

콘크리트에 매입된 기초접지극의 크기 및 설치방법에 관한 고찰

(A Consideration of Volume and Installation Method of Concrete-Embedded Foundation Earthed an Electrode)

이주철* · 이영철 · 김재철**

(Ju-Cheol Lee · Young-Chul Lee · Jae-Chul Kim)

Abstract

IEC standards do not require to limit the earthing resistance of the concrete-embedded foundation earthing electrode which is installed to a specific value. However, in Korea the value of 5Ω and below applies to the earthing resistance for a domestic customer whose receiving voltage is 22.9kV. This paper calculates the minimum area and volume of the concrete-embedded foundation earthing electrode in order to obtain a specific value of the earthing resistance when the electrode of the building's lightning protection system and that of its power system are interconnected. It also suggested the most appropriate method of installing the foundation earthing electrode, taking the electric characteristics of concrete into account.

Key Words : Lightning Protection System, Concrete-Embedded Foundation Earth Electrode, Foundation Earth Electrode

1. 서 론

피뢰시스템에서 접지극은 위험한 과전압을 최소화하고 뇌전류를 대지로 신속히 방류시키는 것으로 접지극의 형상과 크기가 중요한 요소이며, 일반적으로

낮은 접지저항이 권장되고 있다. 피뢰의 관점에서 구조체를 사용한 통합 단일의 접지극이 바람직하며, 이는 피뢰, 전력시스템 및 통신시스템의 접지목적에도 적합하다. 접지극은 피뢰시스템의 금속제설비, 내부시스템 및 구조물에 접속된 외부도전부와 선로를 상호 접속하여 등전위화 하여야 한다. 기초접지극이란 건축물 기초 아래의 토양에 매설되거나, 가급적 건축물 기초의 콘크리트에 매입된 도전부로 일반적으로 페루프를 형성하는 것을 말한다[1].

기초접지극은 건축물이 밀집된 도심지에서 전위간섭의 영향을 받지 않도록 새롭게 접지극을 매설하는 것이 어렵고, 최근에 배관이 주로 금속제에서 합성수지제로 시설되는 상황을 고려할 때 경제적으로 우수

* 주저자 : 대한전기협회 기술기준처 실장
** 교신저자 : 숭실대학교 전기공학부 교수
* Main author : Korea Electric Association
Technical Regulation D. General Manager
** Corresponding author : Soosil Univ. School of
Electrical engineering Prof.
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
접수일자 : 2013년 5월 2일
1차심사 : 2013년 5월 4일
심사완료 : 2013년 5월 22일

한 성능의 접지를 얻을 수 있는 접지극으로, 강철 보강재로 이루어진 철구조물은 일반적으로 전력, 통신 및 전자설비의 우수한 기준전위를 제공한다. 기초접지극은 콘크리트 안에 매설되어 기계적인 파손에 의한 손상과 부식성 토양, 물, 공기 중의 산소에 의한 부식의 영향으로부터 전극을 보호할 수 있다는 이점이 있다.

IEC 표준에서 콘크리트에 매입된 기초접지극의 접지저항에 대하여 특정의 값 이하가 되도록 요구하고 있지는 않으나, 국내에서는 수전 전압이 22.9kV인 자가용 수용가의 제2종 접지저항 값을 5Ω이하로 적용하고 있다. 본고에서는 IEC 표준을 국내에 적용하기에 명확하지 못한 부분에 대하여 국내의 문헌 및 현장조사를 통해 건축물 피뢰시스템의 접지극과 전력시스템의 접지극을 상호 접속할 때 기초접지극의 크기를 산정하고, 콘크리트 매입 접지극의 최적 설치방법을 정립하고자 한다.

