

낙뢰보호를 위한 접지시스템의 설계기법에 관한 연구

1995. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

목 차

요 약 문	3
1. 서 론	5
1.1 연구배경	5
1.2 연구목표와 범위.....	6
1.2.1 연구목표	7
1.2.2 연구범위와 내용	7
2. 낙뢰현상의 이론적 고찰	8
2.1 뇌운과 뇌방전 특성	8
2.1.1 뇌운의 발생	8
2.2.2 뇌방전 특성	9
2.2 낙뢰의 전기적 특성.....	12
2.3 우리 나라의 뇌우현황.....	13
3. 낙뢰전류와 뇌격거리 및 보호범위	15
3.1 낙뢰보호에 대한 개념.....	15
3.2 낙뢰전류와 뇌격거리	18
3.3 낙뢰전류와 보호각 및 보호범위	21
3.4 건축물과 보호효과	24
3.4.1 건축물 높이와 보호효과	24
3.4.2 근처 건축물과의 관계	27

4. 낙뢰보호를 위한 접지설계	30
4.1 낙뢰가 접지시스템에 미치는 영향	30
4.1.1 전위상승과 전위차 및 유도전압	30
4.1.2 낙뢰가 지중매설선에 미치는 영향	34
4.2 외부피뢰를 위한 접지설계 기법	37
4.2.1 피뢰방식의 특징을 고려한 적용	37
4.2.2 돌침부	40
4.2.3 수평도체	43
4.2.4 피뢰도선	45
4.2.5 피뢰도선과 근처 물체와의 이격 및 금속체 접지	47
4.2.6 접지극	48
4.2.7 건축구조 금속체, 건축설비 등의 이용.....	49
4.2.8 독립피뢰침, 가공지선 또는 케이지	51
4.2.9 위험물 관련 건축물 피뢰설비	52
4.3 내부 피뢰를 위한 접지설계 기법.....	54
4.3.1 등전위화를 위한 접지설계	55
4.3.2 전력용 설비 보호를 위한 설계	58
4.3.2 약전용 설비 보호를 위한 설계	59
5. 결론 및 금후 과제	61
참고문헌.....	62

요 약 문

1. 제 목

낙뢰보호를 위한 접지시스템의 설계기법에 관한 연구

2. 연구기간

1995. 1. 1~1995. 12. 31

3. 연구목적

낙뢰 등으로 인한 전기적 과도상태시 접지시스템의 미비로 발생하는 전기설비 및 전기기계기구의 중대한 손상과 감전의 위험을 방지하기 위하여 안전을 고려한 접지시스템의 최적 설계기법을 개발하여 산업현장의 전기설비에서 예기치 못한 전기적 사고로 인한 재해를 방지하고자 함.

4. 필요성

전기로 인한 감전, 화재, 폭발 등의 재해를 방지하기 위한 안전한 조치는 접지를 시행하는 것이다. 발전소에서 전력을 수송하는 송배전선로 및 전기사용장소에 이르기까지 접지는 전기안전을 도모하기 위한 유용성 측면에서 안전의 기본이라 할 수 있다. 전력시스템에서 정상 또는 고장상태시 설비의 안전한 가동을 보장하고 전기적 과도상태에서의 전압을 안정화함과 동시에 낙뢰 등으로 인한 충격파를 대지에 흡수시키는 등의 역할을 들 수 있다.

그러나, 이러한 중요성에도 불구하고 안전을 고려하지 않은 설계, 시공 등으로 인하여 많은 문제점이 발생하고 있으나, 재해결과가 폭발사고 등처럼 대형화한 형태가 아니라는 측면에서 소홀히 인식되고 있다. 접지시스템을 구축하는 것은 전기적 재해를 예방하는 측면에서 선진국에서는 대단히 중요한 안전의 한 요소로 인식되고 있는 바 이에 대한 연구가 시급한 실정이다.

5. 연구내용

- 1) 낙뢰현상의 이론적 고찰
- 2) 피뢰설비의 보호범위 및 보호효과에 대한 국제규격을 중심으로 분석
- 3) 낙뢰로 인한 접지계통의 전위상승과 유도전압에 대한 완화대책 제시
- 4) 낙뢰방호를 위한 접지설계 기법 연구

6. 연구결과 및 활용계획

(1) 연구결과

- 1) 접지설계시 가장 중요하게 고려하여야 할 토양의 전기적 특성에 대한 계절 변화의 요소를 고려한 알고리즘을 반영한 접지설계 프로그램 개발
- 2) 낙뢰 및 뇌싸어지로 인한 접지 임피던스 변화와 이로 인한 접지계통의 전위상승 및 유도전압으로 인한 영향과 그 완화대책
- 3) 건축물에서의 뇌격시 방호 가능한 피뢰범위 설정에 대한 기준을 IEC 등 국제규격을 중심으로 분석
- 4) 낙뢰방호를 위한 건축물의 피뢰설비 및 접지시스템의 설계기법 제시

(2) 활용계획

- 1) 사업장 낙뢰방호 및 접지설계 지침으로 활용
- 2) 화학공장 등 위험물 관련 건축물의 낙뢰방호 평가기준으로 활용
- 3) 각 종 안전교육시 교육자료로 활용

1. 서 론

1.1 연구배경

일반적으로 전기로 인한 감전, 화재, 폭발 등의 재해를 방지하기 위한 안전조치는 접지를 시행하는 것이다. 발전소에서 전력을 수송하는 송배전선로 및 전기 사용장소인 말단 부하에 이르기 까지 접지는 전기안전을 도모하기 위한 유용성 측면에서 안전의 기본이라 할 수 있다. 다시 말하면, 전력시스템에서 정상 또는 고장상태시 설비의 안정적 가동을 가능하게 하고 전기적 과도상태에서 전압을 안정하게 함과 동시에 낙뢰 등으로 인한 충격파를 대지에 흡수시키는 등의 역할을 한다.

낙뢰와 접지시스템의 상관관계를 볼 때, 이미 잘 알려진 바와 같이 건축물이나 전기설비가 낙뢰를 받아서 파괴되거나 손상되기도 하고 인명이 감전 등으로 死傷되는 재해를 들 수 있다. 또, 배전선로나 근처의 낙뢰에 의해 배전선에 발생한 고전압 써어지가 건물내에 침입하여 재해를 일으키는 사고도 많이 발생하고 있다.

건축물에의 낙뢰에 대해서는 여러 나라에서 법이나 안전기준, 지침 등을 통하여 재해 방지를 도모하고 있다. 우리 나라에서도 KS 9609 건축물 등의 파괴설비(파괴침)에 대한 규격이 제정되어 있다. 한편, IEC(국제전기표준회의) TC 81(雷保護)에서 기술적인 검토를 토대로 1990년에 IEC 1024-1 “낙뢰에 대한 건축물의 보호: 제1편 일반원칙”이 발행되어 최신 낙뢰연구 데이터를 기초로 한 뇌보호에 대한 기본적 요구사항을 규정하고 있다. 또, 현재는 일반원칙을 기초로하여 구체적인 가이드 및 뇌써어지 방호지침 등에 관하여 기술적 심의를 계속하고 있다.

건축물에 파괴설비 및 접지를 시설하는 목적은, 뇌격을 들침 혹은 용마

루 위의 도체 등의 수뢰부에 받아, 뇌격전류를 피뢰도체를 통해서 안전하게 대지에 방류하는 것이다.

따라서, 적절히 설계, 시공된 피뢰설비가 있는 건축물에는, 뇌격에 기인하는 장애나 재해를 없애는 것이 목표이다.

일반 건축물내에는 수전설비, 전력배선과 전기기기, 통신배선과 통신기기 혹은 TV 월타 등의 도체, OA기기나 ME기기가 많고, 또, 최근에는 대형 전자계산기가 시설된 건축물도 많다. 이들 기기 및 배선의 도체는, 그의 기능상, 피뢰설비 규격 (KS C 9609)에서 규정한 일반 금속체같은 접지로는 불가능한 여러 복잡한 문제가 발생하고 있다.

즉, 이들 도체계에는 대지 및 배선간에 뇌격에 기인하는 전위차가 발생하고, 전력 인입선에서 낙뢰로 인한 과전압(뇌서지)이 진입하기도 하며, 2차적 재해 즉, 섬락, 단락, 설비기기의 손상, 감전 등이 발생할 우려가 있다. 또, 낙뢰시 건축물 자체에 전위차가 생겨서 예기치 않은 재해가 발생 할 수도 있다. 이러한 낙뢰에 기인하는 전위차나 진입 뇌서지는, 건축물이나 전력 인입선과 이에 접속되어 있는 전력선에의 낙뢰나 근처의 낙뢰시에 발생 하지만 그 양상은 건축물의 규모 및 옥내의 배선이나 전기기기의 상태에 따라 다르기 때문에, 경우에 따라 고려하지 않으면 안된다.

따라서, 본 연구에서는 낙뢰로 인한 상기의 전위차와 전압뇌서지 및 이에 대한 재해방지 대책을 접지기술적 측면에서 접근함으로써 낙뢰방호를 위한 접지설계기법을 제시하고자 한다.

1.2 연구목표와 범위

따라서, 본 연구는 이러한 우리 나라의 실정을 감안하여 다음과 같은 점에 연구목표를 두었으며, 연구의 범위와 내용은 아래와 같다.

1.2.1 연구목표

낙뢰보호를 위한 접지시스템 설계기법을 제시하고 이를 토대로 설계프로그램을 개발하여 사업장에 보급함으로써 전기안전을 도모하기 위한 기술적 토대를 마련하는 데 있다.

1.2.2 연구범위와 내용

최근, 정보화사회의 대두와 함께 접지기술은 종래의 대지를 대상으로 소요 접지저항을 얻기 위한 접지설계로는 한계에 이르러 있으며, 각 종 전자기기의 보급이 보편화됨으로서 낙뢰로 인한 과도상태시 일어나는 여러 장애해를 규명할 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 다음 사항을 연구주제로 하여 연구를 수행하였다.

1. 낙뢰 및 뇌싸여지로 인한 접지 임피던스 변화와 이로 인한 접지계통의 전위상승 및 유도전압으로 인한 영향을 고찰하였다.
2. 건축물에서의 뇌격시 방호 가능한 피뢰범위 설정에 대한 기준을 IEC 등 국제규격을 중심으로 분석하였다.
3. 낙뢰보호를 위한 건축물의 외부 및 내부피뢰를 위한 접지시스템의 설계기법을 제시하였다.

2. 낙뢰현상의 이론적 고찰

2.1 雷雲과 뇌방전 특성

2.1.1 雷雲의 발생

뇌운은 구름의 상층부에 차가운 공기가 존재하고, 하층부에 따뜻한 공기가 존재할 때 발생한다. 하층부의 따뜻한 공기는 상승기류가 되어 올라가는 구름이 되고, 상층부의 차가운 공기는 하강한다. 따뜻한 대기층의 상층부에 차가운 공기가 침입하는 경우나 태양열을 받아 지표면의 공기온도가 현저히 상승한 경우가 생긴다. 전자의 조건에 따라 발생한 뇌를 界雷 혹은 前線雷, 후자에 의하여 발생한 뇌를 熱雷라 한다. 우리 나라에서 여름철에 많이 발생하는 뇌는 양자의 조건이 겹쳐서 발생하는 熱的 界雷가 많다.

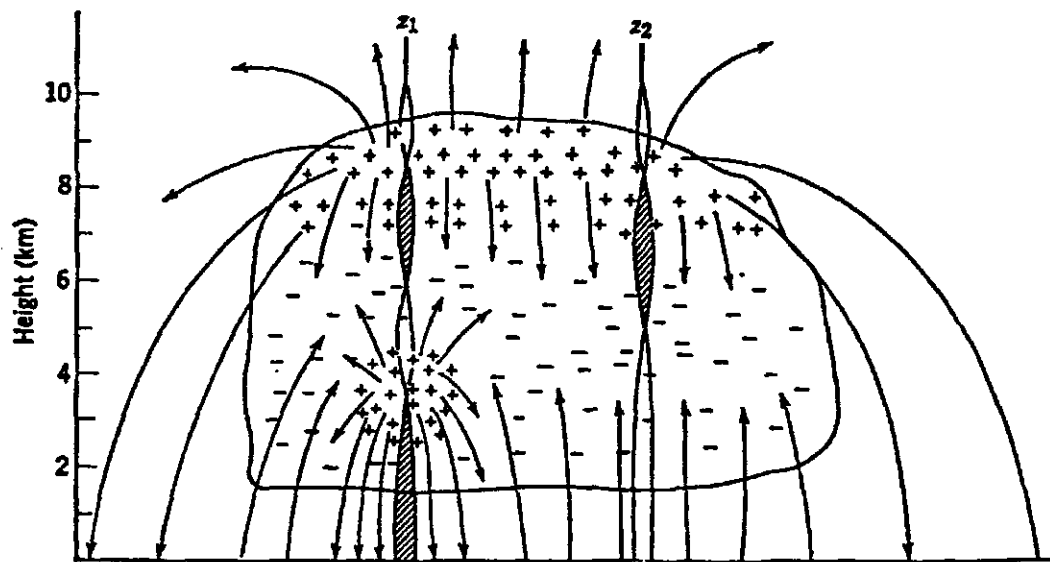


그림 2.1 雷雲의 電荷 分布

2.1.2 뇌방전 특성

뇌운가운데서 전하의 축적에 따라 구름내의 전기장도가 증가하고, 공기의 절연 파괴강도 이상에 도달하면 $\oplus$, $\ominus$ 電荷간에 불꽃방전이 발생하여 뇌방전을 일으킨다. 지금 뇌운내의 전하의 축적에 따라 바로 아래 지표면에는 雲低의 전하와 반대극성의 전하가 유기되므로 양자사이에는 전기장도가 증대되고 공기의 절연파괴 내력을 초과하면 불꽃방전이 발생하여 낙뢰를 일으킨다.

1930년대에 Schonland(英) 등이 회전카메라로 낙뢰 과정을 관측한 결과 그림 2-1과 같은 경과에 따른다는 것이 밝혀졌다. 이 그림의 (a)는 회전카메라에 의한 것이고 (b)는 이를 정지카메라로 촬영한 것이다. 각 뇌격은 구름으로부터 빛이 약한 선행방전이 발생하고 이것이 대지를 향하여 진전되어 이 先端이 대지에 접근할 때 대지쪽에서 상향하는 스트리머가 출발하고 양자가 결합된 대지에서 다량의 전하가 선행방전에 주입되는 이른바 주방전(主雷擊, 귀환뇌격)이 발생한다.

