

**경년열화 최소화를 위한 심타 접지공법에 관한 연구**

김근환, 왕윤찬\*, 박중신\*\*

한전 성서지점, \*한전 중앙교육원, \*\*동해대학교

**A Study on a New Grounding Method to Minimize Deterioration with the Lapse of Time**

Geun-Hwan Kim, Yoon-Chan Wong\*, Jung-Shin Park\*\*

KEPCO Seongseo Branch Office, \*KEPCO Central Education Institute, \*\*Uiduk University

**Abstract** - 본 연구의 목적은 배전선로에서 운용중인 개폐기, 변압기, 피뢰기 등의 규정 접지저항을 확보코자 시행하는 접지공사에 필요한 접지봉을 땅속 깊이 시공할 수 있는 접지봉의 개발과 접지봉 시공용 기계식 타격장치를 개발 활용하는 효율적, 경제적인 접지공법을 연구함에 있다. 또한 접지봉의 경년열화특성을 최소화하고자 접지봉의 접속부 구조를 개선하여 경년열화 특성을 향상하는데 있다.

특히, 굴착이 곤란한 도심지에서 최소 면적만을 굴착하여 규정 접지저항을 확보하는 방법을 제시하고 접지의 설계 및 시공 등 실무에 활용할 수 있도록 하였다.

**1. 서 론**

배전선로에서 운용중인 개폐기, 변압기, 피뢰기 등의 주요기기의 수명은 해당 기기의 규정 접지저항 확보와 규정 접지저항의 지속적인 유지여부와 직결되어 있다.

기존의 접지봉은 구조가 취약하여 땅속 깊이 직렬로 심타시공이 곤란하여 이에 대한 대책으로 재질, 굵기, 길이, 접속구조, 접속부의 부식, 도금방법, 리드단자의 리드선의 길이, 등을 개선하여 심타 시공성이 뛰어난 “심타용 접지봉”을 연구하게 되었다. 그리고 시공방법을 인력으로 의한 망치이용 타격방식 대신에 전동식 브레카용 타격장치를 개발 사용함으로써 작업성과 안전성이 크게 향상되었다.

특히 도심지에서 접지봉 매설에 필요한 굴착 구덩이의 면적을 최소화 하고자 지중매설 접지봉과 가공지선 또는 피뢰기 2차측 접지선과 연결되는 리드단자의 리드선의 길이를 길게 하여 굴착면적의 최소화와 공사비를 대폭 절감하고 작업성도 개선하였다.

또한 접지봉의 접지저항 경년열화를 둔화 시키고자 접지봉과 접지봉, 접지봉과 리드단자, 리드단자와 접지선을 접속시에 접속부가 부식되는 것을 방지하고자 접속부에 수밀형의 도전성콤파운드를 충전하여 장기간 땅속에 있어도 대기중의 아황산가스 등이 용해된 빗물에 의해 부식되는 것을 최소화 되도록 하였다.

따라서 본 논문에서는 이러한 일련의 연구결과를 현장 실무에 적용하여 접지공사의 시공성 향상과 접지봉의 수명 연장을 도모하고자 하였다.

**2. 기존 접지봉의 특성 및 시공방법**

현행 배전선로에서 널리 사용중인 동도금 접지봉은 접지봉의 재질, 굵기, 길이, 접속구조, 접속부의 부식, 도금방법과 리드단자 리드선의 길이, 시공방법에서 취약점을 내포하고 있다.

**2.1 기존 접지봉의 특성**

**2.1.1 접지봉의 재질, 굵기, 길이**

현행 동도금 접지봉의 재질, 굵기, 길이는 SS41(KSD) 3503 일반구조용 압연강재, 14mmx1,000mm)이다.

재질인 SS41(KSD3503) 일반구조용 압연강재는 강도 부족으로 땅속에서 암석을 만나면 봉이 휘어져 직렬로 심타시공이 곤란하고, 굵기는 14mm로 가늘어 필연적으로 접속부의 두께를 1.5mm로 감소시킨 요인이다. 반면 길이는 1,000mm로 굵기에 비해 상대적으로 길어 암석과 접촉시에 타격하면 쉽게 휘어지게 된다.

**2.1.2 접지봉의 접속구조**

현행 동도금 접지봉의 접속구조는 봉과 봉이 직접접촉 확장되면서 접속되는 구조이나 접속 작업이 쉽지 않고, 접지봉 타격시 휘거나 접속부가 터지는 경우에 손상된 부분을 분리할 수 없는 구조적 결함이 있다. 따라서 이 경우에는 처음부터 다시 시공하여야 한다.