2. 본 론

2.1 피뢰시스템 접지극의 종류

피뢰시스템에서 접지극은 각 인하도선에 접속된 보호대상 구조물의 바깥쪽에 설치한 수평 또는 수직접지극인 A형 접지극과, 보호대상 구조물의 바깥쪽에 전체 길이의 80% 이상이 지중에 설치된 환상도체 또는 기초접지극으로 이루어진 B형 접지극으로 분류되며, 접지극으로 사용할 수 있는 다른 하나의 방법은 콘크리트기초 내부의 상호접속된 철근이나 그 밖의 적당한 금속제 지하 구조물을 자연적 구성부재의 접지극으로 사용할 수 있다. A형 접지극은 2개 이상 설치하여야 한다. 자연적 구성부재의 접지극은 콘크리트 내부의 철근을 접지극으로 사용하는 경우 콘크리트의 기계적 파열을 방지하기 위해 상호접속에 특별히 주의해야 하며, 장기적으로 접지저항이 증가할 수 있다는 것을 고려하여야 한다[1].

2.2 기초접지극 면적의 평균반지름

기초접지극에 의해 둘러싸인 면적의 평균반지름 r_e

는 접지극의 최소길이 l_1 이상이어야 한다. 여기서 피뢰시스템의 보호등급 I ~ IV에 대한 각 접지극의 최소길이 l_1 은 그림 1과 같다. 필요한 접지극 최소길이의 값 l_1 이 규약반지름 값 r_e 보다 클 때는 다음의 식 (1)과 식 (2)로 주어진 길이 l_r 인 수평접지극 또는 길이 l_v 인 수직접지극을 추가로 시설해야 한다. 추가로 시설하는 접지극의 수는 최소 2 이상이어야 하며, 인하도선의 수보다 많아야 한다. 추가접지극은 가능한 많이 같은 간격으로 인하도선이 접속되는 점에서 환상 접지극에 접속한다[1].

$$l_r = l_1 - r_e \tag{1}$$

$$l_v = \frac{l_1 - r_e}{2} \tag{2}$$

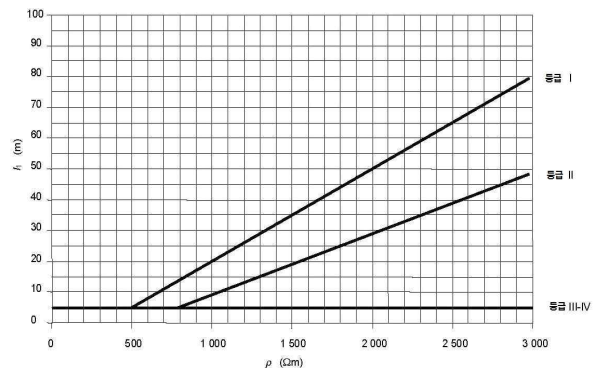


그림 1. LPS 등급별 각 접지극의 최소길이 l_1
 Fig. 1. Minimum length l_1 of each earth electrode according to the class of LPS

각 인하도선의 하단에서부터 측정된 각 접지극의 최소길이(l_1)는 수평접지극은 l_1 , 수평접지극은 $0.5l_1$ 이며, 수직접지극과 수평접지극을 조합했을 경우에는 전체길이를 고려해야 한다.

