

전류 및 전위 측정선간 상호유도가 접지임피던스에 미치는 영향

論 文

57-7-16

The Effect of Mutual Coupling between Current and Potential Test Leads on Ground Impedance

嚴柱弘[†] · 趙成哲^{*} · 李泰炯^{*}

(Ju-Hong Eom · Sung-Chul Cho · Tae-Hyung Lee)

Abstract - While a high frequency source is used for measuring the ground impedance, there are several factors having an effect on the measured value. A primary factor of the measurement error is the ac mutual coupling between current and potential test leads. The mutual coupling causes the test current to induce a voltage into the potential test lead that adds to the actual ground potential rise and produces a significant measurement error as the length of the test leads paralleled is prolonged. In order to avoid the mutual coupling, it is recommended that the ground impedance be measured by angled arrangement of test leads. The mutual impedance due to the inductive coupling with an angle of 90° was calculated at 0° by Campbell/Foster Method. With an angle of 180°, the mutual impedance was calculated large value enough to introduce a fairly large margin of error, however, the measured value of ground impedance was close to the value at 90°.

Key Words : Mutual coupling, Ground impedance, Ground potential rise

1. 서 론

전위강하법은 대규모 접지시스템의 접지임피던스 측정을 위한 기본적인 방법이다. 일반적으로 소규모 접지전극에서는 60 Hz 정도의 주파수를 가지는 측정전류를 인가할 경우 측정전류와 접지전위의 파형이 동일한 위상을 가진다. 이는 저항성분이 주를 이루기 때문이며 일반적으로 접지저항으로 성능을 평가하게 된다. 하지만 접지전극의 규모가 크거나 접지저항이 낮은 경우 또는 이러한 조건이 아니더라도 피뢰설비용 접지에서와 같이 측정전류의 주파수가 높아지게 되면 측정전류와 접지전위 파형에서 위상차가 발생하여 접지임피던스로 나타나게 된다.

접지임피던스를 측정함에 있어서 전위강하법은 전류 및 전위측정선의 배치에 따라 유도결합의 영향을 받는다. 유도결합에 의한 측정오차는 대규모 접지시스템의 측정에서 매우 중요하게 다루어져야 하며, 특히 높은 주파수의 전류를 인가하는 측정에서는 보조전극과 측정선의 배치에 세심한 주의가 필요하다. 접지시스템의 임피던스를 측정할 때 임피던스의 값에 영향을 미치는 것에는 대지의 상호저항, 전류도체와 전위도체사이의 교류 상호결합 그리고 확장 접지도체와 전위도체 사이의 교류 상호결합이 있다[1][2]. 교류의 측정전류가 인가되는 측정선은 인근의 전위측정선에 유기기전력을 발생시키는데, 이 때 측정되는 접지전위상승 파형은 실

제의 접지전위에 유도전압이 합성된 값으로 나타난다. 상호유도결합에 의해 실제 접지임피던스에서 변동되는 임피던스를 상호임피던스라 하는데, 이 상호임피던스에 의한 오차는 측정선이 나란하게 포설되는 경우에 최대가 된다.

상호임피던스는 수식에 의해 이론적으로 계산할 수 있지만, 상호임피던스의 크기가 접지임피던스의 크기와 비슷하거나 더 커지게 되면 수식에 의해 상호임피던스를 보정하더라도 접지임피던스를 결정하는데 큰 오차를 포함하게 된다. 특히 상용주파수에서 접지임피던스가 1 Ω 이하인 경우에는 IEEE Std.에서 유도결합의 영향을 고려할 것을 권고하고 있으므로[1] 주파수가 상용주파수 보다 큰 영역에서는 반드시 상호결합에 의한 접지임피던스 오차를 줄이는 측정기법을 적용할 필요가 있다.

따라서 높은 주파수 전원을 이용하여 접지임피던스를 측정하는 실험에서 측정선의 상호유도결합이 특정 조건에서 의도적으로 포함된 접지임피던스를 실측하여 얻은 값과 수식을 통하여 계산결과로 얻은 상호임피던스를 서로 비교하여 전류 및 전위 측정선의 배치에 따른 상호유도의 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 접지임피던스 측정선의 유도결합

접지임피던스를 측정하기 위해서는 인가전류가 흐르는 전류도체와 이 때 상승되는 전위를 측정하기 위한 전위도체가 있어야 한다. 전류도체에 전류가 흐를 때 전류도체 주위에 자속이 발생하게 된다. 발생된 자속은 전류도체로부터 거리의 제곱에 반비례하는 크기로 주위 도체에 영향을 준다[3].

