

10kW 인산형 연료전지 발전 시스템을 위한 컴포넌트 개발 Development of Components for 10kW PAFC Power Generation System

서성현, 양재춘, 최명천, 권상대, 이희종

LG-Caltex 정유 Value Creation Center

1. 서론

기존의 에너지 전환 방식에 비하여 연료전지 발전 시스템은 고출력의 발전 시스템으로서 연료로 천연가스, 나프타, 메탄올 등 탄화수소계열의 다양한 연료를 사용할 수 있으며 전기화학적 반응에 의하여 전기를 생산하는 방법이므로 공해물질의 배출이 낮다는 점에서 그 중요성이 커지고 있다. 이러한 연료전지 발전시스템 가운데에서 인산형 연료전지(PAFC)는 다른 연료전지에 비해 기술적으로 가장 성숙되어 미국, 일본과 같은 선진국에서는 상용화를 앞두고 있는 시스템이다.[1]

LG-Caltex 정유는 1989 년부터 인산형 연료전지 개발에 참여하여 50kW 수냉식 스택, 여러 개의 10kW 급 Sub-Stack 및 리포머를 개발하였다. 이러한 경험을 바탕으로 2002 년 현재 50kW 인산형 연료전지 시스템 개발 사업을 진행 중에 있다.[2]

본고에서는 스택 및 개질기 등과 같은 10kW 급 인산형 연료전지 발전시스템 개발을 위하여 필요한 구성요소들을 국내 기술로 제작 하여 운전한 연구결과와 향후 연구개발의 활용도를 제시하고자 한다.

2. 주요 연구결과

10kW 급 인산형 연료전지 발전 시스템은 그림 1 의 Process Flow Diagram(PFD)에 서와 같이 크게 개질기, 스택 및 열회수 장치로 구성되어 있다. 10kW 급 인산형 발전 시스템에서 연료 공급 프로세스는 탈황기(HDS), 개질 반응이 일어나는 리포머(STR), 개질가스 중의 CO 를 제거하는 High Temperature Shift Reactor(HTS)와 Low Temperature Shift Reactor(LTS)로 구성되어 있다. STR 에서 Steam Reforming Reaction 에 의해 발생 된 개질 가스는 High Temperature 및 Low Temperature CO Shift Reactor 를 거치게 되면서 CO 농도는 0.5%이하로 낮춰지게 된다.

이때 최종적으로 발생한 수소는 Condenser 를 통과하면서 개질 수소 내의 수분을 제거하여 스택의 Anode 로 공급되도록 시스템을 구성하였다

