

봉형접지극 접지저항 향상을 위한 기계화 시공 연구

(A Study on the Mechanization of the Grounding Rod Earth Construction Method to Improve the Grounding Resistance Characteristics)

박중신* · 조성제 · 안인석

(Jung-Shin Park · Sung-Jae Cho · In-Suk An)

요 약

봉형접지극은 타 접지전극 형태에 비해 쉬운 시공성으로 국·내외적으로 배전계통에 보편적으로 사용하고 있는 접지극 형태이다. 따라서 보다 나은 봉형접지극의 시공성 향상을 위해 형태 변형, 형상 개량, 재질 개선 등 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 접지공사는 다양한 토질을 대상으로 이루어지기 때문에 봉형접지극 자체에 대한 개선으로는 시공성 향상에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 봉형접지극의 직렬 및 병렬 시공을 기계화(중공스크루로드 이용)함으로써 소정의 접지저항값을 효과적으로 확보할 수 있는 공법에 관한 연구이다. 본 연구 결과를 축약하면 같은 조건하(동일한 대지저항을, 동일한 접지동봉 개수, 동일한 직렬 또는 병렬 시공, 동일한 접지저항저감제, 물 공급)에서 현재 적용하고 있는 항타(심타)공법과 기계화공법에 대하여 새롭게 제시된 기계화공법으로 인한 접지저항값의 저감 효과를 비교하였다. 제안된 기계화공법이 항타공법에 비해 비교적 안정된 접지저항 저감 효과를 얻었다.

Abstract

The bar-shaped electrode is very popular in earth construction for its easy obtainments of the regulative grounding resistance values on power distribution systems in many countries. For these reason, a lots of researches are being proceeded on its deformation and materials. But the grounding construction has limit for improvement the grounding resistance characteristics not only by the improvement of the driven electrode, because that the grounding characteristics are very sensitive to soils(hard, soft). This study is about the construction methods on which the driven electrode can be serially or parallelly connected using by hollow screw rod for obtaining the regulative grounding resistance values. The experimental results show that the grounding resistance values are reduced more than 30[%] comparing with the other construction methods under the same conditions(earth resistance, numbers of driven electrode, construction method of serial and parallel, chemicals for reducing grounding resistance, water).

Key Words : Driven Electrode, The Hollow Screw Rod, Chemicals For Reducing Grounding Resistance, Regulative Grounding Resistance Values

* 주저자 : 위탁대학교 에너지전기공학부 조교수

Tel : 054-760-1665, Fax : 054-760-1669, E-mail : pjs1400@hanmail.net

접수일자 : 2009년 10월 12일, 1차심사 : 2009년 10월 12일, 심사완료 : 2009년 10월 19일

1. 서 론

우리나라의 배전계통은 변전소의 주변압기가 Y 결선되고 중성점에서 인출한 중성선을 다중 접지하는 시스템을 사용하고 있다. 우리나라 전력회사의 설계기준을 보면 중성선은 3중접지를 하되, 중성선의 접지저항값은 [km]당 5[Ω] 이하를 유지하도록 규정되어 있고 중성선에서 분리하여 단위 개소의 유지 접지저항값은 100[Ω] 이하로 규정하고 있다. 또한, 일단접지주상변압기와 같이 기기가 설치된 경우에는 1중접지를 하되, 25[Ω] 이하를 유지하도록 되어 있다. 이러한 접지저항값을 확보하기 위하여 여러 가지 접지시공법을 사용하고 또 개선하고 있지만, 소정의 접지저항값을 확보하는 것은 쉬운 일이 아니다[1]. 따라서 소정의 접지저항값을 쉽게 확보하기 위한 최근의 연구 동향을 살펴보면 접지극의 재질 강화 및 형상개선 등을 통해 봉형접지극을 보다 쉽게 심타 시공할 수 있도록 연구개발하고 있다. 그러나 상기의 방법은 수개의 봉형접지극을 직렬로 대지 깊은 곳에 시설할 수 있는 공극의 방법이 될 수 없다. 봉형접지극의 재질 강화 및 형상 개선으로는 시공의 한계가 있기 때문이다. 따라서 대지 깊은 곳에 수개의 봉형접지극을 쉽게 직렬시공하기 위해서는 접지전극 자체에 대한 개선보다는 시공법에 대한 기술 개발이 더욱 효과적이다. 이러한 관점에서 시공법을 연구개발하고 기존의 방법과 신공법에 의해 얻어진 접지저항값을 비교 분석하였다.

