

## 튜브형 고분자전해질 연료전지와 일회용 수소발생소자를 결합한 미세유체소자용 전원공급소자

김광호\* · 서영호\*† · 김병희\*

\* 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 및 의료·바이오신소재융복합연구단

### Disposable Power Generator with Tubular PEMFC and H<sub>2</sub> Generator for the Power Source of Microfluidic Devices

Kwang-Ho Kim\*, Young Ho Seo\*† and Byeong Hee Kim\*

\* Dept. of Mechanical and Mechatronics Engineering and Medical & Bio-Materials Research Center, Kangwon Nat'l Univ.

(Received November 19, 2009 ; Revised April 30, 2010 ; Accepted May 6, 2010)

**Key Words** : Tubular PEMFC(튜브형 고분자전해질 연료전지), Hydrogen Generator(수소발생소자), Disposable Power Generator(일회용 전원소자)

**초록**: 본 연구에서는 미세유체소자의 전원소자로 적용하기 위한 일회용 수소발생소자와 튜브형 고분자전해질 연료전지로 구성된 일회용 전원소자에 관한 것이다. 튜브형 고분자전해질 연료전지는 1.52 mm의 직경을 가지며, 수소발생소자는 알루미늄과 5M 수산화나트륨의 반응을 통해 수소를 발생시켜 튜브형 고분자전해질 연료전지로 공급하게 된다. 단위 튜브형 고분자전해질 연료전지는 순수한 수소에 대하여 0.81V의 개방전압과 0.35V에서 16.4 mW/cm<sup>2</sup>의 최대전력밀도를 나타내었으며, 수소발생기는 15분 동안 11.6 ml의 수소를 생성하였다. 튜브형 고분자전해질 연료전지와 수소발생기가 결합된 일회용 전원소자는 아무런 주변장치 없이 10분 동안 1.06 mW(0.46V)의 일정한 전력을 발생하였으며, 3개가 직렬로 연결된 고분자전해질 연료전지는 10분 동안 LED(2.5 mW@1.8V)를 동작시켰다.

**Abstract**: This paper presents a disposable power generator for microfluidic devices; the power generator has a tubular PEMFC and a H<sub>2</sub> generator. The tubular PEMFC has a tubular MEA (diameter: 1.52 mm) that is supported by a spiral wire electrode. The H<sub>2</sub> generator supplied H<sub>2</sub> to the tubular PEMFC; H<sub>2</sub> was generated via the reaction of Al foil (27 mg) and 5 M NaOH (0.12 ml). The open circuit voltage and power density of a unit cell of the tubular PEMFC were 0.81 V and 16.4 mW/cm<sup>2</sup> (0.35 V), respectively. The H<sub>2</sub> generator generated 11.6 ml H<sub>2</sub> for 15min. The power generator was continuously operated for 15 min at 0.64 mW (0.71 V) and for 10 min at 1.06 mW (0.46 V). We experimentally verified that it is feasible to use the proposed power generator as a power source for microfluidic devices; in the experiment, an LED (2.5 mW; 1.8 V) was lit for 10 min by using three serially connected TPEMFCs and one H<sub>2</sub> generator.

#### 1. 서론

삶의 질이 향상됨에 따라 개인의 건강이나 환경에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이러한 관심은 언제, 어디서든 개인의 건강진단이나 환경진단을 수행할 수 있는 POC(Point-of-Care) 소자와 LOC(Lab-On-a-Chip)의 개발로 이어져 왔다. 이러한 POC/LOC 소자중 대부분은 미세유체소자를 포함하고 있으며,

마이크로 시스템 분야에서도 새로운 기능을 가진 미세유체소자의 연구개발이 급격히 이루어지고 있을 뿐만 아니라 이들을 구동하기 위한 파워소자에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다.<sup>(1-3)</sup>

특히, DNA 분석, 혈액분석을 위한 미세유체소자, 혈당량 측정과 같은 인체 바이탈(vital)을 감지하는 의료진단용 미세유체소자들은 대부분 일회용이며, 데스크탑 형태의 리더기(reader)를 사용하여 측정 결과를 확인하고 있는데, 반응시간이 10분 내외로 짧고 수mW급의 전력만이 요구되는 것에 주목할 만하다.<sup>(4,5)</sup> 다시 말해, 이러한 일회용 미세유체소자

† Corresponding Author, mems@kangwon.ac.kr

들에 필요시 수mW급의 전력을 10 분 내외로 공급이 가능한 파워소자가 결합된다면, 진정한 POC 개념의 의료진단이 가능해진다.

