

250 kW 발전용 용융탄산염 연료전지 기술 개발 (시스템 및 BOP 설계)

임희천, 안교상, 김도형, 강승원, 김범주,
한진 전력연구원

The System Development of Externally Reforming MCFC CHP Proto Type

Hee Chun Lim and Kyo Sang Ahn
KEPRI/KEPCO

Abstract - This paper shortly describe the R&D results for developing of 250 kW externally reforming MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell) CHP proto type. Conceptual Design and basic design were already completed and stack which was adapted new separator and components also prepared for operation and evaluation. In parallel with stack and system development, BOP such as PCS, blower, catalytic combustor and Reformer also designed and fabricated for evaluation. The system will be fabricated by the end of 2008 and operate and evaluate in 2009.

합 발전시스템으로의 용도를 제공한다. 이러한 바탕에서 250 kW급 MCFC 열병합 Proto Type 개발은 실제 상용화를 위한 열병합 발전 설비로서 보급 가능성 및 실증을 위한 설비로, 저 코스트 단위전지 구성요소 개발 실증 및 시스템의 기본 구성을 통하여 고 적층 전지, 고효율 개질기 연계 운전 실증을 진행 할 예정이다. 주요한 기술개발 목표로 출력 250 kW AC (송전단) 압력은 상압을 기본으로 하며, 목표 운전시간은 10,000 시간으로 연료는 천연가스 그리고 발전효율은 40% (시스템 효율 60%)를 목표로 한다.

1. 서 론

용융탄산염 연료전지 기술개발은 1993 년부터 국가 G7 신 에너지 개발 사업으로 “2 kW급 MCFC 시스템 개발” 연구에 착수하여 기초 기반 기술 개발에 성공하였고, 이어 MCFC 개발 1단계 사업으로 100 kW급 MCFC Pilot Plant를 건설 운전시험 완료하였고, 세계 4 번째 자체기술에 의한 수십 kW급 스택 제작 및 운전기술 확보하였다. 확립된 상용 기초 기반 기술을 바탕으로 발전분야 신기술로 보급이 예상되는 MCFC 발전기술 선점 및 분산형 전원으로서의 MCFC 기술 개발 가능성을 확인하기 위하여 250 kW급 MCFC 발전시스템 Proto Type 개발을 진행하고 있다. 본 시스템 개발에서는 우선 250 kW급 MCFC발전 시스템의 개념설계 및 기본 설계를 통하여 분산형 전원으로서의 가능성을 확인 한 후 MCFC 발전시스템의 전력사업 적용을 위한 상용 기반기술 확보를 목표로 하고 있다. 현재에는 분산형 전원으로 250 kW 열병합 발전 시스템의 기술 개발을 진행하고 있다. 우선 250 kW급 상압 발전 시스템에 대한 기본 기술 규격을 설정하였고 스택에서는 새로운 분리판을 활용한 신 개념의 스택을 개발하였고 더불어 이들 스택을 운전 시험 평가를 진행하고 있다. 향후 2009년까지 실제 시스템을 개발 2012년 까지 상업 운전을 개시 할 예정이다.

2. 본 론

2.1 250 kW MCFC 기술 개요

MCFC 연료전지는 다공성 연료극(anode)과 공기극(cathode) 층 사이에 전해질인 용융 탄산염을 지지하는 전해질 판으로 구성되어 있다. 두 전극 중 공기 극에서 CO₂를 생성하는 산소의 환원 반응이 일어나고 연료 극에서는 CO₂를 소모하는 수소의 산화 반응이 일어난다. 양극에서 만들어진 CO₂는 전해질을 통하여 확산, 전달되어 연료 극 반응에 참여하고 산화에 의해 음극에서 생성된 전자는 외부회로를 통해 공기 극으로 전달되어 환원 반응에 참여한다. MCFC 발전 시스템 구성은 연료전지 반응을 일으키는 전극 및 전해질 등 구성요소로 이루어진 단위전지라 및 이를 여러 장 적층하여 스택(stack)을 구성한다. 연료전지 스택은 주변 기기와 연결되어 전체 시스템으로 구성되는데 전체 시스템은 연료 처리계, 스택 주변 계, 배열 회수 계 그리고 직 교류 변환 계 등으로 나누어진다. 연료 처리계는 연료가 천연가스인 경우 천연가스 개질기를 필요로 하며 배열 회수계 및 전력변환장치 등으로 구성되어 이들 기기들이 유기적으로 연결되어 종합시스템으로 구성된다. 또한 시스템을 안전하고 안정적으로 운전하기 위하여 플랜트의 운전을 제어시스템이 필요하게 된다.

