

< 논문 >

## 마이크로 연료전지용 MEMS 메탄올 개질기의 가공과 성능시험

김 태 규\* · 권 세 진†

(2006년 8월 3일 접수, 2006년 10월 11일 심사완료)

### Fabrication and Performance Evaluation of MEMS Methanol Reformer for Micro Fuel Cells

Taegy Kim and Sejin Kwon

**Key Words :** Reformer(개질기), Micro Fuel Cell(마이크로 연료전지), Catalytic Reactor(촉매 반응기), Methanol(메탄올), Hydrogen(수소), MEMS(멤스)

#### Abstract

A MEMS methanol reformer was fabricated and its performance was evaluated in the present study. Catalytic steam reforming of methanol was selected because the process had been widely applied in macro scale reformers. Conventional Cu/ZnO catalyst that was prepared by co-precipitation method to give the highest coating quality was used. The reactor structure was made by bonding three layers of glass wafers. The internal structure of the wafer was fabricated by the wet-etching process that resulted in a high aspect ratio. The internal surface of the reactor was coated by catalyst and individual wafers were fusion-bonded to form the reactor structure. The internal volume of the microfabricated reactor was 0.3cm<sup>3</sup> and the reactor produced exhaust gas with hydrogen concentration at 73%. The production rate of hydrogen was 4.16 ml/hr that could generate power of 350 mW in a typical PEM fuel cell.

#### 1. 서 론

최근 모바일 마이크로 시스템의 개념이 다양한 분야에서 제시되고, 많은 연구가 진행되고 있다. 그 예로 마이크로 로봇, MAV(Micro Aerial Vehicle), 모바일 전자장비, 나노 위성 등이 있다. 이러한 마이크로 시스템의 동력은 현재까지 기존의 2 차 전지에 의존하고 있다. 그러나 마이크로 시스템의 크기는 감소하고 기능은 증가하는 추세를 볼 때, 멀지 않은 미래에 요구 동력이 기존의 2 차 전지의 동력 레벨을 초과할 것으로 판단된다. 따라서, 새로운 마이크로 동력원이 필수적인 상태이다.<sup>(1)</sup>

현재까지 다양한 마이크로 동력원의 개념이 제시되었다. 그 예로 마이크로 터빈,<sup>(2)</sup> 마이크로 엔

진,<sup>(3)</sup> 열전 발전기 그리고 연료 전지<sup>(4)</sup> 등을 들 수 있다. 이러한 다양한 개념 중에 가장 가능성이 있는 대안으로 마이크로 연료전지가 많이 연구되고 있다.<sup>(4)</sup> 연료 전지의 여러 타입 중 직접 메탄올 연료 전지(DMFC, Direct Methanol Fuel Cell)는 낮은 작동 온도와 구조의 단순함으로 인하여 마이크로 시스템에 가장 적합한 것으로 알려져 있으며 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 여전히 메탄올이 전해질을 바로 투과하는 연료 크로스오버(fuel crossover) 현상으로 인한 효율 저하는 극복해야 할 문제점이다.<sup>(5)</sup> 다음으로 고분자 전해질 연료 전지(PEMFC, Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell) 또한 마이크로 시스템의 동력원으로 연구되고 있다.<sup>(6)</sup> 고분자 전해질 연료 전지는 작동 온도가 낮 으면서도 직접 메탄올 연료전지와 달리 수소를 이용하기 때문에 연료 크로스오버와 같은 문제가 없다. 하지만, 고분자 전해질 연료 전지의 개발에 있어 가장 큰 제약은 수소의 저장 및 취급 상에 어려움과 위험성에 있다.<sup>(7)</sup>

\* 회원, 한국과학기술원 항공우주공학과

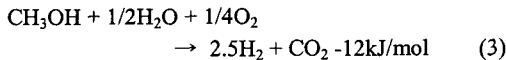
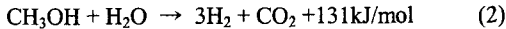
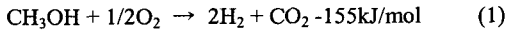
† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 항공우주공학과

E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

TEL: (042)869-5721 FAX: (042)869-3710

일반적으로 수소를 저장하는 방법에는 고압 용기에 저장하는 방식과 금속 수소화합물을 통한 저장 방식이 있으나 마이크로 시스템에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 마이크로 동력원에 응용하기 위해서는 탄화수소계열 연료에서 개질 반응을 통해 수소를 생산하는 방식이 가장 적합하다. 메탄올은 탄화수소계열 연료 중 마이크로 동력원으로 가장 적합하다. 메탄올은 액체 연료로 높은 에너지 밀도를 가지고 있으며, 끓는 점이 낮아 작은 에너지로 기화시킬 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 저장이 용이하고 높은 H/C 비를 가지고 있어 다른 탄화수소계열 연료에 비해 슈트(soot) 형성이 적다.<sup>(8)</sup>

