

연료에 따른 MCFC발전 실증연구

이 증규^{1)*}, 전 재호¹⁾, 박 규호²⁾, 최 두성³⁾, 박 재영³⁾

Demonstration of MCFC Power Plant on Fuels

JongGyu Lee, JaeHo Jun, KyuHo Park, DooSung Choi, JaeYoung Park

Key words : Molten Carbonate Fuel Cell(용융탄산염 연료전지), LNG(천연가스), ADG(혐기성소화가스), Demonstration(실증), Gas Purification(가스정제), Hydrogen Sulfide(황화수소), Siloxane(실록세인)

Abstract : Fuel cells are currently attracting tremendous interest because of their huge potential in stationary applications, in terms of substantiality of our energy use. They also offer environmental advantages, combining significantly higher efficiency with very much lower emission of SOx, NOx, and residual hydrocarbons, and significantly reduced CO₂ emissions compared to conventional power generation. The molten carbonate fuel cell (MCFC) was introduced from Fuel Cell Energy(FCE), which the one MCFC was operating by LNG and the other was operating by ADG.

The ADG contains normally CH₄, CO₂ and various impurities such as sulfur compounds and siloxanes. Using the ADG as a fuel, MCFC have the potential to provide significant environmental and economic benefits. However, such impurities would be harmful to fuel cells. In this work, a purification process for the ADG was designed and installed in order to utilize the gas as a fuel for MCFC.

1. 서론

신재생에너지는 지속 가능한 에너지 공급체계를 마련하기 위한 미래 에너지원으로 화석연료 사용에 따른 이산화탄소 발생이 없는 환경친화성, 주로 재생 가능한 비고갈성, 연구개발에 의해 확보가 가능한 기술주도형 자원 및 장기적으로 선행 투자와 정부지원이 필요한 공공성이 강한 미래에너지라는 특징을 가진다. 신재생에너지는 수소, 연료전지, 석탄액화가스, 태양열, 태양광, 바이오에너지, 풍력, 지열, 해양 및 폐기물 등이 포함된다.

신재생에너지중에서 연료전지는 연료의 화학적 에너지를 전기화학 반응을 통하여 직접 전기로 변환시키는 장치로서 화학적 반응 의해 전기를 발생시킨다는 점에서 배터리와 비슷하지만 연료전지는 반응물질인 수소와 산소를 외부로부터 공급받으므로 배터리와는 달리 충전이 필요 없고, 연료가 공급되는 한 전기를 계속 생산할 수 있다. 연료전지는 에너지 전환효율이 높고 연료의 연소반응 없이 에너지를 발생시키기 때문에 공해물질을 배출하지 않는 환경친화적인 고효율 발전방식이며, 배열을 이용한 열병합 발전으로의 활용성이 높기 때문에 연료전지가 가지는 장점은 매우 크다.

현재 연료전지는 천연가스를 연료전지의 연료로 사용하여 전기를 생산하고 있으나 천연가스 또한 매장량의 한계를 가지고 있어, 연료전지용 연료로 사용 가능한 에너지원에 대한 조사 및 연료의 특성에 대한 연구를 통해 연료 다변화를 위한 노력이 필요하다.

연료전지용 연료로 전환 가능한 공급원료들은 석탄, 원유 및 바이오매스(biomass) 등이 있고 이것들은 석탄 가스화 (coal gasification), 정유 (oil refining), 바이오매스 가스화(biomass gasification) 등의 전환기술을 통해 연료전지에서 사용할 수 있는 연료로 전환되며, 최종적으로 석탄가스(coal gas), 가솔린, 합성가스(syngas) 등이 연료전지의 연료로서 사용된다¹⁻³⁾. 다양한 연료전지용 연료들 중에서 천연가스, 탄광 메탄, 메탄올 및 소화가스(ADG: anaerobic digester gas) 등은 현재 적용성에 대한 실증단계에 있으며⁴⁻⁶⁾, 석탄 가스, 가솔린 및 매립 가스(LFG: landfill gas) 등은 개발단계에 있다.

