

차량용 폴리스위치의 단락유지에 따른 소손 특성 연구

Study on Burn-in Characteristics from Switching on-off of Auto Polyswitch

*#김원태¹, 박해원², 최만용², 박정학²

*W. T. Kim(kwt@kongju.ac.kr)¹, H. W. Park², M. Y. Choi², J. H. Park²

¹ 공주대학교 생물산업공학부, ² 한국표준과학연구원 삶의질 표준부

Key words : Polyswitch, Switching, Burn-in, Thermography, PTC

1. 서론

온도가 올라가면 저항이 함께 상승하는 PTC(Positive Temperature Coefficient) 특성을 갖는 PolySwitch는 전기전도성 폴리머로 이루어져 있으며, 부품의 교체 없이 반영구적으로 반복 사용할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이에 비해 전자제품의 과전류 보호용으로 사용되는 퓨즈(fuse)는 과전류가 흘렀을 때 1회용 보호소자로서 동작되며, 제품의 재동작을 위해서는 퓨즈의 교체가 불가피하다. 온도에 비례해 저항도 서서히 변화하는 일반 PTC와 달리 본 논문에서 고려하는 자기복구형(self- resettable) Polymer 구조로 이루어진 PTC 소자로 구성된 차량용 폴리스위치는 어느 순간부터 갑자기 저항이 높아진다. 폴리스위치는 기존의 퓨즈나 과전류 보호소자에 비하여 진동, 습기, 먼지 등의 열악한 환경조건에서도 우수한 특성을 갖고 있으며 작업성 등 설치 조건에서도 우수한 특성을 가진다. 또한 다양한 종류의 제품으로 공급 가능하여 어떤 형태 및 조건에서도 간단히 장착이 가능하다. 본 논문에서는 차량용 전자제품을 위한 기초연구로서 돌입전류가 흘러 급격히 온도가 상승되어 30Ω 이상 고 저항 상태로 되어 회로를 차단하는 역할을 하는 차량용 폴리스위치로부터 단락과 소손시험을 해석하고 고장분석을 예측하였다.

2. 돌입전류 효과¹

PTC 소자는 회로에 과전류가 유입되면 저 저항체에서 고 저항체로 변화되어 회로를 과전류로부터 보호하며 PTC소자의 Tripping 효과에 의해 구간 내에서 변형-열-에너지 변환 관계로부터 열-에너지 방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{m} C_p \frac{dT}{dt} = \frac{V^2}{R} - U(T - T_a) \quad (1)$$

여기에서, i 는 전류, R 은 PTC의 저항, C_p 는 비열, T 는 PTC의 온도, T_a 는 주위온도, t 는 시간, U 는 열전달계수, \dot{m} 는 PTC의 질량유동율이다. 식(1)로 부터 PTC에서의 온도변화는 회로로 유입되는 과전류에 의하여 발생하는 Joule열에 의해 야기되는 PTC 소자 내부 조직의 변화에서 기인한다. 소자 내부에서 발생하는 열량($Q = iR$)은 외부 공기로 방열되는 열량, $U(T - T_a)$ 를 제외하고는 $\dot{m} C_p \frac{dT}{dt}$ 양만큼의 온도가 상승하고 외기의 온도변

화가 없는 것으로 가정하면, $\frac{dT}{dt}$ 항은 0이고, 동작구간 내에서 온도-저항의 관계가 선형을 유지한다고 가정한다면, 선형방정식으로 취급하여 식(1)은 다음 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$Q = \frac{V^2}{R} = U(T - T_a) \quad (2)$$

본 논문은 적외선 열화상 카메라로 온도(T)를 측정하고 식(2)의 관계식으로부터 소손변형을 예측하게 된다.

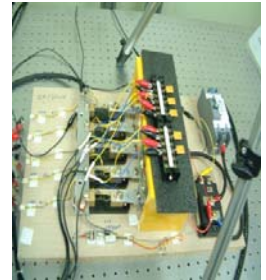
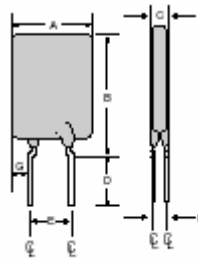
3. 시험장치 구성

열탄성효과를 이용하여 정확한 응력해석을 위해서는 식(2)에서 시험편의 단열조건과 일정한 주변온도를 유지하여야 한다. 본 연구에서는 시험편인 폴리스위치의 주변과 열적 평형상태를

