KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE 기술지원규정

피뢰시스템에 관한 기술지원규정
B-E-1-2025

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을
이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 작성자 : 홍익대학교 전기전자공학부 김정훈 교수
○ 통합개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회 최상원

○ 제·개정경과
- 2011년 11월 전기안전분야 제정위원회 심의(제정)
- 2024년 11월 기계·전기안전분야 전문위원회 심의(통합개정)
- 2025년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(통합개정)

○ 관련규격 및 자료

- KSC IEC 62305-2 피뢰시스템 - 제2장: 리스크 관리
- KSC IEC 62305-3 피뢰시스템 - 제3부: 구조물의 물리적 손상 및 인명위험
- KSC IEC 62713 구조물 밖의 낙뢰위험 감소를 위한 안전절차

○ 관련 법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2편 제3장 (전기로 인한 위험방지)

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 산업안전포털 홈페이지(portal.kosha.or.kr)의 기술지원규정(KOSHA GUIDE) 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2025년 3월 26일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

목 차

1. 목 적 ····· 1
2. 적용범위 ····· 1
3. 용어의 정의 ····· 1
4. 리스크 관리 ····· 5
4.1 뇌격으로 인한 손상 ····· 5
4.2 리스크 및 리스크 요소 ····· 5
4.3 리스크 관리 ····· 7
4.4 허용리스크 ····· 9
4.5 보호의 필요성을 평가하기 위한 특수한 절차 ····· 9
4.6 보호대책의 비용 효과를 평가하는 절차 ····· 10
4.7 보호대책의 선택 ····· 12
5. 옥외작업자의 낙뢰 위험감소 대책 ····· 14
5.1 일반사항 ····· 14
5.2 낙뢰에 의한 인명피해 ····· 15
5.3 직격뢰가 인체에 미치는 영향 ····· 18
5.4 뇌우 시 행동 요령 ····· 21
6. 뇌우경보시스템의 설치 ····· 24
6.1 일반사항 ····· 24
6.2 뇌우 감지장치의 분류 및 그 특성 ····· 25
6.3 경보 방식 ····· 27
6.4 설치 및 정비 ····· 31
6.5 경보 평가 ····· 31
7. 폭발위험장소에서의 낙뢰시스템 ····· 34
7.1 일반사항 ····· 34
7.2 접지 ····· 34
7.3 고체 폭발성 물질을 저장하는 구조물 ····· 34
7.4 폭발 위험지역을 포함하는 구조물 ····· 35
7.5 특수한 장소의 적용 ····· 36

피뢰시스템에 관한 기술지원규정

1. 목적

이 규정은 낙뢰로 인한 위험요소의 리스크 평가 절차와_피해감소를 위한 필요한 사항에 대하여 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 규정은 구조물 및 인입설비의 낙뢰로 인한 위험 요소에 대하여 위험을 줄이거나 허용범위 이하로 하기 위한 적절한 보호대책의 선택에 대하여 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “보호 대상물(Object to be protected)”이라 함은 뇌격의 영향으로부터 보호되는 구조물 또는 인입설비를 말한다.

(나) “통신선(Communication line)”이라 함은 전화선이나 데이터선과 같이 분리된 구조물에 위치한 장비 사이의 통신을 위한 전송매체를 말한다.

(다) “뇌전자계 임펄스(Lightning electromagnetic impulse, LEMP)”라 함은 뇌격전류에 의한 전자계 영향을 말한다.

(라) “물리적 손상(Physical damage)”이라 함은 뇌방전의 기계적, 열적, 화학적, 폭발적인 영향에 의한 구조물(또는 내용물) 또는 인입설비의 손상을 말한다.

(마) “리스크(Risk)”라 함은 보호대상물의 가치(사람과 제품)와 관련되어 뇌방전으로 인해 야기될 수 있는 연간 평균손실액(사람과 제품)을 말한다.

(바) “리스크 요소(Risk component)”라 함은 손상의 원인과 유형에 따른 부분적인 리스크를 말한다.

(사) “허용 리스크(Tolerable risk)”라 함은 보호대상물에 대해서 허용할 수 있는 리스크의 최대값을 말한다.

(아) “피뢰 시스템(Lightning protection system, LPS)”이라 함은 구조물에 입사하는 낙뢰로 인한 물리적 손상을 줄이기 위해 사용되는 모든 시스템을 말한다.

(자) “서지 보호장치(Surge protective device, SPD)”라 함은 과전압을 제한하고 서지전류를 전류(轉流)시키는 적어도 하나의 비선형 소자를 포함하는 장치를 말한다.

(차) “뇌전자계임펄스에 대한 보호 시스템(LEMP protection measures system, LPMS)”이라 함은 뇌전자계 임펄스에 대한 내부 시스템 보호를 위한 모든 시스템을 말한다.

(타) “감전(electrization)”이라 함은 반드시 사망의 결과(감전사)로 나타나지는 않지만, 감전의 과정을 말한다.

(파) “경보(alarm)”라 함은 설정 대상 또는 그 주위지역이 뇌우 및 그에 수반되는 낙뢰 관련 이벤트의 영향을 받을 수 있음을 알려주는 정보를 말한다.

(하) “낙뢰(cloud-to-ground lightning, CG)”라 함은 구름에서 지면으로 또는 그 반대로 구름과 지면 사이의 전하를 전달하는 하나 이상의 구름 - 대지로 이루어지는 방전을 말한다.

(거) “포함영역(coverage area, CA)”이라 함은 주어진 경고장비가 경고를 하기에 충분한 감지효율 및/또는 정확도를 갖고 있는 지역을 말한다.

(너) “감지효율(detection efficiency, DE)”이라 함은 센서 또는 네트워크에 의해 감지 및 위치가 파악되는 구름과 대지사이의 방전(섬광 또는 스트로크)의 검출률을 말한다.

(더) “지속시간(dwell time, DT)”이라 함은 모든 경고기준을 더 이상 충족하지 않아도 경보가 지속되는 시간 간격을 말한다.

(러) “유효경보(effective alarm, EA)”라 함은 총 경보기간 동안 주위지역에서 번개 관련 이벤트(event)가 발현하는 경보를 말한다.

(머) “해지시간(time to clear, TTC)”이라 함은 모니터링 지역에서 경보가 시작된 시간과 마지막 번개 관련 이벤트가 발생한 시간 사이의 시간 간격을 말한다.

(버) “경고실패(failure to warn, FTW)”라 함은 주위지역에서 번개 관련 이벤트가 발생했음에도 경고되지 않은 이벤트를 말한다.

(서) “경고실패율(failure to warn ratio, FTWR)”라 함은 주위지역에서 영향을 미치는 낙뢰 관련 이벤트의 총건수와 경고하지 못한 건수 비율을 말한다.

(어) “전계강도 측정기(field strength meter, FSM)”라 함은 뇌우와 관련된 대기 정전계의 연속 모니터링 장치를 말한다.

(저) “선행시간(lead time, LT)”이라 함은 대상 지역에서 이벤트 관련 첫 번째 번개 발생시간과 경보시작 시간 사이의 간격을 말한다.

(처) “번개관련이벤트(lightning related event, LRE)”라 함은 피보호 대상 구조물 또는 그 인근, 피보호대상 구조물에 연결된 선로 또는 그 인근의 CG 번개섬광(lightning flash)을 말한다.

(커) “모니터링 지역(monitoring area, MA)”이라 함은 대상 지역에 대한 유효한 경고를 위해 번개 활동이 모니터링되는 지역을 말한다.

(터) “대상지역(target area, TA)”이라 함은 해당지역에서 번개 관련 이벤트가 발생하기 전에 예방조치가 필요한지에 대한 의사결정을 용이하게 하기 위한 경고를 필요로 하는 지역을 말한다.

(퍼) “뇌우(thunderstorm)”라 함은 대기의 활동에 의해 생성되고 번개와 천둥을 동반하는 지역적인 폭풍우를 말한다.

(허) “뇌우 감지기(thunderstorm detector)”라 함은 뇌우의 전기적 특성과 관련된 하나 이상의 매개변수를 평가할 수 있는 장비를 말한다.

(고) “뇌우경고시스템(thunderstorm warning system, TWS)”이라 함은 모니터링 지역의 뇌우 활동을 감시할 수 있는 뇌우 감지기로 구성된 시스템 및 정의된 대상지역에 대한 번개관련 이벤트와 관련된 유효한 경보(경고)를 위해 취득한 데이터를 처리하는 수단을 말한다.

(노) “고체 폭발성 물질(Solid explosive material)”이라 함은 주용도나 일반용도가 폭발성인 고체 화합물, 혼합물 또는 기기를 말한다.

(도) “바이패스 도체(Bypass conductor)”라 함은 탱크 외피와 부동성 지붕 탱크를 전기적으로 직접 연결하는 도체를 말한다.

(로) “션트(Shunt)”라 함은 탱크 외피와 부동성 지붕 탱크를 전기적으로 연결하는 짧은 도체를 말한다.

(모) “심실세동(Ventricular fibrillation)”이라 함은 심장 세실의 통제 받지 않는 박동을 말한다.

(2) 그 밖의 용어의 정의는 이 규정에서 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 따른다.

4. 리스크 관리

4.1 뇌격으로 인한 손상

(1) 구조물에 가해진 뇌격에 의한 손상은 구조물 자체나 거주자 또는 내부시스템의 고장을 포함한 내용물에 손상을 일으킨다. 피해나 고장은 구조물 주변으로 확산되고 심지어 그 국소적인 환경에도 영향을 미친다.

(2) 인입설비에 영향을 미치는 뇌격에 의한 손상은 접속된 전기・전자기기 뿐만 아니라 인입을 위해 사용된 설비(선로나 배관 등)에 손상을 일으킨다.

4.2 리스크 및 리스크 요소

(1) 구조물이나 인입설비에 나타날 수 있는 손실의 각 유형에 대하여 관련된 리스크를 평가하여야 한다.

(2) 구조물에서 평가될 리스크는 다음과 같다.

(가) 인명의 손실리스크(R_1)

(나) 공공설비의 손실리스크(R_2)

(다) 문화유산의 손실리스크(R_3)

(라) 경제적 가치의 손실리스크(R_4)

(3) 인입설비에서 평가될 리스크는 다음과 같다.

(가) 공공설비의 손실리스크(R'_2)

(나) 경제적 가치의 손실리스크(R'_4)

(4) 리스크를 평가하기 위해서는 관련된 리스크 요소(손상의 원인과 유형에 따른 부분적 리스크)가 정의되고 계산되어야 한다. 또한 각 리스크는 이들 리스크 요소의 합이며, 리스크를 산출할 때 리스크 요소는 손상의 원인 및 유형에 따라 그룹화 되어야 한다.

(5) 구조물 직격뢰에 기인한 구조물의 리스크 요소는 다음과 같다.

(가) 구조물 외측 3 m까지의 구역에서 접촉전압과 보폭전압에 의해 발생하는 인축에 대한 손상에 관련된 요소(R_A)

(나) 주변 환경에 위험을 줄 수 있는 화재 또는 폭발을 유발시키는 구조물 내측에서 위험한 불꽃으로 생길 수 있는 물리적 손상에 관련된 리스크 요소(R_B)

(다) LEMP에 의해서 발생되는 내부시스템의 고장에 관련된 리스크 요소(R_C)

(6) 구조물 근처 뇌격에 의한 구조물의 리스크요소는 LEMP에 의해서 발생되는 내부시스템의 고장에 관련된 리스크 요소(R_M)가 있다.

(7) 인입설비 직격뢰에 의한 구조물의 리스크요소는 다음과 같다.