2.3 콘크리트매입 기초접지극의 설치

기초와 지하 벽의 보강강철을 기초접지극으로 사용할 수 있으며, 콘크리트에 매입되는 기초접지극은

모든 면에서 최소 50mm의 깊이로 매입되어야 한다. 이때 기초접지극의 철근은 메시 크기 10×10m 이내로 허용된 방법으로 접속하며, 전기적 연속성을 양호하게 하기 위해서는 메시 도체를 별도로 설치하여 최대 20m 마다 용접 또는 휼쇠로 접속한다. 접지극 재료의 최소치수는 구리 50mm², 용융아연도금강대 90mm²(두께 3mm, 30×3mm²)[2], 원형 스테인레스강봉 78mm², 스테인레스강대 10mm²이다. 지중의 접지극은 콘크리트 내의 강철과 접속되는 경우 부식을 방지하기 위하여 구리나 스테인레스강을 사용한다. 또한 기초접지극은 방수층 아래 철근콘크리트 기저부 안에 설치되어야 하며, 기초를 접지극으로 사용하는 것은 철근이 단열재 등의 절연재나 방수층 밑에 위치한 콘크리트 단면 내에 있는 것만 허용된다. 기초 접지극을 활용하는 대부분의 경우 모든 인입설비가 서로 접속되어 있다면, 기초접지의 접지저항을 별도로 측정하는 것이 불가능하므로, 구조물과 가깝게 구조물 둘레에 약 100m 간격으로 기준접지극을 설치하여 기준접지극의 접지저항을 측정하므로써 접지시스템의 환경변화를 감시한다[1, 3]. 기초에 사용되는 콘크리트는 단위부피(m³)당 240kg 이상의 시멘트로 만들어야 한다[4]. 독일의 콘크리트 매입 기초접지극 접속부품과 설치 예를 나타내면 그림 2와 같다.

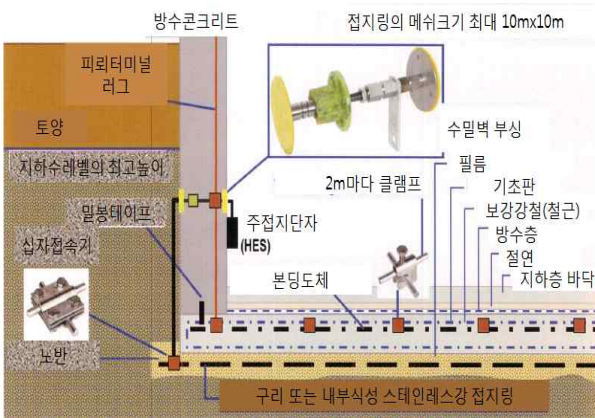


그림 2. 기초접지극 접속부품과 설치 예(독일)
Fig. 2. An example of arrangement of the foundation earth electrode and connection part(Germany)

2.4 NEC에 따른 콘크리트매입 접지극의 설치

NEC(National Electrical Code)에 의하면 콘크리트 매입 접지극은 콘크리트의 기초 안의 일부분으로서 수평으로 최소길이 6m인 금속요소를 최소 50mm의 깊이로 매입되어야 한다. 접지극의 재료는 구리 4AWG(21mm²)이상 또는 하나 이상의 나도체, 봉 또는 그 밖의 전기적 전도성 재료로 코팅된 지름 13mm의 막대나 봉을 사용하며, 하나의 연속적인 길이가 6m 이상이거나, 6m 이상이 되도록 발열 용접 등 효과적인 방법으로 서로 접속되어야 한다. 콘크리트 매입 접지극은 절연재나 방수필름 등의 아래에서 대지에 직접 접촉하여야 하며, 설치 예를 나타내면 그림 3과 같다[5]. 콘크리트 매입접지극의 설치는 건축물을 신축할 경우에만 사용할 수 있다[6]. 이 방법은 모든 건축물을 충족하지 않으며, 콘크리트 보강용 강철 대신에 구리의 사용을 권장한다[7].

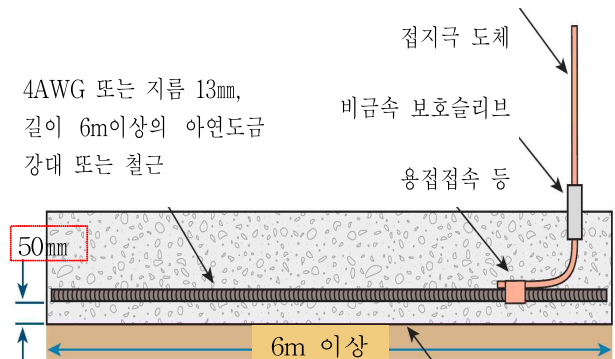


그림 3. 접지극의 통합에 요구되는 콘크리트 매입 접지극의 설치 예
Fig. 3. An example of a concrete-encased electrode that is required to be incorporated into the grounding electrode system

2.5 국내 기초접지극의 설치

건축물의 용도와 특성에 따라 다르지만 국내에서 일반적으로 시공되는 매트기초에서의 기초접지극의 설치 예를 나타내면 그림 4와 같다.

