

# 아크유도형 침부 접지봉의 특성 연구

(A Study on the Characteristics of an Arc-Inducing Driven Rod with Needles)

박종신\* · 정종욱\*\* · 곽희로\*\*\*

(Jung-Shin Park · Jong-Wook Jung · Hee-Ro Kwak)

## 요 약

본 논문에서는 상용주파 고장전류 및 뇌격전류를 모두 효과적으로 대지로 방류할 수 있는 새로운 형태의 접지봉인 아크유도형 침부 접지봉을 고안하여 특성을 연구, 분석하였다. 아크유도형 침부 접지봉의 구조는 일반 접지봉의 표면에 침을 부착한 후 동파이프에 넣었다.

이 고안된 접지봉이 배전선로의 피뢰기 접지봉에 사용될 경우의 특성을 검토한 결과, 침과 동파이프 사이에서 아크가 발생하여 전기에너지를 효과적으로 소모함으로써 피뢰기 1차측 전압이 감소됨을 확인하였다.

## Abstract

This paper describes the characteristics of a newly suggested arc-inducing driven rod with needles which could effectively spread out both the failure current with power frequency and the lightning current. The structural characteristic of the driven rod was that needles were attached on the surface of the conventional shaped driven rod and the driven rod with needles was installed inside of a copper pipe.

As a result of analyzing the characteristics of this suggested driven rod when it was employed as the driven rod of an arrester in distribution system, it was verified that the primary voltage of the arrester was reduced by effectively exhausting the electrical energy since the arc occurred between the needle and the copper pipe.

## 1. 서론

전자 및 통신기술의 발전으로 고도정보화 사회가 되면서 각종 전기, 전자, 통신장비는 매우 중요한 현대 문명의 이기로 대두되었다. 그러나 이러한 설비들은 작은 전기적 충격에도 절연이 파괴되거나 오동작

할 가능성이 매우 높다. 송전 및 배전선로, 통신설비의 송·수신탑, 공항의 관제탑, 63빌딩과 같은 고층 빌딩, 유조탱크 등은 자연에 그대로 노출되어 있어 낙뢰의 피해를 받을 가능성이 매우 높다.

따라서 이러한 설비에는 피뢰기 또는 피뢰침 그리고 가공지선 등의 내뢰대책을 하고 있다. 그러나 이러한 설비에 사용하고 있는 일반 접지봉의 뇌격전류에 대한 동작 특성은 뇌격전류에 대한 내뢰대책으로 는 미흡한 부분이 많다.

배전선로의 경우, 접지봉에 유입되는 전류의 유형

\* 정회원 : 한국전력 중앙연구소 배전교육팀 부교수  
\*\* 정회원 : 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원 : 숭실대학교 공과대학 전기공학과 교수  
접수일자 : 1999년 12월 31일

은 선로의 절연과피로 발생하는 상용주파 고장전류와 선로에 뇌격전류가 침입하여 피뢰기가 동작시 대지로 유입되는 뇌격전류로 구분할 수 있다. 이 전류들이 접지봉을 통하여 대지로 방류할 때에 나타나는 전기적 특성은 매우 다르다.

즉, 상용주파 고장전류가 접지봉을 통하여 흐르는 경우에는 낮은 접지저항이 요구되지만, 접지봉에 뇌격전류가 유입되는 경우에는 서지임피던스의 영향으로 전류의 대지방류가 어려워 일시적으로 대지전위가 상승하게 되고, 이 대지전위의 상승은 피뢰기 보호범위의 축소를 가져올 뿐만 아니라 인근의 다른 설비에 피해를 줄 수 있다[1~3]. 또한 이러한 현상의 반복은 각종 전기기기의 수명단축과 성능의 저하를 가져올 수 있다[4]. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 지중에서 아크를 발생시켜 대지전위의 상승을 억제하는 방법이 연구되어 왔다[5~8].

본 논문에서는 상용주파 고장전류 및 뇌격전류를 모두 효과적으로 대지로 방류할 수 있는 아크유도형 침부 접지봉을 고안·제작하였다. 즉, 상용주파 고장전류에 대해서는 일반접지봉보다 작은 상용주파저항 특성을 갖고, 뇌격전류에 대해서는 접지봉 내에서 아크를 유도하여 뇌격전류를 소호시킴으로써 낮은 충격저항 특성을 갖는 접지봉이다.

