A Study on an Operating Conditions for the Direct Ethanol Fuel Cell

김 영 춘* · 구 본 국* · 장 문 국* · 지 학 배** · 한 상 보*** · 박 재 윤†

(Young-Chun Kim · Bon-Kook Koo · Mun-Gug Jang · Hag-Bae Ji · Sang-Bo Han · Jae-Youn Park)

Abstract - The goal of this paper is to find an operating conditions of the single direct ethanol fuel cell such as the cell temperature, and flow rates of ethanol and oxygen. To investigate the output characteristics, the electrical current increased from 0[A] with interval of 0.001[A] every 2[s], and the cell voltage was increased until the voltage became 0.05[V]. Related to the effect of the cell temperature, the output characteristics both voltage and power were increased upto 80[°C] according to the increase of the current density, but those were decreased over that temperature. In addition, the optimal flow rate of ethanol in anode was identified as of 2[mL/min] due to the dependence of generation rate such as the hydrogen ion and electron. And the flow rate of oxygen in cathode was desirable to about 300[scm/min], it might be affected by the chemical reaction rate of the water formation among hydrogen ion, electron, and oxygen. Consequently, the fundamental conditions were identified in this work, and it will be carried out to find the best conditions of membrane by the effect of the plasma surface treatment, and the effect of other catalysts except for a platinum.

Key Words : Direct ethanol fuel cell, Hydrogen ion, Operating conditions, Temperature, Voltage

1. 서 론

환경 문제는 인류 생존을 위협하는 큰 문제로 매우 중요시되고 있으며, 세계의 여러 나라에서는 국가 간 온실가스 배출량을 제한하고 온실가스 배출권을 매각 및 매입할 수 있도록 규정하고 있다. 환경 오염물질의 배출은 단순한 환경오염으로만 끝나지 않고 국가 경제에도 큰 영향을 미치고 있다. 이런 문제들의 해결에 기여할 수 있는 중요한 수단으로 연료전지가 큰 관심을 받고 있으며, 저공해 전원개발의 필요성이 절실히 요구되어 연료전지의 실용화는 더욱 앞당겨질 것으로 예상된다.

연료전지는 전해질의 종류에 따라 몇 가지로 구분할 수 있으며 그 용도에 따라 발전소용부터 휴대용 전원까지 다양하게 응용되고 있다[1]. 이에 연료 개질기나 수소저장 용기가 필요 없는 직접 액체연료전지(DLFC : Direct Liquid Fuel Cell)에 대한 연구가 직접 메탄올연료전지(DEFCE : Direct Methanol Fuel Cell)를 중심으로 수십여 년 간 연구가 활발히 진행되어 왔다[2-6]. 메탄올은 가솔린과 비슷한 에너지 밀도를 가지고 있으며 쉽게 얻을 수 있는 저비용의

액체 연료이며, DEFCE는 장치가 간단하고 무게가 가벼우며 연료 보충이 용이한 장점으로 인하여 수송용 및 소규모 전원 등에 매우 적합하다. 그러나 메탄올은 인체에 유해한 독성을 가지고 있으므로 휴대용으로 사용하기에는 어려움이 있으며, 개발 후에도 사용 규제의 강화 등 안전성에 있어서 문제점을 가지고 있다. 이에 최근에는 직접 액체연료전지와 비슷한 구조와 작동원리를 가지고 있는 직접에탄올 연료전지(DEFCE : Direct Ethanol Fuel Cell)가 친환경적인 이유로 많은 주목을 받고 있다.

에탄올은 알코올 음료와 마찬가지로 성분으로 자유로운 이동이 가능하기 때문에 비행기 내에서도 사용이 가능하고, 실생활에서 소독용의 의약품이나 주류로 사용되는 물질로 쉽게 구입할 수 있다[3]. 또한 에탄올은 이론적 에너지 밀도가 8.0[kWh/kg]이므로 메탄올 6.1[kWh/kg]보다 높으며, 분자 1개가 완전 산화될 경우 12개의 전자를 내놓을 수 있다[4].

