

산화아연 피뢰기 소자의 다중 뇌 임펄스 특성

이복희, 강성만, 박건영, 최희성
 인하대 차세대 고전압전력기술연구센터

Effect of Multiple Lightning Impulse Currents on Zinc Oxide Arrester Blocks

Bok-Hee Lee, Sung-Man Kang, Keon-Young Pak and Hwee-Sung Choi

*Inha Uni. Research Center for Next-generation High voltage and Power technology,

Abstract - In this work, in order to investigate the effect of multiple lightning impulse currents on zinc oxide arrester blocks. We have been designed and fabricated a multi-impulse generator which can produce quintuple voltages with $1.2/50\mu s$ to 100kV and quintuple currents with $8/20\mu s$ to 12kA and we have evaluated the characteristics of zinc oxide arrester block using several electrical and physical methods after the multi-impulse test. It was found that the multi-impulse failures of ZnO arrester blocks were mainly caused by surface flashover and the multi-impulse currents test would be more suitable than single impulse current test in evaluation of the characteristics of zinc oxide arrester blocks corresponding to actual situations.

스에 대한 산화아연 피뢰기소자 파괴로는 연면섬락이 주를 이루고 인가한 뇌 임펄스의 극성에 따라 비대칭적으로 열화가 진행되는 것을 확인하였다.

2. 실험계 구성 및 방법

그림 1에 다중 뇌 임펄스 발생장치 및 측정계의 개략도를 나타내었다. 임펄스와 임펄스 사이에 약 40 ms의 시간간격과 5회의 다중도를 가지며, 파두시간과 파미시간의 크기가 약 $1.2/50\mu s$ 이고 최대 100 kV의 크기를 갖는 임펄스전압과 $8/20\mu s$ 이며 최대 12 kA의 뇌 임펄스전류를 발생시킬 수 있는 다중 뇌 임펄스 발생장치를 제작하였다.

1. 서 론

최신 전자기기는 서지에 대한 내전압 특성이 매우 낮은 IC, VLSI, 소형/고속 반도체 소자를 사용하여 만들므로 뇌 서지전압에 매우 취약하며 고장의 파급효과도 대단히 크게 나타난다. 그러므로 뇌 방전이나 스위치 조작에 의해 발생하는 과전압을 줄이거나 제거시킬 수 있다면 전력용 기기의 절연강도를 낮추고 보다 더 신뢰성 있는 전력공급이 가능해진다. 1900년대 초반에 스타인 메츠가(Steinmetz)가 최초로 콘덴서에 충전된 전하를 인덕터와 저항을 통해 방전시켜 $4/10\mu s$, $8/20\mu s$ 의 이중 지수형 파형을 만들 수 있는 뇌 임펄스전류 발생장치를 개발하였고 1920년대 Marx는 직렬로 연결된 콘덴서에 충전된 전하를 방전시켜 $1.2/50\mu s$ 의 이중 지수형 파형을 얻을 수 있는 임펄스전압 발생장치를 개발하였다. 그러나 이러한 발생장치는 한번의 방전 후 후속 방전을 위해서 재충전시간이 대략 1분여 정도가 필요한 단일 임펄스만을 발생시킬 수 있다. 다중낙뢰의 경우 뇌 격사이에 30~40ms의 시간간격을 가지며 평균 4회의 다중도를 갖는 것으로 알려져 있다. 이 재충전에 소요되는 시간은 다중낙뢰가 갖는 뇌격사이의 시간간격에 비해 매우 긴 시간이라 할 수 있다. 만일 피뢰기소자에 대한 임펄스의 영향이 후속 임펄스가 있기 전까지 지속되지 않는다면 상관없지만 임펄스에 의해 상승된 온도가 방열되는데 필요한 시간이 재충전하는데 걸리는 시간 이상이 되는 경우에는 뇌격사이의 시간간격이 매우 중요한 의미를 갖게 되는 것이다.