**2.1.3 접지봉 접속부의 부식 및 도금방법**

접속부는 커플링 방식으로 봉과 봉이 직접접촉 확장되면서 접속되는 구조로서 땅속에 스며든 대기중의 아황산 가스 등이 용해된 빗물에 의해 쉽게 부식되는 현상을 보이고 있다. 최근 대기오염이 심각해짐에 따라 서울 등 도심지에 시공된 동도금 접지봉은 약 3년이 경과하면 접지저항이 급격히 증가하는 추세이다. 이는 80년대의 5년 경과에 비하여 접지봉의 수명이 40%정도 감소된 상황이다.

기존 접지봉은 동도금 방법 채택으로 금속의 특성상 동은 산에 대한 내식성이 취약하다.

**2.1.4 접지봉의 리드단자 리드선의 길이**

기존 접지봉의 리드단자 리드선 길이는 약 270~300mm로 짧아, 가공지선 또는 피뢰기의 2차측 접지선과 압축 접속하기 위해 부득이 지하 75cm 구덩이 안에서 작업해야 함으로써, 최소한 사람이 들어갈 수 있는 넓은 공간(0.7mx0.7m)이 필요한 문제점이 있다.

**2.2 기존 접지봉의 시공방법**

기존 동도금 접지봉은 인력으로 망치를 이용하여 시공하므로 땅속 깊이 심타하기가 쉽지 않다. 특히 암석지역에서는 더욱 어려워 규정접지저항 확보가 곤란하다.



[그림 2.1] 사람이 망치로 접지봉 타격 시공

### 3. 심타용 접지봉의 특성 및 시공방법

심타용 접지봉은 재질, 굵기, 길이, 접속구조, 접속부의 부식, 도금방법과 리드단자의 리드선의 길이, 시공방법 등 기존의 접지봉의 문제점을 다음과 같이 해소하였다.

#### 3.1 심타용 접지봉의 특성

##### 3.1.1 접지봉의 재질, 굵기, 길이

개선 접지봉의 재질, 굵기, 길이는 SM45C(KSD3752 기계구조용 탄소강재, 25mmx800mm)이다.

재질인 SM45C(KSD3752 기계구조용 탄소강재를 채택하였으며, 그 결과 땅속의 돌을 깨트릴 충분한 강도가 확보되었고, 굵기는 25mm로 붕이 휘어지는 않는 최적의 굵기로 선정하고, 길이는 800mm로 하여 암석과 접촉시 기계장치로 타격하여도 붕이 휘지 않는 길이로 선정하였다.

##### 3.1.1.1 접지봉의 내충격하중 계산식

접지봉을 타격장치로 타격하여 시공시 접지봉이 받는 내충격하중 계산을 위해 타격장치의 중량을 10kgf기준으로 하였다.

사람이 해머를 1m 높이에서 자유낙하 속도는

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 1} = 4.427\text{m/s} \quad (2.1)$$

해머가 아닌 타격장비를 이용시는 높은 속도를 낼 수 있으므로 최고 15m/s로 하여 계산하고자 한다.

$m=10\text{kg}$ ,  $V=15\text{m/s}$ 로 하면 충격량은 다음과 같다.

$$F \Delta t = m \cdot V = 10 \times 15 = 150 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \quad (2.2)$$

충격력은 타격장치가 접지봉에 접촉하는 충격시간으로 나누면 일반적인 충격시간은 다음과 같다.

어떠한 물체가 부드러운 흙에 접촉시 충격시간은 0.02초이며 물체가 콘크리트와 같은 딱딱한 물체에 접촉시 충격시간은 0.001초이다. 여기서 접지봉의 사용환경이 주위가 흙이며 돌에 접촉하였을 때는 최대 접촉시간을 0.002초로 하면 충격력은 다음과 같다.

$$Ft = \frac{F \Delta t}{t} = \frac{150}{0.002} = 75,000 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \\ = 75,000\text{N} = 7,653\text{kgf} \quad (2.3)$$

##### 3.1.1.2 접지봉의 단면적 계산식

접지봉의 단면적은 아래와 같이 하여 구한다. 접지봉의 재질인 기계구조용 탄소강재(SM45C)가 견딜 수 있는 응력값은 58kgf/mm<sup>2</sup>이다.

충격력을 이용하여 접지봉의 최소단면적을 계산하면

$$\sigma = \frac{Ft}{A} \text{에서 } A = \frac{Ft}{\sigma} = \frac{7,653}{58} = 132 \quad (2.4)$$

결과에 의거 단면적은 132mm<sup>2</sup> 이상이어야 한다.

