

## 미생물 연료전지의 전극 재료와 구조에 따른 전기적 특성

최규만\*

### Electric Characteristics of the MFC according to different electrode structures and materials

Kyu-man Choi\*

**요약** 폐수 속에 들어있는 미생물을 이용해서 전기를 얻을 수 있도록 고안된 것이 미생물 연료전지이다. 본 논문에서는 미생물 연료전지의 전극 재료와 구조에 따른 전기적 특성을 조사했다. 구리판을 캐소드 전극으로 사용한 연료전지는 구리판의 산화 반응에 따른 전압역전현상이 관찰되어 백금판을 전극으로 사용한 연료전지보다 낮은 출력 전압을 나타내었다. 구리판을 전극으로 사용한 경우 전극판의 간격이 작을수록 높은 전압특성을 나타내었고 면적이 넓을수록 최고출력전압이 나타나는 시간이 지연되는 특성을 보였다.

**ABSTRACT** MFC(microbial fuel cell) is the device to produce the electricity by using the microbes which are living in the waste water. In this paper, the electric characteristics of the MFC were investigated according to each different structure and electrode materials. The voltage being reversed phenomenon was observed in the MFC which uses the copper plate as the cathode material. This result comes from the oxidation reaction of the copper plate electrode in this MFC. And this MFC has lower output voltage than one that has a platinum plate electrode.

The smaller gap distance of the copper plate electrode of the MFC showed the higher output voltage. The larger electrode area of the copper plate electrode showed that the reaching time of the output voltage to the maximum value was delayed.

**Key Word** : microbial fuel cell, gap distance, electrode area, electric characteristics, oxidation reaction

### 1. 서론

산업폐수와 생활하수의 강, 하천으로의 방류는 동물의 먹이사슬의 결과로 인체에 유해함과 동시에 자연 환경의 파괴를 초래하게 된다. 따라서 이를 정화함으로써 인체와 환경에의 피해를 최소화시켜야 하지만 많은 에너지비용이 들게 된다. 최근에 산업폐수 와 생활하수 속에 존재하는 미생물로부터 전기를 얻는 동시에 저 비용으로 폐수를 정화시킬 수 있는 미생물 연료전지의

기술이 보고되면서 많은 연구자의 관심을 끌게 되었다. 미생물연료전지의 상용화를 위해서는

아직 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 미생물연료전지의 전극 재료와 미생물연료 전지의 구조가 전기적 특성에 미치는 영향을 조사하고 그 결과를 분석했다.

\* Corresponding Author: Electronic Information and Communication Engineering Professor of Kwandong University (kmchoi@kd.ac.kr)

Received : January 09, 2014

Revised : January 17, 2014

Accepted : January 29, 2014

## II. 본 론

### 2-1 미생물연료전지의 구성

미생물연료전지의 전극재료에 따른 전기적 특성을 조사하기 위해 전극재료로 탄소섬유와 탄소페이스트를 이용한 탄소전극과 백금을 이용한 백금전극 그리고 구리를 이용한 구리전극을 채택했다. 탄소전극을 애노드전극으로 사용하였고 백금전극과 구리전극은 캐소드전극으로 사용하였다. 그림 1.은 이들 전극을 이용하여 제작한 미생물연료전지의 구성을 나타낸 것이다.

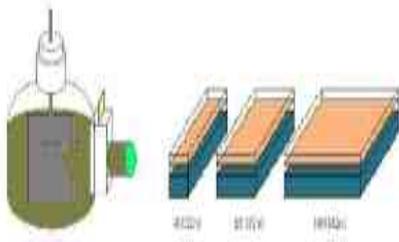


그림 1. 미생물연료전지의 구성 비교

### 2-2 전극재료에 따른 전압 특성

캐소드 전극을 백금으로 하고 캐소드전극을 탄소가 구성된 미생물 연료전지의 전류특성은 그림 2.와 같다.

