

# 전기적 과도현상으로부터 통신망의 보호대책

최만호 · 김현덕 · 김병철

진주산업대학교 전자공학과

## The Protection methods of Telecommunication Network from Electrical Transient Phenomena

Man-Ho Choi · Hyun-Duk Kim · Byungcheul Kim

Dept. of Electronic Engineering, Jinju National University

E-mail : bckim@jinju.ac.kr

### 요 약

국내의 통신망은 효율적인 유지보수를 위하여 도로를 따라 기반시설이 구축되고 있기 때문에 전력망과 통신망의 교차와 병행이 가속화되고 있다. 전력망은 전력유도를 발생시킬 뿐만 아니라, 낙뢰와 같은 전기적 과도현상으로부터 그 자체가 전송매체로 되기 때문에 전력망 지중 접지체와 통신망 지중 접지체간을 통하여 낙뢰서지 및 지락선 과도현상이 통신망에 유도되어 악영향을 초래한다. 본 연구에서는 통신망의 보호대책으로 지중접지체간의 이격거리를 통한 귀로전류의 차단과 양쪽 단자의 유휴심선을 접지하여 전력유도전압을 차폐하는 방법이 우수한 효과를 나타냄을 확인 할 수 있었다.

### ABSTRACT

Parallel and cross of the electrical power and telecommunication network is become accelerated, because telecommunication equipments are constructed according to road for efficient maintenance of domestic telecommunication network. The electrical power network can generate an electrostatic induction, and is itself transmission medium from electrical transient phenomenon such as lightning. So, transient phenomenon of lightning surge is induced to telecommunication network, and then it is damaged by connecting between electrical ground of electrical power network and telecommunication network. In this study, we found that cut-off of return path current by separate distance between electrical ground of electrical power network and telecommunication network, and cut-off of electrostatic induction voltage by grounding unused leads of both terminals of the electrical and telecommunication network have good effect as the protection methods of telecommunication network from electrical transient phenomena.

### 키워드

Telecommunication network, Electrical power network, Electrical transient phenomena, Cut-off of return path current, Grounding of unused leads.

### 1. 서 론

국내의 통신망은 매우 광대하며, 산악지형이 많은 국내의 지리적 여건 때문에 효율적인 유지보수를 위해 도로를 따라 기반시설의 구축이 가속화되고 있다. 따라서 전력망과 통신망의 교차와 병행에 따른 전력유도 및 낙뢰 문제는 통신설비의 설계 시공 및 유지보수 면에서 매우 복잡한 문제를 발생시키고 있는 것이 현실이다.[1] 통신

시설은 외부환경에 노출되어 있기 때문에 낙뢰 및 전력유도에 의한 과도현상으로부터 쉽게 피해를 입는다. 또한, 전력망은 전력유도를 발생시킬 뿐만 아니라, 낙뢰와 같은 전기적 과도현상으로부터 그 자체가 전송매체가 되기 때문에 전력망 지중 접지체와 통신망 지중 접지체간을 통하여 낙뢰서지 및 지락선 과도현상이 통신망에 유도되어 악영향을 초래한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국제표준화기구인 ITU-T는 전력선과

전철시설로부터 발생하는 유도장해 및 낙뢰에 대한 통신설비 보호대책을 중요한 문제로 인식하여 여러 가지 연구를 진행하고 있다. 본 논문에서는 전력망과 통신망간의 접지체 이격거리의 기술적 고찰, 유기모델을 통한 지중접지체 이격거리기술에 대한 새로운 기준 정립의 필요성, 그리고 양쪽 단자의 유휴심선을 접지하여 전력유도전압을 차폐하는 방법에 대하여 연구하였다.

## II. 전기적 과도현상의 통신망 유기 모델

낙뢰 및 지락성 서지성분의 과도현상은 대부분 지중접지체와 대지의 영상도체를 통한 유도과정이 원인이다. 그림 1에 낙뢰 및 지락성 과도현상이 접지체를 통해 전이 되는 과정과 대지로 귀로 되는 과정을 나타내었다.

