

낙뢰 Surge 방호를 위한, 독립접지를 공통접지로 개선하는 효율적인 방법에 대한 연구

† 우제욱

† (주)그라운드

A Study on the Effective Surge Protection Method from Induced Lightning Surge to Improve Isolate Grounding to Common Grounding

† Jea-Wook Woo

† Ground Co., Ltd

요 약 : 본 논문은 낙뢰 Surge 방호를 위하여 독립접지를 공통접지로 개선하는 효율적인 방법을 제안하였다. 낙뢰 Surge 방호를 위해서는 등전위 이론에 근거하는 공통접지방식이 적합하고, 중성선이 있는 전원계통에서는 공통접지방식을 사용하는 것이 국제적으로 통용되는 기술규격이다. 따라서 낙뢰 Surge에 취약한 문제점을 갖고 있는 기존의 중성선이 없는 전원계통의 독립접지방식을 중성선이 있는 전원계통의 공통접지방식으로 개선을 하고, 정전압소자를 이용하여 낙뢰 Surge를 방호하는 효율적인 등전위 시스템 구축 방법을 제안한다.

핵심용어 : 접지시스템, 서지방호 , 중성선, TN, TN-C, 등전위, 공통접지

Abstract : : *This paper proposes the effective method to improve the protection from induced lightning surge by making common grounding from individual grounding. Common grounding under equipotential principle is more effective than individual grounding for lightning surge protection, and so common grounding is indicated as international technical standard under the AC power supply system with neutral line. So, this paper is to propose the effective way of induced lightning surge protection method for currently installed power supply system which has no neutral grounded line and individual grounding which are weak for lightning surge protection. This proposal can improve the power supply system as has neutral line, and improve the grounding system to common grounding system. And also this paper proposes to make effective equipotential system with voltage variable shunting devices for lightning surge protection.*

Key words : *Key word : Earthing system, Surge protection , Neutral line, TN, TN-C, TT, Equipotential, Common grounding*

1. 서 론

지구 온난화로 인한 기상이변 등으로 낙뢰의 발생이 증가하면서, 저전압으로 동작되는 연안 VTS 시스템, 국방 전자전 설비, 과학화계시스템, 정보통신설비 등이 낙뢰surge로 인한 피해를 입고 있다. 이와 같은 낙뢰로 인한 전자기 설비의 피해를 예방하기 위해서는 전원계통에 적합한 접지시스템이 매우 중요한 역할을 한다. 일본을 비롯한 10여 개국만이 중성선이 없는 전원계통과 독립접지방식을 사용하고 있고, 전 세계 대부분의 국가는 IEC, ITU와 같은 국제기술규격에서 권고하고 있는 중성선이 있는 전원계통과 공통접지방식을 사용한다.

일반적으로 중성선이 없는 델타(Δ)결선 전원계통은 독립접

지방식을 채택하고, 중성선이 있는 와이(Y)결선 전원계통에서는 공통접지방식을 채택하고 있는데, 중성선이 있는 와이(Y)결선 전원계통을 채택한 한국의 경우는, 2005년도에 한국산업규격이 KS C IEC로 개정이 되면서 독립접지방식을 공통접지방식으로 개정이 되었지만, 2004년도까지는 와이(Y)결선 전원계통이면서도 독립접지방식을 사용하는 오류가 있었다.

개정된 KS C IEC 기술규격에서는 중성선 혹은 보호선과 각 접지부 또는 접지 간에 등전위를 이루는 공통접지방식으로 개정을 하였지만, 중성선이 없는 전원계통과 규정의 상충 등으로 인하여 독립접지방식으로 된 기존의 시설들을 개정된 규격에 적합하게 공통접지방식으로 개선하는 데 있어서 어려움이 있다. 본 논문에서는 기존의 중성선이 없는 전원계통의 독립접지방식을 공통접지방식으로 개선을 하는 해결 방안으로

† 교신저자 : 연희원, cto@ground.co.kr

TN-C 공통접지장치를 제안하고자 한다.

2. 기존 접지시스템의 현황과 문제점

과거의 한국산업규격(KS C)에서는 그림 1과 같이 전원 접지가 1종 접지, 2종 접지, 3종 접지, L.A접지로 구분되었으며, 특히 전원접지와 통신접지 및 신호접지, 피뢰접지가 각각 분리된 독립접지방식이었지만, 2005년도에 한국산업규격(KS C IEC)에서는 그림 2와 같이 전원설비와 전자통신정보화설비의 접지를 모두 등전위시키는 공통접지방식으로 개정되었다.

