

## 오프그리드용 풍력-연료전지 하이브리드 시스템 개발

최 종필<sup>1)</sup>, 박 내춘, 김 상훈<sup>2)</sup>, 김 병희<sup>3)</sup>, 남 윤수, 유 능수

### Development of WT-FC Hybrid System for Off-Grid

Jongpil Choi, Naechun Park, Sanghun Kim, Byeonghee Kim, Yunsu Nam, Neungsu Yu

**Key words** : Wind turbine(풍력발전기), Proton Exchange Membrane Fuel Cell(고분자 전해질 연료전지), Electrolyzer(전기분해장치), Hybrid system(융합시스템), Balance of plant(주변장치)

**Abstract** : This paper describes the design and integration of the wind- fuel cell hybrid system. The hybrid system components included a wind turbine, an electrolyzer (for generation of H<sub>2</sub>), a PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell), storage system and BOP (Balance of Plant) system. The energy input is entirely provided by a wind turbine. A DC-DC converter controls the power input to the electrolyzer, which produces hydrogen and oxygen form water. The hydrogen used the fuel for the PEMFC. The hydrogen is compressed and stored in high pressure tank by hydrogen gas booster system.

#### Nomenclature

V : voltage, v (DC)  
A : current, a  
P : fuel cell power, w

#### subscript

WT : wind turbine  
FC : fuel cell  
B.O.P : balance of plant  
MEA : membrane & electrolyte assembly

### 1. 서 론

화석연료를 대체할 신·재생에너지에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있으며, 신·재생에너지원 중 풍력은 현재 가장 경제성이 뛰어난 청정에너지원으로 증명되고 있다. 그러나 바람은 계절, 기후 및 시간에 따라 변하므로 에너지 생산량이 일정하지 못하다는 단점을 지니고 있다. 즉 바람이 없거나 너무 강한 날에는 에너지를 생성할 수 없기 때문에 에너지 수급의 불안정성을 지니고 있다. 이러한 풍력발전의 문제점을 극복하기 위하여 제 2,3의 에너지원과 융합된 하이브리드 형태의 발전 시스템이 요구되고 있

다.<sup>(1-5)</sup> 기존의 융합 시스템은 풍력과 디젤 연료를 사용한 융합 시스템이 대부분의 연구를 차지하였으나, 최근에는 청정에너지원인 수소를 이용한 연료전지와 하이브리드 발전 시스템에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있다.<sup>(6-9)</sup> 특히 대체 에너지 자원에서 고려해야 할 가장 중요한 요소인 환경과의 상용성 측면에서 수소가 가장 매력적인 에너지원이라는 평가를 받고 있다. 문제는 수소 에너지의 경제성인데, 신·재생에너지원 중 가장 경제적인 풍력에너지를 이용하여 수소를 생산한다면 보다 확실한 경제적, 환경적 이득을 얻을 수 있을 것이다.

본 논문은 이러한 바람이 가지는 청정에너지원에 안정성을 부가하기 위하여 연료전지 시스템과 융합된 하이브리드 시스템을 제안하였다. 풍력발전을 통하여 생성된 여분의 전기는 물의 전기분해에 사용되어 수소를 생산하고, 생성된 수소는 저장탱크에 저장되어 전력이 필요한 순간에 연료전지에 공급되어진다. 따라서 풍력-연료전지 융합 시스템은 보다 안정적인 전력을 공급할 수 있다는 장점을 지니게 된다.

- 
- 1) 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 대학원  
E-mail : jggon@kangwon.ac.kr  
Tel : (033)244-8910 Fax : (033)257-4190
  - 2) 강원대학교 전기전자정보통신공학부 부교수  
E-mail : kshoon@kangwon.ac.kr  
Tel : (033)250-6293 Fax : (033)241-3775
  - 3) 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 교수  
E-mail : kbh@kangwon.ac.kr  
Tel : (033)250-6374 Fax : (033)257-4190

## 2. WT 및 FC 요소기술

### 2.1 풍력발전기

풍력발전기는 공기의 유동이 가진 운동에너지의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시켜 전기를 얻는 시스템이다.

