

미생물 역전기 전기투석 전기분해 장치 제작을 위한 미생물 배양 및 미생물 전기분해 평가

송영현, Syarif Hidayat, 박주양*

한양대학교 건설환경공학과

(Corresponding Author e-mail: jooypark@hanyang.ac.kr)

Microorganism cultivation and microbial electrolysis cell for microbial reverse-electrodialysis cell set-up

Young-Hyun Song, Syarif Hidayat, Joo-Yang Park*

Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

(Corresponding Author e-mail: jooypark@hanyang.ac.kr)

서론

21세기에는 지속적인 인구성장에 따라 환경개선과 지속적인 에너지 공급이라는 과학적 문제에 직면하게 되었다. 세계 인구는 2001년에 61억이었으며, 2050년에는 94억으로 매년 0.9%씩 증가할 것으로 예상된다. 인구성장과 경제성장으로 세계 에너지 소비속도 또한 증가하고 있다[1]. 따라서 최근에는 태양 및 풍력에너지 등과 같은 지속 가능한 신재생에너지 생산에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 특히 수소를 연료로 하는 경우 화석에너지가 갖고 있는 환경 오염문제를 상당히 해결할 수 있을 뿐 아니라, 무한한 물을 원천으로 하여 생산할 수 있으므로, 차후 화학에너지 고갈에 대한 대안으로 주목받고 있다. 본 연구에서는 수소에너지 생산을 위한 미생물 역전기투석 전기분해 장치 (microbial reverse-electrodialysis cell, MREC)를 제작하기 위하여 전기활성 미생물의 배양과 미생물 전기분해 전지(microbial electrolysis cell, MEC)를 평가하였으며 그 가능성을 확인하였다.

이론

전기활성 미생물은 유기물을 산화시켜서 발생하는 전자를 세포 체외에 존재하는 전도성 전극에 전달함으로써 전기를 발생시킬 수 있다. 이를 이용한 미생물 전기분해 전지에서는 적은 전기에너지만으로도 물을 전기분해하여 수소를 획득할 수 있다[2]. 역전기투석 (reverse eletrodialysis, RED)은 양이온 및 음이온 교환 막 사이에서 높은 염도의 양이온과 음이온의 전기화학적 포텐셜을 전류로 전환시킴으로써, 하나의 stack 당 이론적으로 0.155 V를 생산할 수 있다[3]. 따라서 MEC에서 물 전기분해를 위한 필요 전기 에너지를 RED stack을 적용 및 보충함으로써 에너지 효율을 향상시킬 수 있다[4].

실험 재료 및 방법

1. 전기활성 미생물 배양

전기활성 미생물 생장을 위하여 기질로써 0.5 g/L sodium acetate를 사용하였으며 single air-cathode microbial fuel cell (MFC)에서 배양하였다. 아크릴 재질로 제작된 직육면체의 MFC의 부피는 60 mL이며, 산화전극은 carbon fiber brush (3 cm 지름 × 3 cm 높이)를 제작하여 사용하였고, 환원전극은 carbon cloth (1071 HCB, AvCarb[®])를 사용하였다. 환원전극의 공기에 노출되는 부분은 4겹의 PTFE (polytetrafluoroethylene)로 코팅을 하였고, 물과 닿는 부분은 0.5 mg Pt/cm² (10% Pt on Vulcan XC-72, Premetek)로 코팅하였다. 산화전극과 환원전극에 1,000 Ω의 외부저항을 연결하였으며, 운전 중 10분 간격으로 전위차를 연속적으로 기록하였다.

2. 전기활성 미생물에 대한 단계적 염수 주입

산화전극에 존재하는 전기활성 미생물은 RED stack으로부터 확산되는 염소이온에 대한 영향을 평가하기 위해 NaCl을 점진적으로 증가시켰다(5 → 10 → 15 → 20 → 25 → 30 → 35 g/L NaCl). 기질로써 1.0 g/L sodium acetate를 사용하였으며, 모든 조건은 실험 1과 동일하게 수행하였다.

3. 미생물 전기분해 셀에서의 수소가스 발생

Two-chamber형태의 아크릴 반응기는 60 mL의 산화전극부와 환원전극부를 갖으며, 산화전극과 환원전극은 각각 MFC로부터 배양된 carbon fiber brush, Pt로 도금된 niobium mesh를 사용하였다. 각 전극부는 anion exchange membrane (AEM, Selmion AMV, AGC)로 나뉘어져있으며, 10 Ω의 외부저항과 1.0 V의 외부전압을 인가하였다. 미생물의 기질로써 1.0 g/L sodium acetate를 사용하였다. 수소가스는 가스 검지관(Gas detecting tube, Gastec)을 이용하여 확인하였다.

