

최적 접지도체간격에 관한 대수함수제어

(An Algebraic Function Control on the Optimal Spaced Grounding Conductor)

최홍규 · 송영주*

(Hong-Kyoo Choi · Young-Joo Song)

요 약

비등간격 접지Grid의 설계는 등간격 접지Grid의 설계의 문제점을 극복할 수 있으나 최근까지 국내에서는 적절한 비등간격 접지Grid의 설계방법이나 비등간격 접지Grid 간격결정 방법은 논의되고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 일차함수, 루트함수, 다항함수인 대수함수제어를 통한 비등간격 접지Grid의 수식을 유도하고 최대 Mesh전위와 최소Mesh 전위의 전위차가 2[%] 이내가 되도록 최적의 간격비율을 제시한다.

Abstract

No matter how the equally spaced grounding grid is designed, there are many problem. The best-fitted design for unequally spaced grounding grid is a part that must be considered. This paper Suggest a new way of calculation for grounding grid space of ground conductor by an algebraic function control(The first-order function, Root function, Polynomial function etc.) and on the optimal spaced grounding conductor that make the under 2[%] between maximum potential and minimum potential.

Key Words : Unequally spaced grounding grid, Algebraic function control, Grounding grid

1. 서 론

오늘날 접지도체의 간격설계는 접지도체의 개수, 접지도체의 길이, 접지도체의 직경, 접지도체와 접지 봉과의 구성 등과 같은 여러 요소를 고려한 등간격 접지Grid의 최적 설계를 통한 전압, 전위, GPR, 접지 저항 등에 미치는 영향에 대해서 설명하고 있다 [1-12]. 그리고 안전하고 경제적인 등간격 접지Grid

의 최적 설계를 얻기위해 전문가 시스템이나 유전자 알고리즘을 적용하기도 한다[13-15]. 그럼에도 불구하고 등간격 접지Grid의 설계는 오음의 범칙과 도체의 표피효과에 의한 전류밀도 때문에 대부분의 전류가 외곽접지도체로부터 누설되고, Grid 구석에서의 접촉전압이 Grid 중심에서의 접촉전압보다 높은 문제점이 있다. 또한, 접지도체의 접촉, 보폭전압 산정 시 Grid 구석에서의 접촉전압을 기준으로 하여 재료비가 비싸지는 문제점이 있다. 비등간격 접지Grid의 설계는 이러한 등간격 접지Grid 설계의 문제점을 극복할 수 있으나[16-17] 국내에서 접지도체의 간격을 결정하는 방법과 적절한 비등간격 접지Grid의 설계

* 주저자 : (주)대현 이엔씨 소장
Tel : 041-860-2610, Fax : 041-863-7605
E-mail : dewangel1@dreamwiz.com
접수일자 : 2006년 4월 14일
1차심사 : 2006년 4월 19일
심사완료 : 2006년 5월 3일

는 논의되고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 기하학적인 방법과 컴퓨터 모의실험을 통한 비등간격 접지Grid 수식을 대수함수 형태인 일차함수, 루트함수, 다항함수로 유도, 비교·평가하고 최대 Mesh전위와 최소 Mesh전위차가 2[%] 이내가 되도록 최적의 비등간격 비율을 제시하여 현장의 엔지니어들이 쉽게 적용하고 접지시스템의 신뢰성을 높이고자 한다.

2. 본 론

2.1 비등간격 접지Grid의 수식

본 절에서는 비등간격 접지Grid의 수식을 유도하기 위해 기하학적인 방법과 컴퓨터 모의실험을 이용하였다. 비등간격 접지Grid의 수식을 유도하기 위해 먼저 전제조건을 제시하고 전제조건에 맞는 각 구획간의 순서와 구획간의 간격비율 그래프를 그린다음 그 그래프를 Curve fitting하여 대수함수인 일차함수, 루트함수, 다항함수 형태로 수식을 유도하였다.

2.1.1 기하학적인 방법에 따른 전제조건

기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid 형태에 대한 제한을 나타내면 표 1과 같다. 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid의 도체간격은 접지도체 구획개수(j_1, j_2), 구획순서(i) 그리고 X축과 Y축 방향에 대한 한 변의 접지도체 길이(L_1, L_2)와 관계가 있다.