(가) 구조물로 인입되는 인입선을 통해 유입된 뇌격전류에 의해 구조물 내측의 접촉전압에 의해 발생되는 생물체에 대한 상해에 관련된 요소(R_U)

(나) 인입설비를 따라 혹은 통하여 전달된 뇌격전류에 기인한 물리적 손상에 관련된 요소(R_V)

(다) 인입선에 유도되어 구조물로 전달된 과전압에 의해 발생된 내부시스템의 고장에 관련된 요소(R_W)

(8) 인입설비 근처 뇌격에 의한 구조물의 리스크 요소는 인입선에 유도되어 구조물로 전달된 과전압에 의해 발생된 내부 시스템의 고장에 관련된 요소(R_Z)가 있다.

(9) 인입설비 직격뢰에 의한 인입설비의 리스크 요소는 다음과 같다.

(가) 뇌격전류의 기계적이고 열적인 영향에 의한 물리적 손상에 관련된 요소(R'_V)

(나) 저항성 결합에 의한 과전압 때문에 생기는 접속된 장비의 고장에 관련된 요소(R'_W)

(10) 인입설비 근처 뇌격에 의한 인입설비의 리스크 요소는 선로에 유도된 과전압에 의해 발생되는 선로 및 접속된 기기의 고장에 관련된 요소(R_Z)가 있다.

(11) 구조물 직격뢰에 의한 인입설비의 리스크 요소는 다음과 같다.

(가) 선로를 따라 흐르는 뇌격전류의 기계적이고 열적인 영향에 의한 물리적 손상에 관련된 요소(R'_B)

(나) 저항성 결합에 의한 과전압 때문에 생기는 접속된 장비의 고장에 관련된 요소(R'_C)

4.3 리스크 관리

4.3.1 기본절차

낙뢰로부터 구조물이나 인입설비의 보호 및 보호대책의 선택에 있어 다음의 절차가 적용되어야 한다.

(1) 보호대상물과 그의 특성에 대한 확인

(2) 대상에 있어서 손실의 모든 유형과 관련된 상응 리스크의 확인(4.1의(2)항 참조)

(3) 손실의 각 유형에 대한 리스크의 평가

(4) 허용 리스크(R_T)와 구조물(인입설비에 대해서는 공공설비의 손실 리스크)에 대한 리스크(R_1, R_2, R_3)의 비교에 의한 보호의 필요성 평가

(5) 보호대책의 유무에 따른 총 손실비용의 비교를 통하여 보호비용의 효용성 평가. 이 경우, 구조물(인입설비에 대해서는 경제적 가치의 손실 리스크)에 대한 경제적 가치의 손실 리스크(R_4) 요소의 평가는 그러한 비용을 평가하기 위해서 반드시 수행되어야 한다.

4.3.2 리스크 평가의 대상 구조물

리스크 평가의 대상 구조물은 다음 사항을 포함하며, 구조물 외측에 접속된 인입설비는 포함되지 않는다.

(1) 구조물 자체

(2) 구조물 내의 설비

(3) 구조물의 내용물

(4) 구조물 내에 있거나 구조물의 외측으로부터 3 m에 이르는 구역 내에 서있는 사람

(5) 구조물에 대한 손상에 의해 영향을 받는 환경

4.3.3 리스크평가 대상의 인입설비

(1) 리스크평가 대상의 인입설비는 다음에 나열한 것들 사이의 물리적 접속이다.

(가) 통신선로에 대한 교환국 건물과 사용자 건물 또는 두 개의 교환국 건물 혹은 두 개의 사용자 건물

(나) 통신선로에 대한 교환국 건물 또는 사용자 건물과 분배노드 또는 두 개의 분배노드 사이

(다) 전원선에 대하여 고압 변전소와 사용자 건물

(라) 배관에 대하여 주 배전용 변전소와 사용자 건물

(2) 고려하는 인입설비는 다음과 같은 선로 장치와 선로 말단장치를 포함하여야 한다.

(가) 다중절환장치, 전력증폭기, 광네트워크장치, 계측기, 선로 말단장치 등

(나) 차단기, 과전류시스템, 계측기 등

(다) 제어시스템, 안전시스템, 계측기 등

(3) 보호는 사용자 장비 또는 인입설비의 말단에 접속된 구조물을 포함하지 않는다.

4.4 허용 리스크(R_T)

낙뢰에 의한 인명 손실 또는 사회적 혹은 문화적 가치의 손실에 관련되는 경우 허용 리스크 값을 사용한다.

4.5 보호의 필요성을 평가하기 위한 특수한 절차

(1) 대상물의 낙뢰에 대한 보호의 필요성을 평가하는데 있어 고려되어야 하는 리스크는 다음과 같다.

(가) 구조물에 대한 리스크(4.2의(2)항 참조)

(나) 인입설비에 대한 리스크(4.2의(3)항 참조)

(2) 고려되어야 하는 각 리스크에 대하여 다음의 각 단계를 실시하여야 한다.

(가) 리스크를 구성하는 구성요소(R_X)의 확인

(나) 확인된 리스크 구성요소의 계산

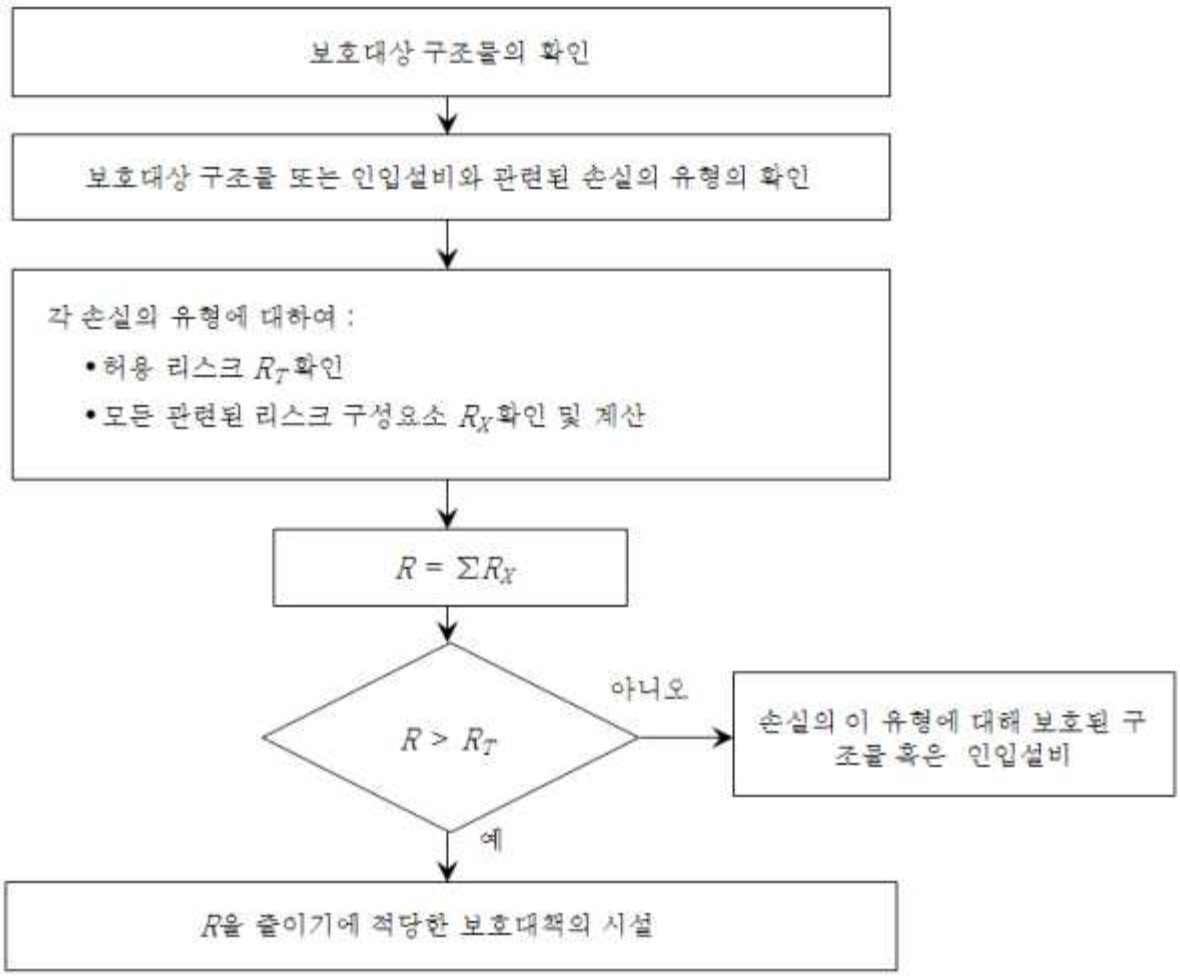
(다) 총 리스크의 계산

(라) 허용 리스크의 확인

(마) 허용리스크(R_T)와 리스크(R)의 비교

(3) '리스크 ≤ 허용 리스크'인 경우 피뢰시스템은 필요하지 않다. 그러나 '리스크 > 허용 리스크'인 경우의 보호대책은 대상물에 생길 수 있는 모든 리스크에 대해서 '리스크 ≤ 허용 리스크'로 줄이기 위해서 채택되어야 한다.

(4) 보호의 필요성을 평가하기 위한 절차를 <그림 1>에 나타내고 있다.



<그림 1> 보호 필요성을 결정하는 절차

4.6 보호대책의 비용 효과를 평가하는 절차

(1) 구조물 또는 인입설비에 대한 피뢰시스템의 필요성 외에도 경제적인 손실을 줄이기 위해서 보호대책을 설치하는 이점을 확인하는 것이 유용하다.

(2) 구조물에 대한 리스크 중 경제적 가치의 손실 리스크의 평가(인입설비에 대해서는 경제적 가치의 손실리스크)는 사용자가 채택된 보호대책의 유무에 따른 경제적 손실의 비용을 평가할 수 있어야 한다.

(3) 보호의 비용 효과를 확인하는 절차는 다음의 사항이 요구된다.

