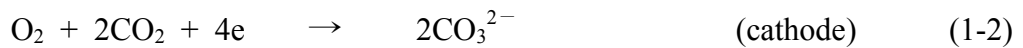


## 1. 국외 DCFC 기술 개발 현황-I

### 가. 용융탄산염 전해질 DCFC

#### (1) 이론적 배경

DCFC의 한 종류로서 MCFC에 널리 이용되는 혼합 용융탄산염 전해질로 사용하는 용융탄산염 전해질 DCFC가 있다. 용융탄산염 전해질 DCFC는 기존 MCFC와 마찬가지로 높은 이온전도성을 갖는 장점이 있을 뿐만 아니라, 생성물이 CO<sub>2</sub> 이므로 전해질의 안정성을 위해 필수적인 CO<sub>2</sub> 를 별도로 공급할 필요가 없다는 매력에 있다. 용융탄산염 전해질 DCFC의 연료극과 공기극의 전기화학 반응식 및 셀 전압은 아래의 식과 같다.



$$E_{\text{cell}} = E^{\circ} - (RT/4F)\ln[\text{CO}_2]_{\text{anode}}^3 + (RT/4F)\ln([\text{O}_2][\text{CO}_2]_{\text{cathode}}^2) \quad (1-3)$$

위의 식에서 보는 바와 같이, 셀 전압이 연료극에서 생성되고 산소극에서 일부 소모되는 이산화탄소 농도의 함수이므로, 이산화탄소의 분압 또는 부하 변동이 성능에 영향을 미치는 특성이 있다.

## (2) 기술 개발 현황

용융탄산염 전해질 DCFC 기술 분야의 선두 그룹은 미국 Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)의 Cooper 그룹이다. LLNL에서는 2005년에 전해질로 사용한  $32\text{Li}_2\text{CO}_3-68\text{K}_2\text{CO}_3$  혼합 탄산염의 양을 안정적으로 관리하기 위하여 Fig. 1에서 보인 바와 같이 기울어진 판형 셀을 이용한 시스템을 제안하였다. 이때 연료극이자 연료로서  $100\ \mu\text{m}$  이하의 탄소 입자 페이스트를 사용하였으며, 공기극 및 집전부로서 니켈 foam을 사용하였다. 이로부터,  $800\ ^\circ\text{C}$  운전 시 약  $150\ \text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도에서 최대 약  $100\ \text{mW}/\text{cm}^2$ 의 출력밀도를 얻을 수 있었다.

현재는 연료/연료극 소재와 공기극 소재 최적화에 대한 연구가 중점적으로 이루어지고 있으며, 연료 중 불순물인 Sulfur와 Ash 성분이 용융탄산염 전해질 DCFC 성능 악화에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되고 있다.