본 연구에서는 천연가스(LNG)와 혐기성 소화가스(ADG)를 연료로 한 용융탄산염 연료전지의 특성 및 혐기성소화가스를 연료로 하기 위한 연료전처리 공정에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 실증 연료전지 개요

2.1 실증 1호기

- 연료전지; 미국 FuelCell Energy(FCE) DFC300A
- 설치장소; 포항산업과학연구원(RIST) 연료전지 실험동
- 가동년월; 2005년 1월
- 사용연료; 천연가스(LNG)

2.2 실증 2호기

- 연료전지; 미국 FuelCell Energy(FCE) DFC300A
- 설치장소; 서울 탄천물재생센터
- 가동년월; 2006년 3월
- 사용연료; 혐기성 소화가스(ADG)



<실증1호기>

<실증2호기>

3. 결과 및 고찰

3.1 연료별 특성

용융탄산염 연료전지에 공급되는 연료로는 천연가스(LNG)와 하수처리장에서 하수슬러지의 혐기성소화반응에 의하여 발생하는 소화가스(ADG)를 공급하였다.

Table 1에서 보는 바와 같이 LNG와 ADG는 메탄을 주성분으로 하고 있어 연료전지용 연료로서 적합하다는 것을 알 수가 있다.

Table 1. 연료별 특성

	LNG	ADG
CH4(v%)	90	65
CO2(v%)	-	35
etc	10	-
LHV(BTU/Nm3)	37842	20938

3.2 실증1호기 운전결과

Fig.1.에서는 연료전지에서의 발생전력과 BOP에서의 사용전력을 보여주고 있다. MCFC의 발생전력은 250kW로 일정하게 유지되고 있으며, BOP에 공급되는 전력은 평균적으로 23kW이다. 여기서 언급하는 BOP는 연료전지 스택이외에 Recyle Blower 등과 같은 구동용 장치에 소요되는 전력을 말한다.

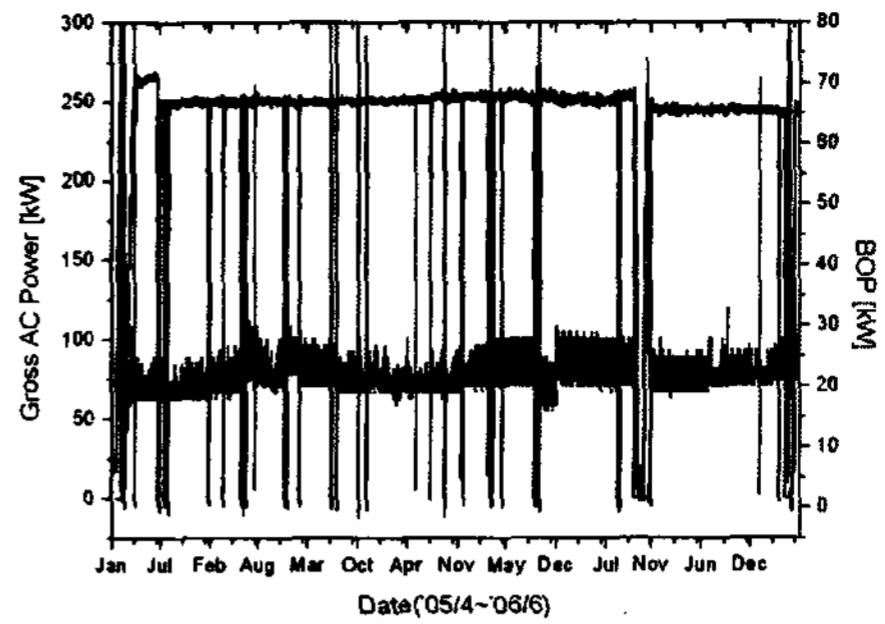


Fig. 1 MCFC generated Power

Fig.2.에서는 2005년 4월부터 2006년 10월까지 용융탄산염 연료전지의 전기효율 변화를 보여주고 있다.

전기효율(n_{el})은 다음 식을 이용하여 계산하였다

$$n_{el} = \frac{P_n}{Q_R} = \frac{(P_{FC} - P_{BOP})}{Q_R}$$

여기서 P_{FC} 는 연료전지의 발생전력(Power)이고, P_{BOP} 는 BOP(Balance of Plant)에서 소모되는 전력을 말하며, Q_R 은 연료전지에 공급되는 연료의 에너지를 말한다.