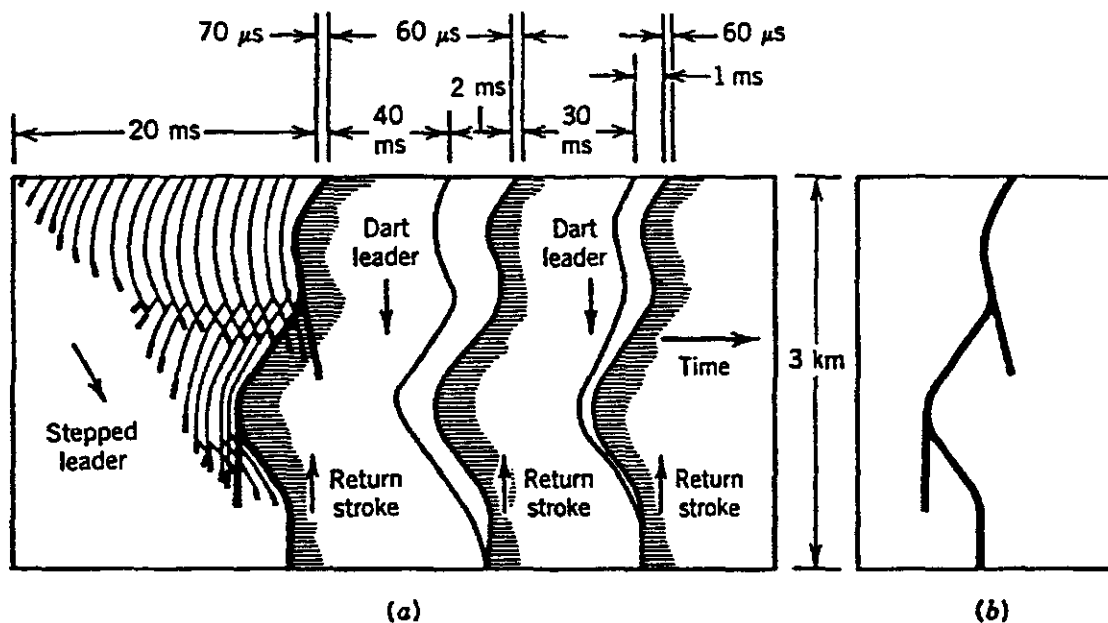


그림 2.2 낙뢰의 진전과정

처음에 뇌운으로 부터 대지로 향하는 선행방전은 단계적으로 진행하므로 보통 Step leader라 한다. 일반적으로 스텝리더는 그림 2.2의 正과 負사이에서 국부적인 절연파괴가 시작된다고 생각된다. 스텝리더는 50m 정도 진행하면 약 $50\mu s$ 휴지하는 과정을 반복하면서 대지에 접근한다. 구름과 대지간의 스텝리더의 평균 진전속도는 약 $1.5 \times 10^5 m/s$ 이다. 따라서, 진전거리가 3km이면 약 20ms 소요된다. 이와 같이 하여 스텝리더가 대지에 접근하면 리더위의 전하에 의해 지상의 전계는 상승하고 대지측의 여러 점에서 리더의 선단으로 향하여 상승하는 방전이 발생하기에 충분한 값이 된다. 상향 스트리머가 스텝리더의 선단과 결합하면, 리더의 선단 부근은 대지전위에 접속되어 나머지 선행방전로는 -전위로 대전된다.

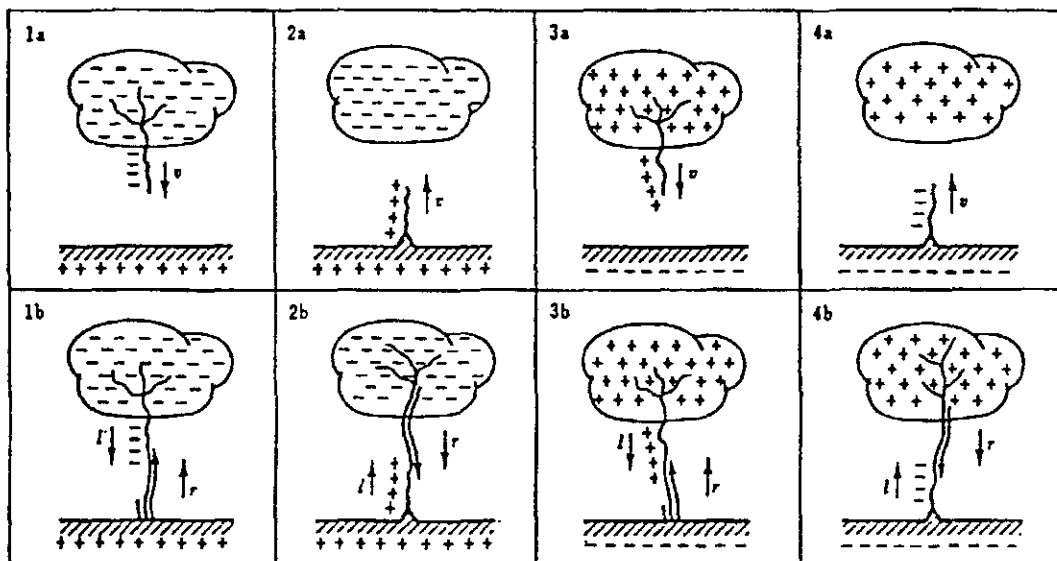


그림 2.3 낙뢰의 분류

〈표 2.1 뇌방전 특성〉

항 목		최 저	평 균	최 고
Step leader	스텝 길이(m)	3	50	200
	시간(μ s)	10	50	125
	스텝리더의 평균속도(μ s)	1.0×10^5	1.5×10^5	2.6×10^6
	전하(C)	3	5	20
矢形 리더 (Dart leader)	전파속도(m/s)	1.0×10^6	2.0×10^6	2.1×10^7
	전하(C)	0.2	1	6
주뇌격 (Return Stroke)	전파속도(m/s)	2.0×10^7	9×10^7	2.4×10^8
	전류峻度(제1뇌격)(kA/ μ s)	9.1	24	65
	파두장(μ s)	1.5	3.8	10
	파고치(kA)	1이하	35	200
	파미장(μ s)	10	40	250
	방전전하(C)	3	5	20
	방전로 길이(Km)	2	5	14
	연속전류 평균(A)	38	80	4800
	지속시간(ms)	3	150	300
뇌방전	Stroke 수	1	3	26
	Stroke시간 간격(ms)	3	40	100
	방전 계속시간(s)	10^{-2}	0.2	2
	방전전하	3	25	300

선행방전로는 주뇌격을 통하는 전송로로 작용한다. 주뇌격의 파두 즉, 고전계강도의 이온화된 파두는 스텝리더에 따라 개척된 방전로를 위쪽으로 전파한다. 주뇌격의 波頭 전파속도는 광속의 약 1/3~1/10 이고 따라서 전파시간은 수 μ s 이다. 주뇌격의 파두와 대지간에는 대전류가 흐르고 선행 방전로상에 분포된 $\ominus$ 전하는 주뇌격 아래의 고도전성 방전로를 통하여 대지로 하강한다. 대지에서 측정된 전류는 수 μ s 동안 10~20kA에 달하고, 20~60 μ s 동안 파두치의 1/2로 낮아진다. 이후에는 100A의 전류가 수 ms 계속된다. 그림 2.3은 뇌운의 극성, 리더, 주방전의 진전방향에 의한 낙뢰의 분류를 나타내고 있다.

이상으로 1회의 뇌격이 끝나게 되는데, 이때 구름에서 선행방전로의 맨 위에 전하가 공급되면 계속해서 제2의 뇌격이 발생한다. 이와 같은 뇌격을 다중뇌격이라 한다. 만일 전하공급이 주뇌격 종료후 약 100ms 이내에 이루어지면, 矢形리더가 앞선 뇌방전로를 따라 대지로 진행되어 대지에 도달하면 다시 제2의 주뇌격이 대지측에서 발생한다. 이 경우 리더의 평균 진행속도는 약 $2 \times 10^6 \text{ m/s}$ 이다. 이상의 뇌방전 특성을 정리하여 나타내면 표 2.1과 같다.

피뢰설비를 고려하면, 특히 중요한 것은 뇌격전류의 파고치, 다중뇌격의 경우 Stroke 수, 뇌방전 계속시간 등이다.

2.2 낙뢰의 전기적 특성

2.2.1 뇌전압

뇌전압이 얼마정도나 되는가라는 질문에 답하는 뒷받침되는 이론적인 것이나 실측 데이터는 없다. 몇몇 문헌에서 1억 내지 10억 V 라고 되어 있으나 근거가 확실히 있는 것은 아니다. 일반적으로 실험실에서 행한 球사이의 Gap의 방전전압은 1cm당 30KV이나 끝이 뾰족한 전극간의 방전전압은 이 값의 $1/2 \sim 1/3$ 가량이다. 지표면에 떨어진 뇌전압을 측정한 데이터는 많이 있는데, 특히 전력계통이라든가 전력기기의 절연내력을 어떻게 결정하느냐는 뇌전압으로부터 보호하는 의미에서 중요하므로 실측이 행하여지고 있다. 이에 의하면 수백만 V이상이나, 지표면에서의 실측에 의한 뇌전압이란 낙뢰 대상에 뇌격전류가 흘러 이 결과 낙뢰지점에 발생하는 전압이므로 실제의 뇌전압이라고 하기는 어렵다.

2.2.2 뇌격전류

낙뢰에 의해 큰 피해를 초래하는 것은 뇌격전류에 의한 것으로 파고값은 큰 것이 150KA, 보통이 20KA 정도인 것이 많다. 또 뇌격전류의 계속시간은 긴 것이 $100\mu s$ 정도이다.

2.2.3 전기량

전류와 계속시간의 곱이므로, 계산하면 $150 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-6} = 15 C$ 이 된다. 보통 1회의 뇌격에 의한 전기량은 0.2C에서 20C이다.

2.2.4 낙뢰시의 전력과 전력량

낙뢰점의 전압을 대략 계산하여 10,000KV 라 하자. 그러면 전력=전압×전류이므로 $1,000 \times 10^4 \times 8150 \times 10^3 = 1.5 \times 10^{12} W$, 즉 15억 KW로 굉장한 전력이 된다. 다음에 전력량을 계산해 보면, $1.5 \times 10^{12} \times 100 \times 10^{-6} / 3600 = 41.7 KWh$ 가 된다. 계속시간이 짧기 때문에 전력량으로 환산하면 이 정도는 큰 값이 아니라고 생각할 수 있다. 그러나, 이는 1회의 낙뢰에 의한 전력량이므로 여러 회 낙뢰를 일으키는 전력량을 계산하면 상당한 전력량이 된다.

2.3 우리 나라 雷雨 現況

현재 우리 나라에서 사용되고 있는 연간 뇌우일수는 한국전력공사에서 1968~1987년까지 20년간 작성된 IKL圖 (Iso Keraunic Level ; 연간 뇌우일수 분포도)에 의하여 일목요연하게 파악할 수 있다. 이에 따르면, 전국 139개 뇌관측소에서 조사한 20년간 평균 뇌일수는 11.0일이며, 표 2.2와 같다. 또, 같은 기간의 IKL도는 그림 2.4와 같다.

<표 2.2 낙뢰일수 (1968~1987)>

구분 \ 연도		20년(1968~1987)	
낙뢰일수	구분	IKL	지역
	최고	37	논산, 전주(85년), 35일:평택(68년) 서울(85년)
	최저	0~5	남해안 및 경남북 동해안
	평균	11	
지역별	多雷지역	경기도, 강원도 내륙지방, 충북지역	
분포	寡雷지역	남해안 일부, 경상도 내륙지역	
월별	분포	6~9월에 8.7일로서 전체의 79% 점유	

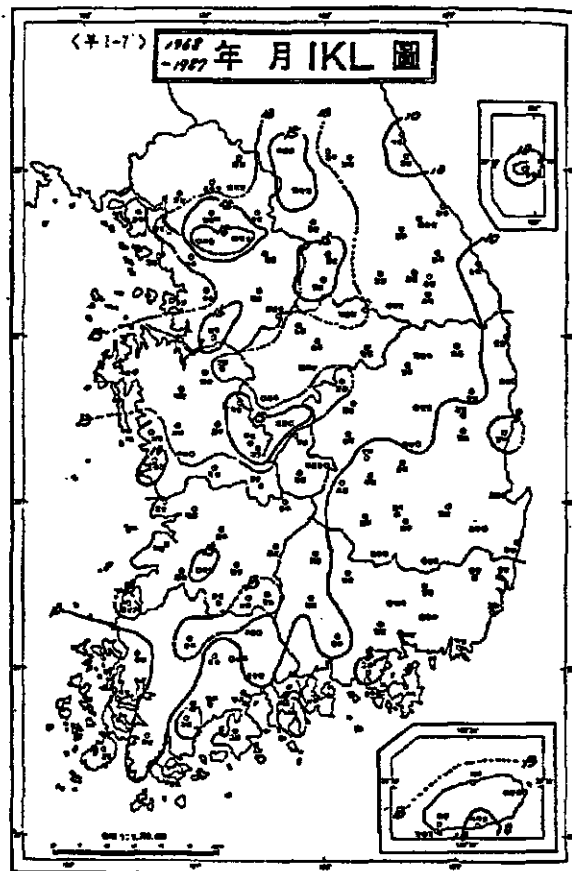


그림 24 우리나라 최근 20년간 IKL도

3. 낙뢰전류와 뇌격거리 및 보호범위

3.1 낙뢰보호에 대한 개념

낙뢰에 대한 피뢰설비의 보호범위에 대한 연구는 1950년대까지는 주로 뇌방전로의 사진관측, 실험실에서 모델시험을 동시에 한 것이었으나, 그 이후 여러 실험데이터가 축적되고 뇌격전류 발생빈도 분포, 뇌방전전하의 빈도분포, 뇌방전기구 등을 이용한 뇌방전의 진행에 대한 실험을 바탕으로 뇌격차폐에 대한 연구가 진행되었다. 연구의 초점은 뇌의 선행방전 진행에 있어 뇌격거리가 뇌격차폐에 큰 영향을 미치고 뇌격거리 자체가 뇌전류의 대소에 따라 변화한다는 개념이다. 연구의 초기단계에서는 가공지선을 대상으로 하여 뇌의 선행방전이 대상물이나 대지면에 가까이 가면 기중 절연파괴가 생기는 전계로부터 차폐범위가 뇌전류에 따라 변화하는 것이 밝혀졌다.

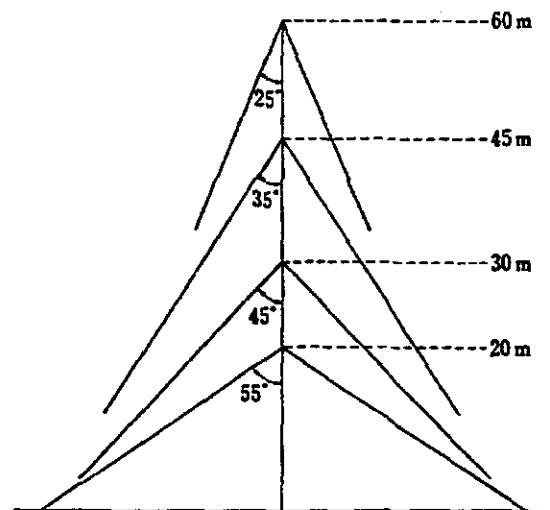


그림 3.1 돌침의 높이에 따른 보호각 변화

1960년대 후반에 H. R. Armstrong과 E. R. Whitehead는 가공지선의 뇌격차폐 범위는 뇌격전류의 크기에 따라 변화한다는 전제로 뇌격전류를 기초로 뇌격거리를 계산하여 차폐범위를 구하는 것을 제안한 이른 바 A-W이론을 발표하였으며, 이 이론이 지금까지 실무에서 적용되고 있다.

한편, 1982년부터 IEC (국제전기표준회의) TC 81에서는 건축물 등의 파괴설비에 대한 기술적 검토를 계속하고 있다. 주요내용은 ① 건축물 등의 뇌보호에 관계되는 외부파뢰(External Lightning Protection), ② 건축물 내부의 전기회로 및 뇌써어지 보호에 관계되는 내부파뢰(Internal Lightning Protection), ③ 접지설계를 포함한 뇌보호시스템 설계와 보수, 점검에 관한 것이다. 이 가운데 뇌격보호에 관계되는 ①에 대해서는 주로 뇌격거리를 고려한 회전구체법(Rolling Sphere Method)에 의한 뇌격보호 범위, 즉 보호범위의 평가검토가 진행되어 오고 있으며 이 검토안의 일례를 보면 다음과 같다.

그림 3.1은 돌침의 높이 H_p 에 의한 보호각의 취하는 방법을 바꾼 것으로 H_p 가 20m를 넘는 경우에는 그림에 나타난 바와 같이 2개의 보호각, 30m를 넘을 때는 3개의 보호각, 40m를 넘을 때는 4개의 보호각 조합에 의해 보호범위를 평가하고 동시에 구체적인 값도 대상물의 중요도(보호레벨)에 따라 변하는 것(표 3.1)이고 실제 적용은 상당히 복잡하게 된다.