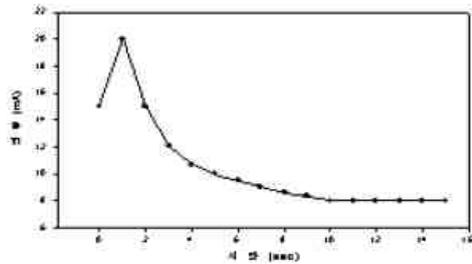


그림 2. 탄소-백금 전극의 미생물연료전지의 단락전류특성

0-1초 구간에서 전류가 상승하는 특성이 나타난 것은 전류 측정을 위해 전류측정을 위한 회로 연결 순간에 순간접촉저항으로 인해 초기 전

류값이 15mA로 제한 되었다가 회로연결이 마무리 되는 순간까지 전류값이 상승하여 미생물연료전지의 양전극에 축적되어 있던 전하들이 방전하기 시작할 때의 전류값인 20mA까지 상승하고, 이때부터 전하가 외부로 방출되어 흐르는, 즉 방전전류의 흐름이 시작된다. 1-10초 구간의 전류곡선이 여기에 해당한다. 10초 이후 구간은 두 전극에 축적되어 있던 전류가 충분히 방전하고 나면 미생물의 대사 작용으로 인해 생겨난 새로운 전하들의 흐름에 의해 이루어지는 전류를 나타낸다. 이 전류는 비교적 안정된 값을 유지하는데 시간의 경과에 따라 미생물의 증식이 이루어지고 보다 많은 전자를 방출하게 되면 이 값은 서서히 증가하게 될 것이다.

시간 경과에 따른 내부저항의 특성은 그림3.과 같다.

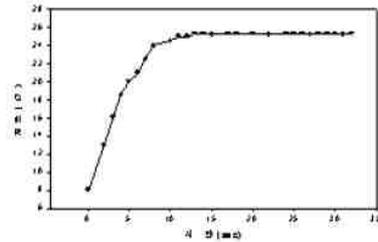


그림 3. 탄소-백금 전극의 미생물연료전지의 내부저항 특성

0-10초의 구간동안은 미생물연료전지의 내부에 축적된 전하의 방출에 따라 내부저항이 적은 값에서 급격히 상승하는 특성을 보이게 된다. 10초 이후에는 전극에 포획되어 있던 전하는 모두 방전되고 새롭게 미생물의 먹이활동으로부터 새롭게 생겨나는 전하들의 이동에만 한정되어 내부저항이 결정되므로 내부저항은 2Ω을 유지했다.

시간경과에 따른 전압 특성은 그림 4.와 같다. 시간경과에 따른 전압 특성은 전류와 저항의 특성에 의해 지배당하므로 0-10초의 구간동안 가파르게 상승하였고 10초 이후 완만하게 상승했다.

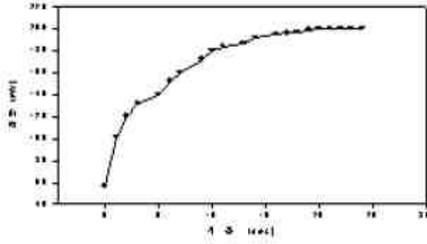


그림 4. 탄소-백금 전극의 미생물연료전지의 개방 전압 특성

탄소와 백금을 전극으로 한 미생물연료전지와 탄소와 구리를 전극으로 사용한 미생물 연료전지를 이용하여 전압특성을 비교 실험했다. 탄소와 백금전극으로 한 구조체는 병 모양의 원형기둥으로 두 개의 전극과 이온막으로 구성되어 있고, 탄소와 구리전극으로 한 구조체는 육면체로 바닥에 카본을 입힌 구리와 동판을 위에 띄우는 구조로 구성된다. 시간에 따른 두 구조체의 전압 특성을 비교한 결과는 그림5.와 같다.

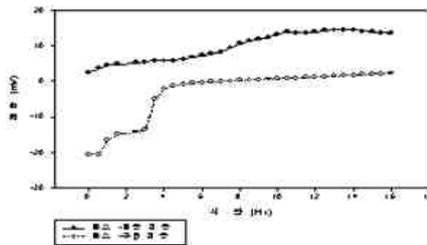
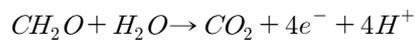


그림 5. 구리판 및 백금판 캐소드에 대한 시간 경과에 따른 전압특성

탄소와 백금으로 한 구조체의 전압특성은 시간이 지남에 따라 완만하게 증가 하였고, 탄소와 구리로 한 구조체는 처음에는 (-)값의 전압이 출력되다가 7시간이 지난 후에 (+)값으로 전환이 되는 현상이 나타났다.

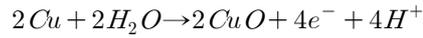
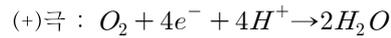
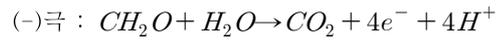
탄소와 백금으로 한 구조체의 화학반응식은  
(-)극 :



(+)극 :  $O_2 + 4e^- + 4H^+ \rightarrow 2H_2O$

와 같이 전류가 흐르게 된다.