이러한 일회용 파워소자로 MEMS 기반의 고분자전해질 연료전지(PEMFC; Proton Exchange Fuel Cell), 직접메탄올연료전지(DMFC; Direct Methanol Fuel Cell), 미세유체 연료전지(micro-fluidic fuel cell)를 고려할 수 있는데, 고분자전해질 연료전지의 경우, 높은 효율과 출력에 비해 복잡한 구성요소와 높은 가공비용에 의해 일회용으로 사용되기 어려운 문제점이 있으며, 직접메탄올 연료전지의 경우에는 메탄올의 높은 에너지밀도에 비해 낮은 에너지 효율로 인한 큰 크기와 메탄올의 환경 문제가 일회용으로 사용하는데 문제를 야기하게 된다.<sup>(6)</sup> 최근 연구가 이루어지고 있는 미세유체 연료전지는 연속적으로 유체를 흘려 보내야 하는 문제와 수 $\mu$ W의 낮은 출력이 수mW급에는 적합하지 않다.<sup>(7)</sup> 또한 기존의 초소형의 연료전지의 경우 수~수십 $\mu$ m 크기를 가지는 소자들의 크기에 맞추기 위해서 복잡한 마이크로 가공기술을 요구하기 때문에 높은 가공비용에 따른 일회성으로써의 가격 경쟁력이 낮다.<sup>(8,9)</sup>

본 연구에서는 기존의 다층 평판 형 고분자 전해질 연료전지의 복잡한 구조를 단순화하기 위해 튜브형 고분자전해질 연료전지를 제안하였고, 수소발생소자를 결합하여 부가 장치 없이 독립적으로 필요 시에만 미세유체소자 들에 10 분 내외의 전원 공급이 가능한 수mW급 일회용 파워소자를 개발하였다. 제안되는 튜브형 고분자 전해질 연료전지는 전해질막-촉매 집합체(MEA: Membrane Electrode Assembly)를 튜브형태로 설계하여 MEA 튜브를 직접적인 수소공급의 채널로 사용하여 단순한 구조를 가지는 장점이 있다.<sup>(10)</sup> 수소발생소자는 친환경적이며 값싼 알루미늄과 수산화나트륨 수용액을 전력이 요구되는 순간에 반응시켜 수소를 발생시키기 때문에 독립적으로 동작이 가능하며, 반응이 끝난 수소발생소자는 교체가 가능한 장점이 있다.

## 2. 설 계

### 2.1 파워소자의 설계

Fig. 1 은 튜브형 고분자전해질 연료전지와 수소발생소자가 연결된 파워소자의 투시도를 나타낸다. 수소는 수소발생소자에서 발생되어 공급되고, 산소는 공기 중 산소를 이용하게 된다. 수소발생소자는 알루미늄과 수산화나트륨이 반

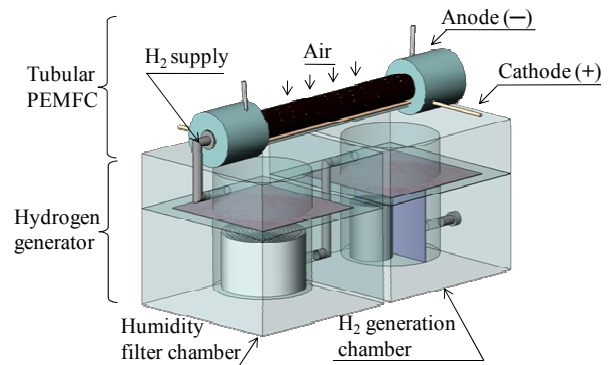


Fig. 1 Schematic view of the power generator with tubular PEMFC and H<sub>2</sub> generator.

응하는 수소발생 챔버와 수소발생시 발생하는 수분을 제거하기 위한 수분필터 챔버로 이루어져 있다. 전체적인 크기는 일회용임을 감안하여 2cc(10 mm×10 mm×20 mm)보다 작게 설계하였다.

### 2.2 튜브형 고분자전해질 연료전지의 설계

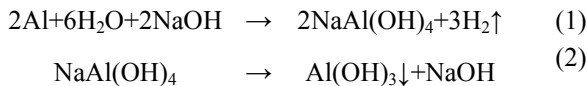
Fig. 2(a)는 튜브형 고분자전해질 연료전지의 개략도를 나타내는 그림이다. 일반적인 고분자전해질 연료전지는 채널이 형성된 분리판을 MEA에 밀착시켜 수소를 공급하게 되는데, 이와 같은 복잡한 구조는 높은 비용의 가공기술을 요구하게 된다. 본 연구에서는 MEA가 튜브형상으로 이루어져 수소공급 채널 역할을 함께 수행하도록 하여 가스확산층(GDL; Gas Diffusion Layer)이 없는 가장 단순한 구조로 설계함으로써, 기존의 평면형태의 고분자전해질 연료전지보다 구조적으로 간단하다.

