

사례연구를 통한 경제적 접지설계 검토

김양수 · 심용식 · 최대원 · 김태훈 · 이정은

Economized Grounding System Design Based Upon Case Study

Yang-Soo Kim · Yong-Sik Shim · Dai-Won Choi · Tae-Hoon Kim · Jung-Eun Lee

Abstract - 본 논문에서는 국내 접지설계 환경의 적정성 여부를 검토하여 ANSI/IEEE Std.80-2000을 보완한 새로운 접지시스템 설계방법을 이용하여 접지설계를 검토하였으며, ANSI/IEEE Std. 80-2000 Annex B의 사례연구를 통해 기존방식과 비교 검토하여 신뢰성과 경제성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 건축물은 대형화, 고층화, 인텔리전트화, 밀폐화됨에 따라 전력을 공급하는 전원설비, 전력을 전달하는 배전설비, 전력을 소비하는 부하설비, 그리고 방재설비, 방범설비, 정보 통신설비, 빌딩관리 시스템, 통합감시 제어 시스템 등 다양한 설비가 혼재 설치 운영되고 있어 안전성과 신뢰성을 바탕으로 한 시스템을 구축하여야 한다. 이러한 시스템의 안전성과 신뢰성을 확보하기 위하여 요구되는 것 중의 하나가 접지 시스템이며, 접지시스템의 설계시에는 위에서의 요구조건과 함께 경제성 또한 검토 되어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 접지 시스템 설계시 일반적으로 사용하는 ANSI/IEEE Std.80-2000을 바탕으로 새로운 접지도체의 굵기 선정, 접지도체의 위험전압 선정, 접지도체의 Grid간격 선정방법을 적용하여 보완된 새로운 접지시스템 설계 방법을 적용하여 건설현장에서 엔지니어들이 쉽게 적용할 수 있고 접지시스템의 신뢰성을 향상시킬수 있도록 사례연구를 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 제안된 접지설계 방법

사례연구에 적용된 제안된 접지설계 방법은 그림 1과 같다.

2.2 사례연구

사례연구는 IEEE Std. 80-2000 Annex B의 예제 1인 접지봉이 없는 등간격 접지Grid의 Mesh 접지전극을 대상으로 제안된 접지도체의 굵기, 접지도체의 위험전압, 접지도체의 Grid간격 선정방법을 적용하여 비교 검토 하였다.

2.2.1. 접지설계 제한

접지설계에 필요한 기초적인 제한은 표 1과 같다.

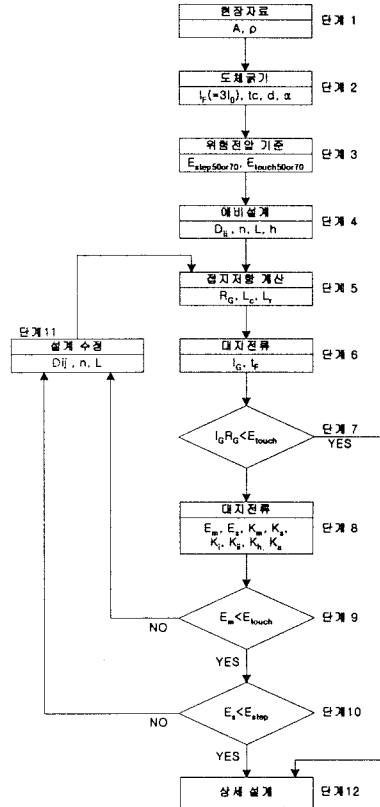


그림 1. 제안된 접지설계 흐름도

표 1. 접지설계의 제한

접지설계의 제한	내용
접지공사 가능구역(A)	63x84 [m ²]
대지 저항률(ρ)	400 [Ω·m]
자갈(표면층)의 저항률(ρ _s)	2500 [Ω·m]
자갈(표면층)의 두께(h _s)	0.102 [m]
매설깊이(h)	0.5 [m]
고장지속시간(t _s)	0.5 [s]
지락시 정상 임피던스(Z ₁)	4.0+j10.0 [Ω]
지락시 영상 임피던스(Z ₀)	10.0+j40.0 [Ω]
변압기 임피던스(Z ₁ =Z ₂)	0.034+j1.014 [Ω]
분류계수(S _f)	0.6
선간전압(V)	115/13 [kV]
도체 전류 분류율(a)	1.0

2.2.2. 접지설계 계산

그림 1에 따른 단계별 접지설비 계산은 다음과 같다.