그림 3.2는 회전구체법을 지금까지 적용할 때의 보호범위를 나타낸 예로서, 이 경우도 대상물의 보호레벨에 따라 球體의 반경 R 과 다른 값을 채택하고 있다. 현재까지 각종 연구를 바탕으로 실제 적용하는 개념과 방법을 나타내는 것이 목표이므로 현재 여러 나라에서 연구 검토되고 있다.

〈표 3.1 보호레벨에 의한 受雷部の 보호범위 (IEC 1024-1)〉

보호레벨	h(m) R(m)	20	30	45	60	메시 폭 (m)
		α (도)	α (도)	α (도)	α (도)	
1	20	25	*	*	*	5
2	30	35	25	*	*	10
3	45	45	35	25	*	10
4	60	55	45	35	25	20

* 회전구체법만 적용

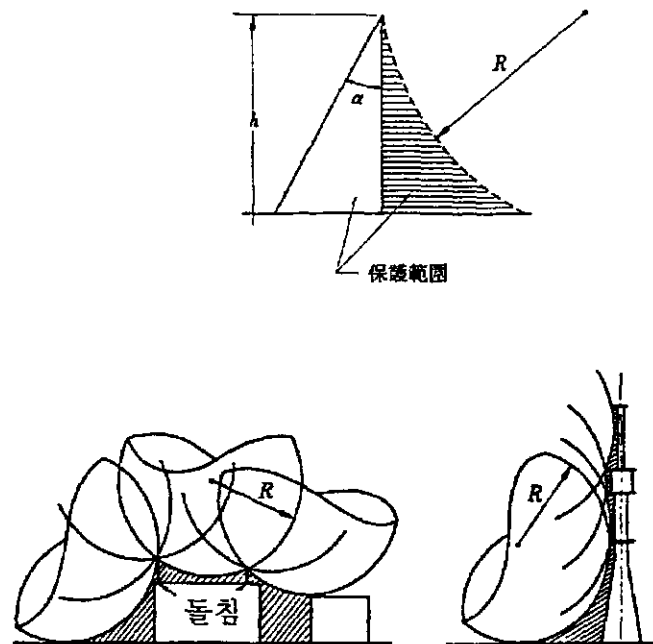


그림 3.2 회전구체법에 의한 보호범위

3.2 뇌격전류와 뇌격거리

낙뢰시 뇌격전류는 수 kA에서 200~300kA에 이르나 일반적으로 100kA 이하가 대부분이며 20kA이하의 것이 거의 50%를 차지하고 있다. 뇌격거리는 뇌전류와 직접적인 관계가 있는 것으로 피뢰설비 보호범위 결정에 중요한 요소가 된다. 뇌격거리에 대해서는 많은 연구결과가 있으며, 일반적으로 다음 식으로 나타낸다.

$$r_s = kI^n \quad (3.1)$$

r_s = 뇌격거리

I : 뇌격전류 k

n : 상수로서 연구자에 따라 약간 차이가 있으나, 보통 다음과 같이 나타낸다.

- ① $r_s = 6.72I^{0.8}$ (H. Armstrong, E. Whitehead)
- ② $r_s = 10I^{0.65}$ (K. Berger, J. G. Anderson)
- ③ $r_s = 3.31I^{0.78}$ (R. H. Golde의 연구데이터에서 도출)
- ④ $r_s = 10.6I^{0.51}$ (C. F. Wagner)

이 뇌격전류가 구체적으로 어떠한 값이 되는 가를 나타낸 것이 그림 3.3이다. (3.1)식의 k , n 값 및 뇌격전류의 크기에 따라 뇌격거리가 상당히 다르지만, 뇌격전류 누적빈도곡선의 중간값(50%) 약 20kA에 대해서 뇌격거리는 수십미터이고 대략 50m 정도로 보아 별 차이가 없을 것이다. 또, 뇌격전류 100kA인 경우 뇌격거리는 100m 이상으로 볼 수 있다. 이 뇌격전류는 대상물이 돌침이나 안테나 같이 그先端의 전계가 크게 되는 것과 대지면과 같이 비교적 평탄한 경우와는 다르다.

그림 3.4는 상기의 뇌격거리 개념으로 생각하여 피뢰설비의 높이 h 가 뇌격거리 r_s 보다 작은 경우와 큰 경우의 양자에 대해서 뇌격을 보호할 수 있는 범위, 즉 추정 보호범위를 예시한 것이다. 이는 선행방전의 선단이 대지에 접근한 경우를 상정하여 반경 r_s 인 球가 피뢰설비와 대지면에 접하도록 하여 보호범위를 추정하는 것으로 이 개념을 회전구체법이라 하며 유럽에서 광범위하게 이용되고 있는데, IEC TC 81에서도 이 개념에 대하여 현재 검토되고 있다.

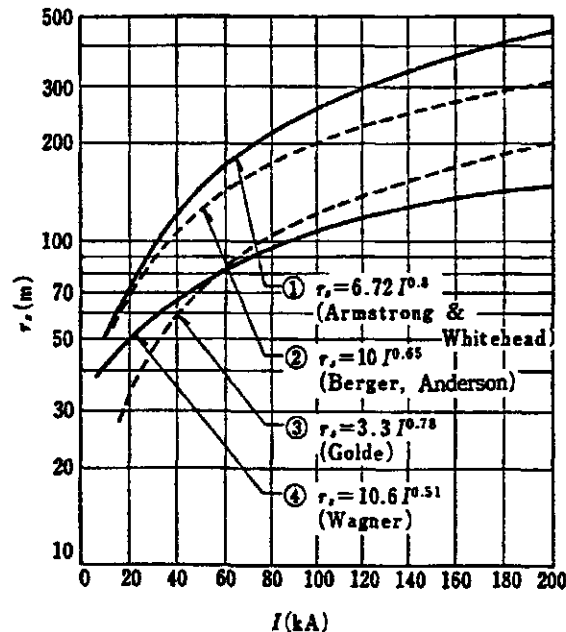
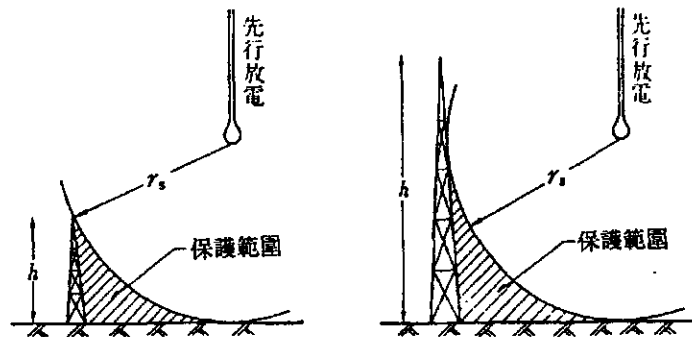


그림 3.3 뇌격전류와 뇌격거리

이 개념에 의하면, r_s 가 일정한 경우 $h < r_s$ 의 범위인 경우 h 가 증가함에 따라 보호범위는 넓어지지만 그 반대인 경우는 h 가 증가하여도 보호범위는 넓어지지 않는다. 또, 그림 3.3과 같이 r_s 는 뇌격전류의 함수로 나타내고 있으므로 대상이 되는 뇌격전류의 크기에 따라 보호범위가 달라진다. 이와 같이 뇌격거리는 피뢰설비의 보호범위를 결정짓는 요인이고 이 값을 어느 정도로 하느냐가 중요하다. 다시 말하면, 피뢰설비의 보호범위는 뇌격전류의 크기에 따라 변하든가 피뢰설비의 높이에 따라 영향을 받는다고 할 수 있다.



(a) $h < r_s$ 일 때

(b) $h > r_s$ 일 때

그림 3.4 뇌격거리에 의한 보호범위 추정

최근에는 이와 같이 뇌격거리를 고려하여 피뢰설비의 보호범위를 평가하는 방안이 가장 타당한 것으로 평가되고 있다. Armstrong과 Whitchcad는 송전선로에서 가공지선의 뇌격 보호범위는 뇌격전류에 따라 변화한다는 전제에서 뇌격전류를 토대로 뇌격거리를 산정하여 이를 사용한 作圖에 의해 가공지선의 뇌격보호 범위를 구할 수 있다는 것을 주창하였다. 이는 뇌격보호범위의 평가에 뇌격거리 개념을 도입한 초기단계의 전형이라고 할 수 있다.

그림 3.5는 1회선 수평배치의 송전선에 대한 보호범위를 나타내는 것으로 W는 높이 y에 가설된 송전용 도체, G는 높이 h에 가설된 가공지선이다. 여기서, 송전용 도체 W 및 가공지선 G를 중심으로 하여 반경 r_s 의 원을 그리고, 하단부 Y₂의 높이를 대지에 섬라하는 거리 r_s 라 하면, 송전용도체는 원호 Y₁, X₂, Y₂에 도달한 선행방전의 先端을 흡인한다. 또, 이 그림의 상단에 원호 S₁, S₂, Y₁는 가공지선에 뇌격을 흡인할 수 있는 범위로, Y₂와 대지간을 도달한 선행방전이 대지로 섬라하는 영역이 된다. 따라서, 송전용 도체에 가해지는 뇌격을 완전히 보호하려면 노출범위 Y₁, X₂, Y₂가 되도록 보호각 θ 를 작게하면 좋다. 이 조건은 다음과 같이 구한다.

피뢰설비의 뇌격보호 효과는 뇌격거리에 관계하므로, 보호범위를 정확하게 평가하기는 어렵다. 여기서는 뇌격전류의 크기와 돌침의 보호각이나 보호범위와의 관계를 어떻게 하여야 할 것인가에 대하여 서술하기로 한다.

그림 3.6은 뇌격거리가 r_1 , r_2 인 2가지 경우 회전구체법에 의한 보호범위 및 보호각이 각각 30도, 45도, 60도에 대한 보호범위를 나타내고 있다. 이 그림의 (a)는 돌침높이 h 가 뇌격거리보다 작고 $h=25\text{m}$, $r_1=30\text{m}$, $r_2=50\text{m}$ 일 때를 나타내고 있다. 그림 (b)는 돌침의 높이가 (a)보다 높고 뇌격거리와 비슷한 경우로 $h=45\text{m}$, $r_1=2/3h$, $r_2=10/9h$ 에 해당하는 경우를 나타내고 있다.

이에 대하여 각각의 추정법에 의한 보호범위를 살펴보면 다음과 같다.

(1) h 가 뇌격거리보다 작은 경우

① 종래의 보호각 개념을 적용한 보호범위와 회전구체법에 의한 보호범위는 당연히 다르지만, 보호각을 비교적 작게, 적당한 값으로 선정하면 양자를 접근시킬 수 있다. 예를 들어, 그림 3.6(a)에서는 뇌격거리 $r_1=30\text{m}$, 보호각 30도인 경우와 $r_2=50\text{m}$, 보호각 45도인 경우의 보호범위는 비슷한 것으로 간주할 수 있다. 이는 특정한 경우에 대해서 뇌격거리의 개념을 도입한 돌침의 보호범위를 어떤 보호각으로 결정하는 보호범위로 개략 나타내는 것도 하나의 방법이다.

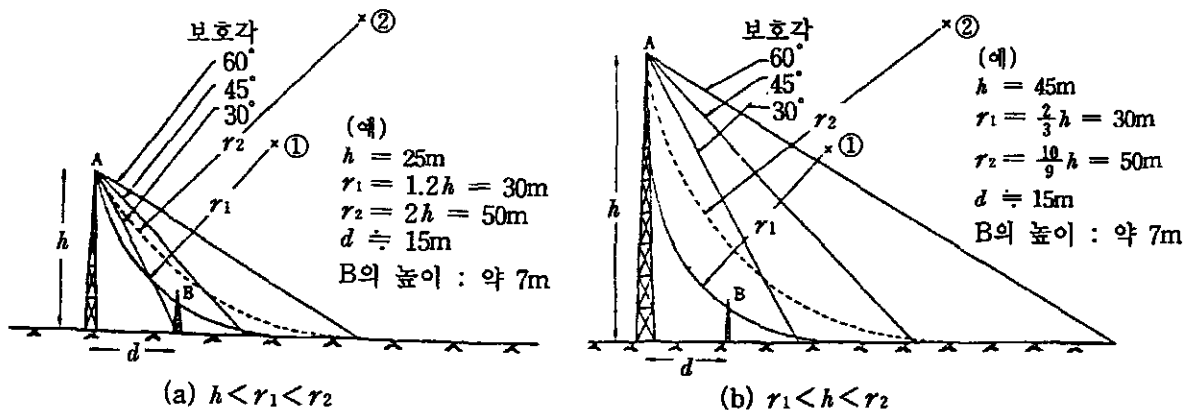


그림 3.6 돌침의 높이와 뇌격거리 및 보호범위 추정 예

② 그림 3.6(a)의 돌침 A에서 $d=15\text{m}$ 인 어떤 장소의 높이 7m의 지상물체 B(건축물, 수목 등)는 뇌격거리 $r=50\text{m}$ 일 때는 A에 의해 보호되지만, 뇌격거리 $r_1=30\text{m}$ 일 때는 뇌격을 받을 위험이 있으며 돌침가까이의 지상물체는 뇌방전의 진전상황과 뇌격전류의 크기에 따라 보호할 수 있는가가 결정된다. 이의 구체적인 값은 돌침과 지상물체와의 상대위치 및 뇌격전류의 발생빈도를 고려하여 결정한다. 이 점이 돌침에 어떤 보호각을 설정하고 뇌격전류에 관계없이 보호범위를 추정하는 종래의 개념과 근본적으로 차이가 있으며 확실적인 개념을 도입하여야 한다.

(2) h 가 뇌격거리와 같거나 그 이상인 경우

① 이 경우는 종래 보호각의 개념을 적용한 보호범위(공간)와 회전구체법에 의한 것과는 크게 다르다. 예를 들면, 그림 3.6(b)에는 보호각을 30도로 하여도 뇌격거리 $r_2=50\text{m}$ 인 경우의 보호범위도 커버할 수 없게 된다. 또, 뇌격거리가 짧으면 $r_1=30\text{m}$ 인 경우는 돌침의 정상뿐만 아니라 그 근처의 측면에 뇌격을 일으킬 가능성이 있게 된다. 이는 고층건축물의 옥상에 피뢰설비를 시설하여도 이 건축물에 側雷가 있을 위험성이 있음을 나타내는 것으로 특히 유의해야 한다.

② h 가 뇌격거리와 동등이상인 경우, 뇌격거리를 고려한 최근의 개념은 단순히 보호각을 설정하고 보호범위를 평가하는 것은 비현실적이라고 말할 수 있다. 돌침 A에서 거리 15m 떨어진 곳의 높이 약 7m인 지상물체 B는 보호각을 작게 설정한 30도의 각도로도 충분히 A의 보호범위내에 있게 되지만, 뇌격거리 $r_1=30\text{m}$ 로 할 때에는 B는 뇌격을 받을 위험성이 있다고 평가된다. 이 경우, 뇌격거리를 얼마로 하느냐하는 것에 따라 A에 의한 보호범위는 상당히 크게 변하고 A 가까이 있는 지상물체에 뇌격의 위험성에 대한 평가가 다르게 된다.

(3) 돌침 높이 및 뇌격거리에 의한 영향

① 그림 3.6의 예에서 알 수 있는 바와 같이 뇌격거리의 개념을 토대로 한 돌침의 보호범위는 뇌격거리 r 의 대소 및 돌침의 높이 h 에 따라서도 크게 영향을 받으므로, 보호범위를 평가하는 경우 먼저 r 에 대응하는 뇌격전류의 발생빈도로부터 뇌격 보호효과의 개략치를 확률적으로 계산해 보는 것이 바람직하다.

② 종래 보호각의 개념을 적용한 보호범위의 평가는 돌침이 그다지 높지 않을 때 (10~20m 정도 이하)에는 대략적으로 적용하여도 큰 차이가 없을 것으로 보이지만, 돌침이 40~50m 정도 이상일 경우에는 기본적으로 뇌격거리의 개념을 토대로 보호범위를 평가하여야 한다.

