

50kW 인산형 연료전지 발전 시스템 개발 Development of 50kW PAFC Power Generation System

양재춘, 서성현, 박영수, 서형석, 이희중
LG-Caltex 정유 Value Creation Center

1. 서론

인산형 연료전지(PAFC)는 다른 연료전지에 비하여 기술적으로 가장 성숙되어있는 연료전지 시스템으로서 일부 선진국에서는 기술개발을 완료하고 market-ready 상태에 있는 연료전지 시스템이다. 최근의 인산형 연료전지 시스템에 관한 연구 개발은 인산형 연료전지 시스템의 실증시험을 통한 신뢰성 검증과 PAFC 발전 시스템에서 발생하는 배열을 이용한 고효율 cogeneration system 개발등이 진행중이며 바이오가스 및 매립지 가스등의 활용을 통한 operating cost 감소를 위한 연구개발이 이루어지고 있다.[1-2]

LG-Caltex 정유는 1989년부터 인산형 연료전지 개발에 참여하여 공냉식 40kW 스택개발 (1994), 수냉식 50kW 스택개발 (1999)을 성공적으로 수행하였으며, 2000년부터 2002년까지 50kW 인산형 연료전지 시스템 개발 사업을 추진중이다.[3]

본고에서는 현재 수행중인 50kW급 인산형 연료전지 시스템 개발 사업의 주요 연구 개발 status 및 연구결과, 연구개발의 활용도를 제시하고 향후 개발 전략을 제시하고자 한다.

2. 실험 결과 및 고찰

2-1. 50kW PAFC 발전 시스템 개요

LG-Caltex 정유에서 제작한 50kW 인산형 연료전지 시스템의 PFD (process flow diagram)는 그림 1과 같다. 본 시스템은 크게 개질기, 스택, 인버터, 그리고 스택에서 발생하는 열을 recovery할 수 있는 heat recovery system등으로 구성되어 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 연료인 천연가스는 탈황 시스템을 거친 후 개질기측으로 steam과 같이 도입되며 개질기에서 발생한 수소는 스택에 공급된 후 개질기의 연료로 사용될 수 있도록 recycle된다. 또한 발전과정에서 스택에서 발생한 열은 heat recovery system을 통해 회수되어 개질기측의 steam과 온수발생에 활용될 수 있게 설계되었다. 본 시스템의 전체적인 dimension은 폭 5000mm 가로 3500mm 높이 2500mm로서 추후 package type으로 제작이 가능하고 maintenance 및 운전이 용이하도록 기기들과 unit들을 배열하여 설계 제작하였다(그림 2).

그림 2에서 볼 수 있듯이 50kW PAFC 시스템은 H-beam위에 스택, 개질기 및 인버터, heat recovery 시스템등이 모두 설치될 수 있게 시스템을 구성하였으며 시스템을 정면에서 봤을 때 우측에 개질기, 중앙에 스택, 좌측에 인버터 및 control panel이 올 수 있게 설계 제작하였다. 또한 시스템의 뒷면에 heat recovery system 및 탈황 시설, water supply system

등이 설치되었다.

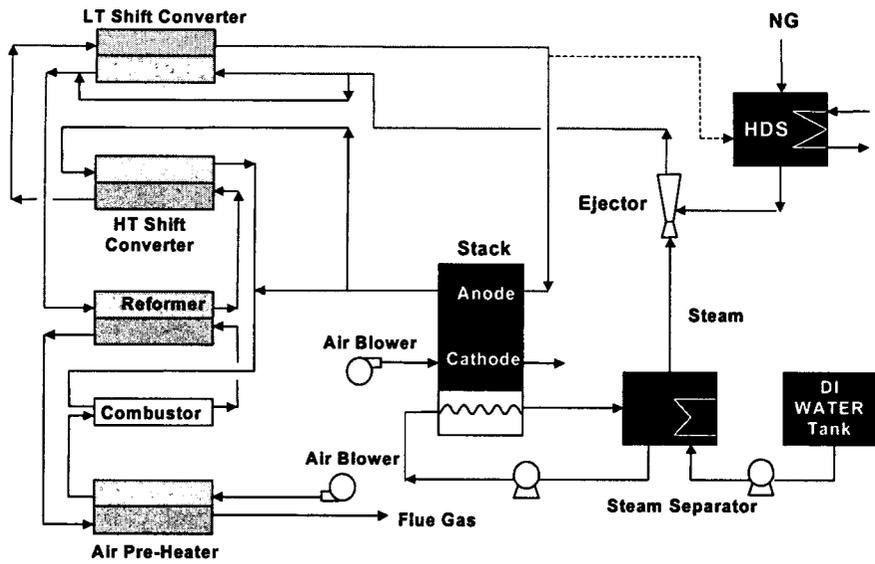


그림 1. 인산형 50kW 발전시스템 PFD(Process Flow Diagram)