##### 3.1.1.3 접지봉의 굵기 계산식

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{에서}$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{132 \times 4}{\pi}} = 12.964 \quad (2.5)$$

접지봉의 직경은 접속 나사부 기준으로 13mm 이면 가능하나 최소 2.0의 안전율을 적용한 유효직경은

$$d = \sqrt{\frac{A \times 4 \times 2}{\pi}} = \sqrt{\frac{132 \times 4 \times 2}{\pi}} = 18.3\text{mm} \quad (2.6)$$

따라서 접지봉의 굵기는 위 결과에 의거 접속 나사부는 19mm로 선정하고, 또한 접지봉을 심타하기 위한 심타부는 충격에 견디기 위해 최소 3mm 이상이 필요하여 심타용 접지봉의 최소 굵기는 접속 나사부와 타격장치의 충격에 견디는 심타부를 합한 25mm로 하였다.

### 3.1.2 접지봉의 접속구조

개선 접지봉은 붕의 굵기를 25mm로 하고 접속부의 두께를 3mm로 하여 기존 접지봉 보다 2배의 굵기로 하였다. 접속방식은 접지봉과 접지봉, 접지봉과 리드단자, 리드단자와 접지선을 나사식으로 개선하여 붕과 붕의 단면이 직접 접촉되도록 하여 기계장치에 의한 심타시 충격이 접속부가 아닌 몸체 접촉부에 직접 전달되게 하여 접속부가 터지지 않고, 땅속의 돌을 깨트릴 충분한 강도가 확보되는 구조로 연구하였다.

### 3.1.3 접지봉의 접속부의 부식

접속부는 기존 커플링방식에서 나사식으로 개선하였고 땅속에 스며든 대기중의 아황산가스 등이 용해된 산성 빗물에 의해 접속부가 부식되지 않도록 수밀형의 도전성 폼과운드를 충전함으로써, 부식에도 대비하였다.

특히 산, 염기에 대한 내식성이 동도금방법보다 상대적으로 강한 용융아연도금방법을 채택해 부식을 둔화시켜 접지봉의 수명이 기존 접지봉 대비 약 300% 이상 연장되었다.

### 3.1.4 접지봉 리드단자 리드선의 길이

리드단자 리드선의 길이를 700mm로 길게 하여, 가공 지선 또는 파괴기의 2차측 접지선과 압축 접속시 지하 75cm 구덩이 안에 사람이 들어가지 않고 지상에서 안정적으로 작업할 수 있어서 구덩이 굴착면적을 약 1/5로 (0.3mx0.3m) 최소화 하였다.



[그림 3.1] 기존 접지봉과 심타용 접지봉의 구조 비교

### 3.2 심타용 접지봉의 시공방법

전동식 브레카를 이용하여 땅속 깊이 심타 시공한다. 특히 암석지역에서 더욱 작업성이 뛰어나 규정접지저항 확보가 용이하다.



[그림 3.2] 브레카로 접지봉 타격 시공

#### 4. 심타용 접지봉의 시공 효과

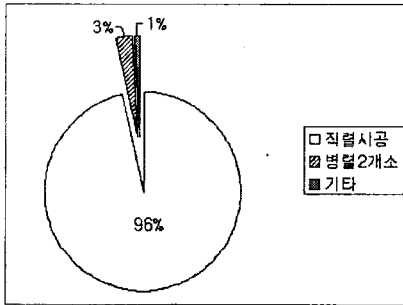
우리나라에서 접지저항 확보가 어려운 제주지역과 서울의 은평구 지역에서 심타용 접지봉을 사용하여 취득한 직렬시공, 경년변화 및 토질별 시공내역을 분석하였다.

##### 4.1 심타용 접지봉의 직렬시공

서울의 은평구 지역에서 2004.3.29~2004.12.6까지 규정 접지저항에 미달된 908개소에 대하여 시공한 결과는 다음과 같다.

[표 4.1] 심타용 접지봉 시공결과

구 분	전주별 접지공사 내역						
	P.Tr	개폐기	피뢰기	고압주	저압주	입상주	계
○ 규정저항(Ω)	25	25	25	100	100	10	-
○ 시공개소	722	48	32	60	44	2	908
직렬시공개소	699	46	29	56	44	1	875
병렬시공개소	23	2	3	4	0	1	33
○ 봉 총 소요량	3,224	190	147	203	118	4	3,886
평균 봉 소요량	4.47	3.95	4.59	3.38	2.68	2	
최대 봉 소요량	18	7	10	8	6	2	
최소 봉 소요량	1	2	2	2	1	2	