2. 접지극 기계화 공법 개발

2.1 봉형접지극의 접지저항저감

Tagg, Ollendorff, Zingraff 등이 제시한 접지동봉의 접지저항값을 구하는 식 (1)이 일반적으로 사용되고 있다. 식 (1)을 구성하고 있는 각 요소를 접지저항 저감을 위한 대책으로 보면 다음과 같이 해석할 수 있다[2].

$$\text{접지저항값 } R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{a} \quad [Ω] \quad (1)$$

여기서

R : 접지저항값 [Ω]

ρ : 대지저항율 [Ω - m]

a : 접지전극의 반지름 [m]

l : 접지전극의길이[m]

식 (1)에 의하면, 접지저항 R 값을 낮추기 위해서는 대지저항율 ρ 값의 저감, 접지전극의 길이 l 값의 증가 그리고 접지전극의 반지름 a 값의 증가 등 3가지 방법이 있다.

본 연구에서 개발한 중공스크루로드를 이용하면 접지저항값 R 을 결정하는 3 요소를 동시에 개선할 수 있다.

첫째, 가압된 물 및 접지저항저감제를 스크루로드의 중공을 통해 주입할 수 있어 접지극 주변의 대지저항율 ρ 값을 저감할 수 있을 뿐만 아니라 물다짐으로 초기부터 접촉저항값을 낮출 수 있다.

둘째, 중공스크루로드를 이용하여 쉽게 굴착할 수 있을 뿐만 아니라 수개의 봉형접지극을 직렬 시공할 수 있어 접지전극의 길이 l 값을 증가시킬 수 있다.

셋째, 접지저항저감제를 스크루로드의 중공을 통해 봉형접지극 주변에 직접적으로 주입되기 때문에 접지전극의 반지름 a 값을 증가시키는 효과를 준다.

중공스크루로드를 이용한 기계화 공법으로 상기 3 요소를 동시에 증가 또는 개선할 수 있기 때문에 기존방법(접지극 개발 및 개선)에 비해 효과적으로 접지저항값을 저감할 수 있다[3].

2.2 현장에서 적용하고 있는 접지공사법 분석

우리나라 배전선로의 접지공사에 적용하고 있는 접지시공법은 봉형접지극을 향타기(전동식, 유압식)를 이용하여 향타(심타)하는 것이 주된 시공법이다.

일반적으로 현장에서 시공하는 향타(심타)방법은 그림 1과 같이 가로 1[m], 세로 1[m]을 깊이 0.75[m] 이상 굴착한 후 향타기(전동식, 유압식)를 이용하여 봉형접지극을 향타한 후 그냥 되메우거나 필요에 따라 접지저항저감제를 도포한 후 되메우기를 하게 된다[4]. 따라서 접지전극 상부에 물을 뿌리거나 접지

저항저감제를 뿌리기 때문에 물 또는 접지저항저감제가 접지극에 직접적인 영향을 주지 못하고 간접적인 영향만 줄 뿐이다. 또한, 시공 과정에서 리드단자 부분이 그림 2와 같이 동과 강심 사이에 박리되는 피복 분리현상, 강심의 강도 부족에 의한 접지극 휨 현상 그리고 순수 동으로 된 리드단자의 강도 부족에 의한 리드단자의 찢어짐과 같은 문제가 발생하게 된다.