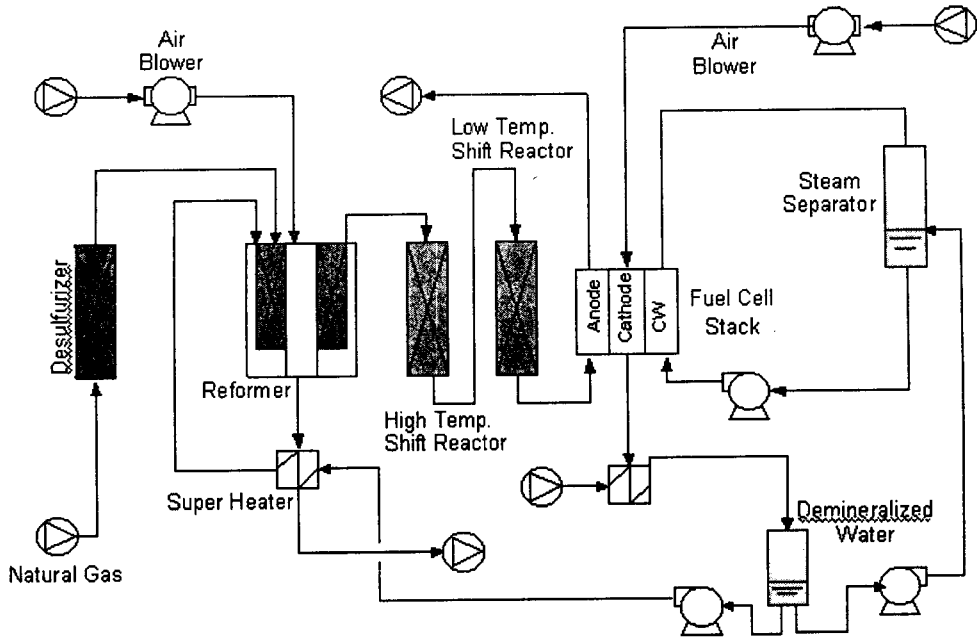


그림 1. 10kW Pilot System 의 PFD

10kW 급 연료전지 발전 시스템은 PLC 를 사용하여 시스템을 제어할 수 있도록 설계 하였으며, 이 때 사용된 Software 는 화학 공정 제어에 많이 이용되는 FIX 7.0 (Intellution 사) 프로그램이다.

2.1. 10kW 급 Stack

10kW 스택은 전극면적이 650mmX650mm (유효면적 3600cm²)로서 Anode 에는 10% Pt 촉매를 사용하였으며 Cathode 에는 20% alloy 촉매를 사용하였다. 스택 운전 시 발생하는 열을 제거하기 위하여 Water Cooling (Serpentine type)방식을 이용하였다.

10kW 스택의 적층단수는 18 단이고 스택의 온도 조절과 열회수를 위하여 4 단의 cooling plate 를 설치하였다. 스택의 보온을 위하여 설치한 단열재를 포함한 스택의 Size 는 900mm X 900mm X 500mm 이다.(그림 2)

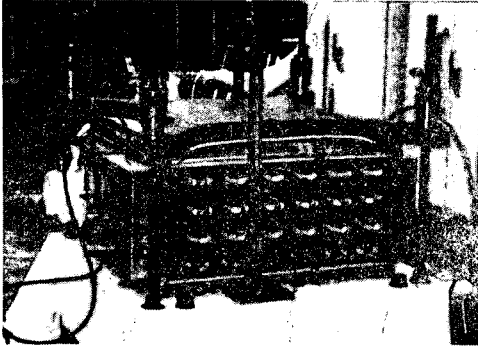


그림 2. 10kW Stack 사진

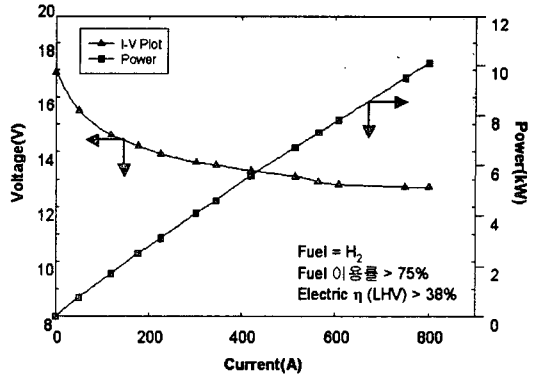


그림 3. 10kW Stack 의 성능곡선

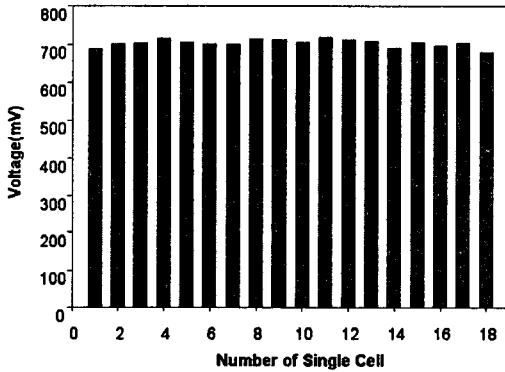


그림 4. 10kW Stack 의 전압 분포

그림 3 과 그림 4 에 순수 수소를 사용하여 10kW 출력 시 스택의 성능 곡선 및 전압 분포를 각각 나타내었다. 스택은 단위 전지 기준으로 0.7 V 에서 222mA/cm² 의 성능을 보여주고 있으며, 각 단에서 매우 안정적인 전압 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

2.2 제 2 호기 Reformer (10Nm³/hr 급) 개발

2001 년 제 1 호기 Reformer (10Nm³/hr 급) 제작 경험을 바탕으로 2002 년 동급의 제 2 호기 Reformer 를 개발하였다. 제 1 호기와 비교하여 제 2 호기에서 개선된 사항 중 가장 주목할 만한 점은 Size 라 할 수 있다. 제 2 호기의 Size 는 1000mm X 1500mm X 1600mm 로서 기존 제 1 호기 Size 와 비교하여 약 40%이하로 소형화 되었다. Reformer 사진을 그림 5 에 나타내었다.