표 1. 비등간격 접지Grid 형태에 대한 제한
Table 1. The specification about unequally spaced grounding

기호	정 의
i	구획의 순서
j_1	X축 방향의 접지도체 구획 수(n_2-1)
j_2	Y축 방향의 접지도체 구획 수(n_1-1)
L_1	X축 한변의 접지도체 길이[m]
L_2	Y축 한변의 접지도체 길이[m]
L_{ij}	i 번째 구획의 접지도체 길이[m]
n_1	X축과 평행인 접지도체의 개수[개]
n_2	Y축과 평행인 접지도체의 개수[개]

2.1.2 기하학적인 방법에 따른 수식유도

기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid의 수식은 접지면적을 일정비율로 구획하기 위해 필요한 비등간격 접지Grid의 최소비율을 구한다음 최소비율에다 각 구획 값을 곱하여 최적비율을 구한다. 접지Grid의 최소비율을 구하기 위한 방법은 접지도체 개수 n 이 짝수(구획 j 는 홀수)인 경우와 접지도체 개수 n 이 홀수(구획 j 는 짝수)인 경우로 나누어서 구하고 접지Grid의 최적비율은 구획의 순서와 각 구획의 접지Grid 간격 비율인 $i-D_j$ 의 관계를 Curve fitting하여 수식화 한다.

1) 접지도체 개수 n 이 짝수(구획 j 는 홀수)인 경우
접지도체 개수 n 이 짝수인 경우를 나타낸 것이 그림 1이다. 여기에서, 비등간격 접지Grid의 형태는 Grid 중앙이 가장 넓은 비율을 가지며 외곽으로 갈수록 좁은 비율을 가진다.

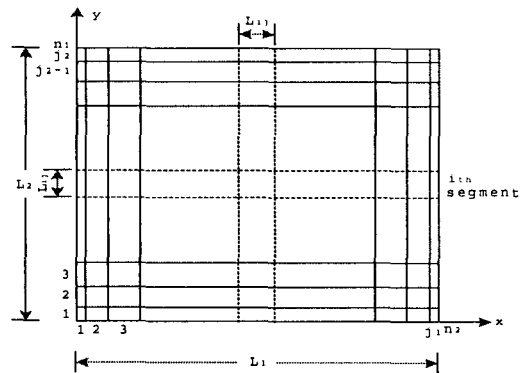


그림 1. 비등간격 접지Grid 형태(짝수)
Fig. 1. Unequally spaced grounding grid(even)

접지도체 개수가 짝수인 경우의 접지Grid 최소 비율을 구하기 위한 접지Grid 간격을 나타내면 수식 (1)과 같다.

$$L = a_1 + a_2 + \dots + a_{\frac{j+1}{2}} + \dots + a_{j-1} + a_j \quad (1)$$

그림 1에서 비등간격 접지Grid의 형태는 가운데 (L_{ij})를 중심으로 대칭이므로 수식 (1)은 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

획적 접지도체간격에 관한 대수함수제어

$$\begin{aligned}
 L &= 2a_1 + 2a_2 + \dots + 2a_{\frac{j+1}{2}} + a_{\frac{j+1}{2}} \\
 &= 2a_1 + 4a_1 + \dots + 2\left(\frac{j+1}{2} - 1\right)a_1 + \frac{j+1}{2}a_1 \\
 &= a_1 \left(\sum_{i=1}^{\frac{j+1}{2}-1} 2i + \frac{j+1}{2} \right)
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서

L : 한변의 접지도체 길이 ($L=L_1=L_2$)

수식 (2)를 접지Grid 간격 최소 비율인 a_1 에 대해서 다시 정리하면 수식 (3)과 같다.

$$a_1 = \frac{L}{\sum_{i=1}^{\frac{j+1}{2}-1} 2i + \frac{j+1}{2}} \tag{3}$$

수식 (3)을 적용하여 각 구획의 접지Grid 간격 비율을 나타내면 수식 (4)와 같다.

$$D_{ij} = a_1 \times i \times 100[\%] \tag{4}$$

2) 접지도체 개수 n 이 홀수(구획 j 는 짝수)인 경우 접지도체 개수 n 이 홀수인 경우를 나타낸 것이 그림 2이다. 여기에서 비등간격 접지Grid의 형태는 Grid 가운데 접지도체를 중심으로 Y 축 대칭이다.