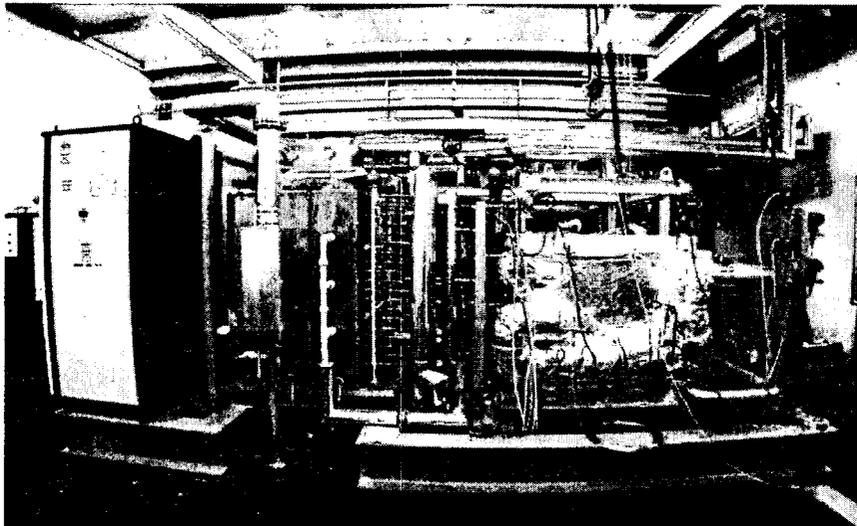


그림 2. 인산형 50kW 발전 시스템 사진

2-2. 50kW 개질기 제작 및 운전결과

50kW급 인산형 연료전지 발전 시스템을 구성하는 구성요소 가운데 개질기는 스택에 수소를 공급하는 장치로서 본 시스템에서는 천연가스를 연료로 사용하였으며 평판형 개질기 (plate type)를 제작 설치하였다. 평판형 개질기는 기존의 원통형(tubular type) 개질기에 비하여 compact한 개질기를 제작할 수 있으며 plate의 면적 및 적층수에 따라 개질기의 수소 발생량을 조절할 수 있다는 장점이 있다. 또한 평판형 개질기에서는 개질기(reformer)이외에 HTSC (high temperature shift reactor) 및 LTSC (low temperature shift reactor) 모두 평판형 타입으로 제작하였다. 또한 발생된 개질기의 CO clean-up을 위하여 assist shift reactor도 추가 설치하여 CO 농도 조절을 하였다. 연료인 도시가스중에 포함된 THT 및 TBT와 같은 황화합물들의 제거를 위하여 HDS (hydrodesulfurization) 반응기 및 ZnO 반응기를 설치하여 황화합물을 제거하였다. 본 50kW 시스템에서는 개질기 및 탈황 시스템의 heat supply를 위하여 연소촉매(combustion catalyst)를 이용하여 개질 반응기 및 shift reactor, 탈황 반응기의 온도를 조절하였다.

그림 3은 개질기의 start-up에 따른 reformer의 온도 profile을 시간대별로 나타낸 데이터이다.