메탄올을 수소 에너지로 변환시키는 것은 촉매를 이용한 개질 반응을 통해 가능하다. 메탄올 개질 반응은 크게 3 가지로, (1) 부분 산화 반응(POX, partial oxidation reaction), (2) 수증기 개질 반응(STR, steam reforming reaction) 그리고 (3) 자열 개질 반응(ATR, autothermal reforming reaction)이 있다. 각 반응의 화학반응식은 다음과 같다.<sup>(9)</sup>



화학반응식에서 알 수 있듯이 수증기 개질 반응이 다른 반응에 비해 메탄올 1mol 당 생성되는 수소의 몰수가 가장 높으며, 부분 산화 반응과 자열 개질 반응과 달리 산소를 공급할 필요가 없어 장치가 간단해 진다는 장점이 있다. 따라서 마이크로 시스템의 적용에 있어서 수증기 개질 반응이 가장 적합하다고 판단된다.<sup>(10)</sup>

본 논문에서는 마이크로 연료 전지에 응용할 수 있는 메탄올 수증기 개질 반응을 위한 마이크로 촉매 반응기의 제작 및 성능 평가를 수행하였다. 일반적인 Cu 계열 촉매 중 Cu/ZnO 를 공침법으로 제조하였으며, XRD(X-Ray Diffractometer), SEM(Scanning Electron Microscope) 분석을 통해 촉매 특성을 평가하였다. 기존의 촉매 반응기와 달리 MEMS 기반의 촉매 반응기에서 요구되는 촉매 코팅 방법을 개발하였고 일반적인 리소그래피(lithography) 과정과 통합된 촉매 코팅 공정을 통해 반응기를 제작하였다. 또한 제작된 MEMS 메탄올 개질기의 메탄올 전환율, 수소 생성율 및 생성물 조성의 측정을 통해 성능 평가를 수행하여, 최적의 작동 조건을 알아보았다.

## 2. 촉매

### 2.1 촉매 준비

메탄올 수증기 개질을 위해 반응성과 선택성이 우수한 Cu/ZnO 촉매를 공침법(co-precipitation method)으로 제조하였다. 이 촉매에서 Cu 가 활성점으로 작용하며 ZnO 가 Cu 의 표면적을 안정화시키는 역할을 한다.<sup>(11)</sup> Cu/ZnO 촉매 제조 과정을 Fig. 1 에 도시하였다. 개략적으로 Cu 와 Zn 의 전구체를 침전용액 내에서 공침시키는 과정으로 이루어진다. 1.8 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 수용액에 0.7 M Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 수용액과 0.3 M Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 을 혼합하고 질소 분위기에서 침전시켰다. 공침 과정 동안 온도는 30 °C로 pH 는 7.0 으로 유지시켰다. 침전물은 세척 후 120°C에서 2 시간 동안 건조시켰고 350 °C에서 2 시간 동안 하소(calcination)하였다.