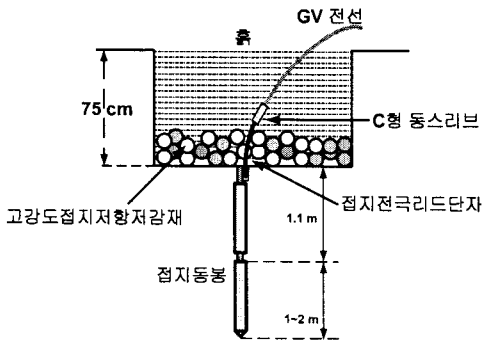


그림 1. 항타(심타)공법의 예
Fig. 1. Example of null method construction

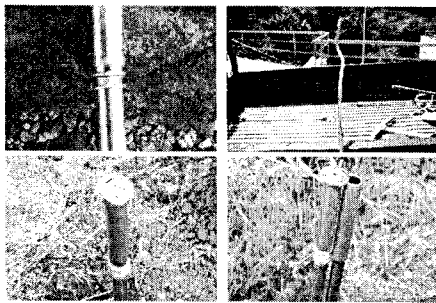


그림 2. 심타공법에 의한 접지극 손상 예
Fig. 2. Damage on driven electrode by null method constructions

토양의 종류에 따라 다르지만, 그림 2와 같은 현상이 발생하기 때문에 보통 접지극을 직렬로 2개 이상 시설하기가 쉽지 않게 된다. 따라서 현장에서는 공사가 비교적 쉬운 병렬시공법(직렬시공에 비해 접지저항값을 얻기가 어려움)을 선호하고 있지만, 소정의 접지저항값을 얻기 위해서는 더 많은 동봉과 인력이 수반되는 것이 현실이다. 심타용 봉형접지극은 직렬시공성을 높이기 위해 개발한 것이다. 심타용

봉형접지극은 그림 2에 표현한 여러 형태의 접지극 손상은 줄일 수 있지만, 항타기를 이용하여 여러 개의 접지극을 직렬로 항타시공 하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 접지극의 단면적을 높이고, 경년변화를 줄일 목적으로 최근에 개발된 도전성콘크리트 접지봉의 경우 역시 금속 접지극 위에 도전성콘크리트를 입힌 형태이기 때문에 항타기 사용이 불가하여 백호 또는 포클레인으로 땅을 파서 되메우기 하는 방식을 사용하고 있다. 따라서 접지극의 주변 토를 광범위 하게 파헤치기 때문에 초기 접촉저항값을 얻기 어렵고 도전성콘크리트봉의 특성상 일정값 이상 수분이 흡수되어야 접지저항값이 안정되기 때문에 일정 시간이 경과하여야 한다.

따라서 봉형접지극의 형태, 재질 및 기능을 강화하여 직렬 시공성을 높이는 방법은 한계가 있음을 알 수 있다.

본 연구에서는 현재 현장에서 전주 건축용으로 사용하고 있는 오거크레인에 본 연구에서 개발한 접지극 시공용 중공 스크루 로드를 장착하여 각종 봉형 접지극을 쉽게 효과적으로 시공할 수 있는 기계화된 공법을 개발하였다[3].

2.3 중공스크루로드 개발과 시공법

배전계통에서는 전주 건축작업을 기계화하기 위해 전통적으로 그림 3에 표현된 오거크레인을 사용하고 있다. 오거크레인은 건축용스크루로드가 장착되어 있다. 이 스크루로드의 규격을 접지전극 시공에 적합하도록 굴착용 날개의 직경을 줄이고 (450[mm] → 96[mm]), 스크루로드의 중앙에 중공(中空)을 마련하여 봉형접지극을 중공 안에 장착할 수 있도록 그림 4와 같이 제작하였고, 그 명칭을 중공스크루로드라 명명하였다. 시공방법은 그림 3과 같이 오거크레인에 중공스크루로드를 장착하고 봉형접지극을 로드와 중공에 넣은 후 로드와 최하부의 끝에 있는 고정편에 고정시킨 다음 로드를 회전하여 굴착하면 굴착된 끝 깊은 곳에 접지극이 위치하게 된다. 이 상태에서 중공에 가압된 물을 주입하면 로드로부터 접지극과 함께 고정편이 이탈하게 되고, 물을 계속 공급하는 상태에서 중공스크루로드를 역

봉형접지극 접지저항 양상을 위한 기계와 시공 연구

회전하면 땅으로부터 제거되고 시공은 완료된다. 개발된 장치로 접지극을 시설할 수 있는 깊이는 약 5[m](봉형 접지전극 3~4개를 직렬로 시공 가능) 정도이다.