[그림 4.1] 직렬 및 병렬시공 비율

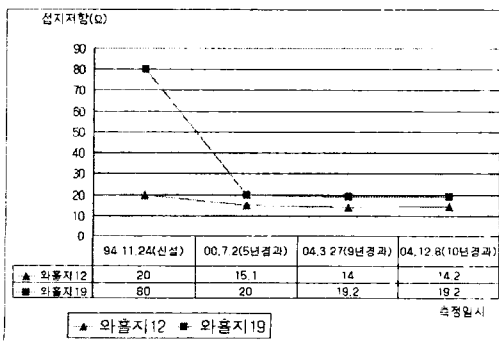
##### 4.2 접지저항치 경년변화

제주지역에서 와홀지선 22.9kV-y 승압공사로 시행후 1994.11.24~2004.12.8까지 10년 경과후 접지저항치 경년변화 관찰 결과는 다음과 같다.

[표 4.2] 심타용 접지봉 경년변화 관찰 결과

전주번호	시공내역 (직렬×병렬)	94.11.24 (최초시설)	00.7.2 (5년경과)	04.3.27 (9년경과)	04.12.8 (10년경과)
와홀지9	2×2	20	15	13.1	14.5
와홀지12	2×2	20	15.1	14	14.2
와홀지18	2×2	60	28	7	9.6
와홀지19	2×2	80	20	19.2	19.2
와홀지39L7	2×2	70	65	34	39

위 음영표시 2개소의 경년변화는 아래 표와 같다.



[그림 4.2] 심타용 접지봉 접지저항 경년변화

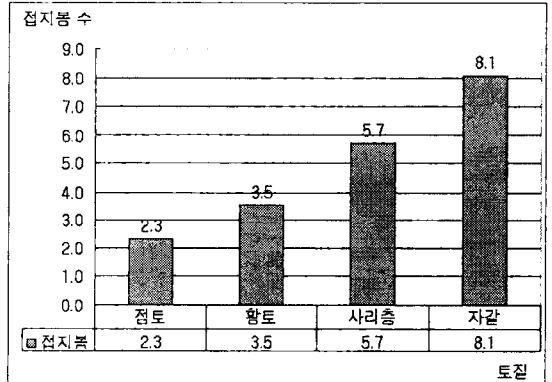
#### 4.3 토질별 시공내역

서울의 은평구 지역에서 2004.3.29~2004.12.6까지 시행한 908개소 중에서 임의 발취한 270개소에 대한 토질별 시공내역은 다음과 같다.

[표 4.3] 토질별 시공내역

봉 수(개)	토 질 (개소)				계
	점토	황토	사리층	자갈	
1	3	1			4
2	14	11			25
3	12	53			65
4		46	12		58
5		7	28	3	38
6		5	16	8	29
7			4	10	14
8			4	8	12
9			1	7	8
10			3	8	11
11			1	5	6
개소 계	29	123	69	49	270
평균	2.3	3.5	5.7	8.1	

상기 결과를 도표로 표시하면 다음과 같다.



[그림 4.3] 토질에 따른 접지봉 평균 소요량

#### 5. 결 론

본 연구논문에 기술된 바와 같이 접지봉의 재질, 굵기, 길이, 접속구조, 접속부의 부식, 도금방법과 리드단자의 리드선의 길이, 시공방법 등 기존 접지봉의 문제점을 모두 해소함으로써 접지공사의 시공성과 경년변화 특성이 획기적으로 향상되었다.

그 결과 그간 어렵게만 느껴온 직렬 시공성(1개소에 다수 접지봉을 연결 깊게 시공)이 96% 이상으로 향상되고, 굴착면적이 약1/5로, 공사비는 약1/3로 감소되어 경제성도 향상되었다. 개선효과가 지대하여 한국전력공사에서 운영중인 배전 설계기준 접지공사편에 심타 접지공법이 추가로 반영되어 개정되었다.

점점 첨단화되는 전기·전자·IT 기술과, 홈오토메이션 인텔리전트빌딩 건설과 더불어 크게 증대되고 있는 접지의 중요성을 감안할 때 본 연구결과가 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 경영정보처, 표준구배시방서(I) ES 107-529-531 접지봉, 1997.7.30
- [2] 한국전력공사 배전처, 배전 설계기준-3500, p.1~11, 2004
- [3] 한국전력공사 성서지점, 심타용 접지봉 시공지침서, 2004
- [4] 한국전력공사 중앙교육원, 배전실무(1), p.191~207, 2004
- [5] 한국전력공사 전력연구원, KEPRI JOURNAL 겨울호 특허 이야기, p.8~9, 2001