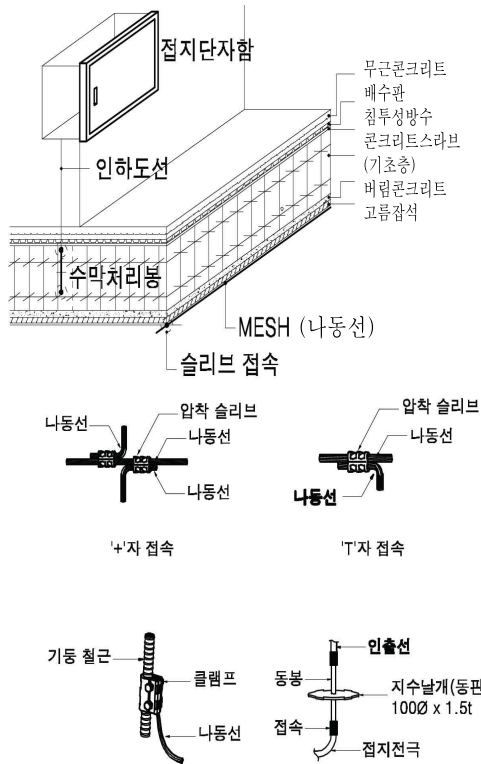


그림 4. 기초접지극 접속부품과 설치 예
 Fig. 4. An example of arrangement of the foundation earth electrode and connection part

2.6 기초접지극의 접지저항

IEC의 피뢰시스템 관련 표준에서 접지저항에 대하여 특정의 값으로 억제하는 것을 요구하고 있으나, 저주파수에서 10Ω 이하의 낮은 값을 권장하고 있으며, 대지전위상승을 최소화하기 위한 양호한 접지시스템의 접지저항은 대형 변전소는 1Ω 이하, 이와 유사한 장소는 현장조건에 따라 1~5Ω이 통상적인 값이다[8]. 한편 국내 22.9kV 자가용 수용가의 전력시스템 접지극의 제2종 접지저항 값은 5Ω 이하[9]를 적용하고 있다.

2.7 콘크리트의 전기저항률

콘크리트의 전기저항률은 시멘트, 모래, 자갈의 배합비, 흡수율, 수질, 주위 환경조건, 온도와 습도의 계

절적 변동 등 여러 가지 요인에 따라 변화한다. 콘크리트 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률의 관계를 나타내면 표 1과 같다[10].

표 1. 콘크리트 배합비와 흡수율에 대한 전기저항률
 Table 1. The electrical resistivity about the concrete mixing ratio and the absorption percent

콘크리트 배합비 (시멘트:모래:자갈)	흡수율 %	전기저항률 Ωm
1 : 3 : 6	4.9	80.0
1 : 2 : 4	6.2	51.6
1 : 3 : 0	13.9	47.2
1 : 2 : 0	16.1	37.9

콘크리트는 지질학적으로 역암과 비슷하나 역암과 다른 점은 전기적 전도성이 일정한 상태가 되지 않고 시간이 지남에 따라 콘크리트의 수산화가 발생하는 화학적 과정의 결과로 변한다. 초기에 굳지 않은 콘크리트는 젖어 있을 뿐만 아니라 틈새에 물이 포함되어 2~5Ωm 정도의 매우 낮은 저항률을 가진다. 콘크리트가 굳어지게 되면 저항률이 증가하게 된다. 일반적으로 5년이 지나게 되면 500Ωm 까지 도달하고, 10년이 지나면 1,000Ωm를 넘을 수 있고, 매우 오래된 콘크리트는 단단한 암석과 비슷한 저항률을 가진다[2].

