

เซลล์เชื้อเพลิง จุลนาทรีย์กับการ บำบัดน้ำเสีย

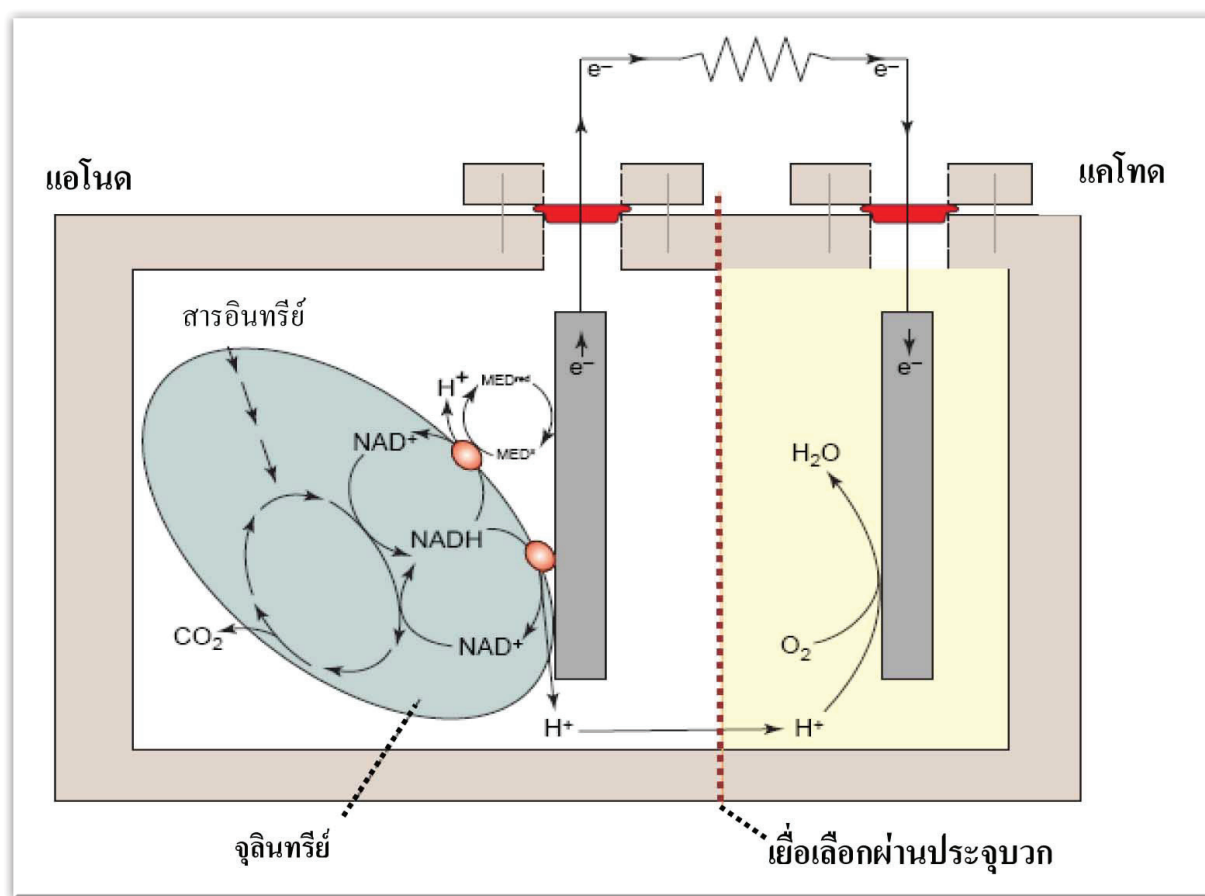


พลังงานเชื้อเพลิงเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์โดยเฉพาะ พลังงานฟอสซิล พลังงานฟอสซิล คือ พลังงานเชื้อเพลิงที่เกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์เป็นเวลานานหลายพันล้านปี โดยอาศัยแรงอัดของเปลือกโลกและความร้อนใต้ผิวโลก มีทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น แหล่งพลังงานนี้เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน จากข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยพบว่า การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 90% ของแหล่งพลังงานทั้งหมด⁽¹⁾ พลังงานฟอสซิลจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติชนิดสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไปธรรมชาติไม่สามารถสร้างขึ้นมากทดแทน นอกจากปริมาณที่มีจำกัดแล้ว พลังงานฟอสซิลยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า จะปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศ ตัวอย่างเช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจกและฝนกรด ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมของโลก ทำให้เกิดภัยธรรมชาติที่รุนแรงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการใช้พลังงานฟอสซิลในการผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นปัญหาที่ต้องการทางแก้ไข นอกจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์และพลังงานทางเลือก อันได้แก่ พลังงานหมุนเวียนต่างๆ เช่น ชีวมวล สม น้ำ และแสงอาทิตย์ ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว พลังงานที่ไต่จากเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจนก็ยังเป็นอีกแหล่งพลังงานที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นด้วย เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิด เช่น เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน เซลล์เชื้อเพลิงจุลนาทรีย์ เป็นต้น

* สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์ (Microbial Fuel Cell : MFC) จัดเป็นเซลล์เชื้อเพลิงชีวภาพที่ค้นพบครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2454 โดย Michael Cresse Potter ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “การย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์นั้นจะดำเนินไปควบคู่กับการปล่อยพลังงานไฟฟ้าอย่างอิสระ”⁽²⁾ แต่ผลงานของเขากลับไม่ได้รับความสนใจ จนกระทั่งในช่วงปี พ.