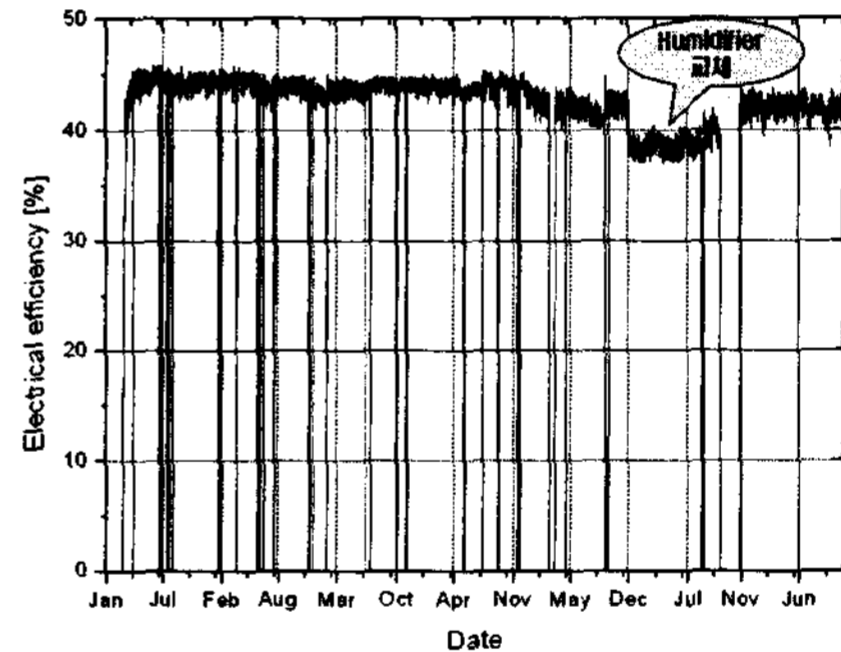


Fig. 2 Electrical Efficiency of MCFC

LNG을 연료로 한 MCFC의 전기효율은 평균적으로 45%을 보여주고 있다.

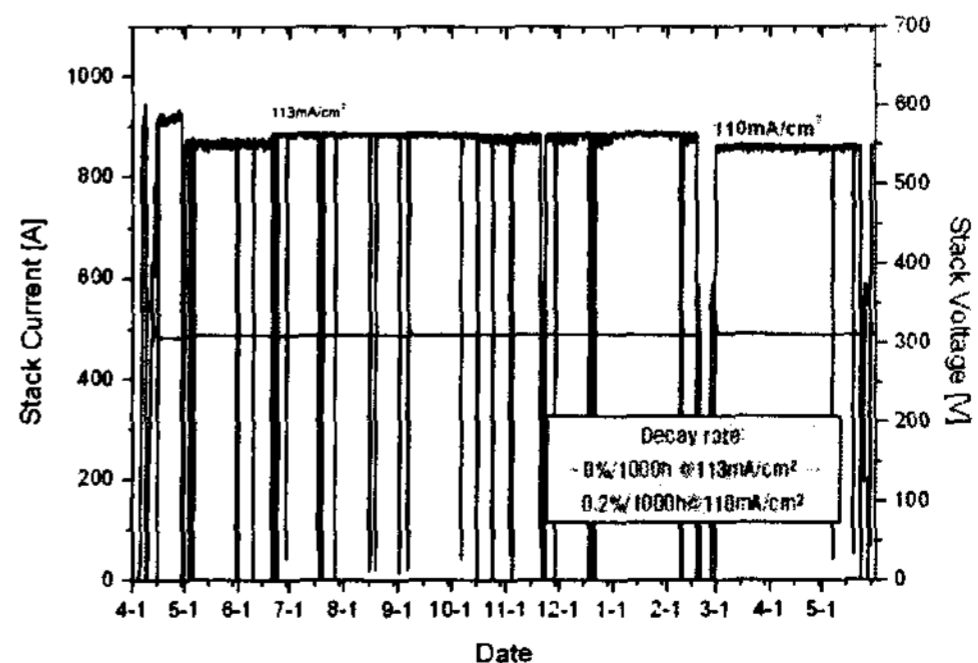


Fig. 3 Stack Current and Voltage of MCFC

Fig.3에서는 연료전지의 스택 전류와 스택 전압을 보여주고 있다. 연료전지 초기의 전류밀도는 113mA/cm²이었으며, 1000시간이 지나는 시점에서 110mA/cm²로 저하되었다. 이는 연료전지 공급사에 의하면 연료전지 스택의 전류밀도는 1000시간 이후에는 0.2%저하된다고 한다.