③ 상기 사항에 대해 고층건물에서는 側擊雷에 의한 피해방지를 포함한 피뢰대책에 세심한 주의를 기울여야 한다.

3.4 건축물과 보호효과

3.4.1 건축물 높이와 보호효과

그림 3.7은 건축물의 높이가 뇌격거리에 비례하는 경우에 대해 회전구체법에 의한 보호범위와 이에 해당하는 보호각을 개념적으로 나타낸 것이다. 여기서, h 는 건축물의 높이, r 는 뇌격거리이다. 이 그림에 대해서는 다음과 같이 설명할 수 있다.

① 건축물의 높이가 뇌격거리보다 대단히 짧은 $h=0.2r$ 의 경우의 보호범위는 보호각 $\theta=60^\circ$ 일 경우 거의 전부 해당된다고 볼 수 있다. 뇌격거리를 50m로 할 때 건축물의 높이가 10m인 경우 우리 나라에서는 피뢰설비의 설치를 생략할 수 있으나, 보호각을 60도로 하는 것은 h 가 이처럼 작은 경우에 한정되어 있다.

② $h=0.4r_s$ 일 때의 보호범위는 보호각을 45도로 한 경우와 비슷하다고 할 수 있다. 뇌격거리를 50m로 하면 건축물의 높이가 20m의 경우로 기본적으로는 옥상부의 파괴를 고려하면 그림 3.7과 같이 측면의 건물 P(사선 부분)의 파괴설비를 특별히 고려할 필요가 없다.

③ $h=0.6r_s$ 의 경우 보호범위는 보호각을 30도로 하는 경우와 거의 비슷하다고 보아도 좋다. 뇌격거리를 50m로 하면 높이가 30m인 경우와 같고 ②의 경우와 같이 옥상부의 파괴를 고려하면 측면건물 P(그림 (c))의 파괴설비는 특히 고려할 필요가 없다.

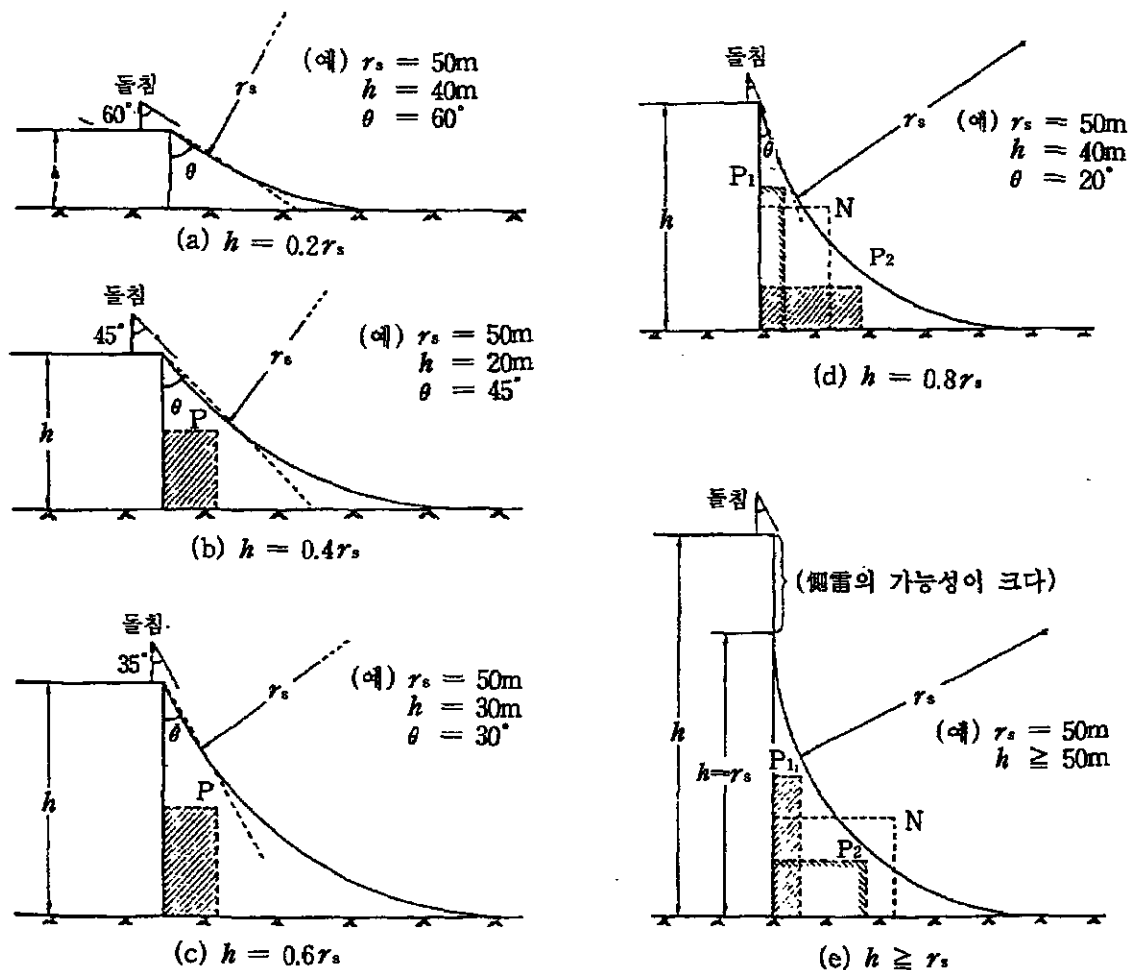


그림 3.7 건축물 높이에 의한 보호범위의 차이(예)

④ 상기 ②, ③의 예에서 h 가 20m에서 30m인 경우 보호범위는 보호각이 45도에서 30도의 경우와 거의 비슷하다고 볼 수 있다.

⑤ 건축물의 높이가 너적거리에 가깝게 되고 $h=0.8r$ 의 경우 보호범위는 보호각으로 단순히 나타내는 것이 어렵게된다. 이 경우, 건축물의 꼭대기만을 대상으로 한 때의 보호각은 거의 20도로 볼 수 있다. 이는 너적거리를 50m로 하면 건축물의 높이가 40m인 경우이고, 보호범위는 h 가 크게되는 비율만큼 넓어지지 않는다. 이 경우도 상기 ②, ③과 같이 옥상부의 파괴를 고려하는 것이 좋고, 측면의 건축물 P_1 , P_2 (그림(d))의 파괴설비는 기본적으로 고려하지 않아도 되지만, 부속건물 N처럼 규모가 큰 경우 보호범위에 들어가지 않게 되므로 주의해야 한다.

⑥ 건축물의 높이가 너적거리와 같은 경우나 큰 경우에는 그림 3.7(e)와 같이 $h=r$ 인 때 건축물의 꼭대기를 대상으로 하는 경우의 보호각은 대단히 작고 10도 이하로 볼 수 있다. 또, $h>r$ 인 경우는 건축물의 꼭대기에 側雷의 가능성이 크다. 따라서, 이 경우와 같은 고층건축물에서는 옥상부분의 파괴대책외에 측벽대책도 수립하여야 한다. 측면의 부속건물 P_1 , P_2 (그림(e))의 파괴설비는 고려할 필요가 없지만, 부속건물 N처럼 규모가 큰 경우에는 보호범위를 벗어날 수 있으므로 특히 주의해야 한다.

⑦ 위와 같이 너적거리를 고려한 보호범위에서 보면 건축물 꼭대기의 실질적인 보호각은 건축물의 높이에 따라 크게 변화하고 높이가 높을수록 그 보호범위가 급격히 좁아지므로 파괴설비의 적용시 이를 고려하여 효과적으로 설계하여야 한다.

⑧ 그림 3.7에서 h 가 큰 경우 보호공간의 보는 방향, 즉 (d), (e)를 산의 경사부분에 있는 건축물에 적용하면 건축물의 아래 쪽의 너적 위험도가 위쪽에 비해 크게 되므로 이와 같은 경우는 충분히 고려하여 파괴설비를 설계하는 것이 중요하다.

3.4.2 근처 건축물과의 관계

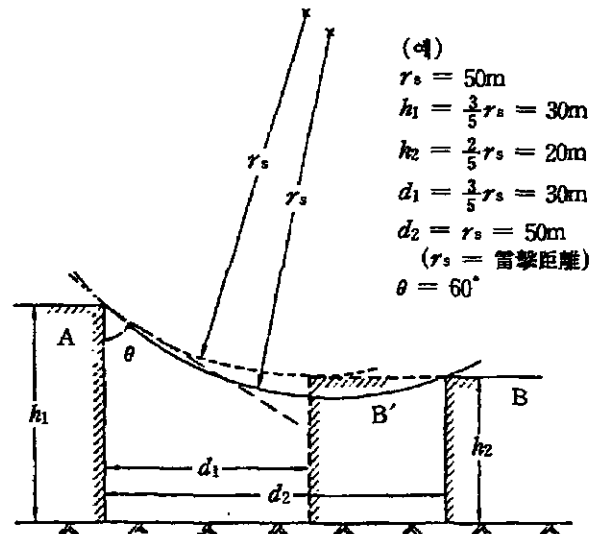
피뢰 대책의 대상이 되는 건축물 가깝게 높이가 같거나 그 이상의 건축물이 있을 때, 두 개의 건축물에 좁아진 공간의 뇌보호 범위는 각각의 건축물이 단독인 경우에 보호 범위는 비례해서 넓어지는 것으로 생각할 수 있다. 또 이 보호 범위는 두 개의 건축물 각각의 높이와 이들의 이격거리 및 뇌격거리에 따라서 영향을 받는다.

① 그림 3.8은 두 건축물의 높이가 뇌격 거리보다 작고 높이의 차이가 없는 경우, 회전구체법에 따라서 보호 범위를 나타낼 수 있다. 두 건축물 A, B의 이격이 뇌격 거리 r_s 와 같은 경우와 두 개의 건축물 A, B의 이격이 $3/5 r_s$ 와 같은 경우의 2가지 예로 보면 다음과 같이 말할 수 있다.

a. 두 건축물 사이의 보호 공간은 각각 단독인 경우의 보호 공간에 비례해서 상당히 넓어진다.

b. 이는 두 건축물의 이격이 뇌격 거리보다 짧은 경우 일반적인 경우와 같다는 관점에서 볼 수 있다.

c. 건축물 A에서 본 보호각 θ 는 단독인 경우보다 크고 약 60도로 볼 수 있다. 즉, 근처 건축물은 뇌보호 범위에 상당히 영향이 있다.



(건축물의 높이가 뇌격거리보다 작은 경우)

그림 3.8 근처 건축물이 보호범위에 미치는 영향

② 건축물의 높이가 뇌격 거리와 같은 경우에 대해서 예시한 것이 그림 3.9이다. 이것은 두 건축물의 높이에 거의 차이가 없는 경우이고, 뇌보호 범위에 따라서 기본적으로 상기 ①과 같다고 본다.

③ 근처 건축물의 높이가 뇌격 거리보다 크고 두 건축물 높이의 차이가 큰 경우에 대해서 보호 범위를 예시한 것이 그림 3.10이다. 건축물 A는 높이 h_1 이 뇌격 거리의 2배인 고층 건축물에 상당하고 근처에 높이 h_2 가 $r_s/2$ 보다 낮은 건축물 B 또는 B'가 있는 경우로, 2개의 건축물 사이의 보호 공간은 각각 단독인 경우의 보호 공간에 비례해서 크고 이 경우 두 건축물의 이격이 뇌격 거리보다 짧을 때에는 일반적인 관점에서 생각하면 좋다.

④ 그림 3.11은 고층 건축물 A 근처에 A와의 차이가 뇌격 거리 r_s 와 같은 건축물 B 또는 B'가 있는 경우의 보호 범위를 예시한 것이다. 이 경우도 건축물 사이의 보호 공간은 각각 단독인 경우의 보호 공간 보다 상당히 넓어진다. 또 두 건축물의 차이 ($h_1 - h_2$)가 뇌격 거리 r_s 보다 작을 때에는 고층 건축물 A의 꼭대기에 축퇴의 가능성은 거의 없다고 보아도 좋다.

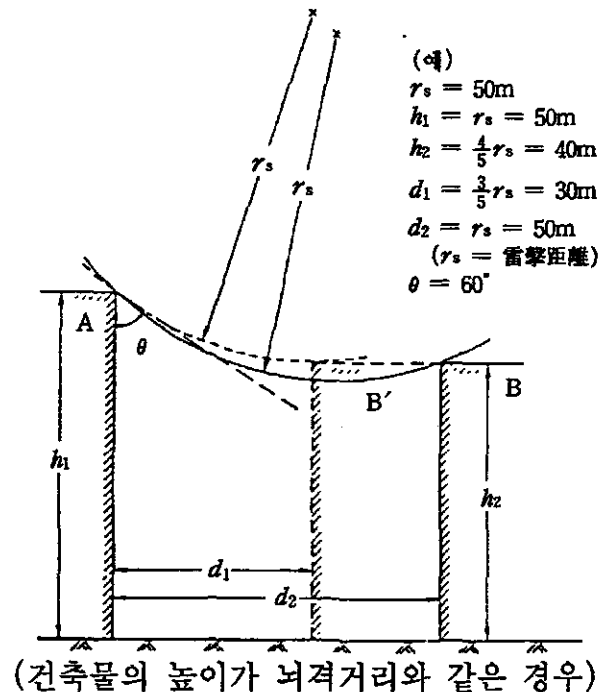
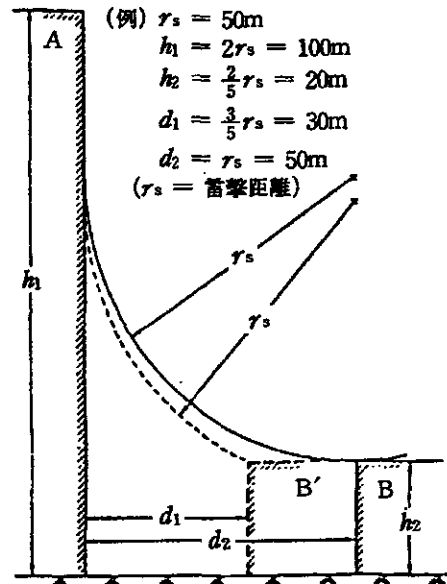


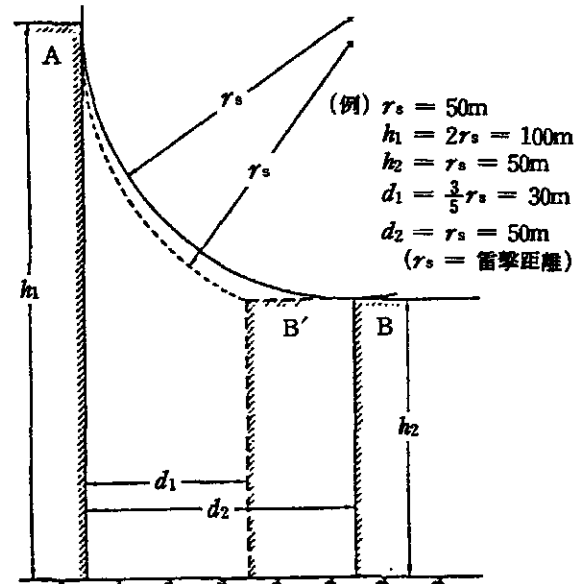
그림 3.9 근처 건축물이 보호범위에 미치는 영향

상기의 예에서 알 수 있듯이 뇌보호 대상 건축물 근처에 뇌격 거리보다 짧은 건축물이 있을 때는 뇌보호 범위에 직접 영향을 주고 두 건축물로 좁아진 공간의 보호 범위는 각각의 건축물 단독인 보호 범위보다 넓어진다. 따라서, 이 공간의 뇌격의 위험도는 완화된다고 볼 수 있다.