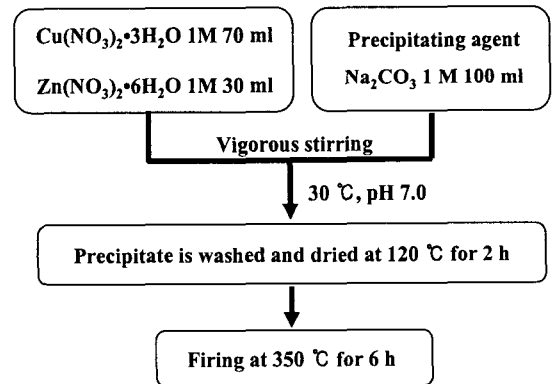


Fig.1 Flow chart of co-precipitation method for Cu/ZnO catalyst

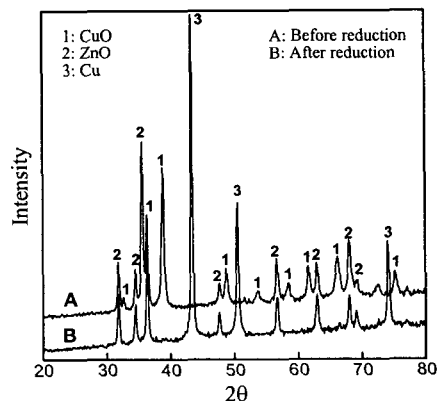


Fig. 2 XRD patterns of Cu/ZnO catalyst prepared by co-precipitation method

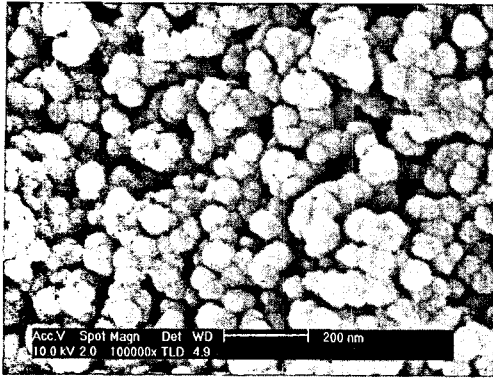


Fig. 3 SEM image of the catalyst grains

2.2 촉매 특성

준비된 촉매의 XRD 분석을 수행하였다. 제조된 촉매의 XRD 패턴을 Fig. 2에 나타내었다. 촉매에 Cu와 Zn가 산화물 형태로 존재하였으며, Cu와 Zn를 모두 포함하는 피크는 나타나지 않았다. Cu/ZnO 촉매는 공침법으로 제조되면 Fig. 2의 A와 같이 CuO/ZnO 형태로 존재하게 된다. 수소 환원(reduction) 과정을 통해 Fig. 2의 B와 같이 Cu로 활성화 될 수 있다.

SEM 분석을 통해 촉매 입자를 조사하였다. Fig. 3은 준비된 촉매의 SEM 결과로 촉매 입자 크기는 20nm로 고르게 분포하였으며, 각각의 촉매 입자가 서로 뭉치지 않고 개별적으로 존재하였다. 이는 촉매 슬러리(slurry) 준비 시에 만족스러운 분산 특성을 보였다. 촉매의 분산 특성은 촉매 코팅 시 중요한 인자로 반응기에 코팅 시 균일한 촉매층을 얻을 수 있다.<sup>(12)</sup>

3. 제작

3.1 구조체 선정

본 논문에서는 MEMS 메탄올 개질기의 구조체를 위해 Forturan® (made by schott) 감광유리 기판을 사용하였다. 감광유리는 DRIE(Deep Reactive Ion Etching)와 같은 건식 식각에서 얻을 수 있는 고중형비 구조를 단순한 비등방성 습식 식각을 통하여 제작이 가능하다.<sup>(13)</sup> 감광유리가 비등방성 식각이 가능한 이유는 310 nm의 자외선에 노광된 부분이 585 °C에서 열처리되는 과정에서 유리 내부 격자의 Ag 원자를 중심으로 재결정이 이루어지며, 재결정이 이루어진 부분은 유리 부분에 비해 10% HF 용액에 20 배 빠른 속도로 식각되기 때문이

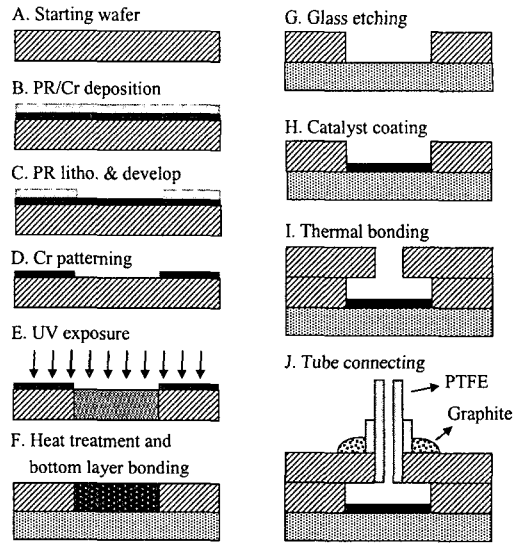


Fig. 4 Schematic of the fabrication process for a MEMS methanol reformer

다.<sup>(14)</sup> 이와 같은 식각 특성은 낮은 공정가격으로 손쉽게 마이크로 채널 구조물의 제작을 가능케 한다. 또한 감광유리는 이와 같은 식각 특성뿐만 아니라, 우수한 열적, 화학적, 기계적 특성 때문에 MEMS 기반의 촉매 반응기의 구조체로 적합하다고 판단된다.

3.2 반응기 가공

감광유리를 통한 구조체 가공은 크게 Cr 마스크 패턴 형성, 노광, 열처리, 그리고 식각 공정으로 이루어진다. MEMS 메탄올 개질기의 제작과정을 Fig. 4에 나타내었다. 먼저, 감광유리 위에 Cr 마스크 패턴을 제작하기 위해 스퍼터(sputter)를 이용하여 Cr을 1000 Å 증착하였고, AZ6612® PR을 4000 rpm에서 45 초 동안 스핀 코팅하였다 (Fig. 4-B). 365 nm 파장의 자외선 노광 및 식각을 통해 PR 패턴을 형성하고(Fig. 4-C), CR-7 용액으로 Cr을 식각하면 감광유리 위에 원하는 형태의 Cr 마스크 패턴을 형성할 수 있다(Fig. 4-D). 다음으로 310nm 파장의 자외선을 8 J/cm<sup>2</sup>의 광밀도로 17 분간 조사하면 Cr 마스크에 의해 가려지지 않은 유리 부분이 노광이 된다. 이때 빛을 흡수한 유리의 Ce<sup>3+</sup>는 자유전자를 하나 빼앗기게 되고, 그 자유전자를 흡수한 Ag<sup>+</sup> 이온은 Ag 원자가 된다(Fig. 4-E). 노광된 웨이퍼를 황산과 과산화수소 혼합 용액(4:1)에 5 분간 세척 후 585 °C에서 열처리 과정을 거치게 되면 노광된 부분은 Ag 원자를 중심으로 재결정이 일어나면서 Li<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>을 형성하게 된다.

