

## 용융탄산염형 연료전지의 개선 연구

이충곤, 안교상, 임희천  
한국전력공사 전력연구원

### Improvement of the Molten Carbonate Fuel Cell

Lee Choong-Gon, Ahn Kyo-Sang, Lim Hee-Chun  
Korea Electric Power Corporation, Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

#### 1. 서론

용융탄산염형 연료전지(MCFC)는 고효율의 환경친화성 발전시스템으로서, 더욱이 석탄가스를 연료로 사용할 수 있다는 점에서 전력사업용 발전시스템으로서 우리나라를 포함 각국에서 개발이 진행중에 있다. 그러나 장래 이 MCFC는 하나의 발전시스템으로서 마이크로가스터빈 등의 소형 분산전원과의 경쟁관계에 놓이게 될 것이며, 따라서 적정규모의 경제성 및 신뢰성을 요구받게 될 것이다. 현재 MCFC를 포함 분산형 전원으로서 연료전지의 적정 상용 규모로서는 약 500 kW급이 될 것이라고 보고하고 있다[1].

우리나라에서도 250 kW의 MCFC를 상용모델의 기본으로 설정하고 있고, 이 기본모델의 병렬연결에 의해 대규모 MCFC 발전시스템으로의 도약을 계획하고 있다. 본 연구에서는 이러한 상용모델의 개발에 있어 현재의 문제점을 파악하고 향후 개선 방향에 대해 논의하고자 한다.

#### 2. MCFC 스택 구분 및 특성

MCFC는 전해질로서 비교적 고온(ca. 650℃)에서 작동하는 용융탄산염을 사용하기 때문에 빠른 전극반응에 의해 일산화탄소와 같은 석탄가스를 연료로 사용할 수 있다. 이러한 특성으로 장래 석탄을 사용하는 발전시스템으로 생각되고 있다. 그러나 현재 석탄가스화 시스템의 개발 속도로는 MCFC의 연료공급장치로의 연계사용이 어려운 상황이다. 또 하나의 에너지 측면에서 천연가스는 앞으로 상당기간동안 사용이 가능할 것으로 예상되며, 또한 MCFC의 운전온도가 천연가스를 사용하기에 용이한 점으로부터 MCFC는 현재 천연가스를 사용하는 발전시스템으로서 개발되고 있다.

천연가스는 다음과 같은 수증기 개질반응에 의해 수소 함유 가스로 전환되어 MCFC에 사용이 가능하다.



위의 수증기 개질반응은 약 650℃에서 니켈계 촉매 존재하에 가능하게 되는데, MCFC의 운전온도와 유사한 온도로서 MCFC 스택내에 촉매를 설치하여 개질하는 방식과 MCFC 스택 전단에 개질기를 설치하는 두가지 방식의 스택이 가능하게 된다. 전자의 방식이 내부개질방식으로 후자는 외부개질방식으로 구분되게 된다.

이 내·외부 개질방식은 표 1과 같은 MCFC 시스템의 특성을 가지게 한다. 이러한 차이의 근본원인은 스택에서의 발열특성에 의한 것이다. 다른 연료전지를 포함하여 MCFC는 다음과 같은 관계에 의해 발전시 발열을 동반하게 된다. 먼저 열역학적 특성으로 연료가 가지

표 1. 외부 및 내부개질 방식 비교

외부개질방식	내부개질방식
천연가스개질기 필요	천연가스 직접사용
스택 냉각 필요	스택 냉각 불필요
전지 구조 간단	전지 구조 복잡
가압운전	상압운전
시스템 복잡	시스템 간단

는 화학에너지( $\Delta H$ )의 일정부분인 Gibb's 자유에너지( $\Delta G$ )만큼만 우리가 이용가능한 에너지로서 엔트로피항( $T\Delta S$ )만큼의 에너지는 열로서 달아나게 된다 (식 2).

$$\Delta H = \Delta G - T\Delta S \quad (2)$$

또한 연료전지는 발전시 전해질 및 전극 등의 구성요소가 가지는 전기적 저항 및 전극반응의 저항에 의해 발열을 수반하게 된다 (식 3).

$$V = E - \eta \quad (3)$$

여기서  $\eta$ 는 저항에 의한 과전압의 합이다.

