

# 전력사업용 용융탄산염 연료전지 개발 연구

임 희천, 홍 성안

전력연구원 에너지환경 고등 연구소, 한국과학기술 연구원

## Studies on Molten Carbonate Fuel Cell Development for Electric Utility

Hee Chun Lim and Seong Ahn Hong

### 요 약

연료전지 발전방식중 용융탄산염형 연료전지 발전방식은 동작온도가 650℃의 고온에서 동작되기 때문에 발전효율이 높고 석탄가스를 연료로 사용할 수 있으며 또한 배기가스를 이용하여 복합발전시스템으로 구성할 수 있는 등 전력사업에 적용가능성이 가장 큰 새로운 발전방식이다. 이와 같은 이유로 전력연구원에서 개발하고있는 2kW급 용융탄산염형 스택은 전극유효면적이 1,000cm<sup>2</sup>인 단위전지를 20단 적층한 Co Flow형 MCFC스택으로, 연료로 연료극에 H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 혼합가스를 그리고 산소극에는 공기, CO<sub>2</sub> 혼합가스를 이용하여 150A 정부하 상태에서 초기성능이 전압 14.28V, 출력 2,142W의 발전 운전시험에 성공하였고 이때 스택의 단위전지 평균전압은 0.714V를 나타내었다.

### 1. 서론

용융탄산염형 연료전지는 고온 연료전지 발전방식으로 발전효율이 높고 석탄가스를 연료로 사용할 수 있으며 또한 배가스를 이용, 복합발전시스템으로 구성할 수 있는 등 전력사업에 적용가능성이 가장 큰 새로운 발전방식이다. 이와 같은 이유로 한전 전력연구원에서 선도기술개발사업으로 추진하고 있는 2kW급 MCFC 발전시스템 개발은 현재 2kW급 스택개발을 완료하고 이에 대한 운전 특성평가를 진행하고 있다. 본 내용은 96년 2월 스택운전시험 설비의 설계 및 제작설치를 통한 시스템의 종합 및 2 kW급 스택의 운전시험 결과를 요약한 것이다.

### 2. 전력사업용 연료전지기술의 전망

현재 전력사업이 안고 있는 문제점 특히 발전분야가 가지고 있는 문제점으로는 급격한 전원수요의 증가에 따른 전원확보의 어려움과 날로 증가되는 지구 환경문제 특히 지구 온난화 문제에 따른 CO<sub>2</sub> 규제등이다. 선진국의 경우 이산화탄소의 배출비율을 일정수준으로 안정화시키려는 정책을 시행하고 있고 이들 정책은 선진국들이 공동적인 보조로 진행하고 있어 우리나라도 이에 대한 배출저감 노력 및 안정화 계획을 추진 하여야 만 할것으로 예상된다. 또한 발전설비의 배가스중 SO<sub>x</sub> 및 NO<sub>x</sub>등의 대기 오염 물질의 저감에는 많은 투자가 필요하며 이들은 전력사업에 있어서 커다란 장애요인이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여는 공해요인이 적으며 에너지 변환효율이 높아 수요지 근방에 설치가 가능한 새로운 발전방식 및 발전기술의 개발을 필요로 한다. 이러한 관점에서 앞으로 보급이 예상되는 새로운 발전기술에 대한 전망을

살펴보면 지구환경문제에 대응하기 위한 CO2 억제를 위하여 설비효율의 고도화를 도모하며, 공급력확보를 위하여 기존의 화석연료자원의 유효한 이용 및 다양화를 도모할 수 있는 발전기술의 개발이 필요하다. 기존 화력발전 기술에서는 현재 초임계압 보일러가 개발 보급되고 있고 이어 신형 석탄화력의 하나로 배가스팽창터빈을 채용하는 가압유동층 보일러 (PFBC)의 보급이 예상된다. 또한 LNG 도입확대에 따라 고성능 가스터빈과 연계된 각종 복합 발전시스템의 도입도 유망시되고 있다. 그러나 궁극적으로는 연료가 갖는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시켜 에너지변환효율이 좋고 공해요인이 적은 연료전지 발전방식의 보급은 필연적이 될것이다. 또한 아직은 유용한 자원인 석탄을 정제 가스화한 석탄가스화 복합발전(IGCC)과 이와 연계되는 연료전지(MCFC,SOFC) 복합발전기술이 최종적인 선정으로 될것으로 전망된다. 연료전지 발전방식중 용융탄산염 연료전지는 용융탄산염을 전해질로하는 고온 연료전지 발전방식 이다. 고온에서 동작하기 때문에 열효율이 기존의 인산형보다 높고 동작후의 배열을 이용하여 복합발전이 가능하며 특히 연료로 수소 이외에도 CO가 이용 가능하기 때문에 석탄가스화와 조합에 의한 복합발전시스템으로 활용이 예상된다 따라서 연료전지중 전력사업용 연료전지 발전기술은 우선은 용융탄산염형 연료전지를 중심으로 하여 개발 보급될것으로 예상된다. 이와같은 예상에 따라 한전에서는 93년부터 이에 대한 연구개발을 추진하고 있고 현재 2kW 급 시스템을 개발 운전시험을 실시하고 있다.