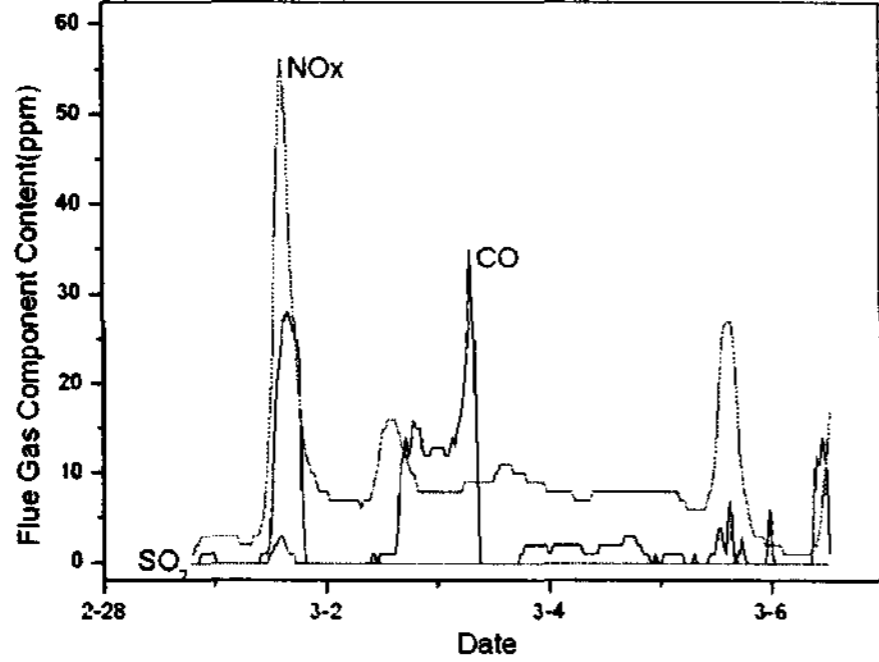


Fig.4. Flue Gas Component

Fig.4.에서는 MCFC에서 발생하는 배가스 성분을 보여주고 있다. 배가스중 SO₂와 CO는 거의 발생하지 않고 있으며, NO_x는 평균적으로 10ppm이하로 함유하고 있다.

3.3 실증2호기 운전결과

3.3.1 ADG성분분석결과

하수처리장의 하수처리과정에서 발생하는 하수 오니가 소화조에 투입되어 발효되는 과정에서 소화가스가 발생하게 되며, 이때 소화조의 온도는 36-38°C인 중온소화공정이다.

Fig.5,에서는 ADG중 구성성분인 메탄과 이산화탄소의 함량변화를 보여주고 있다. 메탄은 평균적으로 65%이고, 이산화탄소는 35%를 함유하고 있다.

ADG중에는 연료전지용 연료성분인 메탄이외에도 H₂S 및 siloxane을 함유하고 있으며, Fig.6에서 일년동안 ADG중 H₂S 및 Siloxane함량변화를 보여주고 있다.

ADG중 H₂S 및 Siloxane함량은 하수처리장에 유

입되는 유입수질의 성상으로 인한 하수슬러지 성상변화로 인하여 함량변화를 유발하게 된다.

