

저압계통의 단락전류 제한을 위한 PTC 소자 개발

강종성*, 이방욱*, 오일성*, 권윤혁**
 *LS산전 전력연구소, **LS전선 부품연구소

Development of PTC elements for limiting short circuit current
 in low voltage power systems

J.S. Kang*, B.W. Lee*, I.S. Oh*, Y.H. Kwon**
 *LS Industrial Systems, **LS Cable

Abstract - 일반적으로 저압계통의 고장전류를 차단하기 위해 설치된 차단기의 차단원리는 주로 역전압발생법을 이용하고 있다. 역전압발생법은 효과적으로 저압계통의 고장전류를 차단할 수 있으나, 제한된 한류성능과 긴 아킹 시간은 차단기는 물론 주변 전력기기에 전기적/열적/기계적 스트레스를 주게 된다. 국내의 업체는 고장전류를 보다 빠르고 효과적으로 제한 및 차단할 수 있는 한류형 차단기를 제안하고 있는 실정이다.

저압계통의 경우, 정온도계수(Positive Temperature Coefficient, PTC) 특성을 가지는 한류소자를 기존 차단기에 직렬 혹은 병렬로 연결하여 저압계통의 고장전류를 매우 빠르고 효과적으로 제한 및 차단하는 추세에 있으며, 또한 PTC 한류소자를 이용함으로써 저압계통의 차단보호협조를 효과적으로 구현하고자 하고 있다. PTC 한류소자는 소자는 열팽창이 큰 비전도성 성분과 열팽창이 작은 전도성 성분이 혼합되어 구성되며, 소자의 온도가 증가함에 따라 비전도성 성분이 상대적으로 큰 부피팽창을 하여 저항이 증가하게 된다. 이러한 PTC 소자를 전력계통에 적용함으로써 고장전류에 따른 줄열에 의한 저항증가로 고장전류를 제한하게 된다. 본 연구에서는 일반적으로 배터리 보호용으로 사용되는 폴리에틸렌 수지 및 카본블랙으로 구성된 폴리머 PTC 한류소자를 이용하여, 기존의 저전력 배터리 보호 폴리머 PTC 소자로부터, 저압계통의 단락사고시 발생하는 단락전류를 효과적으로 제한할 수 있는 대전력 폴리머 PTC 소자를 개발하였다.

1. 서 론

일반적으로 전력계통에는 낙뢰 및 지락, 단락과 같은 사고가 발생하면 평상시 부하전류에 비해 매우 큰 고장전류가 흐르게 되는데, 이 고장전류를 차단하기 위해서 다양한 차단기가 설치되어 있다. 저압계통의 경우, 고장전류 차단을 위하여 기중차단기(LVPCB, ACB) 및 배선용차단기 등이 설치되어 있는데, 이러한 차단기의 차단원리는 주로 역전압발생법을 이용하고 있다.

역전압발생법은 차단기 내부의 접점을 빠르게 분리하고 접점 사이에 발생한 아크의 전압강하를 인위적으로 매우 크게 증가시켜 고장전류를 제한하여 전류영점에서 차단하는 방식이다. 이 역전압발생법은 효과적으로 저압계통의 고장전류를 차단할 수 있으나, 고장전류를 제한하는 성능에 한계가 있으며, 상대적으로 긴 아킹시간은 차단기는 물론 주변 전력기기에 전기적/열적/기계적 스트레스를 주게 된다. 또한 지속적인 부하의 증가로 인해 저압계통의 단락전류는 점점 증가하는 추세에 있으므로 저압계통은 물론 고압계통에서도 고장전류를 보다 빠르고 효과적으로 제한 및 차단할 수 있는 한류형 차단기가 제안되고 있다.

저압계통의 경우, 한류형 차단기로서 기존 차단기에 초한류 유닛으로 불리는 약세서리를 취부하거나 기존 역

전압발생법을 개선한 차단기가 개발되고 있는데, 본 연구에서는 정온도계수(Positive Temperature Coefficient) 특성을 가지는 한류소자를 기존 차단기에 직렬 혹은 병렬로 연결하여 저압계통의 고장전류를 매우 빠르고 효과적으로 제한 및 차단하는 방식을 제안하며, 또한 PTC 소자를 저압차단기에 적용함으로써 저압계통의 차단보호협조를 효과적으로 구현하고자 한다.