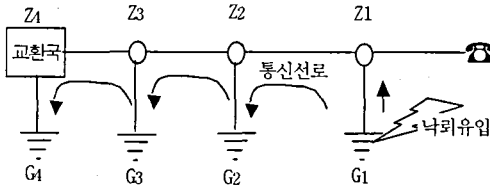


그림 1. 유도뢰 유입 및 귀로 경로도

유도뢰 유입 및 귀로 경로도 과도현상의 유도 유입으로부터 효과적인 최소화 방안은 낙뢰전류와 전압을 분산하여 대지로 귀로시키는 접지시설의 규격화에 있다. 그림 1에서 G1 접지는 유도뢰를 유입시키는 도체의 기능을 하게 되고, 동시에 다른 접지체 G2, G3, G4는 귀로회로 역할을 한다. 역설적으로 유입시키는 G1 접지가 없다면 통신시설 피해는 발생되지 않을 수도 있다. 다만 낙뢰 자체의 가변성으로 낙뢰지점을 예측 할 수 없어 효과적인 대책을 강구 할 수가 없다.

낙뢰 특성을 시간과 함수로 주어진 R, L, C를 통신선로로 모델링하여 낙뢰의 전기적인 특성을 설명할 수 있다. 낙뢰가 직접 타격 되거나, 낙뢰 서지가 유입되는 순간을 그림 2와 같은 등가 회로로 나타낼 수 있다.

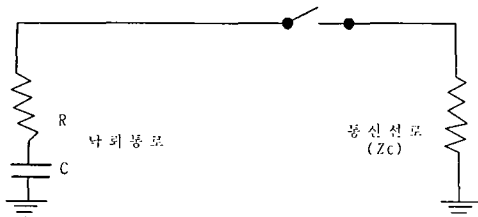


그림 2. 통신선로의 방전과 유입 모델

### ① 저항(R)

보통의 일정저항을 가정한 것이 아니라, 전류

의 연속방정식, 운동방정식, 에너지 전달 방정식으로부터 얻은 값으로, 이 방법은 Braginskii에 의해서 처음 제안되었으며, 그 관계식은 식 (1)과 같다.

$$R(t) = \frac{1}{\pi \rho a^2(t)} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $a = 0.93 \times \rho_0^{-1/6} \times i^{1/3} \times t^{1/2}$  로 주어지며, 낙뢰 통로의 반경이라 정의한다.  $\rho_0 = 1.29 \times 10^{-3} g/cm^2$  : 상온, 대기압에서의 공기밀도이다.

### ② 커패시턴스(C)

구름과 대지 사이에 형성된 수직채널에 대하여 지구중심에서 수직채널 내의 임의의 점까지의 거리를 r이라 하고, 그 지점에서의 전계를 E, 전위를 V, 지구(반구)에 대한 정전용량을 C라고 할 때 정전용량과 충전하량(Q)사이의 관계는 식 (2)와 같다.

$$Q = C \cdot V \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = \frac{1}{2} 4\pi r^2 \epsilon E \quad (D = \epsilon E) \dots\dots\dots (3)$$

식 (2)와 식 (3)으로부터

$$C = 2\pi r^2 \epsilon \frac{E}{V} \text{ 를 구할 수 있다.}$$

### ③ 통신선로 유기

통신선로의 방전과 유입모델을 그림 2에 나타내었다. 비구름 자체의 모델은 저항과 커패시터가 직렬로 연결된 것으로 표현할 수 있고, 저항은 구름의 전하중심에서 구름 가장자리까지 오는 통로를 의미하며, 지표면은 등가의 선형저항으로 표시한다. 통신선로 모델에 유기되는 시작점은 낙뢰의 진행 과정 중 지면 도달 과정이 끝났을 때를 시작으로 본다. 그림 2에 표시된 통신선로는 미소거리  $\Delta x$ 에 대한 R·L·C성분의 등가적 회로로 나타낼 수 있다.

