

1kW급 계통연계 보조 전원용 PEMFC 시스템 개발

이 호준¹⁾, 함 미숙²⁾, 한 세영³⁾, 이 정민⁴⁾

Development of 1kW class grid-connected PEMFC system

Hojun Lee, Misook Ham, Saeyoung Han, Jeongmin Lee

Key words : Grid-connected(계통연계), PEMFC(고분자연료전지), Air-cooled(공랭식), Direct hydrogen(직접 수소), PCS(전력변환기)

Abstract : 본 연구에서는 고분자연료전지(PEMFC)을 이용하여 보조전원용으로 사용할 수 있는 계통연계 연료전지 시스템을 개발하였다. 또한 본 연구에서는 DSP(Digital Signal Processor)칩을 이용한 계통 연계용 전력변환기(PCS, Power Conditioning System)와 제어시스템 개발도 병행하여 수행되었다. 개발된 1kW급 계통연계형 시스템은 다양한 조건에서의 스택 성능 실험 및 BOP 연계 시험을 통해 최적의 운전점을 도출할 수 있었으며, PID(Proportional, Integral, Differential) 운전제어 방법을 적용하여 시스템의 안정적인 운전 특성을 확보하였다. 향후 본 시스템을 계통연계용은 물론 독립전원용으로 사용하기 위해 전력변환장치를 설계중이며, 2007년 하반기에 시스템에 적용될 예정이다.

subscript

PEMFC : polymer electrolyte membrane fuel cell
MEA: membrane electrode assembly

받게 되므로 기동 속도가 빠르고 이동이 용이하다. 또한 계통 연계 방식을 적용하여 전기 소모량이 많아지는 여름철이나 겨울철에 기저부하를 담당할 수 있는 시스템이다.

1. 서론

화석연료의 고갈에 따른 고유가에 따라 화력에 의해 전기생산 비용이 증대되고 있으며 정보화 도시화가 되면서 전기의 소비량은 증가하고 있다. 현재의 석유 산지는 몇 개의 제한된 지역에서 생산되고 있어 그 몇 나라에 대한 에너지 의존도가 매우 큰 형편이다. 또한 화석 연료 사용에 따른 온실가스 배출로 기후가 급변하고 있으며 각국은 그런 에너지에 대한 개발을 가속화하고 있다.

따라서 수소와 공기를 사용하여 전기를 생산하며 부산물로 물을 생산하고 작동온도도 높지 않아 운전이 용이한 고분자 전해질 연료전지(PEMFC) 연구들이 많이 이루어지고 있다.

기존의 이동형 PEMFC 장치들은 독립전원형으로 Back-up 파워용¹⁾이나 전기자전거의 전원장치로 개발되었지만, 본 연구에서는 계통연계형으로 개발하였다.

본 시스템은 99.99%의 순수 수소를 직접 공급

2. 시스템 구성품

본 시스템은 스택과 가습기, 공기 공급부, 연료 공급부, 전력변환부로 구성되며, 스택의 냉각을 위해서 스택에 팬을 장착하였다.

2.1 공랭식 스택

고성능 촉매와 MEA 기술을 이용하여 활성 면적 100cm²에서도 충분히 성능을 발휘할 수 있는

-
- 1) (주)효성 중공업연구소
E-mail : gomax@hyosung.com
Tel : (02)707-4377 Fax : (02)707-4399
 - 2) (주)효성 중공업연구소
E-mail : msham@hyosung.com
Tel : (02)707-4363 Fax : (02)707-4399
 - 3) (주)효성 중공업연구소
E-mail : iamhanse@hyosung.com
Tel : (02)707-4393 Fax : (02)707-4399
 - 4) (주)효성 중공업연구소
E-mail : neomin@hyosung.com
Tel : (02)707-4388 Fax : (02)707-4399

컴팩트한 스택을 설계, 제작하였으며 셀 수는 35개로 구성되고 냉각방식은 공랭식을 이용하였다. 스택 성능은 셀당 0.6V(21V)에서 운전시 최대 출력은 1.3kW까지 낼 수 있다(Fig 1).

