

# 접지 그리드에서의 보조전극 배치에 따른 접지임피던스 측정 및 분석

길형준<sup>†</sup> · 송길목 · 김영석 · 김종민

전기안전연구원

(2015. 7. 1. 접수 / 2015. 7. 14. 수정 / 2015. 8. 6. 채택)

## Measurement and Analysis of Ground Impedance according to Arrangement of Auxiliary Probe around Ground Grid

Hyoung-Jun Gil<sup>†</sup> · Kil-Mok Shong · Young-Seok Kim · Chong-Min Kim

Electrical Safety Research Institute

(Received July 1, 2015 / Revised July 14, 2015 / Accepted August 6, 2015)

**Abstract :** This paper describes the measurement and analysis of ground impedance according to arrangement of auxiliary probe around ground grid using the fall-of-potential method and the testing techniques to minimize the measuring errors are proposed. The fall-of-potential method involves passing a current between a ground electrode and a current probe, and then measuring the voltage between a ground electrode and a potential probe. To minimize interelectrode influences due to mutual resistances, the current probe is a generally placed at a substantial distance from the ground electrode under test. In order to analyze the effects of ground impedance due to the arrangement of auxiliary probe and frequency, ground impedances were measured in case that the arrangements of auxiliary probe were straight line, perpendicular line, and horizontal line. The distance of current probe was located from 10[m] to 200[m] and the measuring frequency was ranged from 55[Hz] to 513[Hz]. As a consequence, the ground impedance increases with increasing the distance from the ground electrode to the point to be tested, but the ground impedance decreases with increasing the frequency.

**Key Words :** ground impedance, auxiliary probe, ground grid, interelectrode influences

### 1. 서론

지금까지의 접지기술은 감전의 방지와 전기의 안전한 사용을 위한 보안용 접지를 주체로 검토하여 왔지만 고도 정보화 사회의 진전으로 정보·통신설비의 안정된 동작을 확보하기 위한 기능용 접지의 중요성이 부각되었다. 특히 지능형 건축물의 구성요소인 통신·신호·제어설비용 전자장비의 충분한 기능발휘와 안정된 동작의 확보가 필수적인 요소로 대두됨에 따라 시스템화된 접지의 형태가 필요하게 되었다. 지능형 건축물에서는 전파장해와 전자장해의 문제가 심각하게 나타나면서 접지기술의 중요성이 인식되었다. 접지임피던스는 이러한 접지시스템을 평가하는데 중요한 기술적 요소중의 하나이다. 피측정 접지전극과 전류보조전극의 이격거리는 전위강하법을 이용하여 저주파 접지임피던스를 측정할 때 기본이 되는 사항이며, 접지임피던스 측정의 정확도에 많은 영향을 미친

다. 피측정 접지전극과 전류보조전극 사이의 이격거리가 너무 가까운 경우 피측정 접지전극과 전류보조전극의 저항구역이 서로 중첩되어 나타나게 되며 상대적 영전위점에 전위보조전극을 위치시키기가 어렵다. 또한 전위분포의 수평부가 거의 존재하지 않으므로 전위보조전극의 위치가 상대적 영전위점(61.8%)에서 조금만 이동하여도 큰 오차가 나타나게 된다. 반대로 전류보조전극의 이격거리가 너무 멀리 떨어진 경우에는 전류 폐회로를 형성하는 측정리드선의 영향이 나타나게 되며, 경제적으로도 불리하게 된다. 그러므로 전위강하법을 이용하여 접지임피던스를 측정할 때 피측정 접지전극으로부터 적절한 전류보조전극의 이격거리가 필요하다.

또한 접지저항이 낮은 접지시스템의 경우라도 큰 규모로 시설되어 있어 상대적으로 접지시스템의 리액턴스 성분이 증가하는 경우가 많다. 이러한 접지시스템에서 접지전류의 주파수가 증가할 때는 높은 접지전위

<sup>†</sup> Corresponding Author : Hyoung-Jun Gil, Tel : +82-63-716-2841, E-mail : fa523@kesco.or.kr  
Electrical Safety Research Institute, 12, Ogong-ro, Iseo-myeon, Wanju-gun, Jeollabuk-do 12449, Korea

가 발생할 수 있다<sup>1-7)</sup>.