(가) 구조물에 대한 리스크 중 경제적 가치의 손실 리스크(인입설비에 대해서는 경제적 가치의 손실리스크)를 구성하는 요소의 확인

(나) 새로운 혹은 추가의 보호대책을 하지 않고 확인된 리스크 요소의 계산

(다) 각 리스크 요소에 의한 손실의 연간 비용의 계산

(라) 보호대책이 없을 경우 총 손실의 연간 비용(C_L)의 계산

(마) 선정된 보호대책의 채택

(바) 선정된 보호대책의 리스크 요소의 계산

(사) 보호할 구조물 또는 인입설비의 각 리스크 요소에 의한 잔류손실의 연간 비용의 계산

(아) 선정된 보호대책을 설치할 경우 잔류손실의 총 연간 비용(C_{RL})의 계산

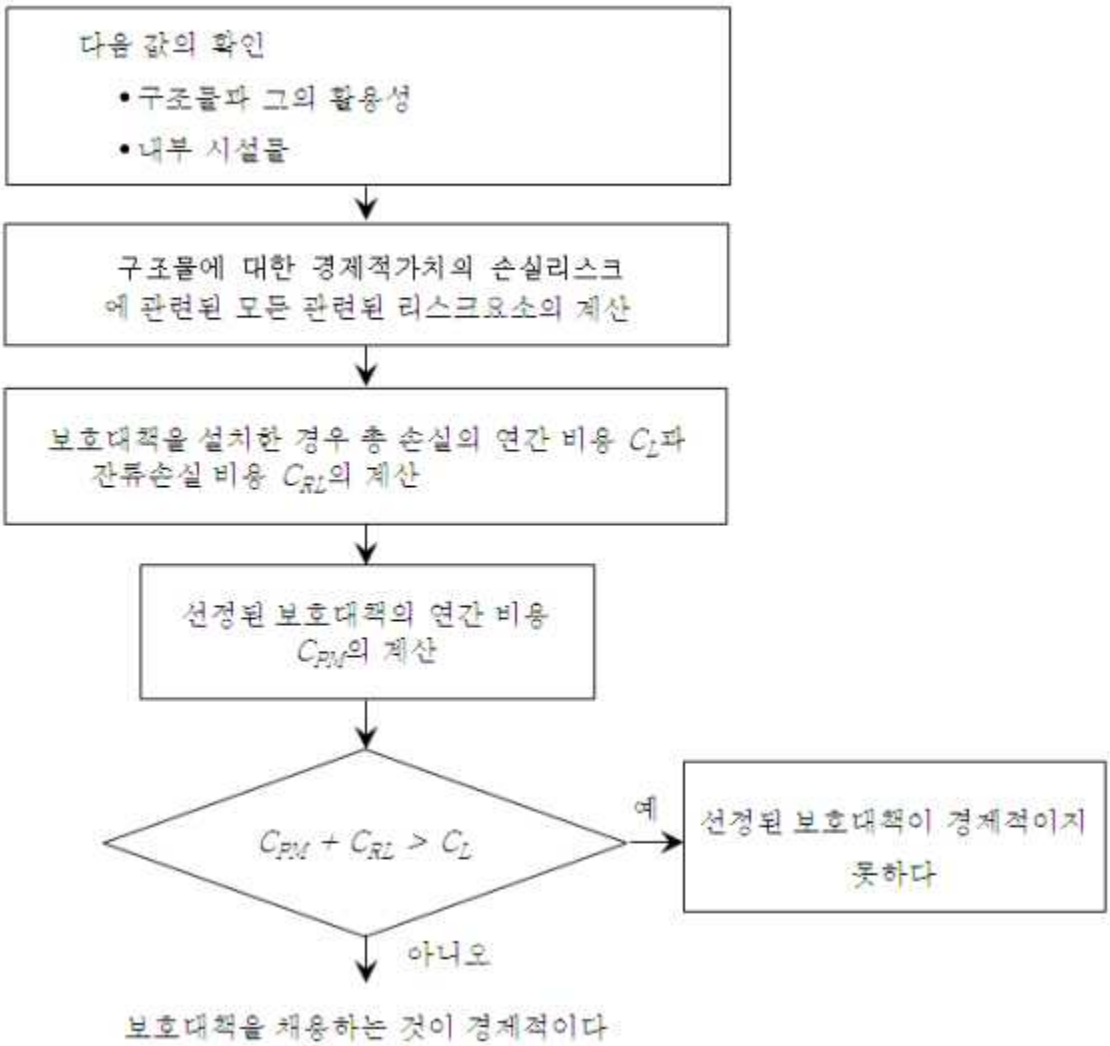
(자) 선정된 보호대책의 연간 비용(C_{PM})의 계산

(차) 비용의 비교

① $C_L < C_{RL} + C_{PM}$ 인 경우 피뢰시스템의 설치는 효과적이지 않다.

② $C_L \geqq C_{RL} + C_{PM}$ 인 경우 보호대책은 구조물 또는 인입설비의 수명동안 비용의 절약이 입증된다.

(4) 보호의 비용 효과를 평가하는 절차를 <그림 2>에 나타내었다.



<그림 2> 보호대책의 비용효과를 평가하는 절차

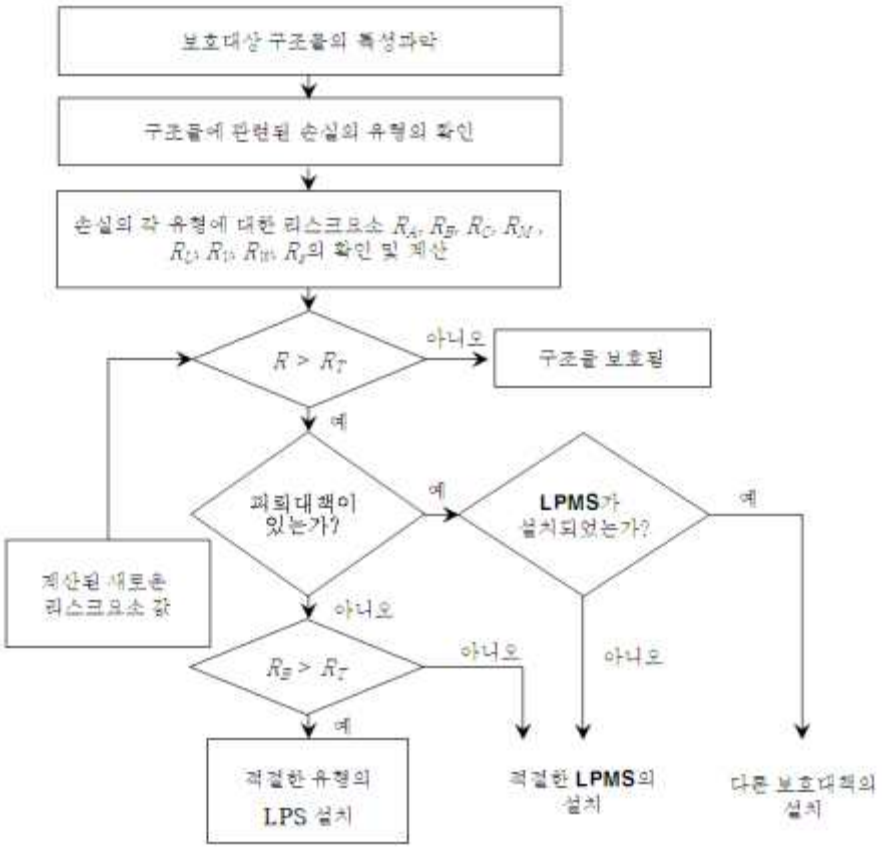
4.7 보호대책의 선택

(1) 가장 적합한 보호대책의 선택은 총 리스크에서 각 리스크요소의 할당 및 다른 보호대책의 기술적이고 경제적인 양상에 따라 설계자에 의해 이루어져야 한다.

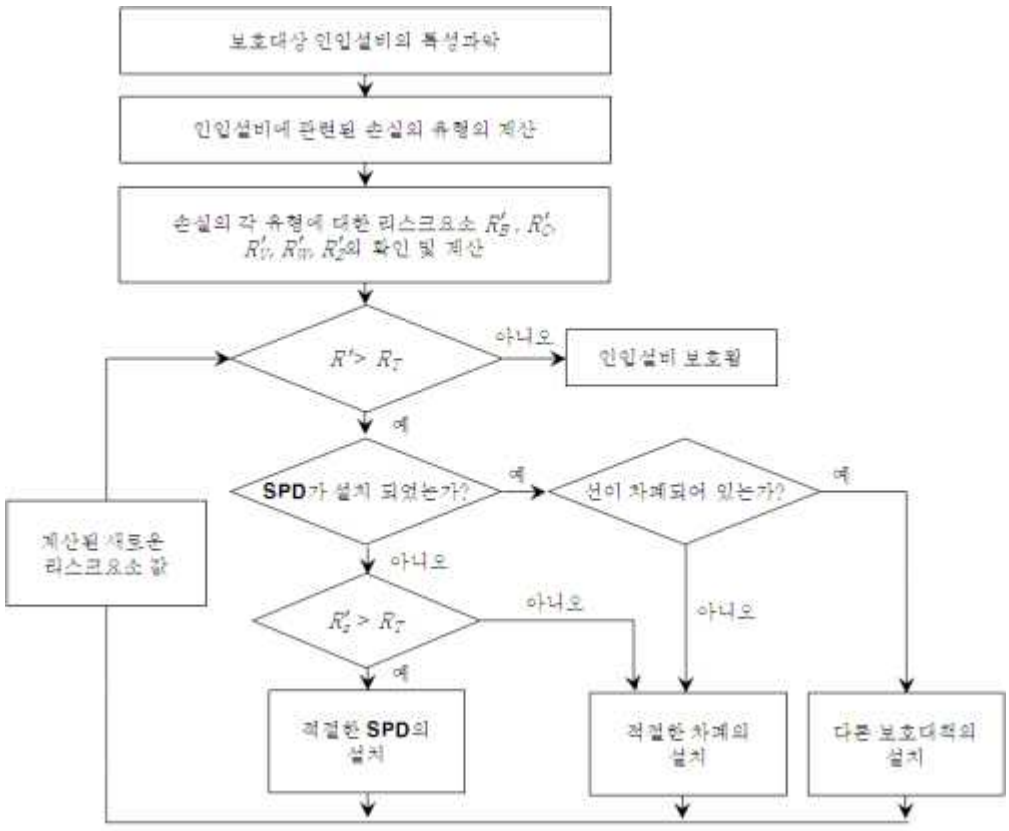
(2) 중요한 파라미터는 리스크을 줄이기 위한 더욱 효율적인 대책을 결정하기 위해 확인되어야 한다.

(3) 손실의 각 유형에 대해 개별적 또는 조합으로 '리스크 ≤ 허용 리스크'의 조건을 만족시키는 여러 가지 보호대책이 있다. 채택된 해결책은 기술적이고 경제적인 측면에 대해 허용되도록 선택되어야 한다.

(4) 보호대책의 선정에 대한 간이절차를 구조물에 대해서는 <그림 3>에, 인입설비에 대해서는 <그림 4>에 나타내었다.



<그림 3> 구조물의 보호대책에 관한 선정절차



<그림 4> 인입설비의 보호대책에 관한 선정절차

(5) 모든 경우, 시공자 또는 계획자는 가장 중대한 리스크요소를 확인하고, 이들을 감소시키는 것이 바람직하며, 또한 경제적인 측면도 고려하는 것이 좋다.

5. 옥외작업자의 낙뢰 위험감소 대책

5.1 일반사항

(1) 낙뢰가 발생하기 위해서는 뇌운(적란운)이 있어야 하며, 주로 여름철에 많이 발생한다. 뇌운의 발생과정은 지표면의 기온이 높고 주위의 대기가 저온인 상태에서 지표면으로부터 고온의 대규모 상승기류가 생성되고 그 기류가 상승하면서 주변 공기들과의 마찰에 의해 뇌운이 발생하게 된다.

(2) 뇌운은 대기 중의 바람에 의해 이동하며 기압골 전선 상에서 발생한 뇌운은 전선과 함께 이동한다. 일반적으로 뇌운이 일정한 루트를 통과하는 경향은 없으나 산악지대에서 발생한 뇌운은 큰 산을 넘을 수 없어 계곡을 따라 이동하는 경향이 있다.

(3) 뇌는 순간적인 대전류의 방전으로 정의되며, 그 방전로의 길이가 일반적으로 수 ㎞에 달하며, 뇌는 공기의 절연파괴를 일으킬 수 있는 큰 전하가 어떤 공간에 국부적으로 존재할 때 일어난다.

(4) 뇌운 중에 전하의 분리 축적이 계속되어 전계강도가 증대됨으로써 공기의 절연파괴 전압인 30 ㎸/㎝에 육박하게 되며, 이때부터는 뇌운의 하부에 있는 음전하의 영향으로 뇌운 아래의 지표면에서는 양전하가 축적되고 일정치 이상의 전위차가 발생하게 되면 두 전하 간에 방전이 일어나게 되는데 이를 낙뢰라고 한다.