ศ. 2533 เกิดวิกฤตพลังงานจึงเป็นช่วงที่เซลล์เชื้อเพลิงต่างๆ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ส่งผลให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์มีการศึกษาเพิ่มขึ้นด้วย หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เป็นการเปลี่ยนพลังงานเคมีในสารอินทรีย์ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยกระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์นั้นจะเริ่มจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในโมเลกุลของสารอาหาร ซึ่งปฏิกิริยาเอนไซม์ต่างๆ ในกระบวนการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์จะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเก็บอยู่ในรูปสารตัวกลาง ได้แก่ NADH ควิโนน ไซโตโครม เป็นต้น เมื่อสารตัวกลางเหล่านี้ถูกออกซิไดซ์ อิเล็กตรอนก็จะถูกส่งต่อเป็นทอดๆ ในกระบวนการขนส่งอิเล็กตรอน ระหว่างที่อิเล็กตรอนถูกส่งต่อเป็นทอดๆ นั้นก็จะให้พลังงานแก่จุลินทรีย์ โดยในขั้นตอนสุดท้ายอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกส่งต่อไปให้แก่ตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายต่อไป เช่น ออกซิเจนรับอิเล็กตรอนแล้วรวมกับโปรตอนกลายเป็นน้ำ ซึ่งนอกจากออกซิเจนแล้วยังมีตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายอีกหลายตัว ได้แก่ ไนเตรท ซัลเฟต คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งมีหลายงานวิจัยพบว่ามีแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนออกนอกเซลล์ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนภายนอกเซลล์ได้ จากหลักการเหล่านี้เองจึงเป็นแนวคิดให้ใช้ชีวไฟฟ้าแอนโอดมาเป็นตัวรับอิเล็กตรอน⁽²⁾ เพื่อให้อิเล็กตรอนไหลสู่วงจรไฟฟ้าภายนอกได้กระแสไฟ

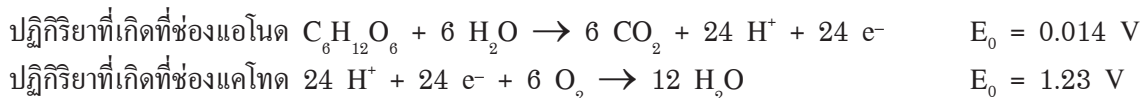
รูปแบบของเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นช่องคู่ คือ มีช่องแอโนด (Anode) และช่องแคโทด (Cathode) ช่องแอโนดอยู่ในภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อบังคับให้ตัวรับอิเล็กตรอนเป็นชีวไฟฟ้าแอนโอด ขณะที่ช่องแคโทดมีการเติมออกซิเจนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างอิเล็กตรอนและโปรตอน(H^+) ซึ่งระหว่าง 2 ช่องนี้ จะมีแผ่นเยื่อเลือกผ่านประจุบวกกั้นเพื่อยอมให้โปรตอนเท่านั้นที่สามารถผ่านมายังช่องแคโทดได้⁽³⁾