따라서, 본 논문에서는 접지임피던스 측정시 보조전극 배치 및 이격거리, 측정 주파수 등이 피측정 접지전극의 접지임피던스 측정에 미치는 영향을 분석하기 위하여 실측을 통한 실험 연구를 수행하였다. 전위보조전극의 위치 변화에 따른 접지임피던스를 측정하여 보조전극 상호간의 오차를 최소화하기 위한 방안, 적절한 측정 주파수 등을 제안하고자 하며 향후 접지시스템의 안전성 평가기술로 활용하고자 한다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 접지임피던스 측정법들 중 가장 대표적이고 널리 사용되는 전위강하법을 사용하였으며 이를 Fig. 1에 나타내었다. 전위강하법은 접지전극(E)과 전류보조전극(C) 사이에 전류를 통과시켜 접지전극과 전위보조전극(P) 사이의 전압을 측정하는 것이다. 상호 저항으로 인한 전극간 영향을 최소화하기 위해, 전류보조전극을 시험 중인 접지 전극에서 상당한 먼 거리에 위치시키는 것이 일반적이다. 대표적으로, 이 거리는 시험 중인 접지전극 최대 치수의 최소 5배가 된다. 전위보조전극은 일반적으로 전류보조전극과 동일한 방향에 위치하지만, 반대 방향에 놓일 수도 있다. 실제로 전위보조전극의 거리는 전류와 전위보조전극이 동일한 방향일 때 전류보조전극의 61.8% 거리로 선택되도록 IEEE 표준에서 규정하고 있다<sup>8)</sup>.

본 연구에서는 ‘정보통신단체표준 TTA.KO-04.0026/RI’에서 60% 또는 62% 지점에서 측정하여도 상관없다고 기술되어 있으므로 이를 참고하여 60% 지점의 접지임피던스를 기준값으로 하였고, 전류보조전극 및 전위보조전극의 위치를 변화시키며 측정 및 분석하였다<sup>9)</sup>. 실험에 사용한 장비는 CA 6470(Chauvin Arnoux, France)이었으며, 인가전압과 주파수는 각각 32 V, 128 Hz였고, 인가주파수를 55~513 Hz로 변화시키며 측정하였다.

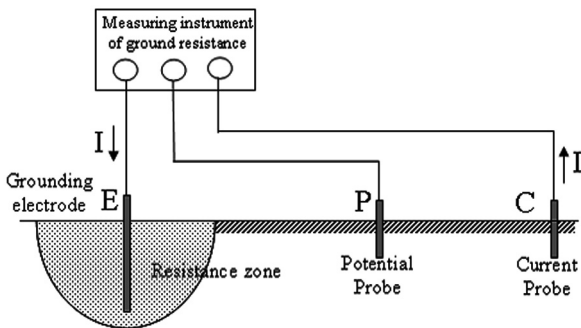


Fig. 1. Fall-of-potential method.

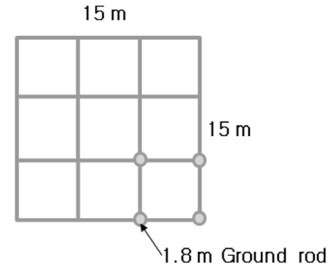


Fig. 2. Schematic diagram of ground grid.

또한 측정방법은 각 경우에 5회씩 측정하여 이의 평균값을 취하였으며 실험장비의 오차는  $\pm 1\%$  이내이었다. 피측정 접지전극은 깊이 0.75 m에 매설된 가로 15 m  $\times$  세로 15 m, 굵기 25 mm<sup>2</sup>의 접지 그리드를 사용하였으며 전극 내부의 4군데에 1.8 m의 접지봉을 연결하였다. 전류보조전극을 피측정 접지전극으로부터 10~200 m 이격시킨 후 전위보조전극의 거리를 변화시키며 접지임피던스를 측정하였고, 전위보조전극과 전류보조전극의 배치를 일직선, 90°, 180°로 하였을 경우 전류보조전극과 전위보조전극의 위치변화에 따른 접지임피던스를 측정하였다. 실험대상인 접지 그리드를 Fig. 2에 나타내었다. 접지 그리드 우측 하단에 1.8 m 접지봉이 4개 설치된 형상이다.