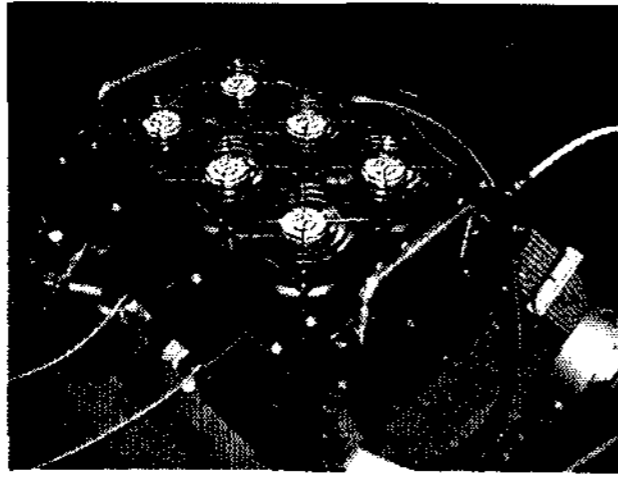


Fig 1. Air-cooled Stack(한국에너지기술연구원)

고분자 연료전지에서 중요한 것 중의 하나가 스택 내부의 적절한 습도를 유지하는 것이며 이를 위해 별도의 가습장치를 설치하기도 한다. T. Susai¹⁾는 물을 공급하여 내부 가습을 하는 스택을 적용하여 별도의 가습기를 제거하였다. 본 시스템은 소모 전력과 사이즈를 최저로 하기위해 Membrane 방식의 가습기를 적용하였다. 스택과 가습기 사이의 유로 손실을 최소화하기 위해 Cathode 배출구와 가습된 공기의 주입구를 스택과 일체화하였다(Fig 1).

2.1.1 스택 성능 시험

순도 99.99%의 수소를 직접 사용하기 때문에 스택은 dead end로 운전되었으며 스택 시험을 통해 스택 퍼지 셀 전압과 최적 운전 조건 등을 찾았다.

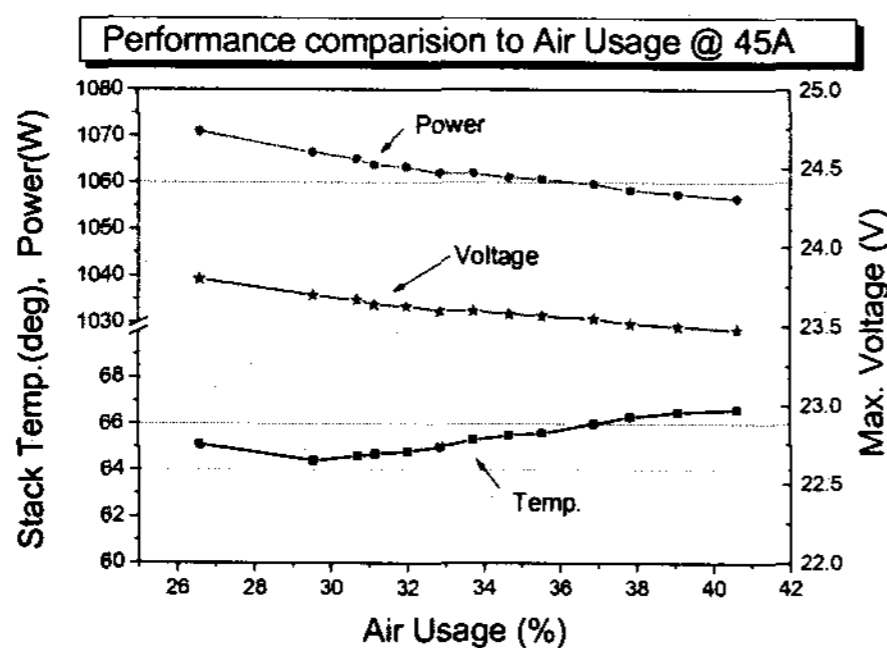


Fig. 2 Temperature and Voltage, Power variation by Air usage

2.1.2 스택 이용률 시험

본 연구에 사용된 스택은 공기 냉각 방식의 스택으로 스택에 냉각팬이 설치되어 있다. 또한

냉각팬 뿐만 아니라 Cathode에 공급되는 공기 유량에 의해서도 냉각이 된다. 따라서 공랭식 스택의 경우 이용률이 낮게 설계되는 경우가 많다. 유체 기계의 소모 전력을 줄이기 위해 스택의 이용률을 40%까지 높였을 경우, Fig2와 같이 스택의 온도가 상승하는 문제가 발생하여 기존 냉각팬의 용량을 키워 40% 이용율을 적용하였다.