(5) 뇌방전은 눈으로 볼 때에는 일시에 대지간 방전이 일어나는 것으로 보이지만 실제로는 여러 번 발생되는 다중뢰가 일반적이며, 이때의 전압은 매우 높아 수억 볼트(V)까지 추정되고 있으며, 방전로는 1 ㎞ 내외 또는 수 ㎞에 이르는 경우도 있다.

(6) 낙뢰 직전의 지표면 부근의 전위경도는 30~40 ㎸/m이며 100 ㎸/m 정도인 것도 있으며 2만~3만 암페어(A)의 전류와 더불어 3만도(℃)의 열기(태양 표면온도의 5배)가 발생한다. 따라서 벼락에 직접 맞지 않아도 50 m 이내의 사람은 감전에 의한 피해를 입을 수 있으며, 벼락의 위력은 같은 낙뢰 전류가 흘렀을 경우 전류가 흐르는 물체의 저항이 클수록 커진다고 볼 수 있다.

5.2 낙뢰에 의한 인명피해

5.2.1 일반사항

장애물이 없는 넓은 공간에서는 직격뢰(서 있을 때 가능성이 더 높음), 측뢰, 유도뢰, 접촉전압 및 보폭전압의 영향을 쉽게 받을 수 있다.

5.2.2 직격뢰(direct strikes)

낙뢰의 위험 중 가장 위협적인 유형이 직격뢰로, 이 뇌격전류가 인체를 통해서 흐르게 되면 혼수상태, 인체 내외부의 화상, 호흡정지, 심장정지 또는 심장마비를 유발할 수 있다 (<그림 5> 참조).



<그림 5> 직격뢰



<그림 6> 측뢰

5.2.3 측뢰(side flash)

(1) 인체가 나무 동체로부터 수 m 이내에 있다면, 머리 또는 어깨부분에 측뢰가 발생할 수도 있으므로 홀로 서 있는 나무 밑(또는 깃대 옆)에 있는 것은 위험하다 (<그림 6> 참조).

(2) 일반적으로, 피뢰설비를 갖추지 않은 구조물, 특히 임시 가옥, 작은 헛간 등 작고 독립된 구조물들은 대피처로 부적합하다. 특히 금속지붕을 비금속재로 지지한 구조물은 방전을 일으킬 수 있어 화재 또는 폭발위험이 있을 수 있다 (<그림 7> 참조).

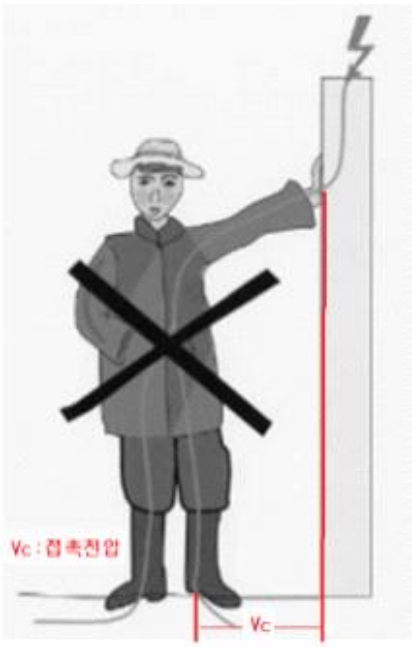
5.2.4 접촉전압(touch or contact voltages)

(1) 금속구조물은 유도전압뿐만 아니라 접촉전압 때문에 발생하는 아크(arcing)로 인한

감전위험이 있으므로, 접촉전압으로 인한 감전위험을 낮추기 위해서는 뇌우가 접근해 있을 때 뇌격전류 통전도체로부터 충분히 떨어져 있어야 한다(<그림 7, 8> 참조).



<그림 7> 비접지 금속구조물의 위험성

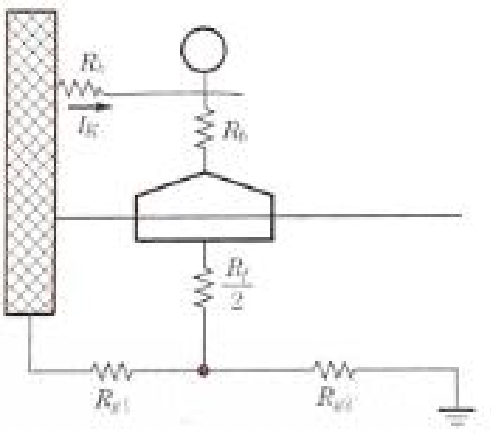


<그림 8> 접촉전압에 의한 감전

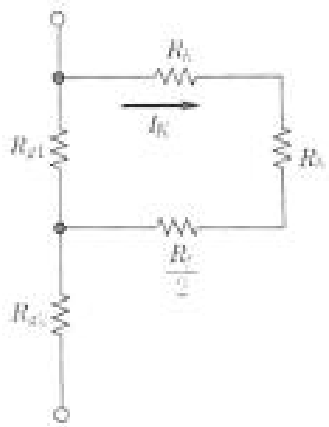
(2) 사람이 도전성이 양호한 대지에 발을 접촉한 상태에서, 뇌격으로 인해 서로 다른 전위로 될 수 있는 도전성 구조물을 접촉할 때 이 접촉전압에 의해 감전될 수 있으므로 주의를 요한다(<그림 9>참조).

주) 접촉전압(V_c, 식(1) 참조)이란 인체가 접지를 한 구조물에 접촉하는 경우 접촉부위와 대지의 발 사이의 전위차를 말하며, 보통 구조물과 대지면 거리 1 m에서의 전위차를 말한다.

$$V_c = I_k(R_k + 2R_f)\,(V)$$



a) 접촉전압 인가 상태



b) 접촉전압 등가회로

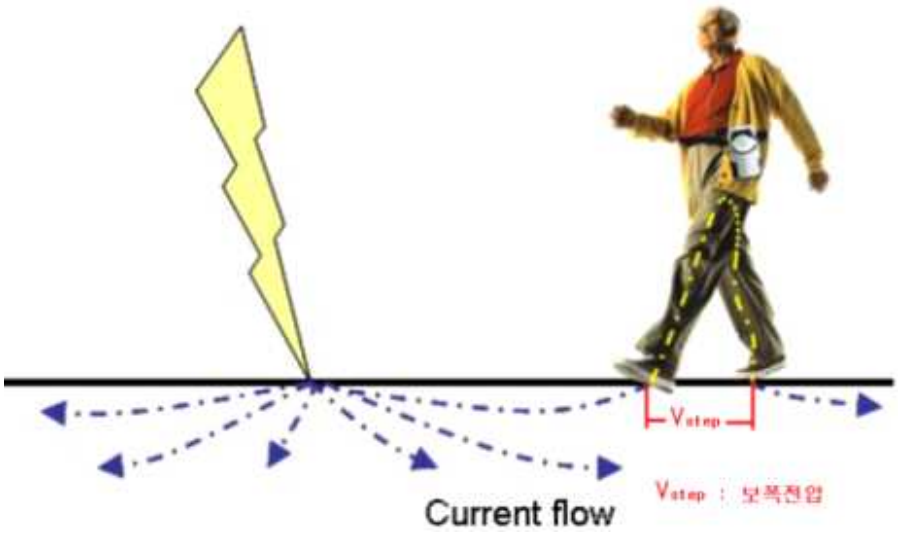
<그림 9> 접촉전압과 등가회로

5.2.5 보폭전압(step voltages)

(1) 낙뢰가 쳤을 때 뇌격전류는 대지의 여러 층을 통해 퍼져나가 뇌격 지점에서 급격한 전위상승이 일어나며, 보폭전압은 뇌격점 부근에서 크게 발생한다.

(2) 그러나 낙뢰가 빌딩, 구조물 또는 나무에 친 경우, 뇌격전류는 빌딩, 구조물의 접지장치 또는 나무뿌리를 통해서 흐르게 되며, 이때 위험할 정도로 높은 대지 전위를 상승시킨다. 따라서 인체는 빌딩, 구조물 또는 나무 근방에서 위험한 보폭전압에 감전될 수 있다.

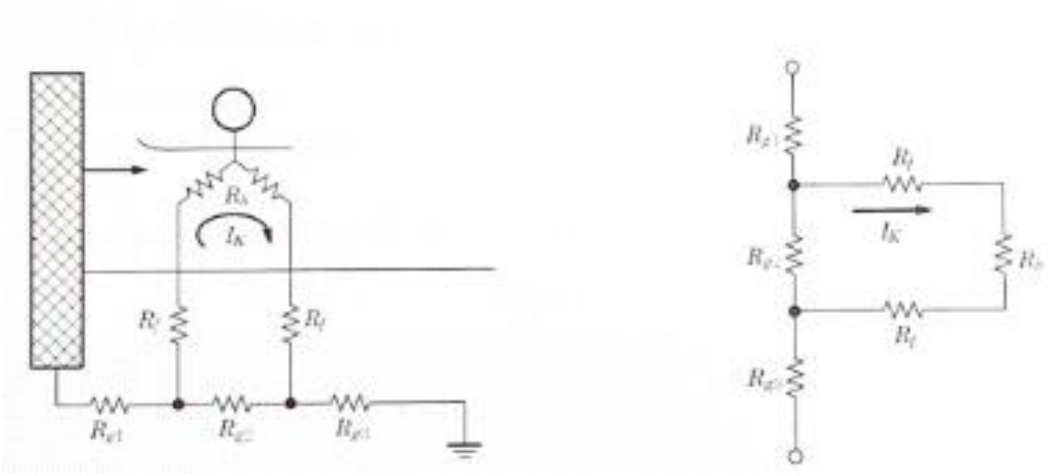
(3) 가까운 거리에서 낙뢰가 떨어졌을 때, 걷고 있거나 또는 발을 벌리고 서 있는 경우 보폭전압에 감전될 수 있다. 대지의 저항률이 높을수록, 낙뢰지점이 가까울수록 그리고 보폭이 클수록 더 위험하다.



<그림 10> 보폭전압에 의해 인체에 흐르는 전류

주) 보폭전압(V_t, 식(2) 참조)이란 뇌격전류가 구조물을 타고 대지로 흘러들어 가면 구조물 주위에 전위분포가 발생하는데 사람의 양발사이(보통 1 m)에 생기는 전위차를 말함.

$$V_t = I_k(R_k + \frac{R_f}{2})(V) \text{----------식(2)}$$



a) 보폭전압 인가 상태 b) 보폭전압 등가회로

<그림 11> 보폭전압과 등가회로

5.3 직격뢰가 인체에 미치는 영향

5.3.1 부상

(1) 사람이 낙뢰에 직접 맞았을 때, 발에서 머리까지의 전압은 대략 300 kV(100 kV ~ 500 kV)까지 상승한다. 대부분의 전류는 인체의 내부를 통해 흐르지 않고 표면으로 흐르게 되며, 이런 영향 때문에 사람들이 낙뢰를 맞고도 생명을 잃지 않았던 경우도 있다.

(2) 생리학적 영향은 신경장애, 시력상실 또는 백내장, 청력상실 또는 고막파열, 마비, 순간적 졸도(때때로 단시간의 호흡정지 동반) 그리고 단기간 또는 장기간의 혼수상태 등을 경험하게 되며, 경미하게는 번쩍하는 눈부심부터 심한 경우 즉사(심장마비)에 이를 수도 있다.

(3) 인체 전반, 발에서(나무모양의 화상) 머리까지(전기적으로 인체는 내부 저항이 300 Ω 정도의 젤과 유사) 심각한 또는 치명적인 부상에 이를 수 있다. 그렇지만 이온화한 피부와 젖은 옷은 낙뢰로 인한 전류가 옷이 달라붙은 인체의 피부를 타고 흐르게 하는 바람직한 경로가 되어 뇌격전류가 인체 내부를 직접 통과하는 것을 피하게 한다.