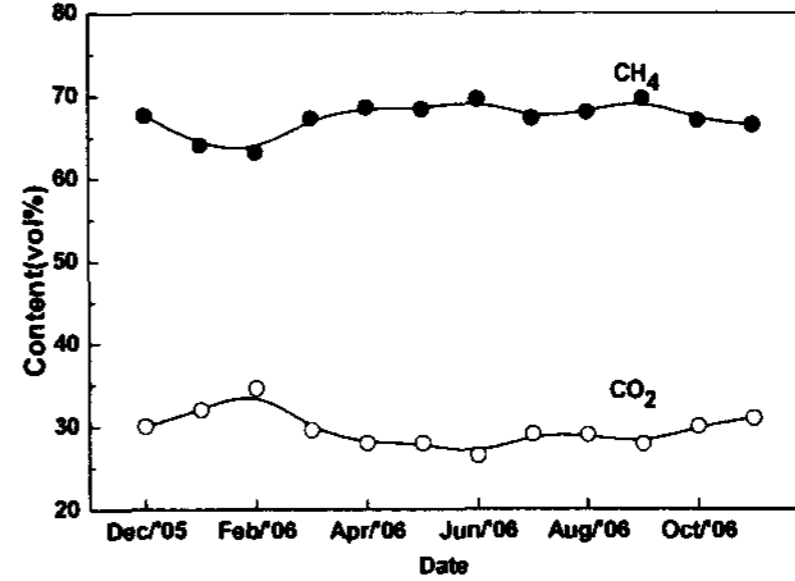


Fig. 5. Methane Content in ADG

이와 같이 ADG중에 함유된 H₂S 및 Siloxane을 제거하기 위한 가스정제공정을 설치 및 운전하여 청정한 소화가스를 연료전지에 공급하였다.

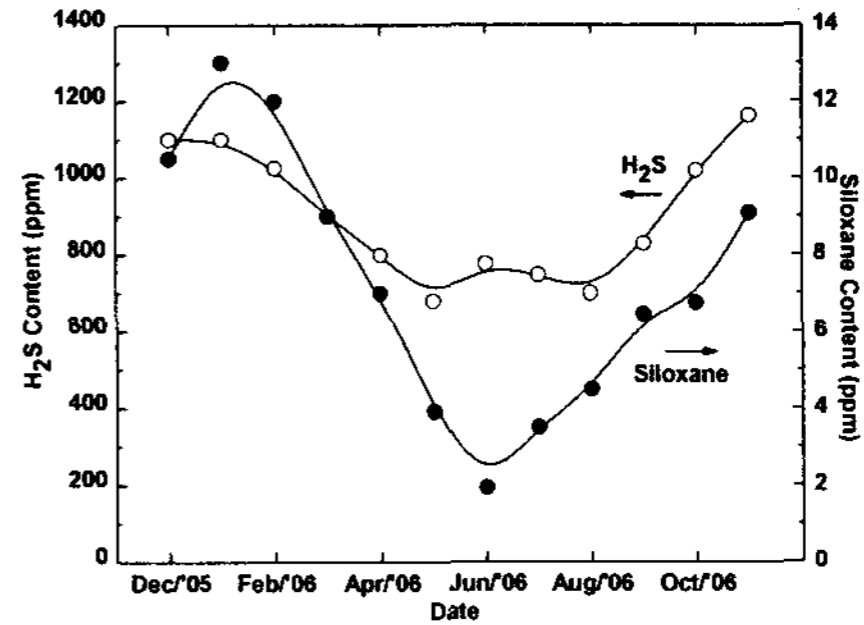


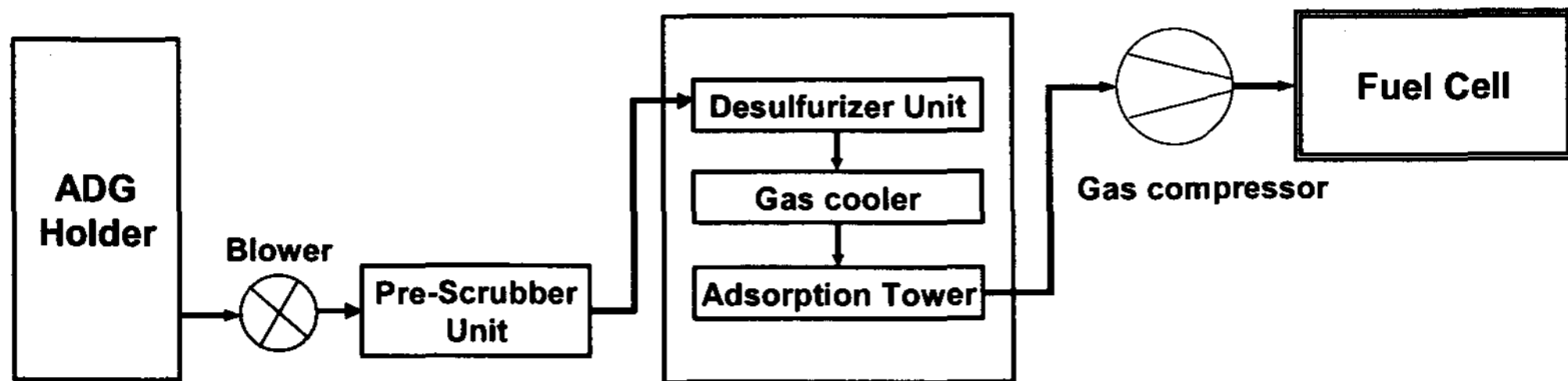
Fig.6. H₂S & Siloxane Content in ADG

Fig. 7은 ADG중 H₂S 및 Siloxane을 제거하는 가스정제공정도를 보여주고 있다.

