

## 배전용 변압기 고압측으로의 뇌서지 전파

(Propagation of Lightning Surges toward primary Side of Distribution Transformer )

이복희, 이수봉\*, 김병근, 이승철, 이동문, 정동철

(Bok-Hee Lee · Su-Bong Lee\* · Byoung-Gun Kim · Seung-Chil Lee · Dong-Moon Lee · Dong-Cheol Jeong )

### Abstract

The importance of the improving quality of electric power is being strongly raised, owing to an increasing use of sensitive and small-sized electronic devices and system. The transient overvoltage on low-voltage AC power distribution system are induced by direct or indirect lightning return strokes, and those can cause damage and/or malfunction of the utility system for home automation, office automation and factory automation as well as medical equipments. The behavior of lightning surge transferred to the primary side from the primary side in distribution transformers were experimentally investigated, the protection effect of low voltage SPD installed at the secondary side of distribution transformers was analyzed.

### 1. 서론

현대의 고도정보화 사회에 있어서는 전력이나 통신 등 인프라설비의 낙뢰 피해는 국부적인 설비 자체의 피해가 아니라 산업, 경제, 행정, 금융, 의료 등 모든 분야에 심각한 영향을 미치게 되므로 피해의 범위도 매우 넓으며, 경제적 손실도 막대하다. 세계적인 기상이변으로 인하여 낙뢰의 발생빈도도 많아지고 있으며, 이로 인한 재해도 증가하고 있는 추세이다. 고도화된 전력설비나 정보통신 설비를 비롯하여 산업경제 등의 넓은 분야에 있어서는 집적회로로 구성된 컴퓨터와 이것에 연계되어 있는 주변장치가 설비운영의 중추를 이루고 있으며, 이로 인한 중앙 및 공기업의 저압 전원선의 뇌파 전압 조사가 특별히 관심을 끌고 있다. 과도 이상전압의 수 많은 조사는 다양한 환경에서 수행되었다. 특히, 통신선과 컴퓨터 전원선에서의 과도 이상전압은 많이 연구되었다. 그럼에도 불구하고 저압 배전선에서의 과도 이상전압은 잘 알려지지 않았다.

본 논문에서는 뇌임펄스 전압이 배전용 변압기 2차측(저압측)으로 입사하였을 때 배전용 변압기 1차측(고압측) 피뢰기의 설치 유무에 따라 변압기를 거쳐 1차측으로 이행되는 뇌서지의 특성을 분석하였다. 또한 뇌서지 억제를 위한 배전용 변압기 1차측의 피뢰기와 배전용 변압기 2차측에 설치한 저압전원용 SPD의 보호효과를 조사하였다.

### 2. 측정장비 및 방법

가공 배전선에서 뇌격이 침입할 수 있는 위치와 가공 배전선에서 뇌서지 보호장치의 전형적인 설치위치의 예를 그림 1에 나타내었다. 뇌에 의한 과도 과전압 보호를 위한 보호장치는 크게 배전용 변압기 1차측에 연결되어 있는 피뢰기와 수용가의 인입선 말단, 기기나 설비에 설치된 SPD, 배전용 변압기 2차측에 설치되어 있는 SPD로 나눌 수 있다. 또한 뇌격은 배전용 변압기의 1차측 활선이나 중성선에 침입하거나 배전용 변압기 2차측 인입선을 통하여 침입하는 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 배전용 변압기 2차측 인입선을 통하여 침입한 뇌격이 배전용 변압기 1차측으로 전파되는 양상과 배전용 변압기 2차측에 설치한 저압전원용 SPD의 보호효과에 대하여 조사하였다.