(4) 격렬할 정도로 높아진 압력파의 영향으로 의류는 찢기고, 신발의 경우 먼 거리까지 날아갈 수도 있다. 이런 열적 충격은 극히 짧아 표면 화상만 일으키나, 목걸이 등의 금속물체는 고온에 도달(최소한 표면적으로)하여 심한 화상에 이르게 할 수도 있다.

(5) 일반적으로 화상은 피부에 발생한다(뇌격전류의 출입점 부근은 피부에 심한 손상을

입히거나, 피부에 드러난 선형의 경로를 따라 신속하게 방전된다. 피부를 통해 방전되지만 전기 아크로 확산되기도 한다). 가열된 금속체를 통해 이런 현상이 발생하는 경우 더욱 위험하다.

(6) 낙뢰 재해자들은 의류와 피부 사이에서 순환되는 리더(leader)에 의해 형성되는 나뭇가지 모양이나 리히텐베르크 무늬(<그림 12> 참조)의 홍반을 띠기도 한다. 이러한 피해 징후를 갖는 피부의 모양은 압력을 가해도 피부색으로 돌아오지 않고 쉽게 사라지지도 않는다. 심지어 뇌격전류는 머리를 태우기도 한다.



<그림 12> 피부에 나타난 리흐텐부르크 무늬

(7) 낙뢰는 순간 의식불명과 함께 때로는 소변과 정액사정을 자제하지 못하게 하는 등 다음과 같은 현상을 나타나게 할 수도 있다.

(가) 일반적으로, 심장박동 그리고 호흡이 정지되는 낙뢰 피해자들은 임상학적으로는 사망한 것으로 나타난다.

(나) 심장혈관계통의 손상은 긴급한 진료행위를 필요로 하는 심폐 계통의 정지에 이를 수도 있다.

(다) 빈맥과 서맥 등 그 밖의 부정맥과 심실세동도 나타나는 것으로 보고된 바 있다.

(라) 두뇌 손상(기억상실, 유두부 이상, 고통스런 지각이상, 실어증, 두통)도 종종 나타나기도 한다.

(8) 잠재적인 부상은 수일 또는 수개월 후에 나타날 수도 있는데, 여기에는 만성 통증, 고혈압, 기억력 감퇴 그리고 심지어는 개인성격의 변화도 일어나기도 한다. 이러한

부상에는 다음의 것들이 포함될 수 있다:

(가) 화상(섬광열상, 깃털모양(feathering), 홍반, 선형 줄무늬(linear streaking), 피부상실(punctuated full - thickness skin loss), 금속 접촉화상(contact burn from metal))

(나) 심장(심장정지, 심실세동, 심장손상, 고혈압)

(다) 뇌(중추신경계 손상, 두뇌 손상, 낙뢰성 마비, 무의식, 기억상실, 성격변화)

(라) 호흡계(호흡정지, 기관지 경련, 폐수종, 호흡정지)

(마) 근육골격계통(뇌전마비, 좌상, 열상, 골절, 만성통증)

(바) 눈(각막손상, 유리체 출혈, 망막열공, 황반 세공, 망막박리, 안진증)

(사) 귀(기압성 외상, 고막파열, 청각상실 등)

5.3.2 부상자 구급법

(1) 낙뢰 부상자들은 일반적으로 부상 정도에 따라 경상(mild), 중경상(moderate), 중상(severe)의 3등급으로 분류한다.

(가) 중경상자들은 낙뢰로 기절에 이르기도 하고 쉽게 깨어나기는 하지만, 혼돈스러워 하고 발생한 일들을 기억하지 못하기도 한다.

(나) 회복과정은 더디고, 수개월씩 지속되는 근육통증과 지각이상에 대해 호소할 수도 있다.

(다) 따라서, 우선적으로 상황을 면밀히 살피고 평가하여 사고가 끼친 영향에 대한 평가와 치유를 위해 병원으로 후송되어야 함을 알리고 환자에게 도움이 되는 신체 관리를 해주어야 한다.

(2) 중경상자들은 수시간 동안 지속되는 극도의 뇌전마비로 혼란을 느낄 수도 있다.

(가) 저혈압, 고막손상, 화상(1도~2도)은 일반적 현상으로 생존 가능성이 높기는 하지만, 영구적인 후유증이 있을 수도 있다.

(나) 피해자가 호흡을 하지 않는다면 즉시, 심폐소생술(CPR)을 시행해야 한다.

(3) 긴급구조를 요청한 후 피해자의 호흡을 점검한다. 인근에 자동심장충격기(AED, automated external defibrillator)가 있으면 이를 활용하는 것이 바람직하다.

(가) 피해자를 등 쪽으로 눕히고, 한 손으로는 환자의 이마를 뒤쪽으로 누르고, 다른 손의 두 손가락으로 환자의 턱을 들어 올리고 기도를 검사한다.

(나) 호흡이 멈추었거나 정상적이지 않으면 심폐소생술을 시작한다. 팔을 쭉 펼쳐서 피해자의 가슴뼈를 두 손(한 손 위에 다른 손을 겹쳐서)으로 압박한다. 1분간 100~120회를 시행하되, 매번 가슴뼈가 5 ㎝ 가량 압박되도록 한다.

(다) 기도를 다시한번 살피고, 두 손가락으로 환자의 콧구멍을 꽉 막고, 입술을 환자의 입에 포개어 숨을 2회 불어넣어 피해자의 가슴이 솟아오르도록 한다. “30회 가슴 압박, 2회 숨 불어 넣기”를 피해자의 숨이 돌아오거나, 다른 도움이 가능할 때까지 지속한다.

(라) 아이들(1세~어린이)의 경우, 성인에게 행하는 심폐소생술(CPR) 이전에 5회에 걸친 구명호흡을 시행한다. 유아(1세 이하)의 경우 시행절차는 어린이에게 적용하는 것과는 다르다.

(4) 심각한 정도로 손상을 입은 피해자의 경우 종종 심실정지 또는 심실세동을 동반한 심장정지가 있을 수 있는데, 이때에는 심폐소생술이 필요하다.

(가) 일반적으로 둔기외상, 두개골 골절, 두개골 내 손상 등 직접적인 두뇌 손상이 일어날 수도 있다.

(나) 의료 대응팀이 조기에 대응하지 않으면 일반적으로 회복 가능성이 매우 낮다.

5.4. 뇌우 시 행동 요령

5.4.1낙뢰 위험성 감지

(1) 기상청에서 발표하는 일기예보로부터 낙뢰 가능성과 그에 대응하는 조치 방법에 관한 정보는 쉽게 얻을 수 있으며, 인터넷으로 낙뢰 지역에 관한 실시간에 가까운 정보를 제공받을 수 있다.

(가) 낙뢰경고 시스템은 산업 현장과 개인 활동 등에 활용할 수 있다. 일부 국가의 낙뢰관측망은 인터넷이나 그 밖의 방법(팩스, 전화, 이메일, 전용선 등)을 이용하여 낙뢰사고 발생에 대한 경고를 하고 있다.

(나) 이때 위험한 산업 활동은 중지될 수 있으며, 사람들을 안전한 장소로 대피시켜 야외 노출 활동(지붕 위 또는 저장용기 위 등)도 피할 수 있다.

(다) 국지적인 감지기나 일부 휴대용 장비는 대체로 다른 감지 시스템에 비해 신뢰도가 낮기는 하지만 가볍고 저렴하기 때문에 야외 활동에 참여하고 있는 경우, 간편하게 활용할 수는 있다.

(라) 특정 장소에 고정 설치된 센서들은 신뢰도가 높아 조기경보 발령 능력이 특별히 뛰어나므로 산업현장에서 사용할 수 있고 골프장, 캠핑장 등에서도 매우 효과적으로 이용될 수 있다.

(마) 다만, 일반적으로 경보시간은 30분 이하이므로 여름철에 야외활동을 해야 하는 경우, 해당지역내 낙뢰 안전장소의 사전 확인이 꼭 필요하다.

(2) 사람들은 먼 곳에서의 섬광을 동반한 뇌운의 접근을 보고, 천둥소리를 들으면서 개인 활동에 대한 위험을 평가할 수 있다.

(가) 뇌우장소의 실질적인 거리는 개략 추산할 수 있다, 즉 섬광과 천둥 사이의 시간(초)를 3으로 나누면 그것이 천둥장소까지의 대략적인 거리(㎞)가 된다.

(나) 만약 그 거리가 5 ㎞ 이내의 거리라면 옥외 스포츠 행사는 중지되어야 하며, 홀로 선 나무와 같은 위험한 곳을 피해야 한다.

(3) 마지막 섬광 또는 천둥소리를 들은 후 30분이 지나면 낙뢰 위험은 소멸되었다고 생각할 수 있다.

(4) 올바른 행동은 낙뢰로 인한 위험을 크게 감소시킬 수 있다는 확신을 갖되, 낙뢰는 예측 불가하므로 운을 너무 믿지 말아야 한다.

5.4.2 안전한 장소

(1) 대피소로 꼽을 수 있는 가장 안전한 장소는 피뢰설비(내부 및 외부)를 갖춘

건물내부이다.

(가) 피뢰설비가 없는 주택(<그림 13> 참조)에서는 문과 창문을 닫아 공기의 흐름을 차단하고, 난로나 굴뚝으로부터 멀리 떨어져 앉아야 하며, 구조물이 금속제 수도관을 갖춘 경우 물의 사용을 피해야 한다.

(나) 발코니와 같은 개방된 장소를 피해야 한다.

(2) 휴대폰이나 무선 전화기를 사용하고, 유선 전화기는 사용하지 않는다.

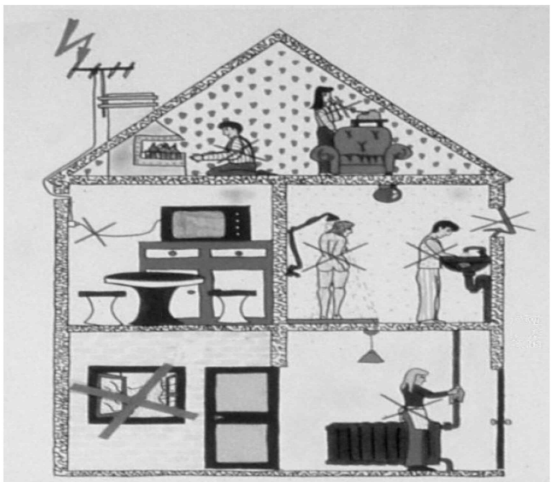
(가) 전력선, 통신선, 금속제 수도관 또는 가스관과 금속제 굴뚝뿐만 아니라 가전제품(예를 들면, 환기 후드, 식기 세척기, 전열기)으로부터 떨어져 있어야 한다.

(나) 천둥이 치는 동안에는 샤워나 목욕을 하지 않는다.

(3) 낙뢰가 발생할 때에는 방의 중앙에 있어야 하며, 벽이 없는 건물에서는 발을 모으되 피뢰설비가 없는 작은 헛간, 나무 또는 돌로 만든 오두막에서는 쪼그린 자세로 있어야 한다.

(가) 전기제품, TV, 안테나 또는 전화선(케이블이 지중인 경우라도)을 보호하기 위해 서는 인입용 분전반에 서지 보호장치(SPD)를 시설하는 것이다.

(나) SPD는 전력 및 통신 인입구에 시설하되 SPD가 없는 경우, 모든 전기제품들은 플러그에서 뽑는 것이 안전하다.