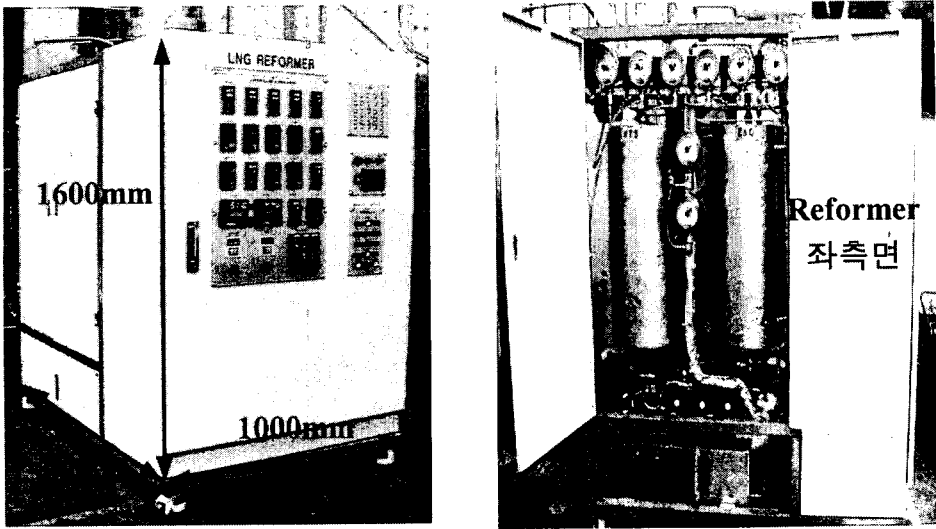


그림 5. 제 2 호기 리포머 및 내부 반응기들

그림 6 은 상온 상태의 리포머를 적정 운전 상태 까지 승온 시키는 그래프를 보여주고 있다. 제 2 호기의 운전 결과 각 반응기들의 온도가 비교적 안정적으로 상승하고 있음을 알 수 있었으며, 상온의 각 반응기들을 적정 운전 온도 까지 상승시키고 안정적인 수소 생산을 위해 필요한 최소 냉간 구동시간은 약 4 시간정도 소요되는 것을 알 수 있었다.

제 2 호기 리포머를 정상적으로 운전하는 동안 각 반응기에서의 H₂ 및 CO 의 조성을 측정하였다. 이때, 사용한 측정 장치는 Fuji Electronic 社의 ZRH Infrared gas analyzer 를 사용하였으며, 측정 결과는 표 1 에 정리하였다. 표 1 에서 보면 알 수 있듯이 각 부하에 따른 H₂ 와 CO 의 조성은 거의 일정 하였으며, CO 의 조성이 0.5% 이하로 인산형 연료전지에 사용하기에 적합한 것으로 사료된다.

표 1. 부하에 따른 각 반응기에서의 H₂, CO 조성 (Dry 기준)

LOAD (%)	S/C	STR Temp.(°C)	STR OUT		HTS OUT		LTS OUT	
			H ₂ (%)	CO(%)	H ₂ (%)	CO(%)	H ₂ (%)	CO(%)
50	3	600	78	10 이상	78	2.96	78	0.25
75	3	600	78.5	10 이상	78.5	2.94	78.5	0.3
100	3	600	77.5	10 이상	77.5	2.75	77.5	0.27

