

PST측면에서의 과전류 보호용PTC 소자의 개념 정립 및 Failure-Mode 분석

박 준호 (책임연구원)
LG 전자 품질센터 규격안전그룹

The Conception & Fail-Mode Analysis of PTC Thermistor for Over-Current Protection

Mr. Joon-Ho, Park / LG Electronics Inc., Q&R Center
pjoonho@lge.co.kr

< 요약 >

Circuitry to be connected to a Telecommunication Network consists of SELV CIRCUITS or TNV CIRCUITS. So International Standards, like as ITU-T Recommendation K.11, UL 1950, CSA C22.2 950 have been taken to reduce the risk that the Overvoltages from the power lines and from electrictraction lines, that may be received from the telecommunication network. Legal requirements may exist regarding permission to connect equipment having PTC components to a telecommunication network. Surge suppressors that bridge the insulation shall have a minimum d.c. sparkover voltage of 1.6 times the rated voltage or 1.6 times the upper voltage of the tared voltage range of the equipment. If left in place during electric strength testing of insulation, they shall not be damaged. In this work, The Conception & Fail-Mode Analysis of PTC components for Over-Current Protection is proposed. It guarantees the protection for PL Claim about this Subject.

1. 서 론

일반적으로 알려져 있는 과전류 보호소자로 적용되는 PTC Thermistor의 개념과 특성을 정리 하고 국제 규격(ITU-T,UL,BELLCORE등)에서 규정하는 많은 Surge Model중 일부를 적용 시험하여 얻은 결과를 통하여 PTC 소자 선택시 조금이나마 도움이 되었으면 한다.

2. 본 론

2.1 과전류 보호소자의 종류 및 특성

일반적으로 교환기 System에서 가입자 선로측인 전화기에 공급되는 전압은 -48V이다. 통상 선로 구간이 짧은 경우 80mA정도의 전류가 가입자 선로에 흐르며 교환기 시스템의 전원 전압 변동에 따라서는 약 20~130mA까지 변화한다. 그러므로 과전류 제한 소자의 특성은 최소 150mA이하의 전류에는 부동적 특성을 갖도록 설계되어야 하며 그 이상의 전류에서는 고속 차단하여 System을 보호할 수 있어야 한다.

통신 교환 시스템에서 과전류 보호 목적으로 이용될 수 있는 소자로는 Fuse, Heat Coil, Thermistor등이 일반적으로 많이 사용된다. Fuse는 값이 싸고 다양한 형태와 성능을 갖는 장점이 있으나 일회용으로 다시 복구하는 기능이 없어 시스템 운영상 과전류 보호 소자로는 적합치 않으며, 코일 저항선의 바이메탈 또는 히트 코일은 하절기 합체 내부의 온도 상승에 의해 이상 동작(선로 단락 현상)하여 가입자 선로의 불통 현상을 발생시킬 수 있으며 바이메탈의 유동에 의해 특성이 악화될 수 있다. PTC소자는 전자 통신 장비에서 과전류 보호 소자로서 주로 사용되며 회로에 주어진 임계치(Threshold)이상 전류가 흐르면 높은 저항값을 가지게 된다. 현재 널리 사용되고 있는 PTC소자에는 PolySwitch 와 Ceramic Thermistor이 있다. PolySwitch는 폴리 몰레핀, 불산수지등의 폴리머에 탄소(Carbon)등을 혼합한 것으로 평소에는 폴리머에 무수한 도전성 패스(Path)가 생겨 낮은 저항치를 얻는데 외부로부터 과전류가 유입되면 그 에너지에 의해 열이 발생(Joule열 $\propto I^2R$)하여 내부 폴리머의 팽창으로 도전성 Carbon Path가 끊어진다. 이로 인해 저항이 급격히 상승되어 전류를 제한한다. 특히, 최대 정격전압 이상이 유입되어도 NTC 특성은 없다. Ceramic Thermistor은 NTC Thermistor의 제조에 사용되는 바륨 티타늄($BaTiO_3$)을 기본 재질로 하여 만들어 지는데 특정 온도 이하에서는 Positive Temperature Coefficient특성을 가지지만, 그 온도 이상에서는 온도계수가 0 또는 Negative값을 가진다. 이처럼 PTC소자는 과전류 보호소자로서 통신 선로에 전류가 유입될시 과전류를 차단하는 것이 기본 기능이며 자기 복구형이므로 경제적이다.