<그림 13> 옥내에서 낙뢰 피하는 법

6. 뇌우경보시스템의 설치

6.1 일반사항

뇌우 검출 가능한 현상과 관련하여 뇌우생존주기는 다음과 같이 4개의 단계로 구분할 수 있다.

(1) 초기 단계(initial phase(cumulus stage))

(2) 성장기 단계(growth phase)

(3) 성숙기 단계(mature phase)

(4) 소실기 단계(dissipation phase)

6.1.1 1단계 : 초기 단계 (적운 단계)

(1) 초기단계는 구름 내에서 전하 분리에 의한 구름 전하의 단계로, 전하는 구름 내에 분산되어 대지에서 측정 가능한 정전계를 생성한다.

(2) 이 단계는 뇌우가 발생하기 전에 감지 할 수 있는 최초의 현상으로 간주된다.
주) 정전계는 번개활동이 없는 경우에도 정전기 방전과 같은 잠재적인 위험을 유발할 수 있다.

6.1.2 2단계 : 성장기 단계

(1) 발전단계라고도 하는 이 단계는 첫 번째 번개(IC 또는 CG)섬광이 발생하는 것이 특징으로, 첫 번째 운내(IC)섬광은 운내 특정 전하영역이 발생한 후에 나타난다.

(2) 그러나, 일부의 경우 첫 번째 IC방전과 첫 번째 CG 섬광 사이의 시간 지연을 명확히 할 수 없는 경우도 있다.
주) IC 섬광은 일반적으로 뇌우에 의해 생성된 총 번개활동의 대부분을 나타내며, IC/CG 율의 중요한 변화는 개별 폭풍우에 따라 달라진다.

6.1.3 3단계 : 성숙기 단계

이 단계에서는 CG 섬광과 IC 섬광 모두가 존재하는 것이 특징이다.

6.1.4 4단계 : 소실기 단계

이 단계는 IC 및 CG 섬광률이 감소하고 정전계가 정상 기상 수준으로 감소되는 특징을 갖는다.

6.2 뇌우 감지장치의 분류 및 그 특성

(1) 이 지침에서는 휴대용 장치(센서가 고정되지 않은 장치)는 적용하지 않는다(이러한 장치의 검교정 만으로는 유효한 경고를 하기에 충분하지 않을 수 있음).

(2) 뇌우 감지기는 감지 가능한 현상에서 감지 가능한 뇌우 단계에 따라 분류하나, 뇌우 감지기는 하나 또는 여러 개의 현상을 감지할 수 있다.

(3) 일반적으로 천둥 번개를 감지하는 방법에는 여러 가지가 있는데 그 중에 특별한 것이 번개를 감지하는 방법이다.

(가) 하나의 방법은 감지기가 작동하도록 설계된 뇌우의 위상을 보는 것이다.

(나) 또 다른 방법은 번개에 의해 방사되는 전자파의 주파수 범위를 센서가 감지 할 수 있는 주파수 범위와 비교하는 것이다.

(다) 세 번째 방법은 센서가 뇌격을 감지하고 그 위치를 계산하는 데 사용하는 기법이다.

(4) 뇌우 또는 뇌격 감지기의 등급은 다음과 같이 분류할 수 있다.

(가) A 등급 : 전체 수명주기에 걸쳐 뇌우를 감지한다(1 ~ 4 단계).

(나) B 등급 : IC 및 CG 섬광을 감지한다(2 ~ 4 단계까지).

(다) C 등급 : CG 섬광만 감지한다(3 단계 및 4 단계).

(라) D 등급 : 제한된 효율로 CG섬광(3단계) 및 기타 전자기발생원을 감지한다.

(5) 이 등급은 시스템의 효율과는 관련이 없다. 번개 감지에 사용되는 주파수 범위는 다음과 같다.

(가) DC : 정전계 및 준정전계

(나) VLF : 극 저주파수(3 ㎑ ~ 30 ㎑)

(다) LF : 저주파수(30 ㎑ ~ 300 ㎑)

(라) VHF : 고주파수(30 ㎒ ~ 300 ㎒)

(6) 이러한 모든 현상은 다양한 센서 및 위치 측정 결과를 필요로 하며, 이러한 기술은 다음과 같이 구분할 수 있다.

(가) MDF : 자기방향찾기(magnetic direction finder)

(나) TOA : 도달시간(time of arrival)

(다) RFI : 무선주파수 간섭계(radio frequency interferometry)

(라) FSM : 전계강도 측정기(field strength meter)

(마) RF : 무선주파수 신호강도 측정(radio frequency signal strength measurements)

(7) <표 1>은 감지기가 작동 할수 있는 주파수 범위와 이러한 감지기의 위상, 등급 및 일반적인 작동 범위 간의 연결 관계를 나타낸다.

<표 1> 번개 감지기의 특성

기 술	감지 가능한 물리적 현상	주파수	단계	주등급	중간 등급	일반 센서 범위(㎞)	적용
FSM	대전 과정	DC	1, 2 3, 4	A	-	20	단거리 조기 경고 시스템
MDF	전하 이동	VLF	2, 3	C	B	제한없음	낮은 검출 효율 및 위치 정확도 - 장거리 검출
MDF, TOA	전자기방사(번개 전류)	LF	2, 3	C	B	600~900	장거리 - CG감지를위한 높은 위치정확도, IC 과정 일부 감지
TOA	절연파괴 및 선 행 과 정 (IC/CG)	VHF	2, 3	B	C	200	중간 범위 - CG 및 IC 모두 높은 위치 정확도
RFI	절연파괴 및 선 행 과 정 (IC/CG)	VHF	2, 3	B	C	300	중간 범위 - CG 및 IC 모두 높은 위치 정확도
RF	전자기방사 (번개 전류)	LF	3	D	-	100	기상학적
주등급(main class) 감지기의 설계 등급, 2차 등급은 센서가 적합한 등급							

(8) TWS는 감지범위(일반적으로 수 ㎞ 에서 500 ㎞ 이내)에 따라 분류할 수 있다.

6.3 경보 방식

6.3.1 일반 사항

(1) 사용자가 가능한 모든 예방 조치를 취할 수 있도록 뇌우경고시스템(TWS)은 번개관련 이벤트(LRE)가 위험을 줄 수 있는 대상 지역에 대한 경보를 발해야한다.

(2) LRE의 식별은 해당 시스템 응용프로그램.에서의 위험상황으로 부터 판단하며, 경보는 CG 및 IC 중 하나 또는 둘 모두의 번개활동의 모니터링은 물론 그 지역(MA)의 정전계와 같은 기타 파라미터로부터 도출될 수도 있다. 일반적으로는 추가 기상관측 자료(예, 기상 레이더)와의 조합이 사용된다.

(3) 매핑정보(번개 감지 네트워크, 레이더 등)를 제공 할 수 있는 감지시스템의 경우, 잠재 위험 뇌우 셀을 추적하여 TWS의 성능을 향상시킬 수 있다.

(4) 경보설정에는 다음의 세 단계를 포함하며, 이들 모두를 문서화하여야 한다.

(가) 지역정의(areas definitions)

(나) 경보 트리거링 기준(alarm triggering criteria)

(다) 경보 전달(alarm information delivery)

6.3.2 지역

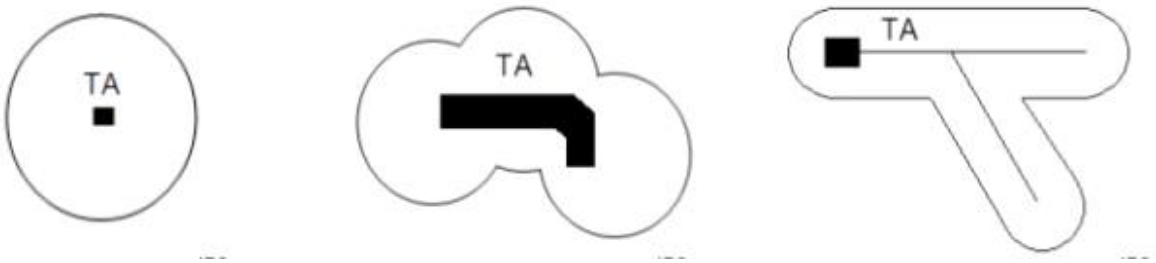
6.3.2.1 대상지역(TA)

(1) 지역에 대한 명확한 기술에는 경고를 필요로 하는 실제적인 범위를 포함하도록 한다. 대상지역이 일정 규모의 공장이나 확장될 수도 있고(예로 대형 건물, 풍력발전소, 골프장 (<그림 14 b)> 참조) 등), 작업자가 일하는 탑과 같은 한 점이 될 수도 있다(<그림 14 a)> 참조).

(2) 그러나 안전상의 이유로 더 넓은 영역을 선정하는 것이 좋다. 많은 경우, 번개관련 이벤트(LRE)를 CG 섬광의 발생으로 제한하는 것이 더 쉬워 보일 수 있으므로 가능한 모든 유도효과를 고려하기 위해 대상 지역의 크기와 모양을 조정할 필요가 있다. 예를 들어, 전원선의 과전압에 민감한 시스템을 설치하거나 현장뿐만 아니라 전력선 및 그

주위를 포함하는 대상 지역에 CG 섬광을 설정할 수 있다 (<그림 14 c)>).

(3) 이 대상지역에서 발생하는 각 CG 섬광은 과전압을 유발할 수 있는 번개관련이벤트(LRE)로 간주한다. 따라서 대상지역은 번개관련이벤트(LRE)의 유형과 그것이 야기할 수 있는 영향에 따라 달라진다(7. 참조).



a) 하나의 점 b) 임의 모양 c) 대상 지역

<그림 14> 다양한 대상지역 형태의 예

6.3.2.2 주위지역(SA)

(1) TWS 평가과정에서 경보의 효율성을 확인하기 위해 <그림 15>와 같이 대상지역을 포괄하는 주위지역을 포함하는 것이 바람직하다.

(2) 대상지역에서 LRE이 보이지 않더라도 경고가 수신되는 경우, 대상지역의 이웃(주위지역의 정의대로)에서 LRE가 발생하면 위험이 높다는 것을 나타내며 이 상황을 경보실패(FA)로 처리해서는 안된다.

(3) 한편, LRE가 기록되지 않음에도 대상지역에 경고가 수신되는 경우는 장비의 오작동을 분명히 나타내고 경보실패(FA)로 취급하도록 한다.

(4) 또한, 주위지역(SA)을 도입하는 경우, 유효데이터의 제한된 위치 정확성(LA)을 고려하도록 한다.

6.3.2.3 모니터링 지역(MA)

모니터링 지역의 크기와 모양은 TWS의 유형, 그 성능을 참조하여(감지효율과 위치 정확도 등), 대상지역의 모양, 경보시스템의 목적 및 성능에 따라 조정하도록 한다.



<그림 15> CA, MA, TA, SA의 분포 예

6.3.2.4 포함 영역(CA)

(1) 모니터링 지역이 정의되면, 감지시스템은 이 영역을 포함하는 포함 영역(CA)을 가져야 한다.

