

## 강의요약문

기계IT대학

자동차기계공학과

백종대

**강의주제: 기계적 안정성을 향상한 나노미터 두께의 박막 고체 산화물 연료전지**

화학에너지를 전기에너지로 변환 가능한 연료전지는 차세대 신재생 에너지원으로서 촉망 받고 있으며 특히 고체 산화물 연료전지 (SOFC) 는 높은 에너지 변환 효율 및 다양한 연료를 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 SOFC는 이온 전도체 전해질을 가로질러 이온 전도(ionic conduction)를 활성화시키기 위해 일반적으로 섭씨 800도 이상의 높은 운영 온도가 요구된다. 그런 높은 운영 온도는 연료전지의 활용 분야를 제한하며 고비용과 설계의 어려움을 유발할 수 있는 특별한 재료 및 열관리 기술을 필요로 한다. 그러므로 운영 온도를 낮추는 것이 현재 고체 산화물 연료전지 분야를 확장시키기 위한 주요 관심사 중의 하나이다.

촉매 효율이 높은 재료를 개발하거나 나노스케일의 박막 세라믹을 이용하여 운영 온도를 낮추는 노력들이 진행되어 오고 있으며 특히 박막 전해질은 SOFC의 내부 저항을 상당히 낮춤으로써 낮은 운영 온도 영역(300~500 °C)에서 높은 전지 성능을 제공할 수 있다. 일반적으로 박막 세라믹은 실리콘을 이용한 미세 가공 기술과 박막 증착 기법을 이용하여 제작될 수 있다. 그러나 연료전지의 내부 옴 저항 (Ohmic resistance) 을 최소화 시키기 위해 박막은 보통 수백 나노미터의 두께를 가지기 때문에 결과적으로 박막의 기계적 안정성을 악화시킬 수 있다. 따라서 연료전지의 출력을 결정하는 반응 면적을 넓히는 것은 매우 어려우며 현재 박막의 크기는 수백 마이크로미터 수준에 머물고 있다.

이 강의에서는 기계적 안정성이 대폭 향상된 박막 SOFC를 구현하기 위한 새로운 제조 기술과 관련 결과들을 발표한다. 일반적으로 사용되는 사각 형상의 박막은 날카로운 코너를 비롯한 응력 집중을 유발하는 기하학적 불연속성을 가지고 있으나 개발된 원형 박막은 일정한 응력 분포를 보이며 축대칭의 경계를 따라 응

력 집중을 피할 수 있다. 이런 역학적인 장점을 이용하여 100 nm 두께의 Yttria-stabilized zirconia (YSZ) 와 Yttria-stabilized barium zirconate (BYZ) 세라믹 전해질을 기본으로 한 원형 박막 SOFC를 성공적으로 제작하였으며 silicon wet etching과 plasma etching의 조합으로 80% 이상의 수득율을 얻게 되었다.

원형의 세라믹 전해질은 응력 흡수 장치로서의 역할을 할 수 있는 silicon-edge support에 의해 지지되며 사각형의 박막에 비해 약 40% 정도의 최대 주응력의 감소를 보여주었다. 더욱이 직경 1.5 mm의 YSZ 세라믹을 전해질로 사용하는 박막 SOFC는 1.07 V의 높은 개회로 전압과 섭씨 400도의 운영 온도에서  $437 \text{ mW/cm}^2$  의 최대 출력밀도의 성능을 보였다.

또한 기계적 안정성을 유지하면서 전기화학적 반응 면적을 더욱 넓히기 위해 박막 SOFC의 원형배열구조 (circular SOFC array)를 개발하였다. 이 연구에서는 높은 출력을 얻기 위한 박막의 확장성 그리고 안정적인 연료전지 운영을 위한 기계적 박막 안정성을 동시에 얻을 수 있는 방법을 소개하였다. 개발된 박막 SOFC array를 통해 직경이 3.6 mm까지 증가되었으며 1.1 V의 높은 개회로 전압과 1.38 mW의 총출력을 얻게 되었다. 또한 장시간의 개회로 전압 안정성 시험과 열사이클 시험 등을 통해서 개발된 박막 SOFC array의 기능적 그리고 열적 안정성을 검증하였으며 추가적인 디자인과 공정최적화를 통해 낮은 운영온도에서 더욱 향상된 출력을 얻을 것으로 기대한다.