발전시의 이러한 발열특성은 MCFC 스택내에 고온부의 발생을 유발하며, 이러한 고온부는 전해질의 감소, 금속재료의 부식 등으로 이어져 MCFC의 수명단축을 초래하게 된다. 내부개질 방식의 경우 식 (1)의 반응이 흡열반응으로서 발전시의 발열부분이 개질반응이 이용되므로 고온부의 발생이 억제된다는 특징을 갖게 된다. 그러나 외부개질 방식의 경우 이러한 발열은 고온부의 발생으로 이어지기 때문에 발전시 스택냉각이 필요하게 되는데, 현재 채용하고 있는 방식으로서 공극극에 과량의 공기를 공급하여 냉각하고 있다. 그러나 공극극에 과량의 공기를 공급하게 되면 유로의 저항에 의해 압력손실이 발생하게 되고, 이 압력손실은 공극극과 연료극 사이에 있는 매트릭스의 취약한 부분에서 누설을 발생시켜 Crossover 현상을 유발하게 된다. 이 Crossover는 연료인 수소와 공기가 직접 만나 연소하게 하므로 MCFC의 수명을 크게 단축시키게 된다. 따라서 과량의 공기를 압력손실 없이 공급하기 위해서 가압하에서 운전하게 된다. 이것은 기체부피와 압력과의 반비례관계를 이용하는 것으로서 관에서의 유속과 압력손실과의 관계는 다음과 같은 Hagen-Poiseuille의 법칙으로 표현되기 때문이다 (식 4).

$$\Delta P = 32 \frac{\mu v L}{d^4} \quad (4)$$

여기서  $\mu$ 는 점도,  $v$ 는 평균속도,  $L$ 은 관길이,  $d$ 는 관직경이다.

따라서 내부개질방식은 대기압하에서 운전이 가능한 장점을 가지고 있으나, 전지내부에 촉매를 설치해야하므로 전지구조가 복잡하게 되며, 스택수명이 촉매에 의해 결정된다는 단점도 가지게 된다. 이에 비해 외부개질형의 경우는 전지구조는 단순해지나 가압운전이 필요하게 되므로 시스템 구성품이 가압사양으로 되어 경제성이 낮아지게 되며, 가압하의 운전 등으로 시스템 신뢰성이 낮아진다는 단점을 가지게 된다.

### 3. 스택 개선 요점

그림 1은 전산유체해석을 통한 외부개질방식에서의 전극길이와 출구온도의 상관관계를 나타내고 있다[2]. 즉 전극길이가 길어질수록 고온부의 온도는 증가하는 것을 알 수 있다. 이

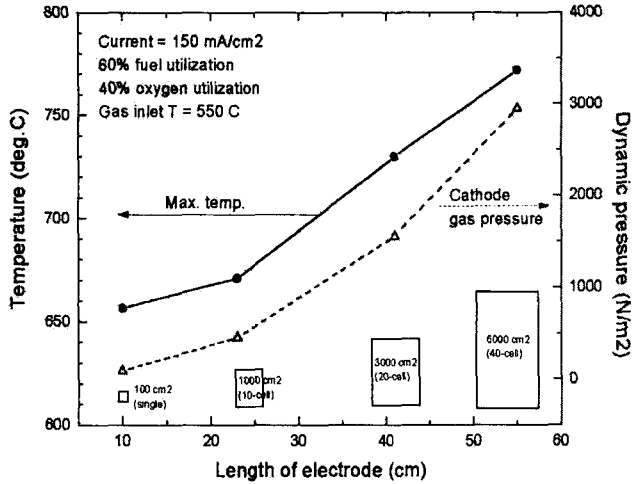


그림 1. 전산유체해석에 의한 전극길이와 최고온도와와의 관계

것은 온도가 열의 집합에 의해 발생하는 것을 나타내는 것으로서 고온부의 역제는 전극길이를 줄여 가능한 것을 나타낸다.