또한, 외부 공기가 공급되는 부분도 튜브 외부 표면 전체가 사용되므로 반응에 필요한 공기 중 산소가 보다 원활하게 공급되도록 하였다. MEA 튜브는 나선형 와이어에 의해 지지되어 튜브형상을 유지하고 있으며, 나선형 와이어는 수소측 집전 전극(current collecting electrode) 역할을 일부 수행한다. 수소측 및 공기 측 집전 전극은 모두 MEA 위에 직접 은 페이스트(Fujikura Kasei Inc.)를 사용하여 형성하였으며, 그 형상을 전체 면적에 대한 집전 전극의 면적 비에 따라 2-line collecting(20%), 3-line collecting(30%), 4-line collecting(40%) 그리고 mesh collecting(65%)의 4 가지 타입으로 설계하였다. 자세한 집전 전극의 형상은 Table 1에 나타내었다. MEA 튜브 양 끝단은 제작이 쉬운 PDMS (Polydimethylsiloxane)를 이용하여 수소발생소자로부터 발생된 수소 공급용 채널과 연결할 수 있도록 플러그를 형성하였다. 일반적으로 PDMS는 가스 투과성을 가지지만, 동작시간이 10 분 내외로 짧기 때문에 이에 대한 영향은 고려하지 않았다. 설계된 튜브

형 고분자전해질 연료전지의 한쪽 끝단은 수소공급을 위한 채널을 연결하고 다른 쪽 끝단은 다공성 멤브레인으로 막아 MEA 튜브 안의 수소압력을 유지하며 반응하지 않은 수소가 빠져 나갈 수 있도록 하였다.

2.3 수소발생소자의 설계

Fig. 2(b)은 제안되는 수소발생소자의 단면을 보이고 있다. 수소발생소자는 수소 발생시 높은 반응성에 의해 수산화나트륨 수용액이 채널을 따라 튜브형 고분자전해질 연료전지까지 공급되어 연료전지를 손상시킬 수 있기 때문에 발생하는 수소와 수분의 분리를 위해 수소발생 챔버와 수분필터 챔버로 구성되어 있다. 두 개의 챔버 사이에는 다공성 멤브레인을 두고 접합되어 있다. 수소발생 챔버에서 생성된 수소는 상부와 하부 챔버 사이의 1차 다공성 멤브레인에 의해 1차적으로 수분이 제거되고, 수분제거 챔버에서 대부분의 수분이 제거되도록 하였으며, 마지막으로 2차 다공성 멤브레인에서 남아 있는 수분이 모두 제거되도록 하였다. 수분제거 챔버 안에는 수분제거를 위해서 물 형태의 필터페이퍼를 사용하였다. 수소발생 챔버와 수분제거 챔버는 SUS 관을 이용해 연결하였다. 수소발생은 지속적인 반응이 가능한 알루미늄 포일과 5 몰 수산화나트륨(5M NaOH) 조합을 사용하였으며, 반응식은 다음과 같다.







수산화나트륨 수용액의 양은 알루미늄 포일 27mg이 완전 반응하는데 요구되는 최소량인 0.12ml을 주입하였으며, 농도는 L. Soler 등<sup>(11)</sup>의 연구에서 최적화된 농도인 5.75M을 기준으로 본 연구에서는 5M의 수산화나트륨 수용액을 사용하였다. 위의 반응식 (1)과 (2)를 통해 계산되는 이론적 최대 수소발생량은 약 14.6 ml이다. 수산화나트륨을 공급하였을 때, 알루미늄 포일과 균일하게 접촉하도록 하기 위해서 알루미늄 포일과 필터페이퍼(Whatman Ltd.)를 겹쳐 놓고 등글게 말아서 물 형상으로 제작함으로써, 공급된 수산화나트륨이 필터페이퍼를 따라 모세관력에 의해 빠르게 흡수되어 알루미늄 포일 전면에서 일정하게 반응이 일어나도록 하였다.

3. 제작공정

Fig. 3은 제안된 튜브형 고분자전해질 연료전지의 제작공정을 나타내고 있다. 먼저, MEA(Gore Inc.

Table 1 Types of tubular PEMFCs according to shapes of current collecting lines.