### 3. 2kW급 스택 제작 운전시험

#### 3-1.스택 구성요소의 제작

MCFC스택은 Cathode, Anode 전극과 전해질, 집전판, 분리판등으로 구성되는 단위전지를 여러장 적층하여 구성한다. 실험에 사용된 단위전지의 구성요소중 Anode 와 Cathode, 전해질등 모두는 Tape casting 방법에 의하여 제작되고 Cathode는 Anode의 경우와는 달리 전지내에서 in-situ oxidation 및 lithiation 과정을 거쳐 제조된다. Anode와 Cathode 사이에는 전해질로  $\gamma$ -LiAlO<sub>2</sub> 판에 함침시킨 탄산염 (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 70 : 30)을 이용하였고 전해질을 함침하고 지지하는 Matrix는 cathode에서 생성된 CO<sup>3-</sup> 이온을 anode 로 전달하는 통로역할 및 양극을 전기적으로 절연하고 가스누출을 방지하기 위한 wet seal 역할도 담당한다. 전해질은 저온에서 용융되는 탄산염의 혼합물로서 matrix내의 미세기공내에 함침되어 양극사이의 전기화학반응에 참가함으로써 이온전도를 일으키는 역할을 한다. 전해질 역시 matrix와 마찬가지로 tape casting 방법을 이용하여 green sheet를 제조하여 이용한다. 스택내의 집전체로는 Anode쪽에 Ni Plate를 그리고 Cathode쪽에는 SUS plate를 사용하였고 전기적 절연 및 가스의 공급 통로를 위하여 분리판을 사용한다. 분리판은 SUS 316L을 기계적으로 가공하여 이용하는데 분리판의 양쪽으로 타원형의 가스분배구를 설치 가스가 내부에서 공급 될 수 있는 내부매니폴드(Internal manifold)형으로 제작하였고 가스 흐름은 양극에서 반응가스가 같은 방향으로 공급되는 Co-flow 방식이 되도록 제작하였다. 스택은 유효 전극면적이 1000cm<sup>2</sup>인 단위전지를 20매 적층하여 출력목표가 2kW가 되도록 설계, 제작하였다.

#### 3-2. 2kW MCFC스택운전시험 설비의 설계 제작

2kW MCFC스택 운전시험 설비는 크게 가스공급부, 공급가스 예열부, 스택 장착부, 배가스처리부 및 그리고 제어, 계측 및 감시부로 구성된다. 가스공급부에서는 반응가스공급을 위하여 유량조절 유니트(Mass Flow Control Unit) 설비를 이용 PLC를 통

한 Control Valve의 개도를 조정함으로써 가스의 양을 조절하였고, Anode쪽에는 탄소석출을 방지하기 위하여 가슴기를 설치하였다. 탱크의 동작온도는 650℃로 스택온도는 스택 상 하판에 Cartridge형태의 전기히타에서 열을 공급하였다. 스택은 스택고정대에 설치하는데 구성요소간의 접촉저항의 감소를 위하여 스택상부에서 Air Cylinder를 통하여 균일한 압력이 가해지도록 하였고, 스택외부는 단열재로 감싸 열손실을 줄여 스택내에서 온도의 분포가 균일화 되도록 하였다. 배가스처리부에서는 스택에서 반응후 배출되는 양극의 고온 가스를 냉각하기 위한 가스냉각기와 냉각기를 거친 가스를 물과 분리시키는 기수분리기를 설치하였다. 스택 성능측정은 정전류 부하장치인 3,000W용량의 전자부하(HP 6050)장치를 설치하여 전압을 측정하였다.

#### 4. 스택의 운전특성

스택성능을 살펴보면 부하를 걸기전의 전압인 스택 개회로전압(OCV)가 21V를 나타내나 스택내 단위전지 개회로전압의 분포가 1.028V에서 1.072V사이로 이룬 치인 1.12V에 미치지 못하였다. 그러나 정전류 부하장치에 의한 부하연결시 스택 초기 성능값은 전류 150A일 때 전압이 14.28V를 보여주므로서 출력은 설계치보다 높은 2,142W를 보여주어 목표로하는 2kW 출력시험에 성공하였다. 또한 이때의 단위전지의 평균전압은 0.714V로서 본과제의 개발목표인 전류밀도 150mA/cm<sup>2</sup>에서 0.7V를 상회하는 좋은 결과를 보여주었다. 그림 1은 스택의 정부하운전시의 전압 전류 특성을 보여주고 있으며 그림 2는 운전시험설비의 시스템 흐름도를 보여주는 그림이다.