1) 단계 1 (현장 자료조사)

주어진 접지설계 제원으로부터 접지공사 구역을 70x70[m]로 포설하면 접지면적은 $A=4900[m^2]$ 이고 대지 저항율은 $\rho=400[\Omega m]$ 이다.

2) 단계 2 (접지도체 굵기 산정)

예상되는 최대 지락전류 I_F 는 장기 계통확장에 의한 1선 지락전류인 다음 식 (1)을 적용한다.

$$I_F = (3I_0) = \frac{3E}{3R_f + (R_1 + R_2 + R_0) + j(X_1 + X_2 + X_0)} \quad (1)$$

이때, 13[kV] 모선의 고장인 경우

$$I_F = \frac{3 \times 13000 / \sqrt{3}}{(0.085 + 0.085 + 0.034) + j(1.142 + 1.142 + 1.014)} \approx 6814 [A]$$

$$\text{여기서, } Z = \left(\frac{13}{115}\right)^2 (4.0 + j10) + 0.034 + j1.014 = 0.085 + j1.142$$

$$Z_0 = 0.034 + j1.014, \quad X/R = 16.2$$

그러므로, 6814[A]가 접지도체의 굵기를 산정하는데 사용된다.

(1) IEEE Std. 80

도체 재료가 경동선인 경우는 재료의 물리적인 정수를 적용하여 식 (2)와 같이 접지도체의 굵기를 구한다.

$$A = I \sqrt{\frac{t_c \alpha \rho_s \times 10^4}{TCAP} \ln \left[1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_0 + T_0} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

$$= 6.814 \sqrt{\frac{0.5 \times 0.00381 \times 1.7774 \times 10^4}{3.422} \ln \left[1 + \left(\frac{1084 - 40}{242 + 40} \right)^2 \right]} = 17.277 \approx 22 [mm^2]$$

이때의 주위온도는 40[°C], 최고허용온도는 1084[°C]이며 고장지속시간은 0.5[s]이다.

(2) 제안된 접지도체의 굵기 제안식

도체 재료가 경동선인 경우는 재질에 다른 비례상수를 적용하여 식 (3)와 같이 접지도체의 굵기를 구한다.

$$A = \frac{\alpha K T \sqrt{t_c}}{[a + b(T_m - T_a)^c]} [mm^2] \quad (3)$$

$$= \frac{1.0 \times 5.780 \times 6.814 \times \sqrt{0.5}}{[-1.21 + 0.91(1084 - 40)^{0.164}]} = 17.031 \approx 22 [mm^2]$$

3) 단계 3 (안전한계 위험전압 결정)

대지 저항율 $\rho=400[\Omega m]$ 인 접지 시공 장소에서 자갈(표면층)의 저항율 $\rho_s=2500[\Omega m]$ 인 자갈을 깔면 반사계수 K는 $K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$ 로 구하면 -0.72이고 반사계수 $K=-0.72$ 와 자갈(표면층)의 두께 $h_s=0.1[m]$ 를 표면층 감소계수로 나타내면 $C_s=0.74$ 이다.

고장지속시간 $t_s=0.5[s]$ 일 때 체중 70[kg]인 사람의 최대 허용 보폭전압과 최대허용 접촉전압은 식 (4)(5)와 같다.

$$E_{step70} = (1000 + 6 \cdot 0.74 \cdot 2500) \frac{0.157}{\sqrt{0.5}} = 2686.6 [V] \quad (4)$$

$$E_{ouch70} = (1000 + 1.5 \cdot 0.74 \cdot 2500) \frac{0.157}{\sqrt{0.5}} = 838.2 [V] \quad (5)$$

4) 단계 4 (예비설계)

(1) IEEE Std. 80

접지망 매설깊이 $h=0.5[m]$, 접지망 포설면적 $A=4900[m^2]$ 에 접지망 Grid간격 $D=7.0[m]$ 로 등간격 배치하는 예비 접지망은 그림 2와 같다. 접지망의 도체개수(n)과 접지망의 외곽길이(L_p), 접지망의 총길이($L_c=L_T$)는 다음 식 (6)(7)을 적용해서 구할 수 있다.

$$L_p = (70 + 70) \times 2 = 280 [m] \quad (6)$$

$$L_c = L_T = (70 \times 11) \times 2 = 1540 [m] \quad (7)$$

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot n_4 = \frac{2 \cdot L_c}{L_p} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 11$$

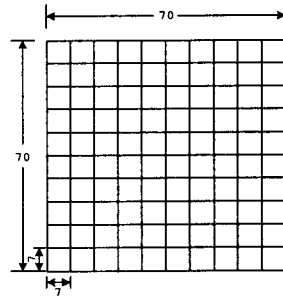


그림 2. 등간격 예비 접지Grid

(2) 제안된 예비설계 방법(j=8)

접지설계의 제원으로부터 접지망 매설깊이 $h=0.5[m]$ 이고, 접지망 포설면적 $A=4900[m^2]$ 에 다항함수 형태의 비등간격 접지Grid 수식과 계수[2]를 적용하여 구획개수가 $j=8$ 인 접지Grid 간격을 비등간격으로 배치하는 예비 접지망은 그림 3과 같다.