가스정제공정은 H₂S를 제거하는 탈황탑과 Siloxane을 제거하는 흡착탑으로 구성되어 있다.

Fig.8에서는 ADG를 연료로 한 MCFC의 발생전력 및 BOP에서의 공급전력을 보여주고 있다.

BOP에 공급되는 전력이 사용되는 기기는 ADG를 연료전지에 공급하는 가스컴프레샤, ADG정제장치등이 있다.



(b)

Fig.7. Biogas Purification Process

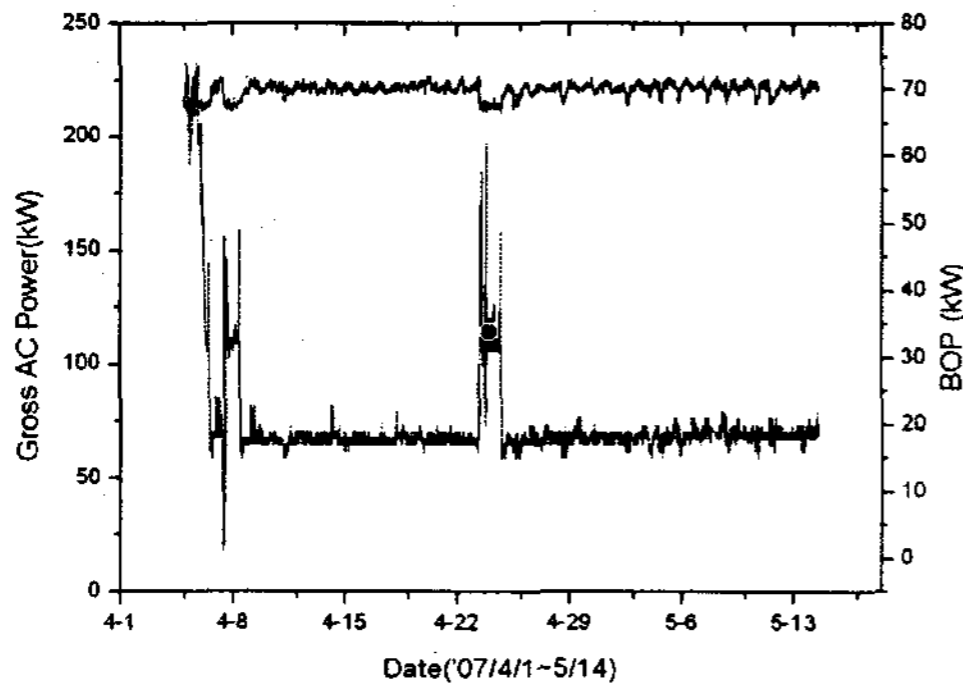


Fig.8. Power of MCFC by fueling ADG

Fig.8.은 ADG를 연료로 한 MCFC에서 발생전력은 230kW이며, BOP에 공급되는 전력은 20kW이다.

Fig.9에서는 ADG를 연료로한 연료전지의 가동 초기부터 현재까지의 운전현황을 보여주고 있다.

LNG를 연료로 한 연료전지는 청정한 LNG를 공급함으로 연료공급에 문제가 발생하지 않지만, ADG는 H₂S 및 siloxane 등 불순물을 포함하고 있어 가스정제공정과 연료전지에 ADG를 공급하는 가스컴프레셔 등 주변설비를 갖추고 있어 복잡한 연료공급장치를 가지고 있다.

이와 같은 ADG연료공급장치의 안정적인 운전이 연료전지의 가동에 큰 영향을 미치고 있다.

국내에서는 처음으로 연료전지의 연료로서 하수처리장의 소화가스(ADG)를 공급하였지만, 연료가격측면에서 LNG보다 아주 저렴한 재생에너지인 소화가스의 확대적용을 위해서는 안정적인 연료공급장치에 대한 기술확보가 필요하다고 사료된다.