따라서 본 논문에서는 다중 뇌 임펄스 발생장치를 제작하여 산화아연 배전용 피뢰기소자에 대한 시험 후에 동작개시전압, 제한전압 등의 전기적인 특성변화와 방전 광측정 등의 물리적인 특성변화를 평가한 결과 뇌 임펄

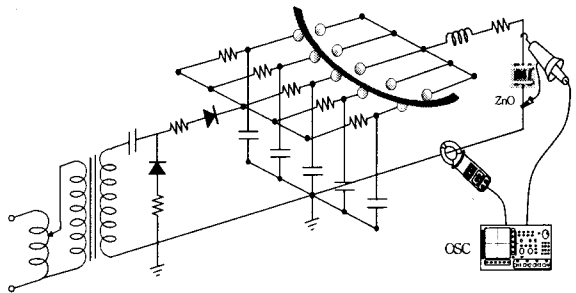


그림 1 다중 뇌임펄스 발생장치 및 측정계의 개략도
 Fig. 1 Schematic diagram of the multipulse lightning impulse generator and measurement system

다중 임펄스의 발생은 각각의 콘덴서에 충전되어 있는 전하를 추 스위치가 구갯을 사이를 지나감으로서 각각의 구갯을 점화하는 순차점화방식으로 얻어진다. 이 점화방식은 단순하지만 추의 중량과 높이 조절을 통해서 임펄스 사이의 시간간격을 30 ms에서 100 ms로 임의로 설정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 기계적인 트리거 배열이 임펄스의 사이의 정확한 점화 시간을 제공하지 못하지만 실제 다중뇌격의 발생이 정확한 시간간격을 가지지 못한다는 점에서 본 연구에서 적용한 기계적 점화방식은 다중뇌격 모의시험을 적용하는데 현실성을 잃지 않는다.

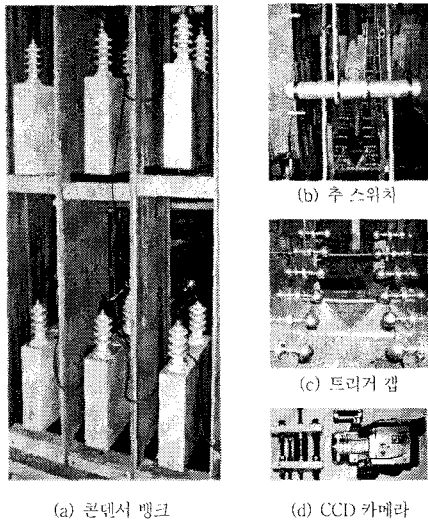


그림 2 다중 뇌 임펄스 발생장치의 사진
 Fig. 2 Photo. of the multipulse lightning impulse generator

그림 2에 다중 뇌 임펄스 발생장치의 사진을 나타내었다. 다중 임펄스전류의 측정은 주파수대역이 DC~16 MHz이고 최대 60 kA의 전류를 측정할 수 있는 로고우스 키코일 전류센서를 이용하였고, 다중 임펄스전압의 측정은 분압기를 이용하여 계측하였다. 파형의 기록은 1 GHz의 주파수대역과 2 Gs/s의 싱글샷 샘플링속도의 고분해능을 사용해 고속신호를 포착 및 관찰, 분석이 가능하며 표시, 저장 및 기록된 데이터를 수학적으로 조작이 가능한 4개 채널의 디지털 오실로스코프를 사용하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 다중 임펄스의 발생 및 측정

그림 3에 다중 뇌 임펄스 발생장치의 트리거 구급에서 방전순간의 화면을 촬영한 사진을 나타내었다. 방전현상의 촬영은 화소수가 1.3 Mega pixel이고 초당 30 프레임의 고속촬영의 기능을 갖는 CCD 카메라를 이용하였다. 그림 3(a)는 방전이 일어나기 직전이고 첫 번째부터 다섯 번째 방전사진을 (b)~(f)에 나타내었다.

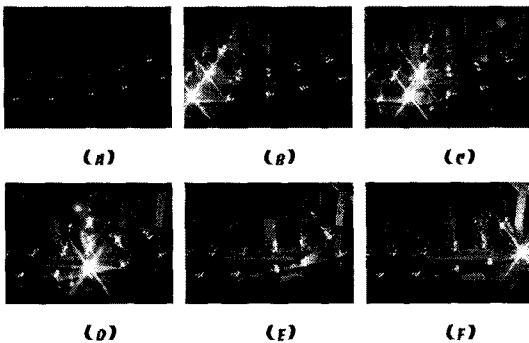
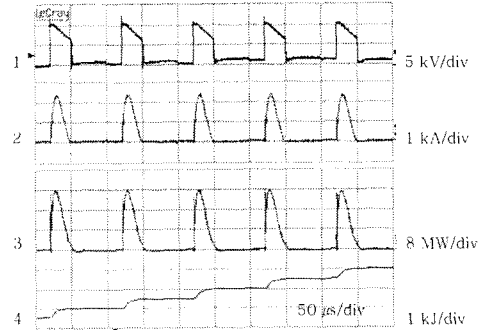