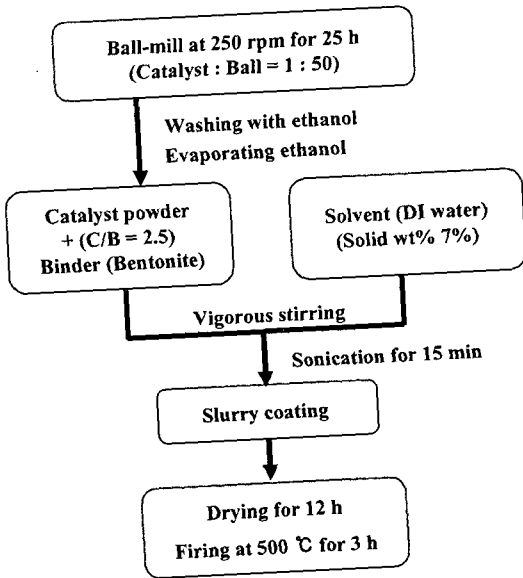


Fig. 5 Flow chart of the procedure of powder precipitation coating within a microreactor

이 과정에서 바닥 층도 함께 퓨전 본딩 (fusion bonding)에 의해 집합된다(Fig. 4-F). 다음으로 열처리 과정을 통해 재결정된 부분을 10% HF (hydrofluoric acid) 용액으로 식각하였다(Fig. 4-G). 1mm 감광유리를 식각하는 데 1 시간 정도의 시간이 소요되었다.

### 3.3 촉매 코팅

준비된 Cu/ZnO 촉매를 제작한 촉매 반응기 벽면에 Fig. 5 와 같이 침전 코팅 방법으로 코팅하였다.<sup>(12)</sup> 일반적으로 공침법으로 합성된 Cu 계열 촉매는 분말 상태이다. 따라서 분말 상태의 촉매를 반응기 채널에 코팅하기 위해 사용한 침전 코팅 방법은 다음과 같은 과정으로 이루어져 있다. 먼저 코팅하고자 하는 웨이퍼를 과산화수소와 황산 혼합물(1:1)에 세척한다. 이 과정을 통해 웨이퍼 표면에 유기물을 제거하고, 촉매 접착 특성을 향상시킬 수 있다. 다음으로 촉매를 볼-밀(ball-mill)을 이용하여 250 rpm 에서 25 시간 동안 분쇄한다. 이 과정을 통해 멩쳐진 촉매 입자를 분쇄하여 촉매 분산 특성을 더욱 향상시킬 수 있다. 그리고 바인더(binder)와 촉매를 1:2.5 비율로 증류수에 분산시킨다. 이때 증류수의 양은 solid wt%가 7%가 되도록 한다. 충분한 교반 과정을 통해 분산된 촉매 용액을 코팅하고자 하는 채널 내부에 붓고 촉매와 바인더를 침전시킨다. 12 시간 정도 건조과정을 거친 후 500 °C에서 3 시간 동안 소성시켰다.

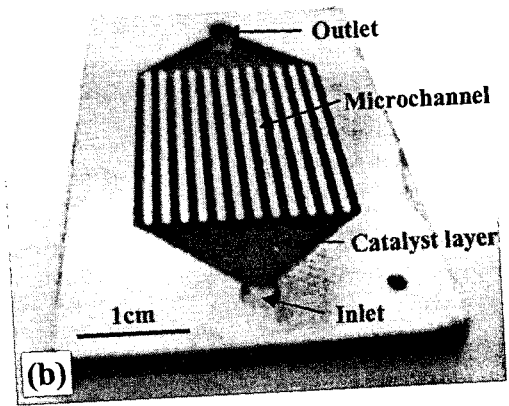
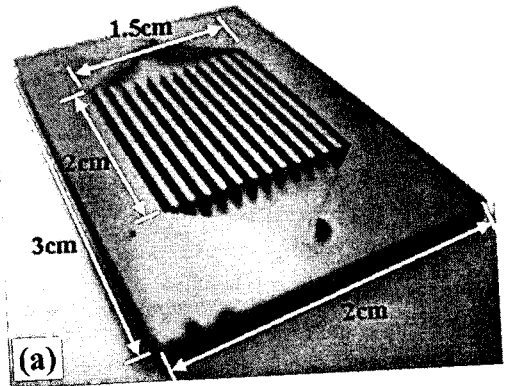