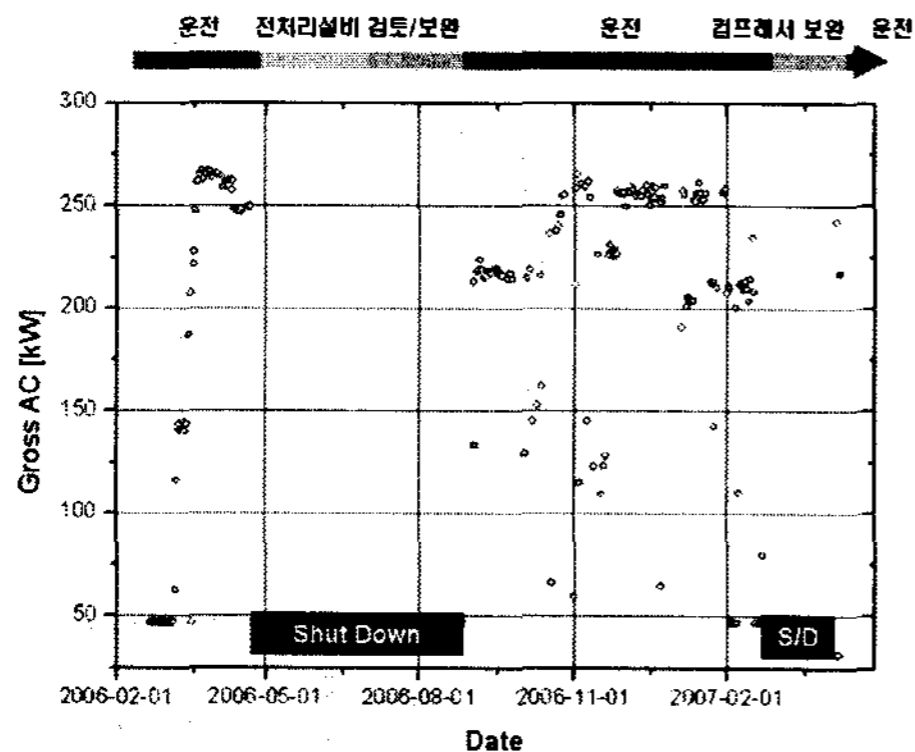


Fig.9. Operation status of MCFC by ADG

4. 결론

천연가스(LNG)와 재생에너지인 소화가스(ADG)를 연료로 한 용융탄산염 연료전지(MCFC)를 설치 및 운전한 결과 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1) LNG를 연료로 한 MCFC에서는 250kW의 전력을 생산할 수 있었으며, 전기효율은 45%이었다.

또한, MCFC의 스택의 전류밀도는 113mA/cm²이었지만, 1000시간 가동후에는 110mA/cm²로 감소하였다.

2) 연료전지에서 배출되는 배가스중에는 SO₂와 CO가 거의 포함되어 있지 않았으며, NO_x는 10ppm이하를 유지하고 있어 친환경적인 발전시스템이다.

3) 국내에서는 처음으로 ADG를 연료로 공급하기 위한 가스정제공정 및 가스컴프레셔로 구성된 연료공급장치를 개발하여 연료전지에서 230kW의 전력을 생산할 수가 있었다.

References

- 1) W.Masahiro, "The implementation of MCFC power generation stations utilizing gasified coal as fuel" 電力技術研究所 技術開發ニュース, 2002; 95, 21-22.
- 2) K.Dorning, "Natural- and biogas: basic energy source for stationary fuel cells" 3rd BFC NET Workshop, Austria, 2005..
- 3) N.Lymeropoulos, "Fuel cells and their application in bio-energy", EESD Contact No.NNE5-PTA-2002-003/1, 2005, February.
- 4) K.Stahl, "5 years operation of a PC52C fuel cell on Anaerobic digester gas", 2005 Fuel Cell Seminar, Palm Springs.
- 5) M.Krumbeck, T.Klinge and B.DÖding, "First European fuel cell installation with anaerobic digester gas in a molten carbonate fuel cell" J.Power Sources, 2006;157, 902-905.
- 6) R.J.Spiegel and J.L.Preston, "Technical assessment of fuel cell operation on anaerobic digester gas at the Yonkers, NY, wastewater treatment plant" Waste Management, 2003; 23, 709-717.