

## 저압 전원계통 접지방식별 뇌서지보호성능

(Protection ability for lightning surge according to the grounding system of low voltage power systems)

이복희 · 이규선 · 최종혁 · 유양우 · 김동성 · 강성만\* · 안창환\*\*

( Bok-Hee Lee · Gyu-Sun Lee · Jong-Hyuk Choi · Yang-Woo Yoo · Dong-Sung Kim · Sung-Man Kang · Chang-Hwan Ann )

인하대학교 IT공대 전기공학과, 대한전기협회\*, 인하공업전문대학\*\*

### Abstract

The grounding system of low voltage power systems is TT grounding system in Korea. In order to follow the international standard, TN grounding system is adopted. However, the performance of grounding systems has not been evaluated. This paper deals with the experimental results of protection ability of grounding system when lightning surge invades to the neutral line of low voltage power system. As a result, the TT grounding system is most frail for the lightning surge and it does not protect the electrical devices. On the other hand, the TN grounding system perfectly protects the electrical equipment and prevents the electric shock for human through the equipotential bonding. In case of TN system with supplement grounding, it is very important to lower the supplement grounding resistance to protect the electrical equipment and electric shock for human.

### 1. 서론

우리나라의 저압수용가의 접지시스템은 전기설비 기술기준에 따라 제 1종, 2종, 3종 및 특별 3종의 개별 접지방식인 TT계통을 따르고 있다[1]. 하지만 최근에 국제화, 글로벌화에 따라 전기분야에서 IEC 규격과의 부합화가 진행되면서 세계적인 추세인 TN 접지시스템이 국내에 도입되게 되었다. 이에 따라 한국산업표준으로 TN계통의 적용을 권장하고 있는 IEC 62305와 IEC 60364 등을 규격의 변경없이 받아들인 상태이다[2][3]. 하지만 아직까지 우리나라에서는 개별접지방식인 TT계통과 TN계통에 대한 접지성능이 제대로 평가되지 못한 상태이고 접지시스템이 변화되는 과정에서 기존의 TT계통과 TN계통이 공존하였을 때 발생할 수 있는 문제점 등의 기술적인 검토와 평가가 수행되지 못한 상태이다. 접지시스템에 대한 성능평가는 뇌서지에 대한 보호성능, 감전에 대한 보호성능, EMI/EMC를 고려한 성능평가들이 수행되어야 한다[4]. 본 논문에서는 저압수용가에 가장 큰 피해를 발생시킬 수 있는 뇌서지가 중성선에 침입한 경우에 대하여 각 접지시스템별 기기보호 및 사람이 기기를 접촉하고 있는 경우에 대한 감전보호에 대하여 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험계의 구성 및 방법

저압수용가에 뇌서지가 침입한 경우 접지시스템의 보호접지성능을 비교 평가하기 위하여 TT접지방식과 TN접지방식 및 TT계통에서 TN계통으로 접지시스템이 전환되면서 발생할 수 있는 TN추가 접지에 대한 실험내용과 결과를 기술하였다. 그림 1은 뇌서지 성능평가를 위한 실험계를 나타내며, SW1만 닫힌 경우 수용가의 접지시스템은 TT계통이 되고, SW2만 닫힌 경우 TN계통이 되며, SW1과 SW2가 동시에 닫힌 경우 TN계통의 접지시스템에 추가적으로 접지를 한 경우를 모의하게 된다.

단독수용가를 모의하는 그림 1의 실험계에서 주상변압기를 모의한 절연변압기의 2차측과 단독수용가를 모의하는 실험계의 프레임(C) 사이에 임펄스전류를 인가하여 기기외합과 중성선 사이의 전위차를 평가하였다. TT계통에서 3종 접지저항 또는 TN계통에서 추가접지저항의 역할을 하는 20Ω의 접지극을 시공하였으며 무유도 탄소피막저항을 직렬로 연결하여 접지저항을 20Ω, 50Ω, 100Ω으로 바꾸어가며 실험을 진행하였다. 또한 TT방식과 TN방식에서 bc사이를 연결하여 등전위본딩을 한 경우에 대한 실험을 추가로 진행하였다. 임펄스전류의 크기에 따른 보호성능을 평가하기 위해서 20MHz의 주파수대역을 갖고 5kA까지 측정이 가능한 전류프로브(Pearson 110)를 이용하여 인가전류를 검출하였으며, 4.4kV, 200MHz의 측정범위를 갖는 고전압차동 프로브를 이용하여 전위차를 검

출하였다. 프로브에 검출된 신호는 2.5G/s, 500 MHz의 성능을 갖는 디지털 오실로스코프를 통하여 측정하였다.