[†] 교신저자, 正會員 : 基礎電力研究院 研究員 · 工博

E-mail : eommas@snu.ac.kr

^{*} 正會員 : 基礎電力研究院 研究員

接受日字 : 2008年 2月 20日

最終完了 : 2008年 6月 13日

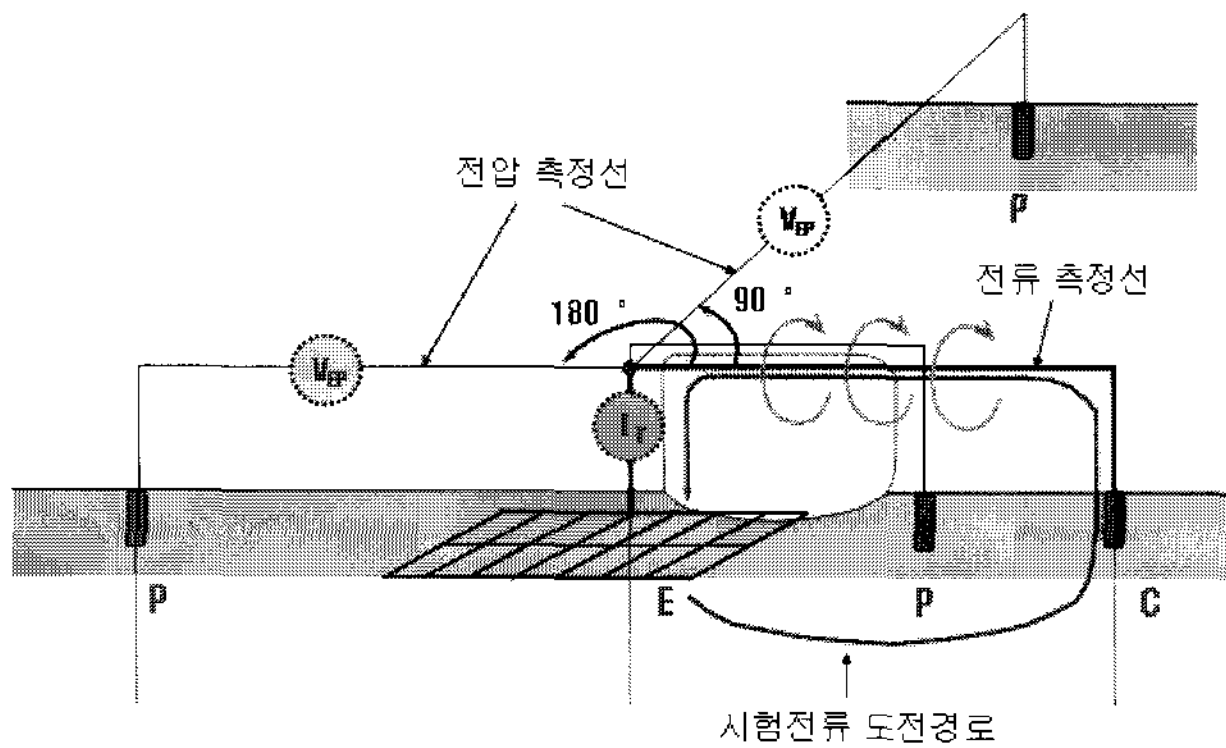


그림 1 측정선의 유도결합
Fig. 1 Inductive coupling of measuring lines

그림 1은 접지임피던스를 측정하기 위한 실험계에서 전위도체와 전류도체간의 가능한 배치를 보여준다. E극에 전류가 인가되어 C극을 통해서 흐를 때 그림 1과 같이 전류도체 주위에 자속이 발생하게 된다. 이 때 P극을 E극의 가장자리와 C극 사이 61.8 % 지점에 설치하게 되면 전류측정도체와 전위측정도체는 E극에서부터 P극까지 나란하게 중첩되어 포설되어진다. 만약 측정선이 90°의 각도로 배치된다면, 이론적으로 유도결합은 발생하지 않으며, 90°~180°의 각도 배치와 180°~270°의 각도배치가 0°~90°의 각도 배치와 270°~360°의 각도배치보다 상호유도현상이 작게 나타난다. 측정현장의 조건상 90°의 각도배치가 힘든 경우에는 측정선의 포설 각도에 따라 유도결합에 의한 영향이 접지임피던스에 나타나게 된다[4].

2.2 측정선의 배치에 따른 유도결합

측정선의 상호유도결합에 대한 영향을 비교하려면 실험에 앞서 측정선의 유도결합을 고려한 임피던스의 이론적 분석이 선행되어야 한다. 이에 전류도체와 전위도체의 배치방법에 따른 이론적 유도결합 분석은 문헌 [1]에서 언급되어 있는 임피던스 계산식인 Campbell/Foster Method를 이용하여 구현하였다.

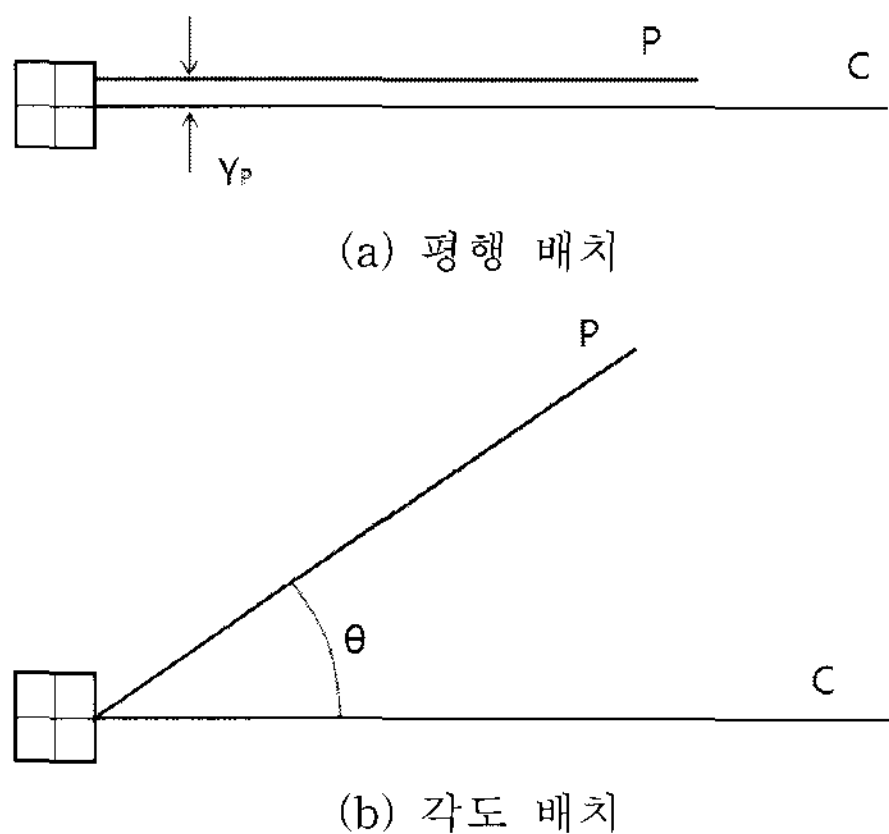


그림 2 측정선의 배치
Fig. 2 Arrangement between test conductors

측정선으로 사용되는 전류도체와 전위도체가 평행하게 포설되었을 때를 평행배치, 임의의 각도를 이루며 포설되었을 때를 각도배치라고 칭하며, 측정선의 평행배치와 각도배치를 그림 2에 나타내었다. 전류도체와 전위도체가 대지에 나란한 방향으로 놓여 있다고 가정하면 각각의 파라미터들은 다음과 같다[5].

- C = 전류측정선의 길이, m
- P = 전위측정선의 길이, m
- ρ = 대지저항률, $\Omega \cdot m$
- Y_p = 전류측정선과 전위측정선의 수평 이격거리, m
- θ = C 와 P 사이의 각 ($0^\circ < \theta < 180^\circ$)
- $\omega = 2\pi f$, f = 주파수, Hz
- $d = \sqrt{\frac{10}{2\pi}} \times 10^3 \times \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 503.292 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$, 대지의 침투깊이, m

이 파라미터들을 사용하여 계산하는 상호임피던스에 대한 일반적인 식은 측정선이 평행배치일 때 식(1)과 같다. 상호임피던스에 대한 식 (1)은 단일지층 구조의 대지, 대지표면에 배치된 측정도체, 대지면 침투깊이보다 작은 측정선 길이 등을 기본적인 조건으로 하고 있다.

$$Z_M = R_M + jX_M = \frac{\omega}{10^7} \left[\frac{2}{3} \frac{CP}{d} + j(C \ln K_4 + P \ln K_5 + Y_p + K_1 - K_2 - K_3 - \frac{2}{3} \frac{CP}{d}) \right] \quad (1)$$

$$K_1 = \sqrt{(C-P)^2 + Y_p^2}$$

$$K_2 = \sqrt{C^2 + Y_p^2}, \quad K_3 = \sqrt{P^2 + Y_p^2}$$

$$K_4 = (C + K_2) / (C - P + K_1), \quad K_5 = (P + K_3) / (P - C + K_1)$$

측정선간의 유도결합에 의한 상호임피던스는 그림 2(b)와 같이 각도배치한 경우에 아래의 식 (2)와 같이 표현된다.

$$Z_M = R_M + jX_M = \frac{\omega}{10^7} \cos \theta \left[\frac{2}{3} \frac{CP}{d} + j(C \ln K_7 + D \ln K_8 - \frac{2}{3} \frac{CP}{d}) \right] \quad (2)$$

$$K_6 = \sqrt{C^2 + P^2 - 2CP \cos \theta}$$

$$K_8 = (C - P \cos \theta + K_6) / [P(1 - \cos \theta)]$$

$$K_7 = (P - C \cos \theta + K_6) / [C(1 - \cos \theta)]$$

2.3 실험계 구성

전위강화법을 이용한 접지임피던스의 측정회로 중 90° 각도배치 방법을 그림 3에 나타내었으며, 측정전류는 설정된 시간동안 주파수제어가 선형적으로 이루어지는 인버터를 사용하여 인가하였다. 구형파 측정전류의 주파수를 5~300 kHz의 범위에서 가변시키면 측정대상인 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 인가하여 전위보조전극(P)에 대한 측정대상 접지전극의 전위상승을 측정하였다.

