특집 2006 내선규정 수록 신기술

뇌 보호 시스템의 트라이앵글 공법 (전력신기술 제28호)

정용기〈의제전기설비연구원 원장/기술사/공학박사〉 · **이강수**〈의제전기설비연구원 기술부장〉

1. 신기술 개발 배경

1.1 최근 국제 환경변화

1995년 WTO/TBT가 세계 140여 개국이 가입 출범된 이후 대기, 수질, 토양 오염에 대한 문제는 한 국가의 문제가 아닌 세계 공통 문제가 되고 있다. CO_2 배출량 통제, 토양을 오염시키는 수은, 동, 카드뮴 등의 철저한 사용 통제 등이 대표적인 사례이다.

산업의 발달과 국토 개발 등의 사업이 증가하면서 금속제품의 사용이 증가하고 있어 구리, 카드뮴, 납 등의 중금속 오염에 의한 토양 및 수질 오염, 인체 오염 등 많은 문제점을 야기하고 있다. 이러한 환경오염(토양 및 수질 등)을 방지하고 보호하기 위한 환경관련 법규가 이미 오래전부터 제정 시행되어 왔으나, 인식부족과 의식결여 등으로 환경 오염문제가 심각한 상황에 이르렀다. 다음은 환경관련 법규 중 토양오염 보전법 시행규칙의 내용을 발췌한 것이다.

1) 토양환경 보존법 시행규칙〔일부개정 2005.7.22 환경부령 179호〕

〔별표 3〕〈개정 2005.6.30〉 토양오염우려기준(제1조의 5 관련)(단위 : 〔mg/kg〕)

물 질	가 지 역	나 지 역	비 고
카드뮴	1.5	12	1. 가지역 : 지적법에 의한 지목이 전, 답, 대, 과수원, 목장용기, 임야, 학교용지, 하천, 수도용지, 공원, 체육용지(수목, 잔디 식생지에 한한다), 유원지, 종교용지 및 사적지인 지역 2. 나지역 : 지적법에 의한 지목이 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지인 지역 3. 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 지목 구분에 관계없이 나지역의 토양오염우려기준을 적용한다. 가. 특정토양오염관리대상시설이 설치된 경우 나. 가지역에서 폴리클로네이티드비페닐 또는 유류(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌(BETX) 항목에 한한다.)에 의한 토양오염사고가 발생한 경우 다. 가지역을 제외한 지역에서 토양오염사고가 발생한 경우
구리	50	200	
비소	6	20	
수은	4	16	
납	100	400	
6가크롬	4	12	
아연	300	800	
니켈	40	160	
불소	400	800	
유기인화합물	10	30	
폴리클로리네이티드비페닐	-	12	
시안	2	120	
페놀	4	20	
유류(동, 식물성 제외) - 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌(BTEX) - 석유계총탄화수소(TPH)	- 500	80 2,000	
트리클로로에틸렌(TCE)	8	40	
테트라클로로에틸렌(PCE)	4	24	

1.2 최근 국내 법규 및 제 규정의 변화

최근 정부는 대한민국의 국가 경쟁력을 키우고 WTO/TBT 협정 준수를 위해 국내 모든 기술기준을 국제 규격화하기 위해 관련된 모든 기준을 IEC 또는 ISO 기준으로 개정공포하고 있다.

전기 분야에서는

- ㅇ 전선규격의 국제화(2006년 6월 이후 기존 전선 규격 폐기)
- ㅇ 건축전기설비 분야 기준 KS C IEC 60364 기술기준령 개정
- ㅇ KS C IEC 60364를 포함한 내선규정 개정
- ㅇ 피뢰설비 분야 기준 KS C IEC 61024 기술기준령 개정 및 앞으로 KS C IEC 62305로의 전환 등

을 완료하여 시행하고 있다.

또한 건축법 시행령 "건축물의 설비기준 등에 관한 규칙" 제20조 피뢰설비 기준이 새로 고시된 KS 피뢰설비 기준을 적용하도록 의무화하는 법령을 2006년 2월 13일 개정 공포하였다[1].

이 개정된 법령의 주요 골자 중 특히 접지는 환경오염을 유발시키는 시공방법이나 화학첨가물은 사용하지 못하도록 하고 있고, 60[m] 이상 건축물에 대해서는 측격뢰를 방지하기 위해 건축물 높이의 4/5 지점부터 상단부분까지 수뢰부를 설치하도록 하고 있다. 다만 60[m]를 초과하는 상단부분에 외부 각 금속부재를 2개소 이상 전기적으로 본딩하여 전기적 연속성이 확보된 것에 대해서는 수뢰부로 간주하도록 하고 있다.