독립접지방식은 그림 3과 같이 중성선이 없는 델타전원계통에서 적용하였던 방식이지만, 한국은 세계 대부분의 국가와 마찬가지로 그림 4와 같이 중성선이 있는 와이(Y)전원계통을 사용하면서도 접지방식은 일본과 같은 델타전원계통에서나 적용하는 독립접지방식을 사용하는 오류가 있었다. 이렇게 중성선 접지, 즉 전원접지를 통신접지나 신호접지, 피뢰접지 등과 독립적으로 사용하였기 때문에, 각각의 접지간에 전위차로 인한 낙뢰 surge의 유입 경로가 되었고, 특히 중성선과의 전위차 발생은 낙뢰 surge 피해의 큰 원인이 되고 있다.

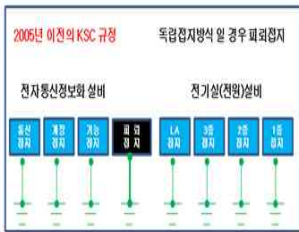


그림 1. 독립접지시스템의 예시

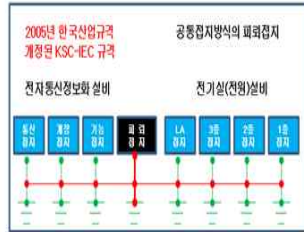


그림 2. 공통접지시스템의 예시

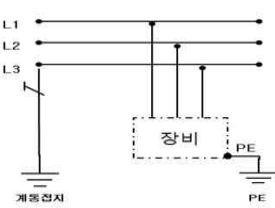


그림 3. TT(독립접지)계통

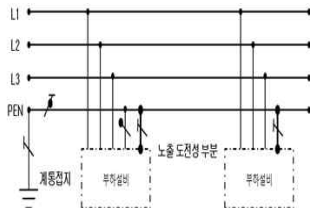


그림 4. TN-C(공통접지)계통

이러한 독립접지의 문제점을 대지전위 상승으로 분석할 수 있는 데, 이 같은 전위차 발생 문제가 설비 운영자들에게는 역서지로 이해되고 있는 것으로 다음과 같이 설명될 수 있다. 그림 5와 같이 대지 혹은 피뢰침에 뇌격이 가해지면 뇌격전류 I와 대지 저항률 ρ 로 인해 다음과 같이 대지전위가 상승된다. A지점에 접지전류가 혹은 뇌격전류가 인가되었을 때, A로부터 거리 S만큼 떨어진 B 지점의 대지전위는 식(1)로 나타낸다.

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi S} \quad (1)$$

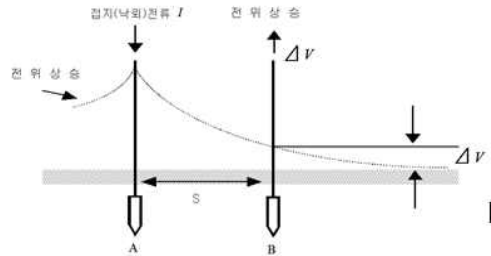


그림 5. 대지전위 상승

어떤 접지전류(I)에 의한 전위상승(ΔV)과 이격거리(S)의 관계를 분석하기 위해서 접지모델을 그림 5에서와 같이 하여, 전극 A에 접지전류가 흐를 때 전극 B에 전위상승 값(ΔV)을 발생하게 하는 이격거리를 계산하면 표 1과 같다. 대지저항률과 접지전류 값이 크면 전위상승 값이 커지고, 전위분포의 계산식을 가진 접지전극에 대해서는 계산식에 대지 저항률이나 접지전류의 값을 대입함으로써 전위상승의 정도를 추정하는 것이 가능하다.

표 1. 독립접지의 이격거리(m) (대지저항률 $\rho=100 [\Omega \cdot m]$)

접지(낙뢰) 전류 I [A]	전위상승 값(ΔV)		
	2.5 [V]	25 [V]	50 [V]
10	63 m	6 m	3 m
50	318 m	32 m	16 m
100	637 m	64 m	32 m

이와 같은 독립접지방식에 따른 대지전위상승이 기기에 영향을 미치는 원인은 다음과 같다. 그림 5와 같이 A지점에서 지락 혹은 낙뢰가 발생하면 뇌격지점으로부터 거리 S만큼 이격된 B지점에서는 ΔV 의 전위가 형성된다. 따라서 A지점과 B지점 간에는 ΔV 의 전위차가 발생된다.