콘크리트의 대지저항률은 IEC에서 200Ω 이상[1]이지만, 다른 문헌에서는 전형적인 값은 100Ωm, 통상적인 범위의 값은 40~5000Ωm[11]이다. 또한, 흡습상태에서의 저항률은 30~90Ωm이며, 토양과 암석에 대한 평균저항률은 표 2와 같다[8].

표 2. 대지저항률의 범위
 Table 2. Range of earth resistivity

대지의 종류	평균 저항률 Ωm
젖은 유기질 토양	10
습윤 토양	102
건조 토양	103
기반암	104

콘크리트에 매입된 기초접지극의 크기 및 설치방법에 관한 고찰

계절에 따른 저항률의 변화는 온도와 토양의 함수량에 따라 변화의 폭이 달라지며, 일반적으로 계절별 저항률의 변화추이는 그림 5와 같이 매설 깊이가 깊을수록 변동 폭이 작아진다[12].

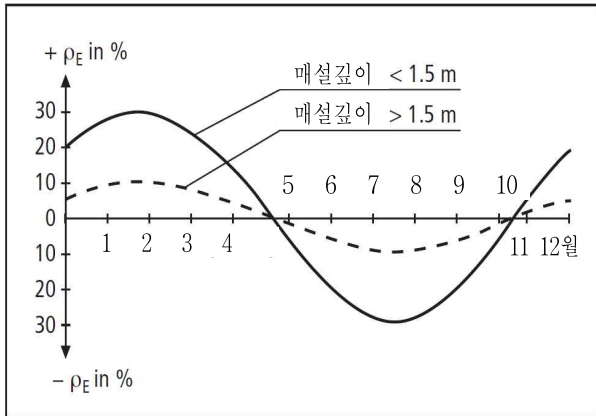


그림 5. 강우 영향이 없는 계절 함수로서의 대지저항률
Fig. 5. Specific earth resistance ρ_E as a function of the seasons without influencing of rainfall

따라서 콘크리트의 대지저항률은 시멘트, 모래, 자갈의 배합비, 흡수율, 수질, 주위 환경조건, 온도와 습도의 계절적 변동 등과 평균 대지저항률을 고려할 때 지중에 매설된 콘크리트의 대지저항률은 매우 낮을 수 있으나, 접지저항을 추정하기 위해 사용하는 통상적인 값으로 습윤 토양의 평균 저항률인 $100\Omega m$ 를 적용하는 것이 실용상 적정할 것으로 판단된다.

2.8 기초접지극의 최소 면적 및 부피 산정

그림 1에서 대지고유저항이 $500\Omega m$ 이하일 경우 피뢰등급에 관계없이 콘크리트에 매설된 기초접지극으로 둘러싸인 면적의 반지름 r_e 값은 5m 이상이다. 토양에 매설된 콘크리트의 대지고유저항은 $100\Omega m$ 를 적용하여 r_e 값은 5m 이상이어야 하며, 기초접지극의 면적은 최소 $78m^2$ 이상을 필요로 한다.

콘크리트에 매입된 기초접지극은 지하구조를 반구형 접지극으로 간주하여 접지저항의 근사 값을 식 (3)

과 같이 계산할 수 있으며, 이때 R_A 는 접지저항, ρ_E 는 대지고유저항, V 는 부피이다[13].

$$R_A = 0.2 \frac{\rho_E}{\sqrt[3]{V}} \Omega \quad (3)$$

식 (3)에 따라 지중의 콘크리트에 매입된 기초접지극의 대지고유저항 값을 $100\Omega m$ 로 하여 22.9kV인 자가용 수용가에서 5Ω 이하의 접지저항 값을 얻기 위한 콘크리트매입 기초접지극의 최소 부피를 계산한 결과 개략적인 값은 표 3과 같다.

표 3. 접지저항 값에 따른 기초접지극의 최소부피
Table 3. The minimum volume of the foundation earth electrode resistance.