접지임피던스 측정전에 접지전극이 시설된 장소의 대지저항률을 Wenner의 4전극법을 이용하여 측정하였다. 측정용 보조전극간의 이격거리를 60 m까지 변화시키며 측정하였으며 대지저항률은 240~533  $\Omega \cdot m$ 를 나타내었다. 이격거리에 따라 대지저항률이 감소 및 증가하는 양상으로 보아 3층 구조의 대지로 유추 해석된다<sup>10)</sup>.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 보조전극의 일직선 배치

접지전극과 일직선 배치는 Fig. 3에 나타내었다.

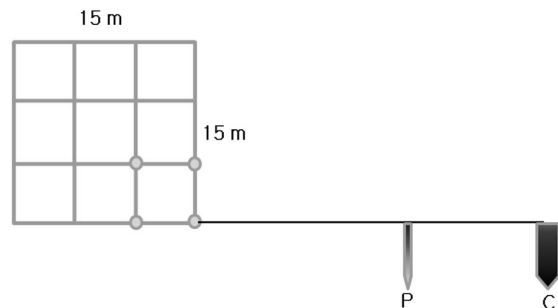


Fig. 3. Arrangement in a straight line.

Fig. 3에 나타낸 바와 같이 접지 그리드의 외부에 일직선으로 전위보조전극과 전류보조전극을 설치한 경우이다.

Fig. 4(a)는 전류보조전극의 거리가 200, 100, 50, 30, 20, 10 m이고 주파수가 128 Hz일 때, 전위보조전극의 위치변화에 따른 접지임피던스의 특성을 나타낸 것이며, Fig. 5(b)는 전위보조전극이 전류보조전극의 60% 지점인 120, 60, 30, 18, 12, 6 m에 위치한 경우 주파수를 55~513 Hz로 변화시키며 접지임피던스를 측정하였다.

측정결과 전류보조전극이 멀리 위치할수록 접지임피던스 곡선의 평탄부분이 넓게 나타났다. 전류보조전극의 이격거리가 작은 10 m, 20 m, 30 m의 경우 평탄부분이 거의 없는 것을 알 수 있었으며, 이와 같이 평탄부분이 나타나지 않을 경우 접지임피던스 측정시 오차를 유발할 수 있다<sup>11-12)</sup>.

또한, Fig. 4(b)와 같이 주파수 변화에 대한 접지임피던스는 주파수 증가에 따라 감소하였으며, 1 kHz 미만의 저주파에서는 측정선간의 유도 커플링에 의한 영향

은 크지 않은 것으로 사료된다.

### 3.2. 보조전극의 90° 배치

Fig. 5는 접지 그리드의 외부에 90°로 전위보조전극과 전류보조전극을 설치한 경우이다.

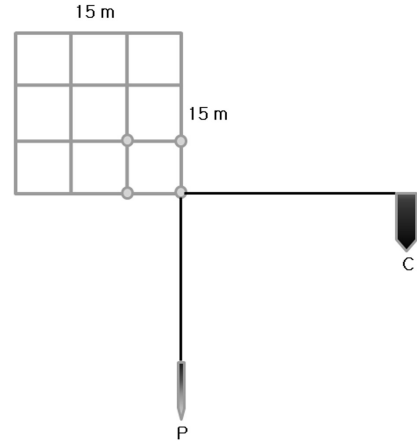
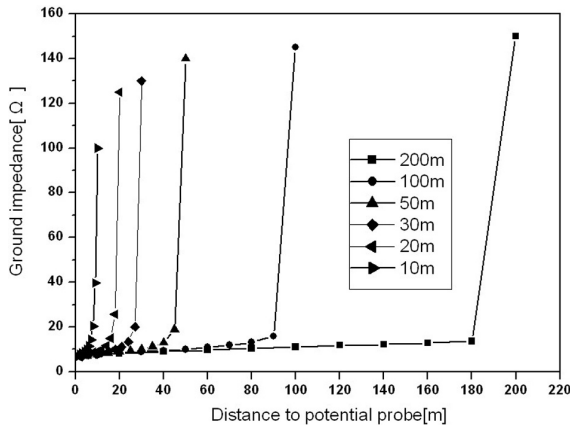
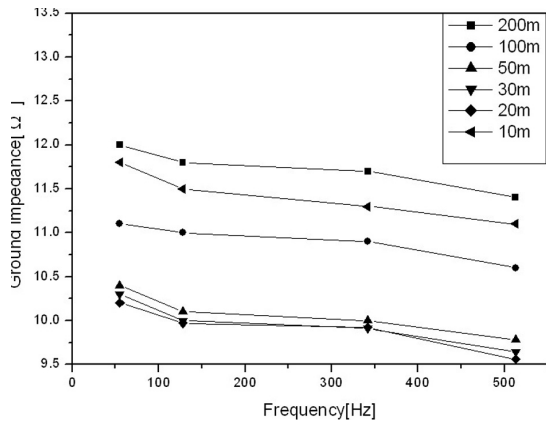