*Active area (gray)			
Type1	Type2	Type2	Type2
2-line(20%)	3-line(30%)	4-line(40%)	Mesh(65%)
 *0.56 cm <sup>2</sup>	 *0.49 cm <sup>2</sup>	 *0.42 cm <sup>2</sup>	 *0.24 cm <sup>2</sup>

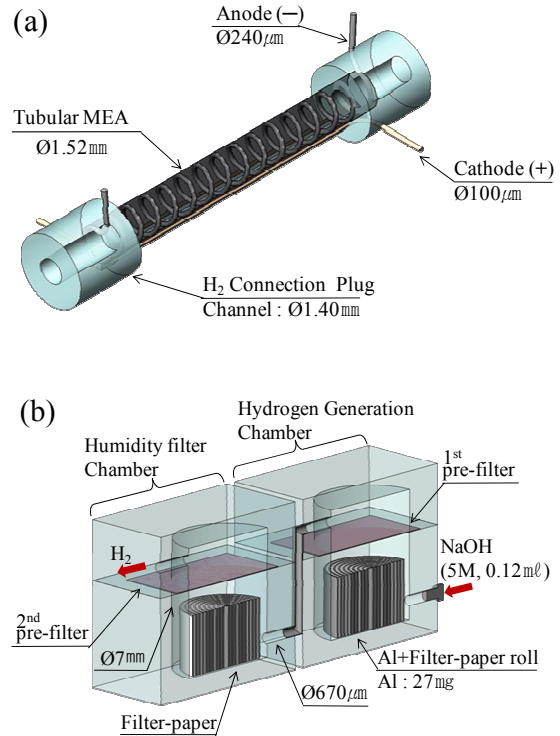


Fig. 2 Configuration of a tubular PEMFC(a) and a H<sub>2</sub> generator(b)

Primea-5710, Pt:0.4 mg/cm<sup>2</sup>) 위에 Table 1과 같이 4가지 형태의 집전 전극을 은 페이스트(Fujikura Kasei Inc.)로 형성한 뒤, Fig. 3(a)와 같은 직경-240 µm인 금속 와이어로 제작된 나선형 코일 위로 미리 제작된 MEA를 접합하여 Fig. 3(b)와 같이 직경 1.52 mm의 튜브형상으로 만든다. 이때 MEA가 겹쳐지지 않도록 1 mm 간격을 유지하고 떨어져 있도록 한다. 사용된 MEA의 크기는 18 mm×6 mm, 두께는 48 µm로 Gore사의 Primea-5710를 사용하였으며, 촉매는 백금(Pt)으로 0.4 mg/cm<sup>2</sup>이 양면에 균일하게 처리되어 있다. Fig. 3(c)과 같이 MEA 하단을 PDMS(Sylgard-184, Dow Corning Inc.)를 이용하여 접합함으로써 튜브형상을 완성한다. 10:1 PDMS를 사용하여 75°C에서 3시간 경화시켜 접합 공정을 수행하였다. 제작된 MEA 튜브는 Fig. 3(d)와 같이 외부 연결을 위한 금속 와이어를 은 페이스트를 이용하여 접합하고, 마지막으로 Fig. 3(e)와 같이 MEA 튜

브 양단에 수소공급을 위해 직경이 1.4 mm인 채널을 가진 PDMS 플러그를 제작하여 튜브형 고분자 전해질 연료전지 단위셀을 완성한다.

Fig. 4는 제안되는 수소발생소자의 제작공정을 보이고 있다. 수소발생소자는 제작과 취급이 용이한 PDMS로 제작되었으며, 10:1 PDMS를 사용하였다. 먼저 높이 2.8 mm, 직경 7 mm의 상부챔버와 높이 5.75 mm, 직경 7 mm의 하부챔버를 670  $\mu\text{m}$  직경의 금속와이어와 폴리머 몰드를 사용하여 제작하였다. 수소발생소자에 사용된 채널은 모두 직경이 670  $\mu\text{m}$ 로 설계하였다. 수소발생 챔버와 수분필터 챔버는 각각 알루미늄 포일(두께-18  $\mu\text{m}$ , 27 mg)-필터페이퍼 롤과 필터페이퍼 롤을 각각 하부 챔버에 삽입한 뒤, 상부챔버와 하부챔버는 다공성 멤브레인(Micro-Pore, 3M Inc.)을 사이에 두고 PDMS를 1500rpm으로 얇게 코팅하여 150°C에서 3시간 경화시켜 접합함으로써 완성하였다. 알루미늄-필터페이퍼 롤은 높이가 4 mm이며, 이는 펼쳤을 때 4 mm  $\times$  64 mm의 직사각형이 된다. 제작된 수소발생 챔버와 수분필터 챔버를 700  $\mu\text{m}$  직경의 SUS 관으로 연결하여 수소발생소자를 완성하고, 마지막으로 수소발생소자와 튜브형 고분자 전해질 연료전지를 동일한 700  $\mu\text{m}$  직경의 SUS 튜브로 연결하여 파워소자의 제작을 완료하였다. Fig. 5은 제작된 일회용 파워소자를 1 센트 동전과 함께 촬영한 사진을 나타낸다.