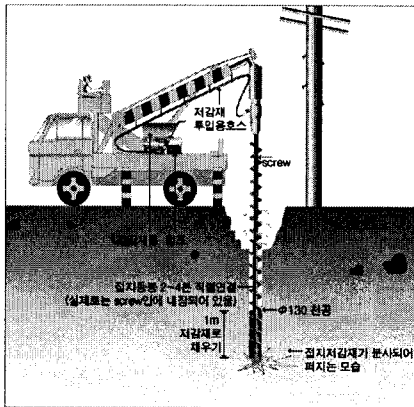


그림 3. 오거크레인에 중공스크루로드 장착된 모습
Fig. 3. Installed the hollow screw rod on crane

뿐만 아니라 본 장치는 펌프로 가압된 물을 중공을 통하여 땅속 깊숙이 공급하기 때문에 접지극 시공과 동시에 시설 초기부터 물을 공급하여 접지극 주변의 흠을 물로 다져주는 효과가 있어 초기 접촉 저항값을 낮출 수 있도록 설계되어 있다.

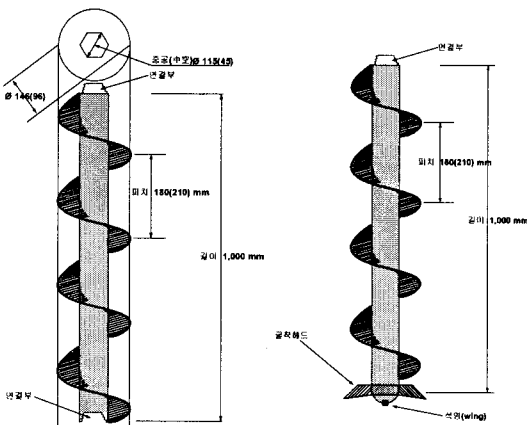


그림 4. 중공스크루로드의 개념도
Fig. 4. The specifications of the hollow screw rod

그림 5는 신공법으로 시공된 접지극의 시공결과를 표현한 것이다. 그림 1과는 다르게 접지극에 연하여

직접 물을 공급하거나 접지저항저감제가 접지극을 직접 감싸기 때문에 물 또는 저감제의 영향을 접지극에 직접 줄 수 있는 장점이 있다[3].

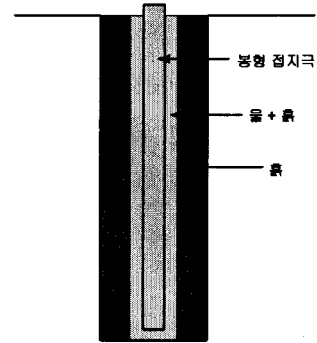


그림 5. 신공법으로 시공한 결과
Fig. 5. Layout result by new construction method

3. 항타 및 신공법에 대한 접지저항 값 비교 실험

3.1 실험재료 및 시공법

배전계통의 접지시설에 가장 많이 사용하고 있는 대표적인 봉형접지극인 접지동봉, 심타용접지봉 및 도전성콘크리트접지봉을 선정하고, 접지극 2~3개를 직렬로 시공하되, 현재 가장 많이 사용하고 있는 심타(항타)시공법과 중공스크루로드를 이용한 신공법으로 나누어 시공하고 접지저항값을 측정한다. 또한, 공법별로 시공 초기에 접지극 주변에 물을 공급한 경우와 공급하지 않은 경우의 접지저항값 차이를 조사하였다. 신공법은 공법상 물을 공급하도록 되어 있다. 그러나 본 실험을 위해 물을 공급하지 않고 시공도 하였다.

