

# 배전선로용 접지전극 재료별 공사비의 경제성 평가

(The Valuation of Economical Efficient for Construction Cost of Ground Electrodes in Distribution Lines)

심건보\* · 김경철\* · 이형수\*\* · 박재덕\*\*\* · 박상만\*\*\*\*

\* 홍익대학교 · \*\* 산업안전공단 · \*\*\* 전력연구원 · \*\*\*\* 한국전력공사

(Keon-Bo Shim · Kung-Chul Kim · Hyung-Su Lee · Jae-Duck Park · Sang-Man Park)

## Abstract

To receive size of same ground resistance by form of construction work of ground electrode, there is difference of amount or price of used resources, and should construct ground electrode little more effectively because appear to differ in life period according to nature of ground electrode resources, but should consider economical efficient.

## 1. 서 론

전기에너지를 사용하는 전력설비에서 고장은 필연적으로 일어나며, 특히 지락고장이 발생하면 고장전류가 대지로 흘러가게 되어 전기설비의 구내 및 주변에 전위차가 나타나게 되어 인체의 안전이나 설비의 절연에 위험을 초래하게 된다. 특히 최근에 전력사용의 수요가 급속하게 성장함에 따라 전력설비도 증대되어 전력설비의 고장용량도 증가하고 있으므로 상대적으로 고장전류에 의한 대지전위의 상승이 커져서 인체의 안전이나 설비의 절연 등에 미치는 위험도 증대되고 있는 실정이다. 이러한 위험으로부터 인체나 설비를 보호하기 위한 것이 전기설비에서의 접지시스템이다. 안전을 확보하기 위한 접지시스템에서 중요한 것이 접지전극의 저항 크기이며, 일정한 크기의 접지저항을 확보하기 위하여 여러 종류의 전극이나 접지시공 방법이 적용되고 있다.

접지전극의 시공 방법별로 같은 접지저항의 크기를 얻기 위하여 사용되는 자재의 양이나 가격의 차이가 있으며, 접지전극 자재의 성질에 따라 수명기간도 다르게 나타나므로 좀 더 효과적으로 접지전극을 시공하기도 하여야 하지만 경제성도 고려하여야 한다.

본 연구에서는 접지전극의 공법별 경제성 검토를 위하여 시험 시공을 한 접지전극별로 일정한 접지저항의 크기를 얻기 위하여 필요로 하는 접지전극의 소요 자재량과 시공비를 포함하는 초기 시공비용과 일정한 기간을 선정하여 전체 기간 중에 시설물의 불량이나 수명에 의하여 보수하거나 재시공하는 비용을 포함하여 경제성 분석을 수행하였으며, 일정기간의 전반에 걸쳐서 소요되는 비용의 합을 일정한 시점으로 등가 환산하여 경제

성을 평가하는데 사용되는 기법인 LCC(Life Cycle Cost) 기법을 도입하였다.

## 2. LCC 방법에 의한 경제성 분석

LCC 기법이란 기본적으로 설비, 시스템 또는 시설 등에 대해 경제적 수명 기간에 걸쳐 소요되는 모든 비용을 설비의 경제수명 범위에서 비교하기 위하여 일정한 시점으로 등가 환산한 가치로 경제성을 평가하는 기법이다. 즉, LCC기법은 총비용(Total Cost)를 분석하여 설비의 경제성을 알고자 하는 경우에 평가하는 기법이라고 할 수 있으며 가장 중요한 것은 각 대체안의 경제성을 평가하는 데 있어서 동일시점으로 등가 환산을 해 주는 것이다.

### 2.1. 경제성 분석 방법

LCC 분석기법을 적용하여 경제성 분석을 하는 경우에 각 대안에 대해서 발생하는 현재 및 미래의 비용을 공통시점으로 환산하여 비교하는 방법으로서 주로 사용하는 것은 현가법(Present Value method)과 년가법(Annual value method)을 들 수 있다.