#### 4. 실험방법 및 실험결과

##### 4.1 실험방법

실험에서는 편의성을 위해서 외부에서 수산화나트륨 수용액을 정밀 펌프(KD Scientific, KDS101)를 사용하여 10 초 동안 공급하고 공급용 채널을 플러그로 막는 방법을 사용하였다. 실험은 튜브형 고분자 전해질 연료전지 단위셀의 특성평가, 수소발생소자의 수소발생률평가, 단위 파워소자 성능평가 그리고 직렬 연결된 파워소자의 성능평가 순으로 진행하였다.

먼저, 연료전지 평가시스템을 이용하여 튜브형 고분자 전해질 연료전지만의 성능을 평가하였다. 12°C, 상압 조건에서, 20 ml/min의 유량으로 순수 수소를 공급하여 4 가지 서로 다른 형태의 집전 전극형상을 가진 튜브형 고분자 연료전지의 성능평가를 수행하였으며, 전압과 전류는 100k $\Omega$ 에서 1 $\Omega$ 까지 30 단계로 이루어진 저항변화를 통해 각각 National Instruments사의 NI USB-6251 DAQ와 Agilent사의 34401A digital multimeter를 사용하여 실시간으로 측정하였다. 튜브형 고분자 전해질 연료전지의 분극곡선(polarization curve)은 각 저항 단계에서 10 초간 유지하며 측정하였다.

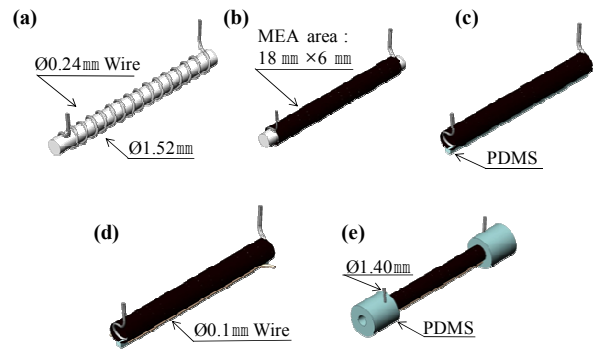


Fig. 3 Fabrication process of a tubular PEMFC

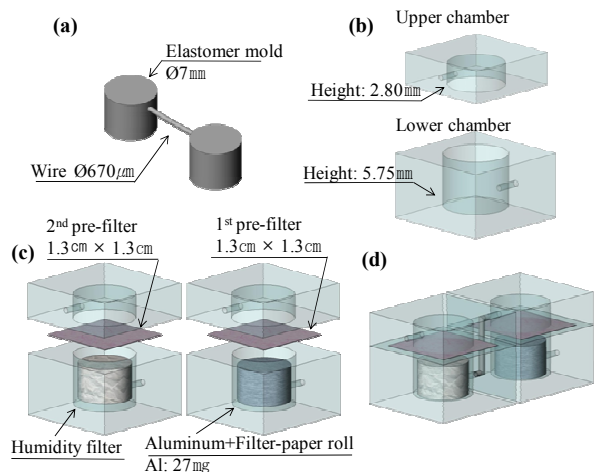


Fig. 4 Fabrication process of a H<sub>2</sub> generator

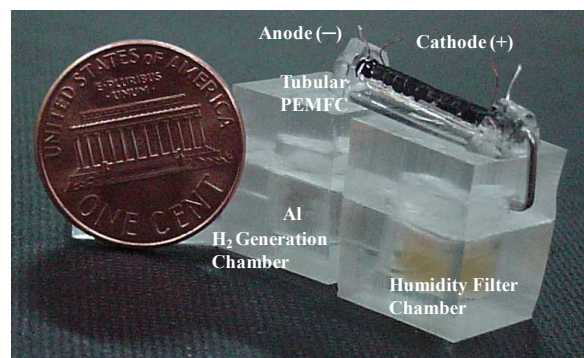


Fig. 5 Photograph of a power generator which consists of a H<sub>2</sub> generator and a tubular PEMFC

수소발생소자를 이용한 실험에서는 먼저 수소의 발생량을 측정하여 파워소자의 동작시간을 예측하였으며, 이는 생성된 수소를 수상치환을 통해 포획한 뒤 실시간으로 촬영하여 측정하였다. 다음으로, 수소발생소자와 튜브형 고분자 전해질 연료전지가 결합된 파워소자의 성능을 평가하기 위하여 제안된 4 가지 타입의 튜브형 고분자 전해질 연료전지 중 가장 높은 특성을 보인 셀을 이용하여 그 특성을 평가하였다. 파워소자의 성능평가는



50Ω, 200Ω, 800Ω 의 로드저항을 인가하여 시간에 따른 전압과 전류를 실시간으로 모니터링 하였다.