2.2 250 MCFC 시스템 설계

2.2.1 MCFC 설계 방향

발전용 MCFC 기술개발 실용화를 위한 중간 단계로 분산형 전원이 가장 큰 가능성을 가지고 있다. 분산형 전원으로 MCFC의 활용은 수백 kW급의 소 용량에서도 기존의 시스템에서는 얻을 수 없는 고효율이 가능하다. 250 kW급 이상상용 발전시스템에서도 50%에 가까운 발전효율을 얻을 수 있다. 이러한 MCFC의 고효율 특성은 소형 분산형 열병

(표 1) 250 kW MCFC 기술 개발 방향

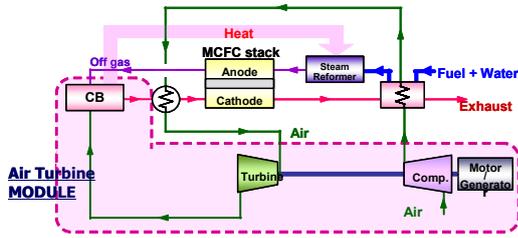
		Direction	R&D Issue
Components	Anode	Ni+Al Alloy	
	Cathode	NiO	
	Matrix, Electrolyte	α-LiAlO ₂ , Li ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃	Matrix+ Electrolyte
	Separator	STS 310, Al coating	
Stack	Gas Flow	Internal Manifolds	Externally manifolds
	Reforming	Externally Reforming	
	Cooling	Cathode Gas Recycle, Low current density, Low pressure operation	IIR plate
	Numbers	2 sub stacks	
	No.of cells	150 cells (1m ²)	
Reformer	Conventional Type	Plate Type + CB	
Catalytic Combustor	Pre mixing Type		
System	Pressure	Atmospherics Type	Pressurized Type
	Recycle	Anode off gas recycle	Air TBN Module
	Heat Recover	Outside location	
	Type	Simple & Compact	

분산형 전원으로 MCFC 발전 시스템의 상용화를 위하여, 연료전지 본체 대용량화를 위한 대용량 스택 개발이 필요하다. 이는 대면적 단위전지의 개발 및 고성능 장수명의 신뢰성을 가진 단위전지의 개발이 전제 되어야 하며, 이를 위해 현재 기술을 바탕으로 1 m²의 단위전지를 150장 적층한 적층전지의 개발이 필요하다. 이러한 대형 스택 내부 온도 조절을 위한 스택 신행 분리판에 대한 검증과 내부 개질 판을 사용하는 방법을 강구 할 예정이다. 분리판 형태는 내부 분배 분리판 형태를 유지하고, 기술적 경제적으로 손쉬우며, 상업화 가능성을 염두에 둘 수 있는 상압 운전 조건에서 운전되도록 설계할 예정이다. 구성요소의 면적은 경제성 및 대량 생산성을 고려하여 면적 1m² 정도의 전극을 사용하여 150단 스택을 구성하고, 이 스택 2개로 250 kW 모듈을 구성하는 것이 기본 형태로 제시 하게 된다. 구성요소에 있어서는 환경규제 대비 수계 제조 공정을 사용하며, 매트릭스의 경우 thick matrix + low-cost material을 채택하고 아울러 전극 및 matrix in-situ 처리에 있어서는 sintering step을 갖지 않도록 개발 할 필요성이 있다.

2.2.2 MCFC 발전 시스템 개념 설계

250 kW MCFC 발전시스템 개념설계에서는 최종 개발 설계안은 폐열 회수로 전체 시스템의 열효율을 65.9% 이상, 발전효율을 40% 이상 확보하는 것을 목표로 하고 있다. 시스템은 Anode exhaust gas를 burner로 연소하여 Cathode inlet로 송부하여 시스템을 단순화시키고 아울러 연료전지 시스템의 발전효율을 높이는 방안이다. 아울러 촉매연

소기를 개발하여 개질기내 온도를 촉매 연소기로 가열하는 방안에 대한 검토를 동시에 진행하고 있다. 공기극 배 가스 와 개질기 열량을 스팀으로 회수하고 Steam turbine을 설치함으로 시스템 전체적인 에너지 효율을 증대 시키는 방향으로 설계 방향을 같이 진행하고 있다.