미래에 발생될 비용은 현재의 비용보다 일반적으로 증가하는 경향을 보인다. 또 보수교체비용의 경우 미래의 어느 시점에 발생될 어느 부분의 보수 교체비용은 현재의 그 부분의 공사비보다 증가하게 될 것이다. 증가하는 이유는 물가 외 인건비 상승으로 인한 화폐 구매력의 저하에 원인을 두고 있다.

이때의 증가하는 것을 물가상승이라 하고, 증가비용을 물가상승물이라고 한다. 현재의 금액은 기간이 경

과함에 따라 이자가 발생되어 어느 시점의 미래가 되었을 때는 현재의 금액과 그 동안의 이자를 합한 금액이 되기 때문이다. 일반적으로 현재의 금액을 미래의 금액으로 환산할 때는 물가상승률 또는 이자율을 적용하고, 미래의 가치를 현재의 가치로 환산할 때는 물가상승률 또는 이자율을 적용하고, 미래가치를 현재가치로 환산할 때는 할인율을 적용하게 되는데 할인율은 일반적으로 이자율을 대치하여 사용하게 된다. 또한 총비용은 전 기간에 대하여 이자율을 일정하게 적용하는 경우와 변동이자율을 적용하는 경우에 따라라도 달라지지만 일반적으로는 전 기간의 평균이자율을 사용하여 일정하게 하는 방법이 사용된다.

LCC분석에서는 이와 같은 물가상승률과 명목이자율(할인율)을 동시에 고려하여 하나의 실질이자율로 나타내고, 이 실질이자율을 이용하여 미래에 발생하는 금액을 현재의 가치로 또는 현재금액을 미래의 가치로 등가 환산하게 된다. 이때 등가 환산은 현실 화폐가치로 변환하는 것을 의미한다. 그리고 실질이자율은 물가상승률과 명목이자율을 사용하여 아래와 같은 공식으로 나타낼 수 있다.

$$i = \frac{1+i'}{1+P} - 1 \quad (1)$$

여기서,  $i$ : 실질이자율  
 $i'$ : 명목이자율  
 $P$ : 물가상승률

### 가. 현가법(Present Value method)

현재와 미래의 모든 비용을 현재가치로 변환시키는 방법을 말한다. 현가법에서 초기비용은 이미 현가로 표현되어 있으므로 장래에 발생하는 비용을 다음 공식을 사용하여 현가로 환산한다.

(1) 반복 비용(매년 동일하게 발생하는 비용)

$$P = A \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = A \times (\text{현가계수}) \quad (2)$$

여기서,  $A$ : 연가  
 $i$ : 년이율 즉, 기대하는 최소한의 이익률  
 $n$ : 년수  
 $P$ : 현재가치의 합계

(2) 비반복 비용(몇 년 후에 단 1회만 발생하는 비용)

$$P = F \times \frac{1}{(1+i)^n} = F \times (\text{현가계수}) \quad (3)$$

여기서,  $F$ :  $n$ 년 후의 기말지불액

### 나. 년가법(Annual value method)

경제성분석에서 현가 분석법과 같이 널리 사용되고 있는 방법으로 현가분석과 매우 유사하다. 그리고 분석 대상들의 이익과 비용 등을 등가 균일 년가로서 나타내는 것이다. 화폐의 총 현가가 일련이 균일연가 비용으로 평균화한 것이다. 초기비용, 반복비용, 비반복 비용 등은 모든 LCC를 매년의 비용으로 변환시키는 방법이며 다음의 공식을 사용한다.

$$A = P \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = P \times (\text{자본회수계수}) \quad (4)$$

여기서,  $A$ : 년가

$P$ : 초기투자액

일반적으로 현가법은 사례비교에 있어서 사례의 총비용 산정기간이 일정할 경우 유용한 방법이며 년가법은 사례의 내용 년수가 상이할 경우 적합하다.

