

## 특수 구조물의 낙뢰 위험도와 검증 방안에 관한 연구

유정현, 김희식\*  
서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부

### A Study on the Risk of Lightning in Special Structures and its Verification Method

Jeong Hyun Yoo, Hei Sik Kim\*  
Dept. of ECE, University of Seoul

요 약 특수구조물 중에서 특히 높은 독립적 구조물은 낙뢰에 의한 뇌격을 받을 가능성이 높다. 특수 구조물은 대체적으로 국가 산업시설물에 속하므로 낙뢰로 인한 피해는 사회적 경제적 손실이 막대하다. 이러한 낙뢰 피해 방지를 위해 낙뢰 보호 시설을 설치하였으나 2015년도에 서해 대교의 지지케이블에 낙뢰로 인한 화재가 발생하여 많은 경제적 손실을 초래하였다. 이에 낙뢰 보호 시스템의 설계는 구조물에 낙뢰 위험을 분석 한 후 보호 조치를 수립해야한다. 뇌격에 대한 위험도 평가에 대한 국제적 규격은 국제전기기술위원회(IEC) 규격이 전 세계적인 규격의 근간을 이루고 있으며, 특히 해외 국가규격이나 기준은 IEC 기준으로 낙뢰 위험도 평가를 실시하여 낙뢰 보호대책시 적용하고 있다. 국내에서도 KS C IEC 62305 규격을 적용하여 위험성평가와 피뢰보강을 위한 기초자료로 활용하고, 낙뢰 보호 시스템을 설계한다. KSC IEC 측정방법으로 국내 특수교 리스크 평가에 대한 결과로는 물리적 손상 및 전자계시스템 위험 특수교는 평가대상 전차 교량 77개 교량 중 7개 교량에서 허용위험도가 높은 것으로 보고되었다. 본 논문에서는 높고 독립적 구조물의 위치에 따라 낙뢰 수에 대한 실제 정보 수집 시스템을 운영하는 모델링 시스템을 제안하기 위해 실제적인 낙뢰 정보를 분석하고 기상 관측소에서 제공 한 낙뢰 수와 높은 구조물에 직접 도달하는 위험한 낙뢰 수를 비교하여 검증하는 방법을 검토하였으며, 지상에 직접적으로 도달한 낙뢰수에 따른 낙뢰위험도 산출시 확률적 보정률을 모니터링하여 적용함으로써 실효적인 낙뢰위험도 평가를 할 수 있도록 제안하고자 한다.

**Abstract** Free-standing structures that are especially high are more likely to receive brain attacks caused by lightning. Since special structures are generally part of national industrial structures, lightning strikes mostly cause socio-economic damage. Lightning protection facilities are installed to prevent such lightning damage, but in 2015, support cables on West Sea bridges were hit by lightning, causing a lot of economic damage. Accordingly, the design of a lightning protection system shall establish protective measures after analyzing the risk of debris falling onto the structure. In this thesis, lightning strikes are analyzed directly in relation to the modeling system that operates the actual information collection system for lightning strikes, depending on the location of the tall, free-standing structures, and practical lightning hazard information is provided by a meteorological station. In addition, we propose monitoring and applying a probability correction rate to the calculation of the lightning risk based on the number of lightning strikes directly reaching the ground in order to obtain an effective lightning risk assessment.

**Keywords :** Lightning Mornitoring System, Lightning Protection Measures, Lightning - Rrisk Management, Lightning System Standard, IEC Standard Lightning Factor Risk Factor

---

\*Corresponding Author : Hei-Sik Kim(University of Seoul.)

Tel: +82-2-6490-2322 email: drhskim@uos.ac.kr

Received May 3, 2018

Revised May 30, 2018

Accepted June 1, 2018

Published June 30, 2018

## 1. 서론

특수 구조물의 종류로는 기간 산업분야의 플랜트, 전력산업의 철탑, 스택, 정보통신분야의 기지국, 특수교량의 주탑 등 다양한 분야의 독립 구조물이 있다. 일반 도심은 주로 높은 건축물이나 빌딩, 아파트 등으로 뇌격이 유입된다. 또한, 야산이나 평지에서는 독립건축물 또는 구조물에 뇌격이 유입된다. 일반건축물에 반해 특수구조물은 독립구조물인 경우가 많으며, 높은 구조물이므로 주변 평지에 뇌격이 떨어지는 확률이 낮은 구조물 보다 훨씬 높다.