매질에 대한 저항률( $\rho=1/\sigma$ ,  $\sigma$ :도전율)은 식 (4)와 같다.

$$\text{저항 } Zc = \rho \frac{le_{eq}}{Ae_{eq}} \dots\dots\dots (4)$$

$le_{eq}$ : 전계 등가높이      $Ae_{eq}$ : 전계 등가면적

## III. 통신망의 보호대책

### III-1. 지중접지체 이격거리

지중접지체를 통한 과도현상의 유입으로 피해가 발생됨에 따라서 전력망 및 통신망 상호간의 지중접지체에 관한 이격거리를 확보함으로써 통신망의 보호가 가능할 것이다. 그림 3에 나타낸 것과 같이 전력망과 통신망은 지중 접지체와 영

상 도체를 통하여 전기자적인 폐회로망을 구성한다.

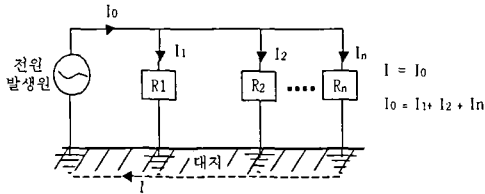


그림 3. 접지를 통한 폐회로망 구성도

전력시설은 다중접지체로 중성점 접지를 기본으로 하여 피뢰기, I/S, 그리고 변압기의 접지는 저 접지 저항으로 10 Ω 이하이다. 통신접지체는 특수한 목적을 제외하고는 100 Ω 이하이다. 10 Ω 과 100 Ω 의 접지시설 면적을 산출 할 수 있다.[2] 일반적인 접지전극은 방사접지를 적용하고, 접지방식은 직선과 망형접지로 한다.

- 접지봉 n개 접지저항  
 $R_1 = \rho/n[1/2\pi(\ln 4 \ell / d - 1) + 1/\pi s(1/2 + 1/3 + \dots + 1/n)] \dots (5)$
  - 접지연동선 접지저항  
 $R_2 = \rho / 2\pi L \times \ln (L^2 / d D) \dots (6)$
  - 상호저항  
 $R_{12} = \rho / \pi L \times \ln (4L / n \ell) \dots (7)$
  - 총 합성저항  
 $R_t = (R_1 R_2 - R_{12}^2) / (R_1 + R_2 - 2R_{12}) \dots (8)$
- R: 접지저항, ρ: 대지 비저항  
 ℓ: 접지봉 길이 d: 접지봉 직경  
 s: 접지봉 매설 간격(ℓ ≤ s ≤ 2ℓ)  
 a: 1 + (2 - s / ℓ) × 0.1  
 L: 접지선의 길이, d: 접지선의 직경  
 D: 접지선의 매설깊이

식 (5)에서 (8)로부터 접지봉수와 거리를 산출하였다. 접지봉의 수와 거리는 10 Ω의 경우는 접지봉 11개와 36 m 직선거리, 100 Ω 이하는 접지봉 3개와 7.2 m 거리를 유지해야한다. 매설거리가 10 m 초과하면 시설물을 중심으로 사각형의 망형으로 구성한다. 이 경우 7.2 m(W) × 10.8 m(L)로 77.76 m<sup>2</sup>로 상당히 넓은 면적을 점유하게 되므로, 실제 국내의 지리적인 특성상 협소한 도로면에서는 전력 및 통신망의 이중접지체가 불가항력으로 근접 및 접촉 할 수밖에 없다. 다양한 전기적 과도현상이 유도되는 것을 방지하기 위한 접지체간의 최소 이격거리는 식 (9)와 같다.