Fig. 6 The fabricated MEMS methanol reformer; (a) Glass reactor after HF etching, (b) Catalytic reactor after catalyst coating

촉매 코팅 후 커버를 집합하였다. 커버에는 메탄올과 물이 공급되고 촉매 반응을 통해 얻어진 생성물이 빠져나갈 구멍이 감광유리 공정을 통해 제작되었다. 이와 같이 제작된 커버를 500 °C에서 1000 N/m<sup>2</sup> 의 압력을 가한 상태에서 2 시간 동안 퓨전 본딩을 통해 집합하였다(Fig. 4-I). 다음으로 제작된 MEMS 메탄올 개질기의 성능평가를 위해 PTFE(Polytetrafluoroethylene) 튜브를 흑연 접착제를 이용하여 연결하였다.

### 3.4 제작결과

Fig. 6 은 위와 같은 공정으로 제작된 MEMS 메탄올 개질기를 보여주고 있다. 500 μm × 1 mm의 마이크로 채널이 형성되었으며, 반응기 내부 부피는 2 cm × 1.5 cm × 0.1 cm 이다. 촉매층이 마이크로 채널 벽면에 코팅되었으며, 결과로부터 채널 내 촉매가 막힘 없이 코팅되었음을 알 수 있다.

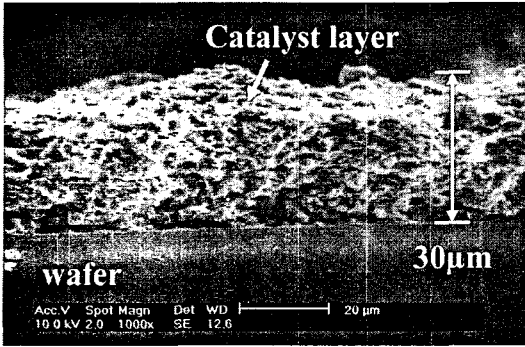


Fig. 7 SEM image of the catalyst layer on the surface of microchannel

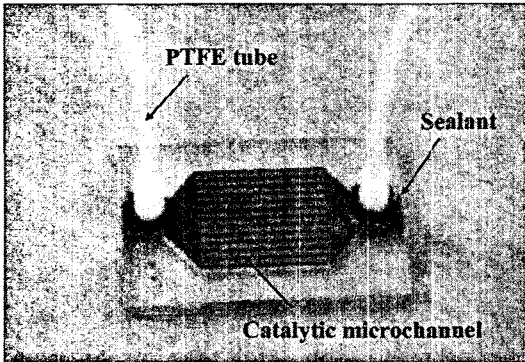


Fig. 8 MEMS methanol reformer that connected the PTFE tube for reaction experiments

Fig. 7은 마이크로 채널 내 촉매층 단면의 SEM 분석 결과이다. 촉매층이 균일하게 코팅되었음을 알 수 있었으며, 벽면에 코팅된 촉매의 두께는 약 30 μm로 측정되었다. Fig. 8은 반응실험을 위해 PTFE 튜브를 연결한 반응기의 사진이다.

#### 4. 성능 평가

##### 4.1 실험 장치

제작된 MEMS 메탄올 개질기의 성능평가를 수행하기 위해 Fig. 9과 같이 실험장치를 구성하였다. 메탄올을 공급하고 유량을 제어하기 위해 주사기 펌프(syringe pump)를 사용하였고, 온도 제어가 가능한 전기 히터를 통해 반응기에 열을 공급하고 반응온도를 제어하였다. 반응 후 생성물은 가스 크로마토그래피(gas chromatography)를 이용하여 조성을 분석하였고, 비누방울 유량계를 이용하여 유량을 측정하였다. 가스 분석을 위한 컬럼으로 H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 등을 분석할 수 있는 Porapak-Q (80/100 mesh, 1/8", 6ft)를 사용하였으며, TCD

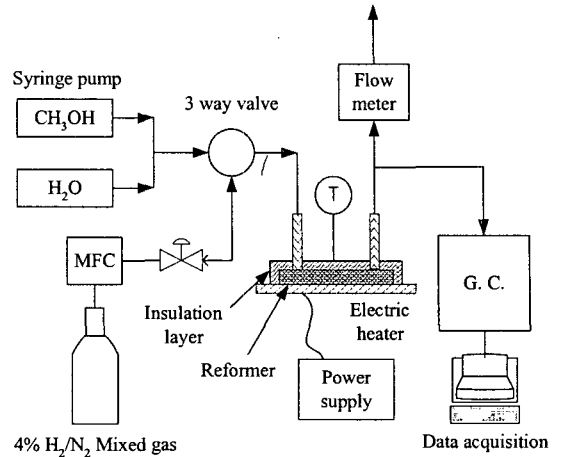


Fig. 9 Apparatus for the performance evaluation of the fabricated MEMS methanol reformer