마지막으로 3 개의 튜브형 고분자전해질 연료전지가 직렬로 연결된 스택의 성능을 평가하기 위해서 LED(2.5 mW@1.8V)를 연결하여 시간에 따른 동작특성을 전압, 전류와 함께 측정하였다.

4.2 실험결과

Fig. 6 은 기존의 연료전지평가 시스템으로 측정된 4 가지 타입의 튜브형 고분자전해질 연료전지의 분극곡선을 나타내고 있다. 개방전압(OCV, Open Circuit Voltage)는 4 가지 타입 모두 약 0.80~0.85V 가량 나타났으며, MEA 위에 제작된 집전 전극 형태에 따라 전류의 크기가 서로 다르게 나타났는데, 2-line collecting, 3-line collecting, 4-line collecting 그리고 mesh collecting 전극을 가진 연료전지가 각각 0.32V 에서 3.7 mW/cm<sup>2</sup>, 0.37V 에서 9.8 mW/cm<sup>2</sup>, 0.25V 에서 14.6 mW/cm<sup>2</sup> 그리고, 0.35V 에서 16.4 mW/cm<sup>2</sup>의 최대전력밀도를 각각 나타내었다. 가장 높은 최대전력밀도를 나타낸 타입은 mesh-collecting 타입이었으며, 집전 전극의 라인이 늘어나면서 같은 전압을 기준으로 발생하는 전류밀도가 증가되는 것을 확인할 수가 있다. 이는 MEA 의 높은 측 방향(lateral direction) 전기저항에 기인한 것으로 판단되며, 제안된 튜브형 고분자전해질 연료전지가 기존의 고분자전해질 연료전지에서 집전 전극 역할을 수행하는 GDL 층이 없어 더욱 분명한 특성을 나타내는 것으로 판단된다. 사용한 MEA 의 측 방향 전기저항은 1.5kΩ/cm의 높은 값으로 측정되었다.

수소발생소자에 사용된 27 mg의 알루미늄은 이론적으로 완전 반응시, 40 mg의 수산화나트륨이 요구되며, 33.6 ml의 수소를 발생하게 된다. 본 실험에서 주입된 0.12 ml의 수산화나트륨 수용액 양은 완전 반응에 필요한 양의 43.5%이므로 이론상 최대 수소발생량은 14.6 ml이다. 실제 반응을 통해 생성된 수소발생량은 평균 11.6 ml로 수소발생소자간에 약 3 ml의 오차를 나타내었다. 이는 반응시 발생하는 압력으로 수분 흡수 필터로 수용액이 넘치면서 반응식 (2)에 의해 재 반응되는 수용액량의 차이가 주된 요인으로 판단된다.

발생되는 수소는 수산화나트륨 주입 후 30 초 동안은 천천히 반응하다가 1 분 뒤부터 급격히 반응하여 2 분간 지속하며, 이때 최대 수소발생률은 7 ml/min 에 달하게 된다. 이후, 0.5~1 ml/min 이하의 낮은 수소발생률을 보이면서 약 15 분간의 발생지속시간을 보였다.

다음으로, 수소발생소자와 튜브형 고분자전해질

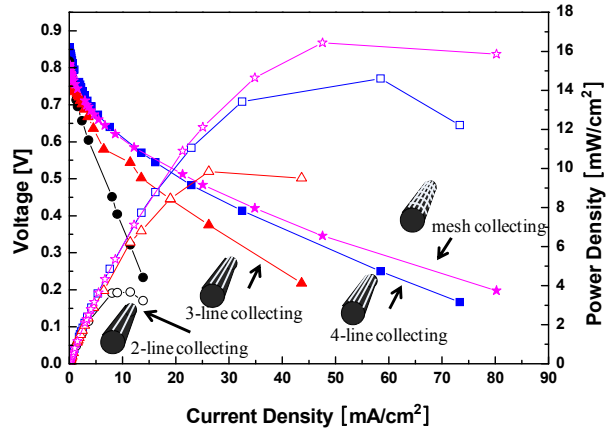


Fig. 6 Polarization curve of four different types of a tubular PEMFC using pure H<sub>2</sub> of 20 ml/min and air at 12°C

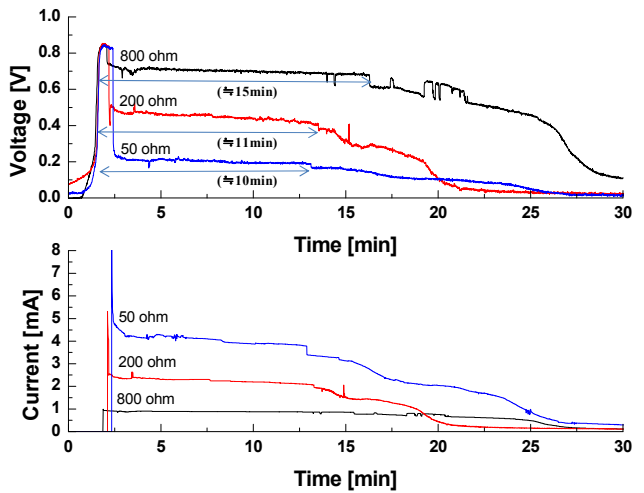


Fig. 7 Operation time of single power generator using a tubular PEMFC of mesh collecting type and H<sub>2</sub> generator at ambient condition