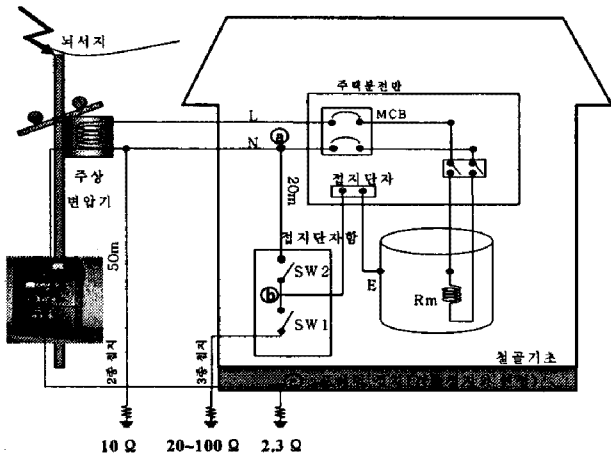


그림 1. 단독 수용가의 뇌서지 성능평가를 위한 실험계 구성  
 Fig. 1. Experimental set-up to evaluate the protective ability of independent house for the lightning surge

## 2.2 TT계통의 뇌서지 보호성능

그림 1에서 SW1을 닫고 SW2를 열어 모의 수용가의 접지시스템이 TT계통이 되도록 하였다. 주상변압기의 수용가측과 수용가건물의 프레임 사이에 임펄스전류를 인가하였을 때의 인가전류, 중성선과 기기외함사이의 전위차( $V_{ab}$ ), 중성선의 전위상승( $V_{ac}$ )의 파형을 그림 2에 나타내었다. 측정된 파형에서 100A의 전류를 인가하였을 때 중성선의 전위상승과 중성선과 기기외함 사이의 전위차가 동일한 파형을 나타내었으며 1.36kV의 전압피크로 나타났다.

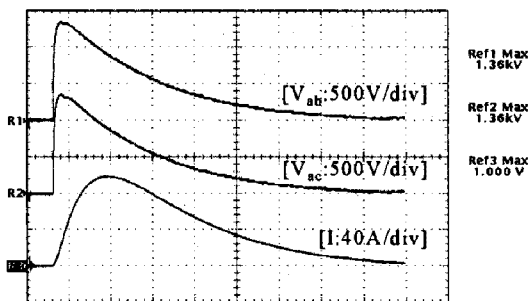


그림 2 TT계통의 접지시스템에 중성선에 임펄스전류를 인가한 경우의 인가전류,  $V_{ab}$ ,  $V_{ac}$  파형의 예  
 Fig. 2 Examples of waveforms for injected current,  $V_{ab}$ ,  $V_{ac}$  when the impulse current is injected to neutral line of TT grounding system

측정된 전위와 전류의 파형을 이용하여 인가전류의 크기에 따른  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$ 의 측정결과를 그림 3에 나타내었다. TT접지시스템의 경우 그림 1에서

SW2가 열려 있어 인가된 임펄스전류가 제 3종 접지로 흐르지 않고 모두 제 2종 접지로 흐르기 때문에 ab 사이에 인가전압이 거의 그대로 나타나며, 제 3종 접지저항에 상관없이 인가전류가 증가할수록 ab의 전위차가 계속 증가하였다. 이는 곧 TT계통의 서지가 중성선에 침입한 경우 중성선의 전위상승이 중성선과 기기외함 사이에 그대로 인가되는 것을 의미하며, 서지전압이 기기의 절연내력 보다 클 경우 전기기기의 절연파괴가 발생하게 된다.  $V_{ac}$ 는 중성선의 전위상승(중성선에 인가된 서지전압의 크기)을 의미하며 인가전류의 크기에 따라 선형적으로 증가였다.  $V_{ac}$ 에서  $V_{ab}$ 를 빼준 bc의 전위차( $V_{bc}$ )는 사람이 전기기기의 외함을 접촉하고 있는 경우 인체에 가해지는 전압이라 할 수 있으며,  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$ 가 거의 동일하기 때문에 bc의 전위차는 크게 발생하지 않았다. 하지만, 만약 기기의 절연파괴가 발생되면 서지전류가 제 3종 접지로 흐르게 되어 전위상승에 의한 전위차가 기기를 접촉하고 있는 사람의 인체에 가해질 수 있기 때문에 인체의 안전도 보장할 수 없게 된다. 3종 접지저항( $R_3$ )이 0Ω인 조건은 제 3종 접지와 프레임 연결하여 등전위분당을 의미하며 이 경우 프레임의 접지저항이 0Ω에 가깝게 된다. 실험조건상 제 3종 접지와 건물에 연결된 프레임접지사이의 약간의 전위차가 발생하기 때문에 인가전압인  $V_{ac}$ 와  $V_{ab}$ 가 완벽하게 일치하지 않았으나 등전위인 경우 그 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 TT계통에서 중성선에 서지가 침입한 경우 기기의 절연파괴를 일으킬 수 있고 이 경우 사람이 기기를 접촉하고 있을시 3종 접지저항의 크기에 따라 감전의 위험까지 있기 때문에 그에 대한 대책이 요구된다.