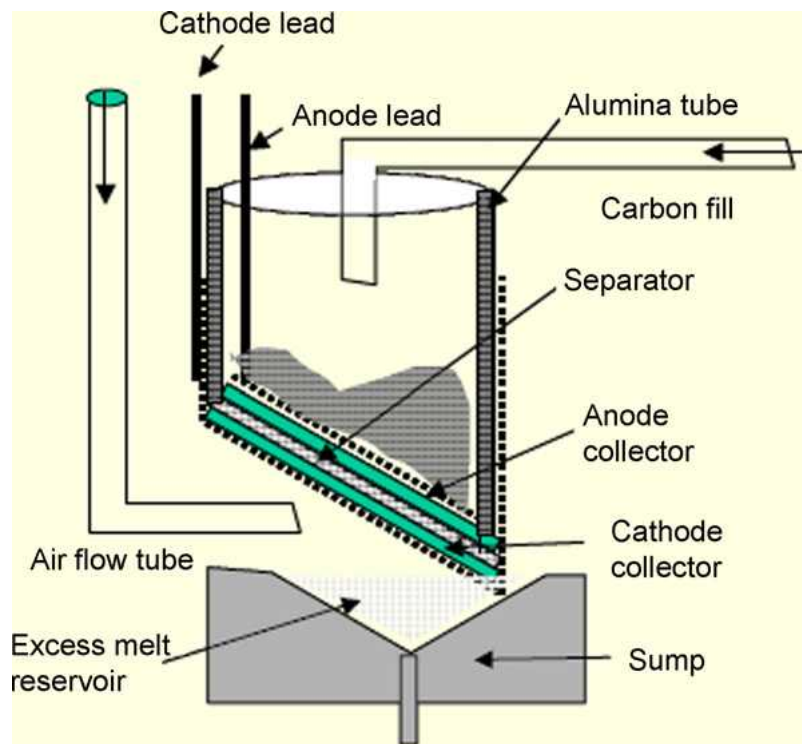


Fig. 1 LLNL에서 개발한 기울어진 형상의 용융탄산염 전해질 DCFC

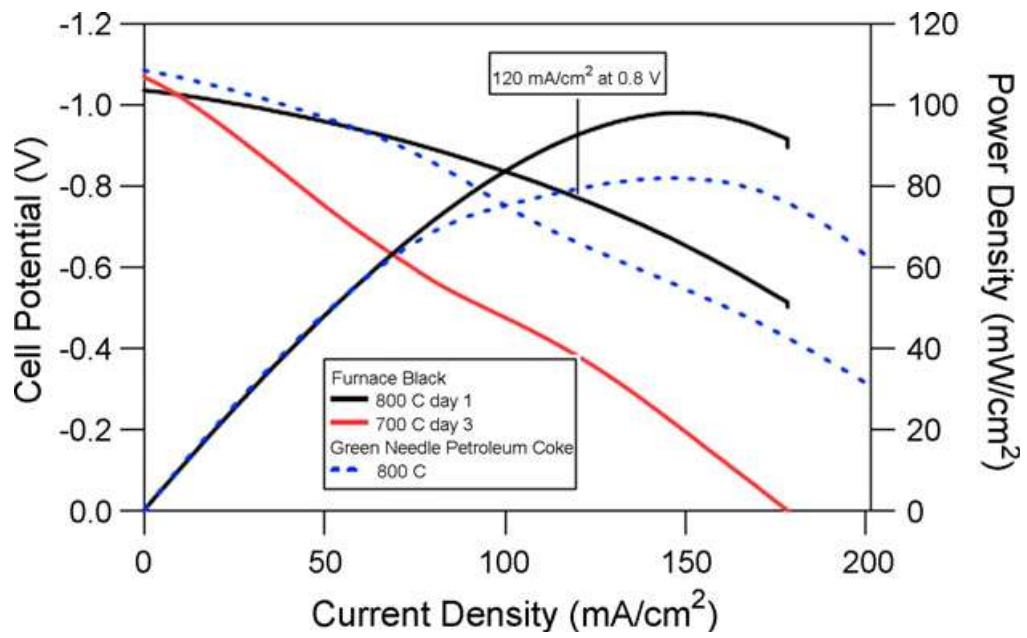


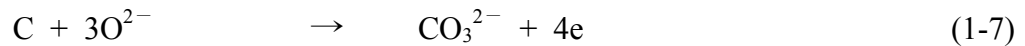
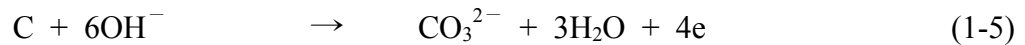
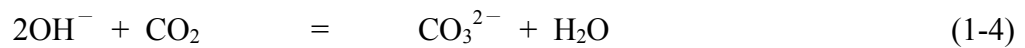
Fig. 2 LLNL DCFC 의 성능 곡선

## 나. 용융수산화물 전해질 DCFC

### (1) 이론적 배경

최초로 고안된 직접탄소 연료전지에서는 수산화물(hydroxide)을 전해질로 사용하였다. 액상의 수산화물을 전해질로 사용할 경우 600 °C 이하의 저온에서 운전이 가능하며, 따라서 재료 선택의 범위가 넓어지고 CO 발생 문제에 대한 걱정을 줄일 수 있다.

액상의 수산화물 전해질 및 연료극에서 발생하는 주요 전기화학 및 화학 반응은 다음과 같다.



윗 반응식에서 알 수 있듯이 탄소의 전기화학 반응 과정에서 탄산 이온이 발생하게 되는데, 탄산 이온의 농도를 일정 수준 이하로 유지하여 연료전지의 성능을 유지하기 위해서는 반응 (1-4)이 중요하다.