Fig. 5. Arrangement in a perpendicular line.

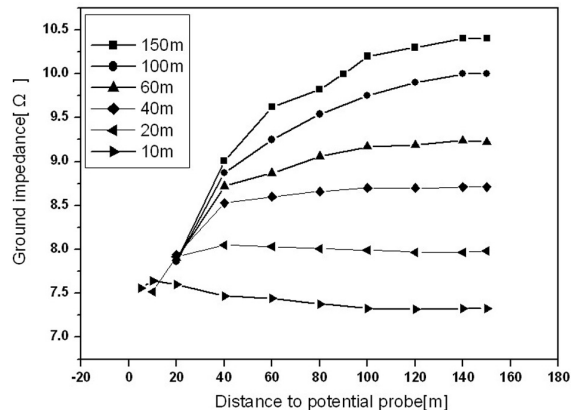


(a) Ground impedance according to position of auxiliary probe.

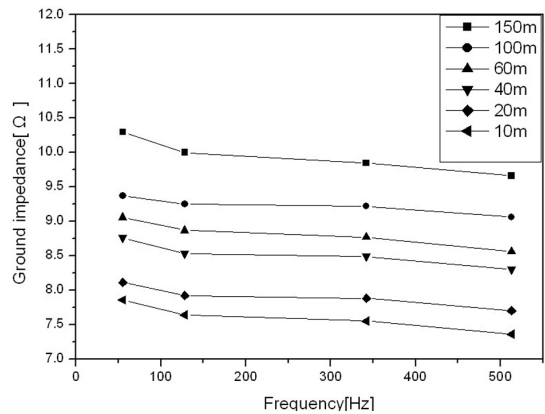


(b) Ground impedance according to frequency.

Fig. 4. Ground impedance according to position of auxiliary probe and frequency(arrangement in a straight line).



(a) Ground impedance according to position of auxiliary probe.



(b) Ground impedance according to frequency.

Fig. 6. Ground impedance according to position of auxiliary probe and frequency(arrangement in a perpendicular line).

본 측정방법은 전류보조전극 및 전위보조전극의 측정 리드선 사이의 유도결합을 방지하기 위한 방법이다.

Fig. 6(a)는 측정선간의 유도 커플링에 의한 영향을 최소화하기 위하여 90°의 각도로 배치한 경우로서, 전류보조전극의 거리가 각각 150, 100, 60, 40, 20, 10 m 이고 주파수가 128 Hz일 때, 전위보조전극의 위치변화에 따른 접지임피던스의 특성을 나타낸 것이다. Fig. 6(b)는 전위보조전극이 각각 90, 60, 60, 40, 20, 10 m에 위치한 경우 주파수를 55~513 Hz로 변화시키며 접지임피던스를 측정하였다.

측정결과 전류보조전극과 전위보조전극이 모두 150 m에 위치한 지점의 접지임피던스는 10.5 Ω이었으며, 이 값을 기준값으로 두었을 때, 전류보조전극이 최소 100 m 이상 위치해야 접지임피던스가 1% 오차 이내로 유지되었다. 또한, Fig. 6(b)와 같이 주파수 변화에 대한 접지임피던스는 주파수 증가에 따라 감소하였다.

보조전극의 일직선 배치와 비교하였을 때, 유사한 접지임피던스 값이 측정된 것으로 볼 수 있으며 이를 통해 저주파 대역에서는 측정선간의 유도결합은 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

### 3.3. 보조전극의 180° 배치

Fig. 7은 접지 그리드의 우측 끝부분에 180°로 전류보조전극과 전위보조전극을 설치한 경우이다.