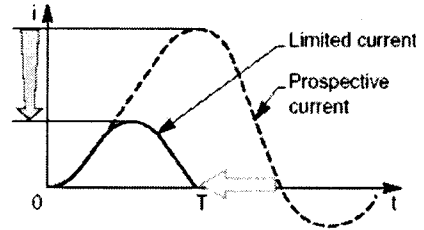


그림 1. 역전압발생법의 원리

2. 본 론

2.1 PTC 특성

PTC 특성은 소자가 특정 온도에 도달하면 상전이(Phase Transition)에 의해 온도에 비례하여 소자의 저항값이 급격히 증가하는 성질을 말하며 주로 복귀성을 갖고 있으며, 상전이 온도 변경이 가능하다. 이러한 PTC 특성을 가지는 PTC 소자는 크게 금속/세라믹/폴리머 PTC로 구분되는데, 본 연구에서는 주로 휴대폰 배터리 보호용 저전력 폴리머 PTC 소자를 이용하여 전력기기에 적용코자 하였다.

폴리머 PTC 소자의 경우 그림 2와 같이 열팽창이 큰 비전도성 성분과 열팽창이 작은 전도성 성분으로 구성되며, 비전도성 성분의 비결정 영역에 전도성 성분이 채우고 있다. 평상시 폴리머 PTC 소자는 전도성 성분이 서로 도전 통로를 이루고 있으므로 저항값이 매우 작으나, 온도가 상승하면 열팽창이 큰 비전도성 성분이 큰 부피팽창을 하여 전도성 성분의 연결고리를 대부분 끊어, 소자의 저항이 증가하게 된다. 이러한 현상을 트립이라고 하며, 트립이 발생하는 임계온도를 트립온도, 트립이 발생하는 임계전류를 트립전류라 한다. 그림 2에서 상온 영역에서는 PTC 소자가 팽창하지 않으므로 도전성 성분의 연결고리가 대부분 이어져 있다. 그런데 온도가 임계온도에 도달하며 도전성 성분의 연결고리가 대부분 끊어져 소자의 저항값은 급격히 증가함을 알 수 있다.

폴리머 PTC 소자는 전도성 성분의 입자 특성과 비전도성 성분의 온도에 따른 팽창률을 고려하여 원하는 온도에서 급격히 저항이 상승하도록 디자인 될 수 있으며, 주로 비전도성 성분으로는 폴리에틸렌, 에폭시 등이 사

용되고 있으며, 전도성 성분으로는 카본블랙, 니켈분말 등이 사용되고 있다.

현재 폴리머 PTC 소자는 주로 저전력 전기·전자 기기에 과전류 보호용으로 사용되고 있는데, 휴대폰 배터리 및 자동차 전장, 전자제품 PCB 등에 직렬로 연결되어 과전류 보호용으로 사용되고 있다. 폴리머 PTC 소자의 종류로는 사용 환경에 따른 형상별로 구분하는데, 배터리 보호용으로는 원통형 및 각형이 있으며, PCB 기판용으로는 RL형 및 SM형이 있다. 그림 3은 폴리머 PTC 소자가 제품으로 적용된 경우를 보여준다.

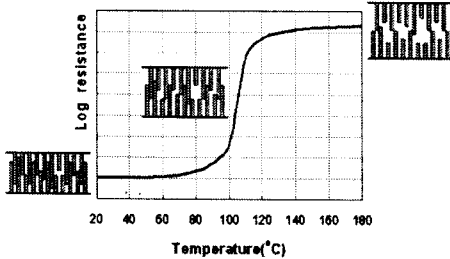


그림 2. 폴리머 PTC 소자의 동작원리

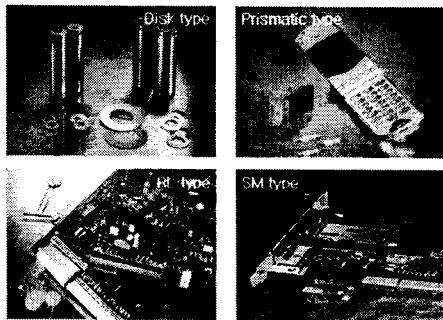


그림 3. 저전력 PTC 소자의 적용

2.2 PTC 소자의 전력기기 적용성

기존의 배터리 보호용 PTC 소자는 주로 배터리와 직렬로 연결하여 사용하므로 고장전류는 물론 정상시 부하전류도 PTC를 통해서 흐르게 된다. 그러므로 PTC 소자의 초기 저항값은 매우 작은 값이나, 부하전류에 의한 줄열은 항상 발생하고 있어, PTC 소자에 의한 전력손실 및 PTC 소자의 열화 현상이 발생하게 된다.