2.2 PCS 개발

전력변환기는 연료전지의 직류출력을 컨버터와 인버터를 통하여 단상 교류 220Vac에 연계하여 전력을 공급할 수 있도록 제어한다. 일반적으로 연료전지의 출력은 직류 저전압, 대전류 형태이므로, Fig 3과 같이 승압형 DC/DC 컨버터에서 연료전지의 낮은 전압을 승압 시키고, DC/AC 인버터에서 승압된 직류전압을 교류전압으로 변환하여 전력계통과 연계제어를 수행한다. Fig 3은 전체 전력변환기 회로와 DSP를 사용한 디지털제어의 구성을 나타낸다. 연료전지의 출력과 전력계통을 절연분리하기 위하여 고주파절연 방식을 채택하였으며, Push-pull 방식의 DC/DC 컨버터와 Full-Bridge 단상 인버터 방식을 채택하였다.

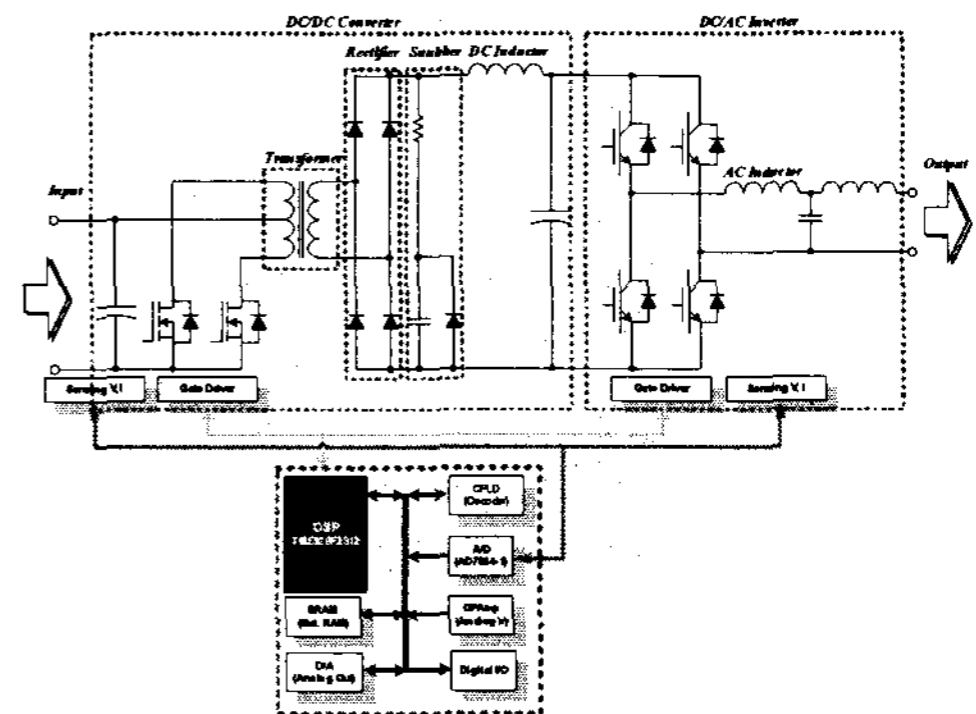


Fig 3. Circuit diagram of Power conversion system

Table 1 Input and Output Specification of PCS

입력전압정격	23 Vdc
입력전압범위	21 ~ 34 Vdc
정격입력용량	1,100 W
정격 전류	47 A
출력 전압	1 220Vac 10%
출력주파수	60 Hz
제어방식	Digital Control(DSP)