MCFC의 경우 스택의 적정 최고온도는 약 680℃로 생각되고 있다. 그림 2는 전사모사를 통해 90층 적층스택에 있어서 전극길이 25 cm와 50 cm에서의 온도분포를 나타내고 있다.

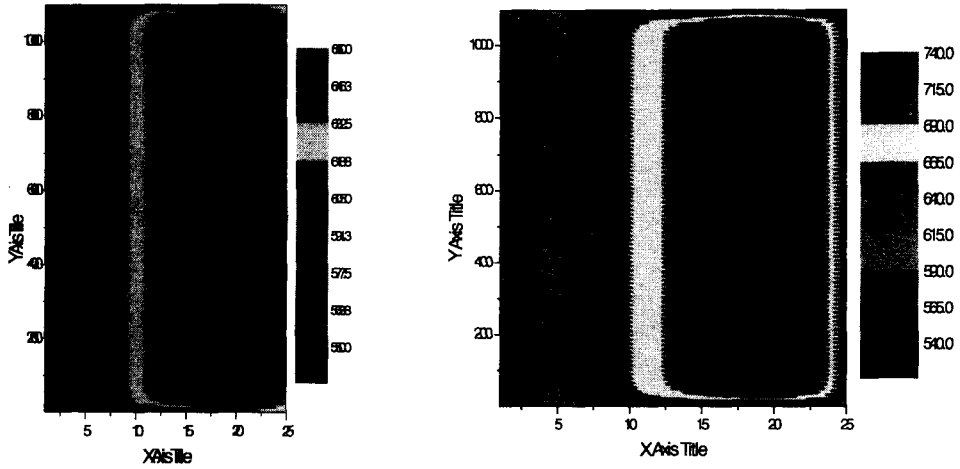


그림 2. 90층 적층스택에서의 25 cm(왼편)과 50 cm(오른편) 스택의 온도분포.

운전조건은  $u_f=0.6$ ,  $u_{ox}=0.4$ , 1 atm, 150 mA/cm<sup>2</sup>, 입구가스온도 550 °C, 상하 히터판 온도 620 °C

25cm의 경우 최고온도가 약 660℃임에 비해 50 cm의 경우 740℃로서 냉각이 필요함을 알 수 있다.

위와 같은 모사를 바탕으로 그림 3과 같은 스택을 구상할 수 있게 되었다. 이 스택을 중앙분배형 스택으로 명명하였으며, 기존에 우리나라가 보유하고 있는 스택제조기술로 용이하게 제작할 수 있을 것으로 예상된다. 이 스택은 전극길이를 기존 50 cm의 절반인 25 cm로 하였기 때문에 고온부의 온도가 680℃이하가 될 것이며, 따라서 대기압 운전이 가능하여 시스템의 경제성이 확보될 것이며, 대기압 운전의 용이성 등으로 시스템 신뢰성이 향상될 것으로 예상하고 있다.

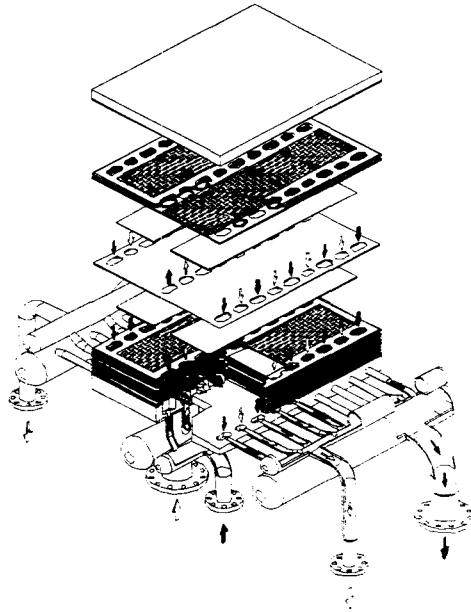


그림 3. 중앙분배형 스택 구조

【참고문헌】

1. D. Rastler, in 2002 Fuel Cell Seminar Abstracts, p813, California, USA (2002).
2. J.-H. Koh, B.-S. Kang, H.-C. Lim, AIChE, 47, 1941 (2001).