또한 2006. 4. 12에 제정된 제주특별자치도 지하수관리 기본조례 "제16조 지하수에 영향을 미치는 굴착행위의 신고 등"에 따르면 굴착심도 5[m] 이상이고 굴착지름이 75[mm] 이상인 경우(낙뢰방지시설의 설치를 위한 시추 포함) 관련 서류를 첨부하여 도지사에게 신고하도록 하고 있다. 따라서 사실상 접지를 위해 수십 미터씩 굴착하는 행위는 어렵게 되었다.

1.3 기후변화와 고도 산업 성장

지구의 온난화로 최근 한반도 낙뢰 빈도와 강도가 커지고 있으며 계절별 범위도 확대되고 있는 추세에 있다.

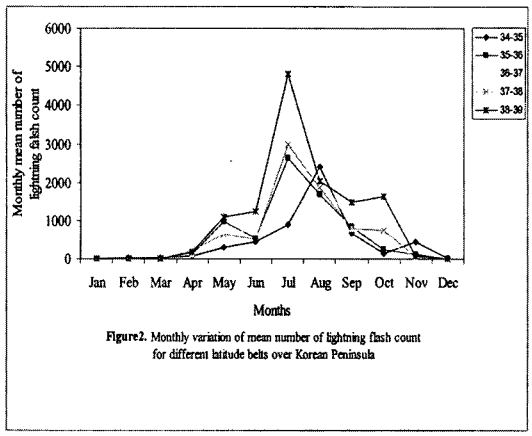
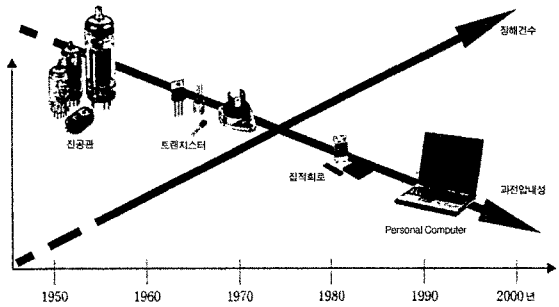


Figure2. Monthly variation of mean number of lightning flash count for different latitude belts over Korean Peninsula

〈최근 한반도 월별 낙뢰 발생 빈도 분포〉

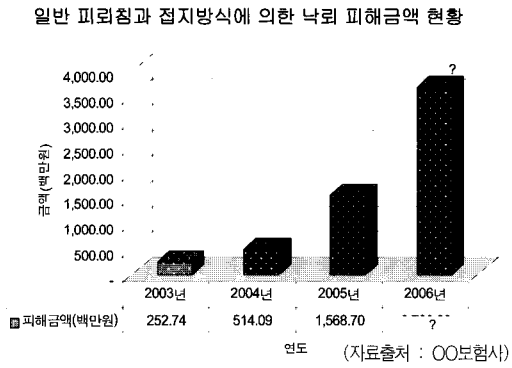
[출전 : 부산대 하경자 교수의 미국 기상학회 발표 자료에서 발췌]

또한 모든 IT 정보 산업기기의 내장부품 및 소자가 과전압 내성이 갈수록 약해지고 있으며 외부 낙뢰나 사고전류, 서지전압에 내성을 가지고 있지 못하다.



〈Electronics화와 전자적 장해 발생〉

[출전 : 독일 OBO사]



〈일반 피뢰침과 접지방식에 의한 낙뢰 피해금액 현황〉

※ 본 자료는 아파트 및 주택 등 저층 건물 피해 현황임(공장 및 대규모 고층 건물 등은 제외)

지구 온난화와 환경변화로 낙뢰 빈도가 증가하여 낙뢰 피해 금액도 기하급수적으로 증가하고 있다. 위 사례는 국내 1개 보험사의 아파트 및 주택 등 저층 건물의 현황만을 나타낸 것으로 공장 및 대규모 건축물을 포함한 국내 모든 보험사의 피해금액 총액은 상당할 것으로 예상된다.