ที่มา : http://farm4.static.flickr.com/3222/2473163443_af08e862ee.jpg

ภาพวาดแสดงเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์แบบห้องคู่

ช่องแอนโดเป็นช่องที่มีการให้สารอินทรีย์แก่จุลินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อสร้างพลังงานแล้วจะได้อิเล็กตรอน ซึ่งอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะเคลื่อนที่เข้าสู่ขั้วไฟฟ้าแอนโดแล้วไหลไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทดผ่านวงจรภายนอกเกิดเป็นกระแสไฟฟ้า ขณะเดียวกันโปรตอนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านประจุบวกไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทดในช่องแคโทด จากนั้นอิเล็กตรอน โปรตอน และออกซิเจน เกิดปฏิกิริยารวมกันกลายเป็นน้ำที่ช่องแคโทด⁽⁴⁾ สามารถแสดงปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้⁽⁵⁾



จุลินทรีย์ในเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์สามารถใช้สารอินทรีย์เป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้หลากหลายชนิด เช่น กลูโคส ซูโครส (น้ำตาลทราย) กรดแอสซิดิก (กรดน้ำส้ม) และกรดบิวทริก เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ก็ยังสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอนให้แก่จุลินทรีย์ในเซลล์เชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ซึ่งนอกจากจะได้ประโยชน์เป็นการรักษาสังแวดล้อมอันเกิดจากมลพิษทางน้ำแล้ว ยังเป็นแหล่งคาร์บอนที่ไม่ต้องลงทุนอีกด้วย ในปี พ.ศ. 2534 Habermann และ Pommer ได้ทำการศึกษาประยุกต์ใช้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์เข้ากับกระบวนการบำบัดน้ำเสียทำให้ได้ประโยชน์มากขึ้น คือ ได้ไฟฟ้าและน้ำสะอาดขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถประยุกต์ใช้กับน้ำเสียหลากหลายประเภททั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จึงกลายเป็นพลังงานทางเลือกที่สามารถสร้างไฟฟ้าจากของเสียได้โดยอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้า⁽⁶⁾ ถึงแม้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์จะสร้างกระแสไฟฟ้าได้ต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงเคมีอย่างเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน แต่กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในกระบวนการบำบัดน้ำเสียลงได้⁽⁷⁾

น้ำเสียมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ ส่วนที่เหลือเป็นของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน แอลกอฮอล์ และสารอินทรีย์อื่นๆ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ กรด เกลือของโลหะ และสารอนินทรีย์อื่นๆ ดังนั้นเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ จึงเป็นการเพิ่มสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สารให้แก่แหล่งน้ำ ทำให้แบคทีเรียนำไปใช้เป็นอาหารและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วพร้อมกับย่อยสลายสารอินทรีย์ไปด้วย ซึ่งจะมีการใช้ออกซิเจนไปในการย่อยสลายเรื่อยๆ จึงเกิดสภาพไร้ออกซิเจนในแหล่งน้ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทนอยู่ไม่ได้และตายในที่สุด แบคทีเรียพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจนจึงเจริญขึ้นมาแทนที่มากมายและย่อยสารอินทรีย์ต่อไป การย่อยสลายในสภาพที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะได้สารประกอบที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไข่เน่า หรือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นต้น ทำให้แหล่งน้ำกลายเป็นน้ำเน่าเสีย⁽⁸⁾ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับทุกโรงงานที่ต้องรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบบำบัดน้ำเสียมีหลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ต้องเติมออกซิเจนอิสระหรืออากาศให้แก่ระบบบำบัด เหมาะสมสำหรับของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณที่สูง อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายสารที่มนุษย์สร้างขึ้นในขณะที่ย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนไม่สามารถย่อยสลายสารเหล่านั้นได้ และผลพลอยได้สำคัญที่ได้จากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน คือ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไปเป็นก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบ



ที่มา <http://www.theccn-news.com/admin/uppic/imgstock/da955141e77a8b0f229877199950c794.jpg>

หลักซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจนเป็นระบบบำบัดที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดในการเดินระบบเพราะไม่จำเป็นต้องเติมอากาศให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งได้ก๊าซมีเทนซึ่งสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อีกด้วย ซึ่งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการกรดอินทรีย์จากกระบวนการไฮโดรไลซิสและกระบวนการหมัก (Acidogenesis) เพื่อสังเคราะห์กรดระเหยง่าย (Volatile acid) และไฮโดรเจน มาเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทน ให้แก่จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน โดยจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้สารตั้งต้นเพียงบางชนิด คือ สารที่มีคาร์บอนเพียง 1 หรือ 2 อะตอมเท่านั้น หากเป็นกรดอินทรีย์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม จะไม่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นได้ ต้องอาศัยแบคทีเรียกลุ่มอื่นเปลี่ยนกรดอินทรีย์เหล่านั้นให้เป็นกรดแอสติกหรือก๊าซไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะสามารถย่อยสลายไปเป็นก๊าซมีเทนต่อไปได้นอกจากนี้แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียที่มีอัตราการเจริญช้ามาก อีกทั้งปริมาณความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายต่ำและค่าความเป็นกรดต่ำที่ต่ำก็ยังเป็นการยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนด้วย⁽⁹⁾

โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะต้องมีการควบคุมปริมาณกรดอินทรีย์และค่าความเป็นกรดต่ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน เพราะหากมีปริมาณกรดสะสมมากจะทำให้ค่าความเป็นกรดต่ำในระบบบำบัดมีค่าต่ำ ซึ่งจะส่งผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนทำให้ระบบบำบัดล้มเหลวได้นอกจากการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทนจะไวต่อค่าความเป็นกรดต่ำในระบบแล้วยังมีอัตราการเจริญช้ามาก ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกระแสไฟฟ้ามีอัตราการเจริญเร็วกว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน จึงสามารถเปลี่ยนกรดระเหยง่ายให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้เร็วกว่าเปลี่ยนให้เป็นก๊าซชีวภาพ จากข้อจำกัดต่างๆ จึงทำให้เซลล์เชื้อเพลิงจุลินทรีย์มีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์แทนกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน⁽²⁾

เอกสารอ้างอิง

- (1) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2553. สรุปแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573. รายงานเลขที่ 912000-5304
- (2) Logan, B.E. 2008. Microbial Fuel Cells. John Wiley & Sons Ltd., Hoboken. 200p.
- (3) Oh, S., Min, B., and Logan, B.E. 2004. Cathode performance as a factor in electricity generation in Microbial Fuel Cells. Environmental Science and Technology. 38:4900-4904.
- (4) Bond, D.R., Holmes, D.E., Tender, L.M., and Lovely, D.R. 2002. Electrode reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments. Science. 295:493-485.
- (5) Scott, K., Rumbu, G. A., Katuri, K. P., Prasad, K. K., and Head, I. M. 2007. Application of modified carbon anodes in microbial fuel cells. Process Safety and Environmental Protection. 85:481-488.
- (6) Lui, H., Ramnarayanan, R., and Logan, B.E. 2004. Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell. Environmental Science and Technology. 38:2281-2285.
- (7) Min, B., and Logan, B.E. 2004. Continuous electricity generation from domestic wastewater and organic substrates in a flat plate microbial fuel cell. Environmental Science and Technology. 38:5809-5814.
- (8) นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. 2547. จุลชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (9) สุปัตติ นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.