결과 및 토론

그림 1은 single-air cathode MFC에서 전기활성 미생물로부터 발생하는 전압의 변화를 나타 내었으며, 약 15~20일까지 불안정한 전압발생을 보였다. 전압은 20일 이후부터 약 0.5~0.6 V의 최대전압을 발생하였으며, 최대전압에서 약 3일간 안정적으로 유지되었으며, 안정적인 주기가 4차례 이상 반복되었다. 전기활성 미생물이 산화전극 표면에서 유기물을 산화하고, 환원전극에서는 공기 중의 산소가 환원하여 포텐셜 차이에 의한 전압 발생을 이루어 졌다. 이는 기존의 연구에서보다 높은 전압을 발생하였음에 따라 전기활성 미생물이 산화전극에 충분한 biofilm을 형성되었음을 확인할 수 있다[5].

그림 2에서 전기활성 미생물은 30 g/L NaCl까지는 안정적인 전압 발생을 하였다. 이 결과는 전기활성 미생물은 이 시스템의 일반적인 염에서 전압 생성능을 갖는다는 것을 나타냈다. 또한 이는 RED stack부분의 더 큰 염도차를 적용시킬 수 있는 근거가 될 수 있었다. 그러나, 35 g/L NaCl의 농도에서는 전압이 감소함에 따라, 전기활성 미생물의 활동도가 해당 염의 농도에 방해받을 것으로 보여진다[6].

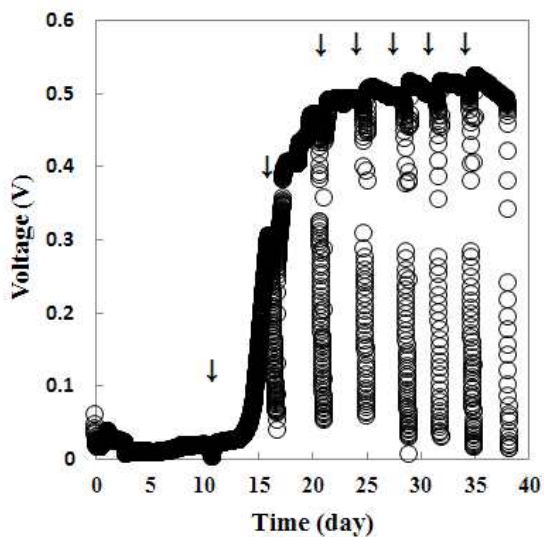


그림 1. Single air-cathode MFC에서 전기활성 미생물의 순응에 따른 전압발생

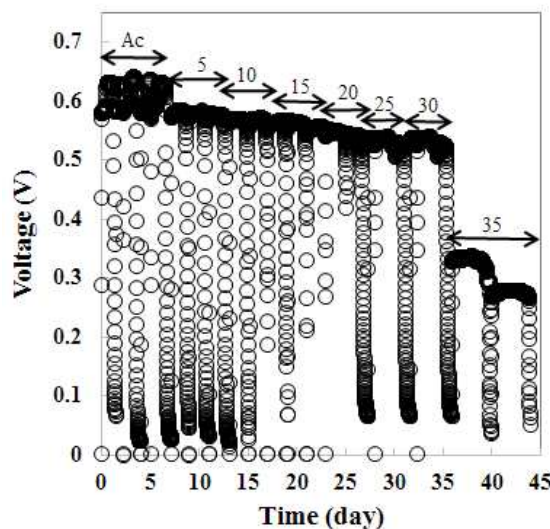


그림 2. NaCl (g/L)에 따른 전압 발생 변화

그림 3은 미생물의 전기분해 장치로부터의 가스발생량(a) 및 pH와 전기전도도(b)를 나타내었다. 미생물 전기분해 장치에서 3번의 주기 동안 26~34 mL의 부피와 함께 0.54~0.71 $\text{m}^3 \cdot \text{H}_2/\text{m}^3/\text{d}$ 의 가스발생률을 보였다. 산화전극부에서는 유기물이 혐기성 미생물에 의해 분해가 되면서 발생하는 수소이온으로 pH가 낮아졌으며, 환원전극으로부터 염소이온이 음이온 교환막을 통해 확산되었으므로 전기전도도가 증가하였다. 환원전극부에서는 물이 분해되면서 수산화이온이 생성되며, 염소이온이 산화전극부로 확산되기 때문에 전기전도도가 낮아졌다.