표 1. 봉형접지극의 종류 및 개수
Table 1. Types and numbers of driven electrode

종류	수량[개]	비고
접지동봉	2~3	
심타용접지봉	2~3	
도전성콘크리트봉	2	

표 2. 봉형접지극의 시공법
Table 2. The construction methods of driven electrode

시공방법	내 용
심타공법	현재 적용하고 있는 시공법
신공법	중공스크루로드를 이용한 시공법

3.2 시공방법

접지극 종류별로 직렬 극수를 달리하며 표 3과 같이 향타 및 신공법으로 시공하였다.

표 3. 시공방법 분류
Table 3. Classification of constriction method

번호	기호※	극수	접지극	물공급	공법
1-1	3-동-향-무	3	동봉	×	향 타
1-2	3-동-신-무	3	동봉	×	신공법
1-3	3-동-신-물	3	동봉	○	신공법
2-1	2-동-향-무	2	동봉	×	향 타
2-2	2-동-신-무	2	동봉	×	신공법
2-3	2-동-신-물	2	동봉	○	신공법
3-1	2-심-향-무	2	심타봉	×	향 타
3-2	2-심-신-물	2	심타봉	○	신공법
3-3	2-심-신-물	2	심타봉	○	신공법
4-1	2-콘-오-무	2	시멘트봉	×	오 거
4-2	2-콘-신-물	2	시멘트봉	○	신공법

※ 기호설명
 숫자 : 접지극수, 동 : 접지동봉, 심 : 심타접지봉
 콘 : 콘크리트접지봉, 향 : 향타공법, 신 : 신공법
 물 : 물 공급, 무 : 물공급 없음
 ※ 1-2, 2-2의 경우는 신공법으로 시행함에도 불구하고 고의적으로 물을 공급하지 않고 시공한 경우임

3.3 측정내용

시공법을 중심으로 동일한 조건하에서 초기접지 저항값 비교, 장기간(1년)에 걸친 접지저항값의 변화 및 변화 편차 등을 비교 측정하였다.

측정방법은 3점법 전압강하방식의 자동디지털접지저항계를 사용하여 측정하였다. 접지저항계의 사양은 표 4와 같다.

표 4. 접지저항측정장치 사양
Table 4. Specification of ground resistance tester

제작사	Chekman	
측정방식	전압강하방식	
MODEL	TK - 2040	
측정범위	0~2000[Ω]	
정밀도	± 2[%]	

4. 측정 및 결과 분석

4.1 공법별 초기 물 주입 유무에 따른 접지저항값 측정 결과 및 분석

본 실험은 시공 초기에 접지극 주변에 물을 주입한 경우와 주입하지 않은 경우의 공법별 접지저항값의 차를 알아보기 위한 실험이다. 공법에 따라 물 주입 유무를 표 5에 언급하였고, 이에 따른 측정결과를 그림 6에 나타내었다.

표 5. 공법별 초기 물 주입 유무 표
Table 5. Water injection or not at the first stage

공 법	물공급	종류	극수[개]
향 타	×	동 봉	2~3
		심 타 봉	
		콘크리트봉	
신공법	○	동 봉	2~3
		심 타 봉	
		콘크리트봉	

그림 6을 분석하면 공법에 관계없이 물이 주입된 경우가 주입되지 않은 경우 보다 낮은 저항값을 나타내고 있다. 또한, 공법별로 비교하면 신공법으로 시공된 경우가 그렇지 않은 경우 보다 평균적으로 접지저항값이 낮게 나타남을 알 수 있다. 따라서 접지저항값에 물이 주는 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 또한 접지극 주변에 물이 주입되는 것과 접지동봉의 상부에 물을 공급하는 것과는 접지저항값에 따라 효과 차이가 있음을 알 수 있다.