(Thermal Conductivity Detector)를 이용하여 분석하였다. 운반가스로는 Ar를 사용하였다. 일반적으로 메탄올 수증기 개질 반응은 250 °C 이상의 온도가 필요한 것으로 알려져 있다. 온도가 올라갈수록 메탄올 전환율이 향상되지만, 고온에서 역수성 전환 반응(reverse water gas shift reaction)이 활발해지면서 CO 발생이 증가하게 된다. 또한 높은 반응 온도는 마이크로 시스템에 적합하지 못하다. 따라서 반응 온도를 250 °C로 정하였다. 메탄올 수증기 개질 반응에서 S/C(steam to carbon ratio)을 증가시키게 되면 CO의 수성 전환 반응(water gas shift reaction)에 필요한 물을 충분히 공급하게 되어 CO 생성율이 감소하게 된다. 하지만 S/C의 증가는 물을 기화시키기 위한 더 많은 에너지의 공급을 의미하게 된다. 따라서 S/C를 1.2로 고정하고 실험을 수행하였다. 제작된 MEMS 메탄올 개질기의 메탄올 전환 성능을 평가하기 위해 0.01 ~ 0.5 ml/hr의 공급유량에 대해서 실험을 수행하였다. 실험을 수행하기 전에 촉매가 코팅 후 소성 및 커버 접합시에 고온에 노출되므로 촉매를 환원시켜야 한다. 환원은 4% H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 혼합가스를 10 sccm로 250 °C에서 3시간 동안 흘리면서 수행하였다. 환원이 끝난 후 바로 메탄올과 물을 설정한 유량으로 공급하여 실험을 수행하였다.

##### 4.2 성능평가 결과

Fig. 10은 공급유량에 따른 MEMS 메탄올 개질기의 메탄올 전환율을 보여주고 있다. 공급유량이 증가할수록 공간속도가 증가하고 잔존시간이 감소하므로 메탄올 전환율이 감소하였다.

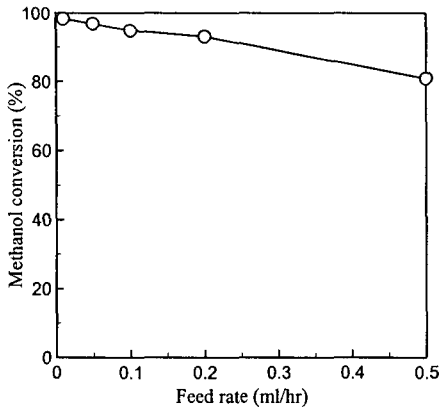


Fig. 10 Methanol conversion as a function of the feed flow rate at 250°C (S/C=1.2)

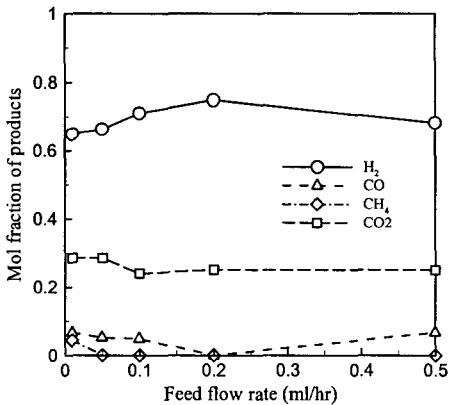


Fig. 11 Mol fraction of products as a function of the feed flow rate at 250°C (S/C=1.2)

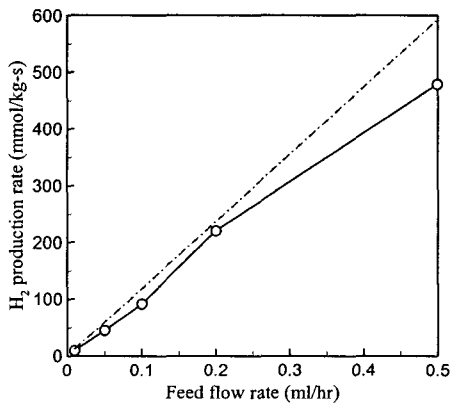


Fig. 12 Hydrogen production rate per unit catalyst mass as a function of the feed flow rate at 250°C (S/C=1.2)