Fig.1은 풍력발전의 기본원리를 보여주고 있다. 풍력발전기의 주요 구성 요소로는 날개와 허브로 구성된 회전자와 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속장치, 발전기 및 각종 안전장치를 제어하는 제어장치, 유압 브레이크장치와 전력제어장치 및 지지탑으로 구성된다. 풍력발전은 대체에너지원으로써 커다란 역할을 수행하고 있지만 기후나 환경조건에 따라 전력의 생산량이 큰 차이를 보이기 때문에 안정적인 전력을 공급하기 어려운 실정이다.

### 2.2 전기분해장치

본 논문에서는 풍력발전을 통하여 생성된 전기를 사용하여 물을 직접 전기분해 하는 방식으로 수소를 제조한다. 전기분해 방법은 제조 기술 자체에 있어서 가장 간단하면서도 신뢰성이 높고 대량생산이 손쉬운 방법이다.

Fig.2는 물의 전기 분해 원리로 물과 접촉하는 두 전극에 직류 전류를 흘려주면 양이온으로 전하된 수소이온이 음극으로 이동하여 수소기체로 바뀌고 비슷한 과정을 거쳐 양극에서는 산소가 생성되는 방식이다. 전극으로는 불활성인 백금과 같은 물질이 이용되는데, 부반응으로 인한 수소내의 불순물 생성을 억제하기 위한 것이다. 일반적으로 순수한 물은 전기가 잘 통하지 않아 전기분해가 이루어지지 않으므로, 보통 전기가 잘 통하는 전해질 수용액을 사용하게 되며, 1기압, 80°C 정도에서 알칼리 수용액(25-30wt% KOH)을 전해질로 사용한다.

### 2.3 저장장치

본 연구에서는 풍력에너지에 의해 제조된 수소를 고압저장탱크를 이용하여 저장되어진다.

Fig.3에 수소저장 탱크의 개략도를 보여주고 있다. 고압저장탱크는 고에너지밀도를 위하여 적은 부피와 가벼운 무게를 요구하며, 특별히 안전도가 고려되어야한다. 따라서 저장탱크는 복합재료들로 구성되어지며, 여러 안전장치들을 포함하고 있다. 현재 알루미늄 및 카본섬유저장통의 경우 250bar 압력으로 350L까지 수소의 저장이 가능하다.