봉형접지극 종류별로 분석한 결과는 심타용접지봉, 접지동봉 그리고 도전성콘크리트봉 순으로 접지

봉형접지극 접지저항 향상을 위한 기계와 시공 연구

저항값이 낮게 나타났다.

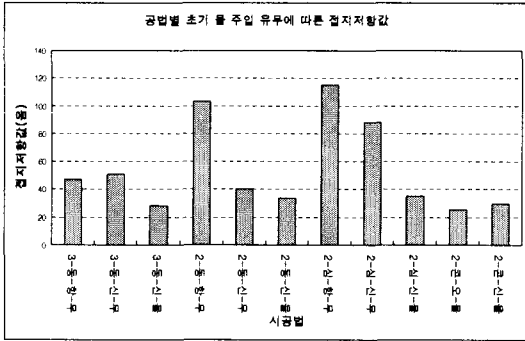


그림 6. 공법별 초기 물 주입 유무에 따른 접지저항값 측정 결과

Fig. 6. Result graph of grounding resistance values according to the water injection or not at the first stage

4.2 공법별 접지동봉의 접지극 수에 따른 접지저항값 측정 및 결과 분석

공법별 접지극 수가 접지저항값에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험이다. 공법별(향타공법과 신공법)로 구분하여 접지동봉의 수량 2~3개를 사용하여 직렬 시공하였으나 물을 공급하지 않은 실험이다. 실험 조건을 표 6에 나타내었고, 이에 대한 측정결과를 그림 7에 나타내었다.

표 6. 공법별 접지극 수 표
Table 6. Numbers of driven electrode according to the constructions

공법	극수[개]	접지극	물공급
향 타	3	동봉	×
	2		
신공법	3	동봉	×
	2		

※ 신공법은 물주입이 필수지만, 실험을 위해 고의적으로 공급하지 않은 것임.

그림 7은 접지동봉을 물 공급 없이 공법별로 접지극 수에 의한 영향을 나타낸 것이다. 전체적인 접지저항값의 변화 추이는 시공법, 극수 그리고 물공급에 관계없이 비슷하게 나타났다. 접지저항값의 크기

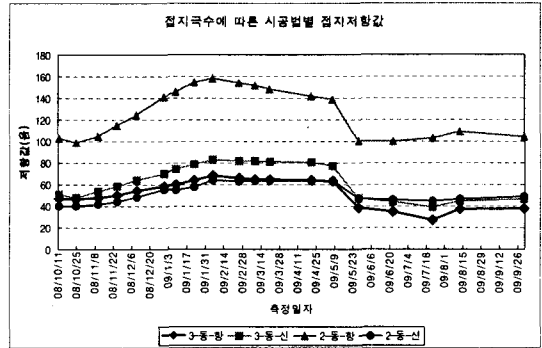


그림 7. 접지극 수에 따른 공법별 접지저항값 측정결과 그래프

Fig. 7. Results graph of grounding resistance values according to the numbers of driven rod

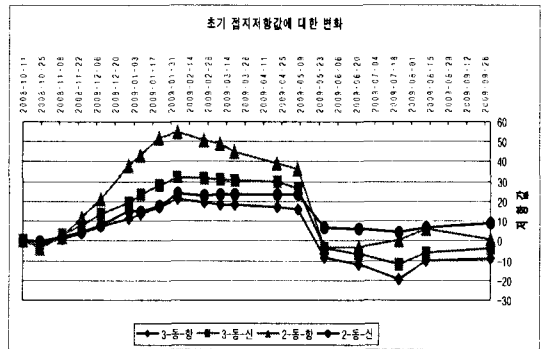


그림 8. 초기 접지저항값에 대한 접지극수별 저항값 변화
Fig. 8. Change of grounding resistance values comparing the first day's with other day's according to the driven rod's numbers

표 7. 초기 접지저항값에 대한 접지극수별 변화 폭
Table 7. The range of change according to the numbers of electrode

기호	공법	편차[Ω]	변화폭
3-동-향	향타	21.2~-19.6	40.8
3-동-신	신공법	32.4~-11.9	44.3
2-동-향	향타	55~-4	59
2-동-신	신공법	23.8~-0.1	23.9