그림 6은 뇌격지점으로부터 거리 d1의 지점에서는 V(d1) 전위가 형성되며, 각각 V(d2), V(d3), V(d4), V(d5)가 된다. 대지전위 상승으로 인한 전위차 V(d1)-V(d5)가 전자통신장비의 접지된 금속외함과 선로 혹은 데이터 신호선의 절연과괴 전위경도 보다도 크게 되면 아크가 발생하면서 방전이 이루어지고, 이로 인해 기기가 손상이 된다.

이러한 낙뢰 피해를 일으키는 대지전위상승을 완화시키기 위해서는, 그림 7과 같이

$$V(d1)=V(d2)=V(d3)=V(d4)=V(d5)가되도록$$

공통접지와 등전위를 구성해야 하는 데, 중성선이 없는 전원계통과 독립접지방식의 기존시설을 개선하는 데는 어려움이 많다.

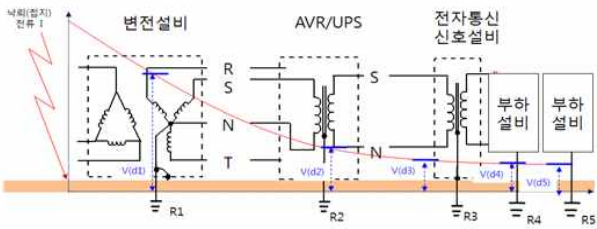


그림 6. 독립접지의 전위차 발생 모델

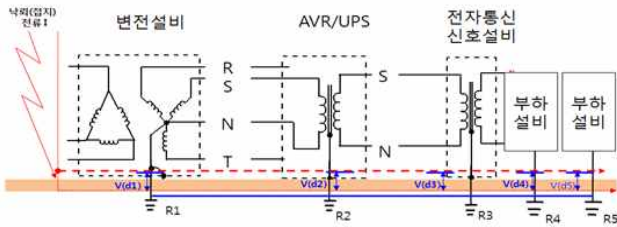


그림 7. 공통접지의 등전위 모델

3. 제안한 TN-C 공통접지장치

그림 8과 같이 기존의 델타결선 전원공급변압기(1)와 전원 부속설비(20), 부하설비(4)가 각각 독립접지방식으로 구성된 경우에는 전원공급 변압기 접지와 전원 부속설비 접지, 부하설비 접지간에 전위차가 발생하여 낙뢰와 서지가 유입되기 때문에, 부하설비가 파손되거나 오동작하는 문제가 발생한다.



그림 8. 독립접지(TT) 계통도

그림 8과 같은 독립접지의 문제를 효율적으로 해결하기 위하여 본 논문에서 제안하는 그림 9의 TN-C공통접지장치는 입력과 출력이 절연으로 분리된 복권변압기 회로를 적용하여 독립접지방식으로 시설된 기존 설비에 영향을 주지 않고, 내선규정과 관련 안전규정 등에 적합하게 구성된 것이 특징이며, 중성선이 없는 델타결선방식의 독립접지방식(TT)을 중성선이 있는 Y결선방식의 공통접지방식(TN-C)으로 구성하여 중성선과 피접지 간에 등전위를 형성하게 구성되었다.

그림 9와 같이 TN-C 공통접지장치는 낙뢰서지를 차단하고 제거할 수 있도록 입출력 양단에 각각 쌍방향 서지보호회로(2, 3)가 구성되었고, 입력측과 출력측 간에도 이상전압으로 인한 전위차가 발생할 경우에도, 접지(41)에 연결된 주접지단자반 G(40)에 정전압소자(20)가 설치되어 있어서 등전위시스템으로 구성되어 부하설비(4)를 보호할 수 있게 하였다.

본 논문에서 제안한 TN-C 공통접지장치는 복권변압기의 중성선과 부하설비의 접지, 서지 보호회로의 접지와 상간에 구성된 정전압소자가 MGB(Main Ground Board)에 각각

연결되어 등전위시스템을 이루어 공통접지방식을 구성함으로써, 낙뢰 surge 혹은 이상전압에 따른 전기전자통신 정보화설비, 신호설비, 제어설비들이 손상이나 오동작을 방지할 수 있도록 구성되었다.