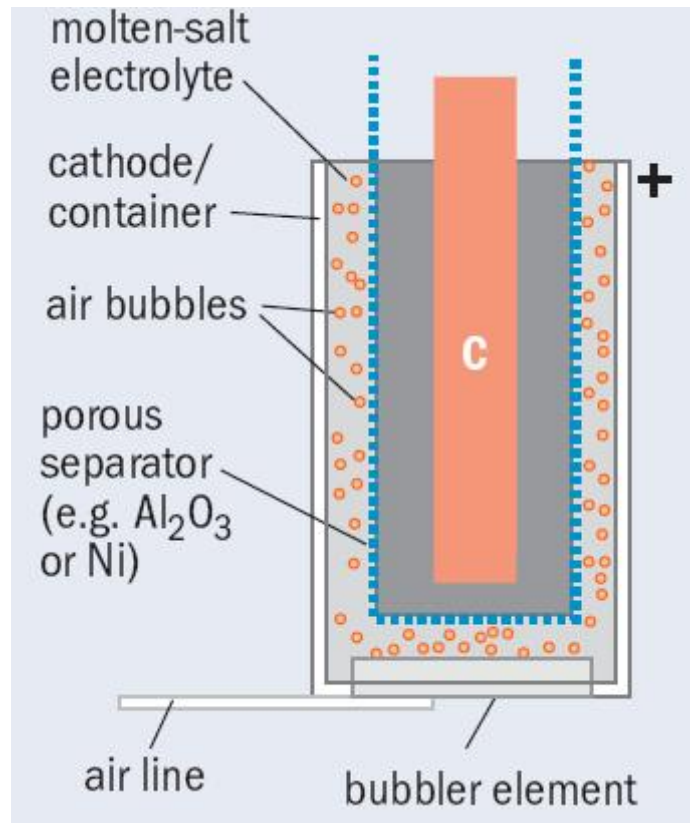


Fig. 3 SARA에서 개발한 수산화염 전해질 DCFC

## (2) 기술 개발 현황

미국의 민간 기업인 SARA(Scientific Application & Research Associates)는 전통적인 수산화물을 전해질로 사용하는 일종의 1차 전기 개념이 접목된 소형 직접탄소연료전지를 개발하였다.

SARA의 Zecevic 그룹은 탄소봉을 소모성 연료이자 연료극으로 사용하고, 용융 NaOH 를 전해질로 사용하고, Ni foam을 덴 강이나 Fe<sub>2</sub>Ti 강을 공기극으로 사용한 시스템을 개발하였으며 (Fig. 3), 반응 (1-4)을 활성화하기 위하여 가습된 공기를 산화제로 사용함으로써, 운전 온도 630 °C에서 약 180 mW/cm<sup>2</sup> 의 최대 출력을 얻었다.

최근에는 West Virginia Univ. 와의 공동 연구를 통하여 탄소봉 대신에 실제 석탄에 가까운 연료를 적용하는 실험을 수행하고 있다.

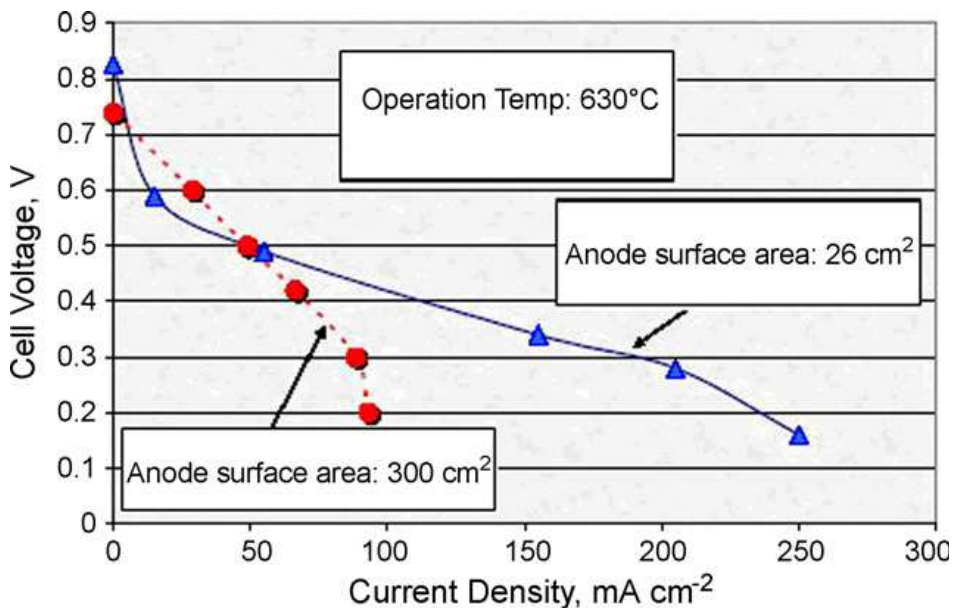


Fig. 4 SARA에서 개발한 수산화염 전해질 DCFC의 성능 곡선