

IEEE Std-2000의 메쉬전압식 적용한계의 검토

문태환**, 이민명**, 장길조*, 윤장완*
한밭대학교**, 한전전력연구원*

Investigation of Applied Limit on IEEE Std-2000 for Mesh Voltage Equations

Tae-Hwan Moon**, Min-Myung Lee**, Gil-Jo Jung*, Jang-Wan Yun*
HanBat University**, Korea Electric Power Research Institute*

Abstract - There are various shapes such as square, rectangular, L, and T type in the grounding systems of substations. IEEE Std-d suggests the formula considering the characteristics of the various grounding systems but the final value can not be taken, and them the analysis of complicated computer program for obtaining the more accurate value is needed. In his paper, by using CDEGS(Current, Distribution, Electromagnetic and Soil Structure Analysis) the estimated functions derives form the modification coefficient for each of various types above mentioned. The mesh voltage expected can be obtained without the conventional expensive program using compensating methods that multiply IEEE formula by the estimated function.

1. 서 론

일반적으로 전력계통의 접지는 정상상태에서 전력계통의 안정적인 운전과 지락사고 시 고장전류를 대지로 안전하게 분산시켜 전력기기의 손상을 방지하고 인체의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

이러한 접지장치들은 종류가 많으나 그 중 접지 저항값을 낮출 수 있는 메쉬형(mesh type)을 사용하고 있으며, 이 타입은 접지설계기준 IEEE Std 80-1986(1)의 메쉬전압(mesh voltage) 계산식을 적용함에 있어 한 변의 도체개수를 25개 초과하거나, 도체간격이 2.5m 이하인 경우에는 본 식을 적용하지 말 것을 권고하고 있다. 그러나 개선된 IEEE Std 80-2000(2)에서는 한 변의 도체개수가 41개 이하로 변경하였으며, 적용한계에 대해서는 제한을 두지 않고 있다.

우리나라의 경우 부지가 좁고 대지저항율이 비교적 높은 곳이 많아 접지저항을 안전허용치 이내로 낮추기 위하여 접지도체 간격을 촘촘하게 설계하는 경향이 있으므로 한 변의 도체 개수가 41개를 초과하는 경우가 발생할 수 있다.

또한 접지망의 형태는 변전소의 위치나 규모에 따라 결정되는데 그 대표적 형태는 정사각형, 직사각형, L형 그리고 T형 등이 있다.

따라서 이러한 조건에 맞도록 개정된 접지설계 기준에 의한 메쉬전압식의 적용한계에 대한 검증이 필요하기 때문에 본 논문에서는 우리나라 대부분의 변전소에서 채택하고 있는 정방형이나 직사각형 또는 L형에 대한 IEEE 계산식과 컴퓨터 모의실험 값을 비교하여 적용한계를 검토하였다.

또한 IEEE 계산식과 모의실험 값의 차이를 보정하는 계수를 유도함으로써 고가의 프로그램을 사용하지 않고도 안전하고 경제적인 접지설계를 할 수 있는 방법을 제

안하였다.

2. 본 론

2.1 컴퓨터 모의실험과 IEEE 메쉬전압식의 계산결과 비교

변전소의 접지면적은 154kV와 765kV 변전소 접지설계 사례를 참고하였으며(3,4), 메쉬전압은 1kA의 전류가 500Ω/m의 토양에 포설되어 있는 각각 다른 제원의 접지망으로 유입되는 경우를 가정하여 계산하였다. 계산은 MALT(5,6)와 IEEE Std 80-2000의 메쉬전압 계산식을 이용하여 각각 수행하였다.

표1은 IEEE Std 80-2000에서 Koch의 수조실험을 대체하는 RESIS를 이용한 컴퓨터 모의실험(7)과 MALT를 이용하여 수행한 모의 실험결과의 차이를 보인 것이다. 이 표에서 비교적 도체간격이 크거나 0.5m의 얇은 매설깊이 등 IEEE Std 80-2000의 모의 실험 조건이 우리나라 실정에 잘 맞지 않는 경우도 있음을 볼 수 있다.

