

높이 20미터 미만인 구조물의 낙뢰리스크 평가

(Lightning Risk Assessment for Structures Lower than 20m High)

이주철* · 김기현 · 이영철

(Ju-Chul Lee · Gi-Hyun Kim · Young-Chul Lee)

Abstract

Korean Industrial Standards for lightning protection system complies with IEC standards. However, the standards are applicable only to buildings and structures more than 20 meters in high. Therefore, it is necessary to determine whether lightning protection system should be installed on structures lower than 20 meters high. This paper proposes an efficient method of assessing risk against lightning of structures lower than 20 meters high. The method suggests simplified lightning protection system and provides selecting an appropriate protection level. The suggested method assumes that structure under assessment has no lightning protection system and there is no person around the structure at the moment of lightning stroke. A simplified method of assessing the risk to human within the structure is developed by adopting the general assessment factor. The selection of a protection level is possible by comparing tolerable risk with physical damage risk caused by a direct lightning. Finally, this paper gives ways to establish surge protection measures when a structure with lightning risk is within a radius of 2km from the assessed structure even if this structure requires no lightning protection system.

Key Words : Lightning Risk Assessment, Structures Lower than 20m High, Simplified Assessment

1. 서 론

낙뢰는 인명이나 구조물 또는 공작물의 손상 및 구조물 내부에 설치된 전기전자기기 등 과전압에 취약

* 주(교신)저자 : 대한전기협회 기술기준처
* Main(Corresponding) author : Korea Electric Association, Technical Regulation Study Department
Tel : 02-3393-7665, Fax : 02-3393-7689
E-mail : ljc@electricity.or.kr
접수일자 : 2012년 7월 11일
1차심사 : 2012년 7월 13일
심사완료 : 2012년 8월 17일

한 기기를 손상시키는 원인이 되고 있다. 우리나라는 낙뢰위험이 있는 건축물이나 높이 20m 이상의 건축물과 공작물에는 피뢰설비를 국제표준과 부합화한 한국산업표준에 적합하게 시설하도록 의무화 하고 있다 [1]. 그러므로 높이 20m미만 구조물에 대해서도 피뢰설비가 필요한지 여부를 평가할 필요가 있다.

낙뢰리스크평가에 관한 국제표준은 보다 진전된 표준으로 여러 차례 개정되어 오고 있으며, 체계적이고 평가계수가 많아 구조물의 외부뿐만 아니라 내부 전기전자시스템에 관한 위험성까지 보다 정확하게 평가

가 가능하지만 이를 적용하기 위해서는 평가대상 구조물에 관한 상세한 입력정보를 필요로 하는 것 등 쉽게 접근하기 어려워서 일반적으로 중요도가 낮거나 비교적 소규모인 높이 20m미만 구조물의 낙뢰리스크 평가방법으로는 비효율적이다.

따라서 20m미만의 구조물에 대해 국제표준에 근거하여 현장에서 보다 쉽고 간단하게 낙뢰리스크를 평가하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 문

2.1 낙뢰리스크관리의 개념

낙뢰는 자연현상으로 언제, 어디서, 어느 정도의 위력으로, 어떻게 발생할지 미리 예측하는 것이 어려우므로 낙뢰로 인한 피해도 확실적인 현상으로 접근할 필요가 있다. 낙뢰리스크관리는 낙뢰위험요소의 식별, 특징 및 취약성 분석과 리스크에 대한 평가를 통해 낙뢰위험을 관리할 수 있는 경감대책 등 최적의 방안을 결정하는 것으로써 다음 그림 1과 같이 크게는 3단계로 구분할 수 있다.