#### 5. 결론

전력사업에 맞는 고효율 저공해의 용융탄산염 연료전지스택 개발을 위하여 전극유효면적이 1,000cm<sup>2</sup>인 단위전지를 20단 적층한 Co-Flow형 MCFC스택을 제작하였고 이의 운전을 위하여 스택성능 측정설비를 구성하여 운전성능시험을 실시하였다. 연료로는 H<sub>2</sub> /CO<sub>2</sub> /H<sub>2</sub>O의 비율을 72%/18%/10%로 조성한 가스를 이용하였고 산화제가스로는 Air/CO<sub>2</sub>의 비율이 70%/30%가 되는 가스를 이용하였다. 150mA/cm<sup>2</sup> 정부하 상태에서의 초기성능은 스택전압이 14.28V이었고 이때 출력은 2,142W를 기록하였고 단위전지의 평균전압은 0.714V를 나타내었다.

#### 참고문헌

1. 임희천, 설진호, 류철성, 이창우, 홍성안: "교차류형 100W급 용융탄산염형 연료전지스택 장기운전 평가" 한국수소에너지학회 Vol.6 No.2 (1995)
2. 남석우, 임태훈, 오인환, 이갑수, 윤성필, 홍성안, 임희천, 이창우, 선양국: "용융탄산염형 연료전지스택의 운전특성" 화학공학, Vol.33 No.5(1995)
3. 이창우, 임희천, 홍성안외 "2kW급 용융탄산염형 연료전지시스템개발" 95년도 년차보고서(1996)

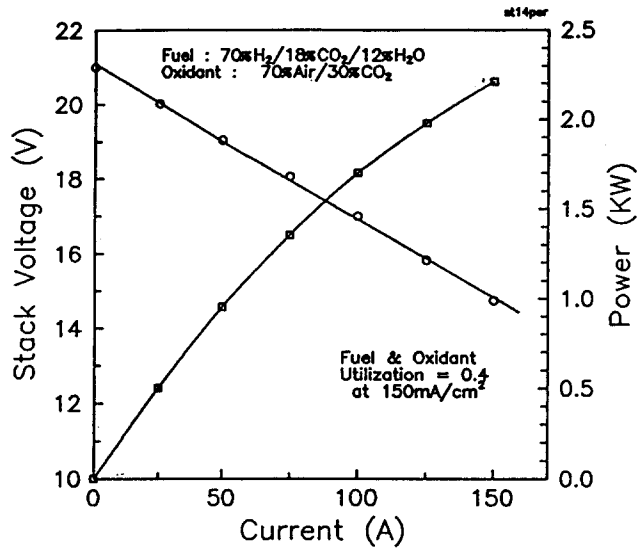


Fig.1 Performance of 2kW MCFC stack

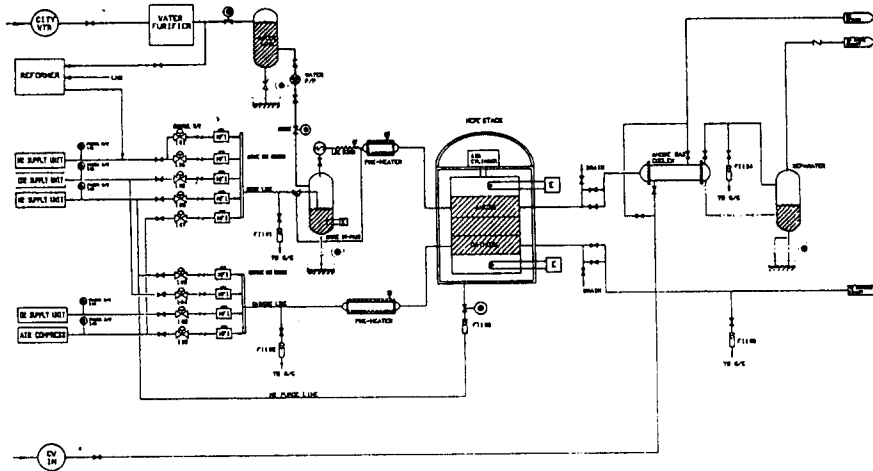


Fig.2 Configuration of 2kW MCFC test facilities