2.2 PolySwitch & Ceramic Thermistor 특성 비교

Ceramic Thermistor($BaTiO_3$ PTC Thermistor)와 PolySwitch는 Positive Temperature Coefficient 특성을 가지며 과전류 보호 소자로서 사용된다. 그들의 특성과 기능은 여러 면에서 많은 차이가 있다. 열전도 특성이 좋은 Ceramic Thermistor은 Ba, Ti분말을 매우 높은 온도에서 태우고 소결(Sintering)함으로써 얻어지는데 10~1000 Ω 저항값 범위를 가진다. PolySwitch는 부도체인 Polymer 와 도전성의 Carbon의 혼합이 결합되어 얻어지며 1 Ω 이하의 저항까지 만들어 진다. 즉, Ceramic합성으로는 매우 낮은 저항값을 만들기가 어렵지만 PolySwitch는 수mm Ω 의 매우 낮은 저항값과 8~10A까지 Ihold값 제조가 가능하다. Ceramic Thermistor은 좋은 열전도 도체이므로 높은 저항값을 가지며 동작(Trip)하기 위해서는 PolySwitch보다 더 많은 시간이 요구된다. 즉, Ceramic Thermistor가 PolySwitch와 동일한 동작 시간(Trip Time)을 갖기

위해서는 더 높은 저항값이 요구된다. SMD형 Ceramic Thermistor을 사용 할 경우 Ceramic재질의 팽창계수(The coefficient of expansion)가 Epoxy와 Polymer의 팽창계수보다 작아 열을 받아도 크게 팽창되지 않는다는 사실을 고려해야 한다. Trip시 전력 소모는 PolySwitch경우 일정 전압 인가시 R_{Trip} (Trip상태의 저항값)변화가 거의 없으므로 소모전력이 일정하나, Ceramic Thermistor은 PolySwitch보다 Trip시 표면 온도가 높으며 동일 용량 대비하여 R_{Trip} 값이 PolySwitch에 비해 상대적으로 낮아 소모전력이 크다.

$$R_{Trip} \text{ (Trip시 소모전력)} = V^2 / R_{Trip}$$

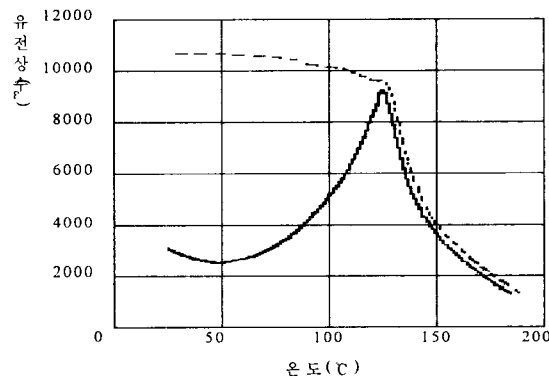
특히 Ceramic Thermistor의 가장 큰 단점으로 Curie Temperature이상에서 제조 Maker들에 의해 규정된 정격 이상의 조건이 가해질 때, NTC영역으로 들어가 더 이상의 과전류 보호 소자로서의 기능을 갖지 못하고 발화, 파괴등의 현상이 일어날 수 있다. 원인은 기본 재질인 BaTiO3이 Ferro-Electric Material로 높은 유전상수를 가지는데 Curie Temperature(순수 BaTiO3 : 124°C)근처에서 [그림1]과 같이 Curie-weiss Law을 따르기 때문이다.

$$\epsilon(T) = \frac{C}{T - T_c}$$

C : Curie Constant(12×10^5)