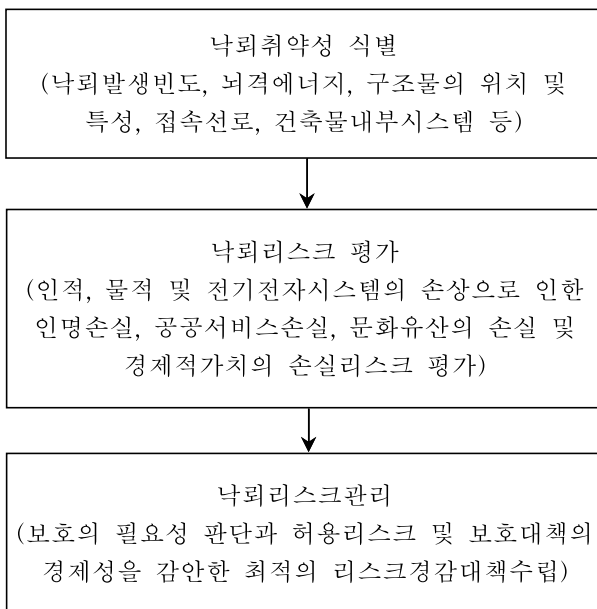


그림 1. 낙뢰리스크관리
Fig. 1. Lightning risk management

2.2 IEC 표준의 낙뢰리스크평가

낙뢰리스크관리방법에 관한 국제표준으로는 IEC 62305-2(2010) 표준[2]이 있으며, 국내에서는 이 표준을 한국산업표준과 부합화한 KS C IEC 62305-2(2007) 표준[3]으로 도입하여 건축법 등의 관련 법령에서 인용하고 있다. 이 논문에서는 최근 IEC 62305-2(2010) 표준을 기준으로 서술한다.

IEC 62305-2(이하 이 절에서 “IEC”)에서는 구조물, 인입선 및 배관설비 등 낙뢰로부터 보호하기 위한 대상물의 리스크를 수치화하여 산출하는 방법을 제시하고, 그 결과에 따라서 보호의 필요성을 판단하며, 필요하다고 판단된 경우에는 채택할 수 있는 대책을 선정할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 구조물에 영향을 미치는 뇌격은 구조물 뇌격, 구조물 근처 뇌격, 구조물에 접속된 선로(전력선, 통신선, 배관) 뇌격 및 구조물에 접속된 선로 근처 뇌격으로 구분된다. 구조물에 가해진 뇌격은 구조물 자체나 그 거주자 또는 내부설비인 전기전자시스템의 고장을 포함한 내용물에 손상을 일으킨다. 그 피해나 고장들은 구조물 주변으로 확산되고 국소적인 환경에도 영향을 미친다. 이러한 피해 확산의 정도는 구조물과 뇌방전 특성에 따라 다르다. IEC는 이를 손상(damage)이라고 하고 손상의 결과 각종 손실(loss)이 발생하며, 구조물에서 발생할 수 있는 손실은 인명의 손실(L1), 공공서비스의 손실(L2), 문화유산의 손실(L3) 및 경제적 가치의 손실(L4)의 4가지로 분류하고 있다.

IEC에서는 리스크를 “보호대상 구조물의 전체 가치(사람 또는 설비)와 관련하여 뇌방전으로 인해 야기될 수 있는 연간 평균손실 값”(사람 또는 설비)으로 정의하고 있으며, 이러한 리스크를 산정할 때 리스크에 영향을 미치는 요인은 ① 건축물 및 접속선로에 영향을 미치는 연간 위험한 뇌격의 횟수, ② 건축물에 뇌격이 손상을 일으킬 확률, ③ 위험한 사건 1건에 대한 손상의 특정한 형태의 평균 상대적 손실 량의 세 가지이다. 뇌격 수는 구조물과 접속선로의 크기와 특성, 그 지역의 대지낙뢰밀도, 또는 구조물 접속선로의 환경 특성에 의존하며, 손상확률은 구조물과 접속선로의 크기와 특성, 채택된 보호대책의 종류와 효율, 그리고 뇌전류

의 특성에 의존한다. 또한 평균 상대적 손실량은 뇌격에 의한 손상의 확대와 영향에 의존한다. 위의 요인은 더 많은 변수에 의존하고 있으며, 보호대상물의 변수를 확인하고 해당 값을 산정식에 대입하면 위험값을 산출할 수 있다.

2.3. 간이 낙뢰리스크평가방법의 제안

2.3.1 제안하는 간이 평가방법

R_A 는 구조물 뇌격에 의한 인축의 상해리스크 요소이고, R_B 는 구조물 뇌격에 의한 구조물의 물리적 손상리스크요소이다. 허용리스크가 R_T 일 때 $R_A + R_B < R_T$ 인 경우 외부피뢰설비는 불필요하며, 이때에는 서지보호장치를 설치하는 것으로 충분하다[2]. 그러므로 이에 따른 간이 평가방법을 다음과 같이 제안한다.

