

PEMFC 시스템용 바이폴라 플레이트의 디자인에 관한 연구

윤형상*, 차인수, 이정일, 윤정필

A Study on a Design of Bipolar Plate for PEMFC System

Hyung-Sang Yoon*, In-Su Cha, Jeong-Il Lee and Jeong-Phil Yoon

Abstract

Hydrogen fuel cell is clean and efficient technology along with high energy densities. While there are many different types of fuel cells, the proton exchange membrane fuel cell stands out as one of the most promising for transportation and small stationary applications. This paper focuses on design of bipolar plate for proton exchange membrane fuel cell. The bipolar plate model is realistically and accurately simulated velocity distribution, current density distribution and its effect on the PEMFC system using CFD tool FLUENT.

Key words

PEMFC(고체 고분자 전해질 연료전지), CFD(전산유체역학), Hydrogen(수소), Bipolar plate(바이폴라 플레이트)

* (주)퓨전정보기술

☎ E-mail : hl4rkb@naver.com ☎ Tel : (061)330-2860 ☎ Fax : (061)330-2860

Subscrip

PEMFC : proton exchange membrane fuel cell

MEA : membrane electrode assembly

1. 서론

태양광, 풍력, 수소연료전지로 대표되는 신·재생에너지는 화석연료를 대체하여 이산화탄소 배출을 줄이고 에너지자원 확보라는 기본 명제아래 그 보급과 개발이 확대되고 있다. 그 중에서 연료전지는 W.R Grove에 의하여 발견되어 수소에너

지를 대표하는 기술이 되었다.

수소에너지의 장점은 다수의 청정에너지 중 가장 이상적이 라는 것이다. 수소는 태양광, 풍력 등의 청정에너지원으로부터 생산된 전기에너지를 이용한 물 분해 또는 화석연료의 재 처리 과정을 통해 얻게된다. 수소는 연소되거나 전기 에너지로 변환되어도 산출되는 것은 물이다. 이 말은 환경을 보존하고 재사용이 가능하다는 것이다. 이러한 경향에 발 맞추어 미국, 일본을 비롯한 선진국에서는 관련 기술의 개발에 막대한 연구비를 투자하고 있으며 전 세계가 미래 에너지 및 공해문제의 해결을 위해 2030년에는 전체 전력의 1%를 수소가 담당 할 것으로 발표하고 있다.⁽¹⁻⁵⁾

연료전지는 물의 전기분해 반응을 역으로 이용하여 수소와

산소의 화학적 반응을 통해 전기에너지를 만들어내고 부산물로 물을 만들어내는 것으로 수소, 석유, 천연가스, 메탄 등의 연료기체가 가지고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 일종의 발전기이다. 기존 발전방식과 달리 오염물질의 배출이 없고 발전시 발생하는 소음이 없으며 열 역학적 제한을 받지 않기 때문에 기존 발전효율보다 높은 효율을 낼 수 있는 발전방식이다. 또한, 용량조절이 쉽고 연속적인 전기 공급이 가능하며 단위면적 및 무게당 높은 출력을 낼 수 있는 장점이 있다.

연료전지는 보통 작동 온도와 전해질의 형태에 따라 구분되어지며 고분자전해질형 연료전지(PEMFC), 고체산화물형(SOFC), 용융탄산염형(MCFC), 인산형(PAFC), 알칼리형(AFC), 직접메탄올형(DMFC) 등으로 구분되어 진다. 그 중에서도 고분자전해질 연료전지는 수소이온교환 특성을 갖는 고분자막을 전해질로 사용하는 연료전지로서 다른 형태의 연료전지에 비해 작동온도가 낮고 효율이 높으며 전류밀도 및 출력밀도가 크고, 시동시간이 짧은 동시에 부하변화에 대한 빠른 응답 특성이 있다.

다양한 범위의 출력특성을 통해 차량 동력원, 분산전원, 이동용 전원, 군사용 전원 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 고분자 전해질 연료전지(이하 PEMFC)는 연료전지 양쪽에 수소와 산소가 흐를 수 있는 바이폴라플레이트(Bipolarplate)와 연료극(Anode), 공기극(Cathode), 전해질막(Membrane)으로 구성된다. PEMFC의 구성요소 중에서 바이폴라플레이트의 유로에서 유동에 관한 연구는 연료전지 성능 향상에 중요한 영향을 미치는 기술요소이다.