$$D = \rho \cdot I / 2 \pi V \dots (9)$$

III-2. 유틸리티선을 활용한 유도차폐  
 통신케이블의 차폐효과를 개선시키는 방법으로

케이블 내에 사용되고 있지 않은 심선(이후 유틸리티 심선)을 양쪽 단말 접지시킴으로써 전력유도 전압에 대한 차폐 효과를 가질 수 있다. 차폐효과에 대한 정량적 표현식인 차폐계수는 식 (10)과 같이 정의할 수 있고, 전력선, 통신선, 차폐도체가 병행하고 있을 때, 만약 전력선과 통신선이 매우 떨어져 있고 차폐선과 통신선이 매우 가까이 있다고 할 때, 차폐계수 k를 간단히 정의할 수 있다.

$$k = \frac{V_s}{V_u} \quad k = 1 - \frac{Z_{23}}{R_{G2}/L + Z_{22}} \dots (10)$$

- V<sub>s</sub>: 차폐시 통신케이블 심선쌍의 대지전압
- V<sub>u</sub>: 비차폐시 통신케이블 심선쌍의 대지전압
- Z<sub>23</sub>: 통신선-차폐선 사이의 상호임피던스 [Ω/km]
- Z<sub>22</sub>: 차폐선의 자기임피던스 [Ω/km]
- R<sub>G2</sub>: 양단말 접지저항의 합 [Ω]
- L: 양단말 접지사이의 거리 [km]

이때 Z<sub>23</sub> 과 Z<sub>22</sub>는 근사화된 Carson-Clem 방정식에 의해 구할 수 있다.[3] Carson-Clem 방정식에 나타나는 자기임피던스 Z<sub>ii</sub>와 상호임피던스 Z<sub>ij</sub>는 식 (11)과 식 (12)로부터 구할 수 있다.

$$Z_{ii} = \frac{R}{n} + 0.99 \times 10^{-3f} + j\omega 2 \times 10^{-4} n \frac{De}{r} \dots (11)$$

$$Z_{ij} = 0.99 \times 10^{-3f} + j\omega 2 \times 10^{-4} n \frac{De}{d_{ij}} \dots (12)$$

- R(Ω): 도체의 DC 저항
- f(hz): 주파수
- n: 도체의 수
- d<sub>ij</sub>: i 도체와 j 도체의 거리

$$De = 659 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\rho : \text{대지저항 } \Omega/\text{m})$$

$$r' = r e^{-\frac{\mu}{4}} \quad (\mu: \text{상대투자율}, r: \text{도체의 반경})$$

IV. 결과 및 고찰

2003년도 낙뢰성 고장의 발생건수를 표 1에 정리하였다.

표 1. 2003년도 고장 통계 분석

조사 구간	운용수	고장 발생수	낙뢰성 고장	낙뢰성 고장율	접지체 이격미달
A	18,972	1,428	216	15.1 %	16
B	13,656	1,010	312	30.9 %	19
C	20,976	1,699	322	18.9 %	14
D	12,288	823	214	26.0 %	19

고장통계 분석표상의 낙뢰성 고장과 접지체 이격 미달시설수가 비례분포를 보임에 따라 낙뢰 및 전력유도 이론, 피해사례의 고찰로 낙뢰 등 과도현상과의 연관관계가 있는 것으로 추정된다. 지중접지극의 이격을 위하여 전력시설 저 저항 접지체 주위 즉, 변압기, I/S, 피뢰기 주위에 통신 접지를 4개소, 중성접지 1 m 이내 3개소를 시범적으로 절단하였다. 식 (10)으로부터 제안된 60 m의 접지 이격거리는 여건상 불가능하므로 접지를 절단하여 이격거리를 확보하였다. 표 2는 조사구간 B에서 2004년도 4월 통신 접지를 절단시킨 이후 연간 고장통계분석을 실시하여 효과를 분석한 자료이다.