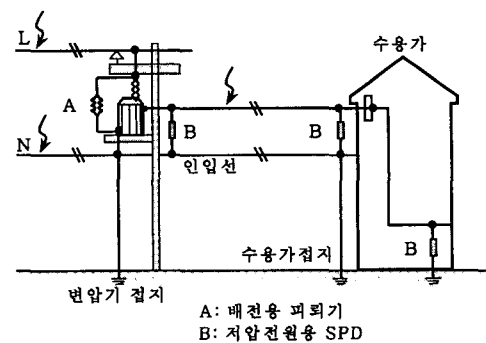


그림 1. 뇌격의 위치와 뇌보호장치의 전형적 적용 예  
Fig.1. Location of lightning strike and example of typical application of lightning protective devices

배전용 변압기의 1차측 피뢰기의 설치 유무와 배전용 변압기 2차측 인입선에 저압 전원용 SPD를 설치한 경우에 배전용 변압기 2차측 인입선에서 배전용 변압기의 1차측으로 이행되는 뇌서지의 특성을 평가하기 위한 실험 측정계를 그림 2와 같이 구성하였다. 실험에서는 IEEE Std.587에 의해 요구되는 시험 전압과 전류 파형으로 1.2/50  $\mu$ s, 8/20  $\mu$ s 뇌임펄스전압과 전류를 발생시킬 수 있는 조합형 임펄스전압과 전류 발생장치를 이용하였다. 그림 2에서 R은 배전용 변압기 접지저항이고, 25  $\Omega$ 으로 유지하였다. 실험에서는 1.8 kV, 2.5 kA 배전용 산화아연 갱tm 피뢰기와 22.9 kV, 10 kVA 배전용 변압기를 사용하였다. 또한 배전용 변압기 2차측에 설치한 저압 전원용 SPD(surge protective devices : SPD)는 동작개시전압이 470 V인 산화아연 바리스터를 사용하였다.

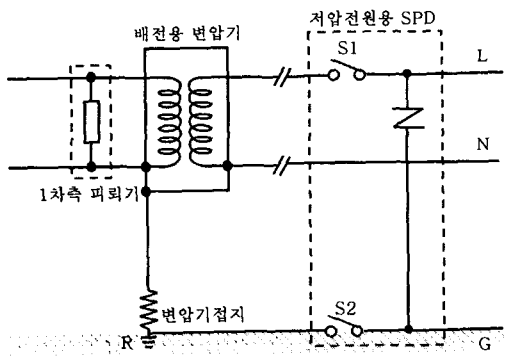


그림 2. 실험회로  
Fig.2. Experimental circuit

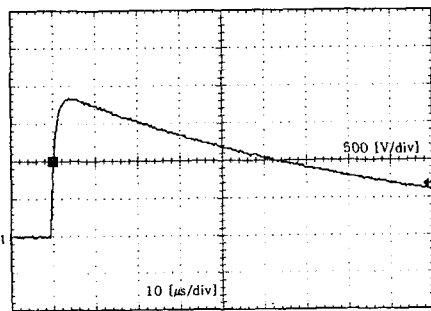


그림 3. 시험전압 파형  
Fig.3. Test voltage waveform

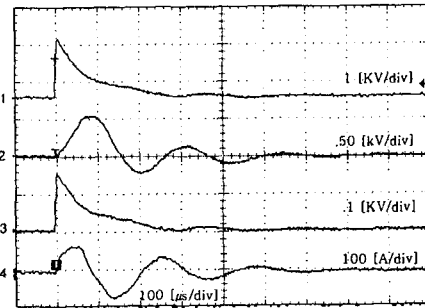
배전용 변압기 2차측 인입선의 인가전압은 L상과 G상 사이에 인가하였고, 배전용 변압기의 1차측으로 전파되는 뇌서지는 변압기 1차측 L상과 G상 사이에서 측정하였다. 또한 배전용 변압기 1차측 피뢰기의 설치유무에 따른 뇌서지의 전파와 저압 전원용 SPD를 설치한 경우에 전파되는 뇌서지의 양상을 분석하였다. 이 때

저압 SPD를 설치한 경우는 스위치 S1, S2를 닫은 경우이다. 인가전압 및 전류의 측정에는 각각 고전압 프로브와 대전류 프로브를 사용하여 측정하였고, 배전용 변압기 1차측으로 전파되는 뇌서지는 수 ns의 상승시간과 200 MHz의 주파수 대역을 가지는 용량성 전장센서를 이용하여 측정이 가능하였다. 실험에 적용한 시험전압 파형을 그림 3에 나타내었다.