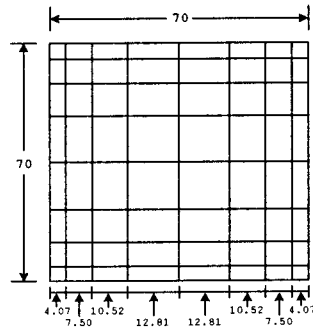


그림 3. 비등간격 예비 접지Grid (j=8)

단계 3의 최대허용 접촉전압 838.2[V]를 넘지 않는 비등간격 구획 개수(j)는 8개이고, 그때의 비등간격 접지Grid 간격 비율 수식은 $D_{is} = -0.4453i^2 + 6.3880i - 0.1308$ 이며, 각 구획 순서에 따른 최적의 접지Grid 간격 비율과 실제 길이는 표 2와 같이 나타낼 수 있다.

표 2. 접지Grid 간격 비율과 실제길이 (j=8)

구획개수(j=8)		
구획순서(i)	간격비율(D_{is})	실제길이(L_{is})
1	5.81	4.07
2	10.86	7.60
3	15.03	10.52
4	18.30	12.81
5	18.30	12.81
6	15.03	10.52
7	10.86	7.60
8	5.81	4.07

접지망의 도체개수(n)과 접지망의 총길이는 다음 식 (8) (9)를 적용해서 구할 수 있다.

$$L_c = L_T = (70 \times 9) \times 2 = 1260[m] \quad (8)$$

$$n = j + 1 = 9 \quad (9)$$

(3) 제안된 예비설계 방법(j=10)

동일한 제원을 적용하여 구획개수가 j=10인 접지Grid 간격을 비등간격으로 배치하는 예비 접지망은 그림 4와 같다.

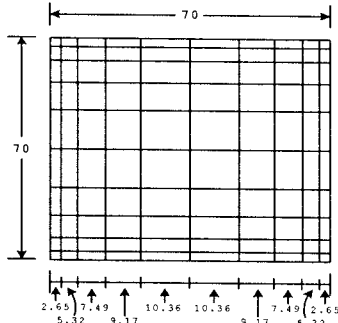


그림 4. 비등간격 예비 접지Grid (j=10)

등간격 접지Grid와 같은 접지망의 도체개수 n=11개 일 때의 비등간격 접지 Grid 간격 비율 수식은 $D_{10} = -0.3514i^2 + 4.8626i - 0.722$ 이며 접지망의 도체개수(n)과 접지망의 총길이는 1540[m]가 된다.

5) 단계 5 (접지저항 계산)

(1) IEEE Std. 80

접지저항은 다음 식 (10)을 적용해서 구한다.

$$R_g = \rho \left[\frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] = 2.7756 \approx 2.78[\Omega] \quad (10)$$

(2) 제안된 방법

구획개수(j)가 8개인 경우는 접지저항 $R_g=2.6463[\Omega]$ 이며, 구획개수(j) 10개인 경우는 접지저항 $R_g=2.5863[\Omega]$ 이다.

6) 단계 6 (대지전류 계산)

단계 2에서 최대지락전류는 6814[A]의 13[kV] 모선 고장인 경우가 3180[A]의 115[kV] 모선 고장인 경우보다 크지만 다중접지 계통에서의 13[kV] 변압기 권선은 고장 전류 일부가 사고지점의 중성점으로 커패시터로 나뉘는 다른 접지점으로 흘러 GPR에는 영향을 미치지 않으므로 최대지락전류는 3180[A]이며, 대지전류는 식(11)과 같다.

$$I_G = S_f \cdot D_f \cdot C_f \cdot I_F = 0.6 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 3180 = 1908[A] \quad (11)$$

7) 단계 7 (최대대지전위상승과 최대허용접촉전압 비교, 평가)

최대대지전위상승(GPR)은 단계 6에서 구한 대지전류 I_G 와 단계 5에서 구한 접지저항 R_g 를 식(12)를 적용해서 구할수 있으며 식 (13)과 (14)는 제안된 방법을 적용하여 구한것임.

$$GPR = I_G \cdot R_g = 1908 \cdot 2.78 = 5304[V] \quad (12)$$

$$GPR = I_G \cdot R_g = 1908 \cdot 2.6463 = 5049.1[V](j=8) \quad (13)$$

$$GPR = I_G \cdot R_g = 1908 \cdot 2.5863 = 4934.7[V](j=10) \quad (14)$$

GPR이 단계 3에서 구한 최대허용 접촉전압 832.8 [V] 보다 크므로 다음단계로 넘어간다.