본 논문에서는 수소와 산소가 흐를 수 있는 역할을 하는 바이폴라 플레이트의 디자인에 관한 것으로서 각 구성요소의 특성과 유량, 압력 등의 운전조건, 부산물 등을 고려하여 바이폴라플레이트를 디자인하고 해석, 제작 하는 것을 목표로 한다.^(6,7)

2. 본론

2.1 PEMFC의 원리

PEMFC는 전해질 막을 중심으로 양쪽에 다공성 기체확산층인 Carbon Paper 또는 Carbon cloth에 백금 촉매 층이 입

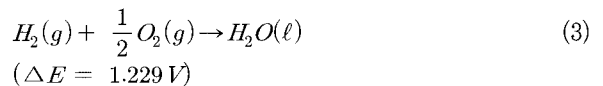
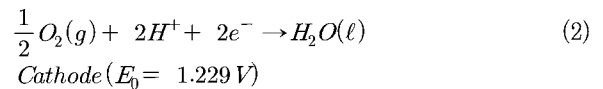
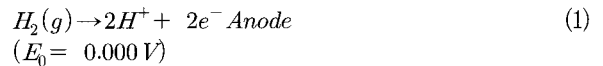
혀진 Anode와 Cathode가 부착되어 있는 형태로 되어 있다. PEMFC의 기본구조와 전기화학반응의 기본 흐름은 그림 1과 같다.

Anode에서는 수소의 전기 화학적 산화가 일어나고, Cathode에서는 산소의 전기화학적 환원이 일어나며 이때 생성되는 전자의 이동으로 인해 전기에너지가 발생하게 된다.⁽⁸⁾

Anode의 수소가 백금 촉매에 의해 H^+ 이온과 전자로 분리된 후 H^+ 이온은 전해질막 내 sulfonic acid(술폰산기)에 의해, 전자는 외부 회로를 통해 Cathode로 이동하게 된다.

Cathode에서는 전해질막을 통해 이동한 H^+ 이온과 산소가 반응하여 물을 생성하고, 외부회로를 통해 이동한 전자의 흐름이 전류가 된다. 전체적으로 수소와 산소가 결합하여 전기화학 반응에 의해 물을 생성하게 된다.

식 (1)~(3)은 각 전극에서의 반응식과 최종 반응식을 나타낸 것이다.



PEMFC의 전기화학반응은 일반적으로 60[°C]~ 80[°C]의

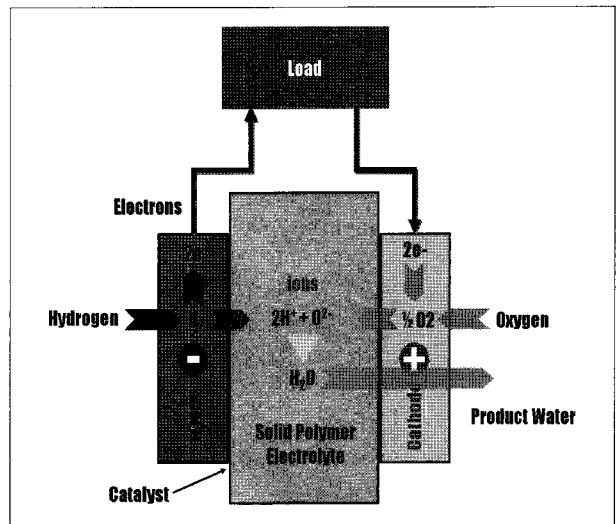


Fig. 1 Schematic diagram of the PEMFC structure.

저온에서 느리게 반응하기 때문에 반응속도를 증가시키기 위해 백금과 같은 촉매를 사용하며, 수소와 산소 같은 반응물을 촉매와 빠르게 반응시키기 위해 확산층(Gas Diffusion Layer, GDL)이 사용된다. 촉매층에서 분리된 수소이온들은 MEA를 통해 Cathode로 이동하며 외부회로를 통해 이동한 전자와 Anode로 공급된 산소와 반응을 하게된다.