독립구조물의 위험도는 한국산업표준인 KSC IEC 62305-2;리스크관리에서는 일반 구조물(건축물)의 위험 평가에 대해 적용하고 있으며[1], 특수구조물에 대한 특별한 규정은 없다. 독립된 구조물에 대해서 위험성 평가 시 구조물의 위치계수(Cd=1)값을 적용한다. 이는 독립된 구조물에 대한 위치계수 값을 주지만, 독립된 구조물 이면서 높은 구조물에 대한 계수값에 대한 고려는 특별히 적용되고 있지 않다. 여러 연구논문에서는 높은 구조물의 낙뢰 밀도 적용시 산출된 값의 2배를 해야 된다는 논문이 발표되고 있다[2]. 본 논문에서는 이러한 높은 독립구조물에 대한 직접적인 뇌격의 위험도에 대한 검증방안을 제시하고자 한다.

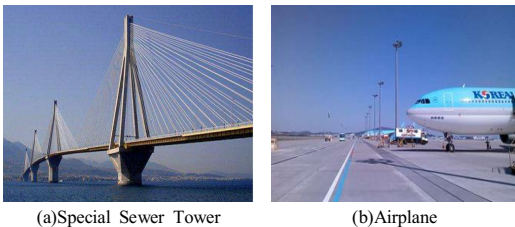


Fig. 1. Special Independent Structures

## 2. 낙뢰 위험도 평가

### 2.1 국제 규격 고찰

뇌격에 대한 위험도 평가에 대한 국제적 규격은 국제 전기기술위원회(IEC) 규격이 전 세계적인 규격을 근간을 이루고 있다. Table 1과 같이 해외 국가규격이나 기준은 IEC 기준으로 낙뢰 위험도 평가를 실시하여 낙뢰 보호대책시 적용하고 있다. 또한 국내에서도 KS C IEC

62305 규격을 적용하여 위험성평가와 피뢰보장을 위한 기초자료로 활용하고, 낙뢰 보호 시스템을 설계한다 [3-4].

Table 1. Lightning system standard of overseas countries

Applicable standards	Specification Contents	Remark
IEC 62305-2	Protection against lightning-Part2	International standard
BS EN/IEC 62305-2	Lightning protection standard	UK / European Code
JIS 4201: 2003	Protection of structures against lightning(IEC 62305)	Japan Code
AS/NZS 1768(Int) : 2003	Australia/New Zealand Standard Lightning protection	Australia / New Zealand Standard
NFPA-780	Standard for the Installation of Lightning Protection System	American Fire Insurance Association

### 2.2 KSC IEC 62305-2 규격적용 사례 검토

높은 구조물인 특수교에 대한 리스크평가에 대한 적용은 다음과 같다. 구조물의 리스크 관리(Risk management)는 구조물의 낙뢰로 인한 위험 요소 평가를 통해 위험 요소에 대한 상위 허용 한계를 선정하여 그 위험을 줄이거나 허용범위 이하로 제한하기 위해 적절한 보호 대책을 마련하는 전 단계를 말한다. 적용절차는 먼저 높은 구조물의 개별 리스크가 평가되고 이들 리스크 요소의 합(R)의 결과가 허용리스크(RT)보다 같거나 낮아야 한다. 허용 리스크는 판단권한을 갖는 기관 즉 발주자와 협의하거나 규정된 값으로 결정한다. 특수교의 주탑의 위험요소로서는 구조물의 직격뢰의 손실의 대한 리스크, 구조물 근처 뇌격의 리스크, 인입선로 직격뢰 리스크, 인입선로 근처 뇌격의 리스크를 산출하여 합산 한다. 손실의 유형에 따른 리스크를 줄이도록 보호대책을 정하며, 관련표준의 요구사항에 적합한 경우에 효과적인 것으로 고려하여 판단한다.

Fig. 2와 같은 방법으로 국내 특수교 리스크 평가에 대한 결과로는 물리적 손상 및 전자계시스템의 위험한 특수교는 평가대상 전체 교량77개 교량 중 7개 교량에서 허용위험도가 높은 결과가 도출됨이 보고되었다. 높은 구조물의 특수교중 약 10%는 현재 상태의 피뢰시스템을 보강해야 안전하다는 결과가 도출된다.