따라서 본 연구에서는 접지전극의 내용 년수가 가장 긴 재료를 검토기간으로 정하고, 소요되는 총비용을 현재의 가치로 환산하여 비교하는 현가법을 적용하였다.

## 3. 경제성 분석을 위한 파라미터

분석 대상의 LCC를 산정하기 위해서는 예측의 요인에 대한 정확한 가정이 있어야 한다. 이러한 예측요인이 LCC분석의 관련요소가 되며 분석항목에 의해 작성된 수학적 분석모델에 산입되는 근거자료로서 그 중요도는 상당한 것이다. 이러한 예측요인은 초기공사비 뿐만 아니라 장치 영향을 받게 될 경제상태, 즉 설비의 계획 년수, 이자율, 물가 상승률, 부품별 구성요소의 내구연한 및 보수주기, 교체주기 및 인건비 등이 포함되어야 할 것이다.

### 3.1. 접지전극의 내용 년수

접지전극의 내용 년수에는 크게 물리적 내용 년수(Physical Life)와 경제적 내용 년수(Economic Life)가 있으며 물리적 내용 년수는 접지전극 재료가 물리적으로 존속할 것으로 예견되는 사용가능기간을 말한다. 따라서 경제적 내용 년수는 물리적 내용 년수보다 그 기간이 짧으며, 경제적 내용 년수는 정상적으로 사용할 수 있는 접지전극의 기능을 가지고 있다는 판단이 되는 년수를 의미한다.

접지전극의 내용 년수에 대한 데이터는 경제성 평가의 중요한 파라미터이지만 검증된 데이터가 없어서 통상적으로 현장에서 적용이 되고 있는 데이터와 개념을 도입하였다. 따라서 본 연구에서는 각각의 접지전극에 대한 내용 년수를 다음 표 1과 같이 적용하였다.

표 1 접지재료별 내용 년수

항목	물리적 내용 년수	경제적 내용 년수	비고
전극 재료			
접지동봉	5	4	
콘크리트 접지봉	25	20	
저감제+동봉	6	5	엠어스
심타용 강봉	6	5	

### 3.2. 접지전극 재료의 가격

접지전극 재료에 대한 재료비는 물가정보지인 사단법인 한국물가정보에서 제공하는 [종합물가정보]를 참고로 하였으며, 물가 정보지에 등록되어 있지 않은 일부 접지재료에 대하여는 제작 및 판매하는 회사에서 제공하는 자료를 인용하였다. 표 2에 각각의 접지공사에서 필요로 하는 접지재료의 가격을 정리하였다.

표 2. 접지공사용 재료 가격

항목	구성 재료명	규격	가격[원]	비고
접지전극	접지동봉	φ14×1000 ℓ	3,000	
	리드단자	φ14	2,650	공통
	압착술리브	38mm <sup>2</sup>	500	공통
	나동선	38mm <sup>2</sup> , m당	2,537	공통
콘크리트 봉	GV 전선	38mm <sup>2</sup> , m당	2,305	공통
	콘크리트 접지봉	φ100×1000 ℓ	121,558	
저감제+동봉	부속자재		25,383	
	저감제	10kg/포	18,000	엠어스
심타용 강봉	심타용 강봉	1000 ℓ	8,800	
	강봉 리드단자		5,500	
	작업용 캡		3,200	

### 3.3. 접지전극의 보수율

현재 우리나라의 실정에서 접지전극 소요자재의 수명, 보수주기 및 보수율 등에 가 거의 없으므로 한국전력공사나 참고문헌상에 부분적으로 나타나 있는 자료는 2년마다의 불량률에 대한 자료가 있으므로 이를 근거로 하면 접지동봉의 경우에 0.7정도이나 다른 접지전극에 대한 자료는 없으므로 모든 전극에 대하여 일률적으로 0.5를 적용하였다.