MEA는 H^+ 이온만을 전달할 수 있는 고분자막을 사용하며 술폰산기를 포함하고 있는 고분자구조로 되어 있으며, sulfonic acid 기인 $-SO_3H$ 는 물에 의해 수화되고 이때 이동성이 있는 H^+ 와 비이동성인 $-SO_3^-$ 로 분리된다.⁽⁹⁾

2.2 CFD 모델링

컴퓨터를 이용한 유체역학의 계산은 기본적으로 질량, 선운동량, 에너지에 관한 보존 법칙을 기본으로 하는데 이와 같은 방정식을 Navier-Stokes식이라고 한다. CFD(Computational Fluid Dynamics)는 유체들의 에너지 운동관계를 수치적으로 계산하여 실제 시스템의 해석에 많은 도움을 줄 수 있다.⁽¹⁰⁾

Navier-Stokes식에 대한 컴퓨터를 이용한 미분방정식의 해법은 편미분방정식을 계산 격자상에서 Truncation error (절단오차)를 갖는 대수방정식으로 치환하고 이들의 행렬식을 수치적으로 푸는것이다. Flow solver라고 불리는 컴퓨터를 이용한 유동해석기법은 FDM(유한차분법), FVM(유한체적법), 또는 FEM(유한요소법) 중의 하나를 선택하게 된다. 이중 유한체적법은 사각형 또는 삼각형 메쉬의 연합으로 구성된 다각형의 계산 메쉬내에서 격자의 경계를 통해 출입하는 유동 Flux와 이로 인해 격자내부에서 변화하는 유동의 변수들 간의 보조방정식들로 이루어지며, 이것들의 전 유동영역에 대해 유동을 지배하는 미분방정식을 근사적으로 체적 적분하는 것이다.^(11,12)

본 논문에서 사용한 Fluent 6.2는 유한체적법) 사용하는 상용 해석 툴로서 대상 시스템에 대한 매쉬 형성과정을 통해 삼각 또는 사각 매쉬를 만들고, 각각의 경계 조건과 초기 조건들을 입력하면 반복 계산을 통해 수렴한 값이 오차범위에 드는 것으로 검증하게 된다. 이 때 수렴하는 값이 물리적으로 타당한 값을 가지는가에 대한 여부는 사용자의 대상 시스템에 대한 경험에서 비롯되는 경우가 많다. 이러한 과정을 거쳐 유체의 유동 구배 등의 결과를 얻게 된다.^(13,14)

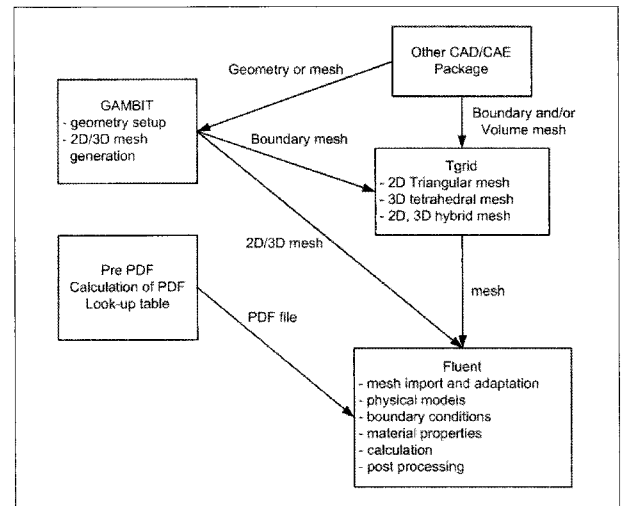


Fig. 2 Flow chart of Fluent data process.

그림 2는 FLUENT 사용에 대한 기본 구조를 나타내고 있다. ANSYS, Auto-CAD 등의 CAD/CAE 프로그램을 이용하여 시스템을 디자인한 후 GAMBIT 2.0으로 매쉬 생성과정을 통해 격자를 생성한 후 경계조건을 설정해 주면 해석을 위한 메인 모델이 완성된다. 이렇게 형성된 모델을 FLUENT 6.2를 통해 변환한 후 재료의 물성치, 격자의 경계조건 및 초기 변수 등의 모델에 대한 조건들이 입력한다. 입력된 조건들의 반복적인 계산을 통해 얻어진 결과는 모니터상에 시스템 내 유체의 유동 분포를 보여주게 된다.

본 논문에 사용된 FLUENT는 기본적으로 Navier-Stokes 식을 기본으로 하고 유한체적법을 기본으로 한다. 유한체적법은 사각형 또는 삼각형 격자의 연합으로 구성된 다각형 계산 격자 내에서 격자의 경계를 통해 출입하는 유동 FLUX와 이로 인해 격자 내부에서 변화하는 유동변수들 간의 보조방정식들로 이뤄지며, 이것들의 전 유동영역에 대해 유동을 지배하는 미분방정식을 근사적으로 체적 적분하는 것이다.

3. 설계 및 해석

3.1 설계 조건

본 논문에서는 바이폴라플레이트의 설계 및 시뮬레이션을 위하여 표 1과 같은 기본 조건을 설정하였다.