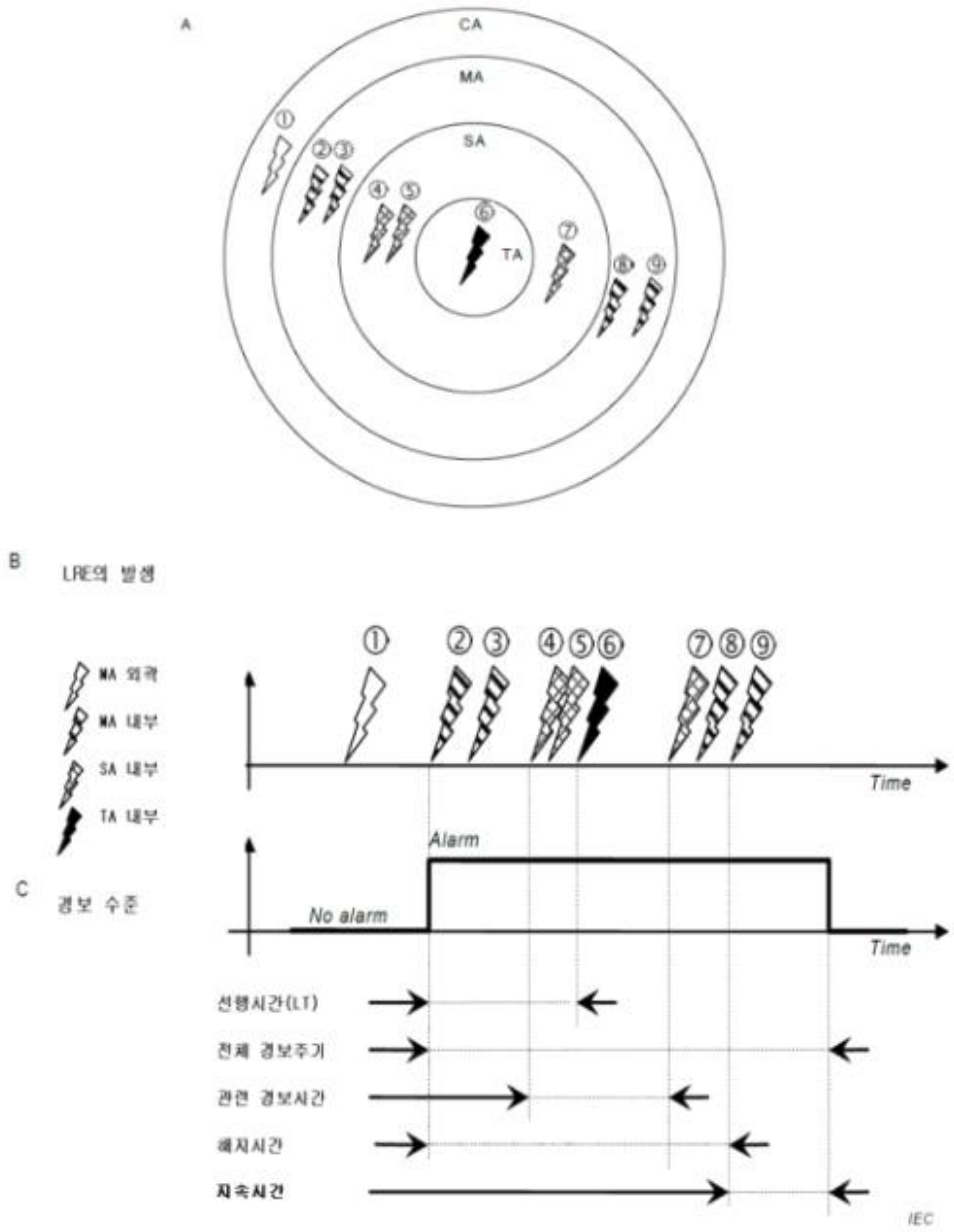
(2) 포함영역(CA)이 대상지역에 대한 신뢰성 있는 경고를 하기 위해 필요한 전체 모니터링 지역을 포함하지 못하는 경우, 몇 개의 기본 시스템을 병렬화하는 것이 필요하다.

(3) 모니터링 지역의 범위 내에서 감지시스템의 감지효율 및/또는 위치 정확도는 알고있어야하며 경보 성능에 미치는 영향을 고려하여야 한다. 일반적으로 감지 네트워크의 경우 MA = CA이다.

6.3.3 경보 트리거링

(1) 일반적으로 TWS가 제공하는 모니터링 정보가 모니터링 지역 내에서 감지되면 경보가 발한다.

(2) 트리거링 기준은 TWS의 특성과 모니터링 지역(MA) 내에서의 성능에 따라 결정되어야한다(예, 하나 또는 다수의 CG 섬광, IC 섬광, 정전계의 크기, 정전계 극성 및 일부 기준의 조합 등). 경보의 시간 예를 <그림 16>에 나타내었다.



<그림 16> 경보의 예

(3) 선행시간(LT)은 대상지역의 첫 번개관련이벤트(LRE)가 발생하기 전 예방조치가 가능한 시간을 말한다.

(4) 경고수준을 자주 바꾸지 않으려면, 번개경고시스템은 경보기준이 더 이상 충족되지 않더라도 경보를 지속하기 위해 지속시간(DT)을 가져야 한다. 지속시간의 설정값이 지나치게 크게 되면, 해지시간(TTC)도 크게 상승되므로 경보비용이 증가할 수 있다(적용에 따라 다름).

(5) 모니터링 지역(예, A등급 전계강도 측정기(FSM)시스템)에서 번개 섬광이 보이는 것 이외의 방법으로 경보의 끝을 정확하게 감지 할 수 있는 시스템은 경보를 해지

하는 지속시간에는 사용할 수 없지만 이 경보 종료 상태는 알려줄 수 있다.

(6) 전체 경보지속시간은 경보트리거와 지속시간 종료 사이의 간격에 해당한다.

6.3.5 경보 정보 전달

(1) 먼저 최종 사용자가 경보정보를 올바르게 수신할 수 있도록 명확한 경보 전달 절차와 프로토콜을 정의하도록 한다.

(2) 뇌우 감지기 및 통신 링크의 오류를 모니터링하고 경보의 가용성과 품질에 영향을 줄 수 있는 모든 감지된 오류를 최종 사용자에게 알리는 것이 필요하다.

6.4 설치 및 정비

(1) 뇌우 감지기 설치는 제조자의 지침에 따르되, 환경에 의한 장애가 가장 적게 받는 최적의 조건으로 설치하여야 한다. 이를 위해 시스템의 센서를 현장의 특정 조건에 맞추기 위해 제안된 위치에 대하여 사전 검토가 필요하다.

(2) 뇌우 감지기의 설치는 여러 요인의 영향을 받기 쉽기 때문에 새로운 설치는 최적의 수준에서 작동하는 것으로 간주되기 전에 사전 조정 기간이 필요할 수 있다. 이 조정은 시스템 제조자 또는 이 제조자가 승인한 기술자가 수행하여야 한다.

(3) 경보전달이 포함된 통합된 TWS의 정비는 꼭 필요하다. TWS가 제공하는 정보의 정확성은 센서의 물리적 조건, 환경(예, 초목, 건물, 타워 등), TWS와 최종사용자 사이의 센서와 TWS 사이의 통신 링크에 의해 직접 결정된다. 따라서 제조자의 권고에 따라 정비작업을 매년 또는 그 이내 주기로 수행하도록 한다.

(4) 이러한 모든 설치 및 정비 권고사항은 성공적인 경고 시스템의 핵심 요소이다.
주) 정비작업에는 청소, 매개변수 재조정, 양호한 작동 확인, 통신 기능 등이 포함된다.

6.5 경보 평가

6.5.1 일반

(1) TWS의 작동을 평가함으로써 매개변수를 최적화하고 이어서 품질과 신뢰도를 향상시킬 수 있고, 이는 경보를 최종 사용자에게 보다 더 적합하게 할 수 있다.

(2) 성능평가 결과는 향후 경보 설정, 예방조치 개선에 매우 중요한 정보를 제공하고 대상 지역 번개 환경에 대한 지식도 높이게 되므로, 설치자가 평가절차를 설정하는 것이 바람직하다. 이 단계에서 사용자는 특정 경보설정 중에 사용 가능한 이전 경험 (예, 경보횟수, 경고 실패, 경보 실패, 손상)에 대한 정보를 제공해야 한다.

(3) 평가는 유효성 확인 정보의 가용성에 따라 다음과 같이 여러 방법으로 수행할 수 있다.

(가) 시험된 장치보다 더 나은 정확도로 다른 정보원과의 상관관계 : 다른 번개 위치 시스템, 기상 레이더, 위성 등의 데이터

(나) 정교한 경고에 유용한 모든 정보를 기록할 수 있는 시스템의 저장된 데이터 처리 이것이 경보 매개변수의 설정을 미세하게 조정하고 확인하는 유일한 방법이다.

(다) 경험 : 기후, 지역 관측, 비현실적인 경보 지속시간 등

(4) 특정 TWS의 주요 성능 데이터는 다음과 같다.

(가) 관찰된 전체경보 수 (FA + EA) 대비 경보실패 수(FA)의 경보실패율(FAR)

$$FAR = \frac{FA}{FA + EA} \text{----------식(3)}$$

(나) 예상되는 총경보 수(FTW + EA)에 대비 경고실패 수(FTW)의 비율로 결정된 경고실패율(FTWR)

$$FTWR = \frac{FTW}{FTW + EA} \text{----------식(4)}$$

(다) 선행시간(LT) 분포

(라) 해지시간의 분배(TTC)

(5) <표 2>는 유효경보(EA), 경보실패(FA) 및 경고실패(FTW)의 계산방법을 요약한 것이다.

<표 2> 우발사고 조견표

사건	LRE가 SA에서 발생	LRE가 SA에서 발생하지 않음
알람이 울렸을 때	EA	FA
알람이 울리지 않았을 때	FTW	-

(6) TWS의 성능을 향상시키기 위해 조정할 수 있는 주요 매개변수는 다음과 같다.

(가) 모니터링 지역(MA)의 경보 트리거 기준

(나) 모니터링 지역(MA)의 크기와 모양

(다) 지속시간(DT)

(7) 매개변수의 변경은 항상 다음과 같은 현상이 나타난다.

(가) 모니터링 지역(MA)이 증가되면, 경보 수와 선행시간(LT)이 증가되고 경보실패율(FAR) 및 해지시간(TTC)도 함께 증가된다.

(나) 모니터링 지역(MA)을 줄이면 경고실패율(FTWR)은 증가하지만 경보실패율(FAR)과 선행시간(LT)은 감소 할 수 있다.

(다) 트리거링 기준의 민감도를 높이면 경고실패율(FTWR)은 줄고 선행시간(LT)이 증가되겠지만 경보실패율(FAR)을 증가될 수 있다.

(라) 지속시간(DT)을 줄이면 해지시간(TTC)은 줄어들지만 (인위적으로) 경보 수가 증가하는 경향이 있다.

6.5.2 번개위치 데이터를 이용한 TWS 평가

(1) 번개위치 데이터는 감지효율(DE)과 위치 정확성(LA) 측면에서 거의 모든 곳에서 다양한 소스(번개 감지 네트워크, 위성 관측 등)로 사용할 수 있다.

(2) 이 데이터는 주어진 감지효율(DE) 및 위치정확성(LA)으로 인한 제한을 염두에 두고 TWS의 성능을 평가하는 데 사용될 수 있다. 사실, 유효성 검사데이터 세트의 빈약한 감지효율(DE)은 경보실패율(FAR)을 인위적으로 증가시키는 경향이 있다.

6.5.3 아카이브 데이터(archived data)를 처리하여 TWS 미세 조정

(1) 일부 TWS는 경고 매개변수를 최적화하는 데 사용할 수 있는(장기간 수집된) 원시 데이터(번개 위치, 전기장 등)를 저장할 수 있다. TWS(저 경고실패율, 긴 선행시간 등)의 목표성능에 따라 경고 매개변수(모니터링 지역의 크기 및 모양 및 트리거링

기준)가 조정될 때 원하는 측정 항목의 민감도를 점검할 수 있다.

