

# 마이크로 연료 전지 분리판 디버링을 위한 Electro Polishing 가공 조건 최적화

정재화<sup>1</sup> · 김병찬<sup>2</sup> · 김운용<sup>2</sup> · 조명우<sup>†</sup>

인하대학교 건설기계공학과<sup>1</sup>

인하대학교 기계공학과<sup>2,†</sup>

## Optimization of Electro Polishing Processing Conditions for Deburring of Micro Fuel Cell bipolar plate

Jea-Hwa Chung<sup>1</sup> · Byung-Chan Kim<sup>2</sup> · Woon-Young Kim<sup>2</sup> · Myeong-Woo Cho<sup>†</sup>

Department of Construction Machinery Engineering, Inha National University<sup>1</sup>

Department of Mechanical Engineering, Inha National University<sup>2,†</sup>

(Received October 31, 2017 / Revised November 21, 2017 / Accepted November 24, 2017)

**Abstract:** Micro fuel cells have high reliability and long usage time. Among them, PEMFC (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) is suitable as a portable power source because it is easy to fix electrolyte and simple structure. The bipolar plate, a key component of the fuel cell, is produced by cutting. In the case of micro fuel cell separator, burr is very small and the flow channel size in the separator is very small. Therefore, it is difficult to remove burrs in the usual way such as a brushing or ultra-sonic method. Therefore, this study proposed electrolytic polishing process and analyzed the characteristics of each condition by introducing the concept of roughness reduction rate. In addition, the ultrasonic process was added to analyze the effect of ultrasonic addition.

**Key Words:** Bipolar Plate, Deburring, Electro Polishing, Micro Fuel Cell

### 1. 서론

마이크로 연료전지는 사용시간이 더 길고 신뢰성이 높음에 따라 휴대용 전력원으로 적합하다. 또한 연료전지는 에너지가 전력원의 일부형태가 아닌 연료 축적형태로 저장됨에 따라 연료 탱크만 교체하면 원래 의도했던 작동시간이 가능해 일반 전지에서 발생하는 메모리 효과가 없는 등 장점이 많다고 할 수 있다<sup>1)</sup>. 연료전지는 전해질과 연료 공급 방식에 따라 여러 종류로 나뉜다. 이중 고분자 전해질 연료전지(PEMFC : Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell)는 전해질의 고정용 용이하고 Fig. 1과 같이 구조가 단순하여 휴대용 제품에 적용이 가능하

다.

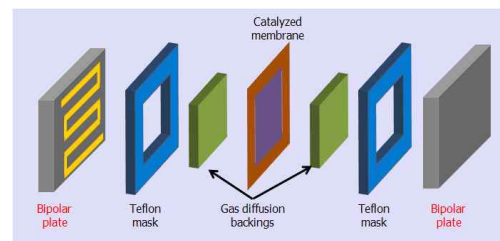


Fig. 1 Structure of PEMFC

분리판(Bipolar plate)은 고분자전해질 연료전지 스택의 핵심부품으로서 연료전지의 높은 효율을 위해 전기전도성이 우수해야 하며, 공급되는 수소와 공기의 흐름을 완벽하게 분리해야 한다. 또한, 연료 가스의 누설이 없고, 기계적 강도는 높아야 하며 제

1. 인하대학교 건설기계공학과

† 교신저자: 인하대학교 기계공학과

E-mail: chomwnet@inha.ac.kr

조 단가는 낮아야 한다<sup>2)</sup>. 일반적으로 높은 부식 저항성과 우수한 표면 접촉 저항으로 인하여 분리판 제조 시 그래파이트(graphite)를 많이 사용하지만 제조, 투과성, 충격에 대한 내구성과 진동특성 등은 금속재료에 비해 상대적으로 열악하다. 또한, 반도체 공정을 이용한 분리판 제작에서는 base로 사용되는 실리콘이나 유리 때문에 높은 접촉 저항성과 낮은 강성이 문제가 된다. 따라서 현재 금속 분리판의 절삭가공에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>3,4)</sup>. 절삭 가공을 통한 분리판 제작 시 발생하는 버는 그 크기로 인하여 상대적으로 버 제거가 용이하지만 마이크로 연료전지 분리판의 경우 버가 매우 작고 분리판 내 유동 채널 크기도 매우 작음에 따라 브러쉬나 초음파 같은 일반적인 방법으로는 버 제거가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 마이크로 영역에서의 디버링 공정으로서 전해연마 방법이 제안되었다<sup>5)</sup>. 특히 스테인레스 스틸로 대표되는 내식성이 우수한 금속은 표면에 부동태 피막이라고 불리는 얇은 산화막을 형성하여 부식에 대해 저항으로 작용한다. 또한, 스테인레스 스틸의 경우 전해연마 공정을 수행을 통해 철(Fe) 부분을 먼저 용출시켜 표면에는 크롬(Cr)과 니켈(Ni)의 비율이 높아짐에 따라 부식 저항성이 커진다는 장점이 있다<sup>6,7)</sup>.