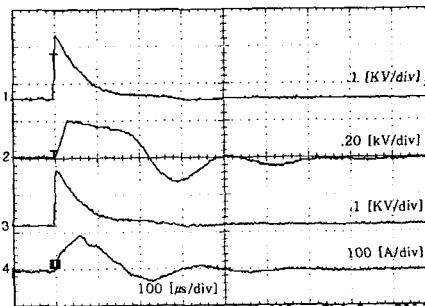
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 배전용 변압기 1차측 피뢰기의 설치유무에 따른 뇌서지 이행특성

그림 4는 배전용 변압기 2차측 인입선에 1.2/50  $\mu$ s의 뇌임펄스 전압을 인가하였을 경우 인가전압, 배전용 변압기 1차측 이행전압, 배전용 변압기 2차측 L-N상 전압, 방전전류에 대한 측정파형을 나타내었다.



(a) 피뢰기 미설치



(b) 피뢰기 설치

1 : 인가전압 2 : 배전용 변압기 1차측 이행전압  
3 : 배전용 변압기 2차측 L-N상전압 4 : 방전전류

그림 4. 배전용 변압기 1차측 피뢰기의 설치 유무에 따른 뇌서지전압과 전류파형

Fig.4. Waveforms of lightning surge voltage and current according as the surge arresters at the primary side of distribution transformers were present or not

배전용 변압기 1차측에 피뢰기를 설치하지 않고

1.2/50  $\mu$ s 뇌임펄스전압을 1.5 kV 정도 인가한 경우 배전용 변압기의 권수비(1 : 60)에 의하여 1차측으로 약 58 kV의 전압이 이행되는 것으로 나타났다. 인가전압을 증가시키므로서 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압은 증가하는 양상으로 나타났으나 인가전압을 2 kV 이상으로 가했을 경우 100 kV 이상의 전압이 배전용 변압기 1차측으로 이행됨으로 인해 배전용 변압기 1차, 2차 권선과 변압기 외함 사이에서 절연파괴가 발생하여 2 kV 이상의 전압은 인가가 불가능하였다. 배전용 피뢰기가 설치되지 않은 경우 이행되는 전압은 배전용 변압기 1차 권선과 2차 권선, 권선과 접지사이의 표류정전용량에 의해 감쇠 진동하는 것으로 사료되며 배전용 변압기 1차측 이행전압 파형 파두부분의 상승시간은 배전용 변압기 1차 권선과 2차 권선의 인덕턴스에 의해 상당히 느리게 나타나는 것으로 보여 진다. 또한 인가전압을 배전용 변압기 인입선의 L상과 G상에 인가함에 따라 저압 수용가의 L상과 N상 사이에 인가전압과 거의 동일한 크기의 전압이 유도되어짐으로 그에 따른 보호가 필요한 것으로 사료 된다

배전용 피뢰기를 배전용 변압기 1차측에 설치한 경우 배전용 변압기 2차측 인입선에 인가전압을 증가시키에 따라 이행되는 전압은 피뢰기가 동작함으로 인해 피뢰기의 동작개시전압만큼의 전압이 나타났다. 수 kV 이상의 전압에서도 피뢰기의 동작으로 변압기 내부의 절연파괴에 의한 변압기 오손 등의 문제에 대비할 수 있다. 그림 5에 피뢰기의 동작에 의해 전압은 제한하고 전류를 방전시키는 전형적인 특성이 잘 나타나 있다.