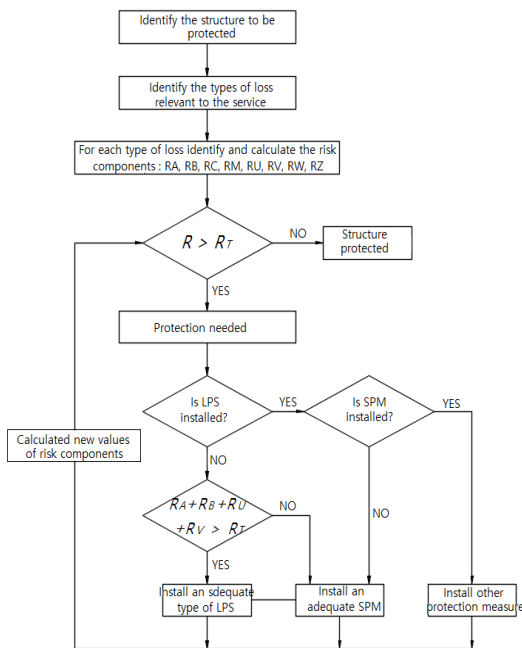


Fig. 2. Procedure for selecting KSC IEC lightning protection measures

2.3 낙뢰 위험도 평가시 고려사항

앞서 살펴본 현 낙뢰위험성 평가인 리스크 평가방식에서는 건축물이나 구조물에 대해 범용적인 평가방식이라 할 수 있다. 즉, 표준에서는 정의하는 4가지의 리스크 요소 중 '구조물 직격뢰(S1)에 의한 물리적 손상에 의한 리스크(RB)'와 '내부시스템 고장과 관련한 리스크 요소(RC)'가 주요한 구조물의 위험도 평가 기법에 해당한다.

두 개의 요소에 공통으로 들어있는 '구조물이 뇌격으로 인한 연평균 위험한 횟수'(ND)는 위험도 분석에 중요한 계수로서 구조물이 위치한 곳의 낙뢰밀도를 정확히 산출함이 중요하다. 낙뢰밀도 산출방법에 활용한 계산식은 현재 IEC에서는 Ng는 연간 1km<sup>2</sup>당의 낙뢰의 수이다. 이 값은 국내에서는 기상청의 낙뢰정보시스템을 활용할 수 있으며, 이를 이용하기 어렵다면 온대지방에서는 연간 뇌우일수의 0.1을 곱한값의 근사치를 활용한다.

$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6} \quad (1)$$

$N_G$  : Lightning density

$A_D$  : Area of landing

$C_D$  : Position coefficient

Table 2. IEC standard lightning factor risk factor

Item	Lightning risk factor content
$R_B$	$N_D \times P_B \times L_B$
	$N_D$ : Average number of dangerous cycles due to bridge flashes
	$P_B$ : Probability of physical damage of structure lightning
	$L_B$ : Loss on physical damage
$R_C$	$N_D \times P_C \times L_C$
	$P_C$ : Probability of failure of internal system in bridge caused by lightning
	$L_C$ : Loss of internal system failure due to lightning

2.4 연간 위험한 사건의 횟수(N)의 평가검토

현행 규격에서 낙뢰로부터 연간 위험한 사건의 횟수를 평가할 경우 NG는 낙뢰 밀도로 현재 기상청에서 제공된 낙뢰 횟수를 활용하여 산출 적용하며, 낙뢰 밀도와 구조물의 수뢰면적, 위치계수를 곱하여 연간 위험한 사건 횟수를 산출한다.

IEC 규격에서 리스크 평가 방식으로 뇌격으로 인한 연평균 위험한 횟수 N은 식(1)과 같이 산출하고, 이때 위치계수  $C_D$ 는 독립구조물인 경우 1로 산출하고 있다. 여기서 위치계수가 독립구조물이라는 개념하에 적용하고 있으나 높이가 특히 높은 구조물에는 낙뢰 수뢰의 빈도가 높다는 연구보고가 있으며, 단순 적용하기 보다는 높이에 따른 계수의 차등 적용이 필요하다[4]. 즉, 독립구조물의 위치계수를 좀 더 세부화하여 반경 1km에서 가장 높은 구조물에 대해서는 위치계수값을 상향해야 한다. 높은 구조물의 낙뢰밀도 적용시는 지상에 도달하는 낙뢰를 수뢰받을 수 있는 크기의 상대값을 2배 적용하는 게 타당하다는 해외 논문을 근거로 검증의 필요성을 갖는다[4-6].