그림 3 다중 뇌임펄스 발생장치의 트리거 방전사진
 Fig. 3 Photo. of trigger discharge of the multipulse lightning impulse generator

다중 뇌 임펄스전압/전류 파형의 측정을 위해서 수십 μ s의 개개 임펄스의 파형을 감쇠 없이 정확히 측정함과

동시에 수백 ms의 동안 지속되는 전체 5개의 파형을 측정할 수 있는 다중 기록 분할을 통한 다중트리거 방식을 채용하였다. 첫 번째 파형이 입력되었을 때 측정할 데이터를 할당된 메모리에 저장한 후 다음 파형이 입력될 때까지 준비상태로 대기하고 두 번째 파형이 입력되었을 때에도 같은 방식으로 메모리에 저장하며 모든 방전이 종료된 뒤 각 메모리에 저장되어 있는 데이터 값을 소환하여 한 화면에 나타내는 방식을 채용하고 있다.



1) 제한전압 : 10.2 [kV] 2) 방전전류 : 2.4 [kA]
 3) 발생전력 : 23.5 [MW] 4) 흡수에너지 : 2.5 [kJ]

그림 4 다중 뇌 임펄스에 대한 산화아연 피뢰기소자에 나타나는 전압, 전류, 전력 및 에너지 파형

Fig. 4 Voltage, current and energy waveforms as the quintuple lightning impulse

다중도가 5회인 뇌 임펄스전류를 산화아연 피뢰기소자에 인가하였을 때 나타나는 전형적인 전압, 전류, 전력 및 에너지 파형을 그림 4에 나타내었다. 인가한 전류(2)와 제한전압(1)의 곱이 전력(3)이 되고 전력을 시간에 대해 적분하여 피뢰기 소자에 흡수되는 에너지(4)를 구할 수 있다. 시간이 지남에 따라 흡수에너지는 누적되어 증가하게 된다.

3.2 다중 뇌 임펄스 전압/전류특성

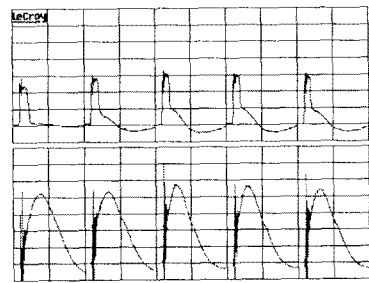


그림 5 산화아연 피뢰기소자 파괴 시 전압/전류 파형
 Fig. 5 Voltage and current waveforms as a result of the ZnO arrester block failure

그림 5에 산화아연 피뢰기소자 파괴 시 전압/전류 파형을 나타내었다. 이 파형에서 제한전압이 감소하고 따라서 방전전류가 증가함으로써 피뢰기소자가 파괴되었다는 것을 알 수 있다. 파괴된 피뢰기소자의 바깥부분에서 표면섬락의 흔적을 볼 수 있었고 표면이 과도한 열 때문에 녹아있었다.

3.3 방전 플라즈마의 형성

산화아연 피뢰기소자 표면섬락의 주요한 원인은 플라즈마의 발생, 피뢰기소자의 제조공정 및 조립과정에서 발생할 수 있는 표면코팅의 결함, 표면코팅의 유전특성, 피뢰기소자의 전극 가장자리의 금속이물질 및 표면의 습기 등으로 알려져 있다. 연속되는 다중 뇌 임펄스에 의해 피뢰기 소자의 금속 가장자리 근처에서 플라즈마가 발생하게 되고 이온화된 플라즈마는 임펄스 사이의 시간간격 40 ms 동안 재결합 하지 못하고 누적되기 때문에 60초의 시간간격을 갖는 동일한 크기의 단일 뇌 임펄스에서 발생하지 않는 표면섬락이 발생할 확률이 커지게 된다. 그림 6에 다중 뇌 임펄스에 의해 누적되어 나타나는 플라즈마의 발생 사진을 나타내었다.