에탄올은 물과 결합하여 마치 하나의 커다란 분자처럼 움직이기 때문에 메탄올에서 문제가 되고 있는 크로스오버(Crossover) 가능성이 적다는 장점이 있다. 그러나 직접 메탄올은 90[°C]에서 200~300[mW/cm²]의 전력을 얻을 수 있다고 보고된 반면, 직접 에탄올 연료전지는 50[mW/cm²] 정도로 상대적으로 낮은 전력밀도가 보고되어져 있다[5]. 낮은 전력밀도의 이유로 에탄올은 분자 구조가 복잡하여 산화반응이 느리고 이론적인 최대 전기에너지를 얻기 위해서 생성물인 이산화탄소까지 반응이 진행되어야 12개의 전자의이동을 하게 되는데 실제로는 백금촉매에 의한 산화반응에 있어서 2개나 4개의 전자가 생성되는 반응에서 끝나게 된다. 그 결과 CO₂의 생성보다 다른 반응물이 생성하게 되어 전자의 효율을 저

* 정 회 원 : 경남대 전기공학과 박사과정
 ** 비 회 원 : 경남대 전기공학과 공학석사
 *** 정 회 원 : 경남대 전기공학과 교수
 † 교신저자, 정회원 : 경남대 전기공학과 교수
 E-mail : jypark@kyungnam.ac.kr
 접수일자 : 2011년 8월 24일
 최종완료 : 2011년 10월 10일

하시키게 된다[6]. 그러므로 DEFC의 효율을 높이기 위해서는 이들 반응에 참여하는 촉매물질과 전지 운전 조건 등에 대한 연구가 중요하며, 특히 촉매 전극 물질에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다 [7-11].

본 연구에서는 직접에탄올 연료전지의 출력특성을 조사하여 적절한 전지성능을 파악하기 위하여 다양한 동작 조건하에서 실험을 진행하고, 그 결과들을 비교·분석하였다.

향후, 본 연구결과를 중심으로 저온 플라즈마에 의한 멤브레인 표면처리 및 코팅, 그리고 백금 촉매 이외의 다른 촉매의 영향 등 연료전지를 구성하고 있는 재료의 특성들을 개선하기 위한 연구를 추진할 계획이다.

2. 연료전지의 동작원리

직접 에탄올 연료전지는 양극(Anode)에 수소가스 대신 에탄올수용액을 개질장치 없이 직접 주입하는 형태로 운전되며, 직접 주입된 에탄올이 산화극의 촉매와 전기화학 반응하여 형성된 수소이온(H^+)과 전자(e^-)는 전해질 막과 도선을 따라서 이동하여 환원극에 주입되는 산소(Cathode)와 반응하여 물이 생성하게 된다. 이때 에탄올이 이산화탄소로 완전히 산화될 경우 12개의 전자가 나오게 되며 평형상태에서 1.145[V]의 전위차가 발생되게 되며[7], 본 화학반응은 아래의 반응식과 같다. 그림 1은 에탄올 연료전지의 동작원리를 간략하게 나타내었다.

그림 1 직접 에탄올 연료전지의 동작법

Fig. 1 Operating method of DEFC

산화극 반응 (Anode)

- (1) $C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO + 2H^+ + 2e^-$
- (2) $C_2H_5OH + H_2O \rightarrow CH_3COOH + 4H^+ + 4e^-$
- (3) $C_2H_5OH + 3H_2O \rightarrow 2CO_2 + 12H^+ + 12e^-$

환원극 반응 (Cathode)

- (1) $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$
- (2) $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
- (3) $3O_2 + 12H^+ + 12e^- \rightarrow 6H_2O$

전체 반응

- (1) $C_2H_5OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_3CHO + H_2O$
- (2) $C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$
- (3) $C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O, E^0=1.145[V]$

3. 실험 방법

3.1 실험장치 및 구성

본 연구에 사용된 실험장치는 사진 1에 나타내었으며, 연료전지 성능평가 장치(DEFC Test System, DETS-010모델, 나라셀테크(주)), 전자부하, 단위전지, 그리고 각 연결 상태를 확인할 수 있다.