모델에서 계산하는 영역은 Cathode 쪽 채널에서 시작하도록 하였고, 유로의 형상은 serpent-line 타입으로 하였으며 모델링에 사용된 치수는 실험에 사용될 단위전지의 크기에 적합토록 하였다.

설계에 적용된 조건은 표 2와 같다.⁽¹⁵⁾

설계 조건을 통해 디자인된 바이폴라 플레이트는 그림 3과 같다.

Table 1. Dimensions of the Model

조건	수치[m]
유동의 폭	0.07
유동의 길이	0.07
유로의 폭	0.002
유로의 깊이	0.002
유로 안쪽 폭	0.002

Table 2. Physical and electrochemical properties

파라미터	값
패러데이 상수 F	98,467 [C/mol]
Universal 가스 상수 R	8,314 [J/mol K]
electron transfer 계수 α_e	0.5
reference exchange 전류 밀도 i_o	4.5 [mA/m ²]
reference limiting 전류 밀도 i_l	2,000 [mA/m ²]
연결 저항 R_{co}	1.0×10^{-5} [ohm/m ²]

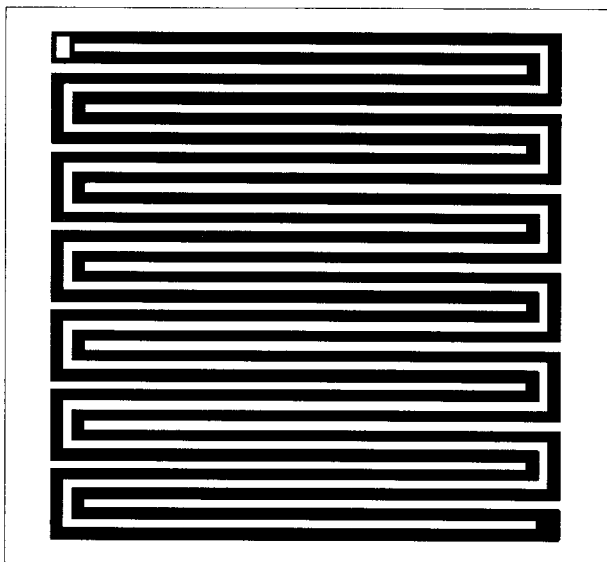


Fig. 3 Schematic diagram of a serpentine flow channel.

3.2 해석 및 결과

바이폴라플레이트는 산소와 수소가 기체 확산층을 통해 촉매로 이동하여 반응할 수 있게 하는 중요한 부분이다. 플레이트 유로 내에서 산소와 수소가 균일한 속도로 이동될 때 Stack의 성능이 향상된다.

CFD 상용 툴인 FLUENT Ver. 6.2를 이용하여 그림 3의 모델을 기준으로 속도분포와 전류밀도분포를 해석하였다. 해석

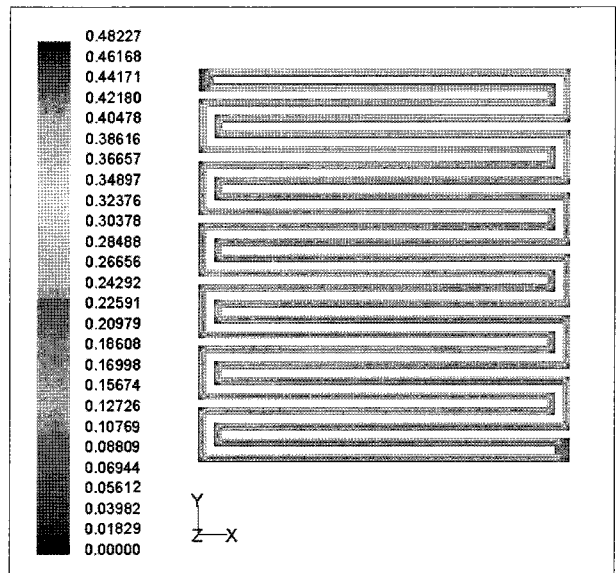


Fig. 4 Velocity distribution in serpentine flow channel [m/s].

