

병렬아크의 고속 차단에 관한 연구

A Study on the High Speed Breaking of Parallel Arcing

김일권* 지홍근** 김성욱** 박대원*** 길경석§
Kim, Il-Kwon Ji, Hong-Keun Kim, Sung-Uk Park, Dae-Won Kil, Gyung-Suk

ABSTRACT

This paper dealt with high speed breaking method to parallel arcing in low-voltage systems. The proposed high speed breaking circuit consists of a Rogowski coil and an integrator, and operates with an earth leakage circuit breaker (ELCB). A parallel arcing state was simulated by a short circuit using stripped wires.

In this test, we analyzed tripping characteristics of the circuit breaker by the length of wires from 5m to 30m. From the experimental results, we confirmed that the proposed method can break the parallel arcing within a few millisecond.

1. 서 론

전기화재(electrical fire)란 전기로 인한 화재의 총칭으로 단락에 의한 과전류가 흐르거나 전선이나 전기기구의 절연성능이 악화되어 누전이 발생할 때, 주위의 가연성 물질을 통하여 발화되는 현상이다. 전기화재 통계분석에 따르면 과부하, 단락 및 누전사고가 전기화재의 주요 원인으로 분석되었으며^[1], 특히 이러한 사고는 짧은 시간에 고열을 발생시키는 아크를 동반하므로 선박, 항공기 및 철도와 같이 화재에 취약한 이동체에서 발생할 경우 막대한 인적, 물적 피해를 초래하므로 조기에 차단할 수 있는 적극적 방지대책이 요구되고 있다^[2].

일반적으로 퓨즈 및 배선용 차단기는 저압배전선로를 보호하기 위하여 사용되며, 과부하 또는 단락에 대응하여 전로를 차단함으로써 배선의 과열로 인한 화재의 위험을 감소시킨다^[3]. 그러나 이러한 장치는 과전류 또는 누전에 대해서만 동작할 뿐, 전기화재의 주요 원인인 아크에 대해서는 감지도 못할 뿐만 아니라 실제 화재로 상당히 진전된 상황에 대해서도 적절한 차단특성을 나타내지 못한다.

따라서 본 논문은 저압 옥내배선에서 발생하는 병렬아크에 대응하여 수 ms 이내로 동작할 수 있는 차단방법에 대하여 기술하였다. 제안한 고속도 차단회로는 아크로 인한 순시 대전류를 검출하기 위하여 과도전류에 포화되지 않는 로고우스키 코일(Rogowski coil)을 이용하였으며, 기존의 누전차단기 트립회로를 개선하여 회로의 구성을 간소화하였다.

2. 누전차단기의 트립특성

전기화재 예방을 위한 최선의 방법은 화재의 발생원인을 조기에 검출하고 이에 대한 적절한 대책을 마련하는 것이다. 이러한 측면에서 병렬아크에 대한 대응책은 아크 발생 즉시 전로를 차단하는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다.

* (주) 케이디파워 선임연구원, 정회원

E-mail : ilkwon@kdpower.co.kr

TEL : (02)6336-3781 FAX : (02)6336-3788

** 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 석사과정

*** 한국해양대학교 전기전자공학부 대학원 박사과정

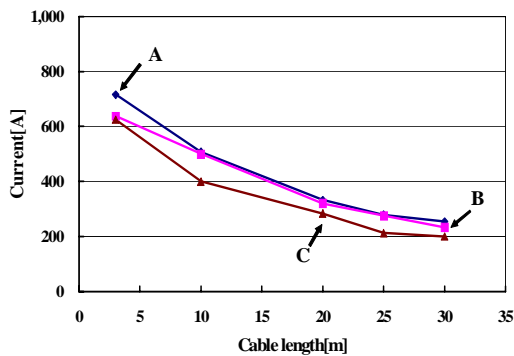
§ 한국해양대학교 전기전자공학부 교수

따라서 본 논문에서는 병렬아크에 대한 고속 차단방법에 대하여 연구하였으며, 이에 앞서 병렬아크에 대한 기존 차단기의 특성을 분석하였다.