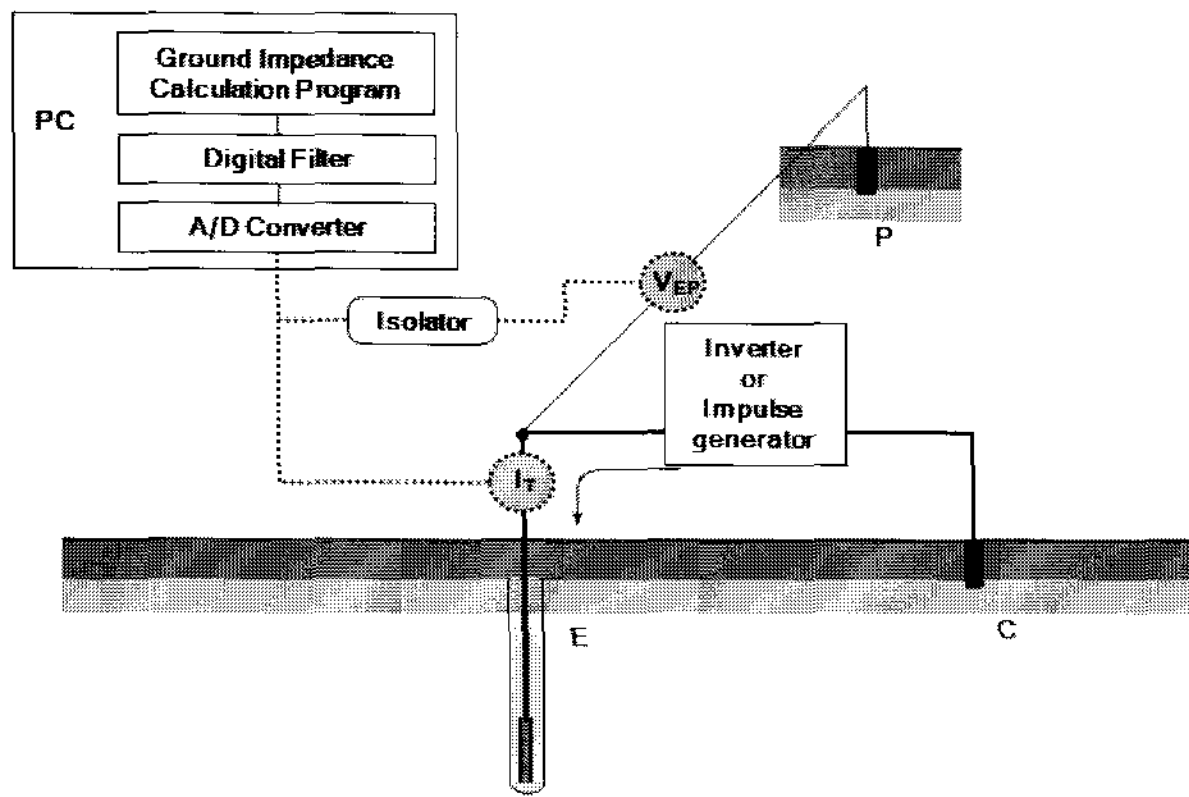


그림 3 접지임피던스의 측정회로
Fig. 3 Circuit diagram for measuring the ground impedance

접지임피던스의 산출에 적용한 측정용 인가전류와 접지전극의 전위상승 파형은 각각 CT와 절연분리기능이 있는 능동형 프로브로 측정하였다. 측정된 파형들은 12 bit, 100 MS/s의 A/D변환기를 사용하여 디지털 신호로 변환하였으며, 변환된 신호들은 디지털필터를 통과시킨 후 접지임피던스의 계산에 적용되었다. 디지털필터는 2차 버터워스(Butterworth)형 대역통과필터로 설계하였으며, 검출된 구형파의 접지전위상승 및 시험전류 파형의 기본파 성분들만을 통과시킨다. 즉, 구형파는 기본파 성분과 기수고조파 성분의 합으로 이루어져 있으므로 대역통과필터를 사용하면 기본파 성분의 정현파와 시험 전류와 접지전위상승 파형을 선택하여 접지임피던스의 산출을 위한 연산이 가능하다. 접지임피던스의 크기는 접지전극의 전위상승과 시험전류 크기의 비로 구해진다[6].

2.4 계산에 의한 상호임피던스

상호유도에 의해 발생하는 임피던스 성분인 상호임피던스(Z_M)와 접지극의 실제 임피던스(Z_G), 그리고 측정에 의해 얻어지는 측정 접지임피던스(Z_S)는 식 (3)과 같이 표현된다. 일반적으로 교류 측정전원을 사용하여 측정한 접지임피던스에는 측정선의 배치에 따라 크기의 차이는 있으나 어느 정도의 상호임피던스 성분이 포함되어 있으며, 이 값은 측정선의 중첩길이가 길거나 측정 주파수가 높아지면 크게 증가하여 측정오차로 작용하게 된다.

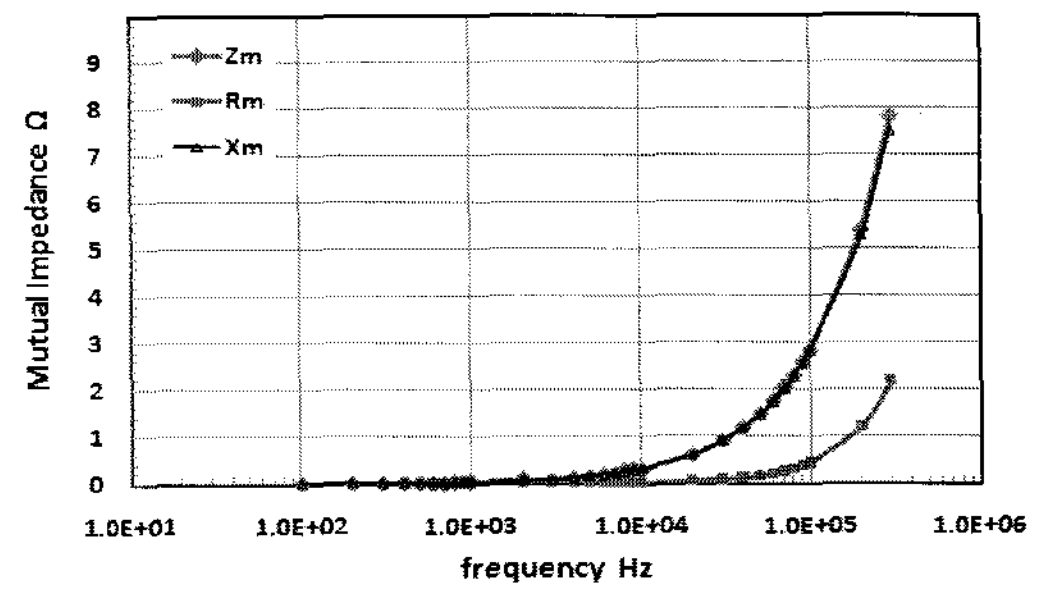
$$Z_S = Z_G + Z_M = (R_G + R_M) + j(X_G + X_M) \quad (3)$$

교류전원을 이용하여 접지임피던스를 측정할 때 발생할 수 있는 상호임피던스의 크기를 평행배치와 각도배치로 구분하여 식 (1), (2)로부터 계산하였다. 평행배치의 상호임피던스는 주파수에 따라 그림 4와 같이 계산되며, 측정선의 중첩길이에 따라 세 가지로 분석하였다.