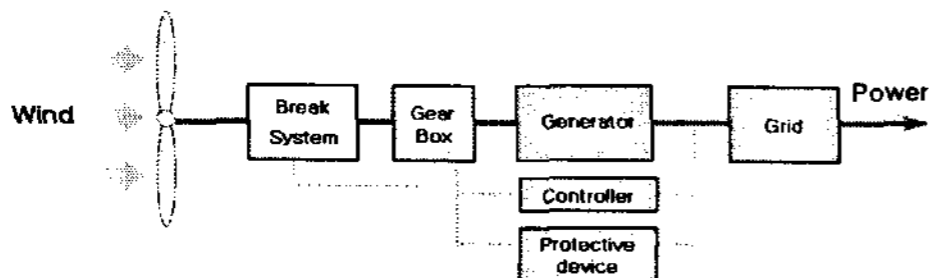


Fig. 1 Principal of wind-turbine

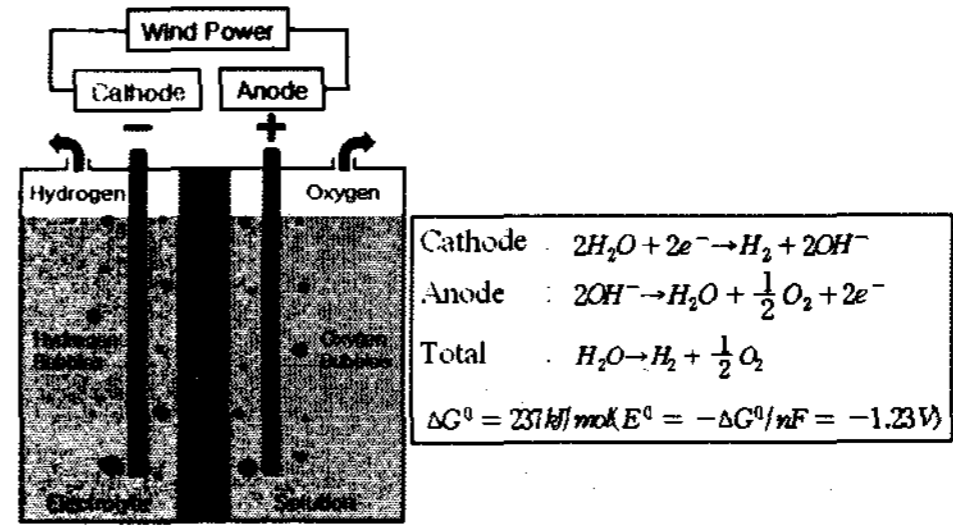


Fig. 2 Principal of electrolysis

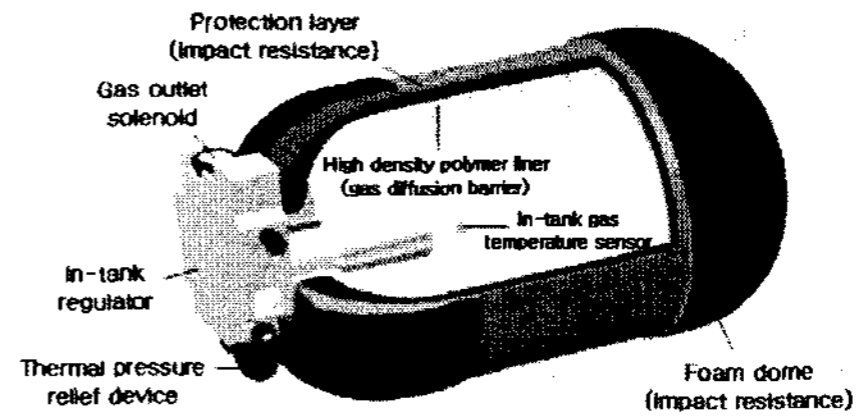


Fig. 3 Schematic of hydrogen storage tank

### 2.4 연료전지

연료전지는 수소의 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환된다. 특히 종래의 전지와는 다르게 외부에서 수소와 공기를 공급하는 연속적으로 전기를 생산하는 일종의 발전시스템이다.

Fig.4는 고분자전해질 연료전지의 내부 구성도 및 전기화학반응을 보여주고 있다. 고분자전해질 연료전지의 발전 원리는 양극(Anode)에 공급된 수소가 촉매 상에서 수소이온(H+)과 전자(e-)로 분해된다. 분해된 수소이온은 전해질 막을 통해 음극(Cathode)으로 이동하며, 전자는 외부 전선을 통해 음극으로 이동한다. 음극에는 산소가 공급되어 양극에서 이동되어 온 전자와 수소이온과 산소가 촉매 상에서 반응하여 물을 생성한다. 고분자전해질 연료전지는 유로(Bipolar plate), 기체 확산층, 전극, 전해질 막으로 단위전지를 구성한다. 고분자전해질 연료전지의 성능은 막전극접합체(membrane & electrolyte assembly, MEA)에 의해 크게 좌우된다. 이러한 연료전지는 발전효율 40% 이상의 고효율, 무공해, 무소음, 건설과 증설이 용이하고, 다양한 용량이 가능한 모듈화의 특징을 가지고 있다. 또한 연료전지 반응에서 생성되는 부가적인 열은 난방용으로 사용될 수도 있어 열병합 발전이 가능하여 에너지 효율을 더욱 높일 수 있다.

### 2.5 연료전지 BOP 및 제어시스템

연료전지 시스템을 구성하는 위해서는 스택 외에 연료와 수분 공급을 위한 공급장치, 냉각장치, 열교환기와 압축기 등의 부가 장치들이 필요하게 된다. 이러한 주변 장치들을 일반적으로 B.O.P 라고 통칭한다.

#### 4. WT-FC 하이브리드 시스템 제작

본 연구에서는 제작된 WT-FC 융합 시스템은 발라드의 1.2kW 스택인 Nexa 시스템을 이용하였다. 수소와 공기를 연료로 사용하는 고분자 전해질 연료전지이며, 무가습, 공랭식 냉각 방식을 사용하여 주변 장치의 구성을 최소화시켰다. 유량 및 전압, 전류의 조절을 통하여 연료전지의 성능 특성을 분석할 수 있으며, RS232C 통신을 통하여 모든 데이터를 전송하게 된다.