이 아크유도형 침부 접지봉은 배전선로와 같이 전력이 수송되는 전력설비에 사용되는 피뢰기의 접지봉, 각종 건물에 시설된 피뢰침의 접지봉, 각종 이동통신의 안테나에 설치된 피뢰장치의 접지봉 등으로 사용될 수 있도록 설계되었다. 이 고안·제작된 아크유도형 침부 접지봉이 배전선로의 피뢰기의 접지용으로 사용될 경우 특성과 성능에 대하여 연구·검토하고자 한다.

## 2. 아크유도형 침부 접지봉의 구조와 아크발생 원리

새로 고안된 아크유도형 침부 접지봉의 형상 및 구조는 그림 1과 같다. 이 접지봉의 길이는 990[mm]이고, 일반접지봉의 직경은 14[mm]이다.

일반 접지봉에 봉의 축을 따라 움직일 수 있는 침불이 못치를 삽입하고 이 못치에 침을 부착하였다. 침과 동파이프 사이의 간격은 침불이 못치에 있는 나사로 쉽게 조절이 가능하고 여러 종류의 침이 쉽

게 교환될 수 있도록 하였다. 이 침불이 못치 1개당 사방으로 4개의 침을 설치할 수 있다. 이 못치는 접지봉에 4개 설치되었다.



그림 1. 아크유도형 침부 접지봉  
Fig. 1. Arc-inducing driven rod with needles

침이 부착된 일반 접지봉은 내경이 51[mm]인 동파이프에 내장되었다. 동파이프의 표면적은 일반접지봉의 표면적보다 약 3.6배 정도 증가되어 상용주파전류를 보다 효과적으로 처리할 수 있다.

그리고 동파이프의 끝과 일반접지봉의 끝 사이에 아크유도용 코일을 삽입하였다. 이 아크유도용 코일은 뇌격전류가 유입되었을 때 침과 동파이프 사이에서 방전이 쉽게 일어나도록 하기 위하여 설치되었으며, 코일의 턴수는 임의로 조절될 수 있다. 이 아크유도형 침부 접지봉의 상용주파전류 및 뇌격전류에 대한 전기적 등가회로는 그림 2와 같다.

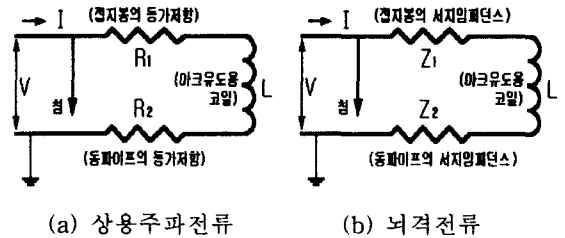


그림 2. 아크유도형 침부 접지봉의 등가회로  
Fig. 2. Equivalent circuit of arc-inducing driven rod with needles

이 아크유도형 침부 접지봉의 동작원리는 다음과 같다. 만일, 상용주파 전류 I가 접지봉에 유입되면, 상용주파 전류는 접지봉의 등가저항  $R_1$ , 아크유도용 코일 L 그리고 동파이프의 등가저항  $R_2$ 를 통하여 대지로 방류된다. 이 과정에서 접지봉과 동파이프의 등가저항  $R_1$ 과  $R_2$ 의 값은 매우 작고, 상용주파이기 때문에 아크유도용 코일 L에서의 전압강하  $L \frac{di}{dt}$  역시 매우 작다.

그러나 충격전류 I는 시간에 대한 변화율이 크기 때문에 접지봉 및 동파이프의 서지임피던스  $Z_1$  및  $Z_2$  와 아크유도용 코일 L 성분 의 영향을 크게 받게 된다.

$$V = (Z_1 + Z_2)i + L \frac{di}{dt}$$

의 전압이 발생한다. 이 전압에 의해 침과 동파이프 사이에서 아크가 발생하게 된다. 유입되는 뇌격전류는 매우 짧은 시간이므로, 전류의 총량은 크지 않다. 그러므로 아크가 발생하면 에너지가 소모되어, 접지봉 주위에 나타나는 대지 전위는 낮아진다.

그림 3은 아크유도형 침부 접지봉을 흐르는 상용주파전류의 경로와 충격전류의 경로를 나타낸 개념도이다. 그림 3과 같이 상용주파전류(점선)는 접지봉 및 아크유도용 코일을 경유하여 동파이프 표면에서 지중으로 방류된다. 또한 접지봉의 끝 즉, 땅 속 깊은 하단부터 상용주파전류가 흐르게 된다. 따라서 이러한 전류의 흐름은 습도와 온도에 의한 접지저항의 변화를 적게 받는 효과가 있다.