T_c : Curie Point

T : Operating Temperature

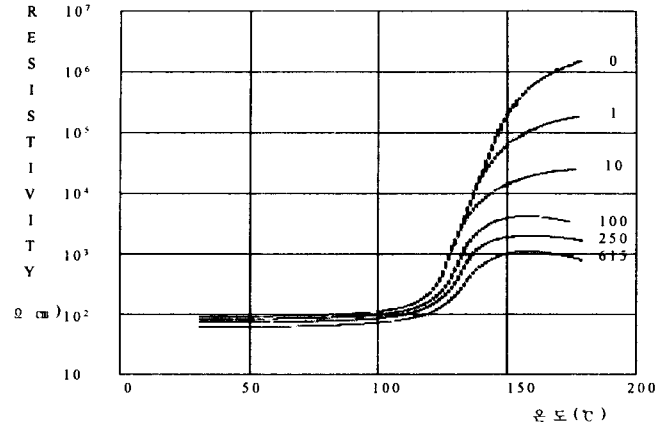


[그림2-1] 온도와 BaTiO3의 유전상수와의 관계

그림에서 실선은 저전계(10V/cm), 점선 Curve는 강전계 (3KV/cm)인 경우를 나타낸다. Curie Temperature이상에서 $\epsilon - T$ 기울기는 Negative가 되어 Ceramic PTC는 NTC기능을 보이는 영역으로 들어가게 되므로 사용시 반드시 고려되어야 한다. 기본 재질인 BaTiO3에 다른 금속원소를 배합함으로써 Curie Point 이동이 가능하다.

그리고 Ceramic Thermistor은 Barium Titanate를 기본 재질로 사용하기 때문에 구조상 공간 전하 영역(Space Charge Region)이 존재하여 AC Voltage 환경에서는 순수

Ohmic 저항보다는 용량성 저항 성질을 일반적으로 나타낼 수 있다. 따라서 주파수가 증가하면 저항값이 감소하게 되는 현상이 아래 [그림2-2]와 같이 발생한다.



[그림2-2] 주파수와 저항과의 관계

이러한 AC특성 현상은 Ceramic 계열의 PTC소자마다 정도의 차이는 다소 있지만 사용시 반드시 이 사실을 고려해야 한다.

기타 PolySwitch와 Ceramic Thermistor의 주요 특성에 대한 장단점은 아래 표로 정리하였다.

◆ PolySwitch & Ceramic Thermistor 특성 비교표

| NO | Properties | PolySwitch | Ceramic Thermistor |
|----|-----------------------------|------------|--------------------|
| 1 | Trip Time | ● | |
| 2 | Line Balance after Tripping | | ● |
| 3 | Resistance vs. Frequency | ● | |
| 4 | Power Dissipation | ● | |
| 5 | Lightening Withstand | | ● |
| 6 | Limited Number of Cycle | | ● |
| 7 | R Tolerance | | ● |
| 8 | Always PTC | ● | |

● : Advantage 특성.

3. 시험 항목 및 결과 분석

3.1 동작 수명 주기 시험(Cycle Life Test)

시험조건 : <MIL-STD-202>

250V, 2A, 1분 간격, 1초, 30회 인가 후 1시간 뒤 저항 변화율 측정

시험 결과

| 구 분 | Ceramic Thermistor | PolySwitch |
|-------------|--|------------------------------|
| 초기 저항 (Ω) | 18.56 ~18.93 | 17.63~17.86 |
| Test후 저항(Ω) | 17.84 ~18.82 | 23.61 ~25.63 |
| 변화율(%) | Min : -0.32% Max : -3.98% | Min : 32.10% Max : 45.05% |
| 비 고 | Ceramic PTC가 저항 변화율이 Polymer PTC보다 10배 이상 안정되어 있다. | |

1 시험조건 인가 후 PTC 소자의 기능검사(전류 Trip,500mA인가)시 정상적으로 동작하였음.

위의 시험 결과와 같이 Ceramic Thermistor 와 PolySwitch는 정격 내에서 지속적인 전류 값에 대해서는 기능상 이상 현상은 관찰되지 않았으며 단지 PolySwitch인 경우 전류 Trip후 저항 변화율이 Ceramic Thermistor에 비해 다소 높게 관찰되었다. 이 결과는 저항 Balance에 대한 자료로 이용 될 수 있다.

3.2 Surge Test 1

시험 조건 : <CCITT 1.21> 10/700μs, 1,500V Surge 1분 간격 + 10회, -10회 인가 후 1시간 지난 후 저항 변화율 측정

시험 결과

| 구 분 | Ceramic Thermistor | PolySwitch |
|-------------|--------------------|--------------|
| 초기 저항 (Ω) | 18.34 ~19.2 | 17.37 ~17.61 |
| Test후 저항(Ω) | 18.34 ~18.96 | 17.37 ~17.95 |

| | | |
|--------|---|----------|
| 변화율(%) | -1.5% 이하 | +2.5% 이하 |
| 비 고 | 시험 조건 인가 후 1시간이 지난 후 저항 측정시 다소 약간의 저항 변화만 있음. | 17.38 |

1 시험조건 인가 후 PTC 소 자의 기능검사(전류 Trip,500mA인가)시 정상적으로 동작 하였음.