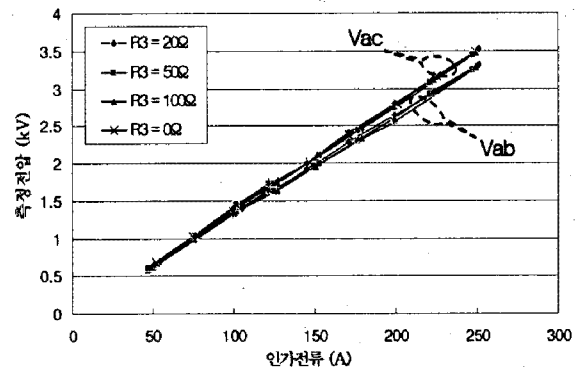


그림 3 TT계통의 접지시스템에서 접지저항과 인가전류의 크기에 따른  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$   
 Fig. 3  $V_{ab}$  and  $V_{ac}$  according to the magnitude of the injected current and ground resistance for TT grounding system

### 2.3 TN계통의 뇌서지 보호성능

중성선과 보호도체가 분리된 TN-S계통에서 중성선에 뇌서지가 인가되는 것을 모의하기 위해 그림 1에서 SW1을 열고 SW2를 닫아 수용가의 전기설비의 접지들이 보호도체에 연결되도록 하였다. TT계통과 동일한 위치에 임펄스전류를 인가하고 인가전류,  $V_{ac}$ ,  $V_{ab}$ 를 측정하였다. 그림 4는 TN계통에서 중성선에 인가된 임펄스전류와  $V_{ac}$ ,  $V_{ab}$ 의 파형을 나타낸다.

그림 4(a)는 TN계통에서 접지단자와 프레임의 접지가 분리된(등전위본딩이 되지 않은) 경우에 대한 결과를 나타낸다. TN계통의 경우 그림 1에서 SW1이 열려 있기 때문에 전류는 모두 제 2종 접지로 흐르게 되고 ab에 전류가 흐르지 않게 되기 때문에 전위차가 발생하지 않으리라 예상할 수 있다. 그림 4(a)에서  $V_{ab}$ 는 매우 작은 전압을 갖는 파형이 측정되었는데 이는 전선에 유도된 전압이라 판단되며 ab에 전류를 측정할 결과 전류는 전혀 흐르지 않는 것으로 나타났다. 그림 4(b)는 TN계통에서 프레임이 접지단자에 직접 접속되어 등전위화가 된 경우의 결과파형을 나타낸다. 이러한 경우 임펄스전류가 제 2종 접지로 흐르거나, 본 실험의 조건에서는 건물 접지를 통해 흐르게 되나  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$ 는 모두 전선에 흐르는 전류로 인한 전압강하만이 나타나게 된다.

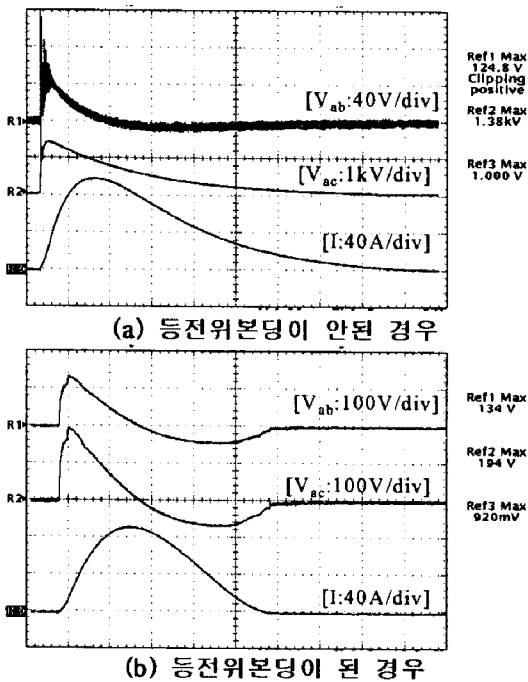


그림 4 TN계통의 접지시스템에 중성선에 임펄스전류를 인가한 경우의 인가전류,  $V_{ab}$ ,  $V_{ac}$  파형의 예  
Fig. 4 Examples of waveforms for the injected current,  $V_{ab}$ ,  $V_{ac}$  when the impulse current is injected to neutral line of TN grounding system