따라서 PTC 소자를 전력기기에 적용할 경우, 기존의 직렬연결뿐만 아니라 병렬 및 순차차단 연결 등이 제안되고 있다. 각 연결방식의 특징은 표 1과 같다. 표 1에 설명한 바와 같이 PTC 소자를 전력기기 특히 차단기에 적용하는 방법은 크게 세 가지 구분할 수 있는데, 직렬방식인 경우, 기존의 차단기 내부 혹은 외부에 차단기 접점과 직렬로 연결하는 방식으로써 적용이 용이하다. 하지만 접점과 직렬로 연결되어 있으므로 고장전류는 물론 정상시 부하전류(통전전류)도 PTC에 흐르게 되므로 PTC의 통전용량에 의해 적용범위가 축소된다. 따라서 이 방식은 주로 저전류 정격에 주로 적용된다.

이에 반해 순차차단 방식은 정상시 부하전류는 대부분 제 1 접점을 통해 흐르는데, 계통에 고장이 발생하여 고장전류가 흐르면 제 1 접점이 먼저 개리되고, 이 때 고장전류는 PTC 소자 및 제 2 접점 쪽으로 분류된다. 분류된 고장전류는 PTC 소자에 의해 제한되고, 제한된 고장전류는 제 2 접점이 차단 완료하는 방식이다. 하지만 순차차단 방식의 경우, 고장전류가 PTC 소자 쪽으로 분

류되기는 실제로 어려워 썬키와 같은 추가적인 장치를 필요로 하며, 또한 제 1 접점이 빠르게 개리되지 않으며 고장전류가 PTC 소자 쪽으로 분류하지 않는 단점이 있다.

현재까지 여러 선진 업체에서는 위의 세 가지 방식뿐만 아니라 다른 독특한 방식으로 PTC 소자를 차단기에 적용하는 연구를 진행하고 있다.

표 1. PTC 소자 적용방식 비교

	직렬	병렬	순차차단
결선법			
장점	구조 단순 적용 용이	구조단순 적용 용이	PTC 통전성능
단점	PTC 통전성능	추가스위치 필요	분류 문제 구조 복잡

2.3 대전력 PTC 소자 개발

일반적으로 폴리머 PTC 소자의 경우, 휴대폰의 배터리 등에 저전력 과전류 보호 소자로 사용되고 있는데, 본 연구에서는 기존의 폴리머 PTC 소자를 이용하여 전력기기에 적용가능한 대전력 한류소자를 개발코자 하였다. 또한 개발된 PTC 소자를 저압차단기에 적용하여, 접점간 아크발생을 최소화하고, 단락용량의 획기적 향상 및 장수명을 보장할 수 있는 저압차단기를 개발코자 하였다.

현재 ABB, SquareD, GE, Eaton 등의 선진업체들도 폴리머 및 세라믹 PTC 소자를 저압차단기에 적용하고자 하는 연구를 진행하고 있으며, 여러 가지 적용 방식에 대한 특허 및 논문들이 나오고 있다. 특히 ABB의 경우, 기존의 MMS, MCB 등의 차단성능을 높이기 위해서 PTC 소자를 모듈화 하여, 차단기 외부에 직렬로 연결한 제품을 출시하였으며, 또한 PTC 모듈을 MCC에 한류모듈로 적용하였다. 그림 4는 ABB가 개발한 PTC 한류모듈이다.

또한 SquareD의 경우, 금속 PTC 소자를 이용하여 순차차단 방식의 차단기를 세계 최초로 제안하였고, 순차차단 방식으로 저압차단기를 구성하여 우수한 한류 및 차단 성능을 구현하였다.

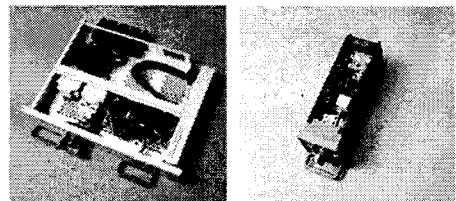


그림 4. ABB사의 PROLIM

2.3.1 저전력 과전류 보호 PTC 소자 특성

앞장에서 설명한 바와 같이 현재 폴리머 PTC 소자의 경우 배터리 및 PCB 기판에 주로 사용되고 있는데, 이러한 저전력 배터리 보호용 PTC 소자에 큰 고장전류를 인가하여 소자의 한류특성을 살펴보았다. 그림 5는 RL 타입의 PCB 기판용 폴리머 PTC의 한류특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 저전력 PTC 소자는 고장전류에 민감하게 반응하지 않으므로 제한된 고장전

류의 최대값은 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 그리고 트립이 발생한 이후에 양 극간에서 뿜어져 나온 전도성 분말로 인해 양 극간에 절연파괴가 발생하여 PTC 소자가 더 이상 고장전류를 제한하지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 고속카메라를 이용하여 소자의 트립을 촬영한 결과 트립이 발생할 경우 양 전극 사이에 전도성 분말이 비산될 뿐만 아니라 양 전극에는 전자반발력이 발생하여 양 쪽의 전극이 PTC 재료와 분리되는 것을 알 수 있었다. 따라서 PTC 소자를 전력기에 적용하기 위해서는 빠른 한류특성을 확보하고 양 극간의 절연파괴를 방지할 수 있으며 PTC 재료와 접촉된 전극의 분리를 막는 구조를 개발하였다.