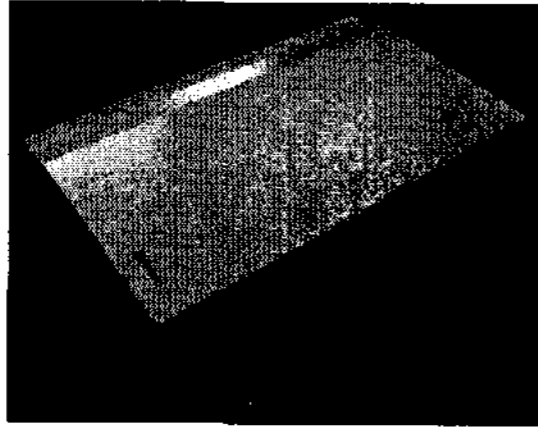


Fig 4. Developed 1kW Class PCS

전력변환기의 사양은 Table 1과 같이 21~34Vdc 직류입력을 220Vac 단상 교류로 출력시키며, 최대 정격용량은 1.1kW이다. Fig 4는 전력변환기의 시제품 사진이다.

2.3 제어기 개발

제어기는 각종 Data를 처리하는 Main Processor부와 시스템의 입/출력 제어 신호를 처리하는 주변회로부로 구성된다(Fig 5). Main Processor로는 TMS320F2812를 사용했으며, 주변 회로부의 기능은 다음과 같다.

- Analog Input : 아날로그의 디지털 신호 변환
- Analog Output : 각종 BOP 제어신호 출력
- Digital Input : 버튼 등 각종 접점 신호 입력
- Digital Output : On/Off 접점신호 출력
- 통신부 : 원격 제어 및 모니터링용

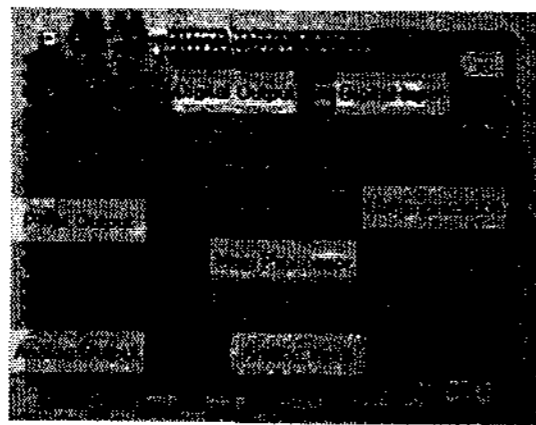


Fig 5. Control Board

상기의 제어기를 통하여 공랭식 시스템은 초기 구동, 운전, 정지 및 비상 정지를 수행하며, 각종 센서를 통해 시스템의 fault를 체크하여, 시스템 이상 시 안정적인 정지 절차를 가능하도록 설계하였다.

3. 시스템 개발

3.1 시스템 설계 및 개발 절차

적용된 스택이 낼 수 있는 최대 출력과 이용률 범위를 측정하였으며, 그 결과를 토대로 공기 공급장치를 연계하여 시험하였다. 스택의 이용률을 30%에서 40%로 높이게 되면 스택 출력이 약 15W 정도 감소되었으나, 공기 공급장치의 전력소모가 상대적으로 크기 때문에 이용률을 높이는 방향으로 운전 조건을 설정하였다. 또한 PCS 연

계 시험을 통해 전력변환기의 제어값에 따라 스택에 걸리는 부하를 측정하였으며 이를 통해 함수를 생성하였다(Fig 6).

