดสภาพสิ่งแวดล้อมให้ออกมาจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศส่งผลให้เกิดการบำบัด/กำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (ค่า BOD, COD) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเช่น Anaerobic Cover Lagoon, Anaerobic Filter, Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) เป็นต้น

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียได้ดังนี้

- กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศทำให้เกิดก๊าซได้ 3 ชนิดหลักๆ คือ CH₄, CO₂ และ H₂S อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเป็นอันตรายสุขภาพแล้วพบว่า H₂S มีความเป็นพิษสูงสุด ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับ H₂S ในแง่ความปลอดภัยต่อสุขภาพเป็นลำดับแรก

- ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ ในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ (ค่า BOD, COD) มีซัลเฟตและอยู่ภายใต้สภาวะไร้อากาศในน้ำเสีย (ค่า DO ในน้ำเสียเป็นศูนย์) โดยกลุ่มแบคทีเรีย SBR สามารถเขียนเป็นสมการกระบวนการการเกิดได้แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งแสดงว่าการเกิดก๊าซ H₂S ในน้ำเสียนั้นมีได้เกิดกับน้ำเสียทุกประเภท นอกจากนี้ถึงแม้ในน้ำเสียจะมีมลสารที่สามารถทำให้เกิด H₂S ได้แล้วยังจำเป็นต้องมีสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดด้วย

-Anaerobic conditions : sulphate reduction



ภาพที่ 2 การเกิดไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสีย

ที่มาภาพ <http://www.oilfield-biocides.com/oilfield-biocides/Hydrogen-Sulfide/Formation-by-SBR.php>

- การเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียเกิดขึ้นได้ที่ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Treatment) แต่มีจำเป็นต้องเกิดขึ้นเฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเท่านั้น ตามสภาพความเป็นจริงแล้ว หากน้ำเสียมลสารครบและอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของ SBR น้ำเสียนั้นก็สามารถเกิด H₂S ขึ้นได้ ยกตัวอย่างสถานที่/บริเวณที่อาจเกิด H₂S ขึ้นได้ เช่นภายในท่อของระบบรวบรวมน้ำเสียชุมชน/โรงงานบางประเภทอุตสาหกรรม (Sewerage System) หรือตามบ่อตรวจระบาย (Manhole) หรือในบางส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียเช่น ที่บ่อสูบน้ำเสีย (Sump) หรือบ่อปรับสภาพ (Equalization tank) เป็นต้น

โดย สรุปหากเข้าใจกระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในน้ำเสียอย่างถ่องแท้ จะช่วยให้สามารถคาดการณ์สถานที่/บริเวณซึ่งอาจเกิด H₂S ขึ้นได้ เพื่อจัดเตรียมมาตรการความปลอดภัยได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วนรอบด้านให้เหมาะสมกับสถานการณ์

เอกสารอ้างอิง
กรมควบคุมมลพิษ (2546) คู่มือวิชาการ
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1
กรุงเทพมหานคร

(2546) คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
ไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 2 กรุงเทพมหานคร
สัมมนา โคมฉาย (2551) Toxic Gases:
Asphyxiants : Thai J Toxicology 2008;
23(2): 31-34

George Tchobanoglous, Franklin L. Burton,
H. David Stensel. (2003). Wastewater
Engineering Treatment and Reuse. (4th
ed). New York: Metcalf & Eddy Inc., The
McGraw-Hill Companies

Marcos von Sperling. (2007) Basic Prin-
ciples of Wastewater Treatment London
IWA Publishing

Mackenzie L. Davis. (2010) Water and
Wastewater Engineering Design Principles
and Practice New York.

The McGraw-Hill Companies [https://
www.osha.gov/OshDoc/data/Hurri-
cane_Facts/hydrogen_sulfide_fact.pdf](https://www.osha.gov/OshDoc/data/Hurricane_Facts/hydrogen_sulfide_fact.pdf)

ภาพประกอบจาก

[http://www.geoponicscorp.
com/2011/07/02/807/](http://www.geoponicscorp.com/2011/07/02/807/)

[http://cellfatigue.blogspot.com/2015/07/
many-factors-influence-endogenous.html](http://cellfatigue.blogspot.com/2015/07/many-factors-influence-endogenous.html)

[http://theconversation.com/crumbling-
sewers-are-linked-to-drinking-water-treat-
ment-30398](http://theconversation.com/crumbling-sewers-are-linked-to-drinking-water-treatment-30398)