탄소와 구리로 한 구조체의 화학반응식은



와 같이 되어서 캐소드 전극에서 구리의 산화반응에 의해 생성되는 양이온의 농도가 미생물의 먹이 활동으로 인해 발생하는 양이온의 농도보다 높을 때는 전압이 마이너스로 나타나게 되고, 이후에 미생물의 먹이활동이 활발하여져서 그 결과로 나오는 양이온의 농도가 구리판의 산화로 인해 발생하는 양이온의 농도보다 높아지게 될 때 비로소 플러스의 전압으로 변환되게 된다.

### 2-3 구리판 캐소드전극의 간격과 표면적에 따른 전압변화

크기를 8X10(Cm)의 구조체로 전극 간에 높이를 5Cm로 하였을 때 약 100mV의 값이 출력되었지만, 높이를 2Cm를 하였을 때에 최대 500mV까지 출력이 나왔다. 전극 간에 간격이 가까울수록 전압이 높아졌다.

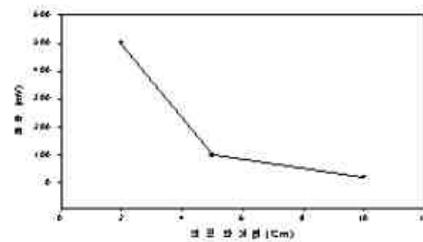


그림 6. 전극 간 거리에 따른 전압 특성

표면적에 따른 전압의 변화를 확인하기 위해서 전극 표면적의 크기를 각각 4Cm X 10Cm, 8Cm X 10Cm, 16Cm x 10Cm로 제작하고, 전극 간격을 2cm로 하여서 전극 면적 차이에 따른 전압 특성을 확인한 결과는 그림 7과 같다.

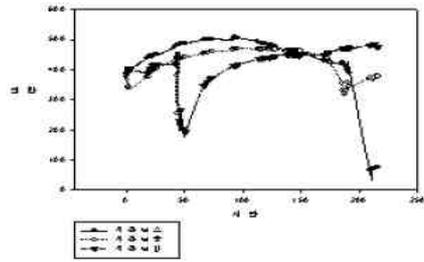


그림 7. 면적차이에 따른 전압특성

4Cm X 10Cm크기의 전극을 갖는 연료전지의 최대치 전압이 가장 높았다. 그리고 전압의 안정성 유지는 16cmX10cm크기의 전극을 갖는 연료전지가 가장 좋았다. 이는 이 연료전지가 보다 많은 용액을 담고 있어 보다 많은 시간동안 미생물의 먹이 활동이 이루어진 결과로 보인다. 면적이 작을수록 최대 전압이 먼저 관측되는 것은 작은 용액 속에서 미생물의 활동이 신속히 진행 된 결과로 보인다.

### III. 결론

미생물연료전지의 전극재료와 구조에 따른 전기적 특성을 분석하기위해 두 가지형태의 미생물연료전지를 제작했다. 전자포획을 위한 애노드전극으로는 탄소 전극을 설치하고 수소이온을 포집하는 캐소드 전극으로는 백금판 전극과 가격이 비교적 저렴하고 전기저항이 작은 구리판 전극을 설치했다. 구리판을 캐소드 전극으로 사용한 연료전지는 구리판의 산화 반응에 따른 전압역전현상이 관찰되었고, 백금판을 전극으로 사용한 연료전지보다 낮은 출력전압특성을 보였다. 구리판을 전극으로 사용한 경우 전극판의 간격이 작을수록 높은 전압특성을 나타내었고 면적이 넓을수록 최고 출력전압이 나타나는 시간이 지연되는 특성을 보였다.

### 감사의 글

본 연구는 지식 경제부 지역혁신센터사업(관동대학교 첨단 해양 공간 개발 연구 센터)의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

### Reference

- [1] S. Oh, B. Min, and B. E. Logan, Environ. Sci. Tech, 38, 4900 (2004)
- [2] W. He, S. D. Minter, and L. T. Angenent, Environ. Sci. Tech, 39, 5262(2005)
- [3] D. R. Bond and D. R. Lovely, Appl. Environ. Microbiol., 69, 1548 (2003)
- [4] G. Reguera, K. P. Nevin, J. S. Nicoll, S. F. Covalla, T. L. Woodard, and D.R. Lovley, Appl. Environ. Microbiol.,72, 7345 (2006)
- [5] J. K. Jang, T. H. Pham, I. S. Chang, K. H. Moon, K. S. Cho, and B. H. Kim, Process Biochem., 39, 1007 (2004)

### 저자약력

최 규 만(Kyu-man Choi)

정회원



1981년 부산대학교 학사  
 1983년 부산대학교 석사  
 1991년 경북대학교 박사  
 1983년-1989년 삼성SDI 종합  
 연구소선임연구원  
 1989년-현재 관동대학교  
 전자정보통신공학부교수

<관심분야> 통신부품, 디스플레이, 센서,  
반도체