

전기적 스트레스가 판상형 세라믹 히터에 미치는 열화 특성

김 경 현¹⁾ · 전 명 건²⁾ · 김 정 택³⁾ · 양 민 석⁴⁾

현대케피코¹⁾

Degradation Characteristics of Planar Type Ceramic Heaters under Electrical Stress

Kyeong Hyeon Kim¹⁾ · Myoung Gun Jeon¹⁾ · Jung Taek Kim¹⁾ · Min Seok Yang¹⁾

Hyundai KEFICO, 102 Gosan-ro, Gunpo-si, Gyeonggi-do, Korea, 15849¹⁾

Key words : Planar Ceramic Heater(판상형 세라믹 히터), Electrical Stress(전기적 스트레스), Degradation Mechanism(열화 메커니즘), Thermal Stability(열적 안정성), Electrification System(전동화 시스템)

교신저자, E-mail: KyeongHyeon.Kim@hyundai-kefico.com

내연기관(ICE) 차량의 배기계는 고온 환경에 노출되기 때문에 내열성과 내구성이 뛰어난 세라믹 소재 부품이 오랫동안 사용되어 왔다. 최근 자동차 산업의 전동화 흐름에 따라 세라믹 히터는 전기차(EV) 배터리 열 관리, 히트펌프 시스템의 난방 효율 향상, 자율주행 차량의 센서(LiDAR, 카메라 등) 결빙 방지 등 다양한 영역에서 활용되고 있다. 그러나 히터에 인가되는 전기신호가 최적화되지 않아 전기적 스트레스가 가해질 경우, 열화 불량이 발생하여 차량 성능과 안전성에 치명적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 전기적 스트레스가 세라믹 히터에 미치는 열화 특성을 규명하고, 향후 신제품 개발 시 신뢰성 확보를 위한 설계 기준을 마련하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 판상형 세라믹 히터에 과전압을 인가하여 하드웨어(HW) 열화 특성을 분석하였다.

시험 샘플은 판상형 세라믹 히터가 적용된 가스 센서이며, 시험 방법은 히터에 과전압을 인가하고 히터 소비전류가 끊길 때까지 작동을 유지하는 방식으로 진행하였다. 시험 결과, 정상 인가 전압을 초과할 경우 일부 제품에서 불량이 발생하였다.(시험 샘플에 따라 불량 발생 시점은 상이함). 불량품의 외관에서는 변색이 확인되었고, 히터 회로는 단선된 상태였다. 추정되는 열화 메커니즘은 다음과 같다.

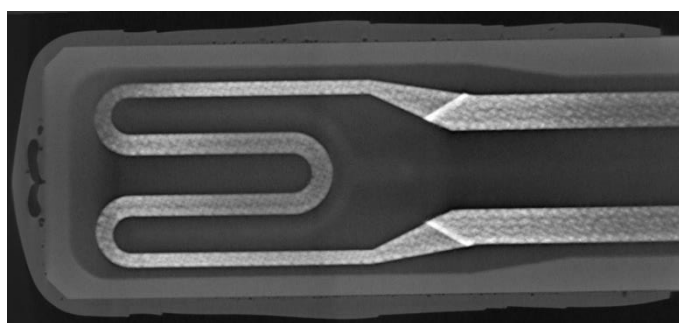
“과전압 인가 → 히터 과열 → 히터 도선 뭉침에 따른 저항 증가 → 추가 과열 → 히터 회로 단선 → 불량 발생”

시험을 통해 인가 전압이 최적화되지 않으면 제품 훼손 가능성이 크게 증가하는 것으로 판단된다. 특히 전기적 스트레스가 반복적으로 가해질 경우, 히터의 발열 균일성이 저하되고 구조적 손상이 발생하여 장기 신뢰성에 심각한 영향을 줄 것으로 예측된다.

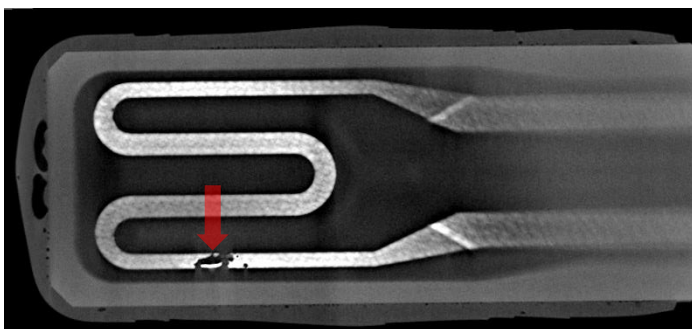
결론적으로, 신제품 개발 시 히터의 적정 인가 전압 범위를 평가하고, 전기적 스트레스에 따른 열화 메커니즘을 명확히 규명하는 것이 중요하다. 향후 세라믹 히터 기능이 적용된 신제품 개발 과정에서 전기적 스트레스 기반의 신뢰성 시험 모드를 추가하고, 히터 설계 단계에서 전압 제어 알고리즘을 최적화하여 내구성을 확보하는 것이 필요하다.

샘플	인가 전압(V)	결과	비고
정상조건	A	이상 없음	-
1	A+1	이상 없음	-
2	A+2	이상 없음	-
3	A+3	불량 발생 (히터 데미지)	정상 동작 40 초 이후 불량 발생
4	A+3	불량 발생 (히터 데미지)	정상 동작 50 초 이후 불량 발생
5	A+8	불량 발생 (히터 데미지+소자 크랙)	전압 인가 즉시 불량 발생

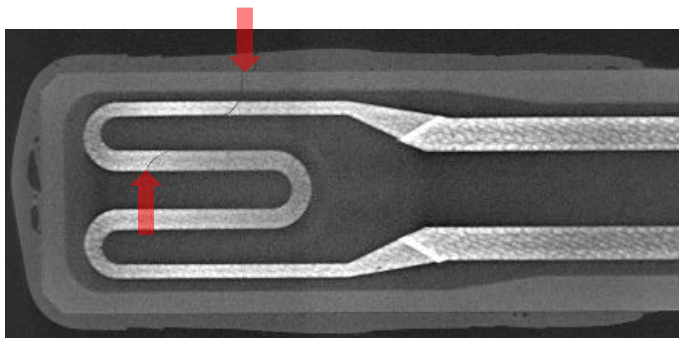
Table. 1 히터 회로에 인가 전압 크기에 따른 불량 형태



Picture. 1 정상조건 CT 촬영 자료



Picture. 2 불량품#4 CT 촬영 자료 (히터 데미지)



Picture. 3 불량품#5 CT 촬영 자료 (소자 크랙)