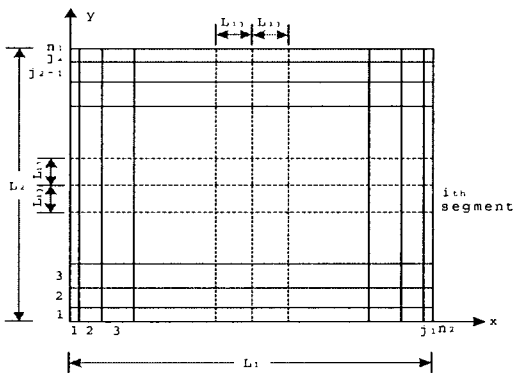


그림 2. 비등간격 접지Grid 형태(홀수)
Fig. 2. Unequally spaced grounding grid(odd)

접지도체 개수가 홀수인 경우의 접지Grid 최소 비율은 접지Grid 형태의 절반만 계산하여 구한다. 이

것을 나타낸 것이 수식 (5)이다.

$$\begin{aligned}
 \frac{L}{2} &= b_1 + b_2 + \dots + b_{\frac{j}{2}} \\
 &= b_1(1 + 2 + \dots + \frac{j}{2}) \\
 &= b_1 \sum_{i=1}^{\frac{j}{2}} i
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서

L : 한변의 접지도체 길이 ($L=L_1=L_2$)

수식 (5)를 접지Grid 간격 최소 비율인 b_1 에 대해서 다시 정리하면 수식 (6)과 같다.

$$b_1 = \frac{L}{2 \sum_{i=1}^{\frac{j}{2}} i} \tag{6}$$

수식 (6)을 적용하여 각 구획의 접지Grid 간격 비율을 나타내면 수식 (7)과 같다.

$$D_{ij} = b_1 \times i \times 100[\%] \tag{7}$$

3) 기하학적 방법에 따른 비등간격 수식

수식 (4)와 수식 (7)을 사용하여 접지Grid 구획 개수(j)를 7개에서 20개까지 변화시켰을 때 구획의 순서와 각 구획의 접지Grid 간격 비율인 $i-D_{ij}$ 의 상관관계는 그림 3과 같다. 그리고 기하학적 방법에 따른 비등간격 접지Grid의 수식은 그림 3을 Curve fitting 하여 구한 대수함수 형태의 일차함수로 수식 (8)과 같다. 이때 사용된 접지Grid 구획개수(j)에 따른 계수 a 는 표 2와 같다.

$$D_{ij} = ai \tag{8}$$

표 2. 기하학적인 방법에 따른 비등간격 j - a 상관관계
Table 2. The j - a of unequally spaced grid by geometry method

j	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a	6.3	5.0	4.0	3.3	2.8	2.4	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9

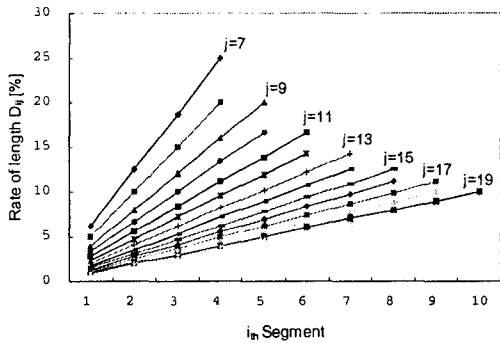


그림 3. 기하학적인 방법에 따른 비등간격의 $i-D_{ij}$ 관계
 Fig. 3. The $i-D_{ij}$ of unequally spaced grid by geometry method

2.1.3 컴퓨터 모의실험에 따른 전제조건

컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 수식을 유도하기 위하여 CDEGS의 MALT를 이용하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 접촉전압은 접지면적 100x100[m]에, 상용주파수 고장전류 1[kA]의 접지전류가 500[Ωm] 토양에 포설되어 있는 제원의 접지망으로 유입되는 경우를 계산하였고 접지망의 제원을 나타내면 표 3과 같다.

표 3. 컴퓨터 모의실험을 위한 접지망의 제원
 Table 3. The specification of grounding grid for computer simulation

접지망의 제원	내 용
접지 전류 (I_G)	1[kA]
대지 저항율 (ρ)	500[Ωm]
도체 굵기 (A)	100[mm ²]
도체 직경 (d)	0.00564[m]
매설 깊이 (h)	1.0[m]
접지Grid 구획 개수 (j)	7~20[개]
한변의 도체개수 (n)	8~21[개]

2.1.4 컴퓨터 모의실험에 따른 수식유도

컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 수식은 MALT를 이용하여 여러가지의 비등간격 접지Grid의 구성을 얻고 Grid위의 최대 Mesh전위와 최소 Mesh전위차가 2[%] 이내가 되도록 각 구획의 접지Grid 간격 비율(D_{ij})을 구하였다. 그 후 $i-D_{ij}$ 의 상

관관계를 Curve fitting하여 수식화 하였다. 접지Grid 구획 개수(j)를 7개에서 20개까지 구획할 때 구획의 순서와 각 구획의 접지Grid 간격 비율인 $i-D_{ij}$ 의 상관관계는 그림 4와 같다.

