

## กระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจนทางชีวภาพโดยการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

นุชรา สิบบัวทอง

นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์  
สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง มก.

กระบวนการเกิดก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen, H<sub>2</sub>) ทางชีวภาพทำได้โดยการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ใช้สารอินทรีย์ (Organic substances) ความเข้มข้นสูงเป็นสารตั้งต้น ได้แก่ น้ำเสียหรือของเสียอินทรีย์ หรืออาจเป็นพืช เช่นเดียวกับการผลิตก๊าซมีเทน (Methane, CH<sub>4</sub>) การหมักเพื่อให้ได้ก๊าซ H<sub>2</sub> ทางชีวภาพนั้นปฏิกิริยาจะเกิดเพียงขั้นตอนแรกของการหมักคือกระบวนการ Fermentation เท่านั้น ดังนั้นจึงต้องทำการยับยั้ง (Suppression) ขั้นตอน Methanogenesis ที่ตามมา โดยการกำจัดแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้ก๊าซ H<sub>2</sub> (Hydrogen consuming methanogens) เป็นสารตั้งต้นเพื่อการผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> วิธีการหมัก รูปแบบการหมัก ถังหมัก เพื่อผลิตก๊าซ H<sub>2</sub> จะเป็นไปตามการหมักเช่นเดียวกับการผลิตก๊าซ CH<sub>4</sub> ข้อแตกต่างที่สำคัญคือแบคทีเรียในถังหมักที่จะผลิต H<sub>2</sub> จะต้องเป็นแบคทีเรียชนิดผลิตก๊าซ H<sub>2</sub> (ที่ปราศจากแบคทีเรียชนิดสร้างก๊าซ CH<sub>4</sub>) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคัดกรองเพื่อเลือกแบคทีเรียเพื่อการผลิตก๊าซ H<sub>2</sub> เท่านั้น

**การคัดกรองเพื่อเลือกแบคทีเรียชนิดที่ผลิตก๊าซไฮโดรเจน (Pretreatment)** สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

**1. การคัดกรองแบคทีเรียด้วยความร้อน (Heat pretreatment)** การคัดกรองโดยให้ความร้อนแก่แบคทีเรีย เป็นวิธีการที่พบว่ามีการใช้มากที่สุด เนื่องจากแบคทีเรียที่ผลิต H<sub>2</sub> เป็นกลุ่มที่มีสปอร์เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ เช่น *Clostridium* และ *Bacillus sp.* เป็นต้น ส่วนแบคทีเรียที่ผลิต CH<sub>4</sub> ไม่มีสปอร์ เมื่ออยู่ในสภาวะที่ได้รับความร้อนจึงไม่สามารถอยู่ได้ แบคทีเรียที่ผลิต H<sub>2</sub> ทนต่อความร้อนได้ดี ในการปรับสภาพแบคทีเรียด้วยความร้อนมักใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C-100 °C เป็นระยะเวลา 15 นาทีถึง 2 ชั่วโมง และทำให้เย็นอย่างทันทีด้วยน้ำแข็ง (Shock) เพื่อทำให้สปอร์ของแบคทีเรียชนิดที่ผลิต H<sub>2</sub> แตกออก จากนั้นจึงทำการเพิ่มปริมาณแบคทีเรียที่ผลิต H<sub>2</sub> ด้วยการให้อาหารประเภทกลูโคสและและสารอาหารที่จำเป็น (Nutrients) และ/หรือน้ำเสียอินทรีย์ (Sinbuathong et al., 2015a)

**2. การคัดกรองแบคทีเรียด้วยกรดหรือด่าง (Acid/base pretreatment)** โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการเกิด CH<sub>4</sub> (Methanogenesis) ในระบบบำบัดน้ำเสียหรือของเสียจะควบคุม pH ให้มีค่าใกล้เคียง pH 7 มากที่สุด เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการทำงานของแบคทีเรียที่ผลิต CH<sub>4</sub> ด้วยเหตุนี้หากต้องการจำกัดความสามารถในการผลิต CH<sub>4</sub> จึงต้องทำการปรับ pH ให้มีค่าต่างออกไปจาก pH 7 เพื่อทำให้สภาวะที่เปลี่ยนแปลงไปนี้ไม่เหมาะสมต่อแบคทีเรียผลิต CH<sub>4</sub> ซึ่งได้แก่การปรับสภาพแบคทีเรียด้วยกรด (Acid pretreatment) ที่ pH 2-4 หรือการปรับสภาพแบคทีเรียด้วยด่าง (Base pretreatment) ในช่วง pH 9-11 โดยจะรักษา pH ไว้ในช่วงดังกล่าวเป็นระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง จากนั้นจึงปรับสภาพของแบคทีเรียให้กลับมาอยู่ในสภาวะที่เป็นสภาวะเริ่มต้นการผลิต H<sub>2</sub> ซึ่งมีรายงานว่า pH เริ่มต้นที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซ H<sub>2</sub> อยู่ในช่วงกรดประมาณ pH เริ่มต้นที่ 6.5 และค่า pH ของสารละลายในถังหมักมีค่าอยู่ในช่วง 4.7-4.8 (Sinbuathong and Sillapacharoenkul, 2020)