(고층 건축물인 경우, $h > r_s$, $h < r_s$)

그림 3.10 근처 건축물이 보호범위에 미치는 영향



(고층 건축물인 경우, $h > r_s$, $h = r_s$)

그림 3.11 근처 건축물이 보호범위에 미치는 영향

4. 낙뢰보호를 위한 접지설계

4.1 낙뢰가 접지시스템에 미치는 영향

낙뢰에 의한 옥내 전기설비의 대지 및 배선간에 전위차가 생기는 것은, 건축물 (시설된 피뢰설비)에 뇌격이 있는 경우와 근처에 낙뢰가 있는 경우로 대별하여 생각할 수 있다. 후자의 경우, 발생하는 전위차는 건축물에 인입되는 전력선 또는 통신선에서 진입하는 뇌서지를 포함하고 있다.

4.1.1 전위상승과 전위차 및 유도전압

(1) 건축물에 뇌격이 있는 경우

건축물의 피뢰설비가 뇌격을 받을 경우, 뇌격전류는 피뢰도선과 접지계통을 통해서 대지로 유입된다. 이 경우, 피뢰도체를 통해 뇌격전류가 대지에 방류될 때 임피던스는 유입되는 뇌격전류가 급준파일 때는 이를 파동 임피던스로 취급하여야 한다. 이외의 경우는, 일반적으로 집중정수의 임피던스 L 과 접지저항 R_e 의 직렬회로로 간주한다. 회로에 뇌격전류 $i(t)$ 가 흐르면, 다음 식으로 나타내는 대지전위가 발생한다.

$$e = L \frac{di(t)}{dt} + R_e i(t) \quad (4.1)$$

또, 건축물 내에서 피뢰도선 부근에 다른 도체계가 존재하면, 양자 사이에는 (4.2)식과 같은 전위차 V 가 발생한다.

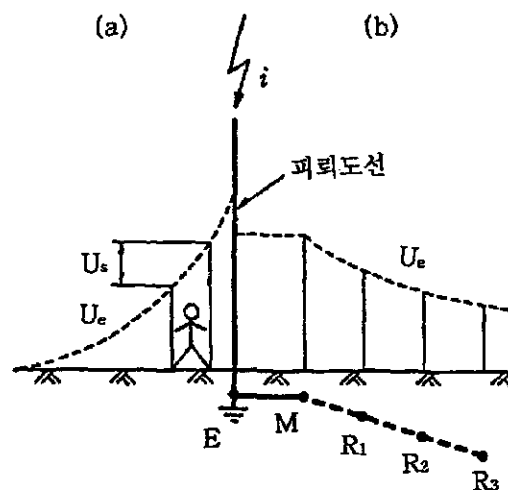
$$V = (1-k) \left[L \frac{di(t)}{dt} + R_e i(t) \right] \quad (4.2)$$

여기서, $k > 1$; 피뢰도선과 부근의 다른 도체계와의 결합률

이 전위차가 피뢰도선과 근처 도체계와의 공간거리의 절연내력을 초과하면 섬락이 발생하고, 뇌격전류의 일부가 부근의 도체계에 유입되어, 이에 접속된 기기 등이 피해를 받는 원인이 된다.

(4.1)식의 e 및 (4.2) 식의 V 는, 뇌격전류 외에, 건축물의 규모나 높이에 직접 관계하는 피뢰설비 및 피뢰도선의 가닥수와 이격거리에 따라 달라진다.

피뢰설비의 접지저항은, 건축물의 보호에는 영향이 없지만, 주변의 대지면의 전위 분포에 관계한다. 즉, 그림 4-1 (a)에서와 같이 접지극에서 떨어질수록 보폭전압이 낮아지므로, 메시전극이나 링크전극을 매설하면, 전위 분포를 완화하고 보폭전압을 작게 할 수 가 있다.



U_s : 대지선의 상승, U_e : 보폭전압, M : 메시전극

R_1, R_2, R_3 : 지름과 매설깊이가 다른 링크전극

그림 4.1 피뢰설비 부근 대지면의 전위분포

또, 피뢰도선과 부근 다른 도체계의 사이에 섬락이 발생하지 않더라도, 용량결합으로 인하여 건축물 내의 절연금속체에 전위가 발생하거나, 유도결합에 의한 위험한 유도전압이 발생 할 수가 있다. 그림4.2(a) 에서의 피뢰도선과의 사이에 정전용량 C_g , 대지정전용량 C_e 의 절연금속체에 용량 결합으로 인한 전위 V_e 는 다음과 같이 나타낸다.

$$U_s = \frac{C_s}{C_s + C_e} U \quad (4.3)$$

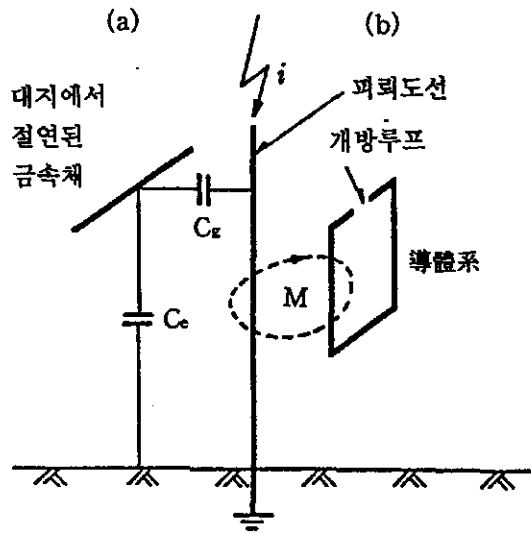
여기에서, U: 피뢰도선에 발생하는 전위

또, 이그림 (b)와 같이, 피뢰도선 부근에 있는 도체계(예: 금속루프, 전기기구 내부 또는 그 외 도선)에 상호 인덕턴스 M으로 인한 전자계 변화로 다음과 같은 과도유도전압 U_1 가 생긴다.

$$U_1 = M \frac{di}{dt} \quad (4.4)$$

이의 유도전압 U_1 의 값은 도체계의 크기 및 피뢰도선과의 이격 거리에 의해 변화한다. 건축물내의 피뢰도선의 수를 증가시키면 뇌격전류가 이들의 피뢰유도선으로 분류하기 때문에 유도전압은 작게 된다.

이와 같은 도체계(루프모양 도체 등)의 방전을 방지하기 위해, 뇌전류 放電路(피뢰도선)와의 이격거리를 크게 하거나, 과전압 보호장치를 접지계통에 연결하거나, 또는 도체계를 차폐하는 대책이 필요하다. 건축물의 피뢰설비에 뇌격이 있을 때는 선행 방전의 진전 단계 및 뇌격방전의 변화에 따라, 지표면의 전계가 급격히 변화한다. 이로 인하여 차폐되지 않은도체계에서는 유도 뇌서지가 전파된다. IEC/TC 81에서는, Lightning Electro-Magnetic imPulse (LEMP)가 건축물내에 컴퓨터, 전자 정보기기 등에 영향을 줄 가능성이 크다고 보고, 이에 대한 피해방지 대책의 검토가 진행되고 있다.



C_x : 피뢰도선과 절연금속체와의 정전용량

C_e : 절연금속체의 대지 정전용량

M : 상호 임피던스

그림 4.2 낙뢰전류에 의한 유도전압

(2) 건축물 근처 낙뢰 경우

건축물 근처에 낙뢰가 발생한 경우, 건축물 내의 전기 회로 및 설비에 생기는 전위차 및 과전압은, 다음의 두가지 경우로 생각할 수 있다.

(a) 건축물 근처의 낙뢰에 의해서, 건축물 내의 전기회로 및 설비에 유도 뇌서지가 발생하는 경우

(b) 낙뢰에 의해 생긴 뇌서지 (직격 뇌서지 또는 유도 뇌서지)가 전력선, 통신선 등의 인입선을 통해 건축물에 진입하는 경우

(a)의 경우는 건축물이 철근 콘크리트 구조물 또는 철골조 구조물 방식인가 등의 건축물의 종류에 의해 달라진다. 일반적으로, V 는 다음과 같은 식을 기본으로 해서 나타낼 수 있다.

$$V = \alpha \frac{30 I_0 h}{y} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{2}} v - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{2} v^2}} \right] \quad (4.5)$$

여기서,

$\alpha > 1$: 건축물의 종류, 구조, 규모 등에 의한 차폐계수.

예를 들면, 규모가 큰 철근 콘크리트 구조물 내부는 차폐효과가 대단히 크므로 α 값은 0에 가깝고, 작은 목조건축물에서는 이를 고려해야 한다.

I_0 : 뇌전류

y : 낙뢰지점과 전기 회로 또는 설비와의 거리

h : 전기 회로나 설비의 위치

v : 뇌방전(주방전)의 진행 속도와 광속도의 비, 0.1~0.3 정도.

위와 같이 작은 목조건축물의 근처에 낙뢰시에는, 특히 유도 뇌서지가 발생할 가능성이 크기 때문에 내전압이 낮은 설비나 중요한 설비는 충분한 대책이 필요하다.

(b)의 경우, 진입 뇌서지는 건축물 내의 전기 회로 및 설비에 손상을 주는 위험한 값으로 될 수 있으므로, 옥내의 전기 회로 및 설비에 진입되지 않도록 대책을 세우는 것이 아주 중요하다.

4.1.2 낙뢰가 지중매설물에 미치는 영향

(1) 접지저항 특성

일반적으로 접지저항이라고 할 때 직류 또는 저전압교류를 이용하여 측정한 정상상태에서의 저항을 의미한다. 그러나, 낙뢰시에는 대단히 높은 뇌서지전류가 발생하고 이를 주파수로 분석하여 보면 직류에서 고주파에 이르는 높은 성분을 가지고 있다. 이에 관하여 다음과 같이 일본에서 행한 실험식과 미국에서 실시한 실측식이 있다.

먼저, 일본의 경우를 보면 電子技術總合研究所에서 임펄스 대전류 발생 장치를 사용하여 10kA 정도의 임펄스전류를 각 종 시험접지극에 유입시켜 실험한 결과 (4.6)식과 같은 결과를 얻었다. 즉, 임의의 접지극에 2~3 μ s 정도의 파두장을 가지고 있는 임펄스전류 I가 유입된 경우 1 μ s 후의 접지저항 R_i 는 정상상태에서의 접지저항 R_0 의 관계는 다음 식과 같다.

$$\frac{R_i}{R_0} = \frac{1}{1 + A(\rho \frac{I}{2\pi} al)^B} \quad (4.6)$$

단, ρ : 대지저항률

a : 접지극 반지름

ℓ : 접지극 길이, $A \doteq 10$, $B \doteq 0.7$

ρ 와 R_0 는 비례관계이고 접지전극에 따라 정해지는 계수를 ρ 에 곱한 것으로, R_0 인 것을 감안하면, 위 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{R_i}{R_0} = \frac{1}{1 + A_1(IR_0)^B} = f(IR_0) \quad (4.7)$$

즉, 접지저항비 R_i/R_0 는 I 와 R_0 의 곱의 함수이다.

다음으로, 뇌격전류에 대한 접지저항 저감효과에 대하여 미국에서 실측한 결과는 다음과 같다. 이 실험은 실제 송전선의 첩탑에 계측기를 설치하여 첩탑 뇌격전류에 따라 상승하는 탑각전위를 기록하여 구한 것으로 접지저항 저감률은 다음의 실측식으로 나타낸다.

$$\frac{R_i}{R_0} = \frac{14}{(IR_0 + 80)^{0.6}} \quad (4.8)$$

단, I : 첩탑 뇌격전류

그림 4.3의 곡선은 (4.8)식을 그림으로 나타낸 것이고, ×는 (4.6)식으로부터 계산한 값으로 양자가 잘 일치하고 있다. 따라서, 접지저항 저감효과를 포함한 접지설계시 (4.6) 식 또는 (4.8)식을 이용하여 계산할 수 있다.

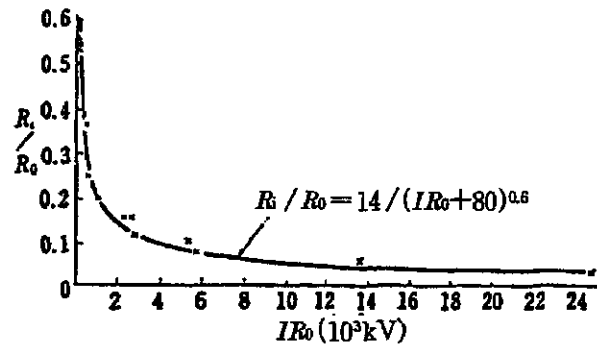


그림 4.3 탐각전위와 저감효과

(2) 뇌격이 지중매설물에 미치는 영향

지중에 매설된 물체는 직접적으로 뇌격을 받지 않으므로, 지금까지 낙뢰와는 무관하며 안전하다고 생각하였다. 다시 말하면, 지상의 어떤 물체와 비교하면 안전한 편이지만, 넓은 지표면적에 낙뢰 위험도가 높은 장소나 대지저항률이 높은 장소 등에 매설되어 있는 지중매설물에 대해서는 적절한 보호대책을 강구하여야 한다.

예를 들어, 공항의 활주로나 유도로 등에 설치되어 있는 조명용 지하케이블에는 낙뢰가 발생하고 있기 때문에 뇌해대책을 강구하고 있다. 또, 유럽에서 터널공사 중 낙뢰로 인하여 터널내에 예기치 않은 전기발파기의 폭발사고가 발생한 적이 있다.

낙뢰가 발생하면, 낙뢰점에서 지상 및 지중에 방사상으로 방전이 발생한다. 그림4. 4와 같이 뇌격점 부근의 지상에 포설 또는 지중에 매설되어 있는 전선로나 도체가 있으면, 이에 대해 2차적인 섬락(Flashover)이 발생한

다. 섬락 거리는 전선로가 없는 경우 지상방전의 2~3배 정도가 된다. 대지 스트리머가 매설되어 있는 지하케이블에 도달하면 절연이 파괴되고 이에 접속되어 있는 기기에 사고가 발생할 우려가 크다. 금속관 등에 케이블이 매입되어 있으면 안전하지만 금속관의 전위상승에 의해 심선과의 전위차가 절연물의 절연파괴 강도를 초과하면 사고의 염려가 있다. 또, 매설물이 접지선인 경우에는 이에 접속되어 있는 기기의 접지전위가 상승하여 기기에 역섬락이 생겨 사고가 날 위험성이 있으며, 매설물이 수도관이나 가스관인 경우, 이에 대한 전위상승이 인체에 가해질 염려도 있다.

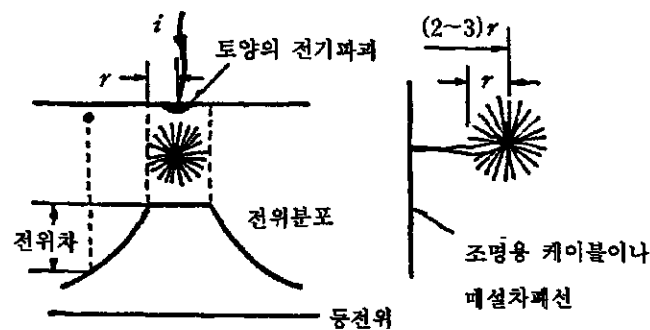


그림 4.4 지상 뇌격점 전위

4.2 외부피뢰를 위한 접지설계 기법

외부피뢰(External Protection)는 건축물과 부대설비를 낙뢰로부터 보호하는 것으로, 건축물 내부의 전위상승 등을 내부피뢰라 할 때 대응되는 개념이다.

4.2.1 각 종 피뢰방식의 특징을 고려한 적용

피뢰침이라면, 일반적으로는 빌딩 옥상에서 공중으로 돌출되어 있는 돌침식 피뢰침을 생각하기 쉬우나, 피뢰방식(受雷部)은 다음과 같이 대별할 수 있다.

① 돌침방식: 돌침, 독립 피뢰침

② 수평도체 방식: 용마루 위의 도체, 가공지선

③ 케이지 방식: 케이지

피뢰설비를 설계할 때는 피보호물의 용도, 중요도, 입지조건, 형상, 구조 등으로 부터 판단하여 보호효과, 미관, 경제성을 종합적으로 고려하여 적절한 피뢰방식을 선택하는 것이 중요하다.