(1) 구조물의 위험한 뇌격의 횡수(N_d) 계산

구조물에 발생할 수 있는 위험한 뇌격의 횡수 N_d 는 식 (1)로 평가된다.

$$N_d = N_g \times A_e \times C_d \times 10^{-6} \quad (1)$$

여기서 N_g 는 대지낙뢰밀도(회/년·km²), A_e 는 구조물의 수뢰면적(m²)으로 식 (1a)로 계산되며, C_d 는 구조물의 위치계수이다.

$$A_e = LW + 6H(L + W) + \pi 9H^2 \text{ m}^2 \quad (1a)$$

(L : 구조물 길이, W : 구조물 너비, H : 구조물 높이)

(2) R_A 의 계산

구조물 뇌격에 의한 인축의 상해리스크 요소 R_A 는 식 (2)로 평가된다.

$$R_A = N_d \times P_A \times L_A \quad (2)$$

$$P_A = P_{TA} \times P_B \quad (2a)$$

$$L_A = r_t \times L_T \times n_z / n_t \times t_z / 8760 \quad (2b)$$

$$L_A = r_t \times L_T \quad (2c)$$

여기서 r_t : 토양표면 유형에 따른 감소계수
 L_T : 감전에 의한 상해로 인한 손실

구조물 뇌격이 위험한 접촉 및 보폭전압으로 인해 인축에 감전을 유발시킬 확률 P_{TA} 는 보호대책이 없는 경우의 계수는 10⁻¹이며, 물리적 손상을 줄이기 위한 보호대책에 따른 확률 P_B 는 외부피뢰설비에 의해 보호되지 않는 구조물인 경우에 계수는 1이므로 낙뢰보호대책이 없는 경우의 구조물 직격뢰에 의한 인축의 감전 상해 확률 P_A 는 10⁻¹이다. 식 (2c)는 구조물 구역 내의 사람 수 n_z , 구조물 내 사람의 총수 n_t 및 사람이 구역 내에 거주하는 연간 시간이 불확실하거나 알 수 없을 때의 L_T 에 관한 구조물 유형에 따른 일반적인 평균값으로 사용할 수 있는 식이다[2]. 이 경우 식 (2)는 식 (3)으로 바꿔 쓸 수 있다.

$$R_A = N_d \times P_A \times L_A = N_d \times P_A \times r_t \times L_T \quad (3)$$

구조물 직격뢰에 의한 인축의 감전 상해로 인한 손실 L_A 는 뇌격순간에 구조물 외벽으로부터 3m까지의 거리 안에 사람이 없다고 가정하면 그 값은 0이므로 이때의 R_A 값은 0이다. 이때에는 평가대상 구조물의 내부의 리스크에 대해서만 평가한다.

(3) R_B 의 계산

구조물 뇌격에 의한 구조물의 물리적 손상리스크 R_B 는 식 (4)로 평가되며, 구조물 뇌격에 의한 물리적 손상에 관련된 구조물의 손실(L_B)은 식 (4a)와 같다.

$$R_B = N_d \times P_B \times L_B \quad (4)$$

여기서 P_B 는 구조물 뇌격에 의한 물리적손상의 확률로서 피뢰레벨의 함수

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \times n_z / n_t \times t_z / 8760 \quad (4a)$$

높이 20미터 미만인 구조물의 낙뢰리스크 평가

$$L_B = L_V = r_p \times r_f \times h_z \times L_F \quad (4b)$$

- 여기서 r_p : 방화설비에 의한 손실의 감소계수
 r_f : 화재위험에 의존하는 손실을 저감하는 계수
 h_z : 특별한 위험이 있을 때 손실증가계수
 L_F : 물리적 손상에 의한 구조물의 손실

물리적 손상에 관련된 구조물의 손실리스크(구조물 너적에 의한) L_B 는 식 (4b)와 같이 쓸 수 있다. 식 (4b)는 구조물 구역 내의 사람 수 n_z , 구조물 내 사람의 층 수 n_t 및 사람이 구역 내에 거주하는 연간 시간이 불확실하거나 알 수 없을 때의 L_F 에 관한 구조물의 유형에 따른 일반적인 평균값으로 사용할 수 있는 식이다 [2]. 식 (4b)를 식 (4)에 대입하면 R_B 는 식 (5)와 같다.

$$R_B = N_d \times P_B \times r_p \times r_f \times h_z \times L_F \quad (5)$$

(4) 보호의 필요성 결정

- $R_A + R_B > R_T$ 이면 외부피뢰설비를 설치하여야 하며, 인명이나 물리적인 손상뿐만 아니라 내부 전기전자시스템을 뇌서지로부터 보호하기 위한 대책을 수립한다.
- $R_A + R_B < R_T$ 이면 외부피뢰설비가 필요하지 않지만, 그 지역의 반경 2km 이내에 낙뢰위험 구조물이 존재하고, 대지낙뢰밀도와 연간평균뇌발생일수가 일정 수준 이상이면 KS C IEC 62305-2에 따라 서지보호장치를 설치한다.
- 상기 “a)와 b)”에서 뇌적순간에 구조물 외벽으로부터 3m까지의 거리 안에 사람이 없다고 가정하면 R_A 값은 0이다. 이러한 경우에 R_B 와 R_T 만으로 보호의 필요성을 판단할 수 있다.