1.4 기존 피뢰, 접지의 현황 및 문제점

1.4.1 낙뢰 피해 원인

1) 직격뢰에 의한 피해

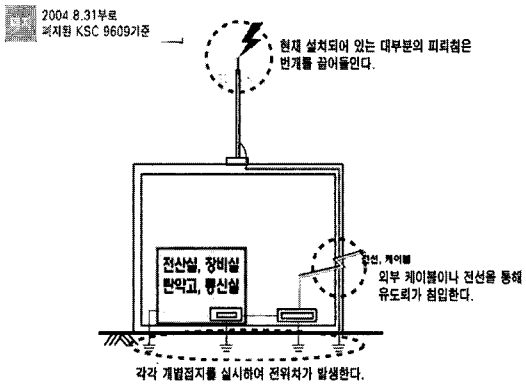
현재 설치되어 있는 프랭클린 피뢰침은 번개를 끌어들이는 피뢰침으로 건물에 번개가 맞을시 과전압이 발생하여 통신장비나 컴퓨터 등 민감한 전자기기가 손상된다.

2) 유도뢰에 의한 피해

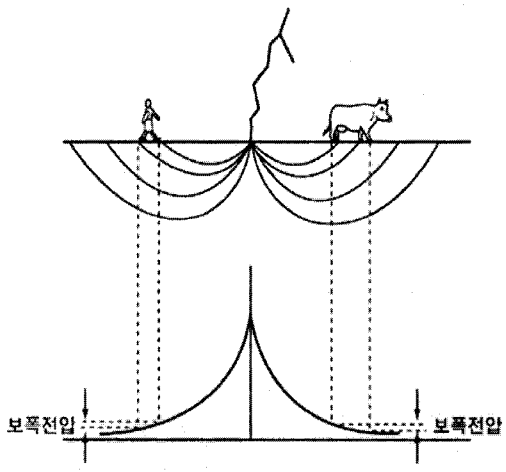
건물 주변에 번개를 맞았을 때에도 외부케이블이나 전선을 통해 유도뢰가 발생한다. 이로 인해 통신장비나 컴퓨터 등 민감한 전자기기가 손상된다. 따라서 유도뢰를 차단해 줄 수 있는 장치가 필요하다.

3) 간접뢰에 의한 피해

각각 개별접지를 실시하여 전위차가 발생한다. 이로 인해 통신장비나 컴퓨터 등 민감한 전자기기가 손상된다. 따라서 접지를 모두 연결하는 통합접지를 하여 등전위화 하고 낮은 접지저항을 유지할 수 있는 접지장치가 필요하다



〈낙뢰 피해 원인 개요도〉



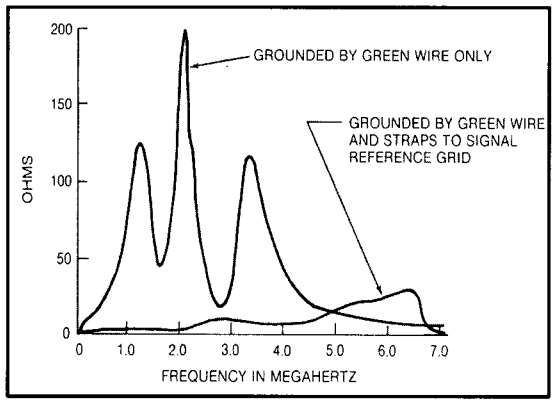
〈낙뢰 시 전위차에 의한 사고 원인〉

1.4.2 접지 설비 현황 및 문제점

- 지금까지의 접지설비는 일본의 규정을 그대로 모방한 내선규정의 규정대로 전기, 피뢰, 외함, 통신 등 개별 접지를 실시하였다. 이러한 개별 접지는 위치별로 심한 전위차가 발생하고 이로 인한

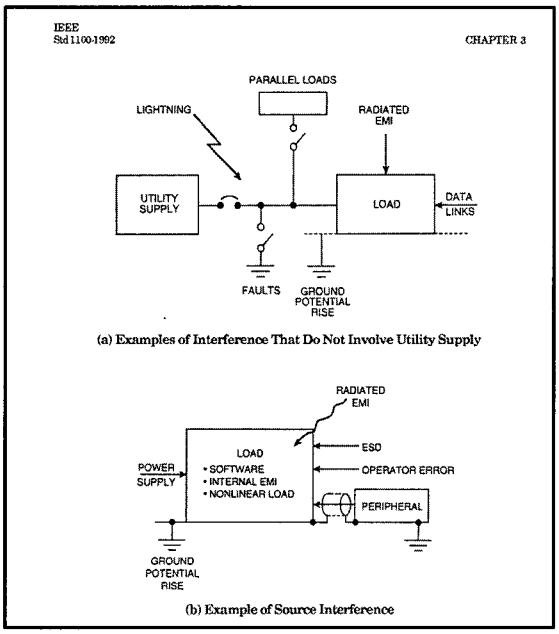
통신장비나 컴퓨터 등 민감한 전자기기를 손상시키는 원인이 된다.