(1) 돌침방식

돌침방식은 보호 대상물이 어떤 것이든 관계없이 사용할 수 있는 것이나, 돌침이 긴 경우는 다음과 같은 부정적 요소가 있음을 유의하여야 한다.

① 돌침이 길고 규정의 보호각내에 있더라도 보호효과가 좋지 않은 부분이 생기고, 차폐가 안될 가능성이 증가한다.

② 돌침 지지관이 길면 시공이 어렵게 되고 보수도 곤란하게 된다.

③ 미관이 좋지 않다.

④ 공사비가 많이 든다.

따라서, 돌침방식은 돌기물(안테나 등), 굴뚝 또는 보호하는 면적이 좁은 옥상 등의 보호에 적합하다. 이것은 돌침의 높이를 그다지 길게 하지 않아도 보호범위내에 들기 때문이다. 그러나, 보호하는 면적이 대단히 넓은 대형 빌딩, 공장 등에서는 예를 들면, 1~2본의 돌침만으로 이를 보호각내로 들게 하는 경우 피뢰침이 대단히 높게 되어 미관상으로도 경제적으로도 좋지 않다. 또, 앞에서 본 바와 같이 규정된 보호범위내라 하더라도 100% 보호효과를 기대할 수 없으므로, 이러한 경우는 돌침과 수평도체를 병용하는 방식을 택하는 것이 유리하다.

(2) 수평도체방식

철근콘크리트조의 건축물에는 옥외의 外周角 부분에 낙뢰하는 경우가 많고, 이 결과 콘크리트 파편이 떨어져 2차적으로 상해를 입을 우려가 있다.

빌딩 突角部나 처마부분이 낙뢰로 부서지는 예가 여러 건 보고되고 있다. 따라서, 이 부분의 상부에 피뢰도선을 설치하는 수평도체(용마루 위의 도체)방식을 사용하여 중점적으로 보호하는 것이 중요하다.

옥상부분의 보호에서 수평도체 보호각내에 있지않는 부분은 이들 각 부분으로 부터 가장 가까운 점인 수평도체까지의 거리가 10m이하가 되도록 새로운 수평도체를 설치하고 이 부분은 보호되도록 하는 것이 좋다. 이 경우, 옥상부분은 거의 수평이고 돌기물 등이 없는 것을 전제로 하고 있다. 만일 돌기물 등이 있으면, 여기에 뇌가 떨어질 위험이 많아 受雷部로 사용하기에 부적당하다면 다른 수뢰부에서 보호되도록 하여야 한다. 또, 이 방식은 완전보호를 목적으로 하는 것이 아니고 다른 부분으로 뇌격이 발생할 확률이 높으므로 이에 의한 2차 재해가 없도록 하는 방안을 강구해야 한다. 따라서, 위험물 관계의 건축물에는 적용할 수 없다.

철근 콘크리트조 등의 건축물에는 난간, 펜스 등을 수평도체로 대신할 수 있으나, 다음 사항을 고려하여 판단할 필요가 있다.

- ① 난간, 펜스 등의 접속부분은 전기적으로 완전하게 접속되어 있는지의 여부
- ② 규정된 단면적 및 두께 충족 여부
- ③ 경년변화로 접속부 등에 접촉 불량일 생길 우려 여부
- ④ 상기 사항을 포함하여 반영구적인 설비로서 이용 가능여부

이상과 같이 수뢰부를 돌침으로 하느냐 수평도체로 하느냐는 일반적으로 수평 투영면적이 작은 건축물은 돌침을 설치하는 것이 좋고, 수평 투영면적이 큰 빌딩이나 공장은 수평도체를 사용하고 굴뚝이나 옥탑 등을 돌침으로 보호하는 조합방식이 유리하다.

(3) 케이지 방식

케이지 방식은 완전한 보호를 기대하는 경우 사용되지만 비용은 다른 방식에 비해 높다. 산정상의 관측소, 사찰 등 雷雲안에 들어가기 쉬운 경우, 이른 바 피뢰침의 보호각이라는 개념을 적용할 수 없으므로 케이지 방식은 이와 같은 때에 사용하면 유리하다.

4.2.2 돌침부

돌침부는 돌침, 돌침지지관, 지지금물 및 取部台로 구성되어 있다.

(1) 돌 침

돌침은 공중에 돌출된 受雷부분으로 동, 내식성 알루미늄 또는 용융 아연 도금강으로 지름 12mm이상의 봉 또는 이와 같은 강도 및 성능이 있는 것을 사용한다. 돌침의 굽기(지름 12mm)는 뇌격시 온도상승과 기계적 강도를 고려하여 정한 값이다. 돌침의 재료인 구리, 알루미늄, 철의 용융점은 각각 약 1000°C, 600°C, 1300°C이므로 KS에 규정된 재료의 지름 12mm의 봉에 뇌격전류가 흐를 경우의 온도상승은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\theta = \frac{\rho T_H i_m^2}{550 r C_p} [^{\circ}\text{C}] \quad (4.1)$$

단, ρ : 저항률 [$\Omega \cdot \text{cm}$]

r : 비중

C : 비열 [$\text{cal} / \text{g}^{\circ}\text{C}$]

q : 도체 단면적 [mm^2]

T_H : 전류파미장 [μs]

i_m : 뇌격전류 파고치 [A]

$i_w=100\text{kA}$, $T_R=250\mu\text{s}$ (이 값은 상당히 큰 경우이며 이보다 더 큰 것이 발생할 확률은 5%이하), $q=100\text{mm}^2$ (지름 12mm)라 할 때, 동, 알루미늄, 철의 돌침 온도상승은 각각 약 0.8°C , 2°C , 5°C 가 된다. 주위온도 40°C 를 감안하더라도 하등의 문제가 없다. 또, 수뢰시 돌침 끝이 녹는 것은 수천 $^\circ\text{C}$ 이상의 아크 때문이며 이를 완전히 방지하는 것은 어렵다.

세계적으로 널리 사용되고 있는 봉의 재료는 구리로서 양산되고 있다. 돌침의 끝에 순금, 금도금, 크롬도금 등을 한 것도 있으나, 이는 수뢰효과에 차이는 없으며 내식성을 고려한 것일 뿐이다.

(2) 돌침지지관, 지지금물 및 취부대

지지관 및 取付金物類는 비바람에도 충분히 견딜 수 있는 기계적 강도 및 뇌격전류가 흐를 경우 전자력에 의한 壓壞作用에도 충분히 견뎌야 한다.

(가) 돌침지지관

지지관으로 사용하는 재료는 다음과 같은 것이 있다.

① 황동관(BST): 비자성, 내식성이 있음. 굴뚝이나 염해지역 등에 적합

② 스테레스 강관(SUS304): 자성, 내식성이 있음. 굴뚝, 염해지역 등에 적합

③ 강관(STK): 자성이 있음. 뇌전류의 電磁작용에 의한 임피던스가 증가하므로 관내에 피뢰도선이 통하면 안된다.

④ 알루미늄관(AP): 비자성, 내식성 있음.

염해지역, 부식성 가스가 발생하는 곳 등의 특별한 조건이 없는 경우 통상 지지관 재료는 용융아연도금강관(STK)이 사용되고 있다.

(나) 지지관의 강도 및 길이 선정

지지관을 포함한 돌침부는 풍압력에 대하여 안전한 구조이어야 한다고 규정되어 있다. 돌침지지관의 풍압력 P 는 다음 식으로 계산된다.

$$P=CqA \times 10^{-4} \text{ (kg)} \quad (4.2)$$

단, 풍력계수 $C=0.7$ (원통형 구조물로 한다.)

$$\text{속도압력 } q=120\sqrt{H} \text{ (kg/m}^2\text{)} \text{ (H>16mm)}$$

$$q=60\sqrt{H} \text{ (kg/m}^2\text{)} \text{ (H>16mm)}$$

H: 돌침의 지상높이(m)

$$\text{수압면적 } A=Dh \text{ (cm}^2\text{)}$$

D: 관 외경(cm)

h: 돌침부 길이(cm)

지지관의 개수와 길이는 보호를 필요로 하는 면적의 크기 및 보호각을 어떤 각도로 설정하느냐에 따라 정해지지만 다음 사항을 고려하여 설계할 필요가 있다.

- ① 보호효과
- ② 시공의 효율, 안전성
- ③ 보수의 용이성
- ④ 경제성

이들 사항을 고려하여 지지관의 길이는 공중에의 돌출길이를 8m 정도로 하는 것이 바람직하다. 돌침 1본으로 보호할 수 없는 경우는 늘리거나 수평 도체(용마루 위의 도체)와 겸용하여 대응하는 것이 좋다.

(다) 돌침과 피뢰도선의 접속

돌침과 도선을 접속하는 경우 비자성관에는 관내에 선을 통과시키는 것이 좋으나 일반적으로 관상부에서 돌침과 관을 전기적, 기계적으로 완전히 접속하여 하부에는 도선을 접속하는 단자를 설치하고 관을 도체로 하여 사용한다.

다음으로, 단면적 110mm², 두께 2mm의 알루미늄관에 작용하는 電磁壓壞力 P_m 는 다음 식으로 나타낸다.

$$P_m = \frac{i_0^2 \pi}{9.81 \times 10^7} (r_e^2 - r_i^2 - 2r_i^2 \log \frac{r_e}{r_i}) \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (4.3)$$

여기서, r_0 : 뇌격전류밀도 (A/cm²)

r_e : 관의 외반경 (cm)

r_i : 관의 내반경 (cm)

지금 뇌격전류 100kA, 즉 전류밀도를 10⁵/1.1A/cm²(관단면적 110mm²), 관의 외반경 $r_e=1.95/2$ cm, 내반경 $r_i=1.55/2$ cm라 하면, $P_m=19.7$ kg/cm² 이 된다.

4.2.3 수평도체(용마루 위의 도체, 가공지선)

피뢰도선을 파라펫(Parapet), 용마루 위의, 지붕 등에 설치하여 이를 수뢰부로 하는 방식이다.

(1) 수평도체에 의한 보호

KS에서는 파라펫 등 용마루 위의 도체를 설치하는 경우 여기서 수평거리 20cm 이하의 부분에 한하고 작도상 보호범위에 들어가지 않아도 실용상 보호되는 것으로 한다(그림 4.5). 파라펫의 상부면이 안쪽으로 경사되어 있는 경우는 용마루 위의 도체는 파라펫의 가장 높은 부분에 설치하도록 하여야 한다.

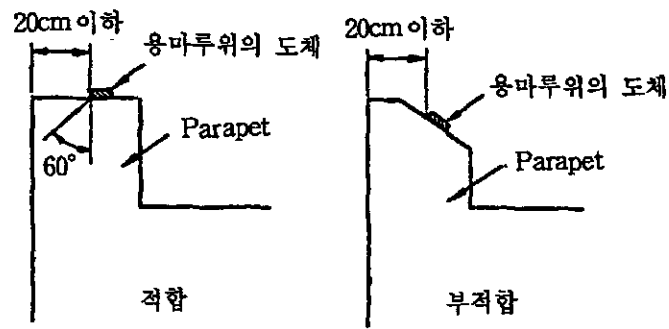


그림 4.5 피라펫의 용마루 위의 도체 설치

(2) 용마루 위의 도체 설치

용마루 위의 도체는 파라펫, 지붕 기타 다른 뇌격을 받기 쉬운 부분에 설치하고 지붕에 설치하는 경우는 바깥돌레로 루프 모양으로 한다. 또, 건축물의 지붕에 시설되어 있는 난간 등의 금속체로 지름이 12mm 이상인 강봉 또는 이와 동등 이상의 강도 및 성능을 가진 것으로 용마루 위의 도체를 대신할 수 없다. 여기에는 구체적으로 다음과 같은 것이 있다.

- ① 난간
- ② 곤도라용 레일
- ③ 국기계양대
- ④ 사다리
- ⑤ 금속제 굴뚝
- ⑥ 파라펫

또, 이들을 수뢰부로 사용하는 경우 다음 사항에 유의하여야 한다.

가. 반영구적 설비가 되도록 할 것.

나. 치수를 확인할 것.

예를 들면, 강, 스텐레스강의 경우 단면적 110㎟ 이상, 동의 경우 단면적 30㎟ 이상, 두께 0.8㎟이상, 알루미늄의 경우는 단면적 50㎟ 이상, 두께 2㎟이상일 것.

다. 접속부 상호간에는 전기적으로 완전히 접속하여 경년변화의 우려가 없도록 대책을 세울 것.

라. 기계적 강도가 충분할 것. 예를 들어, 동관 등의 경우 전기적으로는 두께 0.8㎟ 이상이면 되나, 실제 시공시 피뢰도선과의 접속은 기계적으로 곤란하므로 종합적으로 판단하여 사용가능 여부를 판단할 것.

최근 철근콘크리트 등의 옥상에는 보통의 경우 주위에 난간이 설치되어 있으며, 이를 수뢰부로 충분히 사용할 수 있는 전류용량을 가진 것이 많고, 접지가 잘 되어 있으면 특별히 이것을 보호할 필요가 없다. 오히려 적극적으로 피뢰설비로 사용하는 것이 매우 유리하다고 생각된다. 단, 수뢰부로서 유용한 금속도체는 상호 잘 접속하고 동시에 접지극에 접속하여 이들 사이에 불꽃방전이 생기지 않도록 하여야 한다.

(3) 가공지선 설치

가공지선은 기본적으로 피보호물의 상부에 도선 1조 또는 2조이상을 적당한 간격으로 수평으로 가설하여 수뢰부로 하는 것이며, 피보호물에 근접하여 설치하는 용마루 위의 도체와 피보호물과의 상대적 배치는 약간 다르다.

가공지선은 보호하는 면적이 넓은 공장 등을 보호하는 데 유리한 피뢰설비로 많은 돌침을 필요로 하는 돌침방식에 비하여 보다 효과적인 보호를 기할 수 있고 경제적으로도 유리하다.

4.2.4 피뢰도선

피뢰도선은 뇌전류를 흐르게 하는 수뢰부와 접지극을 접속하는 도선을

총칭한 것이다. 인하도선은 피뢰도선의 일부로 피보호물의 끝에서 접지극까지의 거의 연직한 부분이며 낙뢰에 의한 재해발생을 방지하기 위하여 시설하므로 이것이 많은 것이 바람직하다. 인하도선의 수는 외국에서는 피보호물의 높이에 따라 규정되어 있고 건축물의 바깥둘레 15~25m에 인하도선을 설치하도록 하고 있는 예가 많다. KS에서는 다음과 같이 규정되어 있다.

① 인하도선의 수는 2조 이상으로 한다.

② 피보호물의 수평 투영면적이 50㎡이하의 경우는 1조가 좋다. 단, 피보호물이 위험물인 경우 또는 인하도선 대신 건물의 철근, 철골을 사용하는 경우는 2조이상으로 한다. 피보호물의 수평투영면적이 50㎡ 이하인 경우는 굴뚝이나 첨탑 등은 문제가 없으나, 예를 들어 그림 4.7과 같이 높이 20m를 넘는 부분의 수평투영면적이 50㎡ 이하인 경우 높이 20m 이하의 부분이 50㎡를 넘어도 인하도선은 1조가 좋다.

③ 인하도선의 간격은 피보호물의 바깥둘레에 따라 측정하여 바깥둘레에 거의 균일하게 하고 동시에 가급적 突角部에 가까이 배치한다.

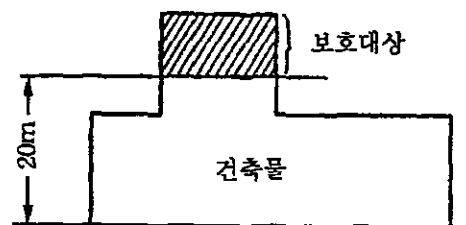


그림 4.6 부분적으로 높이 20m를 넘는 피보호 건축물

4.2.5 피뢰도선과 근처 물체와의 이격 및 금속체 접지

피뢰설비가 뇌격을 받을 경우, 전위상승으로 피뢰도선에 근접하는 금속체에 섬락이 발생하든가 금속체에 큰 유도전압이 생길 우려가 있다.