연료전지가 결합된 파워소자의 성능평가는 분극곡선 실험에서 가장 높은 전력밀도를 나타낸 mesh-collecting 타입의 튜브형 고분자전해질 연료전지를 사용하여 진행하였다. 실험은 수산화나트륨 수용액을 주입하여 안정된 개방전압에 도달한 후 회로를 폐쇄시켜 로드저항에 따른 전압 및 전류를 측정하였다. Fig.7 은 50Ω, 200Ω, 800Ω 의 로드저항에 대해 측정한 시간에 따른 전압 및 전류 특성을 나타낸다. 수산화나트륨 수용액 주입 후 약 1 분 이내에 급격히 OCV 값이 0.8V 부근으로 상승하여 유지됨을 확인하였다. 이후 개방회로를 폐쇄시켜 로드저항을 인가시키면 특정시간까지 일정한 전압과 전류가 유지되는 것을 알 수 있다.

전압 및 전류가 일정하게 유지되는 지속시간은 800Ω (0.64 mW=0.71V×0.90mA)의 로드저항에서 약 15 분, 200Ω(1.06 mW=0.46V×2.30mA)의 로드저항에

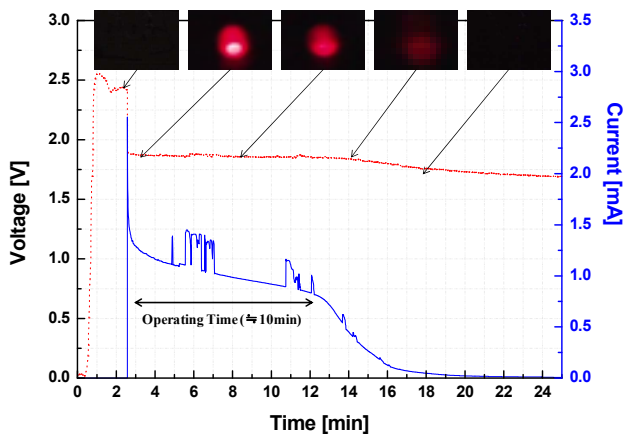


Fig. 8 LED lighting test using serially connected 3-TPEMFCs with single  $H_2$  Generator

서 약 12 분,  $50\Omega$  ( $0.9 \text{ mW} = 0.21\text{V} \times 4.27\text{mA}$ )의 로드저항에서 약 10 분으로 평균 10 분 이상의 일정한 동작성능을 나타내었다.  $200\Omega$ 의 로드저항을 인가한 경우 Table 1에 나타낸 반응면적을 고려하여 전력 밀도로 환산하게 되면  $0.46\text{V}$ 에서  $4.42 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 이며, 이는 순수한 수소를 이용하여 측정된 분극곡선 (Fig. 8)의 측정결과인  $0.48\text{V}$ 에서  $12.11 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 의 37%에 해당하는 출력으로 알루미늄과 수산화나트륨 수용액의 반응을 통해 생성되는 수소의 낮은 수량과 수분에 의한 영향으로 사료된다.

마지막으로 Fig. 8은 직렬 연결된 3개의 튜브형 고분자전해질 연료전지(mesh collecting 타입) 스택의 성능을 평가한 실험결과로 POC/LOC 소자의 요구 전력과 비슷한 LED ( $2.5 \text{ mW}@1.8\text{V}$ )를 연결하여 시간에 따른 동작특성을 전압, 전류와 함께 측정하였다. OCV는  $2.4\text{V}$  부근으로  $0.8\text{V}$ 의 OCV를 나타내는 단위셀 3개를 직렬 연결한 특성을 정확하게 나타내었으며, LED를 동작시키는 시간은 약 10 분으로 평가된다. 그 동안 전압은 거의 일정하게  $1.88\text{V}$ 로 유지되지만, 전류가 일정하게 감소하다가 LED 동작시간 10 분 후부터 급격하게 감소함을 확인할 수 있다. 이는 수소발생소에서 생산되는 수소가 15 분 가량 유지됨을 미루어 볼 때 공급되는 수소가 부족함에 기인한 것으로 생각된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 다층 평판형 고분자전해질 연료전지의 복잡한 구조를 개선하기 위해 튜브형 고분자전해질 연료전지를 제안하였고, 튜브형 고분자전해질 연료전지를 수소발생소자와 결합하여 미세유체소자기반의 POC 센서나 LOC의 전원