3. 높은 구조물의 연간 위험한 사건의 횟수 (N)의 검증방안 제시

3.1 뇌격 수뢰의 실제적 검증절차

높은 구조물의 실제적 위험도를 평가하기 위한 방안 에 대해 다음과 같이 고찰한다. 낙뢰피해의 위험은 크게 두 가지의 유형이 존재한다. 첫 번째는 직격뢰의 물리적 손상위험이며, 두 번째는 내부전자자계의 위험성 요소이

다. 이 두 가지의 위험에 대한 보호대책 적용시 평가되어야 하는 리스크 평가는 기존의 일률적으로 적용되어야 하는 위치계수와 높이에 고려되지 않는 낙뢰밀도 인자값을 연간 위험한 사건의 횟수(N) 산출시 보정되어야 할 요소라 할 수 있다.

먼저, 특수구조물의 특성, 위치계수의 보정율을 실제 위험에 대한 통계치를 확보하여야 한다. 이러한 통계치를 확보하기 위한 수단으로는 일정 높이의 구조물에는 지역의 낙뢰밀도에 어느정도의 보정 함수값을 설정하는 것을 모델링 할 필요가 있다. 이에 따른 방법으로는 지역별, 높이별 구조물에 직접 뇌격 수회 횟수를 수집한다. Fig. 3과 같은 뇌격 모니터링 장치를 활용하여 연간 직접 수회하는 뇌격의 사건을 통계할 수 있다

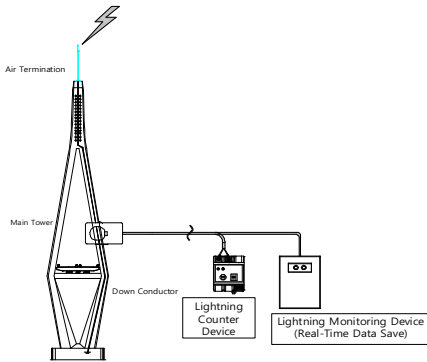


Fig. 3. Lightning monitoring device installation diagram

상기 모니터링장치에서는 독립구조물의 수회부로 유입되는 뇌격의 횟수, 크기, 강도, 일시 등을 빅데이터로 수집하여 구조물의 직접적인 직격뢰 정보를 받는다. 이러한 정보를 바탕으로 연간 수회되는 뇌격의 횟수를 해당구조물의 반경 1km 내의 낙뢰정보와의 상관성을 확보하고 보정율을 산출할 수 있다. 현재 기상청의 뇌격정보는 전국의 뇌레이더 센서에서 수집되는 데이터를 제공하고 있으며, 위험도 평가시 국가정보데이터를 활용하고 있다. 높은 구조물의 위험한 사건의 평가시 보정율 적용의 모델링을 다음과 같이 적용하고자 한다.

### 3.2 위험한 사건의 보정율 적용의 모델링

3.2.1 뇌격 위험도 분석 시스템을 통한 데이터 수집  
구조물의 피뢰시스템인 수회부(뇌격유입시설)는 뇌격을 인하도록을 통하여 대지로 방류한다. 이때 인하도록에 전류센서를 감지하는 장치 즉(Fig. 4. 전류센서①)를 설

치하여 뇌격의 일시, 크기, 극성 등을 검출하여 메모리에 저장한다.

메모리에 저장된 실시간 데이터는 원격으로 PC에 저장하여 축적한다. 축적된 데이터는 위험도 산출 프로그램에서 결과를 화면으로 표현된다. 누적된 데이터는 연간 데이터를 활용하여 연간 낙뢰위험도 평가가 자동 산출되어 화면에 표시되도록 한다.

위험도 산출 프로그램에서는 뇌심략 횟수를 프로그램에 입력된 해당 구조물의 수회면적, 구조물의 위치계수를 적용되어 산출프로그램을 통하여 구조물의 위험한 뇌격의 횟수(NX)를 산출한다. 뇌격의 구조물의 손상 위험도( $R = NX * PX * LX$ )는 위험한 뇌격의 횟수와 구조물 뇌격이 물리적손상을 일으킬 확률(뇌보호시스템 LPS의 레벨) 함수값 PX, 위험한 사건당 평균 상대적 손실량(LX)을 프로그램을 통하여 자동 산출한다. 낙뢰유입 정보는 빅데이터화 하여 연간 낙뢰환경 및 위험도 지수를 모니터링 할 수 있도록 구성한다.