접지저항 Ω	1	2	3	4	5
최소부피 m^3	4,500	1,000	300	130	120

기초접지극의 개략적인 접지저항을 구하기 위한 다른 방법으로 임의 형상의 형상계수 K 를 이용하여 식 (4)와 같이 계산할 수 있다. 이때 K 는 건물 지하부의 크기에 따라 그림 6에 의해 결정한다. L 은 지하부의 긴 변의 길이로 가로 a , 세로 b , 깊이 c 라 할 때, 그 중 대표적 치수(긴 쪽)를 선택한다[14].

$$R_A = \frac{K \cdot \rho}{L} \Omega \quad (4)$$

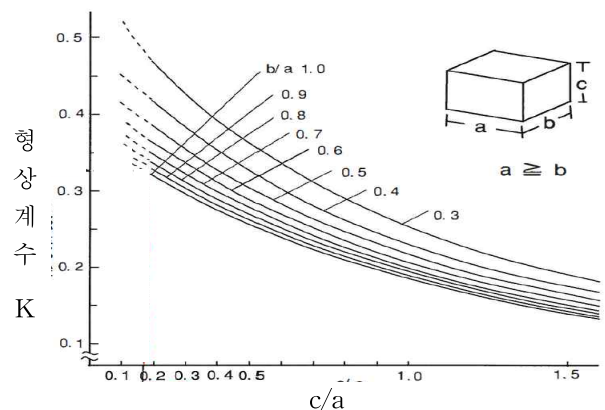


그림 6. 형상계수 K
Fig. 6. Shape factor K

2.9 기초접지극의 최적 설치방안

콘크리트는 순수 시멘트일 경우 저항률이 낮으나, 배합비에 따라 전기저항률이 달라지며, 시간이 지남에 따라 접지저항이 증가할 수 있다. 자갈의 비율은 높고 저항률은 낮은 콘크리트 혼합물의 구성은 기계적 및 지리전기적인 요건이 상충된다. 또한 피뢰시스템용 접지극으로 사용할 때 매우 큰 뇌전류에 의해 급격한 접촉전압의 상승과 기계적인 손상이 관찰된 적이 있다. 이러한 이유로 단독 콘크리트매입 기초접지극은 피뢰를 위한 적절한 접지극으로 볼 수 없으며, 특별히 설계에 의해 보완되어야 한다. 가장 좋은 해결책은 콘크리트매입 기초접지극에 수직접지봉을 추가하여 구조물 보강용 강철에 용접하는 방법이다. 이 방법은 낙뢰 전류의 양호한 전도를 보장하며, 수직접지극은 기초접지극의 효율성을 향상시킬 수 있다[2].

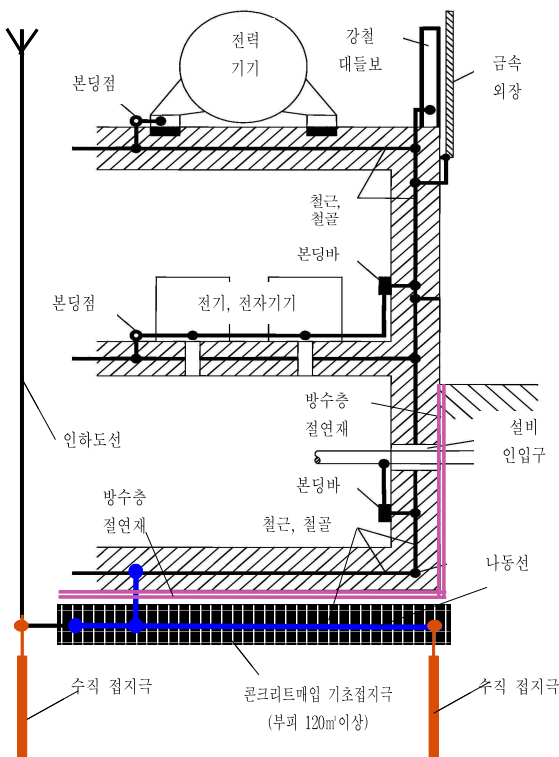


그림 7. 기초접지극에 추가된 수직접지극과 구조물 강철보강재의 등전위본딩
 Fig. 7. Added rod and Equipotential bonding in a structure with a steel reinforcement

피뢰시스템용 접지극으로서의 기초접지극은 구조물 주위의 지중에 환상접지극의 설치 또는 방수층 등 절연재의 아래 지중에 콘크리트 매입 기초접지극을 설치하고 그림 7과 같이 뇌방전 및 전기적 결합으로 인한 감전의 위험을 최소화하기 위해 등전위본딩을 하여야 한다.