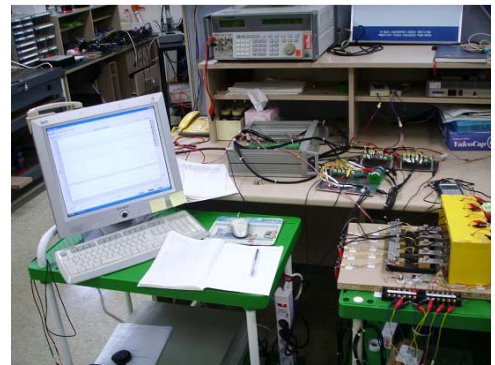
유지할 수 있도록 흑체처리를 하였으며, 대류, 복사의 외부 열원을 시험편과 차단하기 위해 일정한 내부온도와 방사율을 유지할 수 있는 챔버를 제작하여 시험하였다. 사용된 시험편은 AHR750으로서 시험편의 사양은 Table 1에 표시하였으며, 900개의 시험편에 대해 5개를 1조로 한 Multi-block recorder 시험장치 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Specifications of polyswitch for experiment

Rated Voltage	Current	Resistance	Max. Temp.
16V	7.5A	0.012Ω	170°C



(a) Geometry of PTC and multi-block recorder



(b) System configuration

Fig. 1 Experimental setup for characteristic testing

4. 열화상 해석

본 연구에 사용된 적외선열화상 감지시스템(ITDS; Infrared Thermography Detector System)은 7.5 ~ 13μm의 장파(Long Wave) 렌즈가 장착된 MCT (Mercury Cadmium Telluride) 센서를 사용하는 FLIR 사의 SC2000을 사용하였으며, 측정범위는 -40 ~ 500°C 이다, 온도 분해능은 ± 0.25 °C, 측정속도 1 frame/s로 온도변화에 대해 동기화하여 온도측정분해능을 개선하도록 하였다.² 열화상 시험은 먼저 특수처리된 black paint(NABAKEM)를 이용하여 시험편인 폴리스위치 모듈의 방사율을 1로 셋팅하고 측정하고자 하는 polyswitch의 hot point에서 온도를 예측하였다. ITDS에 의해 얻어진 열화상은 Therna CAM Researcher Pro 2001 S/W에 의해 온도분포에 대한 정량적 분석을 하였다.(Fig. 2)