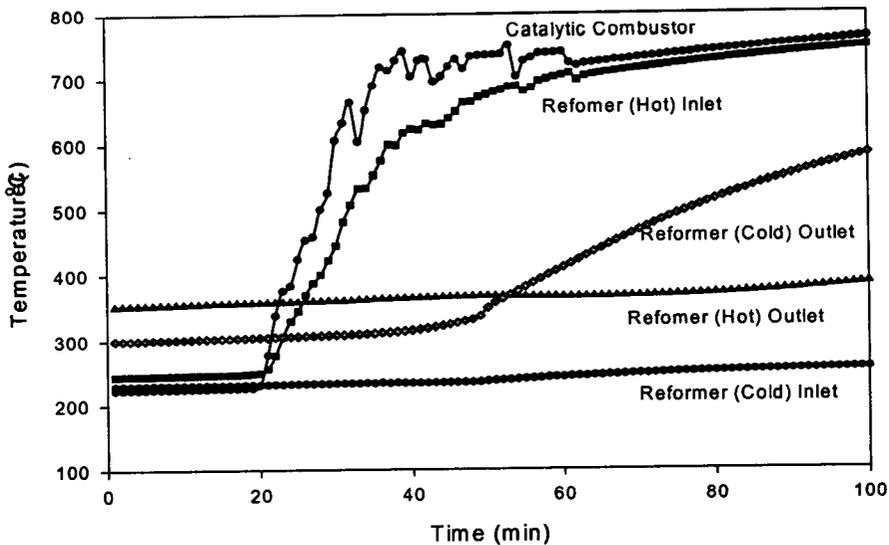


그림 3. 개질기의 start-up에 따른 온도 Profile

그림 3에서 볼 수 있듯이 개질기의 온도 상승을 위하여 연소촉매를 약 750°C까지 상승시

키는데 30분 정도의 시간이 소요되며 750°C 근방에서 연소촉매의 안정적인 운전에는 약 1시간 정도의 시간이 소요되는 것을 알 수 있다. 또한 연소촉매의 온도 상승에 따라 개질기의 출구 (reformer cold outlet)도 따라서 같이 증가하게 되는 것을 알 수 있다. 수소 생산을 위한 개질 반응은 개질기의 출구 온도(reformer cold outlet)가 600°C 이상이 되었을 경우에 진행하였으며 개질 반응기 및 shift reactor 후단에서 reformed gas의 분석을 통해 설계시의 heat balance와의 차이 및 전환을 및 연료 이용률등을 계산/측정할 수 있었다.

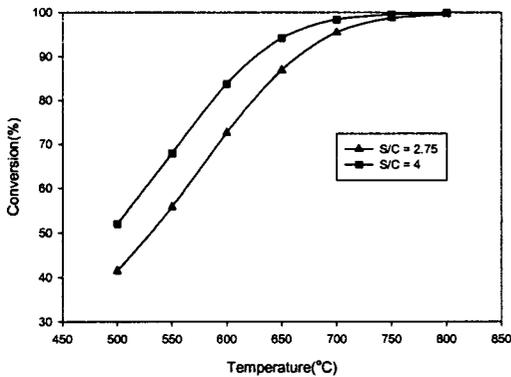


그림 4. 반응온도에 따른 전환율

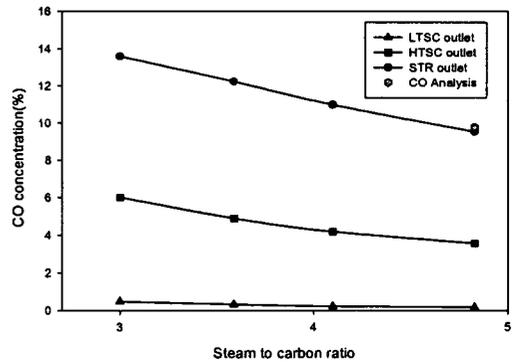


그림 5. S/C ratio에 따른 CO 농도

그림 4는 반응온도에 따른 LNG의 전환율 데이터로서 반응온도 및 S/C ratio가 증가함에 따라 전환율이 증가하는 것을 알 수 있다. 본 개질기에서는 개질 반응기 출구 온도를 650°C 이상으로 유지하여 개질반응기의 전환율을 90% 이상 얻을 수 있었으며, steam to carbon ratio를 개질기의 안정적 운전을 위하여 3.3 이상 유지될 수 있게 feed를 공급하여 개질 촉매상에서의 carbon deposition 및 개질 반응기 내에서의 pressure drop 증가를 방지하였다. 그림 5는 S/C ratio에 따른 CO 농도 결과이다. 본 데이터에서 볼 수 있듯이 S/C ratio를 증가시키면 따라 CO 농도는 감소되는 결과를 얻었으며 이는 평형계산 결과와도 일치하는 경향을 얻었다. 또한 CO 농도는 LTSC (low temperature shift reactor) 후단에서 측정할 경우 대략 0.3 - 0.2% (dry base)의 CO 농도를 측정할 수 있었다. 이러한 gas 조성은 PAFC 스택과 연계하였을 경우 PAFC anode 및 cathode 촉매에 피독을 가져올 수 있는 CO 농도 (1- 0.6%) 보다 낮은 CO 조성으로서, 인산형 스택과의 연계에 있어서도 스택의 성능 감소를 유발하지 않을 정도의 CO 농도였다. 본 개질기에서는 CO 농도 조절을 위하여 LTSC 후단에 assist shift reactor를 설치하였으며 이 반응기를 통과시킬 경우 0.2% 이하의 CO 조성을 얻을 수 있었다.