본 논문에서는 마이크로 연료전지 분리판 유로 채널의 제작을 위해 전해 연마를 수행하였다. 마이크로 연료전지 금속 분리판 제작 시 디버링(deburring) 공정으로서 전해연마(EP : Electro Polishing)의 가능성을 검토하기 위한 실험적 연구를 수행하였고 금속 분리판 재료로는 내식성, 전기 전도성, 가공성이 우수한 STL316L을 선정하였으며, 마이크로 채널 절삭 가공 후 발생한 버를 제거하기 위해 전해연마 공정을 수행하였다. 전해연마 공정 변수로서 전류 밀도, 가공시간, 가공 간극을 선정하였으며 각각의 최적 조건 도출 후 도출된 조건에 초음파를 부가하여 초음파 부가의 효과를 분석하였다. 전해연마를 이용한 디버링 실험 후 SEM(Scanning Electron Microscope)을 이용하여 촬영한 이미지의 분석과 비접촉 3차원 조도 측정기를 통하여 조건별 디버링 특성을 고찰하였다.

## 2. Electro Polishing 공정의 원리

전해연마는 전기화학적 반응을 이용한 양극산화 방식의 가공 공정이다. 전기화학가공(electrochemical

machining)의 응용으로서 전해용출을 재료의 필요한 부분에 집중하거나 제한함으로써 필요로 하는 표면 상태를 얻을 수 있는 가공법이다<sup>8)</sup>. Fig. 2와 같이 가공물에 (+)를 전극을 (-)에 연결하고 전류를 인가한다. 다음으로 양전극(anode)과 음전극(cathode)을 충분히 접근시키면 거품이 일며 반응이 일어나기 시작한다.

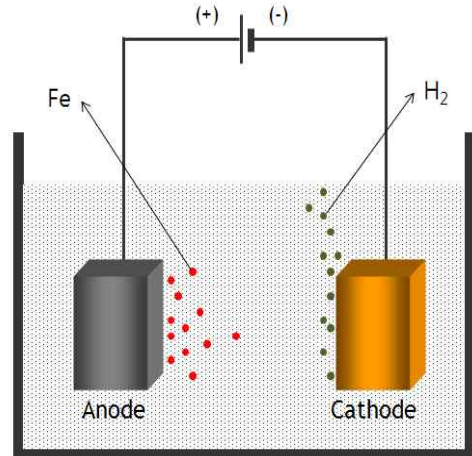


Fig. 2 Principle of Electro Polishing

양전극의 가공물에서는 용출이 발생하고 음전극에서 나온 음전하로 인해 환원된다. 반응 시 양전류를 인가한 가공물에서 질량대비 표면적이 큰 부분부터 먼저 용출되기 때문에 디버링 및 연마 효과를 얻을 수 있게 된다. 또한, 전해연마는 비접촉식 가공으로서 열 변형이 없고 가공재료의 전도성이 확보되면 기계가공이 어려운 난삭재의 가공도 가능하다. 스테인레스 스틸의 전해연마 시 산업계에서는 일반적으로 황산과 인산의 혼합 전해액이 많이 사용되며, 인산만 사용하는 경우보다 가공품질이 더욱 향상된다<sup>9)</sup>.

## 3. Electro Polishing 실험

본 연구의 전해연마를 이용한 디버링 가공 실험에 사용된 가공 시스템은 Fig. 3과 같다. 기초 실험의 조건으로는 전해액의 경우 인산, 황산, DI Water를 3:5:2의 비율로 혼합 하였으며 가공 변수로서 전류 밀도와 가공시간을 선정하였다. 가공간극의 경우 모든 가공조건에 2mm로 적용하였고 세부적인 가공 조건은 Table 1과 같다.