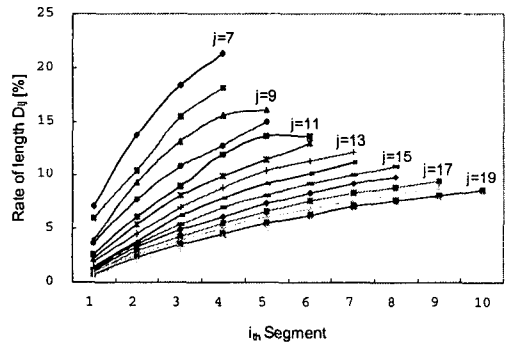


그림 4. 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격의 $i-D_{ij}$ 관계
 Fig. 4. The $i-D_{ij}$ of unequally spaced grid by computer simulation

Curve fitting에 사용된 모델에는 Power fit 모델, Rational function 모델, Polynomial fit 모델, Root fit 모델, Exponential fit 모델, Harris 모델, Horel 모델 등이 있으나 본 논문에서는 상관관계가 좋고 오차가 적은 루트함수 모델과 다항함수 모델을 선택하였다.

1) 루트함수에 의한 비등간격 수식

루트함수에 의한 비등간격 접지Grid의 수식은 수식 (9)와 같고 접지Grid 구획 개수(j)에 따른 루트함수 수식의 상관관계, 계수 a, b는 표 4와 같다.

$$D_{ij} = a\ln(i) + b \tag{9}$$

루트함수는 접지Grid 구획 개수가 7에서 20으로 점점 증가할 때 계수 a, b가 점점 줄어드는 일정한 형식을 가지지만 접지Grid 구획 개수가 7일 때 상관계수가 제일 좋은 0.998로 표준오차가 0.0016[%]이고, 접지Grid 구획 개수가 20일 때 상관계수가 제일 나쁜 0.973으로 표준오차가 0.0271[%]이다. 루트함수는 다항함수보다는 오차가 크지만 다른 함수

최적 접지도체간격에 관한 대수함수제어

에 비해 오차가 적고 일정한 형식을 가지는 특징을 가진다.

표 4. 컴퓨터 모의실험에 따른 j-계수 상관관계(루트함수)
Table 4. The j-factor function by computer simulation (root function)

j	상관관계	a	b
7	0.998	10.296	6.989
8	0.979	8.905	5.425
9	0.989	7.953	3.995
10	0.997	6.884	3.405
11	0.982	6.613	2.215
12	0.990	6.013	1.739
13	0.990	5.439	1.385
14	0.987	5.141	0.882
15	0.989	4.688	0.708
16	0.986	4.265	0.596
17	0.987	3.978	0.422
18	0.980	3.676	0.326
19	0.980	3.533	0.091
20	0.973	3.306	0.007

2) 다항함수에 의한 비등간격 수식

다항함수에 의한 비등간격 접지Grid의 수식은 수식 (10)과 같고 접지Grid 구획 개수(j)에 따른 다항함수 수식의 상관관계, 계수 a, b, c는 표 5와 같다.

$$D_{ij} = ai^2 + bi + c \quad (10)$$

다항함수는 접지Grid 구획 개수가 7에서 20으로 점점 증가할 때 계수 a, b, c가 일정한 형식을 가지지는 않지만 접지Grid 구획 개수가 7일 때 상관계수가 제일 좋은 1.0로 표준오차가 0.0[%]이고, 접지Grid 구획 개수가 11일 때 상관계수가 제일 나쁜 0.995로 표준오차가 0.0051[%]로 다른 함수나 루트함수에 비해 상당히 정확하다. 그러므로 본 논문에서는 비등간격 접지Grid 수식으로 일차함수나 루트함수에 비해 일정한 형식을 가지지는 않지만 표준오차가 적은 다항함수 수식 (10)과 계수 표 5를 권고한다.