### 3.4. 물가 상승률

접지전극 자재의 물가 상승률은 한국은행 발행 [경제동향 연차보고서]등에서 발표되는 데이터를 2001년부터 2004년도까지의 값을 평균하여 3.5[%]를 적용하였다.

### 3.5. 이자율

현가 환산을 위한 이자율은 여러 가지 조건에 의해서 정해질 수 있으나 본 연구에서는 법정 은행대출 금리를 한국은행 발행 [경제동향 연차보고서]등에서 발표되는 데이터를 2001년부터 2004년도까지의 값을 평균하여 6.635[%]를 적용하였다.

## 3.6. 인건비

접지공사의 산정을 위한 인건비를 계산하기 위해서는 접지공사의 공정별로 필요한 기술자의 등급별 노무비와 공정별 필요인력의 품셈이 적용되어야 하며, 본 연구에서는 노무비는 2004년도 후반기의 시중 노무비 단가를 적용하였으며, 접지공사의 인건비 계산을 위한 공정별 필요 인력을 대한건설협회에서 제공하는 표준품셈을 참조하여 적용하였다.

## 4. 공사비의 계산

본 연구에서는 일정한 목표 저항 값에 대하여 대지저항을 변화시키면서 결정된 접지전극의 수에 대한 접지공사비용을 대상으로 경제성 평가를 위하여 각각의 접지전극별로 접지공사비를 계산하는 프로그램을 개발하였으며, 경제성 평가 대상 접지전극은 접지동봉, 콘크리트 접지봉, 저감제+동봉 전극 및 심타용 용융아연도금 접지봉으로 구분하였다.

각각의 접지재료별 공사비의 계산은 검토 대상기간을 일정하게 정하여 전체적인 기간에 소요되는 공사비를 현금화한 종합 비용에 대한 계산과 대상기간의 초기년도에 필요로 하는 공사비용의 계산으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 접지전극의 경제성 검토 기간을 20년으로 정하여 그 기간 전체에 대한 공사비의 합과 초기 년도의 공사비를 각각 계산하여 비교하였다.

각각의 접지재료별 접지공사비는 재료비와 인건비를 합한 것으로서, 각 접지재료에 대한 가격은 목표 접지저항의 크기에 대한 접지전극의 수에 따라 필요 수량을 계산하였으며, 인건비는 공정별로 필요한 품셈을 적용하였다. 또한, 접지재료별의 보수율을 적용하여 불량에 따른 보강공사비도 재료비와 인건비를 물가 상승률에 따라 계산하여 현재의 가치로 환산하였으며, 공사비에 대한 내용을 지역별로 구분하여 정리하였다.

### 4.1. 초기 공사비

목표 저항의 크기가 25[Ω]인 경우에 대하여 접지전극의 초기 년도에 소요되는 접지공사비를 대지저항을 별로 계산하였으며, 그 결과를 표 3에 정리하였다.

### 4.2. 대상기간 전체 공사비

전체 대상기간(20년) 중에 필요로 하는 초기년도의 공사비와 유지관리를 위하여 필요로 하는 보강공사비용 등의 전체적인 접지공사비용(순수한 재료비와 공사비)을 목표 저항별로 계산하여 대지저항을 별로 표 4에 정리하였다.

표 3. 초기 공사비(전극 길이 1[m])

대지저항률	접지 전극의 공사비 [천원]				비고
	접지동봉	콘크리트봉	저감제+동봉	심타용 강봉	
50	219.74	1246.48	273.74	248.89	
100	352.88	1864.02	358.31	399.33	
200	619.16	3099.1	527.45	624.99	
300	887.16	4334.17	612.02	700.21	
500	1286.57	5569.25	696.59	927.59	
800	1687.71	8041.13	952.02	1303.69	
1,000	2020.56	9276.21	1121.16	1756.72	
1,500	2822.83	14218.25	1799.44	2435.42	
2,000	3756.53	19777.82	2475.99	3339.77	
3,000	5891.91	31514.51	3747.98	5073.26	