이에 대한 대책으로서 KS에서는 피뢰도선은 전등, 전화선이나 가스관에 서 1.5m 이상 이격하고 피뢰도선에서 1.5m 근접하는 전선관 등의 금속체는 접지할 것을 규정하고 있다.

뇌격시 전위상승은 피뢰도선의 길이(피보호 건축물의 높이에 관계가 있다.), 가닥수와 써지 임피던스, 뇌격전류와 유입 전파속도, 접지저항 등에 따라 다르나, 임시로 피뢰도선에 흐르는 뇌격전류의 전류상승률을 $20\text{KA}/\mu\text{s}$, 도선 길이 30m 2가닥의 인하도선이 병렬로 되어 있는 것으로 써지 임피던스를 200Ω , 전류의 유입전파속도를 $300\text{m}/\mu\text{s}$ 로 단순하게 생각하면 유입전류의 파두가 접지점의 반사에 따라 피뢰도선 상단의 전위는 800KV가 된다.

뇌 임펄스 방전전압은 극성이나 전극형상 등에 따라 다르나 상기한 전위상승에 대하여 1.5m 이상 이격하여 섬락이 발생하지 않도록 하여야 한다. 또, 1.5m이내에 있는 비충전금속체는 피뢰도선에 접속하든지 주접지극에 접속하여 전위차가 생기지 않도록 하여야 한다. 이 접속은 완전히 고립되어 있는 비충전금속체에만 행하고 철골, 철근콘크리트 등에 접속된 물받이 홈통 등은 이 자체가 접지되어 있는 것으로 생각해도 좋다. 전등용 전선, 전화선, 가스관 또는 전선관, 철관 등의 금속체와 피뢰도선 사이에 철근콘크리트조, 철골철근콘크리트조의 벽, 접지된 금속판, 기타 전기적 차폐물이 있으면 거의 완전히 차폐되어 있으므로 1.5m 이내에 접근해도 지장이 없으며, 접지된 금속체 전선관내의 배선은 피뢰도선에서 1.5m 이내에 접근하여도 관계없다.

또, 전선관 등의 금속체 접지에 사용되는 도선 기타 뇌전류를 흘리기 위한 목적이 아닌 도선은 동선인 경우 14mm이상, 알미늄은 22mm이상의 것이

필요하다. 영국의 피뢰규정에는 피뢰도선과 건축물 금속체와의 필요 이격거리를 다음과 같이 계산하고 있다.

$$D=0.3R+H/15n \quad (4.4)$$

단, D : 필요이격거리

R : 합성 접지저항

H : 건축물 높이

n : 공통 수뢰부에 접속된 인하도선의 수

위 식에서 보는 바와 같이 건축물의 높이가 높으면 필요한 이격거리가 크게 된다. 따라서, 필요한 이격거리 말단에 있는 수조 등의 배관은 도중 여러 개소에 본딩을 하여야 한다.

4.2.6 접지극

접지극은 피뢰도선과 대지를 전기적으로 접속하기 위하여 지중에 매설된 도체이다. 피뢰설비의 접지저항을 낮게 하면 낙뢰시 접지전위상승을 억제하는데 가장 효과적이다. 접지저항은 토양에 따라 달라지므로 KS에서는 다음과 같이 규정하고 있다.

- ① 종합 접지저항 10Ω 이하
- ② 각 인하도선(접지극) 단독 50Ω 이하
- ③ 독립가공지선 10Ω 이하
- ④ 철골 또는 주철근 2조 이상을 가진 인하도선으로 대신하는 경우 피보호물의 기초 접지저항과 접지극의 접지저항과의 합성치 5Ω 이하

접지저항이 아주 낮아 0Ω 에 가까운 경우에는 접지전위 상승값은 작으나 피뢰도선의 임피던스가 있으므로 이 경우에도 피뢰설비의 상부전위가 상당히 상승함에 유의해야 한다.

한편, 모래나 암석을 포함한 토양으로 습기가 작은 장소에는 대지저항률이 높아 접지저항을 10Ω 이하로 유지하는 것이 극히 곤란한 경우가 많다. 이와 같이 접지저항이 10Ω 을 넘는 경우에는 접지극 근처의 전위경도를 가급적 완화시키는 전극배치가 되기 위해 방사상 및 환상의 매설지선을 시설하도록 규정하고 있다. 이와 같은 시공방법은 대지저항률이 $1,000\Omega m$ 이상인 경우에 적용하도록 권장하고 있다. 실제로는 뇌전류와 같은 임펄스전류가 유입되는 경우는 土中放電에 의해 접지저항이 저감(50%)되어 보호효과를 발휘한다.

또, 대지저항률이 높은 경우에는 방사상 매설지선만으로는 피보호물 내부의 대지전위 경도를 기대만큼 낮출 수 없으므로 피보호물의 주위에 환상 매설지선을 설치한다. 구체적인 시공 예는 그림 4.7와 같다.

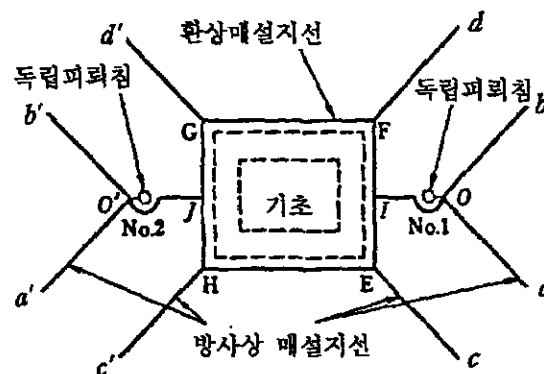


그림 4.7 매설지선 설치 예

4.2.7 건축구조 금속체, 건축설비 등의 이용

철골조, 철근콘크리트조나 철골철근 콘크리트조의 건축물은 자체 피뢰설비의 일부로서 이용효과가 있고 이를 이용하는 방법이 인정되고 있으므로 이에 따라 경제적인 피뢰설비를 설계, 시공할 수 있다.

(1) 철골 및 금속판의 수리부 또는 피뢰도선 이용 및 건축물 기초의 접지극 이용

철골조 건축물이나 금속판으로 싸여진 건축물은 이를 수리부나 피뢰도선으로 이용할 수 있다. 건축물 기초의 접지저항이 5Ω 이하인 경우, 이를 접지극으로 이용하면 좋다. 이 경우 다음 사항에 유의하여 시공해야 한다.

① 수리부가 되는 지붕부분의 금속판은 뇌격에 의해 구멍이 생기지 않을 정도의 두께가 필요하다. 이 두께는 KS규정에 철판이나 동판은 1mm이상, 알루미늄판은 2mm이상으로 되어 있으며, 이 경우 금속상호간은 전기적, 기계적으로 완전히 접속한다.

② 철골조의 건축물로 지붕에 기와나 슬레이트 등 비금속재료를 사용한 것은 용마루 위의 도체나 돌침 등의 수리부를 따로 설치해야 한다.

③ 낙뢰시 건축물 전체의 대지전위를 같게 하려면 철골과 전선관, 수도관, 가스관 기타 금속체와는 전기적으로 접속한다.

(2) 철골, 주철근의 피뢰도선 이용과 건물기초의 접지극 이용

철골철근 콘크리트조의 경우는 2조 이상의 주철근을 사용하여 피뢰도선에 이용할 수 있으며, 건물 기초의 접지저항이 5Ω 이하의 경우는 건축물 기초를 접지극으로 이용할 수 있다.

철근콘크리트조의 건축물에는 철근이 기초, 기둥, 벽 등과 상호 연결되어 있으며 전체적으로 보면 케이지식 피뢰설비를 이루고 있다. 건축물의 철골과 기초의 주철근이 전기적으로 접속되어 있지 않은 경우 철골밀판과 주철근을 철바(bar)로 용접하여 접속하든지 따로 접속금물을 사용하여 접속하지 않으면 구조체가 전기적으로 접속되지 않게 되므로 주의해야 한다.

철근콘크리트 구조물의 뇌보호에는 다음 3가지가 필요하다.

① 철근은 지붕에서 대지까지 수직 또는 수평방향으로 많은 곳에 상호 연결되도록 할 것.

② 수뢰부가 되는 지붕의 금속부는 철근의 최상단에서 여러 곳에 연결할 것.

③ 접지 역할을 하는 금속부분(수도관, 가스관, 철근콘크리트의 밑바닥, 승강기 레일, 난방시설 등) 및 환상배설지선은 수직철근의 하단에 연결시킬 것.

철골이나 철근을 피뢰도선으로 사용하는 경우 건축물 전체에 케이지효과가 기대되지만, 고층건축물에 뇌격을 받을 때에는 층사이에는 상당한 전위차가 발생하므로, 건축물 내부 및 건축물과 외부간의 등전위화에 유의하여야 한다.

또, 건축물 기초 토목공사시 땅속에 타설한 콘크리트 파일 등도 접지극으로 이용하면 유용하다.

4.2.8 독립피뢰침, 가공지선 또는 케이지

독립피뢰침, 독립가공지선 또는 케이지에 의한 방법은 일반 돌침부, 용마루 위의 도체, 피뢰도선, 접지극과 같이 시설하거나 다음과 같이 한다.

(1) 독립피뢰침

피보호물에서 격리하여 독립된 돌침을 수뢰부로하여 지상에 시설하는 피뢰설비가 있는데 이 방식은 소규모 건조물의 보호에 적합하다. 독립피뢰침에 지선을 설치하는 경우 이를 피뢰도선으로 간주하여 근처 금속체와 필요한 이격거리를 두거나 정전차폐를 하여야 한다. 특히, 대지저항률이 높고 규정의 접지저항이 얻어지지않는 2기이상의 독립피뢰침인 경우 접지극을 서로 연결한다. 이 경우 접지선에는 단면적 30mm² 이상의 도선을 사용하고 지하에 0.5m이상의 깊이에 매설한다. 상기와 같이 시설하여도 어떤 규정의 저항이 얻어지지않는 경우는 환상배설지선으로 접지극을 상호 연결한다.

(2) 독립가공지선

독립가공지선은 피보호물 위에 이와 적당한 이격을 두어 架線된 도선을 수뢰부로 하는 피보호물로부터 독립된 피뢰설비이다.

독립가공지선의 접지극은 각 인하도선에 1개소이상 접속하고 이들 각 인하도선의 단독 접지저항은 10Ω 이하로 하여야 한다. 독립가공지선과 피보호물과의 이격은 2m이상 이격한다.

(3) 케이지

케이지는 피뢰를 목적으로하여 피보호물 전체를 포함한 연결적인 망상도체이다. 산정상과 같이 낙뢰가 많은 장소, 중요 건축물 등에는 때시 2m이하의 케이지에 의한 방법이 바람직하다. 이 케이지는 건축물 전체를 감싼 것이다. 케이지 내부는 낙뢰에 의해 케이지의 대지전위가 상승하여도 안전하므로 내부의 안전만을 고려한다면 케이지를 접지할 필요는 없다. 그러나, 주변의 전위경도를 낮추고 케이지 내부로 인입된 전력선, 전화선에 낙뢰로 인한 고전압이 침입되지 않도록 하려면 낮은 저항으로 접지함과 동시에 이들 전선에 적당한 피뢰기를 설치하는 것이 좋다.

4.2.9 위험물 관련 건축물 피뢰설비

화약, 가연성 액체, 가연성가스 등의 위험물을 저장 또는 취급하는 건축물에 시설하는 피뢰설비는 일반 건축물과 같이 시설하든가 다음과 같이 한다.

(1) 피뢰설비는 돌침(독립피뢰침 포함), 수평도체, 케이지의 어떤 것이든 좋다. 단, 화약류 취급법 관계에는 피뢰침 또는 가공지선으로 한다고 규정되어 있다.

광범위한 보호를 필요로 하는 공장 등의 보호에는 가공지선을 지붕위에 설치하는 방법이 바람직하며, 이 방법은 돌침방식에 비해 보호효과가 좋으며 공사비도 절약된다.

(2) KS에 따르면, 돌침 및 수평도체의 보호각은 45° 로 한다. 단, 2기이상의 독립피뢰침 안쪽(평면적으로 보아 피뢰침을 이은 중심선에 대해 양쪽 30° 의 범위) 및 2조이상의 독립가공지선으로 좁아진 부분의 보호각은 60° 이하로 하여도 좋다. (그림 4.8)

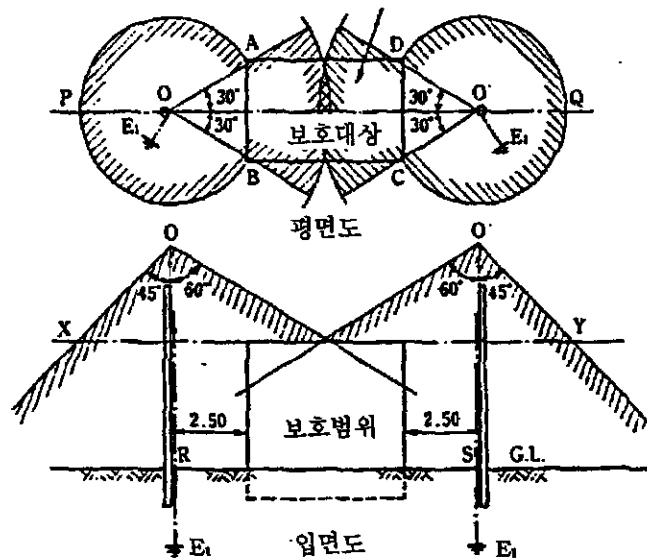


그림 4.8 독립피뢰침 2기를 설치한 경우의 설계

(3) 위험물 관계의 건축물은 완전보호를 목적으로 하는 것이므로 피보호물은 전부 보호범위내에 들어가도록 한다.

(4) 피뢰설비는 가연성 가스가 발산할 우려가 있는 밸브, 케이지, 배기구 등 등에서 1.5m이상 이격한다. 단, 부득이 1.5m 미만으로 할 경우는 가연성 가스가 발산하는 부분을 내식성이 있는 금속망으로 싸는 등 인화방지에 유효한 구조로 한다.

(5) 금속제 유조에 있어서는 리벳, 용접 기타의 방법으로 금속 상호간 및 밸브 등을 유조에 전기적으로 접속하여 통전에 의한 불꽃이 발생하지 않는 구조로 한다.

(6) 위 항에 적합하고 두께 3.2mm 이상의 금속판으로 되어있고 밀폐되어 있는 유조에 대해서는 이를 수뢰부 및 피뢰도선으로 대신하여도 관계없다.

(7) 독립피뢰침, 독립가공지선의 피보호물과의 필요한 이격거리는 그림 4.9와 같다.

(8) 화약류 취급법에서 피뢰도선 수는 41mm이상의 도선과 동등이상의 경우를 제외하고는 2조이상으로 하도록 규정하고 있다.

(9) 케이지를 설치하는 경우 메시는 1.5m이하로 한다.

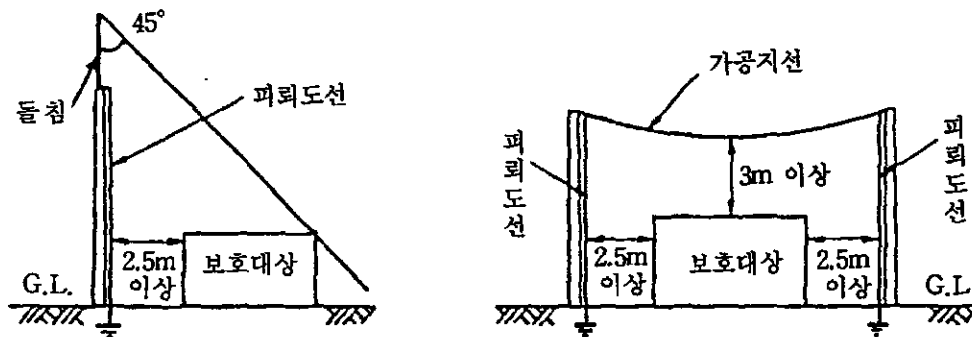


그림 4.9 독립피뢰침과 독립가공지선의 이격거리

4.3 내부 피뢰를 위한 접지설계 기법

내부 피뢰(Internal Lightning Protection)란 주로 건축물내의 각종 전기설비나 인명을 낙뢰로부터 보호하기 위한 접지시스템 설계를 말한다.