표 5. 컴퓨터 모의실험에 따른 j-계수 상관관계(다항함수)
Table 5. The j-factor function by computer simulation (polynomial function)

j	상관관계	a	b	c
7	1.000	-0.915	9.303	-1.225
8	0.996	-0.445	6.388	-0.131
9	0.999	-0.800	7.870	-3.200
10	0.9979	-0.351	4.863	-0.722
11	0.995	-0.393	5.037	-2.206
12	0.998	-0.228	3.709	-1.191
13	0.999	-0.205	3.335	-1.234
14	0.999	-0.176	3.001	-1.389
15	0.999	-0.131	2.502	-1.008
16	0.999	-0.106	2.169	-0.805
17	0.999	-0.091	1.945	-0.748
18	0.999	-0.073	1.690	-0.585
19	0.999	-0.063	1.540	-0.624
20	0.999	-0.051	1.361	-0.524

2.2 접지Grid 간격 비교

접지도체의 접지Grid 간격을 비교하기 위하여 등간격 접지Grid, 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid와 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 Mesh전위, Mesh전압을 비교하였다. 결과에서 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid는 일차함수 형태인 수식 (8)과 일차함수 수식의 계수인 표 2를 사용하여 얻은 각 구획의 접지Grid 간격 비율을 적용하여 구한 것이고 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid는 다항함수 형태인 수식 (10)과 다항함수 수식의 계수인 표 5를 사용하여 얻은 각 구획의 접지Grid 간격 비율을 적용하여 구한 것이다.

2.2.1 접지Grid 간격별 Mesh 전위 비교

접지Grid 구획 개수(j)를 7개에서 20개까지 구획할 때 등간격 접지Grid와 일차함수 형태인 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid, 다항함수 형태인 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 최대 Mesh전위, 최소 Mesh전위, 전위차를 비교하면 표 6과 같다.

표 6. 접지Grid 간격별 Mesh전위 비교
Table 6. The comparison of grounding conductor's intervals(Mesh potential)

구획 개수 (j)	비등간격 접지 Grid						등간격 접지Grid		
	기하학적 방법			컴퓨터모의실험			최대	최소	차pm
	최대	최소	차pm	최대	최소	차pm			
7	2032	1958	3.61	2015	2002	0.61	2131	1865	12.5
8	2076	2001	3.6	2039	2023	0.76	2141	1875	12.4
9	2073	1992	3.9	2061	2029	1.58	2143	1884	12.1
10	2069	2017	2.6	2067	2046	1.04	2147	1887	12.1
11	2071	2018	2.9	2069	2044	1.21	2148	1896	11.8
12	2078	2034	2.1	2182	2047	1.67	2152	1900	11.7
13	2082	2025	2.7	2072	2044	1.32	2150	1905	11.3
14	2086	2044	2.0	2079	2045	1.65	2151	1910	11.2
15	2086	2037	2.3	2070	2043	1.29	2149	1914	10.9
16	2091	2046	2.1	2081	2047	1.66	2150	1919	10.7
17	2093	2046	2.2	2078	2044	1.63	2148	1923	10.5
18	2093	2053	1.9	2085	2043	1.99	2148	1926	10.3
19	2094	2051	2.0	2086	2048	1.81	2159	2027	6.12
20	2095	2050	2.1	2088	2046	1.99	2145	1931	9.97

표 6의 차pm은 최대 Mesh전위와 최소 Mesh전위의 전위차를 구하기 위해 수식 (11)에 의하여 계산된 값이다.

$$\text{차}_{pm} = \frac{\text{최대Mesh전위} - \text{최소Mesh전위}}{\text{최대Mesh전위}} \times 100[\%] \quad (11)$$

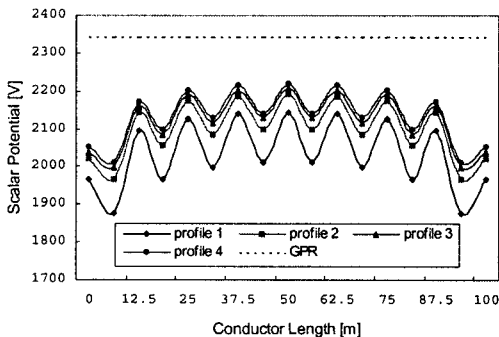


그림 5. 등간격 접지Grid의 Mesh 전위(j=9)
Fig. 5. The mesh potential of equally spaced ground grid(j=9)

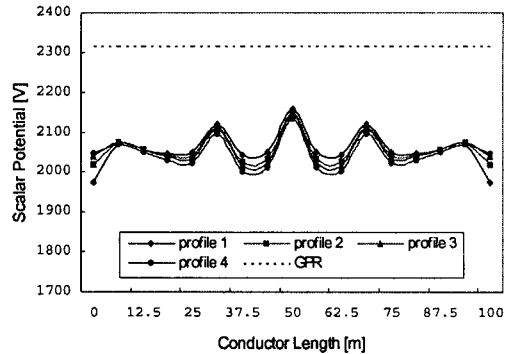


그림 6. 기하학적인 방법에 따른 비등간격 Mesh 전위(j=9)
Fig. 6. The mesh potential of equally spaced ground grid by geometry method(j=9)

