

## 강유전체 세라믹 액추에이터의 내부전극에서 발생하는 전도균열 해석

정경문\*(전남대 원), 범현규(전남대)

주제어 : 전도균열, 강유전체 세라믹, 분역회전, 응력강도계수, 전기적 비선형성

다층 세라믹 액추에이터는 적응구조(adaptive structures)와 진동제어에서 저주파수 고진폭 장치등과 같이 광범위하게 사용되고 있다. 세라믹 액추에이터의 응용분야는 항공기와 자동차에서 인체기와 섬유기계에 이르기까지 다양하게 적용되고 있다. 일반적으로 강유전체 세라믹에 전기장이 인가될 때 개재물이나 내부전극과 같은 결함주위에 전기장이 집중되고 불균일하게 분포된다. 집중된 전기장에 의하여 발생하는 부적합 변형률로 인하여 응력이 발생한다. 따라서, 액추에이터 내의 내부전극 끝단 주위에 균열이 발생하기 쉽다. 세라믹 액추에이터 내의 내부전극 끝단으로부터 발생하는 균열에 관한 연구가 수행되어 왔으나, 분역회전 모델을 적용하여 강유전체 세라믹 액추에이터에 발생하는 균열에 대하여는 해석되지 않았다. 최근에 강유전체 세라믹의 파괴거동을 설명하기 위하여 분역회전 모델을 이용한 연구가 집중되고 있으며, 특히 비선형 분역회전 모델이 제안되어 전기-기계적 하중하에 강유전체 세라믹의 다양한 파괴거동에 대한 실험결과를 이론적으로 설명하였다. 본 연구의 목적은 강유전체 세라믹내의 내부 전극 끝단에서 발생하는 균열에 대하여 해석하고자 한다. 소규모 조건하에 분역회전에 의해 발생하는 응력강도계수를 균열 선단에서 계산한다.

다층 세라믹 액추에이터는 금속 박막(내부전극)을 세라믹 사이에 여러 겹으로 쌓아서 설계를 한다. 이러한 구조는 각각의 내부 전극이 디바이스의 내부에서 끝난다. 즉, 세라믹이 절연체(insulator) 역할을 수행한다. 이것은 부가적인 절연선을 이용하는 것을 피함으로써 제조비용을 감소시킬 수 있다. 또한 각각의 세라믹 층 두께를 감소하여 구동전력(driving voltage)을 감소시키는 결과를 가져오는 장점이 있다. 그러나, 이러한 구조는 전극 끝단에서 일반적으로 결함이 발생하기 쉽다. 균열은 공기가 발생하는 틈을 만들어 절연파괴(electrical breakdown)를 일으킨다. 만약, 하나의 세라믹 층에서 절연파괴가 발생하면, 전체 디바이스는 단락(short circuit)이 발생하게 된다. Fig. 1은 세라믹 액추에이터 내의 내부전극 끝단에서 발생하는 균열의 생성모델을 나타내었다. 분극과 전기장의 방향이 반대로 작용할 때 전극 끝단에서 발생하는 분역회전 영역을 Fig. 2에  $E_c/E_0=0.3$ 인 경우에 대하여 나타내었다. 균열이 발생하면서 응력강도계수는 모두 오른쪽 균열 선단에서 전기장의 작용방향에 따라 각각 계산되어진다.

음의 전기장에 대하여 무차원화된 응력강도계수를 항전기장과 항복전기장의 비에 따라 Fig. 3에 나타내었다. 분극 방향과 반대인 전기장의 작용방향과는 무관하게 강유전체 세라믹의 물성치인 항전기장과 항복전기장의 비에 따라 응력강도계수의 최대값이 다르게 나타남을 보이고 있다. 강유전체 세라믹을 이용하여 액추에이터를 설계할 때에는 세라믹의 전기적 비선형 물성치인 항전기장과 항복전기장의 비에 따라서 최대 응력강도계수를 보이는 균열크기를 알 수 있다. 즉, 세라믹의 종류에 따라서 서로 다른 임계두께가 존재하기 때문에 액추에이터는 세라믹의 전기적 비선형 물성치에 따라서 설계가 이루어져야 한다.

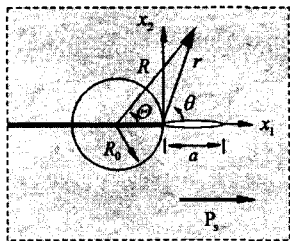


Fig. 1 A half-plane conductor in an infinite dielectric

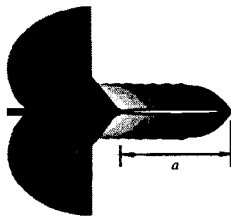


Fig. 2 90° switching zone for  $E_c/E_0=0.3$

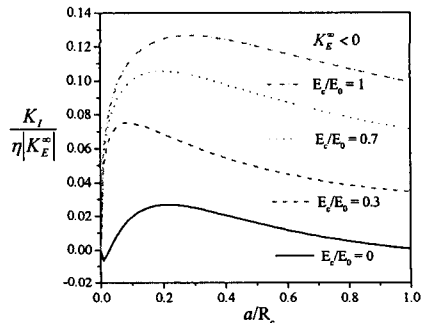


Fig. 3 The stress intensity factor as a function of  $a/R_c$