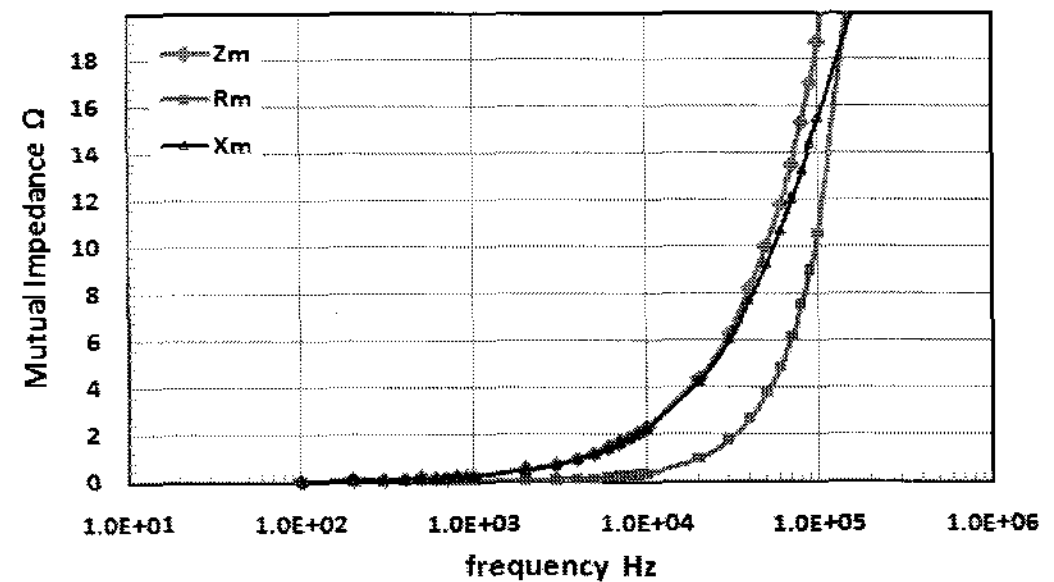
대지저항률은 $100 \Omega \cdot m$, 두 측정선의 이격거리는 1 m로 설정하고 중첩되는 측정선의 길이를 10 m, 50 m, 100 m로 구분하여 상호임피던스를 계산하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 주파수가 증가함에 따라 3가지 중첩에서 모두 상호임피던스가 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다. 중첩된 길이가 50 m와 100 m인 경우에는 수 kHz 이상의 주파수에서

매우 큰 상호임피던스 값을 가지게 되어 큰 측정오차를 유발할 수 있다. 하지만 수식의 조건으로부터 대지면 침투깊이가 측정선 길이보다 큰 영역은 수 kHz 이내로 제한되므로 높은 주파수에서의 계산값의 정확도는 낮은 주파수의 계산값에 비해 감소할 수 있으며 경향성 분석에 주로 활용하는 것이 바람직하다.

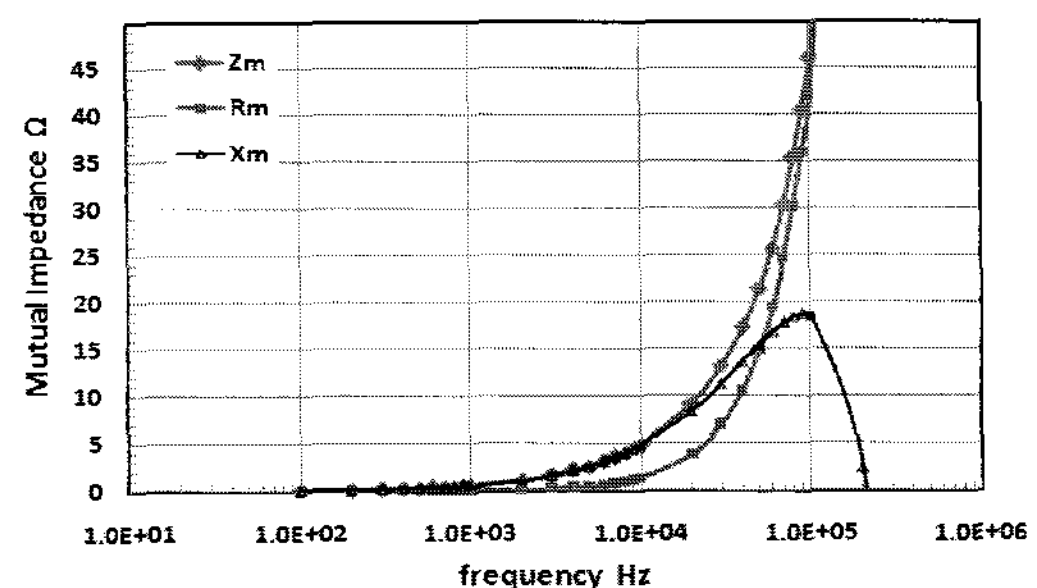
각도배치에서 발생하는 상호임피던스를 주파수에 따라 계산한 결과는 그림 5와 같다. 측정선의 길이는 100 m이고, 대지저항률은 $100 \Omega \cdot m$ 로 설정하였다. 그림 5(a)와 5(b)는 1 kHz와 10 kHz의 주파수에 대하여 각도에 따른 상호임피던스 계산값을 나타낸 것으로 측정선이 이루는 각이 90° 인 경우에 상호임피던스가 0이 됨을 알 수 있다.



(a) C=16 m, P=10 m



(b) C=80 m, P=50 m



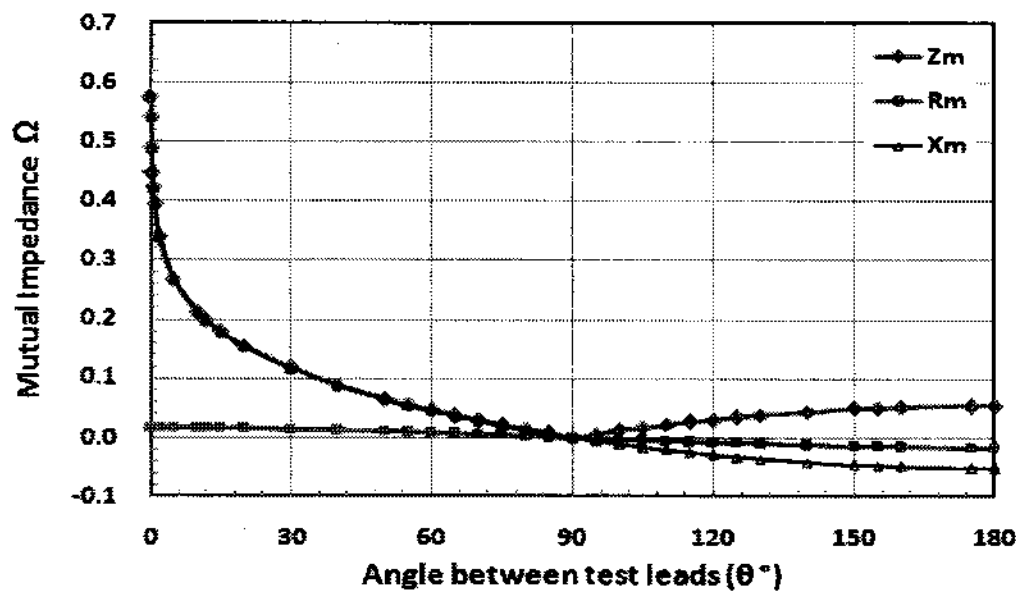
(c) C=160 m, P=100 m

그림 4 평행배치의 상호임피던스(계산값)