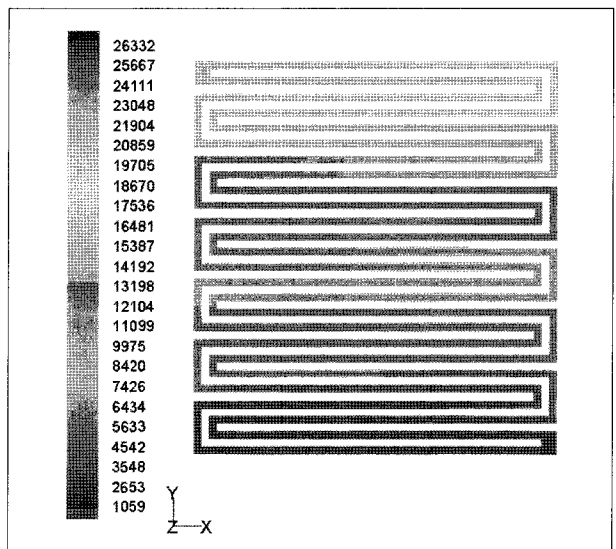


Fig. 5 Local current density distribution at the serpentine flow channel [A/m].

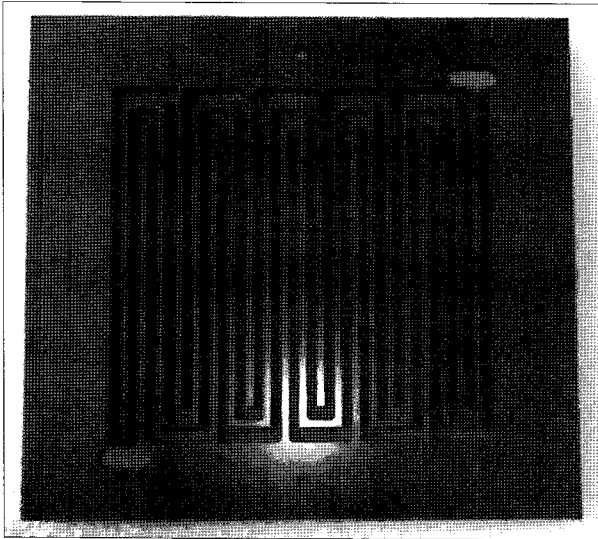


Fig. 6 Bipolar plate proto-type (120mm×120mm).

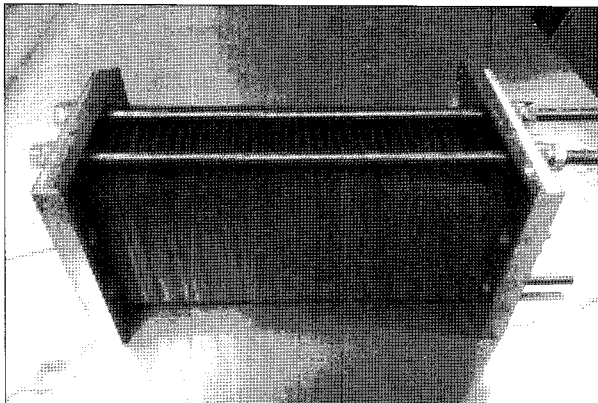


Fig. 7 500[W] PEMFC Stack.

을 위하여 사용한 장비는 HP workstation XW-6200 XEON 2GB RAM을 사용하였으며 속도분포와 전류밀도분포를 해석하였다. 해석된 결과는 그림 4, 그림 5와 같다.

그림 4의 경우 serpentine 형식의 플레이트는 비교적 유속이 빠르며 채널간의 속도 분포도 균일한 것을 알 수 있다. 그림 5의 경우 반응가스의 농도가 전류밀도에 영향을 끼치는 것을 보여주는 전류밀도분포 해석도이다.

4. 시제품 제작

그림 6은 설계와 해석을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 제

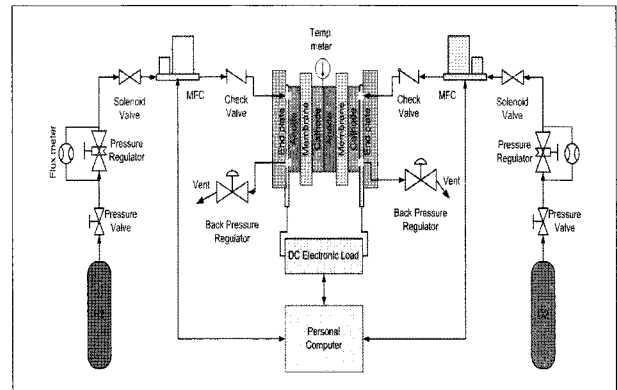


Fig. 8 Block diagram of 500W PEMFC system.