제작된 MEMS 메탄올 개질기는 0.01~0.5 ml/h의 공급유량에서 80% 이상의 메탄올 전환율을 보였다. Fig. 11은 공급유량에 따른 생성물의 몰분율을 나타내고 있다. 0.2 ml/hr 이하에서는 공급유량이 작을수록 메탄올 전환율은 높지만 수소의 몰분율은 작았다. 그 이유는 작은 공급유량에서 반응기에 부분적인 온도 상승으로 인해 CO와 CH<sub>4</sub>의 몰분율이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 수소의 몰분율은 0.2 ml/hr일 때 최고였으며 그 이상의 공급유량에서는 다시 감소하였는데, 그 이유는 메탄올 분해 반응을 통해 생성된 일부 CO가 수성 전환 반응을 통해 CO<sub>2</sub>로 전환되지 못함으로 인해 CO 몰분율이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 12는 공급유량에 따른 단위 촉매 질량 당 수소 생성율을 보여주고 있다. 공급유량이 증가할수록 전환되는 메탄올의 양이 증가함으로 수소 생성율도 증가하였다. 하지만 공급유량이 증가할수록 메탄올 전환율 및 수소 선택성이 감소하게 됨으로 수소 생성율의 증가율은 감소하였다. 즉, 제작된 MEMS 메탄올 개질기의 최적의 작동 조건은 93%의 메탄올 전환율과 71%의 최고 수소 몰분율을 갖은 0.2 ml/hr였다. 이때 CO 몰분율은 1.1%였다. CO는 연료전지의 Pt 촉매를 피독시켜 성능을 저하시킴으로 10 ppm 이하로 제거하여야 한다.<sup>(15)</sup> 이는 PROX(Preferential oxidation)<sup>(16)</sup> 및 Pd 분리막<sup>(17)</sup> 등의 방법으로 가능하다. 생성된 수소 유량은 4.16ml/min으로, 고분자 전해질 연료전지의 60% 열효율과 72% 수소 이용율을 가정할 경우, 350 mW의 출력을 낼 수 있을 것으로 판단된다.<sup>(18)</sup>

### 5. 결론

마이크로 연료전지용 MEMS 메탄올 개질기를 감광유리의 미세가공을 통해 제작하였고, 그 성능을 평가하였다. 촉매는 Cu/ZnO를 공침법으로 제조하였으며, SEM 분석 및 분산 실험 결과, 분산 특성이 우수하여 웨이퍼 표면에 코팅하기에 용이하였다. 반응기 구조는 열 및 질량 전달 특성을 향상시키기 위해 마이크로 채널 형상으로 설계되었고, 반응물이 공급되기 위한 구멍과 촉매 반응 후 생성물이 빠져나갈 구멍이 제작되고, 여기에 PTFE 튜브가 연결되었다. 반응기 구조 제작을 위한 감광유리 식각 공정을 수행하였다. 공정은 Cr 마스크 패턴, 노광, 열처리 그리고 HF 식각으로 구성되어 있다. 이와 같은 공정을 통해 2:1의 높은 종횡비를 갖는 미세 채널을 얻을 수 있었다. 제작된 채널 벽면에 촉매를 코팅하였으며, SEM 측정 결과 균일한 촉매층이 형성되었음을 알 수

있었다. 제작된 MEMS 메탄올 개질기의 내부 부피는  $0.3 \text{ cm}^3$  이고 반응기 전체 부피는  $1.8 \text{ cm}^3$  이다.

제작된 MEMS 메탄올 개질기의 성능 평가 실험으로 공급유량에 대한 메탄올 전환율, 수소 생성율 및 생성물 조성을 측정하였다.  $0.5 \text{ ml/h}$  유량에서 80% 이상의 메탄올 전환율을 보였으며, 이때 수소 생성율은  $479.3 \text{ mmol/kg-s}$  였다. 수소 및  $\text{CO}_2$ 의 선택성이 가장 높은 경우는  $0.2 \text{ ml/h}$  유량일 때였으며, 이때 메탄올 전환율은 93.1%였고 수소 생성율은  $220.9 \text{ mmol/kg-s}$  였다. 이때 수소 함량이 73%로 가장 높았으며, 생성된 수소 유량이  $4.16 \text{ ml/min}$  으로  $350 \text{ mW}$  급 연료전지에 응용될 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같은 반응기는 여러 층으로 스택을 형성하여 요구되는 동력레벨에 맞게 제작 및 응용이 가능할 것이다.