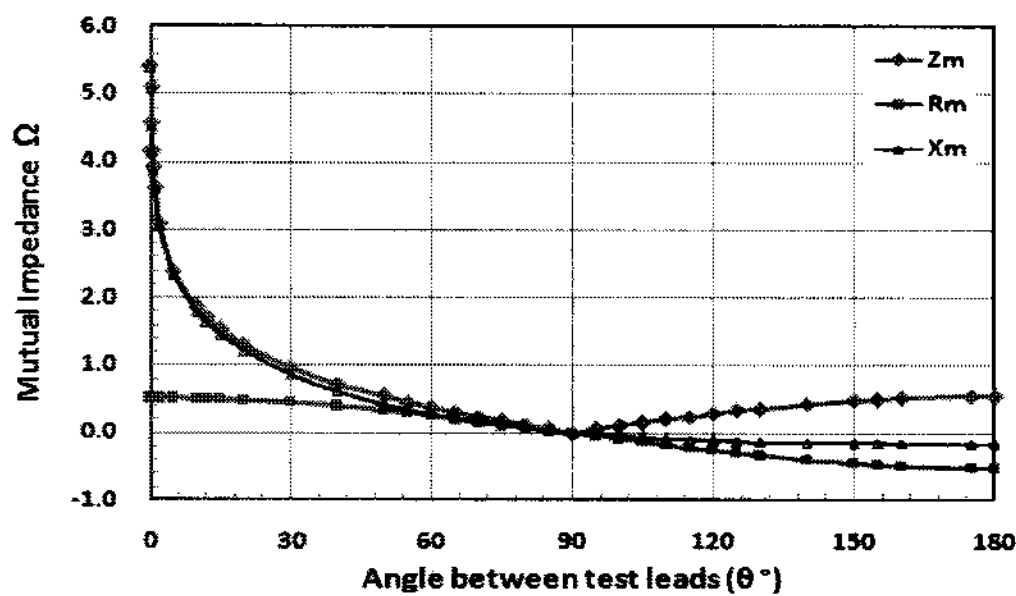
Fig. 4 Mutual impedance of parallel arrangement (calculated value)

측정선이 이루는 각이 0° 에 접근할수록 상호임피던스가 급격히 증가하나 상대적으로 180° 에서는 증가율이 작게 나타남을 알 수 있다. 주파수가 10 kHz로 증가하였을 때 상호임피던스의 저항성분은 약 3배 증가하며, 리액턴스 성분은

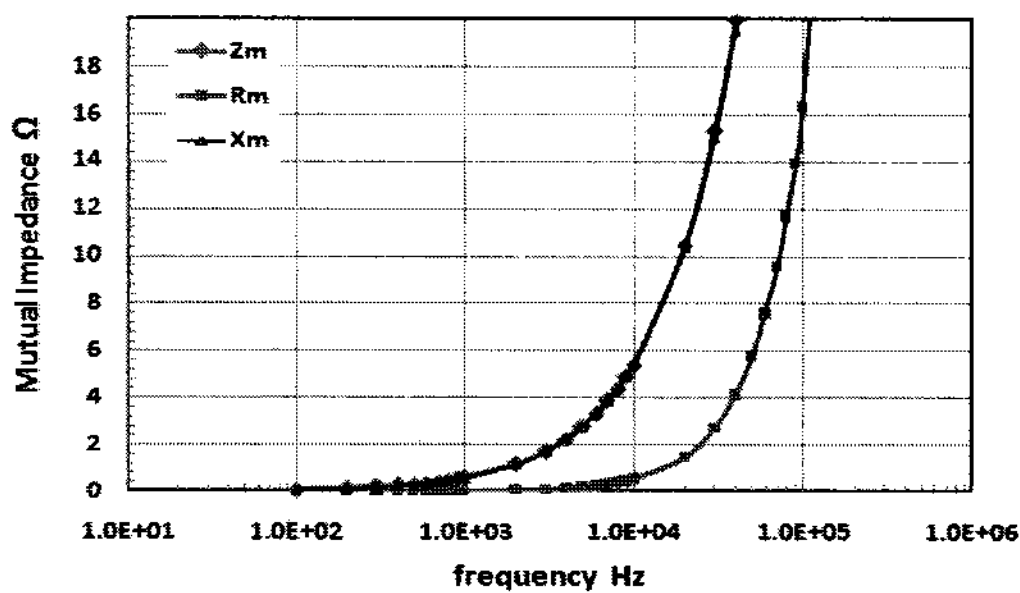
약 10배 증가하는 결과를 얻었다. 90°~180° 영역에서 상호 임피던스의 저항성분과 리액티브성분은 모두 음수값을 갖게 되며 측정시 실제의 접지임피던스가 보다 작게 측정되도록 영향을 미칠 것으로 분석된다.



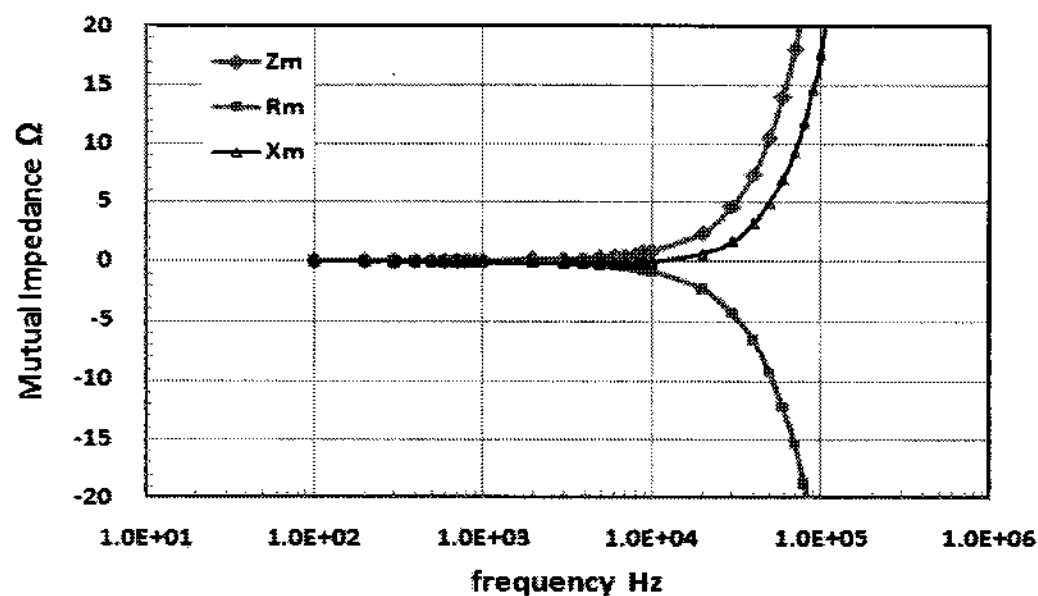
(a) C=100 m, P=62 m, f=1 kHz



(b) C=100 m, P=62 m, f=10 kHz



(c) C=100 m, P=62 m, $\theta=0.1^\circ$



(d) C=100 m, P=100 m, $\theta=180^\circ$

그림 5 각도배치의 상호임피던스(계산값)