**3. การคัดกรองแบคทีเรียด้วยการใช้สารเคมี (Chemical pretreatment)** สารเคมีที่เติมลงไปที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียชนิดที่ผลิต CH<sub>4</sub> ได้แก่ 2-bromo- ethanesulfonate (BES), acetylene และ chloroform โดย BES มีลักษณะโครงสร้างเหมือน co-enzyme M ที่มีอยู่ในแบคทีเรียชนิดผลิต CH<sub>4</sub> ดังนั้นการใช้ BES จะเข้าไปยับยั้งไม่ให้เกิดการผลิต CH<sub>4</sub> ได้ (Chenlin and Herbert, 2007; Sprott et al. (1982); Liang et al., 2002)

4. การคัดกรองแบคทีเรียด้วยการแช่แข็งและปล่อยให้ละลาย (Freezing and thawing pretreatment) โดยการนำแบคทีเรียไปแช่แข็งไว้ที่อุณหภูมิต่ำ  $-20^{\circ}\text{C}$  24 ชั่วโมง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง วิธีนี้ให้ผลไม่ค่อนักเมื่อเทียบกับการคัดกรองแบคทีเรียโดยวิธีอื่น (Liu et al., 2009; Sinbuathong et al., 2015b)

5. การคัดกรองแบคทีเรียด้วยการเติมออกซิเจน (Aeration pretreatment) แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิต  $\text{CH}_4$  นั้นเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้  $\text{O}_2$  (Anaerobic bacteria) แต่แบคทีเรียที่ผลิต  $\text{H}_2$  บางกลุ่มเป็นแบคทีเรียที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในสภาวะที่มีหรือไม่มี  $\text{O}_2$  ก็ได้ (Facultative anaerobic bacteria) จึงทำให้ยังคงมีแบคทีเรียผลิต  $\text{H}_2$  บางกลุ่มที่ยังคงเหลืออยู่ภายหลังการเติมอากาศให้แก่ระบบ ซึ่งการปรับสภาพโดยการเติมอากาศนี้จะทำโดยการเพิ่ม  $\text{O}_2$  ให้แก่ระบบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือเติม  $\text{O}_2$  โดยควบคุมค่า DO (Dissolved Oxygen) ให้มีค่าต่ำกว่า  $0.5 \text{ mg/L}$  เป็นเวลา 12 ชั่วโมง (Ren et al., 2008)

6. การคัดกรองแบคทีเรียด้วยการใช้กระแสไฟฟ้า (Electric current pretreatment) เป็นวิธีการที่ใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำ ยับยั้งแบคทีเรียที่สร้าง  $\text{CH}_4$  (Roychowdhury, 2000) พบว่าแบคทีเรียผลิต  $\text{H}_2$  สามารถถูกคัดกรองออกจากหลังการบำบัดด้วยกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำ (3.0-4.5 โวลต์) โดยทำการศึกษาจากตะกอนแบคทีเรียจากหลุมฝังกลบและตะกอนแบคทีเรียจากน้ำเสียชุมชนซึ่งสามารถผลิต  $\text{H}_2$  ได้ โดยที่ไม่พบว่ามีก๊าซ  $\text{CH}_4$  เกิดขึ้นแต่อย่างใด

จะเห็นได้ว่าการคัดกรองแบคทีเรียเพื่อให้ได้แบคทีเรียชนิดที่ผลิต  $\text{H}_2$  มีหลายวิธีการ แต่ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวิธีการ หรือสภาวะในการคัดกรองใดที่มีความเหมาะสมต่อแบคทีเรียที่นำมาใช้ในการศึกษาได้อย่างชัดเจน แต่ที่นิยมใช้คือ 3 วิธีแรก

#### เอกสารอ้างอิง

- Chenlin L, Herbert HP. 2007. Fermentative hydrogen production from wastewater and solid wastes by mixed cultures. Environ. Sci. Technol. 37:1-39.
- Liang TM, Cheng S.S, Wu KL. 2002. Behavioral study on hydrogen fermentation reactor installed with silicone rubber membrane. Int. J. Hydrogen Energy. 27(11/12), 1157-1165.
- Liu H, Wang G, Zhu D, Pan G. 2009. Enrichment of the hydrogen-producing microbial community from marine intertidal sludge by different pretreatment methods. International Journal of Hydrogen Energy, 34:9696-9701.
- Ren NQ, Guo WQ, Wang XJ, Xiang WS, Liu BF, Wang XZ, Ding J, Chen ZB. 2008. Effects of different pretreatment methods on fermentation types and dominant bacteria for hydrogen production. International Journal of Hydrogen Energy. 33:4318-4324.
- Roychowdhury S. Process for Production of Hydrogen from Anaerobically Decomposed Organic Materials. U.S. Patent. US 006090266A.
- Sinbuathong N, Kanchanakhan B, Leungprasert S. 2015a. Biohydrogen production from normal starch wastewater with heat-treated mixed microorganisms from a starch factory Int. J. Global Warming, 7(3):293-306.
- Sinbuathong N, Somjit C, Suchat Leungprasert S. 2015b. Feasibility study for biohydrogen production from raw brewery wastewater. Int. J. Energy Res. 39(13):1769-1777, DOI: 10.1002/er.3321
- Sinbuathong N, Sillapacharoenkul B. 2020. Dark fermentation of starch factory wastewater with acid- and base-treated mixed microorganisms for biohydrogen production. Int J. Hydrogen Energy <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.109>
- Sprott GD, Jarrel KF, Shaw K.M, Knowles RK. 1982. Acetylene as an inhibitor of methanogenic bacteria, J. Gen. Microbiol 128, 2453-2462.