위의 시험 결과와 같이 Ceramic Thermistor 와 PolySwitch는 10/700 μ s, 1,500V Surge에 대해 저항 변화율이나 기능상 양호한 결과가 측정 되었다.

3.3 Surge Test 2

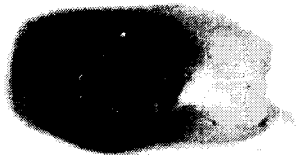
시험 조건 : FCC part 68 Lightning 의 강도를 높임. 10/560 μ s, 800V, 100A Surge를 1초간, 1분 간격 + 5회, -5회 인가 후 1시간 지난 후 저항 변화율 측정 및 전 류 Trip 시험(500mA 인가)

☆ FCC part 68 Lightning : 10/560 μ s,800V, 100A Surge 1분 간격, 1초간, +1회, -1회 인가

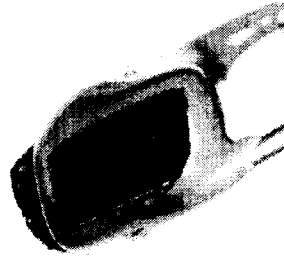
시험 결과

| 구 분 | Ceramic Thermistor | PolySwitch |
|-------------------|--------------------|---|
| 시료 정격 | 250V, 3A | 250V, 3A |
| 초기 저항(Ω) | 18.25 ~ 19.03 | 17.4 ~ 17.57 |
| 외관 검사 (Surge인가후) | 양호(5EA) | 양호(3EA) 외부Crack (1EA) Open(1EA) |
| 저항 변화율 (%) | \pm 3% 이내 | Min : 84% Max : 423% *Open 시료 제외 |
| DC 250V 500mA인가 후 | Trip됨(5EA) | 시료 4개중 Trip 동작 : 1EA Short \rightarrow Open : 3EA |

- 1 PolySwitch 시료중 Trip 동작한 시료는 Surge인가시 외부 Crack이 발생된 시료이며, Trip 동작 후 1시간 이후 측정된 저항값은 885%의 저항 변화 값을 가진다.
- 1 Short → Open 시료는 연소 과정(Short)이 지난 후 분리(Open)됨.
(천이 시간 : 5초 ~ 16분 13초)
- 1 Trip된 시료는 3 sec, Max 이내에 동작 되었음.



[그림4-1]



[그림4-2]



[그림4-3]



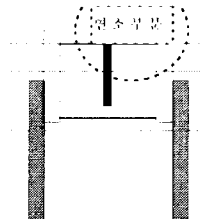
[그림 4-4]

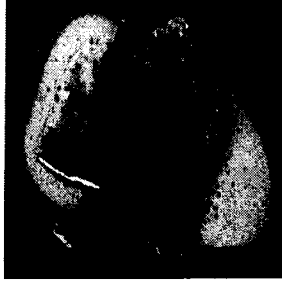
Polymer PTC는 Surge인가 후 DC 250V, 500mA 인가시 [그림4-1]~[그림4-4]처럼 발화 현상(Short)과 내부적으로 Crack 현상이 관찰되었다.

발화가 진행되는 동안 인가된 전압은 부하 저항에 모두 걸리고 500mA가 Trip Time(4~5초) 이후 에도 계속 흐르는 전기적 단락(Short) 현상이 관찰되었고, 연소 과정이 계속 진행되면서 결국 완전 연소 되어 개방(Open)되는 경우와 연소 도중 분리로 인하여 개방(Open)되는 경우로 시험이 종결되었다.