Fig. 5 Mutual impedance following both of angled arrangement (calculated value)

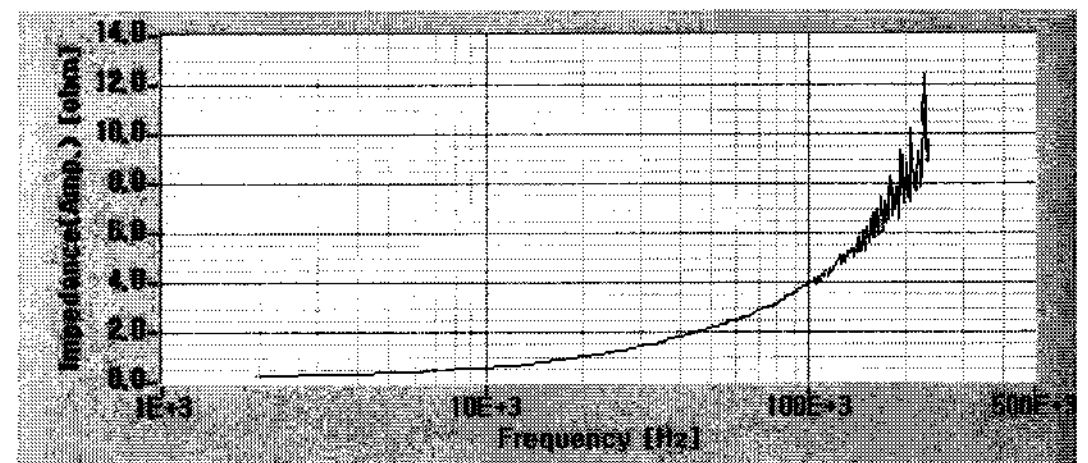
그림 5(c)와 (d)에는 측정선이 이루는 각이 0.1°인 경우와 180°인 경우의 상호임피던스를 주파수에 대한 그래프로 나타내었다. 측정선의 각도가 0.1°인 경우는 C가 100 m, P가

62 m 인 측정선이 거의 중첩되어 포설된 경우이며, 상호 임피던스의 리액티브 성분이 1 kHz의 주파수 근방에서 급격히 증가한다. P의 길이는 두 개의 측정선이 거의 나란하게 포설되는데 일반적으로 접지저항 측정에서 사용하는 61.8% 규칙을 적용한 예라고 할 수 있다. 측정선의 배치각도가 180°인 경우에는 접지저항 측정이론에 의거하여 61.8% 규칙을 적용할 수 없으며, P의 거리를 가급적 멀리하는 것이 측정정확도 향상에 유리하므로 C의 길이와 동일한 100 m를 적용하였다. 주파수에 대한 상호임피던스는 0.1° 각도배치의 경우보다 높은 주파수인 10 kHz를 전후로 급격하게 증가한다.

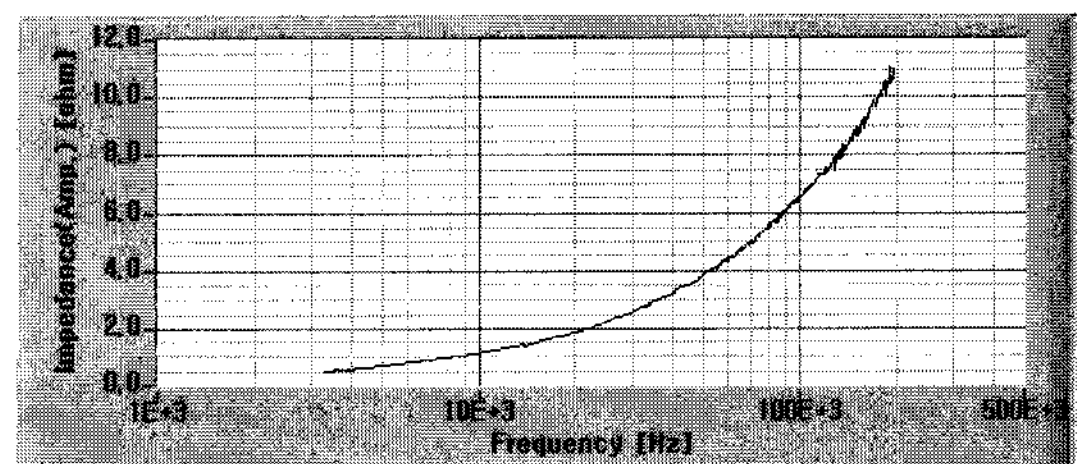
이론적인 분석결과 높은 주파수에서 접지임피던스를 측정할 때 상호임피던스의 크기는 측정에 크게 영향을 미칠 수 있으며, 측정선이 이루는 각도는 90°가 가장 유리하며, 측정선을 90°로 포설하기 어려운 경우에는 가급적 90°~180°의 각도로 배치시키는 것이 측정정확도 향상에 효과적임을 알 수 있다.

2.5 실험에 의한 접지임피던스

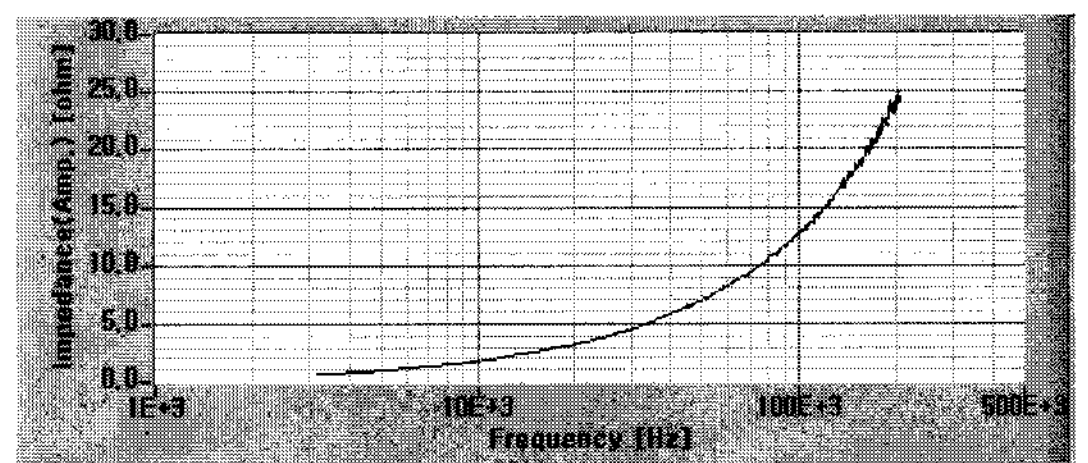
측정선간의 상호유도결합 영향을 실제의 접지전극을 대상으로 분석하기 위해 그림 3과 같이 구성한 실험계에서 접지 임피던스를 평행배치와 각도배치에 따라 측정하여 그림 6과 그림 7에 나타내었다.