이와 같은 마이크로 연료전지용 MEMS 메탄올 개질기 제작 기술은 다른 촉매 반응을 위한 반응기의 제작에 있어서도 크게 기여할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 특정 기초 연구 프로그램(No. R01-2006-000-11311-0)의 연구 지원으로 수행되었으며, 저자는 이에 깊은 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Pattekar, A. V. and Kothare, M. V., 2004, "A Microreactor for Hydrogen Production in Micro Fuel Cell Applications," *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 7~18.
- (2) Peirs, J., Reynaerts, D., Verlaetsen, F., Norman, F. and Lefever, S., 2003, "Development of a Micro Gas Turbine for Electric Power Generation," *MME2003, The 14th MicroMechanics Europe Workshop*.
- (3) Dae Hoon Lee, Dae Eun Park, Joon Bo Yoon, Euisik Yoon and Sejin Kwon, 2002, "Design and Fabrication of Micro Combustor (III) - Fabrication of Micro Engine by Photosensitive Glass," *Transactions of the KSME (B)*, Vol. 26, No. 12, pp. 1639~1645.
- (4) Holladay, J. D., Wainright, J. S., Jones, E. O. and Gano, S. R., 2004, "Power Generation Using a Mesoscale Fuel Cell Integrated with a Microscale Fuel Processor," *Journal of Power Sources*, Vol. 130, pp. 111~118.
- (5) Gogel, V., Frey, T., Yongsheng, Z., Friedrich, K. A., Jörissen, L. and Garche, J., 2004, "Performance and Methanol Permeation of Direct Methanol Fuel Cells: Dependence on Operating Conditions and on Electrode Structure," *Journal of Power Sources*, Vol. 127, pp. 172~180.
- (6) Keyur, S., Shin, W. C. and Besser, R. S., 2004, "A PDMS Micro Proton Exchange Membrane Fuel Cell by Conventional and Non-conventional Microfabrication Techniques," *Sensors and Actuators B*, Vol. 97, pp. 157~167.
- (7) Pattekar, A. V. and Kothare, M. V., 2005, "A Radial Microfluidic Fuel Processor," *Journal of Power Sources*, Vol. 147, pp. 116~127.
- (8) Yong, S. T., Hidajat, K. and Kawi, S., 2004, "Reaction of Auto Thermal Steam Reforming of Methanol to Hydrogen Using a Novel Nano CuZnAl-catalyst," *Journal of Power Sources*, Vol. 131, pp. 91~95.
- (9) Krumpelt, M., Krause, T. R., Carter, J. D., Kopasz, J. P. and Ahmed, S., 2002, "Fuel Processing for Fuel Cell Systems in Transportation and Portable Power Applications," *Catalysis Today*, Vol. 77, pp. 3~16.
- (10) Holladay, J. D. and Jones, E. O., 2002, "Microfuel Processor for Use in a Miniature Power Supply," *Journal of Power Sources*, Vol. 108, pp. 21~27.
- (11) Agrell, J., Boutonnet, M., Melian-Cabrera, I. and Fierro, J. G., 2003, "Production of Hydrogen from Methanol over Binary Cu/ZnO Catalysts Part I. Catalyst Preparation and Characterization," *Applied Catalysis A: General*, Vol. 253, pp. 201~211.
- (12) Kim, T., Lee, D. H., Park, D. E. and Kwon, S., 2005, "Preparation, Coating, and Patterning of Cu-based Catalysts for Methanol Steam Reforming by Micro Fuel Reformer," *Proceeding of third International conference on fuel cell Science, Engineering and Technique*.
- (13) Cho, Y. R., Oh, J. Y., Kim, H. S. and Jeong, H. S., 1999, "Micro-etching Technology of High Aspect Ratio Frameworks for Electronic Devices," *Materials Science and Engineering*, B64, pp. 79~83.
- (14) Dietrich, T. R., Ehrfeld, W., Lacher, M., Kramer, M. and Speit, B., 1996, "Fabrication Technologies for Microsystems Utilizing Photosensitive Glass," *MicroElectro Engineering*, Vol. 30, pp. 497~504.
- (15) Zhigang Qi, Chunzhi He and Arthur Kaufman, 2002, "Effect of CO in the Anode Fuel on the Performance of PEM Fuel Cell Cathode," *Journal of Power Sources*, Vol. 111, pp. 239~247.
- (16) Delsman, E.R., De Croon, M.H.J.M., Pierik, A., Kramer, G.J., Cobden, P.D., Hofmann, Ch., Cominos, V. and Schouten, J.C., 2004, "Design and Operation of a Preferential Oxidation Microdevice for a Portable Fuel Processor," *Chemical Engineering Science*, Vol. 59, pp. 4795~4802.
- (17) Hien Duy Tong, Ervin Berenschot, J.W., Meint J. De Boer, J. G. E. (Han) Gardeniers, Henk Wensink, Henri V. Jansen, Wietze Nijdam, Miko C. Elwenspoek, F. C. (Frank) Gielen, and Cees J. M. van Rijn, 2003, "Microfabrication of Palladium-Silver Alloy Membranes for Hydrogen Separation," *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 12, No. 5, pp. 622~629.
- (18) Fuel Cell Handbook, 2002, sixth ed. EG&G Services Inc. US Department of Energy Morgantown WV.