(5) 피뢰레벨의 결정

피뢰설비의 피뢰레벨은 보호효율(E)에 따라 결정되므로 허용낙뢰빈도가 N_c 일 때 식 (6)에 따라 계산한다 [4].

$$E = 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (6)$$

IEC 62305-2(2010)에서는 보호효율로 보호레벨을 결정하는 식이 명시되어 있지 않으므로 R_A 값을 0으로 가정하고, 식 (6)을 식 (7)로 치환하여 리스크에 관한 보호효율 공식으로 제안하며, 이 식의 결과로 IEC 61024-1-2[4]에 따른 보호효율로 피뢰레벨을 결정하도록 제안한다.

$$E = 1 - \frac{R_T}{R_B} \quad (7)$$

또한 우리나라 낙뢰피해현황에서 외부피뢰설비가 설치된 건물에서도 많은 피해가 발생한 사례가 나타났으므로[5], 외부피뢰설비와 전기전자시스템에 대한 보호대책을 동시에 고려할 경우와 전기전자시스템에 대한 보호대책만을 고려할 경우를 생각할 수 있다. 즉 구조물 직접 뇌적으로부터 보호하기 위한 외부피뢰설

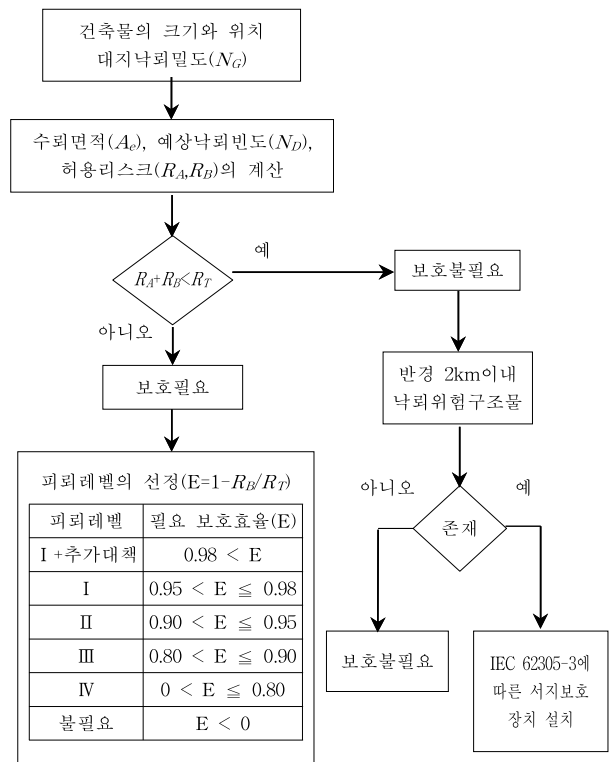


그림 2. 보호필요성의 결정과 보호대책 선정절차
 Fig. 2. Simplified procedure for deciding the need of protection and for selecting protection measures

비는 필요 없을지라도, 뇌우일수 25일(대지낙뢰밀도 0.83 이상)[6,7]인 지역에서 반경 2km 이내[8]에 낙뢰에 취약한 구조물이 있고, 그 구조물과 전력선, 통신선 및 데이터 선로가 연결된 경우에는 구조물 내부의 전기전자시스템에 대해 뇌서지로 인한 보호대책이 필요하다. 이때에는 서지보호장치를 설치하는 것으로 충분하다.

그러므로 높이 20m미만인 구조물에서 외부피뢰설비의 필요성과 SPD설치여부를 판단하기 위해 간략화한 간이 리스크평가절차를 그림 2와 같이 제안한다.

2.3.2 Case Study

제안하는 간이 리스크평가 방법의 유효성을 확인하기 위해 낙뢰리스크 평가사례를 비교분석하였다.