단위전지의 성능을 평가하기 위해서 전자부하장치는 Kikusui(주)사의 PLZ70UA모델을 사용하였으며, 소프트웨어(Fuel Cell Test System Software)를 이용하여 운전조건들을 프로그래밍하고 제어하면서 실시간 모니터링 및 데이터 수집을 수행하였다.

사진 1 단위전지 성능 평가장치

Photo 1 Test station for the single fuel cell

그림 2 연료전지 평가시스템의 구성도

Fig. 2 Schematic diagram of fuel cell test station

그림 2는 연료전지 평가시스템 구성도를 나타낸 것으로서, 양극에는 에탄올 수용액이 펌프에 의해 단위전지에 공급되고, 음극에는 산소가 공급되며, 전자부하를 통하여 단위전지의 운전특성을 컴퓨터에서 모니터링되도록 구성되어 있다.

3.2 단위전지의 성능실험

단위전지는 그림 3에서와 같이 전해질-전극 집합체(Membrane Electrode Assembly, MEA), 분리판(Separator), 엔드 플레이트(End plate)로 구성되어 있다. MEA와 분리판 사이에는 실링을 위해 실리콘 재질의 개스킷을 사용하였으며, 분리판은 그래파이트 블록(Graphite block)으로 사형(Serpentine)유로가 성형되어 있다. 엔드 플레이트는 온도 조절이 가능하도록 되어 있다.

유로의 면적은 $5[\text{cm}^2]$ 이며, 애노드(Anode)의 에탄올 수용액은 액체 정량펌프(RHV0)를 이용하여 단위전지에 공급하고, 캐소드(Cathode)의 산소(Oxygen)는 가스 유량제어기(Mass Flow Controller, MFC)를 통해 단위전지에 공급하였다. 단위전지 제작에 사용된 재료들은 현재 시판되고 있는 제품을 사용하였으며, 그 제원은 표 1과 같다. 또한, 그림 3은 단위연료전지의 조립 방법 및 상세도를 보인 것이다.

제작된 MEA를 단위전지에 장착하고, 실험장치 세트를 사용하여 성능실험을 수행하였으며, 실험방법은 다양한 기초 실험을 통하여 확립된 주요한 운전조건 중에서 아래의 표 2에 나타난 특정운전 조건만을 변화시키면서 실시하였다.

표 1 단위 연료전지의 제원

Table 1 Specifications of the Single Fuel Cell

Description	Specification
Membrane	Nafion®117
Effective	$5[\text{cm}^2]$
Membrane area	$7.6 \times 7.6[\text{cm}^2]$
Catalyst	Anode : Pt 1 $[\text{mg}/\text{cm}^2]$, 20[wt%] Cathode : Pt 1 $[\text{mg}/\text{cm}^2]$, 20[wt%]
GDL	Carbon Cloth(XC-72)
Graphite block	Serpentine grooves with width of 0.7874[mm], depth of 1.016[mm]
Gasket	Silicone Rubber

표 2 실험운전 조건

Table 2 Experimental operating conditions

Parameters	Test conditions
Cell Temperature	70, 80, 90, 100 $^{\circ}\text{C}$
Ethanol Concentration	0.5 [M]
Anode Flow Rate	1, 2, 3 $[\text{mL}/\text{min}]$
Cathode Flow Rate	100, 200, 300[sccm]
Cathode Humidification Temperature	90 $^{\circ}\text{C}$
Cathode Line-heater Temperature	85 $^{\circ}\text{C}$

출력 특성은 소프트웨어로 전류를 가변시킬 수 있는 SC(Scan Current) 모드를 이용하였으며, 부하전류를 0[A]에서부터 2초 간격으로 0.001[A]씩 상승시켜 셀(cell) 전압이 0.05[V]로 떨어질 때까지 측정하였다. 실험의 정확도를 높이기 위해 같은 조건의 실험을 2회 반복 실시하였으며, 실험결과를 전압-전류밀도 및 전력-전류밀도 그래프로 나타내었다.