4.3.1 등전위화를 위한 접지설계

건축물의 피뢰설비나 건축물 자체에 낙뢰시 발생하는 전위상승 및 옥내의 전기회로 또는 전기설비와 건축구조체와의 전위차는, 고층건축물일수록 크다. 따라서, 건축물내의 피뢰대책은 낙뢰시 전위를 균등화시켜 각 부분에서의 전위차를 최소한으로 저감하도록 하는 것이 접지시스템 설계시 가장 우선적으로 고려하여야 할 사항으로서 건축물 및 피뢰설비의 접지저항을 저감하는 것보다도 중요한 사항이라고 할 수 있다.

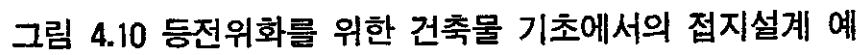
접지저항 허용치 자체는 낙뢰시 건축물 외부의 영향이나 근처 설비와의 관계를 생각할 때 고려해야 할 사항이다. 등전위화를 효과적으로 달성하려면 접지설계시 다음과 같은 기본적 사항을 염두에 두어야 한다.

(a) 등전위화를 확실히 하려면, 건축물의 기초와 바닥에서의 공용 접지점을 설치하든가, 전체가 금속으로 된 설비를 연결하는 연접접지선(Bus-bar)을 설계하는 것이 바람직하다. 특히, 건축물 기초의 등전위화를 위해서는 건축물의 기초 접지, 매쉬 접지를 하는 것이 효과적이다.

그림 4.10은 건축물 기초에 연결도선을 사용한 접지설계의 기본적인 참고 예를 보여주고 있다. 또, 그림 4.11과 같이 공용접지점을 설계하고 각 층에 시설되는 전기회로 및 설비의 접지 단자를 이에 접속하는 것이, 낙뢰로 인한 위험요인을 제거하는 데 가장 중요한 수단이 되며 이를 등전위화를 위한 일점접지방식이라 한다.

(b) 피뢰설비의 인하도선은 건축물 기초접지에 접속하고, 고층 건축물일 경우 인하도선을 전부 병렬로 접속하여 임피던스가 감소되도록 한다.

그림 4.12는 일반 건축물 및 고층 건축물에서 임피던스를 낮추기 위하여 인하도선과 건축물구조체를 병렬접속한 예를 나타낸 것이다.



- 56 -

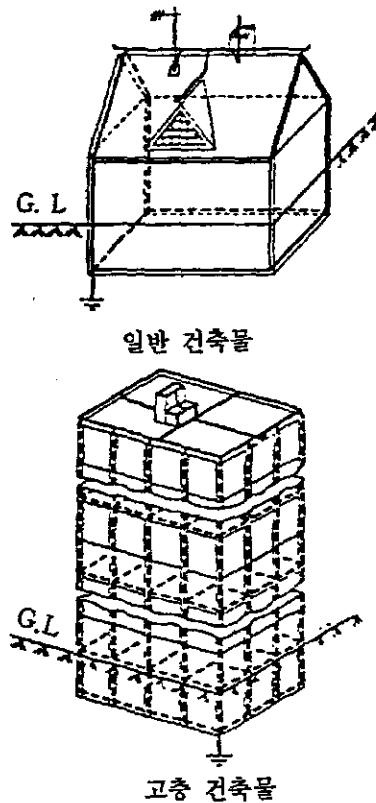


그림 4.12 임피던스 저감을 위한 병렬접속(예)

(d) 전자장치를 포함한 제어, 측정, 통신 및 컴퓨터 등의 약전설비는 뇌 전류의 영향을 받지 않도록 피뢰도선으로 부터 가능한한 이격하도록 하고 필요시에는 차폐를 하도록 한다.

(e) 상기한 각 종 전기회로의 배선은, 피뢰도체와의 容量結合, 電磁結合으로 인한 영향을 경감하기 위해 금속채 전선관에 넣고 이를 건축물내의 공용접지점에 접속한다. 이는 낙뢰시의 전계변화에 의한 유도전압 경감에도 유효한 수단이된다.

위와 같은 대책이 불가능한 전력용배선, 전화선 또는 가스관 수도관 등은 피뢰도선으로 부터 충분한 거리(적어도 1.5m 이상)를 유지하도록 하여 낙뢰시 피뢰도선의 전위 상승에 의한 피해를 방지하도록 한다.

또, 피뢰도선에서 충분한 거리를 할 수 없는 빗물의 홈통, 철사다리 등의 금속채는 공용접지점에 접속한다.

4.3.2 전력용 설비 보호를 위한 설계

보통 저압 옥내기기의 雷임펄스로 인한 절연 파괴전압은 수 KV정도이고, 2~3 KV 정도도 있기 때문에, 이들 기기의 전기회로 및 설비보호는 등전위화가 되도록 설계하여야 한다. 또, 건축물 기초접지 저항을 가능한 낮게 함과 동시에, 피뢰도선의 병렬배치 및 건축물(금속) 구조체접지를 포함한 임피던스가 저감되도록 해야 한다. 건축물의 외부에서 전력선을 통해서 침입하는 뇌서지에 대해서는, 인입구에 피뢰기를 설치하여 이를 억제하는 것이 매우 중요하다. 건축물 내에 인입되는 전력용 전기회로의 전압은, 고압 또는 특별 고압의 경우와 저압의 경우로 크게 나눌 수 있다. 전자는 사무소 빌딩, 백화점, 공장이나 연구소 등이 그 예이고, 후자는 일반 가정, 상점, 소규모 공장 등이 대표적이다. 이 양자의 경우 건축물내의 전기회로 및 설비에서, 뇌격에 기인하는 유도전압을 억제하기 위해서는 다음 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

건축물 자체가 완전한 케이지를 구성하고 있는 경우는, 그 내부 전기회로의 도체에는 유기전압이 발생하지 않지만, 이것이 불완전한 경우 피뢰도선과 이에 접속한 건축물(금속) 구조체와의 사이에 電磁結合으로 인한 유도전압이 발생하게 된다. 따라서, 이 값이 커서 저압배선이나 이에 접속된 옥내기기의 절연내력을 초과할 때는 절연파괴로 인하여 기기가 손상을 받게 된다. 이를 방지하기 위한 설계는 다음 사항을 고려하여야 한다.

저압 배선에서는 그림 4.13과 같이 기기시설 개소 또는 차단기의 부하측에 뇌서지 등의 과전압을 제어하는 보호장치(피뢰기 등)를 各相과 중성선 사이에 접속하도록 하고, 저압회로의 중성선(점)이나 접지 단자는 공용접지점에 접속하는 것이 좋다.

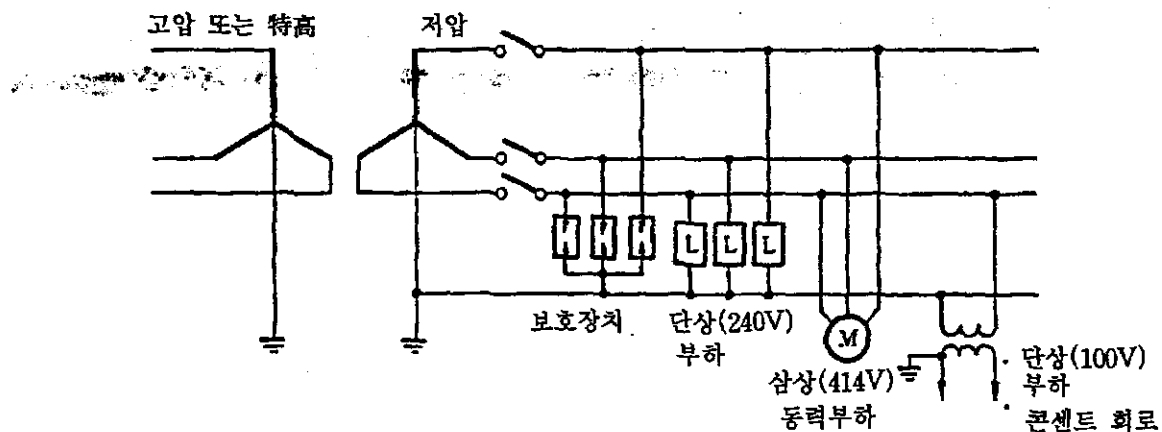


그림 4.13 저압배선에서의 보호 예

또, 배선간의 유도전압을 가능한 억제하기 위해, 다음과 같은 기본적인 대책을 설계에 반영하는 것이 매우 중요하다.

- ① 배선을 가급적 폐루프가 되도록 한다.
- ② 왕복하는 배선은 가능하면 합쳐서 배치한다.
- ③ 옥내배선은 피뢰설비와 인하도선 및 접지선에서 가급적 큰 간격을 두도록 한다.
- ④ 옥내배선과 피뢰설비를 크게 이격할 수 없을 때 특히, 실드가 부착된 케이블을 사용하거나 실드가 없는 전선을 사용하는 경우에는 금속관이나 금속관 덕트에 넣어 배선하도록 한다.

4.3.3 약전용 설비 보호를 위한 설계

건축물내의 약전용 전기회로는 전화인입선 같은 통신회로나 TV 케이블 같은 수신회로 및 옥내 저압전원에 접속된 전자회로와 설비 등으로 대별할 수 있으며 이들에 대한 설계는 다음과 같이 한다.

(a) 전화 인입선 등 통신회로는 먼저 건축물내의 인입점에 피뢰기를 설치하여 외부에서 침입하는 낙뢰서지를 억제하고 서지 압소버(Surge absorber)로 건축물내 배선간의 과대한 전위차를 낮춘다. 이때 피뢰기 등의 보호장치는 공용접지극(점)에 접속하도록 한다.

(b) TV 필터 케이블 같은 수신회로에서 동축 케이블의 실드는 피뢰도선에 직접 접속하고 필요에 따라서는 TV수신기 회로를 금속 차폐한다.

(c) 각 종 전자회로와 설비에 대해서는 전원측과 4.2.2)에서 기술한 방법으로 설계(그림 4.14)하도록 하고 전자회로는 다음 사항을 고려하여 기본설계에 반영하도록 한다.

- ① 동일배선은 여러 가닥을 묶어서 실드된 도선으로 한다.
- ② 배선이 폐회로가 되도록 한다.
- ③ 피뢰설비나 이의 인하도선에서의 이격은 가능한 크게하고, 금속망으로 된 실드케이지로 차폐하여 1개소에 접지시킨다. (일점접지)
- ④ 절연 변압기, 피뢰기나 배선에 관계되는 접지는 등전위를 위해 상기의 금속 실드 케이지의 접지와 함께 일점접지한다.
- ⑤ 배선의 실드 케이지에서의 인입과 인출은 상기의 접지점 가까이 모여서 행하여야 하며, 임의의 개소에서 인입, 인출하는 것을 피한다.

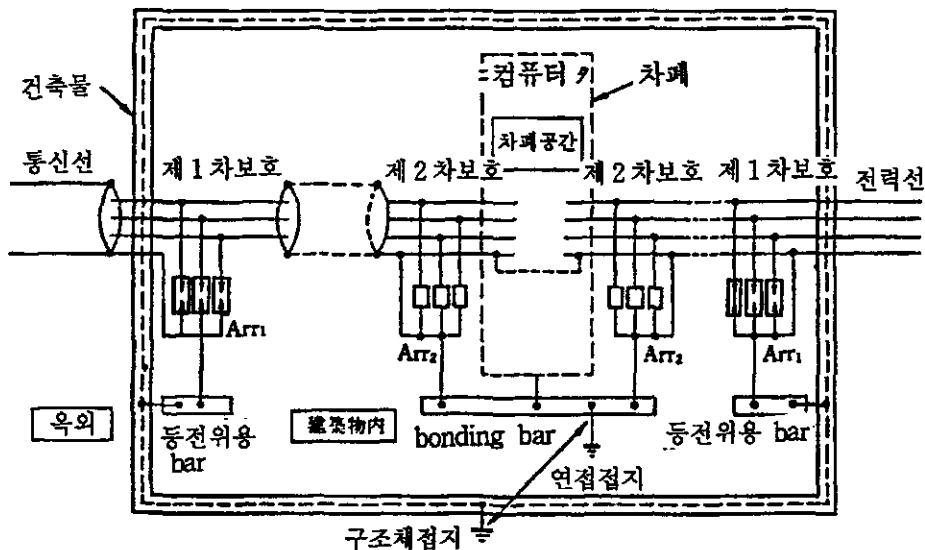


그림 4.14 전자회로 등 약전설비의 뇌보호 개념

5. 결 론

본 연구는 1994년도의 “산업용 플랜트 접지시스템의 전위분포 해석기법에 관한 연구”에서 금후 과제로 제시된 사항을 토대로 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 94년도 과제에서 개발한 접지설계 프로그램을 기본으로하여 계절변화를 고려한 대지저항률 해석 알고리즘을 적용하여 프로그램에 반영하였다. 이는 접지설계시 가장 중요하게 고려하여야 할 토양의 전기적 특성에 대한 계절 변화의 요소를 반영한 것으로 보다 정확한 토양 해석과 이를 토대로 한 접지설계가 가능하다.

2. 낙뢰 및 뇌썩어지로 인한 접지 임피던스 변화와 이로 인한 접지계통의 전위상승 및 유도전압으로 인한 영향을 고찰하였다.

3. 건축물에의 뇌격시 방호 가능한 파괴범위 설정에 대한 기준을 IEC 등 국제규격을 중심으로 분석하였다.

4. 낙뢰보호를 위한 건축물의 외부 및 내부파괴를 위한 접지시스템의 설계기법을 제시하였다.

이 연구결과를 바탕으로 향후 검토되어야 할 과제는 다음과 같다.

- 낙뢰시 뇌전류의 유입으로 인한 접지계통과 전기설비의 전자계 변화와 영향에 대한 연구가 계속되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] R. H. Gold, Lightning, Vol. 2, Lightning Protection , Academic Press, London, New York, 1977
- [2] Protection Low Voltage Circuits against Lightning Surges, Electrical Review, Vol. 207, No. 4, 1980
- [3] IEC /TC 81, 81(S)31, Protection against LEMP, 1990
- [4] IEC /TC 81, 81(S)32, Lightning Protection, Draft, Guide A: Risk Evaluation and Selection of LPS, 1990
- [5] IEC /TC 81, 81(S)32, Lightning Protection, Draft, Guide B: Construction of LPS, 1990
- [6] 配電線 耐雷設計가이드북, 電力中央研究所 研究報告, 1976
- [7] EPRI, Analysis Techniques for Power Substation Grounding Systems, Vol. 1, Research Project 1494-2, Report EL 2682, 1982
- [8] 高橋健彦, 이형수역, 接地設計 入門, 동일출판사, 음사, 1993
- [9] 이형수, 이관형, 이봉용, 심건보, “최적접지설계를 위한 대지 파라미터의 추정”, '94 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 1994, pp. 61-63
- [10] SES Ltd., Power System Grounding and Electromagnetic Field, Technical Seminar, San Francisco, 1994

낙뢰보호를 위한 접지시스템의 설계기법에 관한 연구
(기전연 95-5-6)

발 행 일 : 1995. 12. 31
발 행 인 : 산업안전연구원장 이 한 훈
연구수행자 : 선 임 연 구 원 이 형 수
발 행 처 : 한국산업안전공단
 산업안전연구원
 기전안전연구실
주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4
전 화 : (032) 510-0842
F A X : (032) 518-6483

<비매품>