(1) Case Study : 시골의 단독주택

표 1. 리스크평가 결과 : 시골의 단독주택
Table 1. Results of risk assessment : Country house

평가단계	평가내용 및 결과	
	제안방법	IEC
①수뢰면적의 계산	$A_e = LW + 6H(L + H) + \pi 9H^2 = 2,580\text{m}^2$	
②뇌격확률의 계산	$N_d = (N_g)(A_e)(C_d) = 1.03 \times 10^{-2}\text{회/년}$	
③허용리스크 (R_B) 계산	$R_B = N_d \times P_B \times r_p \times r_f \times h_z \times L_F = 0.103 \times 10^{-5}$ (R_1 과 관련된 요소)	
④피뢰설비의 필요여부	$1.03 \times 10^{-6} < 10^{-5}$ => 불필요	필요
⑤피뢰레벨의 결정	반경 2km이내 낙뢰위험 구조물존재여부 검토	-피뢰레벨IV SPD설치 or -IV등급 피뢰설비 설치

IEC 62305-2[2]의 부속서 E에 제시된 연구사례로서 평가대상 구조물은 높이가 6m이고 크기는 15m×20m인 시골의 단독주택으로서 지붕이 비금속 재료로 구성된 목재건물이며, 주변은 구조물이 없는 평지에 독

립구조물이고, 이 지역에서의 대지낙뢰밀도는 4.0회/km²·년이다. 비교분석 결과는 표 1과 같다.

비교결과 제안하는 방법은 피뢰설비가 불필요하나, IEC표준의 사례연구는 서지보호장치를 설치하거나 IV등급 피뢰설비 중에 선택하여 설치할 수 있는 것으로 나타났다. 이것은 제안하는 방법이 피뢰설비가 불필요하게 평가되었더라도 뇌우일수가 25일 이상인 지역에서 반경 2km이내에 낙뢰위험 구조물이 있는 경우에 구조물 내의 전기전자시스템을 보호하기 위해서 서지보호대책을 수립하도록 한 결과와 일치한다고 볼 수 있다.

(2) Case Study : 병원

IEC 62305-2[2]의 부속서 E에 제시된 연구사례로서 평가대상 구조물은 높이가 10m이고, 크기는 50m×150m인 교외의 병원으로서 지붕이 비금속 재료로 구성된 목재건물이며, 주변은 구조물이 없는 평지에 독립구조물이고, 이 지역에서의 대지낙뢰밀도는 4.0회/km²·년이다. 비교분석 결과는 표 2와 같다. 비교결과 제안하는 방법과 IEC 표준의 사례분석 모두 건축물에 I 등급 피뢰설비를 설치해야 한다는 동일한 결과가 나타났다.

표 2. 리스크평가 결과 : 병원
Table 2. Results of risk assessment : Hospital

평가단계	평가내용 및 결과	
	제안방법	IEC
①수뢰면적의 계산	$A_e = LW + 6H(L + H) + \pi 9H^2 = 2.23 \times 10^4\text{m}^2$	
②뇌격확률의 계산	$N_d = (N_g)(A_e)(C_d) = 8.93 \times 10^{-2}\text{회/년}$	
③허용리스크 (R_B) 계산	$R_B = N_d \times P_B \times r_p \times r_f \times h_z \times L_F = 42.6 \times 10^{-5}$ (R_1 과 관련된 요소)	
④피뢰설비의 필요여부	$10^{-5} < 4.26 \times 10^{-4}$ => 필요	필요
⑤피뢰레벨의 결정	$E = 1 - \frac{R_T}{R_B} = 0.976$ => I 등급 피뢰설비의 설치	I 등급 피뢰설비의 설치

(3) Case Study : 사무실이 있는 물류창고

BS EN 62305의 UK Guide[9]에 제시된 평가사례로써 평가대상 구조물은 콘크리트 기둥, 블록 및 벽돌 벽과 평평한 지붕이며, 높이가 16m이고 크기가 100m×20m인 사무실이 있는 물류창고로서 동일한 높이 이하의 건축물로 둘러싸여 있고, 이 지역에서의 대지낙뢰밀도는 1.0회/km²·년이다. 비교결과 표 3과 같이 제안하는 방법과 IEC표준의 사례분석 모두 건축물에 I등급 피뢰설비를 설치해야 한다는 동일한 결과가 나타났다.