3. 결 론

본 연구에서는 IEC 표준의 피뢰시스템용 콘크리트 매입 기초접지극을 국내 22.9kV 수용가에 설치할 때 불명확한 부분에 대해 현장조사와 외국의 문헌들을 조사 및 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 접지저항 값을 추정하기 위한 지중 콘크리트의 대지저항률은 100Ωm이다.
- 2) 국내 22.9kV 수용가에 적용하는 제2종 접지저항 값인 5Ω을 얻으려고 할 때의 콘크리트 매입 기초접지극에 필요한 최소 면적은 78m² 이상이면서 부피는 120m³ 이상이다.
- 3) 콘크리트 매입 기초접지극은 방수필름 및 단열재의 아래 지중에 설치하고, 수직접지봉을 추가로 설치하며, 건축물의 보강용 강철과 규정된 접속방법으로 등전위본딩을 하는 것이 바람직하다.

향후 국내에서 시공되고 있는 다양한 건축물의 기초를 양질의 기초접지극으로 활용하고 피뢰시스템과 전력시스템의 접지시스템을 상호 접속하여 등전위화하기 위한 기초접지극의 설계, 재료 및 시공방법에 관하여 국내 실정에 적합한 보다 상세한 기준의 설정에 관한 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구는 국토해양부 R&D정책인프라 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

[1] IEC 62305-3, Protection against lightning-Part 3 : Physical damage to structures and life hazard, 2010
 [2] IET, Lightning protection, 2010.

- [3] BSI, Protection against lightning A UK guide to the practical application of BS EN 62305:2006, 2007.
- [4] IEC 60364-5-54, Low-voltage electrical installations - Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment - Earthing arrangements and protective conductors, 2011.
- [5] NAPA, National Electrical Code handbook, 2011.
- [6] NAPA, NFPA 780 Standard for the Installation of Lightning Protection Systems, 2011.
- [7] IEEE Std 142 IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, 2007.
- [8] IEEE Std 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 2000.
- [9] Ministry of Trade, Industry&Energy, Conformity Criteria of Electro-Technical Regulations No.1. Electrical Installations, 2013.
- [10] Lee Bok-Hee, Lee Seung-Chil, Uijae, Grounded in the core basic technologies, 1999.
- [11] IEEE, Grounds for grounding A Circuit-to-System Handbook, 2010.
- [12] DEHN + SOHNE, Lightning Protection Guide, 2012.
- [13] VDE, Safety of Electrical Installations up to 1000 Volts, 1990.
- [14] Corporation Japan Lightning Protection System Industrial Association, The standard design of the lightning protection system, 2009.

◇ 저자소개 ◇



이주철 (李柱喆)

1960년 6월 4일생. 1994년 서울과학기술대 졸업. 2010년 서울시립대 전자전기공학과 졸업(석사). 1988~2001년 한국전기안전공사 근무. 2001년~현재 대한전기협회 기술기준처 실장.



이영철 (李永哲)

1952년 6월 11일생. 1972년 조선이공대. 1993년 광주대 전기공학과. 1996년 전남대 전기공학과 졸업(석사). 1979~2011년 한국전기안전공사 전기안전교육원 원장 근무. 건축전기설비기술사. 전기안전기술사. 2011년 10월~현재 대한전기협회 기술기준처 연구위원.



김재철 (金載哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 본 학회 감사. 1988년~현재 숭실대학교 전기공학과 교수.