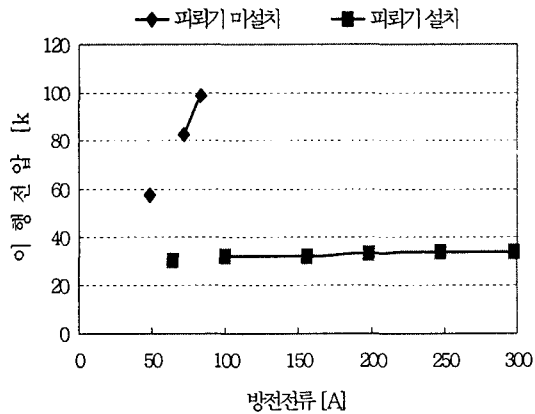
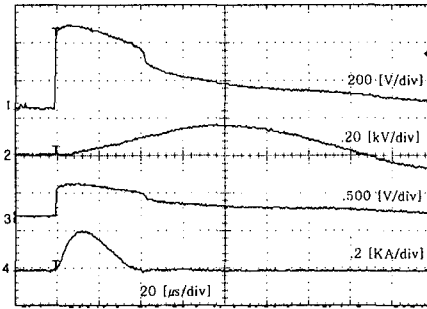


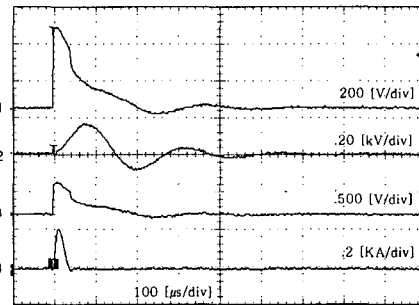
그림 5. 배전용 변압기 1차측 피뢰기의 설치 유무에 따른 뇌서지전압의 특성  
 Fig. 5. Characteristics of lightning surge voltage according as the surge arresters at the primary side of distribution transformers were present or not

### 3.2 배전용 변압기 2차측 인입선에 설치한 저압전원용 SPD의 보호효과

배전용 변압기 2차측 인입선의 L-G상사이에 1.2/50  $\mu$ s의 뇌임펄스전압을 인가한 경우 저압 전원용 SPD의 설치에 따른 SPD의 보호효과를 나타내는 인가전압, 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압, 배전용 변압기 2차측 L-N상에 유도되는 전압, 방전전류에 대한 파형을 그림 6에 나타내었다. 또한 저압 전원용 SPD의 정확한 전압과 전류 특성을 나타내기 위해 시간범위를 20  $\mu$ s와 100  $\mu$ s로 조절하여 파형을 취득하였다.



(a) 20  $\mu$ s



(b) 100  $\mu$ s

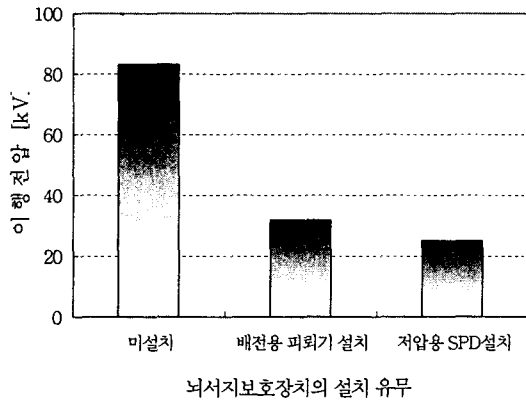
1 : 인가전압    2 : 배전용 변압기 1차측 이행전압  
 3 : 배전용 변압기 2차측 L-N상전압    4 : 방전전류