그림 5는 TN계통에서 인가전류를 50A에서 250A까지 증가시키며 측정된  $V_{ac}$ 와  $V_{ab}$ 를 나타낸다. TN계통에서 등전위본딩이 되지 않은 경우  $V_{ac}$ 의 전압은 750V에서 3.52kV까지 증가하였고  $V_{ab}$ 는 전선에 유도되는 매우 작은 전압만이 나타났다. 등전위본딩을 하지 않은 경우 인가전류가 250A일 때 bc 사이에 약 2.5kV전위차가 발생 할 수 있기 때문에 인체감전의 위험성이 있다. 반면 TN계통의 등전위본딩을 한 경우 인가전류가 증가할수록  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$ 가 증가하나 기기에 절연과피를 결정하는  $V_{ab}$ 전압과 인체의 감전을 결정하는  $V_{bc}$ 도 비교적 낮은 전압을 나타내었다. 따라서 TN계통의 접지는 기기의 보호성능을 갖으며, 인체의 감전보호를 위해 반드시 등전위본딩을 해야 한다.

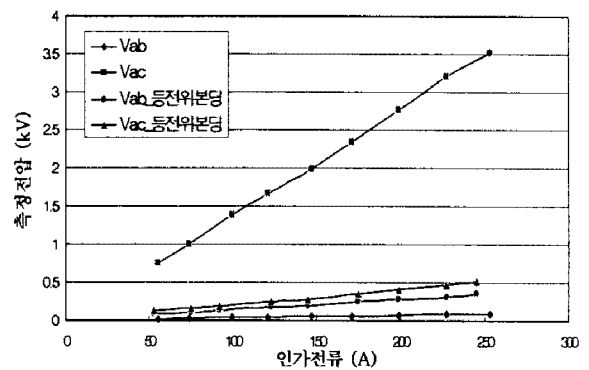


그림 5 TN계통의 접지시스템에서 접지저항과 인가전류의 크기에 따른  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$   
Fig. 5  $V_{ab}$  and  $V_{ac}$  according to the magnitude of the injected current and ground resistance for TN grounding systems

### 2.4 TN계통에서 추가접지

그림 1에서 SW1과 SW2를 모두 닫게 되면 접지시스템은 TN계통에 추가접지를 한 것이 되며, 이러한 경우 기존에 TT계통의 제 3종 접지는 TN계통의 추가접지 역할을 하게 된다.

그림 6은 TN계통에 추가접지가 된 경우 중성선에 임펄스전류를 인가하였을 때 인가전류,  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$ 의 전압파형을 나타낸다. TN계통에 추가접지가 된 경우 추가접지로 흐르는 전류에 의해 ab사이에 전위차가 발생하여  $V_{ab}$ 의 전압이 나타나며 전압파형의 형태가 전선의 인덕턴스성분에 의해 전류파형을 미분한 형태로 나타났다.

그림 7은 TN계통에 추가접지가 된 경우 추가접지의 저항별 인가전류의 크기에 따른  $V_{ac}$ 와  $V_{ab}$ 의 크기를 나타낸다.  $V_{ab}$ 는 추가접지저항이 클수록 추가접지로 흐르는 전류가 작아져 추가접지저항의 크기에 반비례하는 결과를 나타내었다. 추가접지를 한 경우  $V_{ab}$ 의 전압은 인가전류가 최대인 250A에

서도 약 800V정도로 기기의 절연과파를 야기하지 않을 정도의 전압이 나타났으며, 이는 TN계통의 추가접지를 하는 것이 뇌서지보호성능 측면상 TT 접지계통보다 유리하다는 결론을 얻을 수 있다. 반면  $V_{ac}$ 의 전압은 추가접지저항이 작을수록 전체 저항값이 작아지기 때문에 추가접지저항에 비례하여 나타났다. 인체에 대한 안전성의 판단기준인 bc의 전위차는  $V_{ac}$ 와 마찬가지로 추가접지저항이 작을수록 낮게 나타났으며 이는 추가접지저항이 작을수록 중성선의 전위가 감소되는 동시에 기기에 인가되는 전위가 감소하여 인체의 접촉전압도 낮아지기 때문이다.