표 3. 리스크평가 결과 : 물류창고
Table 3. Results of risk assessment : Warehouse

평가단계	평가내용 및 결과	
	제안방법	UK Guide
① 수리면적의 계산	$A_c = LW + 6H(L + H) + \pi 9H^2 = 20,758\text{m}^2$	
② 뇌격확률의 계산	$N_d = (N_g)(A_c)(C_d) = 1.0379 \times 10^{-2}\text{회/년}$	
③ 허용리스크(R_B) 계산	$R_B = N_d \times P_B \times r_p \times r_f \times h_z \times L_F$ $= 4.3592 \times 10^{-5}$ (R_1 과 관련된 요소)	
④ 피뢰설비의 필요여부	$10^{-5} < 4.3592 \times 10^{-5} \Rightarrow$ 필요	필요
⑤ 피뢰레벨의 결정	$E = 1 - \frac{R_T}{R_B} = 0.77 \Rightarrow$ IV등급 피뢰설비의 설치	IV등급 피뢰설비의 설치

피뢰설비가 필요한지 여부에 대한 기준을 국제표준에 근거하여 보다 간편하게 평가하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 평가대상 구조물에 보호대책이 없고, 뇌격순간에 구조물 외벽으로부터 3m 이내의 거리 안에 사람이 없는 것으로 가정하였으며, 구조물 내부의 사람의 상해에 대해서는 일반적인 평가계수를 사용하여 평가방법을 간략화 시켰다. 또한 허용리스크(R_T)와 직격뢰로 인한 물리적인 손상리스크(R_B)를 비교하여 피뢰설비의 필요여부를 판단하고 피뢰레벨을 선정할 수 있는 공식을 제시하였다. 우리나라 낙뢰피해현황에서 외부피뢰설비가 설치된 건물에서도 많은 피해가 발생한 사례가 나타난 점을 고려하여 외부피뢰설비가 필요 없는 것으로 평가되었더라도 뇌우일수가 25일(대지낙뢰밀도 0.83 이상)인 지역에서 평가대상 구조물의 반경 2km이내에 낙뢰위험 구조물이 존재하는 경우에는 서지보호대책을 수립하도록 하였으며, 사례분석을 통해 제안하는 평가방법의 유효성을 확인하였다. 이 방법은 현장에서 간편하게 피뢰설비의 필요성을 판단하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

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

(4) Case Study 비교분석 결과

3종류의 평가대상 구조물에 대해 낙뢰리스크를 평가하여 국제표준의 Case Study와 비교한 결과, 평가결과가 일치하고 있어 제안하는 간이 리스크 평가방법이 피뢰설비의 설치여부를 판단하는 것과 피뢰레벨의 선정에 유효성이 있는 것으로 확인되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 높이 20m미만 구조물에 대해서

References

- [1] The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Regulations on The Equipment Standards, Etc. of Buildings, 2012.
- [2] IEC 62305-2, Protection against lightning-Part 2 : Risk management, 2010.
- [3] KATS(Korean Agency for Technology and Standards), "KS C IEC 62305-2 Protection against lightning-Part 2 : Risk management", 2007.
- [4] IEC 61024-1-2 ed 1.0 , "Protection of structures against lightning - Part 1-2: General principles - Guide B - Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems", 1998.
- [5] NEMA(National Emergency Management Agency), "Study for Establishing Criteria and Preparing Measures to Help Mitigate Lightning Damage", 2009.
- [6] Jung-Wook Woo · Joo-Sik Kwak · Kyo-Sun Koo ·

Kyung-Tak Kim · Dong-Jin Kweon, "Analysis on the Lightning Characteristics using KLDNet in KOREA", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.9, pp. 117~123, 2009.

- [7] KS C IEC 60364-4-44, "Electrical installations of buildings - Part 4-44 : Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances", 2005.
- [8] Hasse, P. (Peter), "Overvoltage protection of low-voltage systems", The Institution of Engineering and Technology, 2008.
- [9] British Standards Institution, 2007. "Protection against lightning A UK guide to the practical application of BS EN 62305".

◇ 저자소개 ◇



이주철 (李柱喆)

1960년 6월 4일생. 1993년 서울과학기술대 졸업. 2012년 서울시립대 전자전기공학과 졸업(석사). 1988~2001년 한국전기안전공사 근무. 2001년~현재 대한전기협회 실장.



김기현 (金基鉉)

1971년 5월 1일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 졸업(석사). 2007년 동 대학원 졸업(박사). 2003~2011년 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원 근무. 전기안전기술사. 2011년 11월~현재 대한전기협회

기술기준처 부장.



이영철 (李永哲)

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

기술기준처 연구위원.