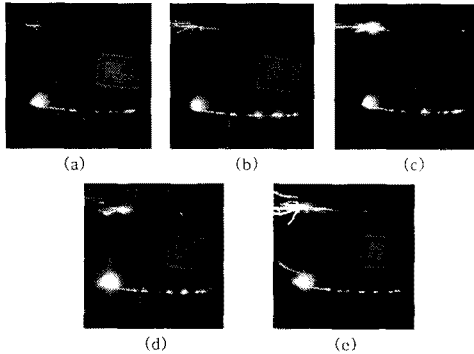


그림 6 다중 뇌 임펄스에 의한 플라즈마의 발생사진
Fig. 6 Photo. of plasma generation due to the multipulse lightning impulse

피뢰기 소자 파괴의 결정적인 이유는 선행된 임펄스의 수나 피뢰기 소자의 온도 (test 시작할 때의 온도)의 영향은 작았으나 임펄스 사이의 시간간격이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이는 다만 임펄스전류의 효과가 누적적이기 때문에 대부분의 바리스터의 표면섬락에 의한 것으로 나타났다. 즉, 그림 7의 산화아연 피뢰기소자의 파괴 시 방전사진에서 알 수 있듯이 동일한 단일 뇌 임펄스에서는 파괴되지 않은 피뢰기 소자가 다중 뇌 임펄스에 의해 파괴되는 것으로 알 수 있었다.

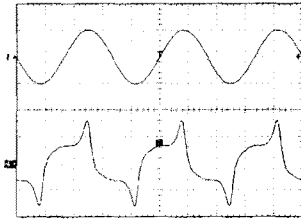


그림 7 다중 뇌 임펄스에 의한 표면섬락 사진
Fig. 7 Photo. of flashover due to the multipulse lightning impulse

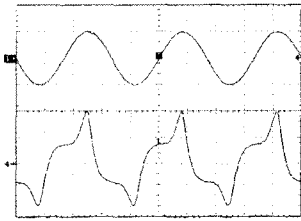
3.4 다중 뇌 임펄스에 의한 누설전류 특성

공칭방전전류가 2.5 kA인 산화아연 피뢰기소자에 다중도가 5이고 공칭방전전류의 4배의 크기인 10 kA의 다중 뇌 임펄스전류를 100회 인가한 후의 누설전류의 파형과 정상시료의 누설전류 파형을 비교하였다. 그림 8(a)에서 정상시료의 누설전류 파형은 정·부 대칭으로 나타나고 있지만 그림 8(b)의 다중 뇌 임펄스 열화시료의 누설전류파형은 비대칭적으로 나타났다. 정상시료의 누설전류와 비교했을 때 동일한 사용주파 교류전압에서 뇌 임펄스전류의 방향과 반대방향의 누설전류의 크기는 같았으나 뇌 임펄스전류의 방향과 같은 방향의 누설전류는 크게 나타났다. 즉, 직류전압에서의 동작개시전압이

임펄스의 극성에 따라 다르게 나타나기 때문에 뇌 임펄스 시험에 따른 정확한 동작개시전압의 변화를 조사하기 위해서는 교류전압을 통해 측정하거나 직류전압의 경우 양극성에 대해 측정해야 한다.



(a) 정상시료



(b) 다중 뇌임펄스 열화시료

상 : 인가전압 [5.0 /div]
하 : 누설전류 [0.5 /div]

그림 8 산화아연 피뢰기소자의 인가전압 및 누설전류의 파형

Fig 8 Applied voltage and leakage current waveforms of ZnO arrester block

4. 결 론

본 논문에서는 5회의 다중도를 가지는 다중 뇌 임펄스 발생장치를 제작하여 산화아연 배전용 피뢰기소자의 다중 뇌 임펄스특성 변화를 통해 열화양상에 대한 연구를 수행한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 뇌 임펄스에 대한 산화아연 피뢰기소자 파괴로는 연면섬락이 주를 이루고 인가한 뇌 임펄스의 극성에 따라 비대칭적으로 열화가 진행되었다.
- (2) 산화아연 피뢰기소자에 대한 다중 뇌 임펄스의 효과는 누적적이었으며, 임펄스 사이의 시간간격이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.
- (3) 산화아연 피뢰기에 대한 성능평가로는 단일 뇌 임펄스에 비해 다중 뇌 임펄스에 대한 평가가 보다 합리적인 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] Y. Fugiwara, Y. Shibuya, M. Imataki, "Evaluation surge degradation of metal oxide surge arrester", IEEE Trans, Vol. PAS 101, No 4, April 1982
[2] M. Darveniza, S. Lester, Y. Zhou, "Laboratory studies of the effects of multipulse lightning current on low voltage ZnO oxide varistors", IEEE conference, November, 1992
[3] M. Darveniza, D. Roby, L. R. Tumma, "Laboratory and analytical studies of the effects of multipulse lightning current on metal oxide arresters", IEEE Trans, Vol. 9, No 2, April 1994