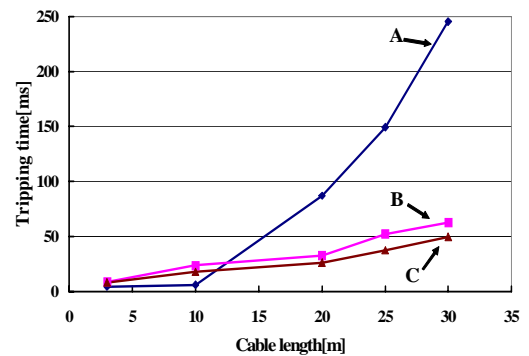
병렬아크전류를 제한할 수 있는 요소는 오직 고장점의 임피던스와 선로의 임피던스 뿐이다^{[4],[5]}. 따라서 본 연구에서는 배전선로의 길이를 고려하여 병렬아크가 발생한 상황을 모의하였다.

실험은 차단기와 말단 부하까지 배선의 길이를 고려하여 30m 이내로 제한하였으며, 방폭형 다이케스팅 외함내에 전원이 인가된 1.6mm 비닐절연전선을 서로 접촉, 강제로 단락회로를 구성하여 병렬아크 상황을 모의하였다.

그림 1은 제조사가 다른 3개의 차단기 A, B, C를 대상으로 병렬아크 발생에 따른 차단전류와 차단시간을 측정된 결과를 나타낸 것이다.



(a) 차단전류



(b) 차단시간

그림 1. 차단기의 특성

병렬아크 발생시 차단전류는 비록 케이블의 길이가 길어짐에 따라 감소하지만 약 200~700 A의 대전류가 검출되었다. 따라서 병렬아크의 검출센서는 이러한 영역에서도 충분히 포화되지 않아야 한다.

기존 차단기의 고장제거시간은 케이블 길이에 비례하여 증가하였다. 샘플 A를 제외한 B, C는 최대 50ms 부근에서 고장전류를 차단하는 비교적 양호한 결과를 나타내었으나, 화재를 예방하기 위해서는 고장 발생시 수 ms 이내의 고속도 차단이 필요하다.

3. 고속도 차단회로의 설계

병렬아크를 검출하기 위해서는 수 백 A 영역에서도 포화되지 않으며, 고속도 차단에 응용할 수 있도록 응답특성이 빠른 전류센서가 필요함을 확인하였다.

본 연구에서는 병렬아크에 의한 순시적 대전류를 검출하기 위하여 로고우스키 코일을 사용하였다. 로고우스키 코일은 1, 2차 코일간의 상호인덕턴스를 이용하여 전류를 측정하는 센서로서 코일 양단에 유기되는 전압은 다음과 같다.

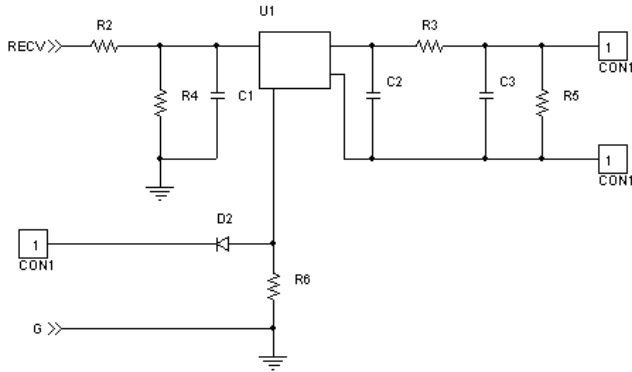
$$v(t) = \mu_0 \cdot n \cdot S \cdot \frac{di}{dt} [V] \quad (1)$$

여기서, μ_0 는 공기의 투자율, n 은 단위 길이당 코일의 턴 수, S 는 공심 코어의 단면적이다.

이는 기존의 CT(Current Transformer)와는 달리 공심 또는 비자성재료를 코어로 사용하기 때문에 대전류에 의해 자기적으로 포화되지 않는 장점이 있다. 또한 센서 구조 및 검출회로에 따라 검출감도 및 주파수 범위를 조절할 수 있는 특징이 있다.

그림 2는 본 연구에서 제작한 고속도 차단회로의 구성과 누전차단기 내에 적용한 사진을 나타낸 것이다. 로고우스키 코일을 아크전류 검출센서로 이용하였으며, 병렬아크 신호는 C3, R5에 의해 적분되

고 전류제한 및 고주파 노이즈 제거용 RC 필터(R3, C2)를 통과하여 양방향 도통소자인 U1에 인가된다. U1에 의한 전류에 의해 R6에 전압강하가 발생하며, 이 전압이 트립코일을 구동하기 위한 SCR의 게이트로 직접 인가된다.