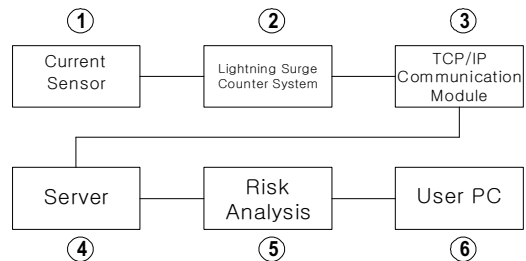


Fig. 4. Lightning Monitoring System

#### 3.2.2 빅데이터를 통한 보정율 산정

3.2.1에서는 높은 구조물에 직접 뇌격을 받은 경우의 낙뢰정보 데이터로서 이들에 대한 값과 KSC IEC 규격에서 정의된 낙뢰위험도 평가(피뢰시스템 리스크 관리) 값과 비교하여 보정값을 산출할 수 있다[6]. 이때의 보정값은 높은 구조물의 피뢰시스템 설계시 직접적인 위험도를 예상 할 수 있으며 이때 구해지는 뇌격횟수에 대한 보정 평균값은 실질적인 의미를 갖는다.

#### 3.2.3 보정율 적용의 실효적 가치

기존의 국가기상정보망의 정보는 관련규격에서 정해진 규칙에 구조물의 낙뢰위험성 평가를 하고 낙뢰보호설계 하는데 활용하였으나, 본 논문에서는 독립된 특수구조물의 직접적인 낙뢰 수회의 정보로부터 보다 현실적이

며 확실한 데이터를 기반으로 낙뢰위험도를 평가할 수 있다. 산출된 보정값을 적용하면 효과적인 낙뢰 위험도를 산출되며, 이러한 데이터는 특수구조물의 낙뢰 방호의 유지 관리하는데 활용할 수 있는 실효적 가치를 가질 수 있다.

### 3.2.4 뇌격 빅데이터의 활용방안

3.2.2에서의 빅데이터를 통한 위험한 사건의 보정값 산정은 이론적 위험도 평가를 통한 피뢰시스템 설계보다 한층 높은 신뢰성을 갖는 피뢰시스템 설계가 될 것으로 예측되며, 이는 높은 구조물의 낙뢰 보호대책 수립시 뇌격 위험을 보다 실효적으로 접근할 것으로 판단된다.

## 4. 결론

뇌격에 대한 구조물의 손실을 최소화하고 자연재해인 낙뢰로부터 위험을 줄이기 위한 피뢰대책 수립 시 독립된 높은 특수구조물에 대한 위험성 평가를 실질적인 모델링을 통하여 빅데이터를 축적 활용하고자 본 논문을 작성하였다. 이에 대한 목적은 허용위험도에 대한 관리 주체의 입장에서 고찰하고 직격뢰의 위험한 뇌격을 실효적으로 통제하고자 한다. 향후 낙뢰 모니터링의 빅데이터 수집은 본 논문의 모델링의 실제적인 보정값을 산출 가능하며, 독립적인 특수 구조물의 피뢰시스템 설계시 반영하여 보다 효과적인 낙뢰 보호시스템을 구축하고자 한다.

## References

- [1] Korea Standards, "Protection against lightning-Part2:Risk management", *Korea Standards, KS CIEC 62305-2*, 2012.
- [2] The Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "The risk management of road cable bridge and a proposal of protection", *MOLIT, Republic of Korea*, 2017.
- [3] The Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "Report last research service for system preparation protective a special bridge of lightning", *MOLIT, Republic of Korea*, 2016.
- [4] C, Bouquegneau, A. Kern, A. Rousseau. "Flash density applied to lightning protection standards", *Proc. 5th LPE Conf*, 2012.

[5] D. Kokkinos, G. Valirakis, N. Kokkinos, "Lightning Protection of Cable Bridges", *28th International Conference on Lightning Protection*, 2006.

[6] Dehn und Söhne, "LIGHTNING PROTECTION GUIDE", *3rd updated Edition, Germany*, 2014, Available From: [https://www.dehn-africa.com/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/blitzplaner/bpl2015/lpg\\_2015\\_e\\_complete.pdf](https://www.dehn-africa.com/sites/default/files/uploads/dehn/pdf/blitzplaner/bpl2015/lpg_2015_e_complete.pdf) (accessed May, 5, 2018)

유 정 현(Yoo-Jeong Hyun)

[정회원]



- 2006년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 일반대학원 전자전기컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야>

전기안전 원격 모니터링, 피뢰설비

김 희 식(Kim-Hei Sik)

[정회원]



- 1987년 2월 : Germany Stuttgart University Production Engineering (공학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (교수)

<관심분야>

계측용센서, 생산측정검사자동화