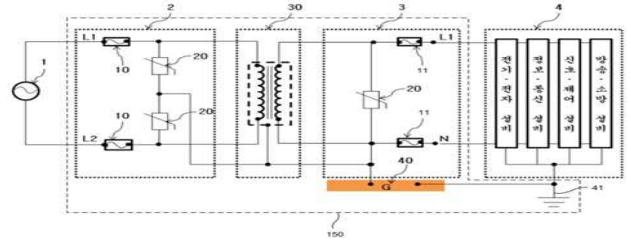


그림 9. TN-C 공통접지장치의 회로 구성

4. TN-C 공통접지장치의 측정

전기회로계와 접지회로계는 그림 10과 같이 modeling 할 수 있으며, TN-C 공통접지장치와 일반 절연변압기의 비교 측정 시험은, 그림 11의 IEC 61000-4-5, IEEE Std. C62.45-1992의 서지 시험파형 규격에 의해서, 개방회로 전압시험(1.2/50 μ s)과 단락회로 전류시험(8/20 μ s)을 Noise Ken사의 낙뢰서지 시뮬레이터(lightning surge simulator, LSS-15AX)를 이용하여, 서지 시험파형인 전압전류 조합파 임펄스(combination wave impulse)를 인가하고, 측정 대상의 2차측 출력 전압을 오실로스코프로 측정하였다.

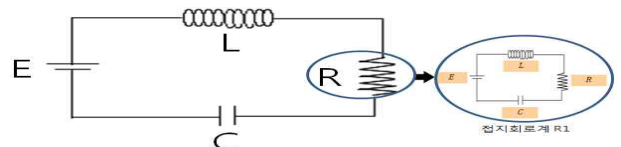
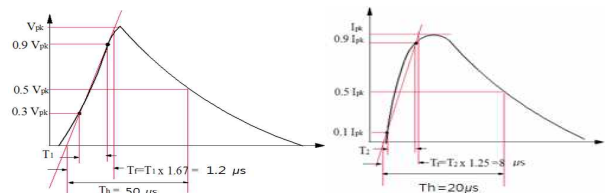


그림 10. 전기회로계 R-L-C 회로 내의 접지회로계



개방회로 전압(1.2/50 μ s) 단락회로전류 (8/20 μ s)
IEC 61000-4-5, IEEE Std. C62.45-1992

그림 11. 개방회로 전압시험과 단락회로 전류방전 파형

일반 절연변압기와 TN-C 공통접지장치의 비교 측정 시험규격은 아래 4.1과 같다.

그림 12와 13은 일반 절연변압기의 낙뢰서지 전압을 감쇄시키는 성능을 측정시험 하기 위한 구성도이며, 오픈 서킷(open-circuit) 1.2/50 μ s 전압파형과 쇼트서킷(short-circuit) 8/20 μ s 전류파형을 발생시키는 낙뢰서지시뮬레이터(Lightning Surge Simulator, 모델명: LSS-15AX)를 이용하여 3kV의 전압을 1차 전원입력부에 인가한 경우에 대해, 2차 출력전압을 측정하였으며, 그 결과는 표 2와 같으며, 그림 14는 surge 출력전압의 파형이다.

그림 15와 16은 TN-C공통접지장치의 낙뢰서지 전압을 감쇄시키는 성능을 측정시험 하기 위한 구성도이며, 일반 절연변압기와 동일한 방법으로, 3kV의 전압을 1차 전원입력부에 인가한 경우에 대해, 2차 출력전압을 측정하였으며, 그 결과는 표 2와 같으며, 그림 17은 surge 출력전압의 파형이다.

4.1 측정 시험규격

- ① Surge 발생장치(LSS-AX1, NOISE KEN사 JAPAN)
- ② 전압: 3 kV/ 1.2/50 μ s, 전류: 1.5 kA/ 8/20 μ s
- ③ Surge 인가 회로:
HOT단자는 피시험체(TN-C공통접지장치, 일반절연변압기)의 전원단자(1)에 인가.
Com단자는 피시험체(TN-C공통접지장치, 일반절연변압기)의 전원단자(2)에 인가.
- ④ Surge 입력(인가)전압 측정:LSS-15AX 출력단자+Pico scope 측정.
- ⑤ Surge 출력(감쇄)전압 측정:TN-C 출력단자+Probe+Pico scope 측정.* Probe: differential Probe(2000:1)
- ⑥ 시험은 10회 이상 실시하여 평균한 데이터를 적용 함.

표 2를 참조하면, 본 논문에서 제안하는 TN-C공통접지장치에 의한 경우, 일반 절연변압기에 비해 2차 출력(감쇄) 전압이 3배 이상 낮은 시험결과로, TN-C 공통접지장치의 낙뢰서지를 차단하는 성능이 확인되었다.