공급을 위한 일회용 파워소자를 개발하였다. 튜브형 고분자전해질 연료전지 단위셀은  $0.81\text{V}$ 의 OCV(Open Circuit Voltage)와  $0.3\text{V}$ 에서  $16 \text{ mW}/\text{cm}^2$ 의 최대전력밀도를 나타내었다. 수소발생소자는 약 15 분간 총  $11.6 \text{ ml}$ 의 수소를 생성하였다. 실험결과에 따르면 수소발생소자를 통해 생성된 수소는 튜브형 고분자전해질 연료전지에 공급되어  $0.64 \text{ mW}$  ( $0.71\text{V}$ )와  $1.06 \text{ mW}$  ( $0.46\text{V}$ )의 전력을 각각 15 분과 10 분 동안 일정하게 유지시키는 것으로 측정되었다. 또한, 3개의 단위셀을 직렬로 연결한 스택은 수소발생소자와 함께 약 10 분간 LED ( $2.5 \text{ mW}@1.8\text{V}$ )를 동작시켜, POC/LOC의 전력원으로서의 가능성을 확인하였다. 결과적으로 본 연구에서는 실험을 통해 제안하는 일회용 파워소자가 외부의 추가적인 에너지공급 없이 수 mW의 전력을 생산하여 POC 센서나 LOCs 등 일회용 stand-alone 타입의 마이크로 시스템의 전력원으로 사용 가능함을 검증하였다. 향후, 알루미늄과 수산화나트륨 수용액은 같은 챔버 안에서 깨지기 쉬운 세라믹 멤브레인을 경계로 분리되어 있다가 필요시 멤브레인을 깨뜨림으로써 혼합하여 수소를 발생시키는 on-demand 형태로 제작할 예정이다.

## 후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성 사업과 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/의료바이오신소재융복합연구사업단)로부터 지원받아 수행된 연구결과입니다.

## 참고문헌

- (1) Dyer, Christopher K., 2002, "Fuel Cells for Portable Applications," *Journal of Power Sources*, Vol. 106, pp. 31~34.
- (2) Tristan Pichonat and Bernard Gauthier-Manuel, 2007, "Recent Developments in MEMS-based Miniature Fuel Cells," *Microsystem Technol*, Vol. 13, pp. 1671~1678.
- (3) Ki Bang Lee and Liwei Lin, 2003, "Electrolyte-based On-demand and Disposable Microbattery," *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 12, No. 6, pp. 840~847.
- (4) Bernhard H. Weigl, Bernhard H. Weigla, Ron L. Bardella, Catherine R. Cabrera, 2003, "Lab-on-a-chip for Drug Development," *Advanced Drug Delivery Reviews* Vol. 55, pp. 349~377.
- (5) Chong H. Ahn, Jin-Woo Choi, Gregory Beaucage, Joseph H. Nevin, Jeong-Bong Lee, Aniruddha

- Puntambekar and Jae Y. Lee, 2004, "Disposable Smart Lab on a Chip for Point-of-Care Clinical Diagnostics," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 92, No. 1.
- (6) Nan-Trung Nguyen and Siew Hwa Chan, 2006, "Micromachined Polymer Electrolyte Membrane and Direct Methanol Fuel Cells - a Review," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 16, No. 4, pp. 1~12.
- (7) Erik Kjeang, Ned Djilali and David Sinton, 2009, "Micro Fluidic Fuel Cells: a Review," *Journal of Power Sources*, Vol. 186, pp. 353~369.
- (8) Jamelyn D. Holladay, Yong Wang and Evan Jones, 2004, "Review of Developments in Portable Hydrogen Production Using Microreactor Technology," *Chem. Rev.* Vol. 104, pp. 4767~4790.
- (9) Kong, V.C.Y., Foulkesa, F.R., Kirka, D.W. and Hinatsu, J.T., 1999, "Development of Hydrogen Storage for Fuel Cell Generators. I: Hydrogen Generation Using Hydrolysis Hydrides," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 24, pp. 665~675.
- (10) Edward Albert Bass, Patrick Martin Merritt, Christopher Alan Sharp, Creag Marshall Wall and John Campbell, 1999, "Cylindrical Proton Exchange Membrane Fuel Cells and Methods of Making Same," *United States Patent*, US006001500A.
- (11) Solar, L., Macanás, J., Muñoz, M. and Casado, J., 2005, "Hydrogen Generation from Aluminum in a Non-consumable Potassium Hydroxide Solution," *Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC*, Istanbul, Turkey, pp. 13~15.