로 비교하면 2-동-향, 3-동-신, 3-동-향 그리고 2-동-신의 순으로 접지저항값이 낮게 나타났다. 그림 8은 초기에 형성된 접지저항값에 대한 접지극 수에 따른 접지저항값의 변화 값을 분석한 그래프다. 초

기 접지저항값을 0으로 놓았을 때 일자별 변화 편차 추이를 나타낸 것으로 표 7과 같이 3극인 경우에는 신공법과 항타공법 간에 큰 차이를 보이지 않았지만, 2극의 경우 2-동-항은 변화폭이 59[Ω], 2-동-신은 23.9[Ω]로 변화폭이 매우 크게 나타났다.

4.3 공법별 봉형접지극의 종류에 따른 접지저항값 측정 및 분석 결과

현장에서 사용하고 있는 여러 종류의 접지극을 대상으로 표 8과 같이 공법별로 구분하여 실험하였고, 이에 대한 측정 결과는 그림 9와 같다.

표 8. 공법별 봉형접지극 종류
Table 8. The driven rod's types according to the construction methods

공법	종류	극수	물 공급
항타	동 봉	2	×
	심 타 봉		×
	콘크리트봉		×
신공법	동 봉	2	○
	심 타 봉		○
	콘크리트봉		○

※ 항타공법은 접지극 주변에 직접적으로 물을 공급할 수 없는 공법임.

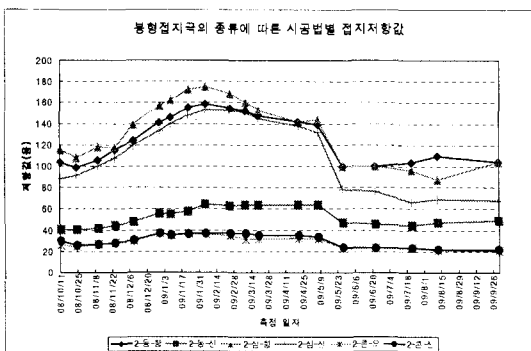


그림 9. 공법별 봉형접지극 종류에 따른 접지저항값 측정결과 그래프
Fig. 9. Results graph of grounding resistance values according to the driven rod's types

그림 9는 여러 가지 봉형접지극 2개를 기준으로 공법별로 분석한 그래프이다. 전체적인 접지저항값

의 변화 추이는 시공법과 관계없이 비슷한 변화 추이를 보이고 있다. 접지저항값으로 비교하면 물을 공급하지 않은 항타공법 및 신공법(물 공급 무의 경우)에서 접지저항값이 크게 나타났고, 물 공급이 필수인 신공법은 접지저항값이 현저하게 적은 값으로 나타났다. 접지극별로 접지저항값의 크기를 비교하면 심타형 접지극, 접지동봉 그리고 도전성콘크리트 접지봉의 순으로 낮게 나타났다. 그림 10은 그림 9의 초기접지저항값에 대한 변화 편차를 나타낸 것이다. 초기값을 0으로 놓았을 때 가장 심하게 변화를 보인 경우는 2-심-항으로 약 87.3[Ω] 정도의 편차를 보였고 가장 적게 편차를 보인 것은 2-콘-신으로 약 15.3[Ω]의 편차를 보였다.

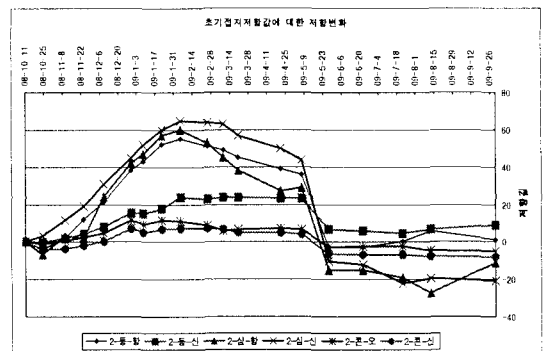


그림 10. 초기 접지저항값에 대한 접지극별 저항값 변화
Fig. 10. Change of grounding resistance values comparing the first day's with other day's according to the types of driven electrode