표 2. 2004년도 낙뢰성 고장분석

조사구간	운용수	고장 발생수	낙뢰성 고장	낙뢰성 고장율	접지체 이격미달
A	19,998	1,528	312	20.4 %	16
B	14,256	912	87	9.5 %	0
C	21,220	1,715	341	19.9 %	14
D	13,178	918	249	27.1 %	19

표 3과 같이 조사구간 B에서 2003년과 2004년 낙뢰성 고장율이 30.9 %에서 9.5 %로 감소됨을 알 수 있다.

표 3. 고장 발생 통계 분석

구분	운용수	고장 발생수	낙뢰성 고장	낙뢰성 고장율	접지체 이격미달
2003년	13,656	1,010	312	30.9 %	16
2004년	14,256	912	87	9.5 %	0
비교	+600	-98	-214	-21.4 %	-16

그림 4와 같이 전체 A, B, C, D 구간에 대한 I-VOMS 측정결과 B 구간에 대한 유도전압이 전력 부하량의 시간적인 변화에도 불구하고 안정적인 형태의 파형으로 측정됨을 확인하였다.

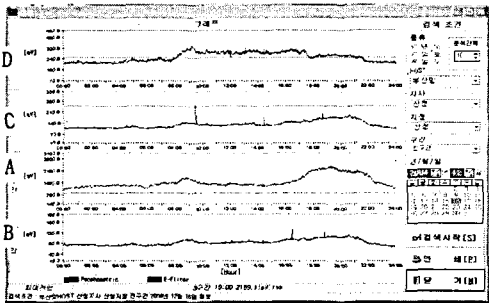


그림 4. I-VOMS 측정자료(2004년)

낙뢰 및 전력유도의 유도원칙의 과도현상이 접지체를 통한 대지전위상승으로 대지의 도체화 현상에 따른 유도과정이 사실로 입증되었다.

그림 5에 유휴심선을 활용한 잠음유도전압 측정결과를 나타내었다.

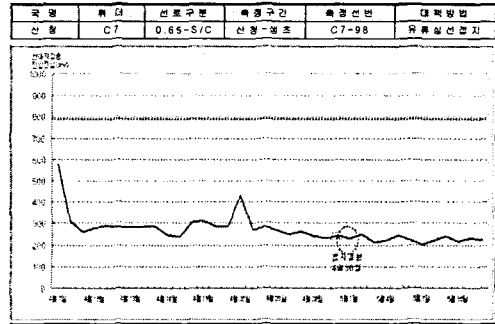


그림 5. 유휴심선을 활용한 잠음 유도전압

연구결과에 의하면 접지도체의 수가 증가함에 따라서 차폐계수가 감소하는 것이 일반적이며, 본 연구결과에서도 유휴심선을 활용하여 접지를 통한 전자차폐효과를 측정된 결과로 20% 정도의 차폐효과가 있는 것을 확인 할 수 있었다. 그러나 유휴심선의 활용도가 연간 18 % 이상, 심선 사용율이 80% 이상의 구간에는 실제로 적용하기 어렵기 때문에 유지보수상의 문제가 발생할 수 있다.

### V. 결 론

통신시설에 대한 낙뢰 및 전력유도 등 전기적 과도현상으로 인한 통신망의 피해는 지중접지체 간의 이격거리를 통한 귀로전류의 차단과 양쪽 단자의 유휴심선을 접지하여 전력유도전압을 차폐하는 방법이 통신망의 보호대책으로 우수한 효과를 나타냄을 알 수 있었다. 전기적 과도현상에 대한 통신망 보호는 각 장치나 전송매체의 내성을 강화시키는 것이 현실적 대안이 될 수 있지만, 전송망으로부터 유입 또는 전이되는 유도원의 원인요소를 제거하거나 차단하는 시스템의 도입이 필요할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

- [1] 서용휘, 전력유도피해사례집, 한국통신, pp. 3~5, 2003.
- [2] KT전기통신설비기술 기준집, 정통부고시 제66호, pp. 50~51, 1990.
- [3] 강성용, 이상장애발생보고서, 한국통신, pp. 18~22, 2003.