그러나 뇌격전류가 유입되는 경우(실선)에는 접지봉과 동 파이프 사이의 현격한 전압 강하 때문에 침과 동파이프 사이에서 아크가 발생하여 전기에너지의 상당 부분이 소모되고, 일부는 동파이프를 통하여 대지로 방류된다.

### 3. 실험장치 구성 및 실험방법

그림 4는 충격전압 발생장치를 사용한 실험장치의 개략도이다. 이 장치에서는 아크 유도형 침부 접지봉이 배전선로의 피뢰기용 접지봉으로 사용되는 것을 전제로 하여 충격전압 발생장치와 아크유도형 침부 접지봉 사이에 갭리스형 피뢰기를 설치하였다. 아크유도형 침부 접지봉에 부착된 침 전극은 강철 재질의 곡률반경 0.01[ $\mu$ m]인 침이며, 코일은 2.0[mm] 규격

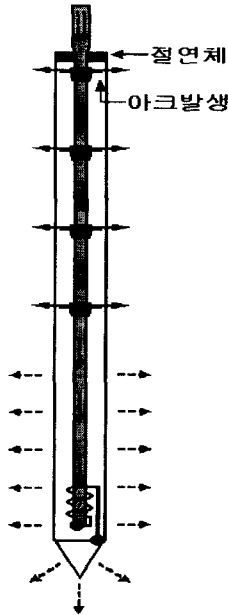


그림 3. 전류의 경로  
Fig. 3. Current path

의 절연전선이다.

그림 4에서 알 수 있는 바와 같이, 충격전압이 인가되었을 때, 피뢰기의 2차측 즉, 침에 걸리는 전압을 측정하기 위하여 분압비가 2000 : 1인 고전압 프로우브를 설치하였고, 접지선에 흐르는 전류측정을 위하여 분류비가 10 : 1인 로고스키 코일을 접지선에 설치하였다. 이렇게 측정된 전압 및 전류를 오실로스코프로 기록하였다.

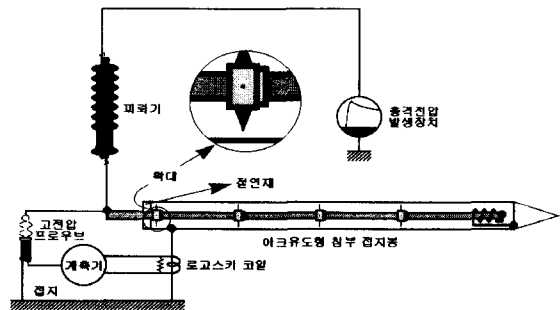


그림 4. 실험장치의 개략도  
Fig. 4. Schematic diagram of experimental setup

실험방법은 침과 동파이프 사이의 길이를 0.5[mm]부터 2.5[mm]까지 0.5[mm] 간격으로 변화시키면서, 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압과 피뢰기 1차측 단자전압을 최소 4회 이상씩 측정하여 결정하였다.

그리고 아크유도용 코일의 턴수를 30[turn]부터 270[turn]까지 30[turn] 간격으로 변화시키면서, 아크발생확률이 50[%]일 때의 인가충격전압과 피뢰기 1차측 단자전압을 측정하였다. 충격전압은 국내의 뇌특성을 고려하여 부극성으로 인가하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 갭 간극 변화에 따른 피뢰기 1차측 단자전압

코일의 턴수를 120[turn]으로 고정시키고, 갭 간극을 0.5[mm], 1.0[mm], 1.5[mm], 2.0[mm]로 변화시키면서 충격전압을 인가하였다. 그리고 이 때 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압의 크기와 피뢰기 1차 단자전압을 측정하여 그림 5에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 갭 간극이 증가함에 따

라 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압은 증가하였다.

그러나 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압은 갭 간극이 0.5[mm]에서 1.0[mm]로 증가하였을 경우에만 약간 증가하였으며, 그 이후에는 -75[kV]로서 거의 일정한 값을 나타내었다.

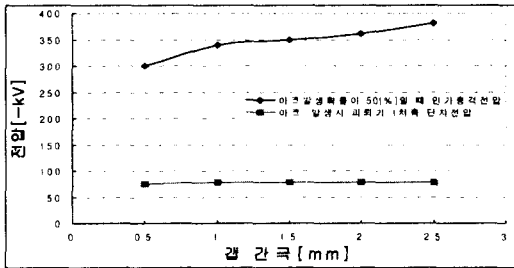


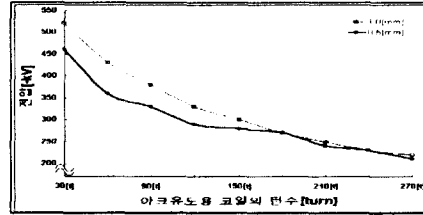
그림 5. 갭 간극 변화에 따른 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압 (턴수 : 120[turn])  
Fig. 5. Primary terminal voltage of arrester with gap length at arc(120[turn])