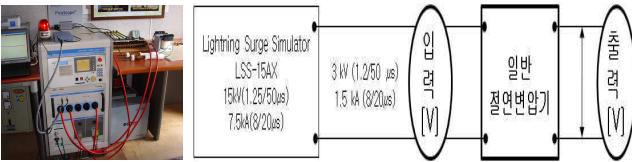
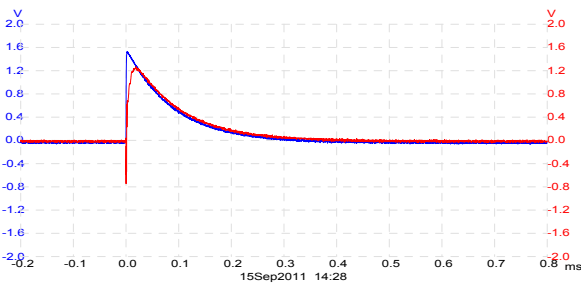


그림 12. 절연변압기시험. 그림 13. 절연변압기의 surge 측정 시험 구성도



청색선: 입력측 전압, 적색선: 출력측 전압

그림 14. 일반 절연변압기의 surge 시험 입력과 출력 전압측정

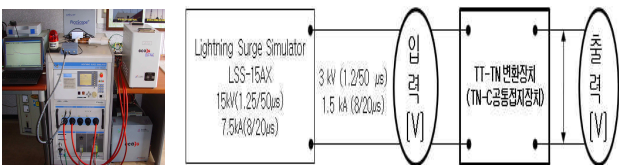
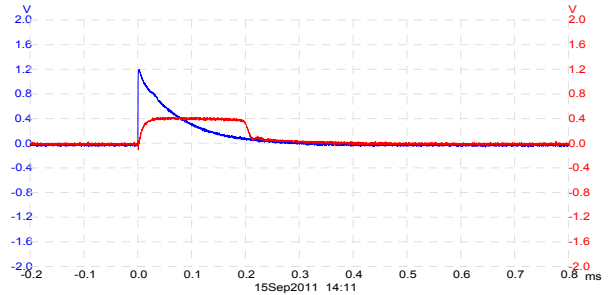


그림 15. TN-C 측정시험 그림 16. TN-C장치의 surge 측정 구성도



청색선: 입력측 전압, 적색선: 출력측 전압

그림 17. TN-C공통접지장치의 surge 입력과 출력 전압측정

표 2. 일반 절연변압기와 TN-C공통접지장치의 시험 비교

구 분	입력(1차)측 전압(V)	출력(2차)측 전압(V)
일반절연변압기	2.8 kV	2.4 kV
TN-C공통접지장치	2.4 kV	0.8 kV

5. 결 론

본 논문에서 제안한 TN-C공통접지장치는, 국제기술규격인 IEC와 ITU와 그리고 2005년도에 개정된 KS C IEC에서 권고하는 TN방식에 적합한 공통접지장치이다.

TN-C공통접지장치는 중성선이 없는 전원계통을 중성선이 있는 전원계통으로 개선하여, 낙뢰 surge 방호대책에 적합한 공통접지방식과 등전위시스템을 구축 할 수 있도록 하는 접지장치이다.

특히 누전차단기가 있는 전원계통에서는 누전차단기의 동작으로 인해서 공통접지시스템과 등전위시스템을 구축 할 수 없다. 이런 경우에 TN-C공통접지장치를 이용하면 공통접지시스템과 등전위시스템을 효율적으로 구축할 수 있다. 이와 같이 낙뢰대책으로 적합한 공통접지와 등전위시스템을 구성하여 고가의 침단 VTS 설비와 같은 전자기설비를 낙뢰로부터 보호하여 안정적인 장비운용과 예산절감에 기여가 될 수 있기를 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] S. J. Ahn, J. W. Woo, S. J. Ahn, C. G. Park, and S. J. Ahn, "Optimization of Earth Resistance by Investigating the Surge Wave Response," Materials Science Forum, vol. 569, pp. 253-256, 2008.
- [2] 우제욱, "낙뢰 Surge 방호를 위한 효율적인 접지시스템에 대한 연구," 전문대 석사 학위 논문, p. 5, 2009.
- [3] Dong-Hwa Seol, Myeong-Saeng Kim, Chang-Bong Kim, Jea-Wook Woo, "A Study on the Earthing System of use Discharge Electrodes," Journal of The Institute of Information and Telecommunication Facilities Engineering, Vol. 8 No. 2, June, 2009.
- [4] 특허청, "대지에 매설할 필요가 없는 접지장치", 특허 제10-0599359, 2006년 7월 4일
- [5] 특허청, "TN-C 공통접지를 이용한 낙뢰방호장치", 특허출원번호 10-210-0115147, 2010년 11월 18일
- [6] Dong-Hwa Seol, Chang-Bong Kim, "A Study on AN Earthing System WITHOUT Ground Connection," 한국통신학회논문지 '10-05 Vol. 35 No. 4, p. 86, 201.