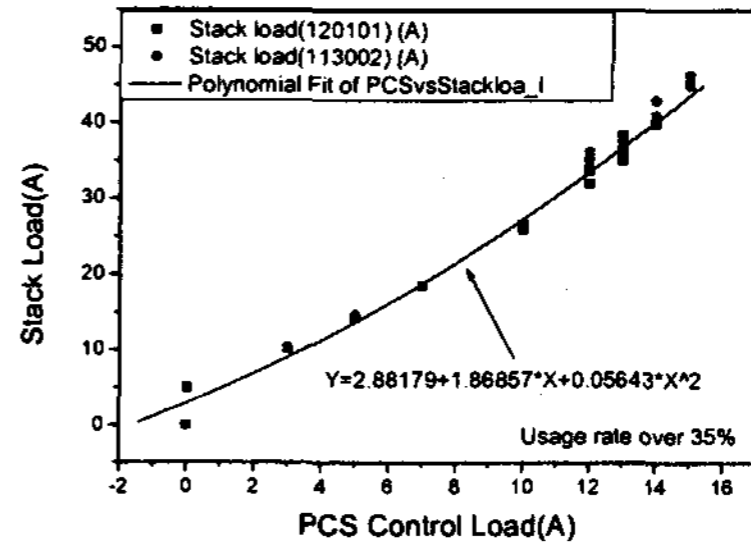


Fig 6. Stack load variation by PCS control value

3.2 시스템 구성

Fig 7은 시스템의 구성도로서 유량이나 압력, 온도, 부하 등을 계측하고 운전로직에 따라 냉각 팬이나 솔레노이드 밸브가 작동되게 된다. 스택의 출력선과 BOP 전원 공급선에 전류센서를 설치하여 스택에 걸리는 부하와 BOP가 소모하는 부하들을 각각 측정하였다.

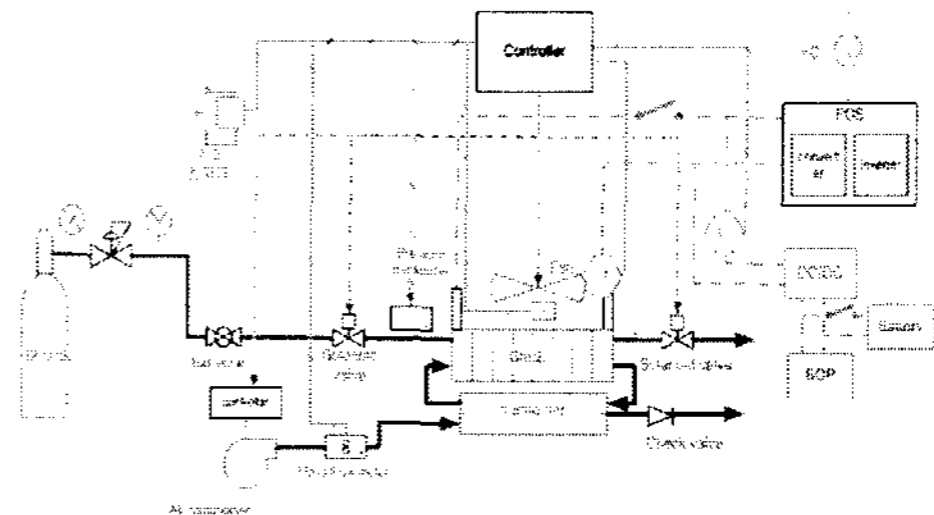


Fig 7. Schematic of the System

시스템의 전기적 연결은 스택의 DC 출력을 AC 전원으로 변환해 주는 PCS, 시스템 내부 BOP를 구동하기 위한 BOP 전원용 DC/DC 컨버터, 제어기 구동을 위한 제어전원용 DC/DC 컨버터로 구성된다. 또한, 초기 구동 시 시스템과 제어기에 전원을 공급하는 Battery가 있으며, 운전 시 BOP 전원용 DC/DC 컨버터를 통해 충전이 이루어진다.