Fig.7은 본 연구에 사용된 전기분해 장치의 구조를 보여주고 있다. 전해액으로 채워진 전해조의 양단에 전원(DC)이 인가되면, 전해조 내부의 각 극판 표면에서 수소와 산소가 발생하게 된다. 극판과 극판 사이에는 격막으로 분리되어 전해액에 포함된 이온들은 자유롭게 왕래하지만 수소와 산소 가스는 분리되어 전해액과 함께 산소 및 수소 기액분리기로 이동하게 된다. 전해액은 유동이 안정된 후에 기액분리기 하단에서 나와 전해액 냉각기를 통과하면서 냉각되며, 냉각된 전해액은 순환 펌프에 의해서 다시 전해조로 공급된다. 가스는 기액분리기 상부에서 나와 가스 냉각기를 통과하면서 가스에 포함된 수분이 응축 및 냉각된다. 그 다음 응축기에서 수분이 제거된 상태로 토출 밸브를 통해 외부로 토출되어진다. 전기분해 장치에서 나오는 수소는 건조기를 통과하면서 미세한 수분 입자나 불순물을 제거하여 고순도의 수소를 얻게 된다.

48V의 직류로 작동하며 최대 생산 가능한 수소량 250 L/hr를 생산할 수 있으며, 500W 연료전지를 연속 구동할 수 있는 수준의 유량이다. 이때 소모되는 증류수량은 1 L/hr이다. 생산되어지는 수소와 산소는 0.3bar로 수소산소 건조기 내에 저장 가능하며, 압력탱크와 연결 시 바로 저장할 수 있는 장점을 지니고 있다. 전기분해에 사용되는 전해액은 KOH 수용액이며, 사용되는 물은 초순수(DI water)이다.

수소 저장장치로는 약 4000L의 수소 저장이 가능한 탱크를 사용하였으며, 이는 1kW의 연료전지를 3시간 연속 구동시킬 수 있는 용량이다. 전기분해장치와 바로 연결되어 생산되는 수소를 저장 및 연료전지로 공급할 수 있도록 미세 조절이 가능하도록 레귤레이터를 장착하였다.

Fig.8은 본 연구에서 제작된 1kW 급 WT-FC 융합 시스템을 보여주고 있다. 풍력발전기에서 공급되어지는 전력을 고려하여, 풍력발전기로부터 발생하는 여분의 전기를 배터리(①)로 저장하고, 배터리에 저장되어진 전기를 이용하여 연료전지 구동을 위한 수소를 생산하게 된다. 직류 48V로 구동되어지는 전기분해장치(③)는 초순수(②)를 이용하여 전기분해를 수행하며, 생산된 수소 및 산소는 압력탱크(④)로 저장되어진다. 용량 체크 센서를 통한 압력탱크의 압력을 체크함으로써 전기분해장치의 공급 전력을 제어한다. 저장된 수소는 전력이 필요할 때 적당량의 유량을 조절하여 가습장치 및 온도 조절장치(⑤)를 거쳐 연료전지(⑥)로 공급되어지며, 발열반응에 의해 온도가 상승하기 때문에 일정 온도를 유지하기 위하여 냉각장치(⑦)가 설치되었다. 이러한 단계를 거쳐 1kW의 전력을 생산하게 된다.