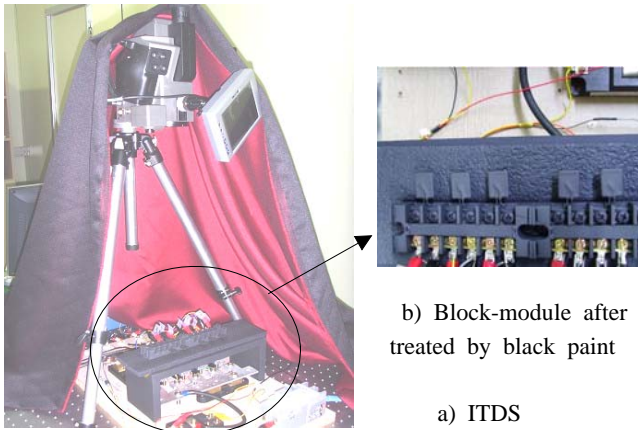


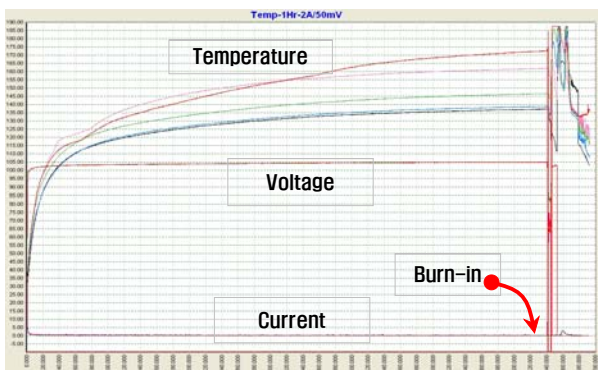
Fig. 2 Layout of thermography testing

5. 결과 및 토론

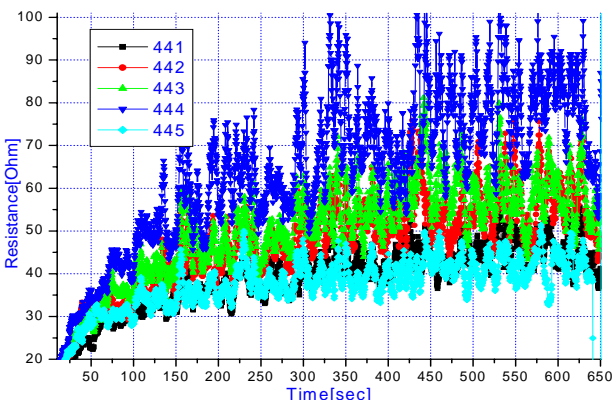
5.1 폴리스위치 특성시험

Fig. 3은 여름 중 차량 내가 90℃ 까지 상승하므로 챔버 내에 폴리스위치를 설치하고 90℃에서 30분 동안 회로 단락을 유지하면서 전류, 전압, 온도에 대해 폴리스위치의 단락유지 및 소손을 시험한 것이다. 그림 (a)에서 전압 V는 일정하나 저항 R이 커지면 전력이 적어지게 되어 온도상승이 서서히 증가한다. 그러나, 소손 시(445 case)는 다른 폴리스위치보다 저항이 적아 시간에 따라 온도가 증가할 때 저항이 미소하게 증가하고 있음을 그림(b)에서 나타나고 있다. 어느 한계점에 따라서 온도증가에 따라 저항이 증가하지 않음으로 공급전력($Q = V^2R^{-1}$)은 감소하지 않고 계속 유지하므로 누적된 열이 증가해 (a)의 적색 온도 상승은 더욱 심하여져 소손되었다(식2).

5.2 적외선열화상 시험



(a) Temperature vs. time



(b) Resistance vs. time

Fig. 3 Polyswitch characteristics curve

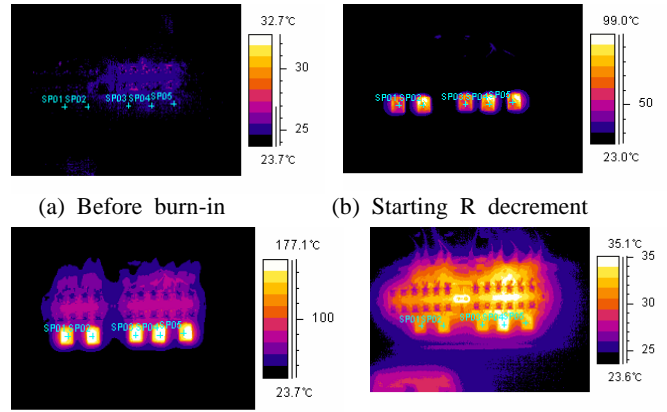


Fig. 4 Process of temp. variations using ITDS

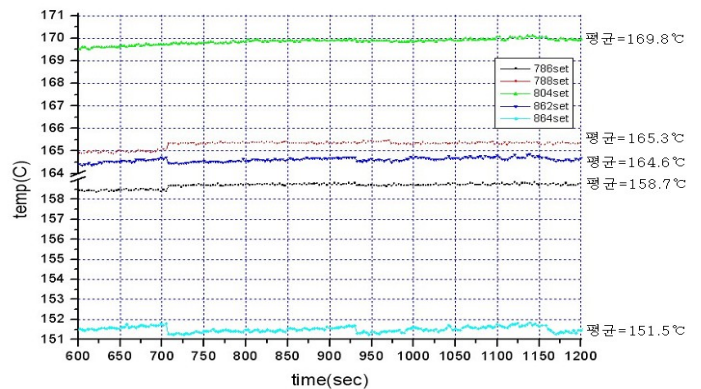


Fig. 5 Average temp. of each polyswitch from ITDS

Fig. 4는 적외선열화상을 통해 정상 작동상태를 정성적으로 도시한 것이다. 그림 (a)로부터 폴리스위치가 동작되어 온도가 상승해(b) 과도전류에 의해 회로가 차단되는 시점의 최고온도를 분기점(c)로부터 소손이 발생되고 최종적으로 소손된 상태(d)가 되는 과정을 보여준다.

Fig. 5는 polyswitch의 Hot spot으로부터 얻어진 온도의 평균값에 대한 시간에 따른 온도변화를 도시한 것이다. 돌입전류 후 어느 한계점에 도달하면 공급되는 열량과 폴리스위치 표면에서 자연 발산되는 열이 같아지면 온도상승은 더 이상 증가하지 않고 포화 온도상태로 유지된다. 폴리스위치의 미세한 저항값의 차이에 의해 최고온도에 차이가 있음을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 차량용 전장품에 적용되는 과도전류 차단회로인 폴리스위치에 대한 단락유지실험 및 소손의 특성을 분석하고 적외선열화상을 통해 열분포를 해석하였다. 연구결과로 시간에 따른 폴리스위치의 돌입전류에 따른 온도특성을 정량적으로 분석하였고 정성적 해석을 통해 돌입전류효과를 고려한 고장분석을 위한 체계적인 적외선 연구가 가능함을 보여주었다.

참고문헌

1. Circuit Protection Databook, Tyco Electronics Raychem Circuit Protection, 42-87, 2004.
2. 최만용, 강기수, 박정학, 김원태, 김경석, "적외선열화상을 이용한 결함측정 및 응력계측기술," 한국정밀공학회, 23권 10호, 30-35, 2006.
3. 김원태, 박해원, 최만용, 박정학, "폴리스위치에서의 단락 및 소손특성에 대한 적외선열화상 해석, 춘계비파괴검사학회논문집, 72-75, 2007.