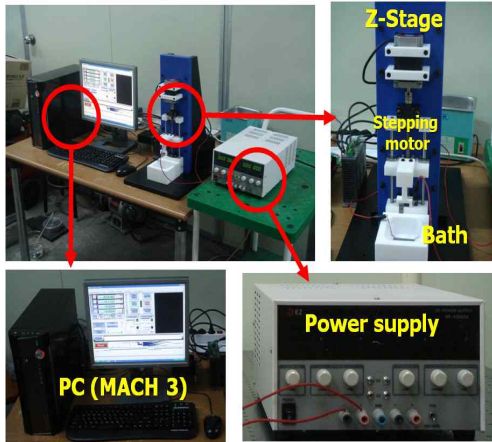


Fig. 3 Debugn system using Electro Polishing

Table 1 Condition of Experiment

Workpiece	STS 316L (10x10x10)mm
Cathode	WC
Electrolyte	Phosphoric(H3PO4) : 50% Sulfuric(H2SO4) : 30% Distilled water(H2O) : 20%
Current Density	1A/cm2, 2A/cm2
Polishing time	30sec, 60sec

Fig. 4와 같이 마이크로 엔드밀 가공 후 채널 상단 양쪽 엣지(edge)부분에서 버가 발생되었음을 확인할 수 있다. 버는 연료전지 스택 조립 시 기밀성 확보에 가장 큰 방해요소로 작용할 가능성이 매우 높다. 기밀성 확보가 어려울 경우 연료전지 작동 시 가스 유출 등의 결함의 원인이 되므로 반드시 제거해야한다.

정량적 분석을 위해 3차원 조도 측정기를 사용하여 시각적 비교뿐만 아니라 표면 거칠기(Ra)를 이용해 수치적으로 비교하였다. 표면 거칠기의 감소는 곧 버의 감소를 의미하므로, 본 논문에서는 절삭 가공 후 얻은 표면 거칠기와 전해 연마 후 얻은 거칠기의 감소율인 표면 거칠기 감소율이라는 개념을 사용하였다.

$$Reduction\ rate\ (\%) = [(Ra_i - Ra_e) / Ra_i] \times 100$$

$Ra_i$  : 가공 전 표면 거칠기

$Ra_e$  : 가공 후 표면 거칠기

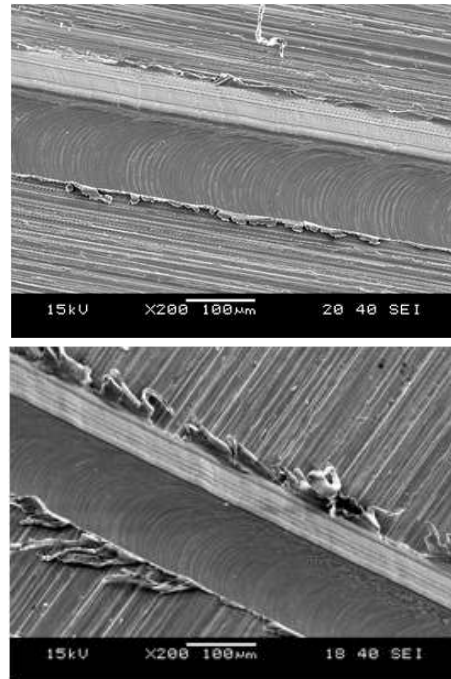


Fig. 4 Micro-channel machined by micro milling system

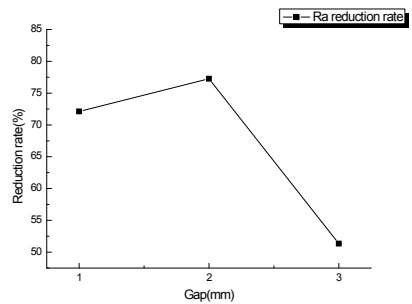


Fig. 5 Surface roughness reduction rate according to gap

Fig. 5는 전극 갭에 따른 표면 거칠기 감소율로서 전극의 갭이 2mm가 되었을 때 가장 많은 표면 거칠기 감소율을 볼 수 있었고 이것은 전극 갭이 너무 커지면 전해액이 큰 저항체로 작용하게 되어 원활한 전류의 흐름을 방해하게 되어 전해작용이 원활하게 이루어 지지 않는다. 반대로 갭이 너무 가까워지게 되면 용출된 이온과 슬러리가 작은 갭으로 인해 원활히 배출 확산되지 않게 되어 전해작용이 원활히 이루어 지지 않는 것으로 사료된다.