그림 3 단위연료전지 세부도

Fig. 3 Detail Diagram of the used Fuel Cell

3.3 고분자 전해질 막(Nafion®117)의 전처리

본 연구에서 사용된 고분자 전해질 막으로는 Dupont사의 Nafion®117을 사용하였다. Nafion®은 Perfluoro-sulfonic Acid 계열의 고분자 물질로 시판시 안정된 상태로 보관하기 위하여 N^+ 로 치환되어 공급된다.

따라서, Nafion®을 전해질 막으로 사용하기 위해 Na^+ 을 H^+ 형태로 바꾸고 전해질 막에 잔존해 있는 유기 및 금속 불순물을 처리하기 위해서는 전처리 과정이 필요하다. 전해질 막으로 사용하기 위한 전처리 과정은 다음과 같다.

먼저 Nafion®117막을 원하는 일정한 크기($4 \times 4[\text{cm}^2]$)로 잘라 3[%] 과산화수소 수용액에 담근 후 80°C 에서 1시간 동안 끓여 전해질 막 표면의 유기물질을 제거하였다. 그 다음 증류수로 2~3회 세척하여 막 표면의 기포를 전부 제거한 후 0.5[M] 황산 수용액에 넣어 80°C 에서 1시간 동안 처리하여 전해질 막 술폰기(SO_3^-)의 Na^+ 을 H^+ 로 치환시켰다.

그리고 증류수로 여러 번 세척 후 전해질 막에 잔존해 있는 황산을 제거하기 위해 80°C 의 증류수에 넣어 1시간 동안 끓이고, 마지막으로 한 번 더 증류수에 세척한 후, 80°C 의 증류수에 넣어 1시간 동안 처리하여 증류수에 보관하였다.

3.4 가열 압착법(Hot-Press Method)에 의한 MEA

제조

일반적으로 많이 사용되고 있는 액상 전해질의 경우에는 전극과 전해질 사이의 저항이 거의 없으나, 고분자 전해질 막의 계면과 지지체 위에 형성된 촉매 층은 접촉할 때 반응이 일어나므로 촉매와 전해질 막의 저항을 최소화시켜야 한다.

전해질 막 사이의 접촉을 좋게 하고, 저항을 줄이기 위하여 그림 4와 같이 고분자 전해질을 사이에 두고 촉매를 양쪽에 맞대어 핫-프레스(hot-press) 위에서 90[°C], 2[bar]의 압력을 가하여 5분 동안 압착 시킨 후, 120[°C]까지 온도를 상승시켜 동일한 압력으로 3분동안 압착시켰다. 이후 2[bar]를 유지하면서 30~40[°C]까지 자연·냉각시켜 사용하였다.

그림 4 MEA(Membrane Electrode Assembly)의 제조과정
Fig. 4 Manufacturing process of the MEA

4. 실험 결과

4.1 작동 온도의 영향

그림 5와 그림 6은 단위전지의 동작 온도의 영향에 따른 전압-전류밀도 및 전력-전류밀도의 그래프를 나타낸 것이다.

그림 5는 음극에서 공급되는 산소를 가습하여 공급한 경우와 가습하지 않은 경우를 보인 것으로서, 가습한 경우가 동일한 전류밀도에서 전지 전압이 높음을 알 수 있다. 이는 작동온도를 상승시킴에 따라 전지 내 수분증발로 상대습도가 낮아져 전해질 막을 건조시키므로 전해질 막의 수소이온 전도도가 감소되기 때문으로 사료된다.