<그림 1> 250 kW MCFC 시스템 개념설계

이와 같은 목표를 위하여 250 kW 용량탄산염 연료전지 시스템에 대하여 개발 목표로 하고 있는 상압 발전 시스템에 대하여 다양한 형태 (5 가지 Case)로 시뮬 구성 (CYCLE)을 설계하여 전산 모사를 통하여 현재 기술로 동 가능한 주변기기 배치가 가능한 기술을 동원 할 수 있는 실현 가능 시스템 개념설계 (Actual Case) 및 향후 기술 개발을 통하여 동원 가능한 주변기기를 구성요소로 하는 상업적 목표의 시스템 (Ideal Case) 개념설계를 실시하였다.

Ideal Case는 이상적인 시스템으로 향후 지속적인 R&D가 요구되는 개념으로 열 교환기형 개질반응기와 촉매 연소기 개발이 중요하다. Actual Case의 경우는 앞에서 고려한 여러 가지 Case를 고려하여 실질적으로 적용 가능한 시스템 구성을 선정한 것으로 이 또한 고가이며 제작 및 유지관리 측면에서도 어려운 고온 Blower의 사용 및 Anode exhaust gas를 연소하는 보조버너의 성능 및 가능 여부를 실증 실험을 통하여 확인 할 필요성이 있다. 250 kW MCFC 발전 시스템 효율 측면에서 보면 전력 268 kW와 전력 생산 시 보조기에서 필요로 하는 전력 소비량 33 kW를 감안하였을 때 총 전력 생산 전기효율은 40% 정도이며 잉여 열 회수에 의한 추가 전력으로 환산하였을 때 총 에너지 생산효율은 58% 가된다. 이는 250 kW급 MCFC 시스템 이 가지는 Ideal Condition 하에서 종합 효율이다.

제시된 여러 가지 MCFC 시스템 검토를 통해 Actual Case를 상세 설계를 실시하였다. Actual case의 경우 시스템 설계 기준으로 연료 (Anode H₂) 이용률을 75%, 공기 이용률(Cathode O₂)을 40%, 요구되는 MCFC Fuel Cell AC Power 277kW으로 정하였으며 시스템 효율 측면에서는 잉여 열 회수를 통한 추가 전력생산을 고려했을 때 총 전력 생산 효율 34%, 총 에너지 효율은 70% 이다.

2.2.3 MCFC 발전 시스템 개질기

한편 MCFC 발전 시스템을 위한 실제 개질기는 우선 기존 개발된 천연가스 개질기를 설계하고 제작을 위한 P&ID를 완성하였다. 개질기는 천연가스 압축기를 이용하여 41.87 Nm³/h는 개질기의 원료로 사용되며, 63.2 Nm³/h는 개질반응열을 공급하기 위한 연료로 사용된다. 개질기는 Radiation Section과 Convection section으로 나뉘어 지며, Radiation Section에서는 개질기 반응관이 설치되어 Ni촉매 하에 수증기 개질반응이 일어나며 천연가스가 수소 및 일산화탄소, 이산화탄소로 전환된다. 개질기로부터 생산된 가스의 조성은 운전온도 750 °C 압력 3.5 기압에서 H₂ 47.19Vol%, CO 6.8%, CO₂ 7.5% 그리고 물이 37.70 % 정도가 된다.

2.3. 250 kW MCFC 스택 개발

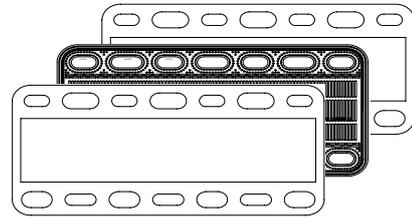
2.3.1 MCFC 구성요소 제작

250 kW MCFC 스택 구성요소 제작 및 스택 개발을 위하여 분리판용 새로운 소재 선정 및 분리판 코팅 및 열처리 설비를 보완하였다. 아울러 구성요소 제조공정 분석 및 경제성 평가를 통하여 구성요소 제조공정의 개선점을 찾아 성능 개선 방안을 도출하고 있으며 이를 바탕으로 구성요소 제작 인프라구축을 도모하고 있다. 현재 구성요소 제조 일관공정을 위하여 Tape Caster 와 연속 소결 로를 포함한 총 18종의 MCFC 구성요소 제조설비를 선정/도입 설치하고 전극을 포함한 모든 구성요소 생산을 개시 하였다.