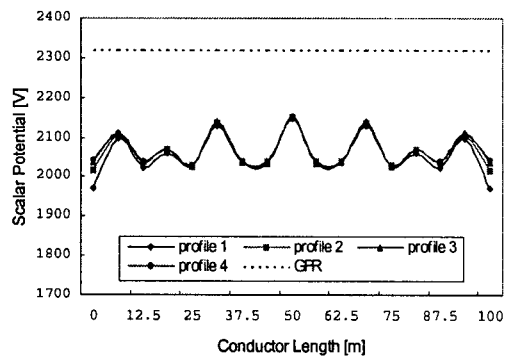


그림 7. 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 Mesh 전위(j=9)
Fig. 7. The mesh potential of equally spaced ground grid by computer simulation(j=9)

표 6의 등간격 접지Grid와 비등간격 접지Grid의 Mesh전위차를 비교한 결과는 다음과 같다. 등간격 접지Grid는 접지Grid 구획 개수가 7개에서 20개로 점점 증가할 때 접지Grid 구획 개수가 19개인 경우를 제외하고 차pm이 점점 작아지는 일정한 형식을 가지지만 전위차가 6.1[%]에서 12.5[%]까지 변화폭이 크며 전위차도 큰 것을 알 수 있다. 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid는 접지Grid 구획 개수가 18개일 때 Mesh전위차가 가장 적은 1.9[%]이고, 접지Grid 구획 개수가 9개일 때 Mesh전위차가 가장 큰 3.9[%]로 등간격 접지Grid에 비해 Mesh전위차가 많이 감소한 것을 알 수 있다. 컴퓨터 모의 실험에 따른 비등간격 접지Grid는 접지Grid 구획 개

획적 접지도체간격에 관한 대수암수제어

수가 7개일 때 Mesh전위차가 가장 적은 0.61[%]이고, 접지Grid 구획 개수가 18개, 20개일 때 Mesh전위차가 가장 큰 1.99[%]이다. 또한, 접지Grid 구획 개수 19개를 제외한 모든 구획에서 Mesh전위차가 등간격 접지Grid와 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid에 비해 적으며 Mesh전위차가 모두 2[%] 이내로 상당히 안전성이 높은 것을 알 수 있다. 그림 5~7은 접지Grid 구획개수가 8일 때 등간격 접지Grid, 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid, 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 Mesh 전위를 나타낸 것이다.

2.2.2 접지Grid 간격별 Mesh전압 비교

접지Grid 구획 개수(*j*)를 7개에서 20개까지 구획할 때 등간격 접지Grid와 일차함수 형태인 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid, 다항함수 형태인 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 최대 Mesh전압, 최소 Mesh전압, 전압차를 비교하면 표 7과 같다. 표 7의 차_{vm}은 최대 Mesh전압과 최소 Mesh전압의 전압차를 구하기 위해 수식 (12)에 의하여 계산된 값이고 차_{vc}는 중앙 Mesh전압과 구석 Mesh전압과의 전압차를 구하기 위해 수식 (13)에 의해서 계산된 값이다.

$$\text{차}_{vm} = \frac{\text{최대Mesh전압} - \text{최소Mesh전압}}{\text{최대Mesh전압}} \times 100[\%] \tag{12}$$

$$\text{차}_{vc} = \frac{\text{구석Mesh전압} - \text{중앙Mesh전압}}{\text{구석Mesh전압}} \times 100[\%] \tag{13}$$

표 7의 등간격 접지Grid와 비등간격 접지Grid의 Mesh전압차를 비교한 결과는 다음과 같다. 등간격 접지Grid는 접지Grid 구획 개수가 7개에서 20개로 점점 증가할 때 접지Grid 구획 개수가 16개와 19개인 경우를 제외하고 차_{vm}이 점점 커지는 일정한 형식을 가진다. 또한 접지Grid 구획 개수가 7개일 때 Mesh전압차가 가장 적은 51.9[%]이고 20개일 때 가장 큰 80.5[%]이다. 그리고 접지Grid 구획 개수가 7개에서 20개로 점점 증가할 때 최대 Mesh전압은 514.4[V]에서 266[V]로 점점 작아지는 반면 구석