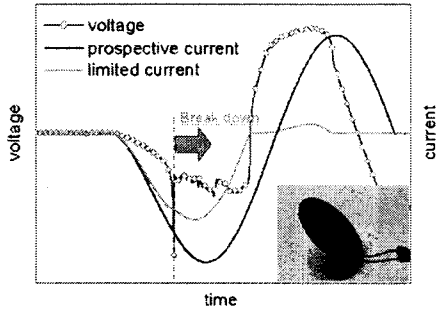


그림 5. 저전력 PTC 소자의 한류특성



그림 6. PTC 소자 트립현상

2.3.2 대전력 PTC 소자 특성

기존의 저전력 PTC 소자를 전력기에 적용하기 위해서 소자의 형상 및 재료 조성, 제조공정 등을 변경하여 대전력 PTC 소자를 개발하였다. 그림 7은 개발된 PTC 소자의 한류특성을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 개발된 PTC 소자는 매우 우수한 한류특성을 보여주며, 예상 고장전류가 증가함에 따라 PTC 소자의 트립속도도 증가함을 알 수 있다. 또한 제한된 시험전류의 최대값도 예상전류에 비례하여 약간 증가함을 알 수 있다.

개발된 폴리머 PTC 소자를 시험장치에 장착하여 자사의 단락발전기 시험설비에서 400V 100kArms의 단락전류로 한류시험을 하였다. 시험결과 400V 100kArms의 단락전류를 0.15ms 이내에 1.5kApeak로 제한하는 것을 확인하였고 기존차단기에 비해 소음이 적은 것을 확인하였다.

3. 결 론

지속적인 부하의 증가로 인해 저압계통의 단락전류는 점점 증가하는 추세에 있으므로 저압계통은 물론 고압계통에서도 고장전류를 보다 빠르고 효과적으로 제한 및 차단할 수 있는 한류형 차단기가 제안되고 있다. 본 연구에서는 일반적으로 배터리 보호용으로 사용되는 폴리에틸렌 수지 및 카본블랙을 이용한 폴리머 PTC 한류소자를 이용하여, 기존의 저전력 배터리 보호 폴리머

PTC 소자로부터, 저압계통의 단락사고시 발생하는 단락전류를 효과적으로 제한할 수 있는 폴리머 PTC 소자를 개발하였다. 개발된 폴리머 PTC 한류소자는 400V 100kArms 단락고장전류를 0.15ms 이내에 매우 작은 전류값으로 효과적으로 제한하는 것을 검증하였으며, 본 연구에서 개발된 PTC 한류소자를 이용하여 저압계통의 차단기에 적용할 계획이다.

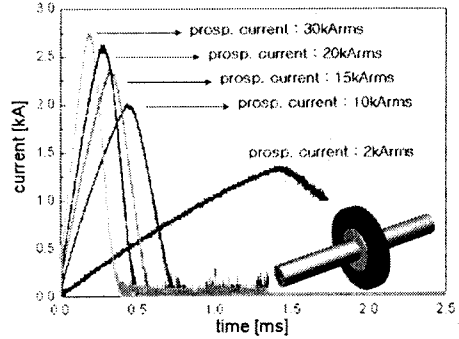


그림 7. 예상전류에 따른 한류특성

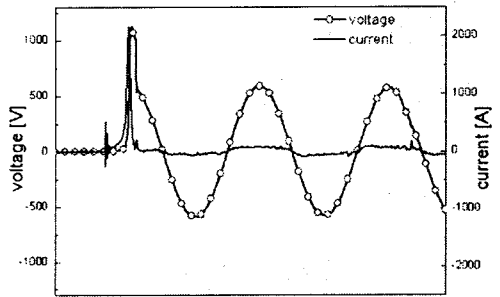


그림 8. 대전력 PTC소자의 한류특성

[참 고 문 헌]

- [1] W. W. Chen, "A method to achieve arcless interruptions in low current power circuits", IEEE Trans. Components and Packaging Technology, vol. 24, no. 3, pp. 363-369, September 2001
- [2] W. W. Chen, "A new approach to suppress arcing in current interruption", Proc. 44th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, pp. 87-92, October 1998
- [3] A. R. Duggal et. al., "High power current limiting with conductor-filled polymer composites", Proc. 44th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts, pp. 75-81, October 1998
- [4] R. Strumpler et. al., "Novel Medium Voltage Fault Current Limiter Based on Polymer PTC Resistors", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 14, no. 2, pp. 425-430, April 1999