또한, 그림 5(b)에서 단위전지의 동작온도를 70[°C]에서 100[°C]까지 변화시켰을 경우, 개방전압(OCV, Open Circuit Voltage)은 0.524[V]에서 0.577[V]로 상승되었다. 이것은 온도가 상승됨에 따라서 촉매에서의 화학반응 속도의 증가로 인하여 수소이온 및 전자의 발생량이 증가되어 양극과 음극 사이의 개방 전압이 증가된 것으로 판단된다.

이때, 수소이온은 멤브레인을 통과하여 음극에 잔류하고, 양극에는 전자들이 남아있어 개방전압이 발생된다. 또한, 최대전력은 동작온도 80[°C], 에탄올 유량 2[mL/min], 산소 유량 300[sccm]일 경우에 약 0.03003[W]가 발생됨을 알 수 있다.

하지만, 전류밀도 증가에 따른 출력 전압의 변화에 있어서 동작온도가 70[°C]에서 80[°C]로 증가됨에 따라서 동일한 전류밀도에서 출력전압이 높지만, 온도를 90[°C]로 증가됨에 따라서 오히려 출력전압이 감소되고, 100[°C]에서는 더욱 감소됨을 알 수 있다.

이처럼 동작온도가 일정온도 이상으로 되면 오히려 출력 전압이 감소되는 것은 온도증가에 따라 발생된 수소이온들이 전해질 멤브레인 통과가 억제되는 것으로서, 즉 멤브레인의 이온전도도가 감소됨에 의한 것으로 판단된다.

(a) 산소를 가습하지 않는 경우

(b) 산소를 가습하는 경우

그림 5 가습 유무 및 온도에 따른 출력 특성
(전압-전류밀도)

Fig. 5 Effect of cell temperature on the humidification conditions (Voltage-Current Density)

그림 6 산소 가습시의 온도에 따른 출력특성
(전력-전류밀도)

Fig. 6 Output characteristics according to the cell temperature under humidification of cathode (Power-Current Density)

또한, 그림 6의 전력-전류밀도 그래프에서도 80[°C]인 경우가 전류밀도 약 30[mA/cm²]에서 전력이 최대로 출력되고, 그 이후에는 서서히 감소되고 있음을 알 수 있다. 이처럼 최대 전력 발생 이후로 전류밀도를 증가시키에 따라서 전압 또는 전력이 감소되는 것은 촉매에서의 전자와 수소이온 발생능력이 한계에 이르렀기 때문으로 사료된다.

따라서, 동작온도에 따른 전압 및 전력 출력특성을 통하여 동작온도 80[°C]가 DEFC 최적의 운전조건임을 알 수 있다.

4.2 에탄올 유량의 영향

그림 7과 그림 8은 단위전지에 공급되는 에탄올의 유량에 따른 단위전지의 전압-전류밀도 및 전력-전류밀도의 그래프를 나타낸 것이다. 단위전지의 온도를 80[°C], 캐소드에 공급되는 산소 유량은 300[sccm]으로 일정하게 하여, 에탄올 유량을 변화시키에 따른 전압 및 전력변화를 조사하였다.

그림 7 에탄올 유량의 변화에 따른 출력 특성 (전압-전류밀도)

Fig. 7 Output characteristics according to ethanol flow rate (Voltage-Current Density)

그림 8 에탄올 유량의 변화에 따른 출력 특성 (전력-전류밀도)

Fig. 8 Output characteristics according to the ethanol flow rate (Power-Current Density)

OCV는 에탄올 유량 3[mL/min]일 때 0.550[V], 2[mL/min]일 때 0.544[V], 1[mL/min]인 경우에는 0.525[V]로서 큰 차이를 나타내지 않았으며, 전류밀도 20[mA/cm²]에 있어서 출력 전압은 에탄올 유량이 1[mL/min]인 경우에는 약 0.05[V]이며, 2[mL/min]에서는 약 0.28[V]로서 증가되었다. 하지만 3[mL/min]에서는 오히려 0.23[V]로서 감소되는 경향을 나타내었다.