(a) 10 m



(b) 50 m



(c) 100 m

그림 6 평행배치의 접지임피던스 (측정값)

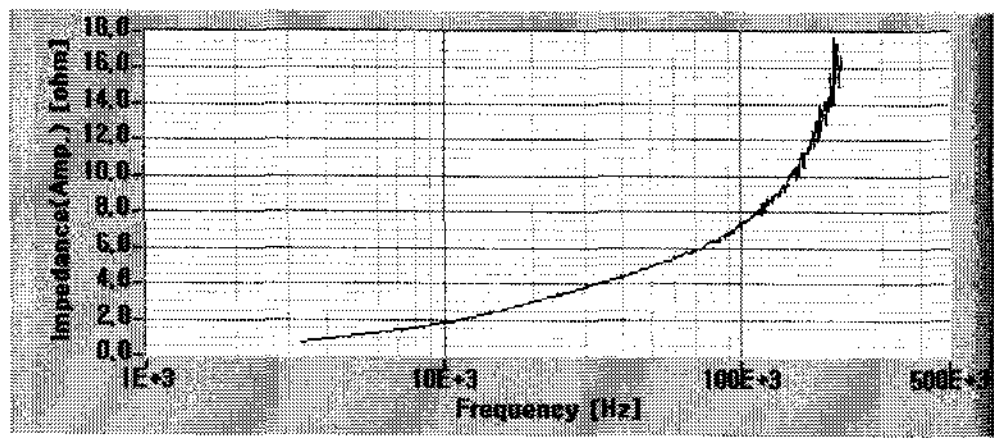
Fig. 6 Ground impedance of parallel arrangement (measured value)

측정장소의 대지저항률은 약 100 Ω·m이며, 두 측정선을 평행하게 포설한 경우 이격거리는 1 m가 되도록 포설하였다. 평행배치에서 접지임피던스를 측정할 때에 측정선의 길이는 중첩되는 P의 길이를 기준으로 하여 각각 10 m, 50 m, 100 m로 구분하였다. 이 때 C의 길이는 각각 16 m, 80 m, 160 m로 전위강하법에서 전위측정용 보조전극의 위치를 결정하는 규칙을 따라 구성하였다.

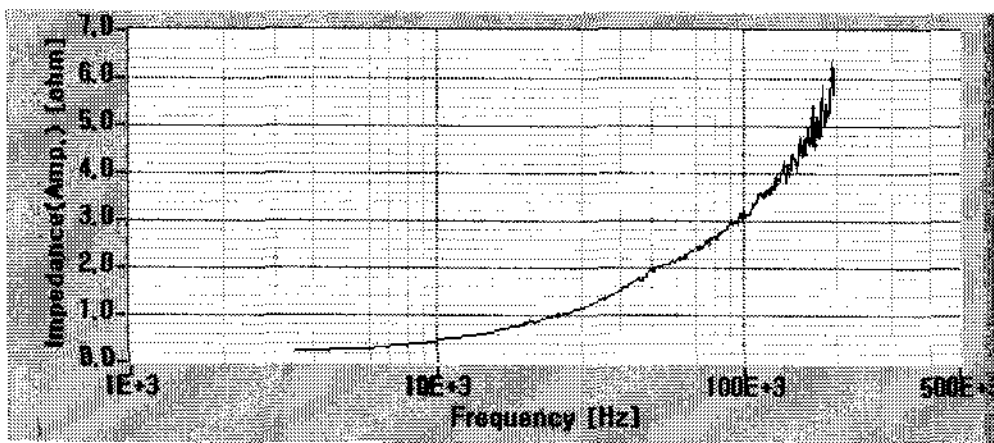
각도배치로 접지임피던스를 측정할 때에 측정선의 길이는 0°일 때 C가 100 m, P가 62 m이며, 90°와 180°의 배치에서는 C와 P 모두 100 m로 측정하였다. 각도배치 0°에서는 측정선의 이격거리는 두지 않고 완전히 중첩된 상태에서 측정하였다.

측정된 접지임피던스는 식 (3)에서 Z_S 에 해당하는 값으로 접지극의 실제 임피던스 Z_G 에 상호임피던스 Z_M 이 포함된 값이다. 실제 접지저항 측정값은 0.3 Ω으로 매우 낮은 값을 가진다.

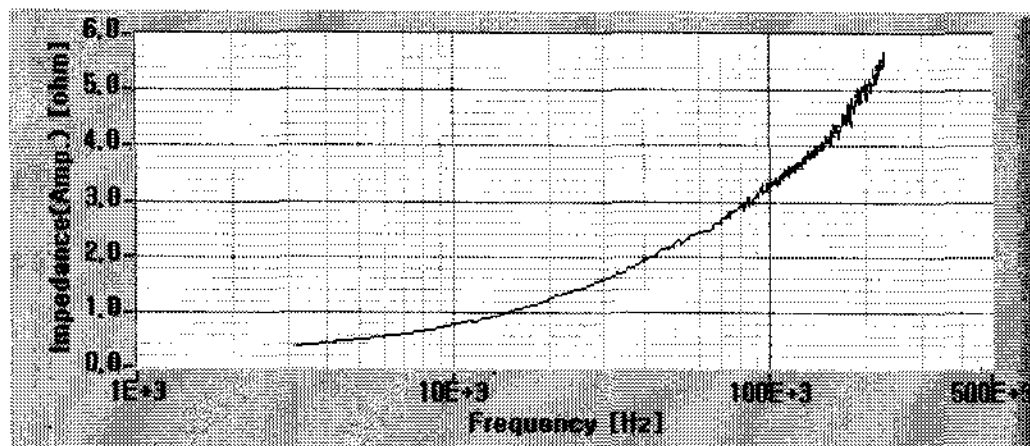
측정선 평행배치에서의 접지임피던스는 측정선의 중첩길이가 길어질수록 증가하는 것을 알 수 있다. 10 m 중첩된 그림 6(a)에서는 접지저항이 매우 작은 값을 가지기 때문에 접지극에 포함된 인덕턴스 성분이 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스를 증가시키는 요소로 작용하고 있음을 알 수 있으며 상호임피던스 영향이 비교적 작게 나타났다. 하지만 그림 6(b)와 (c)에서와 같이 평행으로 배치한 측정선의 길이가 50 m, 100 m로 증가함에 따라 상호임피던스의 영향으로 그림 6(a)에 비해 해당 동일한 주파수에서 측정값이 크게 상승하였다.