2.3.2 MCFC 분리판 및 스택 설계 제작 및 운전

Gas channel 형상 및 manifold configuration을 포함한 고유모델의 MCFC 분리판 개념을 확립하고 이에 대한 전산 유체역학 모사를 수행하여 분리판 설계를 완료한 후 2,500cm² 급에서 7,500 cm² 분리 판을 설

계 제작하였다. 이번 분리 판 기본 개념은 평판 구조의 집진판과 Mask plate를 적용하고 Gas Channel과 Manifold 형성에 필요한 성형을 Bipolar Plate에 집중시킨 기본 개념이 확립되었다. 신 개념 분리 판은 경제성 증진을 위하여 이전 5 Piece에서 3 piece로 그리고 공기 극 유동을 개선한 형태로 설계하였고 제작에 있어서도 평판도의 개선과 함께 용접에 의한 변형을 최소화 하였다.



<그림 2> 250 kW MCFC 적용 분리판 형태

스택에 있어서도 메니폴드의 형태를 개선하고 유동을 단순화하며, 면압 장치의 개선과cm² 단열효과를 증대되도록 설계하였다. 우선 셀 전산해석 모델을 확장하여 스택의 거동을 해석하였고 예측할 수 있는 스택해석 모델을 구축을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 스택 구조물의 최적화를 위해 스택 하부 구조에서 연료극 및 공기극 가스를 공급하게 설계안을 수립 한 후 유동해석을 수행하여 타당성을 확인한 후 스택 구조물을 설계하고 실험을 통해 검증 후 스택 구조물을 제작하였다.

이러한 신 개념 분리판의 성능 및 적용 가능성을 평가하기 위한 5 kW급 및 25 kW급 short stack을 제작 후 스택을 제작, 운전 및 평가 하였고 보령 100 kW급 MCFC 설비를 통하여 75 kW급 스택 운전을 준비 할 예정이다.



<그림3> MCFC 신형 분리판 이용 25 kW MCFC 스택

3. 결 론

MCFC 기술은 현재 250 kW급 열 병합 Proto Type 개발 연구가 진행되고 있다. 이전 수행한 100 kW급 MCFC 발전 시스템 개발 연구를 기반으로 구성요소에 대한 인프라 구축 및 스택 구조 및 분리판 구조 변형을 통한 성능향상을 도모하고 있다. 아울러 250 kW MCFC 스택 구성요소 제작 인프라구축을 위한 구성요소 제조 설비를 선정/도입 설치하였다.250 kW 열병합 발전 시스템 개발에서는 5개의 기본 사이클 분석을 통하여 개발 형태의 상압 발전 시스템에 대한 개념설계를 완성 하였고 이를 실현 할 수 있는 실행 시스템에 대한 기본 설계를 진행하고 있다. 시스템 개념에서는 시스템의 단순화와 더불어 발전효율을 높이는 방안으로 검토되고 있다. 이어 고유모델의 MCFC 분리판 개념을 확립하고 이에 대한 전산 유체역학 모사를 수행하여 분리판 설계를 완료한 후 2,500cm² 급에서 7,500 cm² 급 분리 판을 설계 제작하였고 이를 이용한 5 kW에서 25 kW급 MCFC short stack 운전 시험을 진행하였고 아울러 100 kW급 규모의 스택 운전 시험을 준비하고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 임희천, 안교상 운영장:“ 100 kW급 MCFC 발전 시스템 개발 III, 2004년도 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2004
- [2] 임희천, 외 :“ 250 kW급 MCFC 발전 시스템 개발, 2006 MCFC Workshop Proceedings, 전력연구원, 2006.5.25
- [3] 임희천, 안교상:“MCFC 발전 시스템 개발 III, 2006년도 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 2006.7