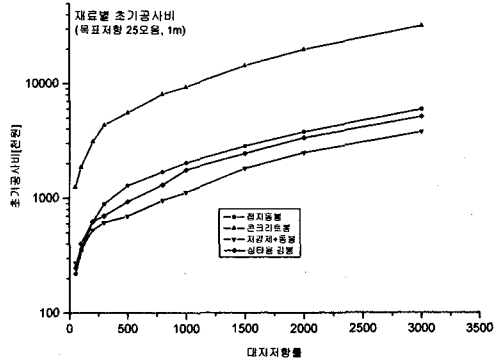


그림 1 접지전극별 초기 공사비

표 4. 접지전극의 공사비(1m)

대지저항률	접지 전극의 공사비 [천원]				비고
	접지동봉	콘크리트봉	저감제+동봉	심타용 강봉	
50	1738.31	1246.48	865.4	786.9	
100	2541.99	1864.02	1004.02	1156.73	
200	4432.79	3099.1	1482.25	1703.04	
300	6228.54	4334.17	1810.52	1996.12	
500	9004.06	5569.25	1895.09	2544.15	
800	11696.38	8041.13	2701.78	3627.62	
1,000	13846.33	9276.21	3114.63	4893.22	
1,500	19424.14	14218.25	4951.14	6601.04	
2,000	25598.62	19777.82	6784.45	9073.42	
3,000	40106.16	31514.51	10179.39	13846.41	

## 5.2. 대상기간 전체 공사비

목표 저항의 크기가 25[Ω]인 경우에 각각의 대지저항률별로 계산한 전체적인 접지공사비를 그림 2에 보였으며, 그림에서 보는 바와 같이 저감제+동봉 전극과 심타용 강봉의 접지공사비용이 접지동봉이나 콘크리트 접지봉의 비용보다 전체적으로 적게 소요되는 것을 확인할 수 있다. 전극의 길이와 상관없이 저감제+동봉전극과 심타용 강봉은 비슷한 공사비용의 증감을 보여준다. 마찬가지로 접지동봉과 콘크리트 접지봉의 공사비용 증감도 비슷한 경향을 보여주지만 접지동봉인 경우에는 전극의 수가 많아져서 실질적인 접지공사가 어렵다.

## 5. 접지재료별 경제성 평가

본 연구에서는 접지전극 재료인 접지동봉, 콘크리트 접지봉, 저감제+동봉 전극 및 심타용 용융아연도금 접지봉에 대한 목표 저항 값별로 대지저항률을 변화시키면서 결정한 접지전극의 수에 대한 초기 년도의 접지공사비용과 대상기간 전체적인 접지공사비용을 대상으로 경제성 평가를 하였다.

각각의 접지재료별 접지공사비는 대지저항률별로 크기가 변화하며, 대지저항률별로 전반적인 접지공사 비용의 크기를 비교하면 공사비 측면에서 경제성이 있는 재료와 없는 재료로 구분할 수 있다.

### 5.1. 초기 공사비

목표 저항의 크기가 25[Ω]인 경우에도 초기 년도의 접지공사비 계산 결과를 그림 1에 각각 보였으며, 그림에서 보는 바와 같이 접지동봉, 저감제+동봉 및 심타용 강봉을 이용한 접지전극의 공사비가 콘크리트 접지봉을 이용한 접지전극의 공사비보다 전체적으로 적게 소요되는 것을 확인할 수 있다.