#### 4.2 코일 턴수 변화에 따른 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압

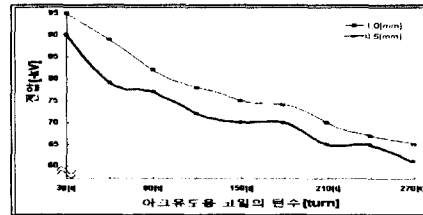
갭 간극이 짧을수록 아크발생확률이 높으므로, 갭 간극을 0.5[mm]와 1.0[mm]로 고정시키고, 각각에 대하여 아크유도용 코일의 턴수를 30[turn]부터 270[turn]까지 30[turn] 간격으로 변화시키면서 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압과 피뢰기 1차측 단자전압을 측정하여 그 결과를 그림 6에 나타내었다.

그림 6(a)를 보면 갭 간극이 1.0[mm]인 경우에는 0.5[mm]의 갭 간극보다 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압이 높다. 그러나 아크유도용 코일의 턴수가 증가함에 따라 갭 간극에 따른 전압차는 줄어들었다. 뿐만 아니라 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압의 크기도 턴수가 증가함에 따라 점점 감소하였다.

그림 6(b)는 아크발생시의 피뢰기 1차측 단자전압의 변화를 나타낸 것이다. 그림 6(a)와 마찬가지로 아크유도용 코일의 턴수가 증가하면 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압은 감소하는 추이를 보이고 있다. 그리고 갭 간극이 1.0[mm]인 경우가 0.5[mm]인 경우보다 아크 발생시 피뢰기 1차측 전압이 높다.



(a) 아크발생확률이 50[%]일 때 인가충격전압



(b) 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압

그림 6. 코일 턴수 변화에 따른 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압

Fig. 6. Primary terminal voltage of arrester with coil turn at arc

#### 4.3 피뢰기 2차측 전압 · 전류파형

그림 7은 충격전압 인가시 피뢰기 2차측의 전압 및 전류파형을 측정한 결과이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 피뢰기 2차측 단자의 전압은 심하게 진동 · 감쇄하는 파형이었다. 그리고 접지선에 흐르는 전류파형은 시간에 따라 급격하게 증가하였다가 완만히 감소하였다.

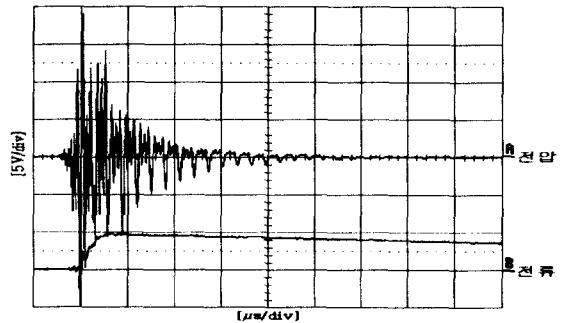


그림 7. 충격전압 인가시 피뢰기 2차측 전압 및 전류파형  
Fig. 7. Voltage and current waveform at secondary terminal of arrester when impulse voltage applied

#### 4.4 침 유무에 따른 피뢰기 1차측 단자 전압

앞의 실험에서 갭 간극 및 아크유도용 코일의 턴수 변화에 따른 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압의 감소를 분석하였으나, 이 효과를 확실하게 검증하기 위하여 침이 설치되어 아크가 발생하였을 경우의 피뢰기 1차측 단자전압과 같은 조건에서 침을 제거하여 아크가 발생하지 않았을 경우의 피뢰기 1차측 단자전압을 측정하여 비교분석하였다.

아크가 발생하였을 경우와 발생하지 않았을 경우, 피뢰기 1차측 단자전압을 비교하는 것은 실험에 사용한 아크유도형 침부 접지봉의 효과를 판단할 수 있는 기준이 된다. 아크가 발생하였을 때 전압이 경감된 만큼 전류가 아크로 인해 소멸되었음을 의미하기 때문이다.

갭 간극이 25[mm]이고 턴수가 120[turn]일 경우, 충격전압 발생장치로 실험한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이, 피뢰기의 단자에 380[kV]에서 440[kV]까지의 충격전압을 인가한 결과, 아크 발생시와 미발생시의 전압차는 약 6~7[kV] 정도였다. 이 전압차는 아크가 발생하기 때문에 생기는 전기에너지의 소모에 기인하는 것으로 생각된다.