8) 단계 8 (최대예상 접촉전압 E_m 계산)

(1) IEEE Std. 80

지금까지 구한 계수와 접지설계의 제원으로부터 $\rho = 400[\Omega \cdot m]$ 일 때 최대예상 접촉전압(E_m)은 (15)와 같다.

$$E_m = \frac{\rho \cdot K_m \cdot K_1 \cdot I_G}{L_M} = \frac{400 \cdot 0.994 \cdot 2.272 \cdot 1908}{1540} = 1119.21[V] \quad (15)$$

(2) 제안된 방법

j 가 8개인 경우 최대예상 접촉전압 $E_m=812.26[V]$ 이며, j가 10개인 경우 최대예상 접촉전압 $E_m=621.87[V]$ 이다.

9) 단계 9 (최대예상접촉전압과 최대허용접촉전압 비교, 평가)

(1) IEEE Std. 80

최대예상 접촉전압(1119.21[V])이 최대허용 접촉전압 (838.2[V])보다 높아 단계 11로 돌아가 예비설계를 수정

(2) 제안된 방법

구획개수(j=8)인 경우 최대예상 접촉전압(812.26[V])이 최대허용 접촉전압(838.2[V])보다 낮아 단계 10으로 넘어 가서 최대예상 보폭전압과 최대허용 보폭전압 비교, 평가한 후 최대예상 보폭전압이 최대허용 보폭전압보다 낮으면 단계 12인 상세설계를 하며, 구획개수 (j=10)인 경우 또한 최대예상 접촉전압(621.87[V])이 최대허용 접촉전압(838.2[V])보다 낮으므로 상세설계를 실시한다.

3. 결론

ANSI/IEEE Std.80 방법과 제안된 접지설계 방법(=구획개수(j)가 8개, 10개인 비등간격 접지Grid)를 비교하면 표 3과 같다.

표 3. 등간격 접지설계와 비등간격 접지설계의 비교

구분	Std.80 (j=10)	제안된 방법	
		j=10	j=8
최대허용 접촉전압[V]	838.2	838.2	838.2
최대예상 접촉전압 [V]	1119.2	621.87	812.26
지표면 대지전위상승 [V]	5304	4934.7	5049.1
접지저항 [Ω]	2.78	2.5863	2.6463
전체 도체길이 [m]	1540	1540	1260

ANSI/IEEE Std.80 방법은 최대허용 접촉전압보다 최대예상 접촉전압이 더 높아 재설계해야하나 제안된 방법은 조건을 만족하므로 다음 단계를 수행하면 된다.

구획개수가 j=10인 ANSI/IEEE Std.80과 제안된 방법을 비교하면 전체 도체길이를 $L_T=1540[m]$ 만 같고 나머지는 제안된 방법이 적은 것을 알 수 있다. 이것은 같은 재료비를 사용할 경우 ANSI/IEEE Std. 80보다 제안된 방법이 신뢰성 면에서 더 우수하다는 것을 의미하며 구획개수가 j=10인 ANSI/IEEE Std.80과 j=8인 제안된 방법을 비교하면 모든 면에서 제안된 방법이 적으므로 제안된 방법을 사용하는 것이 신뢰성과 경제성 면에서 우수하다는 것을 의미한다.

[참고 문헌]

- [1] ANSI/IEEE Std. 80-2000,
- [2] 최홍규, 송영주 “최적 접지도체간격에 관한 대수함수 제어”, 한국조명전기설비학회, VOL. 20, No. 5, 2006
- [3] 최홍규, 송영주 “접지도체의 간격배치에 따른 개선된 접지설비 모델”, 한국조명전기설비학회, VOL. 19, No. 3, 2005
- [4] 최홍규, 송영주 “접지도체 굵기 선정에 관한 수식제어 모델링”, 한국조명전기설비학회, VOL. 20, No. 4, 2006
- [5] B.Phithakwong, M.Kando “New Techniques the Computer-Aided Design for Substation Grounding”, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Vol 3, 2000