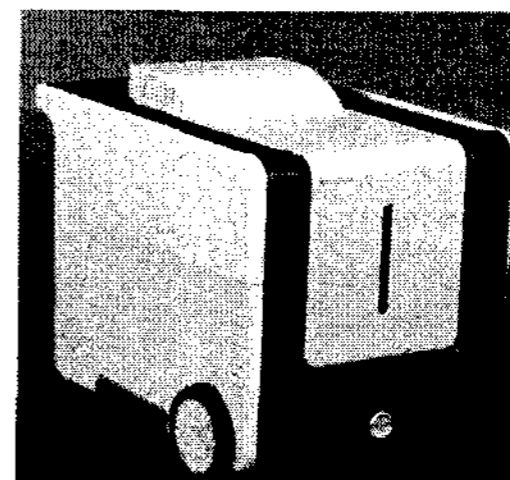


Fig 8. 1kW class grid-connected PEMFC system

4. 운전

4.1 시스템 퍼지

직접 수소를 적용하는 대부분의 시스템은 수소 이용률을 높이기 위해 수소 순환³⁾의 방법을 쓰거나 Dead End 운전 방식을 사용한다. Dead End 방식을 쓸 경우 Anode 내에 생성된 물이 제거되지 않아 셀 전압이 떨어지게 된다. 이를 위해 Andoe 출구 단에 퍼지 밸브를 달아 퍼지를 해주어야 한다. 현재 사용된 스택은 별도의 퍼지 셀이 없어 최저 셀 값이 설정 값보다 낮아지는 경우를 감지하여 퍼지 밸브가 작동되도록 하였다.

4.2 기동 및 정지

기동 절차의 경우, Fig 9와 같이 가스 누출과 수소 공급 압력을 검사하여 수소 농도가 높을 경우 시스템이 운전되지 않으며, 수소 공급압이 설정 압력보다 낮은 경우 수소탱크의 압력을 확인하도록 하여, 새로운 탱크로 교체하도록 하였다.

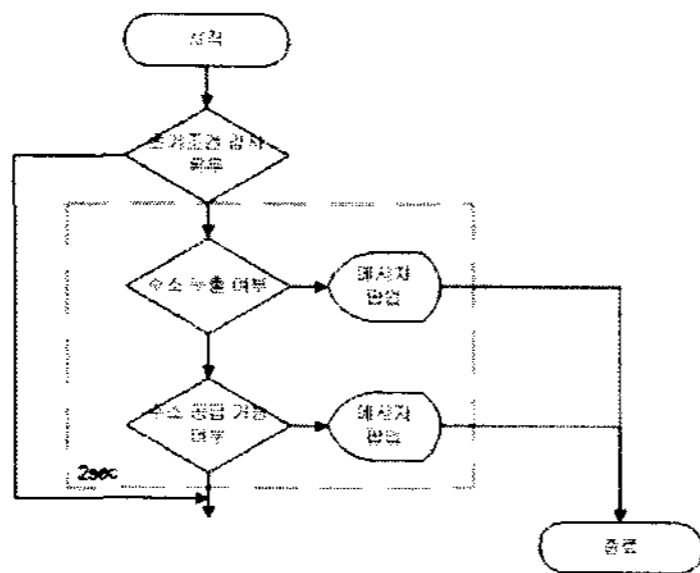


Fig 9. Start Procedure

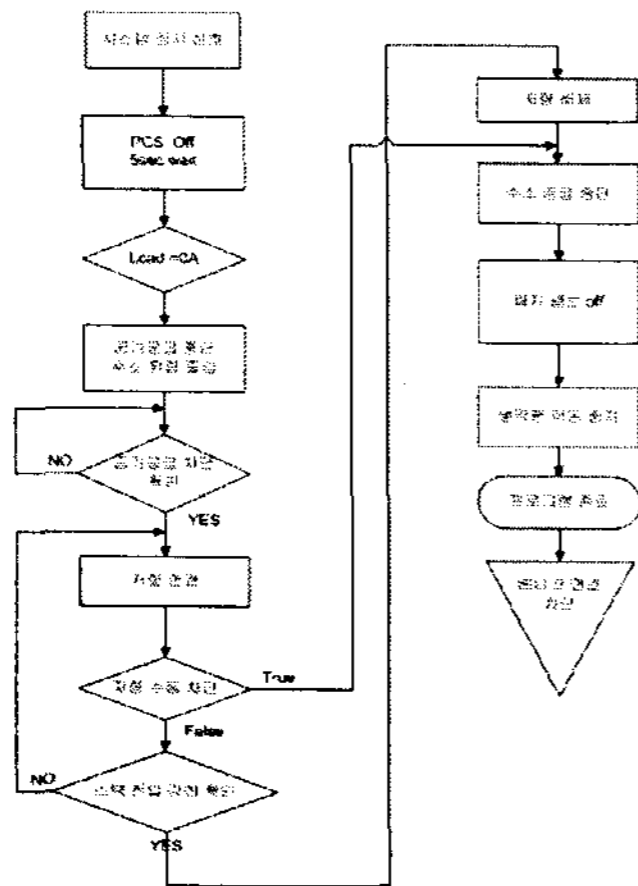


Fig 10. Stop Procedure

정지 절차는 Fig 10과 같이, 정지 신호가 들어오면 PCS 및 BOP용 DC/DC 컨버터의 연결이 끊으면 시스템의 제어 동력원은 Battery로 전환되면