(a) 회로도



(b) 사진

그림 2. 고속도 차단회로

4. 고속도 차단회로의 특성분석

일반적으로 누전차단기의 트립회로는 누전으로 인한 불평형 전류를 ZCT로 검출하고 전용의 IC를 이용하여 트립코일에 연결된 SCR을 턴-온(turn-on) 시켜 최종적으로 차단기를 동작시킨다.

본 연구에서는 병렬아크로 인한 아크전류를 고속도 차단하기 위하여 기존의 누전차단기를 이용하였으며, 트립코일을 여자시키기 위한 SCR 게이트에 전류신호를 직접 인가하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법은 트립코일을 여자시키기 위하여 전과정류된 전원전압을 이용하므로 SCR이 도통될 때 전원전압의 위상에 따라 트립코일을 여자시키기 위한 전류의 적분양이 달라진다. 이는 트립회로의 동작시간이 전원전압의 위상에 의존하는 것을 의미하며, 병렬아크용 고속도 차단회로를 구성함에 있어 이에 대한 영향을 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 SCR 게이트에 직접 파형발생기를 이용하여 턴-온 신호를 인가한 뒤, 전원전압의 위상에 따른 차단시간을 측정하였으며, 총 160회에 걸쳐 SCR 트리거 신호의 위상과 차단시간을 분석하였다.

그림 3은 총 160회에 걸친 실험결과를 그래프로 표시한 것이며, 그림에서와 같이 차단기의 동작시간은 전원전압의 반주기마다 대칭성을 나타내었다.

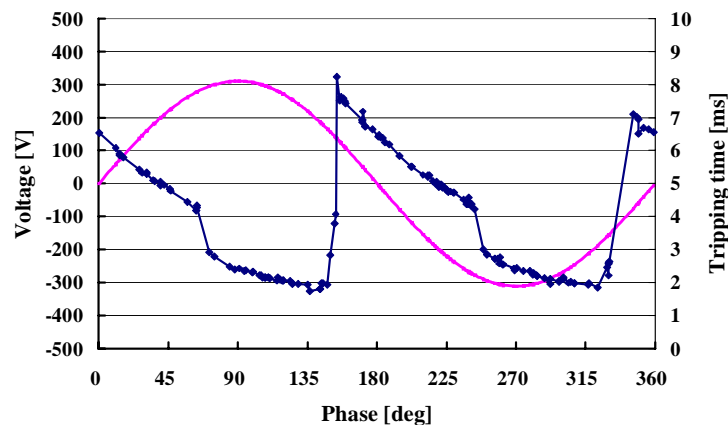


그림 3. 전원전압의 위상에 따른 차단시간

실험결과, 고속도 차단이 가능한 2~3ms는 위상 $70^\circ \sim 123^\circ$ 범위에서 가능하였으며 특히 위상 $125^\circ \sim 148^\circ$ 의 범위에서는 차단시간이 2ms 이내, 위상 136.65° 에서는 1.74ms를 기록하였다. 가장 짧은 차단시간이 위상 90° 가 아닌 136.65° 에서 나타난 것은 트립코일이 인덕턴스 부하이므로, 여자 전류가 전원전압에 비해 지상으로 흐르기 때문으로 판단된다.

그림 4는 병렬아크 발생에 따른 제안한 차단기의 특성을 분석하기 위한 실험계를 나타낸다. 그림에서와 같이 전원선에 차단기를 연결하고 병렬아크 발생장치를 통하여 강제 단락회로를 구성하였으며, 이 때의 전압, 전류신호를 측정, 분석하였다.

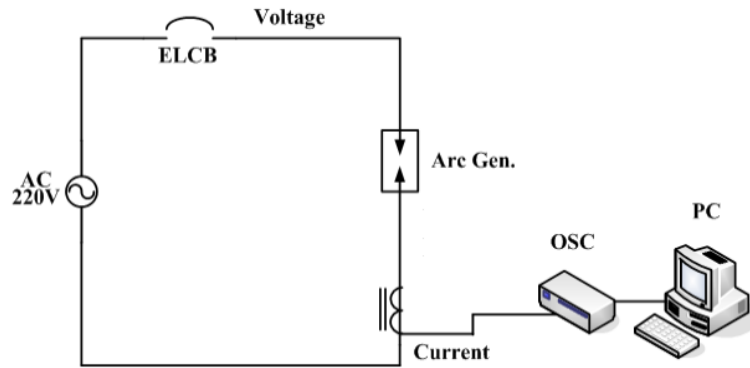
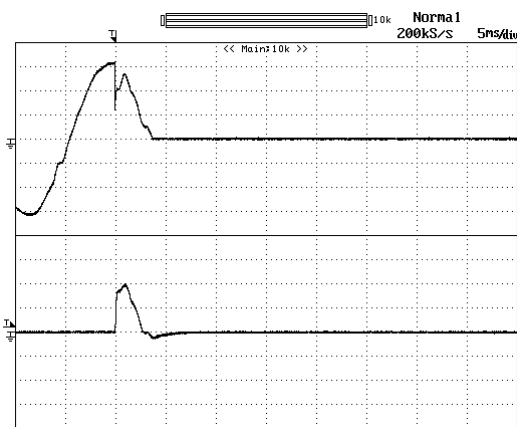