작된 바이폴라플레이트 시제품의 사진을 나타낸 것으로 플레이트의 크기는 전체 120mm × 120mm 이며 유로 크기는 70mm × 70mm 이다.

시제품을 통해 구성된 PEMFC stack은 그림 7과 같다.

4. 결론

시제품을 이용하여 그림 8과 같은 연구용 500[W] PEMFC 시스템 제작을 위한 연구를 진행 중이다. 현재, 본 논문을 통해 제작된 바이폴라플레이트를 이용하여 500W PEMFC 시스템을 구성하였고 이를 통해 얻어진 운전특성 및 시스템 관리는 연구를 통하여 차후 논문에서 밝히고자 한다.

후 기

본 논문은 산업자원부 전력산업기술개발사업 KESRI R-20050B117 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 에너지 경제연구원, “기후변화 협약과 교토의정서 대응전략 연구”, 산업자원부, 2002.
- [2] 恩田和夫, “21세기에 기대되는 연료전지 발전시스템”, 전기화학 및 공업물리학회지, pp. 658-661, 2000.

- [3] 신동열, “수소/연료전지 기술개발의 중요성”, KIER 기술분석지, 23, pp. 1-5, 2003.
- [4] Cutler J. Cleveland, “Encyclopedia of Energy”, Elsevier, Vol. 2, 2004.
- [5] International energy agency, “World energy outlook 2002”, IEA, 2002.
- [6] S. H. Ge and B. L. Yi, A mathematical model for PEMFC in different flow modes, J. Power Sources, 101, 289, 2003.
- [7] N. Djilali and D. Lu, Influence of heat transfer on gas and water transport in fuel cells, Inc. J. Therm. Sci. 41, 29, 2002.
- [8] E. Hontanon, M. J. Escudero, and C. Bautista, Optimisation of flow-field in polymer electrolyte membrane fuel cells using computational fluid dynamics techniques, J. Power Sources, 86, 363, 2002.
- [9] G. Gaggio, V. Recupero and L. Pino, Modeling polymer electrolyte fuel cells: an innovative approach, J. Power Sources, 101, 275, 2001.
- [10] D. Singh, D. M. Lu and N. Djilali, A two-dimensional analysis of mass transport in proton exchange membrane fuel cells, Int. j. Eng. Sci. 37, 431, 1999.
- [11] M. Hu, A. Gu and X. Z. Minghua, Three dimensional, two phase flow mathematical model for PEM fuel cell: Part I. Model development, Energy Conversion And Management 24, 231, 2003.
- [12] S. M. Haile, Fuel cell materials and components, Acta Materialia 51, 5981, 2003.
- [13] K. Ronald and A. M. Mallant, PEMFC system: the need for high temperature polymers as a consequence of PEMFC water and heat management, J. Power Sources 118, 424, 2003.
- [14] R. Bird, W. Stewart and E. Lightfoot, Transport Phenomena, Wiley, New York, 1980.
- [15] L. F. Shampine and M. K. Gordon, Computer Solutions of Ordinary Differential Equations: The Initial Value Problem, W. H. Freeman, San Francisco, 1975.

윤형상



1994년 동신대학교 전자공학과 공학사
 1996년 동신대학교 대학원 전기전자공학과
 공학석사
 2008년 동신대학교 대학원 전기전자공학과
 공학박사

현재 (주)퓨전정보기술 대표이사
 (E-mail : hl4rkb@naver.com)

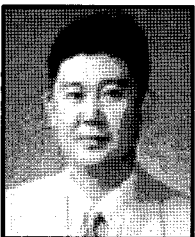
차인수



1982년 조선대학교 전기공학과 공학사
 1985년 중앙대학교 대학원 전기공학과 공학석사
 1989년 조선대학교 대학원 전기공학과 공학박사

현재 동신대학교 수소에너지학과 교수, 학과장
 (E-mail : ischa@dso.ac.kr)

이정일



1996년 광주대학교 전기공학과 공학사
 1999년 조선대학교 산업대학원 전기공학과
 공학석사
 2003년 동신대학교 대학원 전기전자공학과
 공학박사

현재 송원대학 디지털전기정보과 교수, 학과장
 (E-mail : ijil@songwon.ac.kr)

윤정필



2001년 동신대학교 전기전자공학과 공학사
 2003년 동신대학교 대학원 전기전자공학과
 공학석사
 2007년 동신대학교 대학원 전기전자공학과
 공학박사

현재 (주)한국에텍 부설연구소 선임연구원
 (E-mail : 01196197917@naver.com)