표 9. 초기 접지저항값에 대한 공법별 변화 폭
Table 9. The range of change according to the construction methods

기호	공법	편차[Ω]	변화폭
2-동-항	항타	55~-4	59
2-동-신	신공법	23.8~-0.1	23.9
2-심-항	항타	60~-27.3	87.3
2-심-신	신공법	64.8~-22.2	87
2-콘-오	항타	11.5~-5.2	16.7
2-콘-신	신공법	7.2~-8.1	15.3

자세한 값은 표 9에 나타내었다. 공법별로 언급하

봉형접지극 접지저항 양상을 위한 기계와 시공 연구

면 시공법이 항타 시공에 비해 접지저항값의 변화 편차 정도가 비교적 적게 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 항타(심타)공법에 대비하여 새롭게 제안된 공법의 접지저항값의 저감정도, 물에 의한 접지저항값의 영향 정도, 초기접지저항값에 대한 편차 그리고 시간적 접지저항값의 변화 등을 비교분석한 연구이다. 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 시공 초기에 물을 주입한 경우와 주입하지 않은 경우에 얻어진 접지저항값에 대한 분석에서 초기에 물이 주입된 경우에 낮은 저항값을 유지하는 것을 알 수 있었다. 물이 접지저항값에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있었다. 시공법은 필수적으로 물을 공급하는 공법이기 때문에 접지저항저감에 효과적임을 알 수 있었다.

둘째, 그림 7 및 9에서 접지저항값의 시간적(계절) 변화 추이가 공법, 극수 등과 관계없이 전체적으로 동일한 형태를 취하는 것을 알 수 있었다.

셋째, 초기접지저항값을 기준하였을 때 접지저항값의 변화 편차가 적게 나타난 접지극의 순서는 도 전성콘크리트접지봉, 접지동봉 그리고 심타용접지봉의 순으로 나타났다.

차후 본 연구는 연구 내용 중에 언급한 접지저항 저감제의 종류에 대한 분석 연구도 지속할 예정이다.

감사의 글

이 연구 결과물은 2009년도 전력신기술 지정신임을 위해 주식회사 광진 및 전우실업주식회사와 함께 신기술 개발에 의하여 이루어진 것으로 관계기관에 감사드립니다.

References

- (1) KEPCO, Dept. of Power distribution, "Design Basis", pp 3400 Vol, 2009.
- (2) Lee Bokhee, "Basic core technique of earthing", Uijae Electrical Research Institute, pp 50, 2005. 10.
- (3) Lee Sukyu, "The mechanization of the grounding rod earth construction method using hollow screw rods", Kawngjin Corp., p 9, 11, 25, 27, 31, 74, 2009. 7.
- (4) Kim Kyungchul, "Research on the improvement of earth construction at 22.9kV overhead distribution line", KEPCO, p82~87, 2006. 2.

◇ 저자소개 ◇

박중신 (朴重信)

1956년 3월 3일생. 1980년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1982년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1990년 한국전력공사 북부지점. 1990~1992년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. 1992~2002년 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀 교수. 2002~2005년 동해대학교 전기공학과 조교수. 2005년~현재 위덕대학교 에너지전기공학부 조교수.

조성제 (趙成濟)

1948년 8월 15일생. 1975년 서울대학교 원자력공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 원자력공학과 졸업(석사). 1991년 과학기술원 핵공학과 졸업(박사). 1975~1981년 한국전력공사 고리원자력본부. 1983~2006년 한국전력공사 전력연구원 수석연구원. 2006년~현재 위덕대학교 에너지전기공학부 교수.

안인석 (安寅錫)

1964년 7월 5일생. 1987년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1989년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1989~1999년 삼성전자(주) 생산기술연구소 선임연구원. 1999년~현재 위덕대학교 에너지전기공학부 부교수.