또한 그림1.에서처럼 매설 깊이가 달라지면 변전소 구내에서 최대 메쉬전압이 발생하는 위치와 값이 달라질 수 있으므로 실제적으로 최외곽의 메쉬전압이 가장 높으나 IEEE Std 80-2000의 모의 실험에서는 외곽 메쉬의 중심점을 최고 메쉬전압으로 계산하였다.

따라서 본 연구에서는 실제의 최고 메쉬전압이 걸리는 외곽 도체의 X축과 Y축이 "0"인 지점의 MALT 메쉬전압을 적용하여 비교하였다.

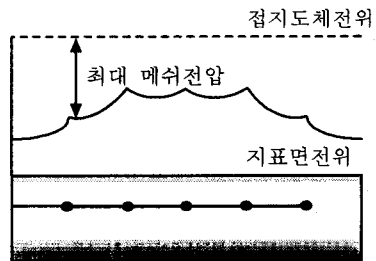
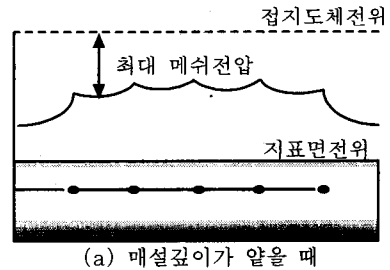


그림 1. 접지망 매설깊이에 따른 최대 메쉬전압 발생위치

표 1. IEEE Std 80의 1986년판 모의실험과의 주요 차이점

	IEEE Std 80 의 모의조건	본 논문에서의 모의조건
매설깊이	0.5m	1.0m
도체굵기	78mm ²	100mm ²
대지 저항률	100 ohm-m	500 ohm-m
접지면적 (정방형)	20×20m ² ~150×150m ² 매쉬개수 4~225개	60×60m ² 300×300m ² 도체간격 1.3~20m
접지면적 (직사각형)	80×5m ² ~480×30m ² 매쉬개수 4~144개	80×60m ² 150×100m ² 300×240m ² 도체간격 1.6~20m
접지면적 (L형)	10×60×10×10m ~ 80×120×120×20m 매쉬개수 1~136개	40×80×20×20m 40×80×40×20m 40×80×60×20m 60×120×30×30m 60×120×60 30m 60×120×90×30m 80×80×20×20m 80×80×40×20m 80×80×40×40m 120×120×30×60m 120×120×60×60m 120×120×90×60m 도체간격 2.5~15m

표 2. 계산 값과 모의실험 값의 결과 비교

접지망의 크기	도체간격 (n)	도체수 (D)	보정계수 (δ)	%오차
300 × 300	20.0	16.0	0.83	21.0%
	15.0	21.0	0.91	9.8%
	10.0	31.0	1.06	-6.1%
	7.5	41.0	1.21	-17.5%
	6.7	46.0	1.29	-22.2%
150 × 100	15.0	9.2	0.91	10.0%
	10.0	13.1	1.06	-5.7%
	8.3	15.5	1.14	-12.5%
	7.5	16.9	1.19	-16.3%
	6.0	21.4	1.32	-24.5%
300 × 240	5.0	25.2	1.44	-30.7%
	3.5	34.9	1.71	-41.4%
	20.0	14.3	0.83	20.7%
	15.0	18.8	0.91	9.5%
	10.0	27.7	1.07	-6.3%
80×80 ×40×40	7.5	36.6	1.21	-17.5%
	6.0	45.5	1.36	-26.2%
	10.0	8.7	0.88	13.3%
	5.0	16.2	1.23	-18.7%
	2.5	31.2	1.69	-40.7%
120×120 ×90×6	15.0	8.9	0.81	24.2%
	7.5	16.8	1.11	-9.8%
	3.7	32.5	1.54	-34.9%
40×80 ×60×20	10.0	6.5	0.91	9.9%
	5.0	11.9	1.26	-20.9%
	2.5	22.7	1.71	-41.5%
60×120 ×90×30	15.0	6.5	0.80	25.5%
	7.5	11.9	1.09	-8.4%
	3.7	22.7	1.49	-33.1%