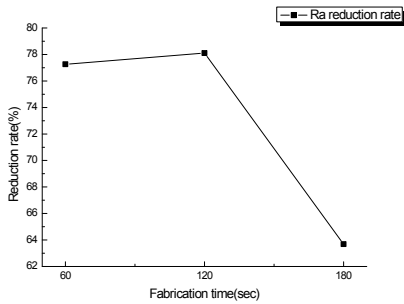


Fig. 6 Surface roughness reduction rate according to polishing time

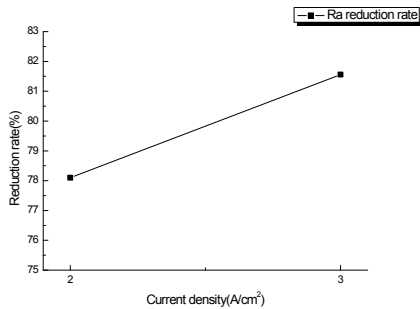


Fig. 7 Surface roughness reduction rate according to current density

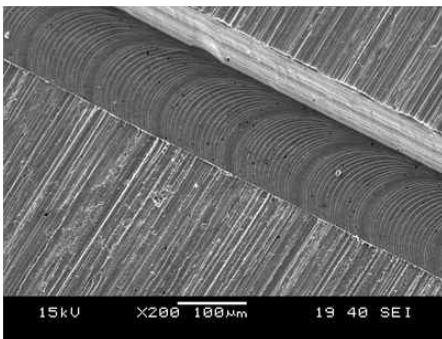


Fig. 8 Micro channel after Deburring

Fig. 6은 가공시간에 따른 표면거칠기 감소율이 다. 120초에서 가장 많은 감소율을 보이는데 이것은 작은 가공시간은 버가 충분히 용출될 수 있는 시간이 주어지지 않은 것으로 사료되고 가공시간이 너무 많을 시는 이온과 슬러리가 가공물 주위에 쌓이게 되고 오히려 다시 가공물에 침착이 되는 것으로 사료된다. Fig. 7은 전류밀도에 따른 거칠기값 감소

율로서 전류밀도가 상승함으로 인해 전해용출 작용이 활발해져 버의 제거가 더 빨리 이루어졌음을 알 수 있다. Fig. 8은 전해 연마 후의 가공 시편을 SEM을 통해 확인한 표면을 나타내며, 기존의 시편에 존재하던 버가 제거된 것을 확인하였다.

#### 4. Ultrasonic을 이용한 Electro Polishing

전해연마 공정을 수행하면 음전극에서는 수소 기체가 발생하고 양전극에서는 산소 기체가 발생하게 된다. 발생된 기체는 대부분 상승하여 대기로 방출되지만 일부는 각각의 전극에 용착되어 전해 연마를 방해하게 된다. 또한, 용출된 이온들은 가공물 주위에 농도가 가장 높게 되며 용출을 방해하고 다시 전극에 용착이 발생한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 가공 베스 아래에 초음파 가진장치를 부착하였다. 전해 가공 시스템에서 초음파는 cavitation 효과에 의해서 전해액을 교반시킨다. 또한, 전류 밀도를 일정하게 해주고 효율을 증진시키며 전해액의 청정 효과를 준다.<sup>10)</sup>

본 논문에서 얻어진 감소율이 가장 큰 조건을 적용하여 초음파 부가 실험을 하였다. 전류 밀도는 3A/cm<sup>2</sup>, 가공 시간은 120s, 가공간극은 2mm로 하였으며 베스는 초음파 진동을 효율적으로 전달하기 위해 유리 비커를 이용하였다. Fig. 9는 비교 결과를 나타낸 그래프로서 초음파를 부가한 후 거칠기 감소율이 더 커짐을 알 수 있다. 이것은 앞서 언급했던 교반 효과 및 청정 효과 등이 작용한 결과라 판단된다.