Mesh전압과 중앙 Mesh전압과의 전압차인 차_{vc}는 108[V]에서 409[V]로 점점 커지는 것을 알 수 있다. 즉 접지Grid 구획 개수가 많아지면 최대 Mesh전압은 작아지지만 최대 Mesh전압과 최소 Mesh전압과의 전압차인 차_{vm}과 구석 Mesh전압과 중앙 Mesh전압과의 전압차인 차_{vc}는 커진다. 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid는 접지Grid 구획 개수가 7개일 때 Mesh전압차가 가장 적은 18.5[%]이고, 접지Grid 구획 개수가 20개일 때 Mesh전압차가 가장 큰 36.7[%]로 등간격 접지Grid에 비해 Mesh전압차가 많이 감소한 것을 알 수 있다. 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid는 접지Grid 구획 개수가 7개일 때 Mesh전압차가 가장 적은 3.50[%]이고, 접지Grid 구획 개수가 20개일 때 Mesh전압차가 가장 큰 31.9[%]이다. 또한, 접지Grid의 모든 구획에서 등간격 접지Grid와 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid에 비해 최대 Mesh전압은 물론 최대 Mesh전압과 최소 Mesh전압과의 차인 차_{vm}도 적은 것을 알 수 있다.

표 7. 접지도체 접지Grid 간격 비교(Mesh전압)
Table 7. The comparison of grounding conductor's intervals(Mesh voltage)

구획 개수 (j)	비등간격 접지Grid						등간격 접지Grid			
	기하학적 방법			컴퓨터모의실험			최대	최소	차 vm	차 vc
7	396	322	18.5	353	341	3.5	514	248	51.9	108
8	316	242	23.5	298	282	5.2	470	204	56.6	130
9	299	217	27.2	264	232	12.3	434	175	59.7	148
10	249	196	21.2	225	203	9.6	401	140	65.0	186
11	240	180	24.8	207	182	12.1	384	131	65.8	192
12	204	160	21.8	190	155	18.3	364	112	69.2	224
13	198	141	28.6	181	153	15.1	346	102	70.4	237
14	169	127	24.9	166	132	20.6	330	89.3	73.0	258
15	168	119	29.1	161	134	16.5	316	81.2	74.3	280
16	149	104	30.3	148	113	23.3	311	80.3	74.2	288
17	145	97.6	32.5	145	111	23.4	293	68.7	76.6	327
18	129	89.1	30.9	140	98.1	29.8	290	67.8	76.6	328
19	127	84.3	33.6	129	91.0	29.3	177	44.7	74.7	296
20	122	77.1	36.7	126	84.7	31.9	266	51.8	80.5	409

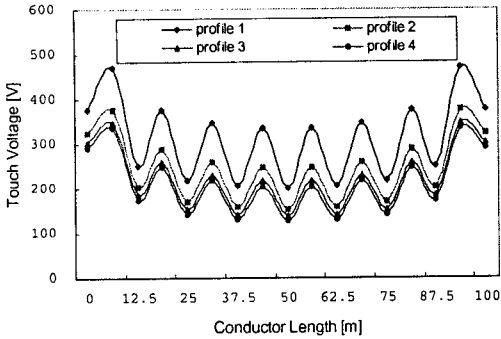


그림 8. 등간격 접지Grid의 Mesh 전압(j=9)
Fig. 8. The mesh voltage of equally spaced ground grid(j=9)

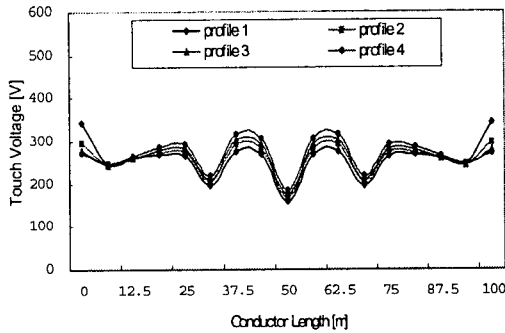


그림 9. 기하학적인 방법에 따른 비등간격 Mesh 전위(j=9)
Fig. 9. The mesh voltage of equally spaced ground grid by geometry method (j=9)

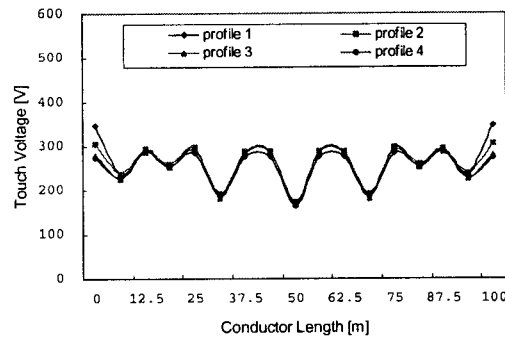


그림 10. 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 Mesh 전압(j=9)
Fig. 10. The mesh voltage of equally spaced ground grid by computer simulation(j=9)

그러므로 접지도체의 매설시 등간격 접지Grid 보다는 컴퓨터 모의실험을 통해서 구한 다항함수 형태의 접지Grid 간격 최적비율을 사용한 비등간격 접지Grid를 적용하는 것이 안전성과 신뢰성, 경제성면에서 우수한 공법이라고 생각한다.