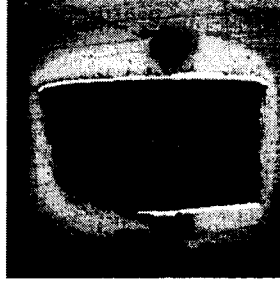
특히, [그림 4-1]의 PolySwitch의 연소 진행 과정을 알아보기 위해 시료를 단면 처리하여 마이크로 비전으로 확대 촬영하였다.([그림 4-5],[그림 4-6])

그림 4-5
그림 4-6



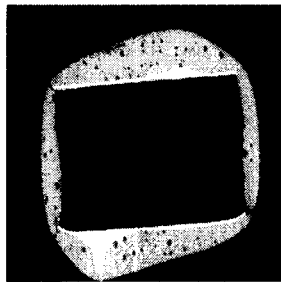


[그림 4-5]



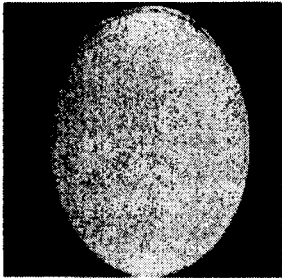
[그림 4-6]

[그림 4-5]와 [그림4-6]과 같이 외부 Surge에 의해 전극 인접 부분보다 전극간 사이의 중간 부분이 열적 충격을 가장 심하게 받아 Crack이 발생되었으며 PTC 소자에 과전류(500mA)를 유입했을 때 중앙 부분에서부터 전극으로 발화가 진행됨을 알 수 있었다.

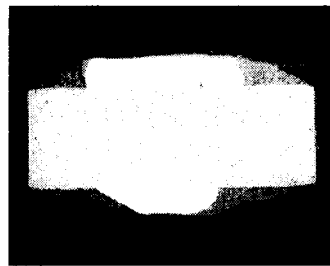


[그림 4-7]

PolySwitch는 시험 인가 조건에 의해 외형상 이상이 발견되지 않아도 내부적으로 심각한 Damage를 받았음을 단면 촬영 사진과 동작Trip시험 결과 확인할 수 있었다. [그림 4-7]은 Surge에 의해 손상된 단면을 보여 준다.



[그림4-8]



[그림4-9]

Ceramic Thermistor인 경우 동일 시험 환경하에서 특별한 현상은 관찰되지 않았으며 [그림4-8]과[그림 4-9]와 같이 Ceramic Thermistor의 종단면,횡단면 관찰 결과 내부적으로 Damage를 받지 않았고 전류Trip(500mA)으로 기능 검사를 한 결과 정상 동작을 하였다.

5. 결 론

본 논문은 과전류 보호소자로 널리 사용되고 있는 Ceramic Thermistor과 PolySwitch의 개념을 다시 정리하고 특성 비교 및 사용시 고려되어야 할 동작 특성을 Cycle Life Test와 Surge Test를 통하여 발생될 수 있는 Fail-Mode에 대하여 분석하였다.

Ceramic Thermistor은 적용시 발생될 수 있는 NTC 특성, 높은 표면 온도, 사용 주파수에 따른 AC 특성등이 충분히 고려 되어야 한다.

PolySwitch 경우 NTC 특성은 없으나 동작 후의 선간 Balance 특성, 초기치 저항 복귀 시간, Lightning Withstand 특성등이 고려 되어야 한다. 일반적으로 PolySwitch의 Fail-Mode가 Open-Mode로 알려져 있으나 FCC part 68 Lightning 규격의 Surge를 반복(+5회, -5회) 유입한 결과 내부적으로 손상을 입을 수 있으며, 추가로 정격 이내의 과전류(500mA)가 유입되어도 발화 현상으로 인한 전기적 단락(Short-Mode)현상 발생 가능성이 있음을 알 수 있었다. 그리고 Ceramic Thermistor인 경우 이번 실험에서는 특별한 정격 이상 상태(Fail-Mode)가 관찰되지 않았으나 정격 이상의 온도, 전류, 전압등 PTC를 Trip하는 요인이 유입될 경우 뜻하지 않는 이상 상태가 발생할 수 있다는 사실을 고려해야 할 것이다. 금번 검토에 적용한 4.3시험은 부품의 파괴 조건 인가를 통해 일어날 수 있는 현상을 고찰하기 위해 임의의 조건을 적용하였지만 일반적으로 알려진 PolySwitch의 Fail-Mode가 Open이라는 사실이 아님을 시험으로서 검증할 수 있었고, 실제 외부 Surge 환경에서 이러한 상황이 발생할 수 있으므로 이에 대해 충분한 검토가 이루어져야 할 것이다. Ceramic Thermistor와 PolySwitch 모두 각각의 장단점을 가지고 있으므로 사용 조건에 맞는 사양을 설계단계에서 충분히 검증하여 사용 용도와 환경에 맞게 적절이 선정되어야 할 것이다.