(a) 0°



(b) 90°



(c) 180°

그림 7 각도배치의 접지임피던스 (측정값)

Fig. 7 Ground impedance of angled arrangement (measured value)

각도배치의 접지임피던스는 그림 7에 나타난 바와 같이 0°일 때 접지임피던스가 가장 크게 측정되었으며, 90°와 180°일 때는 비슷한 값으로 작게 측정되었다. 계산에 의해 구해진 그림 5(b)에서와 같이 0° 근방의 상호임피던스가 가장 크며, 이후 감소하여 90°에서 0이 되는 특성과는 일치하는 결과를 얻었다. 하지만 그림 5(d)에서와 같이 180° 각도 배치에서 10 kHz 이상의 주파수에서 상호임피던스가 급격히 증가하는 결과와는 달리 90° 각도배치의 측정결과와 유사한 측정결과를 얻었다. 이러한 현상은 이론적 분석과정에서 적용한 수식이 대지면 침투깊이 $d > C$, $d > P$ 의 조건, 즉, 측정선의 길이가 길어질수록 이론적 분석이 유효한 주파수가 낮아진다는 수식분석의 한계로 추정된다.

평행배치에서 상호임피던스와 실제 접지임피던스의 계산값과 측정값을 서로 비교하기 위해서 3 kHz, 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz의 주파수에서 각각의 임피던스를 분석하여 표 1에 나타내었다. 접지극의 실제임피던스 Z_G 는 이론적 분석에서 나타난 바와 같이 상호유도가 0이 되는 조건인 측정선을 90° 각도로 포설하였을 때 측정된 접지임피던스 값을 적용하였다.

표 1 평행배치의 접지임피던스 분석

Table 1 Analysis of ground impedance in parallel arrangement

측정선 m	임피던스 Ω	주파수			
		3 kHz	10 kHz	50 kHz	100 kHz
10 m	Z_S	0.4	0.9	2.3	4.0
	Z_G	0.4	0.8	2.2	3.2
	Z_M	0.0	0.3	0.5	1.2
	Z_M^*	0.1	0.3	1.5	2.8
50 m	Z_S	0.5	1.1	3.9	6.5
	Z_G	0.4	0.8	2.2	3.2
	Z_M	0.3	0.4	1.8	3.5
	Z_M^*	0.7	2.3	10.0	18.7
100 m	Z_S	0.8	1.8	7.0	12.8
	Z_G	0.4	0.8	2.2	3.2
	Z_M	0.5	1.1	5.0	9.8
	Z_M^*	1.6	4.9	21.5	46.0

Z_M : 상호임피던스(측정값), Z_M^* : 상호임피던스(계산값)

상호임피던스 Z_M 은 Z_S 와 Z_G 로부터 저항성분과 리액턴스 성분으로 분리하여 구한 값이며, Z_M^* 는 이론적 분석에 의해 계산된 상호임피던스이다. Z_M 과 Z_M^* 는 평행으로 배치한 측정선의 길이가 증가함에 따라 큰 차이를 나타내게 되는데 이는 주파수와 측정선의 길이가 증가함에 따라서 대지면 침투깊이를 고려할 때 수식을 적용할 수 있는 범위가 한정적이기 때문인 것으로 분석된다. 하지만 측정결과와 계산결과 모두에서 알 수 있듯이 접지저항이 매우 낮은 접지시스템에서 교류 전원을 사용하여 접지임피던스를 측정하는 경우에 상호임피던스의 영향은 상당히 큰 것으로 분석되었다. 더욱이 높은 주파수 영역에서의 측정에서는 반드시 상호임피던스를 줄이는 측정선 배치방법을 적용하여야 하며, 가장 권장

되는 방법은 90° 각도배치이다. 현장의 특성상 90°의 각도배치가 어려운 경우에는 90° 이하의 각도배치 보다는 90°~180°의 각도배치가 상호임피던스의 영향을 줄이는 데 효과적인 것으로 분석된다.

3. 결 론

교류 전원으로 접지임피던스를 측정할 때 접지임피던스의 측정값에 영향을 주는 요소 중의 하나가 측정선간의 상호유도결합이다. 접지임피던스를 측정할 때 가장 많이 사용되는 측정선 평행배치와 각도배치에 대하여 상호임피던스를 이론적으로 계산하고, 동일한 조건에서 접지임피던스를 실측하여 서로 비교하였다. 평행배치에서 측정선의 길이가 길수록 이론적 분석값 및 측정값 모두에서 상호임피던스가 큰 값을 가지며 측정정확도에 영향을 주었다. 측정선의 90° 각도배치는 상호임피던스가 0이 되어 접지극 자체의 임피던스를 정확히 측정할 수 있었으며, 현장의 여건상 90°의 각도배치가 불가능할 경우에는 90°~180°의 각도배치를 활용하는 것이 측정정확도 향상에 효과적임을 확인하였다. 특히 180° 각도배치에서의 측정값은 90°의 각도배치의 대안으로 사용이 가능한 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 기초전력연구원(R-2005-7-143) 주관으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] IEEE Std 81-2-1991, IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems, IEEE Inc., pp.17~21, pp.82~95, 1992.

[2] H. G. Sarmiento, D. Mukhedkar, V. Remachandran, "An Extension to the Study of Earth-Return Mutual Coupling Effects in Ground Impedance Field Measurement", IEEE Trans. on PD, Vol.3, No1, pp.96~101, 1988.

[3] J. Ma, F. P. Dawalibi, "Influence of Inductive Coupling Between Leads in Ground Impedance Measurements Using the Fall-of-Potential Method", IEEE Trans. on PD, Vol. 16, No.4, pp.739~743, 2001.

[4] Eldon J.Rogers, John F. White, "Mutual Coupling between finite lengths parallel or angled horizontal earth return conductors", IEEE Trans. on Power

Delivery, vol.4, No.1, Jan 1989.

[5] A. Deri, G. Tevan, A. Semlyen, A. Castanheira, "The Complex Ground Return Plane a Simplified Model for Homogeneous and Multi-Layer Earth Return", IEEE Trans. on PD, Vol. 100, No.8, pp.3686~3693, 1981.

[6] 이복희, 엄주홍, "가변주파수 인버터를 이용한 접지임피던스의 새로운 측정기법", 대한전기학회 논문지, Vol.53C, No.5, pp.253~257, 2004.

저 자 소 개



엄 주 홍 (嚴 柱 弘)

1972년 9월 5일생.
 1998년 인하대학교 전기공학과 졸업.
 2004년 동대학원 전기공학과 박사졸업.
 2003년~현재 기초전력연구원 책임연구원
 Tel : 02-882-3397
 Fax : 02-883-0827
 E-mail : eommas@snu.ac.kr



조 성 철 (趙 成 哲)

1977년 12월 16일생.
 2003년 인하대학교 전기공학과 졸업.
 2005년 동대학원 전기공학과 석사졸업.
 2005년~현재 기초전력연구원 선임연구원
 Tel : 02-882-3397
 Fax : 02-883-0827
 E-mail : canfeel@snu.ac.kr



이 태 형 (李 泰 炯)

1978년 6월 21일생.
 2004년 인하대학교 전기공학과 졸업.
 2006년 동대학원 전기공학과 석사졸업.
 2006년~현재 기초전력연구원 선임연구원
 Tel : 02-882-3397
 Fax : 02-883-0827
 E-mail : thlee@snu.ac.kr