측정방법은 보조전극이 90° 배치인 경우와 동일하다.

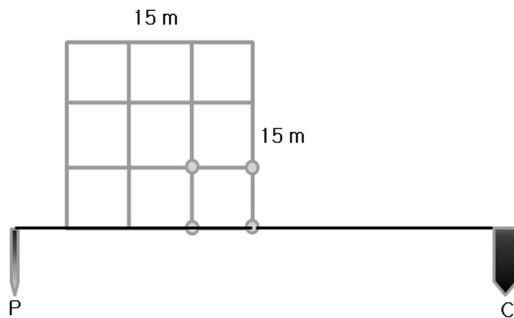
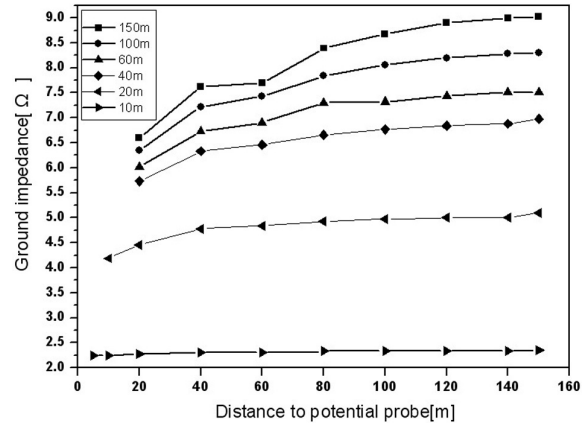
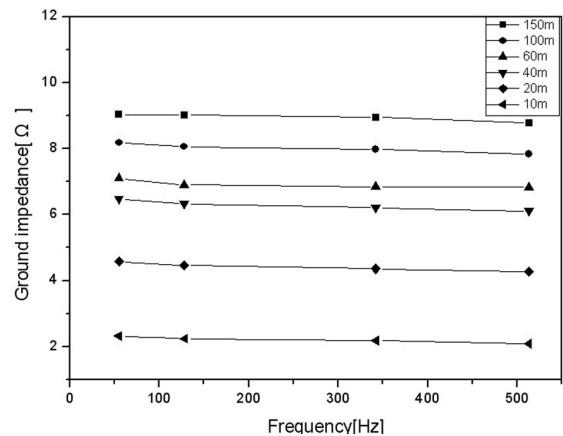


Fig. 7. Arrangement in a horizontal line.

Fig. 8(a)는 측정선간이 180°의 각도로 배치된 경우로서, 전류보조전극의 거리가 각각 150, 100, 60, 40, 20, 10 m이고 주파수가 128 Hz일 때, 전위보조전극의 위치변화에 따른 접지임피던스의 특성을 나타낸 것이며, Fig. 8(b)는 전류보조전극의 거리가 각각 150, 100, 60, 40, 20, 10 m일 때 전류보조전극과 전위보조전극이 동일한 지점에 위치한 경우 주파수를 55~513 Hz로 변화시키며 접지임피던스를 측정하였다.



(a) Ground impedance according to position of auxiliary probe.



(b) Ground impedance according to frequency.

Fig. 8. Ground impedance according to position of auxiliary probe and frequency(arrangement in a horizontal line).

측정결과 전류보조전극과 전위보조전극이 모두 150 m에 위치한 지점의 접지임피던스는 9.02 Ω이었으며, 전류보조전극과 전위보조전극의 거리가 줄어들수록 접지임피던스 값이 작게 측정되었다. 또한, Fig. 8(b)와 같이 주파수 변화에 대한 접지임피던스는 주파수 증가에 따라 감소하였다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이, 전류보조전극이 접지전극으로부터 충분히 이격되어 설치되지 않을 경우 접지임피던스 값이 작게 나와 측정 위치로는 부적합한 것으로 나타났다. IEEE 표준에서는 접지전극 규모의 5배 이상을 전류보조전극의 이격거리로 하도록 하고 있다.