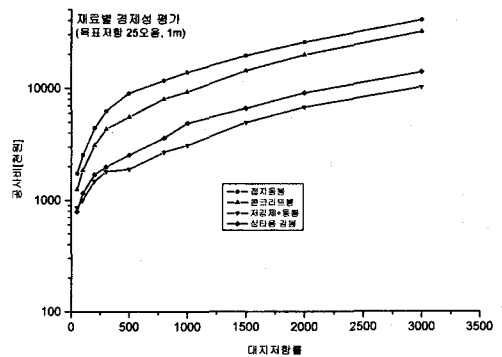


그림 2 접지전극별 총 공사비

### 5.3. 결과검토 및 고찰

본 연구에서는 대지저항률을 변화시키면서 목표 접지 저항의 크기를 얻기 위하여 필요로 하는 접지전극의 수에 따라 변화하는 접지공사비용을 초기 년도에 소요되는 초기 비용과 20년을 대상기간으로 하였을 때 보장 공사비용을 포함하는 전체 비용을 계산하여 접지전극의 재료별로 비교 검토하였다. 초기 비용의 측면에서 콘크리트 접지봉을 시공하는 경우에 가장 높은 공사비용을 필요로 하는 것으로 나타났으며, 저감제와 동봉을 이용

한 접지전극의 초기 시공비용이 낮게 나타났다.

20년을 전체 대상기간으로 소요되는 전체적인 시공비용에 대한 계산의 결과는 접지동봉만을 이용한 접지전극과 콘크리트 접지봉에 의한 시공비용이 저감제+동봉 접지전극과 심타용 강봉에 의한 접지전극의 시공비용보다 높게 나타났다. 다만, 접지전극의 재료별 수명기간에 대한 데이터가 없어서 본 연구에서는 각각의 접지전극 재료별로 물리적인 수명과 경제적인 수명을 가정하여 공사비용의 계산에 적용하였으나, 이 부분에 대한 정확한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 접지전극의 공법별 경제성 검토를 위하여 시험 시공을 한 접지전극별로 일정한 접지저항의 크기를 얻기 위하여 필요로 하는 접지전극의 소요 자재량과 시공비를 포함하는 초기 시공비용과 일정한 기간을 선정하여 전체 기간 중에 시설물의 불량이나 수명에 의하여 보수하거나 재시공하는 비용을 포함하여 경제성 분석을 수행하였으며, 일정기간의 전반에 걸쳐서 소요되는 비용의 합을 일정한 시점으로 등가 환산하여 경제성을 평가하는데 사용되는 기법인 LCC(Life Cycle Cost) 기법을 도입하여 접지전극의 경제성 평가를 위한 프로그램을 개발하였다.

본 연구로부터 얻어진 결과는 다음과 같다.

1) 대지저항을 변화에 따른 목표 저항 값을 얻기 위한 초기 공사비의 측면에서 콘크리트 접지봉을 시공하는 경우에 가장 높은 공사비용을 필요로 하는 것으로 나타났으며, 저감제와 동봉을 이용한 접지전극의 초기 시공비용이 낮게 나타났다.

2) 20년을 전체 대상기간으로 소요되는 전체적인 시공비용에 대한 계산의 결과는 접지동봉만을 이용한 접지전극과 콘크리트 접지봉에 의한 시공비용이 저감제+동봉 접지전극과 심타용 강봉에 의한 접지전극의 시공비용보다 높게 나타났다.

다만, 접지전극의 재료별 수명기간에 대한 정확한 데이터가 없어서 본 연구에서는 각각의 접지전극 재료별로 물리적인 수명과 경제적인 수명을 가정하여 공사비용의 계산에 적용하였으나, 이 부분에 대한 정확한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- (1) 高橋健彦, 이형수역, 接地設計 入門, 통일출판사, 음사, 1993.
- (2) 高橋健彦, 이형수역, 接地技術 入門, 통일출판사, 음사, 1995.

- (3) 한국가스공사, 배관부식방지 관리 지침, 한국가스공사, 1993.
- (4) 이의호, 이학렬, 황운석, 김광근, 부식과 방식의 원리, 동화기술, 2004.
- (5) 부식방식협회, 최신 금속방식 편람, 기전연구사, 2005.
- (6) John W. Bull, Life Cycle Costing for Construction, Blackie Academic & Professional, 1993.
- (7) 대한주택공사, 건물의 라이프사이클 비용 분석, 1989.