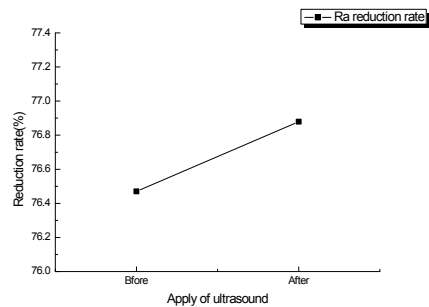


Fig. 9 Surface roughness reduction rate according to ultrasound

#### 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 절삭 가공 시 발생한 버를 제거

하기 위해 전해 연마 공정을 제안하였고 조건별 특성을 분석하였다. 또한, 추가적으로 초음파 부가 시가공 특성을 파악하였다. 정량적 분석을 위해 3차원 조도 측정기를 이용하여 표면 거칠기를 이용해 수치적으로 비교하였다. 표면 거칠기의 감소는 곧 버의 감소를 의미한다고 할 수 있다. 또한 버의 특성상 항상 똑같은 버의 형상 및 크기를 얻는 것은 매우 어려운 일이므로 본 논문에서는 절삭 가공 후 얻은 표면 거칠기와 전해연마 후 얻은 거칠기 값의 감소율인 표면 거칠기 감소율이라는 개념을 사용하였다.

1) 갭이 2mm가 되었을 때 가장 많은 표면 거칠기 감소율을 볼 수 있었고 이것은 전극 갭이 너무 커지면 전해액이 큰 저항체로 작용하게 되어 원활한 전류의 흐름을 방해하게 되어 전해작용이 원활하게 이루어 지지 않는다. 반대로 갭이 너무 가까워지게 되면 용출된 이온과 슬러리가 작은 갭으로 인해 원활히 배출 확산되지 않게 되어 전해작용이 원활히 이루어 지지 않는 것으로 사료된다.

2) 가공시간에 따른 표면 거칠기 감소율에서는 120초에서 가장 많은 감소율을 보이는데 이것은 가공시간에서는 버가 충분히 용출될 수 있는 시간이 주어지지 않은 것으로 사료되고 가공시간이 너무 많을 시는 이온과 슬러리가 가공물 주위에 쌓이게 되고 오히려 다시 가공물에 용착이 되는 것으로 사료된다.

3) 전류밀도에 따른 거칠기 감소율에서는 전류밀도가 상승함으로 인해 전해용출 작용이 활발해져 버의 제거가 더 빨리 이루어졌음을 알 수 있었다.

4) 전해연마 공정 중 초음파를 부가하면 거칠기 감소율이 더 커짐을 알 수 있었다. 이것은 교반 효과 및 청정효과 등이 작용한 결과라 판단된다.

## 참고문헌

- 1) Kundu, A., Jang, J. H., Gil, J. H., Jung, C. R., Lee, H. R., Kim, S. H., Ku, B., Oh, Y. S., "Micro-fuel cells Current development and applications", Journal of Power Sources, Vol. 170, pp. 67-78, 2007.
- 2) Cho, Y. W., Nano Material Technology, KyungHee, Seoul, pp. 13-59, 2002.
- 3) Tawfik, H., Hung, Y., Mahajan, D., "Metal bipolar plates for PEM fuel cell-A review", Journal of Power Sources, Vol. 163, pp. 755-767, 2007.
- 4) Lee, S. J., Chen, Y. P., Huang, C. H., "Electroforming of metallic bipolar plates with micro-featured flow field", journal of Power Sources, Vol. 145, pp. 369-375, 2005.
- 5) Chun, Y. J., Lee, J. H., Lee, E. S., "A Study On the Optimal Condition Selecting Ultra-thin Shadow Mask with Electrolytic-deburring", Proceedings of the KSME Autumn Conference 2005, pp. 1503-1507, 2005.
- 6) Lee, S. J., Chen, Y. P., Huang, C. H., "Stainless steel bipolar plates", Journal of Power Sources, Vol. 145, pp. 362-368, 2005.
- 7) Wang, H., Sweikart, M., Turner, J. A., "Stainless steel as bipolar plate material for polymer electrolyte membrane fuel cells", Journal of Power Sources, Vol. 115 pp. 243-251, 2003.
- 8) Choi, I. H., Kim, J. D., "A Study on the Characteristics of Electrochemical Deburring in the Governor Shaft Cross Hole", Transactions of the KSME A, Vol. 21, No. 12, pp.1984-1991, 1997.
- 9) Lin, C. C., Hu, C. V., "Electropolishing of 304 stainless steel: Surface roughness control using experimental design strategies and a summarized electropolishing model", Electrochimica Acta, Vol. 53, pp. 3356-3363, 2008.
- 10) Lee, S. J., Lai, J. J., Wang, C. H., Lee, Y. M., Tsui, H. P., "The Study of Electrolyte Agitation on Electropolishing"