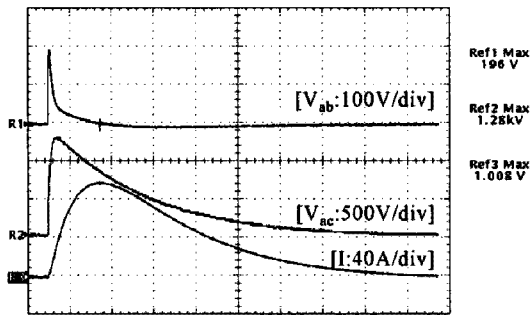


그림 6 TN추가접지 계통의 접지시스템에 중성선에 임펄스전류를 인가한 경우의 인가전류,  $V_{ab}$ ,  $V_{ac}$ 파형의 예  
 Fig. 6 Examples of waveforms for injected current,  $V_{ab}$ ,  $V_{ac}$  when the impulse current is injected to neutral line of TN with supplement grounding systems

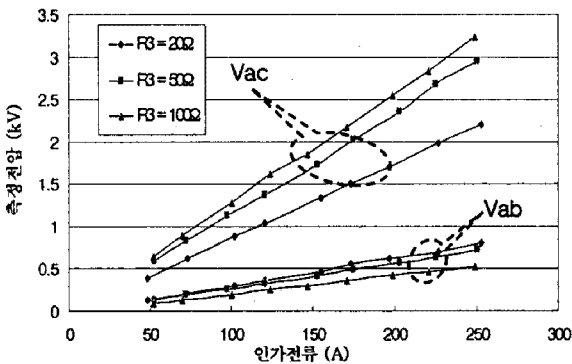


그림 7 TN추가접지 계통의 접지시스템에서 접지저항과 인가전류의 크기에 따른  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$   
 Fig. 7  $V_{ab}$  and  $V_{ac}$  according to the magnitude of the injected current and ground resistance for TN grounding system with supplement ground rod

### 3. 결론

100A의 임펄스전류가 중성선에 인가되었을 때 나타나는 접지시스템별  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$ 의 값을 표 1에 나타내었다. 표 1을 통하여 각 접지계통별 보호성

능에 대한 평가결과를 아래에 요약하였다.

- 1) TT계통의 경우 제 3종 접지저항에 상관없이 중성선의 전위상승이 중성선과 기기의함 사이에 전위차로 그대로 나타나 전기기기에 대한 보호성능이 없으며, 절연과파시 제 3종 접지저항의 크기에 따라 인체에 대한 감전의 위험성이 있다.
- 2) TN계통의 경우 중성선과 기기의함사이에는 전위차가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 하지만 등전위본딩이 되지 않았을 때 서지전압이 인체에 그대로 걸리기 때문에 반드시 등전위본딩을 해야 한다.
- 3) TN추가접지의 경우 추가접지저항이 클수록 중성선과 설비의 노출도전성 부분사이의 전위차가 작게 나타난 반면, 중성선의 전위상승은 크게 나타났다. 추가접지저항은 중성선과 기기의 전위차보다 중성선의 전위상승에 더욱 큰 영향을 미치기 때문에 추가접지저항을 최대한 낮은 수준으로 유지하여야 한다.

표 1 인가전류 100A에서 접지방식별  $V_{ab}$ 와  $V_{ac}$  (kV)  
 Table 1.  $V_{ab}$  and  $V_{ac}$  against the injected current of 100A by grounding systems.

	등전위본딩		R3=20Ω		R3=50Ω		R3=100Ω	
	$V_{ab}$	$V_{ac}$	$V_{ab}$	$V_{ac}$	$V_{ab}$	$V_{ac}$	$V_{ab}$	$V_{ac}$
TT	3.16	3.16	1.32	1.38	1.36	1.44	1.34	1.42
TN계통에 추가접지	-	-	0.296	0.88	0.26	1.128	0.196	1.28
TN	0.134	0.194	등전위본딩을 하지 않을 경우 : $V_{ab}=0.038, V_{ac}=1.38$					

### 참고 문헌

- (1) 대한전기협회 저압설비위원회, "내선규정", pp.101-115, 2006.
- (2) KS C IEC 60363-1, "건축 전기 설비-제1부: 기본 원칙, 일반 특성평가 및 용어 정의", 2005.
- (3) KS C IEC 62305-1, "피뢰시스템 - 제1부 : 일반 원칙", 2007.
- (4) 이복희, 이승철, "접지의 핵심 기초 기술", pp.4-20, 1999.