서 스택은 OCV상태가 된다. 이 때 스택에 남아 있는 공기를 제거하기 위해 공기를 먼저 차단하고 저부하를 인가하여 스택의 기전력까지 제거되도록 하였다. 이때 스택을 보호하기 위해 계측 이상이나 작동 이상을 고려하여 수동으로 부하를 차단할 수 있도록 하였다.

4.3 연속 운전

Fig 11은 안정화된 상태에서의 1시간동안의 운전결과이다. 초기 공기 유량이 과도하게 들어간 것은 압축기의 운전에 의한 발열로 성능저하가 됨에 따라 유량이 줄었기 때문이며 시간이 지나면서 압축기도 안정화 되면서 일정 부하에서 스택 온도나 스택 전압이 안정적으로 유지되는 것을 볼 수 있었다. 현재 시스템은 BOP들의 문제로 PCS 출력은 700W이며, 스택 출력 956W, BOP 소모 전력은 총 생산 전력의 18%를 차지한다.

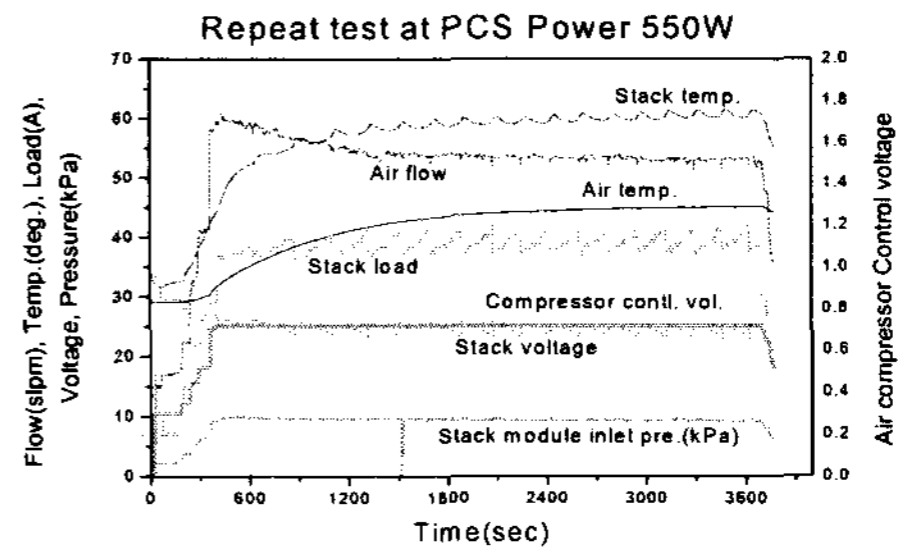


Fig 11. Continuous Test result of the system

5. 결론

본 연구에서 개발된 1kW급 계통연계형 연료전지 시스템은 다양한 조건에서의 스택 성능 실험 및 BOP 연계 시험을 통해 최적의 운전점을 도출할 수 있었으며, PID 운전제어 방법을 적용하여 시스템의 안정적인 운전 특성을 확보하였다. 향후 본 시스템을 계통연계용은 물론 독립전원용으로 사용하기 위해 전력변환장치를 설계중이며, 2007년 하반기에 시스템에 적용될 예정이다.

References

- [1] T. Susai, A. Kawakami, 2001, "Development of a 1 kW polymer electrolyte fuel cell Power source", Journal of Power Sources ;92,131-138
- [2] J.J.Hwang, D.Y. Wang, 2004, "Development of fuel-cell-powered electric bicycle", Journal of Power Sources ,133,223-228
- [3] F. Dunder, F. Barbir, H. Gorgun, 2005, " Designing PEM Fuel Cell for Portable Applications", Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2005