에탄올 유량이 증가됨에 따라서 출력전압이 증가되지 않고 감소되는 경향을 보이는 것은 양극에서의 화학반응으로부터 생성되는 수소이온 및 전자의 발생률이 에탄올 유량의 의존함을 나타낸 것으로서, 에탄올 유량이 2[mL/min]인 경우가 최적의 화학반응이 유도되는 것으로 판단된다.

또한, 그림 8의 전류밀도 및 전력의 그래프에 있어서도 에탄올 유량이 2[mL/min]인 경우가 전력이 최대로 발생됨을 알 수 있으며, 이를 통하여 적절한 에탄올 유량으로는 2[mL/min]로 판단된다.

4.3 산소 유량의 영향

그림 9와 그림 10은 산소 유량 변화에 따른 전압 및 전력 변화 특성을 나타낸 것이다.

산소 유량이 증가됨에 따라서 OCV는 큰 변화가 없었으며, 동일한 출력전압(예를들어 약 0.2[V])에서 전류밀도가 산소유량이 증가될수록 증가되는 것은 음극에서 멤브레인을 투과한 수소이온, 전자부하를 통과한 전자, 그리고 공급된 산소와의 화학반응에 의하여 물로 변환되는 속도가 증가되기 때문으로 사료된다.

따라서, 산소유량이 증가될수록 보다 좋은 특성이 나타날 것으로 기대되며, 그림 10의 전력 및 전류밀도 그래프에 있어서도 산소 유량 300[sccm]인 경우가 전류밀도 30[mA/cm²]에서 약 0.03[W]로 최대값을 나타내었다.

그림 9 산소 유량의 변화에 따른 출력 특성 (전압-전류밀도)

Fig. 9 Output characteristics according to O₂ flow rate (Voltage-Current Density)

그림 10 산소 유량의 변화에 따른 출력 특성
(전력-전류밀도)

Fig. 10 Output characteristics according to O₂ flow rate
(Power-Current Density)

5. 결 론

직접 에탄올 연료전지 시스템 운전 조건을 단위전지 온도, 에탄올 유량 및 산소 유량을 변화시키면서 연료전지의 출력특성에 미치는 영향을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

단위전지의 동작온도가 70[°C]에서 80[°C]로 증가됨에 따라서 동일한 전류밀도에서 출력전압 및 전력이 증가되었지만, 온도가 90[°C]로 증가됨에 따라서 오히려 출력전압 및 전력이 감소되고, 100[°C]에서는 더욱더 감소됨을 보였다. 따라서, DEFC 최적의 동작온도는 80[°C]로 도출되었다.

에탄올 유량을 증가시키에 따라서 출력전압이 증가되지 않고 감소되는 경향을 보이는 것은 양극에서의 화학반응으로부터 수소이온 및 전자의 발생률이 에탄올 유량에 의존함을 보였으며, 에탄올 유량이 2[mL/min]인 경우가 최적인 것으로 판단되었다.

그리고, 산소유량을 증가시키에 따라서 일정한 출력전압에서 전류밀도가 증가되는 것은 음극에서 멤브레인을 투과한 수소이온, 전자부하를 통과한 전자, 그리고 공급된 산소와의 화학반응에 의하여 물로 변환되는 속도가 증가되기 때문으로 판단하였다.

따라서, 본 연구를 통하여 DEFC 단위전지는 동작온도 80[°C], 에탄올 유량 2[mL/min], 산소 유량 300[sccm]이 최적의 운전조건으로 도출되었다.