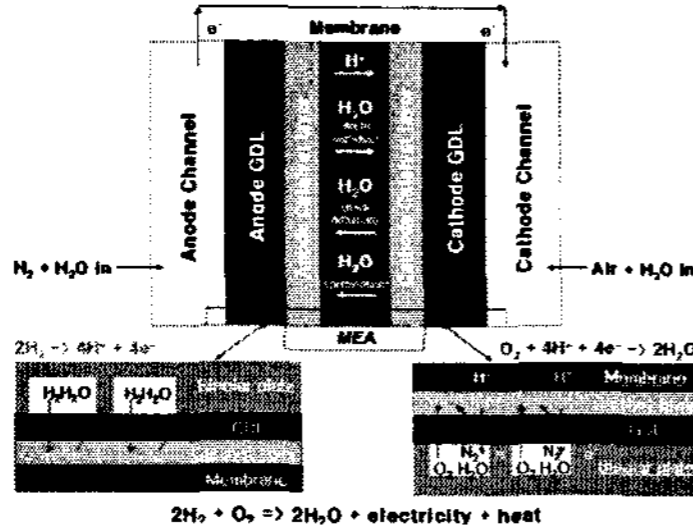


Fig. 4 Schematic diagram of PEMFC

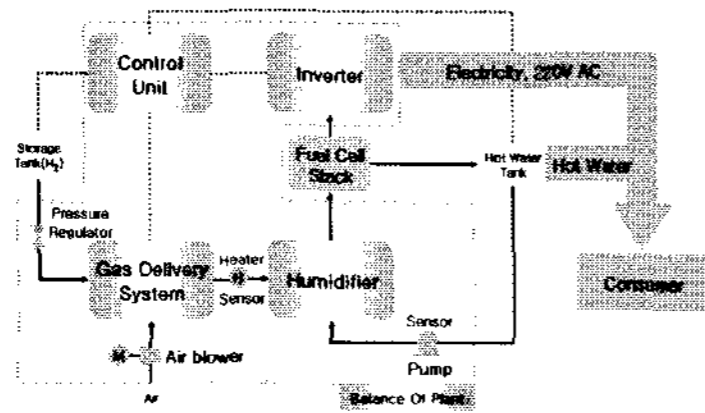


Fig. 5 BOP system of fuel cell

Fig.5는 연료전지 BOP 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 스택에서 생성된 전압이 낮고 전류가 높은 직류를 DC-DC 변환과 DC-AC 변환을 통한 AC 전력을 생성하는 전력 전환부, 화석연료로부터 수소를 추출하는 연료개질부 등이 포함된다. 또한 가스를 공급하기 위한 동력설비부와 이를 제어하는 공정제어부에 의해 가습, 온도, 유량 제어 등을 수행하게 된다.

#### 3. WT-FC 하이브리드 시스템 설계

Fig.6은 본 연구에서 고안된 WT-FC 융합 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 풍력발전기를 통해 얻어진 전기는 계통연계를 통해 가정 및 전력이 필요한 도서 지역에 공급되어진다. 공급되어지고 남은 여분의 전기는 기존의 풍력발전에서와 같이 배터리로 저장되지 않고, 전기분해장치로 공급되어 수소를 제조하는데 사용되어진다. 이렇게 제조된 수소는 고압탱크에 저장되어지고 바람이 없거나, 너무 심하게 불어 풍력발전기를 구동시킬 수 없는 경우 연료전지로 공급되어 전력을 생산하게 된다. 따라서 풍력발전이 지니고 있는 수급 불안정의 문제를 신재생에너지 융합시스템을 통하여 극복할 수 있다는 장점을 지니고 있다.

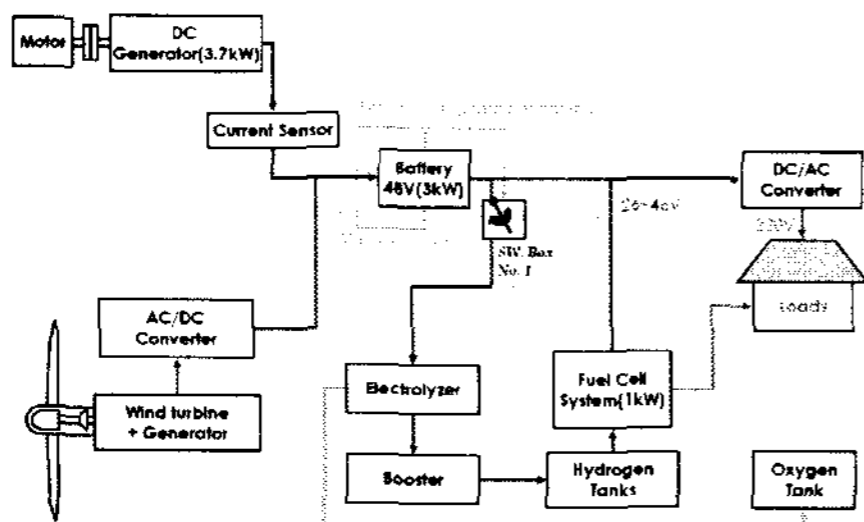


Fig. 6 Schematic diagram of WT-FC hybrid system

Fig.9는 WT-FC 융합 시스템의 1kW Nexa 시스템의 성능곡선으로 26V에서 1kW의 최대전력이 발생됨을 보여주고 있다.