또한 보조전극 사이의 각도가 일직선, 90°, 180°로 둔각으로 될 경우 접지임피던스 값은 점차적으로 감소하는 특성을 나타내었다. 다른 배치와 마찬가지로 주파수가 증가함에 따라 접지임피던스는 감소하였으며, 이를 통해 접지 그리드의 경우 1 kHz 이하의 저주파수 대역에서는 용량성 성분이 나타남을 알 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 접지 그리드의 접지임피던스 측정에 관한 보조전극의 배치 및 주파수에 따른 영향을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

보조전극을 접지전극에 대해 일직선 배치하고 측정하였을 때, 전류보조전극의 이격거리는 100 m 이상으로 하여야 측정값의 오차를 감소시킬 수 있다. 이는 IEEE 표준에서 제안하는 전류보조전극 이격거리 관련 사항에 부합되는 것으로 볼 수 있고, 측정선의 유도결합의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

또한, 보조전극의 배치를 일직선, 90° 및 180°로 하였을 경우 각도가 둔각으로 되면서 더 낮은 접지임피던스 값이 측정되었고, 3가지 경우 모두 측정오차를 감소시키기 위해서는 접지전극 규모에 대해 적합한 보조전극 이격거리가 필요하다. 일직선, 90° 및 180° 배치 등 보조전극의 배치 3가지 경우에서 모두 저주파수 대역에서는 주파수가 증가할수록 접지임피던스는 감소하는 용량성 특성을 나타내었다. 저주파수 대역의 접지임피던스 측정시 전력계통과 통신망 등으로부터 유출되는 직류전류 또는 누설전류와 같이 대지에 흐르는 표류전류로 인한 오차를 피하기 위해 시험전류는 교류전류가 바람직하며, 상용주파수와 이의 고조파가 아닌 주파수가 좋다. 이러한 측정을 위해 50~600 Hz의 주파수인 교류전압을 사용하나, 주파수 변화에 따른 접지임피던스 변화폭이 크면 85~135 Hz의 주파수를 사용하는 것이 바람직하다.

본 연구의 결과는 접지시스템 안전성 평가를 위한 접지임피던스 측정시 현장 활용성이 클 것으로 기대되며, 향후 낙뢰 성분이 포함된 고주파 접지임피던스에 대한 평가방법을 관련 표준 조사, 현장 실험 및 분석 등을 통해 제시할 예정이다.

#### References

- 1) B. H. Lee et al., "The Major Foundational Technics for Grounding Systems", Uije, pp.65-99, 1999.
- 2) H. J. Gil, D. W. Kim, D. O. Kim, K. Y. Lee and H. K. Kim, "Effects of Position of Auxiliary Probe on Ground Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Method", International Journal of Safety, Vol.7, No.2, pp.1-6, 2008.
- 3) IEEE Std 80-2000, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", pp.8-29, 2000.
- 4) IEEE Std 81.2-1991, "IEEE Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems", pp.20-64, 1991.
- 5) C. Wang, T. Takasima, T. Sakuta and Y. Tsubota, "Grounding Resistance Measurement Using Fall-of-Potential Method with Potential Probe Located in Opposite Direction to the Current Probe", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.13, No.4, pp.1128-1135, 1998.
- 6) R. Zeng, J. He and Z. Guan, "Novel Measurement System for Grounding Impedance of Substation", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.21, No.2, pp.719-725, Apr. 2006.
- 7) K. M. Michaels, "Earth Ground Resistance Testing for Low-Voltage Power Systems", IEEE Trans. Industry Applications, Vol.31, No.1, pp.206-213, Jan./Feb. 1995.
- 8) IEEE Std 81-2012, "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System", pp.5-30, 1991.
- 9) Telecommunications Technology Association Standard, "Technical Standard for the Measurements of Grounding Resistance", Telecommunications Technology Association, pp.14-50, 2011.
- 10) H. J. Gil and D. W. Kim, "Characteristics for Ground Impedance of Counterpoise according to Position of Auxiliary Probe and Frequency", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.27, No.4, pp.33-37, 2012.
- 11) H. J. Gil and D. W. Kim, "Relative Error Analysis for Measuring Value of Ground Resistance according to Position Variation of Potential Probe", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.23, No.2, pp.96-102, 2009.
- 12) H. J. Gil, D. W. Kim and H. K. Kim, "Research on New Idea Measuring Method of Ground Resistance using Tolerance Band", Proceedings of Spring Conference of the Korean Society of Safety, pp.16, 2011.