그림 8~10은 접지Grid 구획개수가 9일 때 등간격 접지Grid, 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid, 컴퓨터 모의실험에 따른 접지Grid의 Mesh전압을 나타낸 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 안전하고 경제적이며 효율적인 최적의 접지시스템을 구축하기 위해 기하학적인 방법과 컴퓨터 모의실험을 이용하여 대수함수인 일차함수, 루트함수, 다항함수 형태로 비등간격 접지Grid의 수식을 유도하였다. 또한 최대 Mesh전위와 최소 Mesh 전위의 전위차가 2% 이내가 될 수 있도록 최적의 접지Grid 간격비율을 제시하였다. 이것을 정리하면 다음과 같다.

3.1 대수함수 형태의 비등간격 접지Grid 수식유도

접지Grid 구획 개수(j)를 7개에서 20개까지 구획할 때 기하학적인 방법에 따른 비등간격 접지Grid와 컴퓨터 모의실험에 따른 비등간격 접지Grid의 수식을 유도한 결과는 표 8과 같다.

표 8. 대수함수 형태의 비등간격 접지Grid의 수식
Table 8. The formula of unequally spaced ground grid by Algebraic Function

대수함수 형태		수식
기하학적인 방법	일차함수	$D_{ij} = ai$
컴퓨터 모의실험	루트함수	$D_{ij} = a\ln(i) + b$
	다항함수	$D_{ij} = ai^2 + bi + c$

3.2 전위차 2[%]이내의 최적 접지Grid 간격비율 제시

최대 Mesh전위와 최소Mesh 전위의 전위차가 2[%] 이내가 될 수 있는 최적의 접지Grid 간격 비율로 대수함수 중 다항함수 형태인 수식 (10)의 비등간격 접지Grid 수식과 표 5의 계수 a, b, c를 제시하였다.

이 논문은 2006학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

References

[1] ANSI/IEEE Std. 80-1986, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1986.

[2] ANSI/IEEE Std. 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 2000.

[3] ANSI/IEEE Std. 81-1983, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1983.

[4] ANSI/IEEE Std. 142-1991, "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1991.

[5] ANSI/IEEE Std. 367-1996, "IEEE Recommended Practice for Determining the Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage From a Power Fault", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, 1996.

[6] 高橋建彦외, "接地設計入門", 東逸出版社, 1993.

[7] 최홍규외, "전력사용시설을 설비 및 설계", 성안당, 2001.

[8] 최홍규외, "접지설비 및 설계", 성안당, 2004.

[9] 이복희외, "접지의 핵심 기초 기술", 의제, 1999.

[10] 高橋建彦, "그림해설 접지시스템입문", 성안당, 2003.

[11] J. G. Sverak, "Progress in Step and Touch Voltage Equations of ANSI/IEEE Std. 80 - Historical Perspective", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 3, 1998.

[12] B. Thapar, "Simplified Equations for Mesh and Step Voltages in an AC Substation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 6, No. 2, 1991.

[13] M. C. Costa, "Optimization of Grounding Grids by Response Surfaces and Genetic Algorithms", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 39, No. 3, 2003.

[14] A. F. Otero, "Genetic Algorithm Based Method for Grounding Grid Design", IEEE, 1998.

[15] J. Yuan, "Simulation of Substation Grounding Grids

with Unequal-Potential", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 36, NO. 4, 2000.

[16] L. Huang, "Study of Unequally Spaced Grounding Grids", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 2, 1995.

[17] W. Sun, "Optimal Design Analysis of Grounding Grids for Substations Built in Nonuniform Soil", IEEE, 2000.

◆ 저자소개 ◆

최홍규 (崔洪圭)

홍익대학교 전자·전기공학과 교수

송영주 (宋榮柱)

1970년 11월 21일생. 1993년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995~2001년 포스콘 기술연구소 연구원. 2004년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001년~현재 홍익대학교 전기설비연구센터 수석연구원. 2002년~현재 (주)대현 이엔씨 소장.