(2) 전계강도 측정(FSM)을 기반으로 하는 TWS의 경우, 조정 가능한 유일한 매개변수가 트리거링 기준이다. 실제로 이 경우 모니터링 지역(MA)의 크기와 모양이 포함영역(CA)과 확실하게 병합된다. 따라서 최적화는 임계 값, 전계변화 분석, 마루 값 감지 등으로 구성되며, 이를 위해 아카이브 데이터에 대해 충분한 시간 결단이 필요 하다.

(3) 번개 감지 네트워크를 기반으로 하는 TWS의 경우, 최적 성능을 달성하기 위해 트리거링 기준뿐만 아니라 모니터링 지역(MA)의 크기와 모양을 조정할 수 있다.
주) 일부 TWS에서 MA 조정이 불가능한 경우도 있다.

7. 폭발위험장소에서의 낙뢰시스템

7.1 일반사항

(1) 직격뢰의 경우, 뇌격점을 제외한 부분이 녹거나 비산되는 영향이 없도록 피뢰시스템을 설계하고 설치한다.

(2) 피뢰시스템 설계자/시공자는 고체 폭발성 물질을 취급하거나 저장할 지역 및 폭발위험장소를 적절하게 표시한 공장, 건축물 등 산업시설의 도면을 준비한다.

7.2 접지

(1) 폭발 위험성 물질을 저장하는 구조물에 사용하는 모든 피뢰시스템의 접지시스템은 B형(매시형, 구조체형, 보링형, 탄소봉형) 접지전극 배열이 바람직하다. 금속 저장탱크의 경우 B형과 등가인 접지전극으로 환상도체를 설치해도 좋다.

(2) 고체 폭발 물질과 폭발 혼합물을 저장하는 구조물의 접지저항은 가능한 한 작아야 하며, 10 Ω 이하가 좋다.

7.3 고체 폭발성 물질을 저장하는 구조물

(1) 고체 폭발성 물질을 저장하는 구조물을 위한 피뢰시스템은 용기 내 저장하는 물질의 폭발 위험도를 고려한다. 예를 들면, 일부 둔감한 대량의 폭발성 물질은 추가적인 고려를 하지 않아도 된다. 그러나 급격하게 변화하는 전계나 뇌임펄스에 민감하게 반응하는 폭발성 물질도 있으며 이러한 경우 추가 본딩 또는 차폐요건을 충족시키는

것이 필요하다.

(2) 고체 폭발성 물질을 저장하는 구조물에 대해서는 분리된 외부 피뢰시스템이 바람직하다. 두께 5 ㎜ 강철 또는 7 ㎜의 알루미늄 외피로 둘러싸인 구조물은 자연적 구성부재 수뢰시스템으로 해도 된다.

(3) 서지보호장치는 폭발성 물질의 있는 모든 장소의 외측에 배치한다. 폭발성 물질이나 더스트에 노출된 장소의 내측에 배치된 서지보호장치는 방폭형 또는 방폭형 외함에 내장하는 것이 좋다.

7.4 폭발 위험지역을 포함하는 구조물

7.4.1 일반사항

(1) 외부피뢰시스템(수뢰부와 인하도선)의 모든 부분은 가능하면 위험지역으로부터 최소한 1 m 이상 이격하여야 한다.

(2) 1 m 이상 이격할 수 없는 경우 위험구역의 0.5 m 이내를 통과하는 도체는 접속점이 없거나 압축 접속부품을 사용하거나 용접으로 접속한다.

(3) 서지보호장치는 위험구역 바깥에 설치해야 한다. 위험구역 안쪽에 설치된 서지보호장치는 설치된 위험구역에서 사용할 수 있다는 승인을 받거나 외함에 내장시킨다. 서지보호장치를 내장한 외함은 사용조건을 충족하는 승인을 받아야 한다.

(4) 절연체로 간주되는 목재나 플라스틱 등의 재료가 젖었거나 오염된 경우, 많은 전류가 흘러 위험하거나 치명적인 감전재해를 유발할 수 있다.

7.4.2 2종 장소와 22종 장소를 포함하는 구조물

2종 장소와 22종 장소로 정의된 구역에 있는 구조물은 보조적인 보호대책이 필요하지 않다. KSC IEC 62305-3 표 3의 요건을 만족하는 재료와 두께의 금속(예를 들면, 2종 장소와 22종 장소를 포함하는 지역에 있는 옥외기둥, 반응기, 컨테이너)으로 만들어진 생산설비의 경우는 다음과 같이 적용한다.

(1) 수뢰부와 인하도선은 필요하지 않다.

(2) 생산설비는 KSC IEC 62305-3의 5.4에 따라 접지한다.

7.4.3 1종 장소와 21종 장소를 포함하는 구조물

1종 장소와 21종 장소로 정의된 구역에 있는 구조물에는 2종 장소와 22종 장소의 요건에 다음 사항을 추가로 적용한다.

(1) 배관계통에 절연부품이 있으면 폭발방지용 절연방전갭을 사용하여 과도한 방전을 피할 수 있다.

(2) 절연방전갭과 절연부품은 폭발위험장소의 바깥에 설치한다.

7.4.4 0종 장소와 20종 장소를 포함하는 구조물

(1) 0종 장소와 20종 장소로 정의된 구역에 있는 구조물에는 7.4.3의 요건을 적용하고 보충적으로 가능한 한 이 조항에 주어진 권장사항을 보충적으로 적용한다.

(2) 피뢰시스템과 다른 설비/구조물/기기 간 피뢰 등전위 접속이나 방전갭을 이용한 피뢰 등전위 접속은 시스템 운영자의 동의를 얻어 시행하여야 한다.

(3) 0종 장소와 20종 장소로 정의된 구역의 옥외설비는 1종 장소, 2종 장소, 21종 장소, 22종 장소의 요건에 다음과 같은 사항을 추가적으로 적용한다.

(가) 가연성 액체를 저장하고 있는 탱크 내부의 전기기기는 이 용도에 적합한 것이 좋다.

(나) 뇌격이 입사할 수 있는 지점의 0종 장소와 20종 장소로 정의된 지역 내의 강철제 밀폐컨테이너는 최소한 5 ㎜ 두께의 벽으로 만든다. 두께 5 ㎜ 이하인 경우는 수뢰장치를 설치한다.

7.5 특수한 장소의 적용

7.5.1 배관계통

생산시설 바깥에 있는 지상 금속 배관계통은 30 m 마다 접지시스템에 연결시키거나 또는 표면접지전극이나 접지봉으로 접지한다. 가연성 액체 수송을 위한 장거리 배관에는 다음 사항을 적용한다.

(1) 배관계통이 송전철탑 탑각(Tower footings)이나 철탑 접지와 근접하여 지나거나 고장

전류 또는 낙뢰전류의 위험이 있는 지역에서는 이로 인한 위험에 대하여 보호될 수 있어야 하며, 절연조인트에 대한 보호조치가 마련되어야 한다.

(2) 양수부, 활강부와 유사설비에서 금속외장 배관을 포함한 모든 인입배관은 최소 단면적 50 ㎟인 도선으로 교락시킨다.

(3) 연결도선은 특히 용접된 돌출부(lug)나 자동으로 풀리는 나사로 인입배관의 플랜지에 안전하게 접속한다.

(4) 배관의 절연부는 방전갭으로 교락시킨다.

(5) 절연방전갭의 성능은 KSC IEC 62561-3:2012에 따른다.

7.5.2 저장탱크

(1) 가연성 기화 물질을 제조할 수 있는 액체의 저장 또는 가연성 기체의 저장에 사용되는 구조물의 형태는 근본적으로 자체적으로 보호되며(방전갭이 없고 두께 5 ㎜ 이상의 강철이나 7 ㎜ 이상의 알루미늄의 연속성이 있는 금속제 용기 내에 모두 들어가도록 한다), 추가적인 보호가 필요하지 않다.

(2) 분리된 탱크 혹은 용기는 가장 큰 용기의 지름에 따라 다음과 같이 접지한다.

(가) 20 m까지: 1회

(나) 20 m 이상: 2회

(3) 저장탱크가 밀집한 지역의 탱크는 가장 큰 지름에 관계없이 상호 연결한다.

7.5.3 부동성(浮動性) 지붕으로 된 탱크(Floating roof tank)

7.5.3.1 션트

(1) 션트는 탱크 외피와 부동성 지붕 간에 가급적 짧은 경로를 이루도록 하고 부동성 지붕 주위를 따라 최소한 3 m 이하의 간격으로 설치하여야 한다.

(2) 션트는 단면적 20 ㎟ 이상, 최소 폭 51 mm 의 스테인레스 강 또는 이와 동등 이상의 재질로 한다.

(3) 션트와 단자의 접속은 30년 이상의 수명을 가진 충분한 가요성과 내식성의 재질로 한다.

7.5.3.2 바이패스 도체

(1) 바이패스 도체는 장시간 뇌격전류를 흘리는 도체로 사용된다.

(2) 바이패스 도체는 탱크 외피와 부동성 지붕의 탱크 간을 적절한 개수로 전기적으로 직접 연결하여야 한다.

(3) 바이패스 도체의 양단 저항이 0.03 Ω 이하가 되도록 한다. 또 부동성 루프의 최대 이동 움직임을 가능하도록 하는 최소 길이로 한다.

(4) 바이패스 도체는 탱크 둘레에 최소 2개 이상 간격 30 m 이하로 설치한다.

7.5.3.3 게이지와 가이드 폴의 절연

부동성 지붕으로 관통하는 게이지류나 가이드 폴 또는 구성품은 부동성 지붕과 전기적으로 절연되어야 한다. 절연전압은 1 kV 이상이 되어야 한다.

7.5.3.4 유지보수

모든 본딩과 접지 부속품은 KSC IEC 61557-4에 따라 유지되고 보수되어야 한다.

7.5.4 주유소 등

2종 장소와 22종 장소로 정의된 폭발위험장소의 자동차, 철도, 선박 등의 충전소에 있는 금속배관은 접지한다. 궤도전류, 표유전류, 전기열차 퓨즈, 음극부식방지시스템 등을 고려하는 경우(필요하다면 위험한 구역에 설치하는 것이 승인된 절연방전갭을 통해서) 배관계통을 강철제 구조물과 레일에 접속한다. 전기철도 선로의 한 용기에서 다른 용기에 채우는 충전소(decanting station)는 국가표준에 따른다.

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2025. 2. 3.

○ 개정자 : (사)고경력과학기술연우총연합회 최상원

○ 개정사유 : 법령 개정에 따른 현행화

- 유사 주제인 낙뢰 및 피뢰 관련 규정 통폐합 : E-83-2011(개정), E-126-2012(폐지), E-175-2018(폐지), E-176-2018(폐지)

기술지원규정명	정비구분
피뢰시스템의 리스크 관리에 관한 기술지침	통폐합 (개정)
폭발위험장소 구조물의 피뢰시스템에 관한 기술지침	통폐합 (폐지)
옥외작업자의 낙뢰피해감소대책에 관한 기술지침	
뇌우경보시스템 설치에 관한 기술지침	

○ 주요 개정내용

- 「피뢰시스템에 관한 기술지침」으로 통합
- 중·소규모 사업장에서 활용할 수 있도록 피뢰시스템의 리스크 평가, 설계 및 관리에 대한 내용 구성 변경
- 한국산업표준(KS C IEC 62713, KS C IEC 62305-3)과 비교하여 내용 현행화

□ 재공표 : 2025. 3. 26.

○ 기술지원규정 영문 명칭(KSH-GUIDANCE→KOSHA GUIDE)으로 재공표

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : B-E-1-2025
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2025. 3. 26.