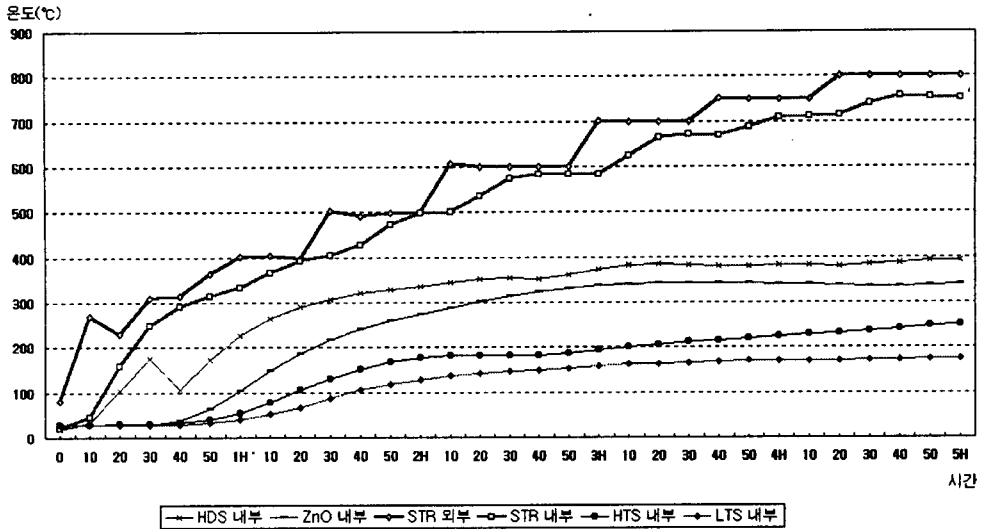


그림 6. 시간에 따른 제 2 호기 리포머 온도 상승 그래프

2.3 연계 운전

제 2 호기 리포머를 통하여 생산된 수소를 스택에 공급하여 연계 운전을 하였다. 리포머는 S/C 3 으로 운전하였고, STR 반응기 내부 온도는 약 600°C, LTS 출구에서 측정된 H₂와 CO 조성(Dry 기준)은 각각 83%, 0.22% 였다. 표 2 에 순수 수소를 사용한 경우와 리포머에서 생산된 개질 수소를 공급하여 운전한 스택의 성능을 나타내었다.

표 2 는 7kW 이상의 출력에서 각각의 성능을 비교 한 것으로서 개질 수소를 사용할 경우 순수 수소를 사용할 때 보다 약 2% 정도의 성능이 저하됨을 알았다. 이는 개질 수소가 약 80% 정도의 혼합 가스임을 감안할 때, 비교적 낮은 수준의 성능 저하로 사료된다.

표 2. 순수 수소와 개질 수소 사용에 대한 스택 출력 비교

순수 수소 (99%이상) 사용			개질 수소 (83%) 사용		
Average Voltage (mV)	Current (A)	Power (kW)	Average Voltage (mV)	Current (A)	Power (kW)
708.1	579	7.4	695.2	579	7.2
695.7	659	8.3	675.3	718	8.7
678.5	777	9.5	662.7	779	9.3

3. 결론 및 향후 계획

본 연구를 통하여 10kW 급 인산형 연료전지 발전시스템을 구성하고 있는 스택과 개질기 등을 국내 기술로 제작하여 연계운전을 수행하였다. 제 2 호기 리포머 크기를 동급의 기존 리포머 크기의 절반 이하로 소형화 시켰으며, 리포머에서 생산된 개질 수소를 사용한 스택의 성능저하 또한 순수 수소를 사용할 때와 비교하여 매우 낮은 수준임을 알았다. 현재 자동화 운전 및 시스템 효율 향상을 위한 연구가 진행 중이며, 향후 10kW 급 인버터를 개발하여 스택과 개질기, 인버터를 연계하고 Package 화하여 2m X 2m X 1.5m 사이즈의 10kW 급 인산형 연료전지 발전 시스템을 개발할 예정이다.

10kW 급 발전시스템은 소규모 고립지역의 On-site 분산 전원 및 비상용 전원 등으로 활용할 수 있으며, 열병합을 통하여 냉난방이나 온수공급 등으로 사용처에 따라 그 활용도가 다양할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 참고문헌

- (1) Hiroshi Asai, 인산형 연료전지의 고효율 이용사례, 제 8 회 연료전지 심포지움 논문집 (2001) 133p, Tokyo.
- (2) J.C. Yang, Y.S. Park, S. H. Seo, H. J. Lee, and J.S. Noh, J. of Power Sources, 106 (2002) 68