2-3. 50kWPAFC 스택의 제작 및 운전 결과

본 시스템에서 제작된 50kW PAFC 스택은 108단의 단위전지를 스택킹하여 제작하였다. 전극 크기는 가로 650mm 세로 650mm로서 전극 면적이 4225cm²인 전극을 스택제작에 사용하였다. 스택의 냉각방식은 수냉식으로서 19단의 cooling plate가 스택에 삽입되어 스택의 온도조절과 스택에서 발생한 50kW의 열을 회수하는데 활용되었다. 그림 6은 50kW 스택의 I-V plot으로서 스택의 운전을 위하여 연료로는 수소 산화제로는 공기를 사용하였다.

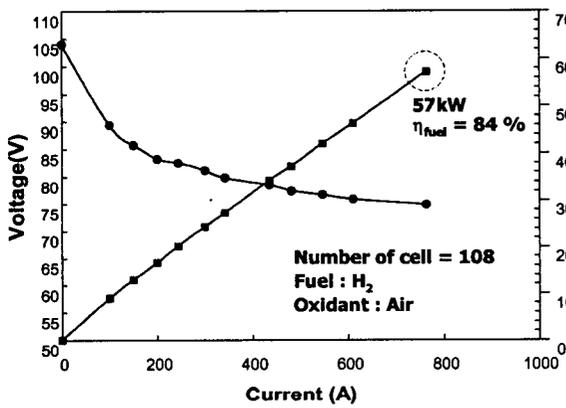


그림 6. 50kW 스택의 I-V Plot

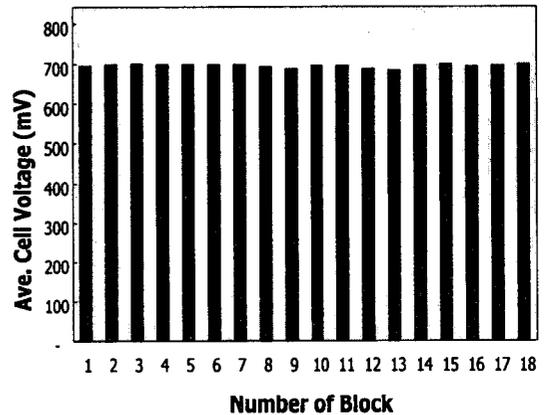


그림 7. 50kW 스택의 전압 분포

그림 6에서 볼 수 있듯이 50kW 스택 운전시 75V, 762A에서 약 57kW를 얻을 수 있었다. 이때 각 단위전지 cell의 평균 voltage는 0.695V였으며 57kW 발전시 84%의 연료 이용율을 얻을 수 있었다. 그림 7에서 볼 수 있는 것과 같이 57kW 운전시 각 단의 전압분포는 균일 하였으며 스택 위치에 따라 전압 분포의 차이가 거의 없는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 50kW스택 내에서 가스의 분포 및 반응열 제거가 균일하게 이루어지고 있음을 나타낸다.

3. 결론 및 향후 계획

본 연구를 통하여 50kW 인산형 연료전지 발전 시스템의 구성 요소 제작 및 운전과 시스템 개발을 이룰 수 있었다. 현재 진행 상황은 개질기 및 스택의 단독 운전이 이루어 졌으며 개질기, 스택 및 인버터를 연계한 운전을 앞두고 있다. 또한 시스템 자동화 및 무인 운전을 위한 데이터 수집 및 자동화 운전 시스템 제작과 PAFC 발전 시스템의 효율 향상을 위한 열회수/열병합 시스템의 설계/제작을 진행중이다. 이를 통하여 50kW급 인산형 연료전지 발전시스템의 상용화 model 개발을 이룰 수 있을 것으로 예상하며 On-site형의 PAFC prototype의 발전 시스템 제작 국산화 기술을 보유할 수 있으리라 생각된다. 또한 제작된 50kW PAFC 발전 시스템의 실증 시험 및 성능 평가 시험을 통한 시스템의 안정성 및 장기

운전 평가를 기획하고 있으며 이를 통한 PAFC 발전 시스템의 수요 확대 및 보급을 진행할 예정이다.

4. 참고 문헌

- (1) Hiroshi Asai, 인산형 연료전지의 고효율 이용사례, 제8회 연료전지 심포지움 논문집 (2001) 133p, Tokyo.
- (2) Noriko Kawakami, Yozo Ito, Masanori Yabuki, 연료전지를 활용한 고품질 전원의 응용 기술의 개발, 제8회 연료전지 심포지움 논문집 (2001) 165p, Tokyo.
- (3) J.C. Yang, Y.S. Park, S. H. Seo, H. J. Lee, and J.S. Noh, J. of Power Sources, 106 (2002) 68.