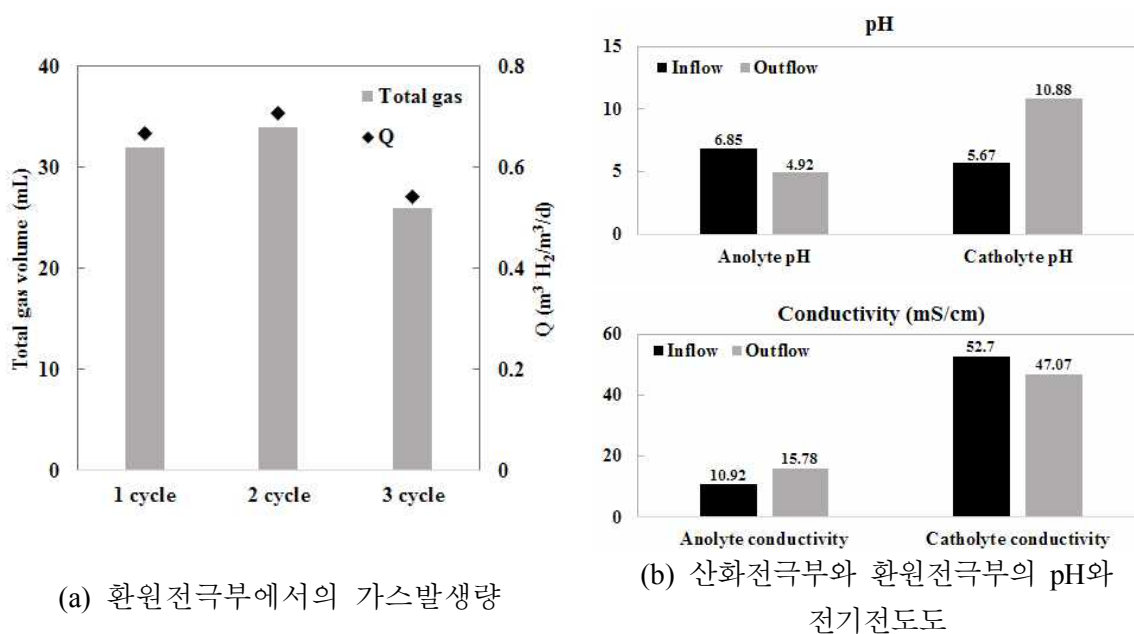


그림 3. 미생물 전기분해 장치로부터의 가스발생량 및 pH와 전기전도도의 변화

결론

본 연구에서는 수소생산을 위한 미생물 역전기투석 전기분해 장치 제작에 앞서 미생물의 염에 대한 전기활성도 및 미생물 전기분해 장치를 통해 그 가능성을 확인할 수 있었다.

1. Single air-cathode MFC를 이용하여 약 20일 만에 0.5~0.6 V의 안정적인 전압을 반복적으로 발생함으로써 산화전극에서 전기활성 미생물의 충분한 전기활성도를 확인하였다.
2. 미생물의 염에 대한 독성은 30 g/L NaCl의 농도에서는 안정적인 전기활성을 보였으며, 이는 RED stack에서의 해수 담수의 농도차보다 더 높은 염도차를 적용 가능성을 보였다.
3. MFC로부터 활성된 미생물을 이용한 미생물 전기분해 장치에서는 최대 34 mL의 가스 생성과 $0.71 \text{ m}^3 \cdot \text{H}_2/\text{m}^3/\text{d}$ 의 가스발생률을 보였다.

따라서 이를 바탕으로 미생물 전기분해 장치에서 RED stack의 적용으로부터 1.0 V의 전력이 확보된다면, 수소가스 생산이 가능 할 것이다.

사사

본 연구는 한국연구재단의 기초연구사업인 ‘고염도 산업폐수와 유기폐수를 활용한 수소에너지 회수용 미생물 역전기투석 전기분해 장치 기술 개발(과제번호: 2013R1A2A2A03068675)’의 지원을 받아 이루어진 것으로, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lewis, N. S. and Nocera, D. G., “Powering the planet: Challenges in solar energy utilization”, *PNAS.*, 103(43), 15729-15735(2006).
2. Logan, B. E., Call, D., Cheng, S., Hamelers, H. V. M., Sleutels, T. H. J. A., Jeremiasse, A. W. and Rozendal, R. A., “Microbial electrolysis cells for high yield hydrogen gas production from organic matter”, *Environ Sci Technol.*, **42**(23), 8630-8640(2008).
3. Veerman, J., Saakes, M., Metz, S. J. and Harmsen, G. J., “Reverse electrodialysis: Performance of a stack with 50 cells on the mixing of sea and river water”, *J Membr Sci.*, **327**, 136-144(2009).
4. Nam, J. Y., Cusick, R. D., Kim, Y. G. and Logan, B. E., “Hydrogen generation in microbial reverse-electrodialysis electrolysis cells using a heat-regenerated salt solution”, *ACS.*, **46**, 5240-5246(2012)
5. Sukkasem, C., Xu, S., Park, S., Boonsawang, P. and Liu, H., “Effect of nitrate on the performance of single chamber air cathode microbial fuel cells”, *Water Research.*, **42**, 4743-4750(2008).
6. Kim, Y. G. and Logan, B. E., “Simultaneous removal of organic matter and salt ions from saline wastewater in bioelectrochemical systems”, *Desalination.*, **308**, 115-121(2013).