표2.의 모델 중 직사각형 접지망을 예로 한 그림2.는 IEEE Std 80-2000 매쉬전압 계산식의 결과와 컴퓨터 모의실험의 계산결과를 나타낸 것이다. 이 결과에서 % 오차는 다음 식(1)에 의하여 구하였고, 표2.의 매쉬전압 보정계수는 모의실험과 IEEE 계산식의 차이를 보정하는 계수로서 식(2)에 의하여 계산하였다.

$$\%오차 = \frac{\text{IEEE계산식의 매쉬전압값} - \text{모의실험 결과}}{\text{컴퓨터 모의실험 결과}} \quad (1)$$

$$\text{보정계수}(\delta) = \frac{\text{모의실험 매쉬전압값}}{\text{IEEE 계산식에 의한 매쉬전압값}} \quad (2)$$

표2.의 보정계수는 도체수가 아닌 도체의 간격에 따라 변화하는데 이 값은 IEEE Std 80-2000에서 제시한 계산 값과 모의실험 값의 오차를 의미한다. 접지도체간격이 좁아질수록 보정계수는 급격히 증가하며 %오차도 20%이상까지 커지는 것을 볼 수 있다. (다른 모의 실험에서는 최대 60%이상 커짐)

이 같은 차이는 표1.에서 요약한 것처럼, IEEE 계산식을 유도하기 위하여 수행된 IEEE Std 80-2000의 컴퓨터 모의실험과 본 논문의 모의실험조건이 다르기 때문이며, 특히 도체간격이 좁아짐에 따라 IEEE 계산식이 부정확해짐을 알 수 있다.

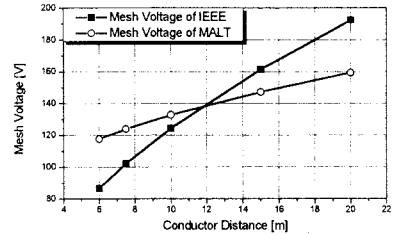


그림 2. IEEE 계산값과 MALT값 비교

2.2. 매쉬전압 보정계수

우리나라는 변전소 부지가 협소한 경우가 많고 심층토 양으로 갈수록 암반이 나타나는 등 대지저항률이 비교적 높기 때문에 접지망의 도체간격을 촘촘히 설계하는 경우가 많다. 이때 IEEE Std 80-2000의 계산식을 그대로 사용하게 되면 표2.와 그림2.의 계산결과에서 볼 수 있듯이 매쉬전압식이 과소평가 되는 문제점이 발생된다.

이러한 문제를 피할 수 있는 가장 좋은 방법은 GDP(8) 등과 같이 유한요소해석에 의하여 매쉬전압을 계산해 주는 컴퓨터 프로그램을 이용하는 방법이다. 만일 IEEE 의 계산식을 그대로 이용하고자 한다면, IEEE 계산식과 컴퓨터 모의 실험의 매쉬전압 계산결과와의 차이를 보정해주는 계수를 만들고 도체간격이 일정 거리 이하가 될 때에 IEEE 수계산식의 계산결과에 이 보정계수 추정함수 값을 곱하여 오차를 없애는 방법을 생각할 수 있다.

표2.과 그림2.의 계산 결과로 볼 때 이러한 매쉬전압 보정계수는 한 번의 도체수 보다는 도체간격과 깊은 관계가 있으므로, 매쉬전압 보정계수를 구하는 식은 도체간격의 함수로서 표현하는 것이 적합할 것이다.

2.3 매쉬전압 보정계수 추정함수 식의 유도

식(2)의 계산결과에서 얻어진, 도체간격에 따른 매쉬전압 보정계수는 그림 3과 같은 경향을 보이며 보정계수의 추정함수를 표3.에 나타내었다.