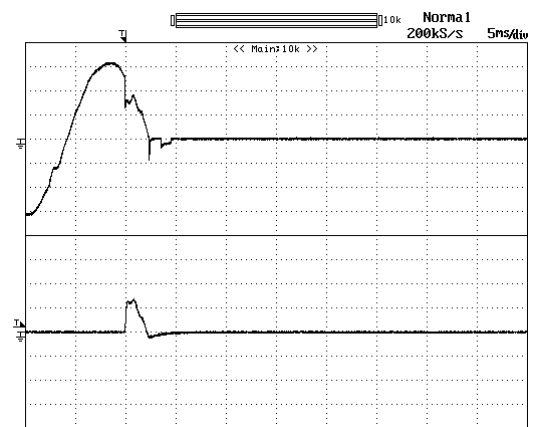
그림 4. 실험계의 구성

그림 5은 선로의 길이가 10m와 30m일 때, 병렬아크에 대한 개선된 고속도 차단기의 차단특성을 나타낸 파형이다. 그림에서와 같이 선로의 길이가 10m 일 경우는 병렬아크가 발생하여, 약 400A 펄스성 전류가 흘렀으며, 2.37ms의 차단시간을 나타내었다. 또한 30m의 경우 선로의 임피던스에 의해 전류는 약 250A로 줄었으며, 차단시간은 3.91ms로 다소 증가하였으나, 모두 5ms 이내의 우수한 차단특성을 나타내었다.



상 : 입력전압 [200V/div, 5ms]
하 : 부하전류 [200A/div, 5ms]

(a) 10m



상 : 입력전압 [200V/div, 5ms]
하 : 부하전류 [200A/div, 5ms]

(b) 30m

그림 5. AC 전압과 아크전류

이상의 실험결과로부터, 병렬아크가 발생할 경우, 정상상태와 확연히 구분되는 펄스성 대전류가 흐르는 것을 확인하였으며, 특히 본 연구에서 제안한 로고우스키 코일을 검출센서로 이용한다면 대전류에서도 포화되지 않을 뿐만 아니라 출력신호를 차단기의 트립신호로 적용할 경우, 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 저압배전선로에서 전기화재의 원인이 되는 병렬아크를 고속으로 차단하는 방법에 대하여 기술하였다. 이를 위하여 병렬아크에 대한 범용의 누전차단기의 차단특성을 분석하였으며, 실제 적용성을 고려하여 누전차단기의 트립회로를 이용하였다.

제안한 고속도 차단회로는 아크발생시 순시적 대전류에도 포화되지 않는 로고우스키 코일과 적분기 및 신호변환기로 구성된다.

다이캐스팅 외함내에 선로를 강제 단락시켜 임의적으로 병렬아크를 발생시켰으며, 선로의 길이에 대한 제안된 차단기의 특성을 분석하였다. 실험결과 병렬아크에 의하여 최대 400A의 높은 펄스성 전류가 흘렀으며, 30m 이내의 선로에서 모두 5ms 이내의 고속도 차단이 가능함을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. KESCO(2006), "A Statistical Analysis on the Electric Accident", KESCO Report Vol.15, pp.8
2. George D. Gregory, and Gary W. Scott(1998), "The Arc-Fault Circuit Interrupter : An Emerging", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34, No.5, pp.928
3. Chunlin Li, Francis Dawson, Hassan Kojori, Chris Meyers, and Edwin Yue(2003), "Arc Fault Detection and Protection-Opportunities and Challenges", SAE Technical Papers, 2003-01-3037, pp.591
4. Carlos E. Restrepo(2007), "Arc Fault Detection and Discrimination Methods", IEEE Conf. on Electrical Contacts, pp.117
5. George D. Gregory, Kon Wong, and Robert F. Dvorak(2004), "More About Arc-Fault Circuit Interrupters", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.40, No.4, pp.1006