그림 6. 배전용 변압기 2차측 인입선에 저압 전원용 SPD가 설치된 경우 뇌서지전압과 전류파형

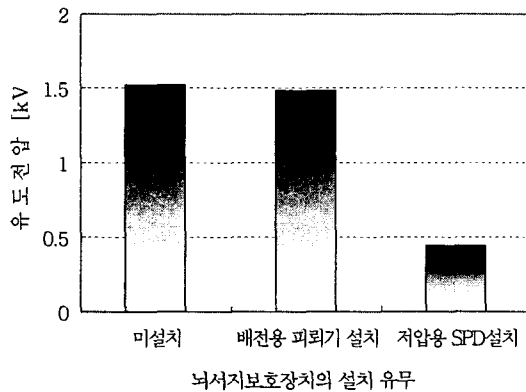
Fig. 6. Waveforms of lightning surge voltage and current in the case that a low voltage SPD was installed at service drop of secondary side of distribution transform

앞 절에서 배전용 피뢰기의 설치 유무에 따라 배전용 변압기 2차측 인입선에 뇌임펄스전압을 인가한 경우 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압에 대한 결과에 따라 배전용 변압기 2차측 인입선의 L-G상에 저압 전원용 SPD를 설치하여 뇌임펄스전압을 인가하였다. 그 결과 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압은 저압 전원용 SPD를 설치함으로 인해 SPD를 설치하지 않은

경우나 배전용 피뢰기가 설치된 경우에 비해 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압이 다소 낮게 나타났다. 이는 저압 전원용 SPD가 동작함으로써 SPD의 동작 개시전압만큼 전압을 제한하고 대부분의 전류를 변압기 접지를 통해 흘려줌으로서 실제 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압이 낮게 나타난 것으로 사료된다. 또한 배전용 변압기 2차측 인입선의 L-G상에 저압 전원용 SPD를 설치함으로써 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압과 배전용 변압기 2차측 L-N상에 유도되는 전압을 동시에 제한하는 효과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 양상을 그림 7에 나타내었다.



(a) 배전용 변압기 1차측 이행전압



(b) 배전용 변압기 2차측 L-N상 유도전압

그림 7. 저압 전원용 SPD 설치에 따른 벼서지 보호효과  
Fig.7. Protection effect of lightning surge according to the installation of low voltage SPD

#### 4. 결론

본 논문에서는 배전용 변압기 1차측의 배전용 피뢰기의 설치 유무에 따라 변압기를 거쳐 1차측으로 이행되

는 벼서지의 특성을 분석하고, 벼서지 전압의 억제를 위한 배전용 변압기 2차측 인입선에 설치한 저압 전원용 SPD의 보호효과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 배전용 변압기 1차측에 배전용 피뢰기를 설치함으로써 벼서지전압을 억제할 수 있으며, 저압측에서 이행되는 벼서지로 인한 변압기 내부의 절연파괴로 인한 변압기의 오손 방지에 효과적이다.

(2) 배전용 변압기 2차측 L-G상사이에 저압 전원용 SPD를 설치함으로써 배전용 변압기 1차측으로 이행되는 전압과 배전용 변압기 2차측 L-N상에 유도되는 전압을 동시에 제한하는 효과가 나타나는 것을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] IEC 61643-12, "Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems- Part 12 : Selection and application principles" , First edition, 2002-02, pp.113~117.
- [2] IEC 61643-1, "Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems- Part 1 : Performance requirements and testing methods" , First edition, 1998-02, pp.3~37.
- [3] IEC 60364-3, "Electrical installation of buildings- Part 3: Assessment of general characteristics" , Second edition, 1993-03, pp.11~15.
- [4] B. Richter, "Surge protective Devices for Low-Voltage Power Distribution Systems, -The New IEC-Standard and First Experience with It" , Proc. 23rd ICLP, Paper No.7C-1, pp.764~767, 1998.
- [5] 이복희, 이수봉, 이동문, "배전용 변압기를 통한 저압전원선으로의 벼서지 전파", 한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, pp. 468~471
- [6] 이복희, 이동문, 이수봉, "배전용 변압기를 통하여 저압 전원선으로 전파되는 벼서지", 한국조명·전기설비학회 논문지 Vol. 17, No.4, pp. 94~99 July 2003