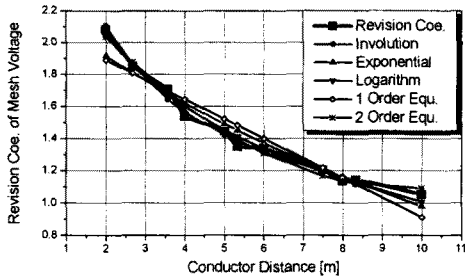


그림 3. 보정계수와 K_{10} 함수식 관계
(직사각형에 대한 것을 예로 보인 것임)

표 3. 추정함수

추정함수명	추정함수
자승함수	$K_{10} = 2.8408D^{-0.4307}$
지수함수	$K_{10} = 2.2636e^{0.0837D}$
로그함수	$K_{10} = 0.3713\ln(D) + 0.8482$
1차 함수	$K_{10} = -0.1222D + 2.1328$
2차 함수	$K_{10} = 0.016D^2 - 0.31D + 2.5906$

표3.의 5가지 추정함수 식 중 가장 완만한 기울기 변화를 보이는 것은 자승 함수이며, 이 식을 적용하여 그림3.과 같이 나타내어 비교할 수 있다.

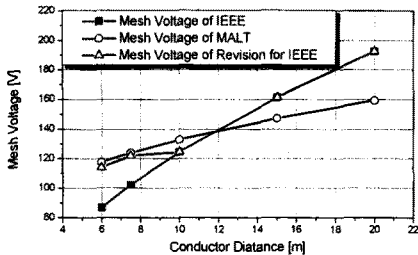


그림 4. 보정후 IEEE와 MALT의 비교

이러한 방법으로 정방형과 직사각형 그리고 L형 접지망을 계산하여 얻어진 배위전압 및 보정계수 추정함수는 다음과 같다.

$$E_{mesh} = K_{10} \cdot \rho \cdot K_m \cdot K_i \cdot \frac{I_g}{L}$$

단, $K_{10} = 1.0$ (도체간격 $D > 10m$)

$$= 2.6882 \cdot D^{-0.4048}$$
 (정방형 $D \leq 10m$) (3)
$$= 2.8408 \cdot D^{-0.4307}$$
 (직사각형 $D \leq 10m$)
$$= 2.4604 \cdot D^{-0.4452}$$
 (L형 $D \leq 10m$)

3. 결론

국내의 변전소 접지설계 사례를 참고하여 IEEE Std 80-2000의 배위전압식의 적용한계를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) IEEE Std 80-2000의 배위전압 계산식의 적용한계는 한변의 도체수 보다는 접지망의 도체간격에 더욱 깊은 관련이 있으며, 검토 조건에서 접지도체 간격이 10m를 초과하는 경우에는 적용에 문제가 없으나, 그 이하에서는 배위전압 계산치가 실제 값보다 과소평가 되는 경향이 있는 것으로 나타났다.

2) 정방형과 직사각형 접지망의 도체간격이 10m 이하인 경우에는 GDP 등과 같은 유한 요소 해석에 의하여 배위전압을 복잡하게 계산하여야 하지만, IEEE 계산식을 이용한 배위전압 계산결과에 보정계수 추정함수 K_{10} 을 곱하여 사용함으로써 보다 간단하게 배위전압을 계산할 수 있음을 제안하였다.

3) 또한 본 논문은 보조 접지망을 구성하지 않은 상태에서 비교 분석하였으나 실제의 접지시스템에서는 접지봉의 추가와 유입점의 보조 접지망 추가 등 대지전압을 낮추기 위해 조합형 접지방식을 사용하고 있으므로 앞으로 조합형 보정계수에 관한 연구를 지속함으로써 보다 정확하고 간편하며, 사용에 안전한 접지시스템을 설계할 수 있을 것으로 생각한다.

(참고 문헌)

- [1] IEEE Std. 80, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 1986
- [2] IEEE Std. 80, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 2000
- [3] 전력연구원, "154kV 쌍문변전소 접지설계", 1999.6
- [4] 전력연구원, "765kV 신서산변전소 접지설계 (안)-TM.95YJ12.P1998.571", 1998.10
- [5] F. P. Dawalibi, D. Mukhedkar, "Optimum Design of Substation Grounding in a Two Layer Earth Structure, Part I-Analytical Study", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-94, No.2, March/April, 1975
- [6] SES, MALT Users' Manual, 1998.12
- [7] B. Thapar, V. Gerez, A. Balakrishnan, D. Blank, "Simplified Equations for Mesh and Step Voltages in an AC Substation", IEEE Trans. on PD, Vol.6, No.2, April 1991
- [8] 전력연구원, "접지설계 프로그램(GDP) 기능개선 (TM.99EP03.P1999.214)", 1999.5