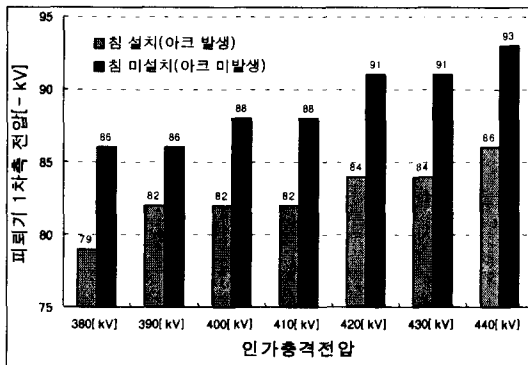


그림 8. 침 유무에 따른 피뢰기 1차측 전압 비교  
Fig. 8. Primary terminal voltage comparison of arrester when needle attached or not

#### 5. 결론

이 논문은 상용주파 고장전류 및 뇌격전류의 효과적 방류를 위해 아크유도형 침부 접지봉을 개발한

후, 배전선로의 피뢰기 접지용으로 사용될 경우, 뇌격전압에 대한 이 접지봉의 특성에 대하여 실험하여 얻은 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 침과 동파이프 사이의 갭 간극이 증가함에 따라 아크유도형 침부 접지봉의 아크발생확률이 50[%]일 때의 인가충격전압은 증가한 반면, 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압은 갭 간극이 작은 경우 약간 증가한 이외는 거의 일정하였다.

(2) 아크유도용 코일의 턴수를 증가함에 따라 아크발생확률이 50[%]일 때의 인가충격전압과 아크 발생시 피뢰기 1차측 단자전압은 감소하였다.

(3) 동일한 인가충격전압을 인가하였을 경우, 침에서 아크가 발생하였을 경우가 침을 제거하여 아크가 발생하지 않았을 경우보다 약 6~7[kV]정도 피뢰기 1차측 단자전압이 감소하는 효과를 나타내었다.

(4) 아크유도형 침부 접지봉은 상용주파 고장전류를 효과적으로 처리할 수 있도록 그 표면적을 증가시켰으며, 고주파성 충격전압 및 전류 역시 효과적으로 처리할 수 있도록 동파이프의 내부에 침부 접지봉을 설치하여 아크를 유도함으로써 전기에너지를 소모시켰다.

따라서 본 연구에서 고안한 아크유도형 침부 접지봉을 현장에 적용할 경우, 뇌격전류가 지중으로 방류되는 순간의 아크발생에 의해 서지 에너지를 소호할 수 있음을 확인하였으며, 이에 의해 대지전위상승이 억제되어 각종 전력기기 및 통신설비 등을 보호할 수 있으므로, 궁극적으로 이에 의해 전력계통의 종합적인 신뢰도 향상에 기여할 수 있으리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- (1) "IEEE guide for safety in ac substation grounding", ANSI/IEEE Std. 80, 1986.
- (2) W. Diesendorf, "Insulation Coordination in High-Voltage Electric Power System", Betterworths, 1974.
- (3) 광희로 외, "건축물 등의 피뢰설비 가이드북", 도서출판 의제, 1996.
- (4) 박중신 외, "배전용 피뢰기 사고조사 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. E, pp. 2361~2363, 1999.
- (5) 정길조 외, "지중송전계통의 접지기술 정립에 관한 연구", 전력연구원, 1998.
- (6) 서정윤 외, "뇌격전류 파라메타 측정을 위한 조사연구", 한국전력공사 기술연구원, 1990.
- (7) 천창용 외, "침상전극봉의 전지계3차원 해석법 개발",

전력연구원, 1997.

- (8) A.C. Liew and M. Daeveniza, "Dynamic model of impulse characteristics of concentrated earths", Proc. IEE. Vol. 121, No. 2, pp. 123~135, 1974.

◇ 저자소개 ◇

---

**박 중 신 (朴重信)**

1956년 3월 3일생. 1980년 숭실대학교 전기공학과 졸업, 1982년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1996년~현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정, 현재 한국전력 중앙연수원 배전교육팀 부교수.

**정 종 욱 (鄭鍾旭)**

1969년 2월 17일생, 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업, 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1999년~현재 숭실대학교 대학원 전기공학과 박사과정.

**곽 희 로 (郭熙魯)**

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대학교 전기공학과 졸업, 1978년 호주 New South Wales 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1986년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사), 1986년 미국 M.I.T Visiting Scientist. 현재 숭실대학교 전기공학과 교수, 당 학회 부회장.