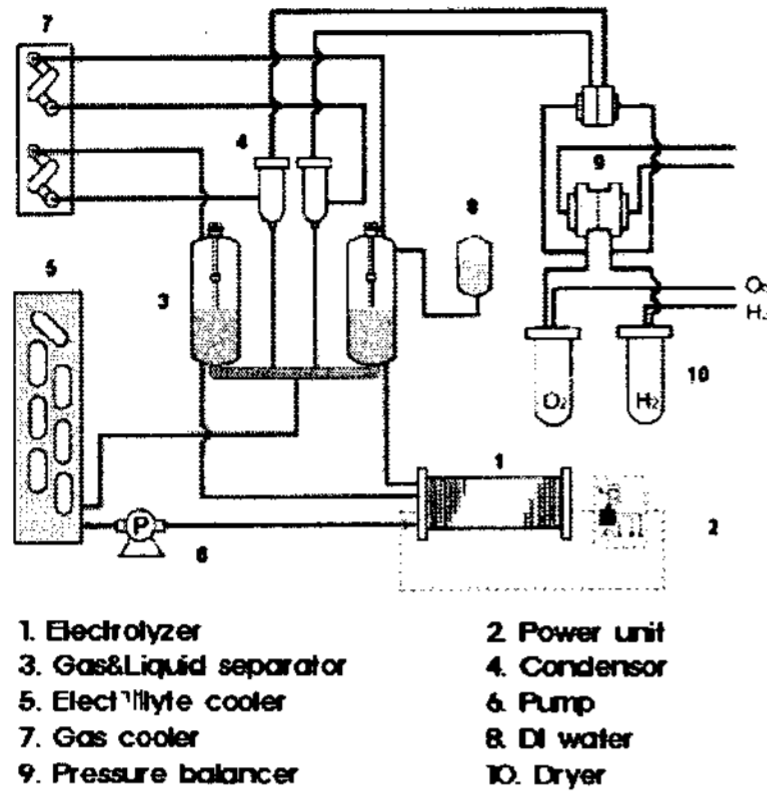


Fig. 7 Structure of electrolyzer

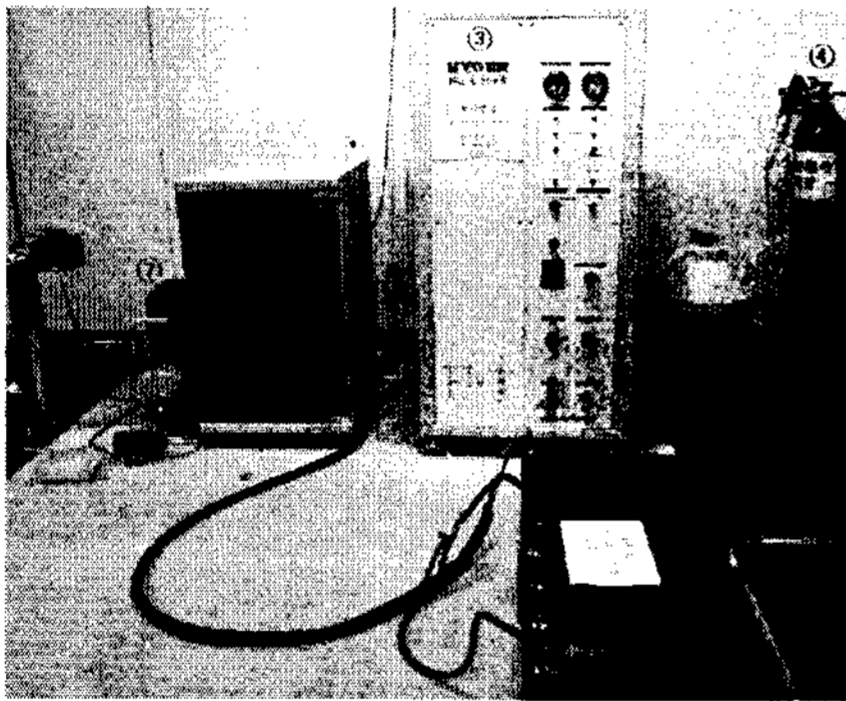


Fig. 8 WT-FC hybrid system

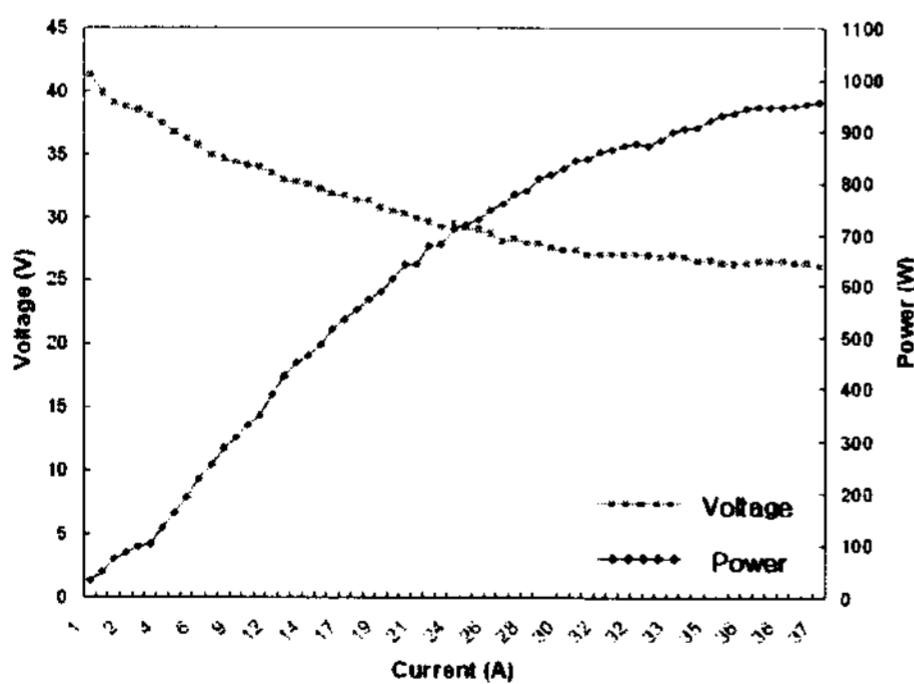


Fig. 9 I-V curve of 1kW fuelcell

#### 4. 결론

본 연구에서는 1kW급 WT-FC 융합 시스템의 설계 및 제작을 수행하였다. 융합 시스템의 경우 풍력발전기, 전기분해장치, 수소저장장치, 연료

전지 그리고 연료전지 구동을 위한 주변장치로 이루어진다. 제작된 1kW 융합 시스템의 성능을 파악하였으며, 보다 높은 효율을 얻기 위해 조건들을 파악하였다.

#### 후기

본 연구는 강원대학교 산학협력중심대학 기술개발과제 사업의, "수소제조용 3kW 급 풍력-연료전지 하이브리드 시스템 개발"의 과제로 수행 중이며 "2단계 BK21"의 지원을 받습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### References

- [1] Celik AN, 2003, "A simplified model for estimating the monthly performance of autonomous wind energy systems with battery storage", Renewable Energy, Vol. 28, pp.561-572.
- [2] Jurado F, Saenz JR, 2002, "Possibilities for biomass-based power plant and wind system integration", Energy, Vol. 27, pp. 955-966.
- [3] Badescu V, 2003, "Dynamic model of a complex system including PV cells, electric battery, electrical motor and water pump", Energy, Vol. 28, pp. 1165-1181.
- [4] El Shatter TF, Eskandar MN, el Hagry MT, 2002, "Hybrid PV/fuel cell system design and simulation", Renewable Energy, Vol. 27, pp. 479-485.
- [5] Iqbal MT, 2003, "Modeling and control of a wind fuel cell hybrid energy system", Renewable Energy, Vol. 28, pp. 223-237.
- [6] Henrik Lund, 2005, "Large-scale integration of wind power into different energy systems", Energy, Vol. 30, pp. 2402-2412.
- [7] Jagadeesh A, 2000, "Wind energy development in Tamil Nadu and Andhra Pradesh, India Institutional dynamics and barriers—a case study", Energy Policy, Vol. 28, pp. 157-168.
- [8] Kolhe M, Agbossou K, Hamelin J, Bose TK, 2003, "Analytical model for predicting the performance of photovoltaic array coupled with a wind turbine in a stand-alone renewable energy system based on hydrogen", Renewable Energy Vol. 28, pp. 727-742.
- [9] Burer M, Tanaka K, Favrat D, Yamada K, 2003, "Multi-criteria optimization of a district cogeneration plant integrating a solid oxide fuel cell-gas turbine combined cycle, heat pumps and chillers", Energy, Vol. 28, pp. :497-518.