향후, 본 연구결과를 중심으로 저온 플라즈마에 의한 멤브레인 표면처리 및 코팅, 그리고 백금 촉매 이외의 다른 촉매의 영향 등을 조사할 예정이며, 최종적으로 DEFC 연료전지를 병렬 운전함으로서 이동용 전자기기 등에 적용될 수 있도록 실용화 연구를 추진할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2011학년도 경남대학교 학술연구장려금 지원에 의한 것임

참 고 문 헌

- [1] J. Larminie, A. Dicks, "Fuel Cell Systems Explained", John Wiley & Sons, LTD, England, 2000
- [2] J.s. Bett, H.R. Kunz, A.J. Aldykiewicz Jr, J.M. Fenton W.S. Bailey, D.V. McGrath, "Platinum-macrocycle co-catalysts for the electrochemical oxidation of methanol", *Electrochimica Acta*, Vol. 43, No. 24, 3645-3655, 1998
- [3] F. Vigier, C. Coutanceau, F. Hahn, E.M. Belgsir, C. Lamy "On the mechanism of ethanol electro-oxidation on Pt and PtSn catalysts: electrochemical and in situ IR reflectance spectroscopy studies", *J. of Electroanalytical Chem.*, Vol. 563, No. 1, 81-89, 2004
- [4] C. Lamy, S. Rousseau, E.M Belgsir, C. Coutanceau, and J.-M. Léger. "Recent progress in the direct ethanol fuel cell: development of new platinum - tin electrocatalysts", *Electrochimica Acta*, Vol. 49, No. 22-23, 3901-3908, 2004
- [5] C. Lamy, J.-M. Léger, *J. Phys. IV*, 1994
- [6] S. Rousseau, C. Coutanceau, C. Lamy, J.-M. Léger, "Direct ethanol fuel cell (DEFC): Electrical performances and reaction products distribution under operating conditions with different platinum-based anodes", *J. of Power Sources*, Vol. 158, No. 1, 18-24, 2006
- [7] A.S. Arico, S. Srinivasan, V. Antonucci, "Fuel cell" 1, 134, 2001
- [8] S. Song, W. Zhou, J. Tian, Rui Cai, G. Sun, Q. Xin, S. Kontou, P. Tsiakaras, "Ethanol crossover phenomena and its influence on the performance of DEFC", *J. of Power Sources*, Vol. 145, No. 2, 266-271, 2005
- [9] S. Song, G. Wang, W. Zhou, X. Zhaa, G. Sun, Q. Xin., S. Kontou, P. Tsiakaras, "The effect of the MEA preparation procedure on both ethanol crossover and DEFC performance", *J. of Power Sources*, Vol. 140, No. 1, 103-110, 2005
- [10] Thangaraj Mathuraiveeran, Kimball Roelofs, Doreen Senftleben, Thomas Schiestel, "Proton conducting composite membranes with low ethanol crossover for DEFC", *Desalination*, Vol. 200, No. 1-3, 662-663, 2006
- [11] Q. Wang, G.Q. Sun, L. Cao, L.H. Jiang, G.X. Wang, S.L. Wang, S.H. Yang, Q. Xin, "High performance direct ethanol fuel cell with double-layered anode catalyst layer" *J. of Power Sources*, Vol. 177, No. 1, 142-147, 2008

저 자 소 개

김 영 춘 (金 永 春)

1992년 경남대학교 공학사 (전기공학)
2004년 경남대학교 공학석사 (전기공학)
현재 동 대학원 박사과정 (전기공학)

구 본 국 (具 本 國)

2005년 경남대학교 공학석사(전기공학)
현재 동 대학원 박사과정 (전기공학)

장 문 국 (張 文 國)

1997년 진주산업대학교 공학사(기계공학)
1999년 동의대학교 공학석사(전기전자공학)
현재 경남대학교 박사과정 (전기공학)

지 학 배 (池 學 培)

2004년 한국방송통신대 컴퓨터과 졸업
2010년 경남대학교 공학사 (전기공학)

한 상 보 (韓 尙 甫)

1998년 경남대학교 공학사(전기공학)
2000년 동 대학원 공학석사(전기공학)
2004년 동경대학교 공학박사(전자공학)
현재 경남대학교 전기공학과 교수

박 재 윤 (朴 在 潤)

1986년 경남대학교 공학사(전기공학)
1988년 인하대학교 공학석사(전기공학)
1991년 인하대학교 공학박사(전기공학)
현재 경남대학교 전기공학과 교수