- 또한 개별 접지는 접지 저항을 확보하기가 어렵고 낙뢰시 과도 임피던스(주파수) 특성이 좋지 않아 주변기기에 악영향을 미친다.
- 지금까지 사용하던 1종, 2종, 3종, 특별 3종 접지의 규정 접지저항치의 과학적 근거가 미비하다. 1900년대 일본엣 정한 규격으로 엄밀한 의미에서 "근거가 없는 기준"이다. 일본에서도 이를 심각하게 인정하고 JIS 규격 및 모든 관련 규격을 1999년부터 공통 등전위 접지로 바꾸고 있다.
- 세계적으로 전기, 정보통신 분야의 이론과 실무적인 권위를 인정하고 있는 IEEE에서 권하고 있는 자료를 보면 모든 노이즈나 서지의 근본 원인을 차단하기 위해서는 대상 시설물과 구조체의 완벽한 등전위를 권고하고 있다
- 이미 선진국에서는 토양오염 등의 문제로 심타공법(땅을 깊이 천공하여 시공하는 접지방식)을 점차 지양하고 있는 추세에 있다. IEEE 권고안을 보면 전식(電蝕) 및 부식 등을 고려할 경우는 Carbon(탄소)과 스테인리스만을 권장하고 있다.
- 따라서 접지 등에서 야기될 수 있는 토양오염에 대해 적극적으로 대처해야 한다.
- 현재는 대지면에 그대로 포설되는 다량의 나동선이 토양을 오염시키는 직접적인 원인으로 지적되고 있어 앞으로 이에 대한 근본적인 대책이 강구되어야 할 것으로 예상된다.
- 지금의 모든 정보통신 접지는 외부로부터 접지시공을 한 후 내부로 접지선을 연결하는 방식을 사용하여 왔고, 최근 도전성 콘크리트로 구내에 접지 보강을 시도하고 있으나 도전성 콘크리트만을 사용할 경우 보조적인 접지저감 역할에 국한되어 이상전류나 사고전류를 신속히 방류하는데 한계가 있다. 철(Fe)과 구리(Cu)가 같은 저항이 나오더라도(일반 TEST 측정) 전기도전성이 달라 전자의 이동성이 다른 것처럼 도전성 콘크리트는 접지 단면적을 넓혀주는 역할 이외에 사고전류를 분산시키는 접지 목적으로는 사용이 제한적이다.



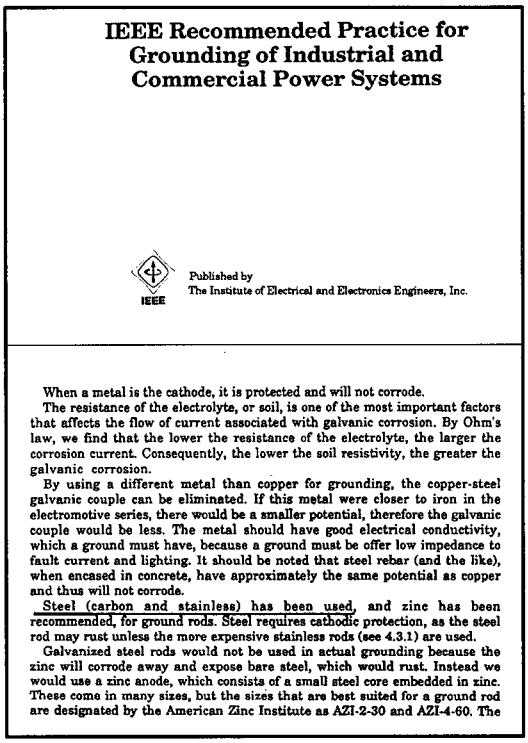
〈접지 임피던스의 과도 특성〉

[출전 : IEEE Recommend]



〈장해의 원인〉

[출전 : IEEE Std.1100-1992]



IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems

Published by
The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

When a metal is the cathode, it is protected and will not corrode.

The resistance of the electrolyte, or soil, is one of the most important factors that affects the flow of current associated with galvanic corrosion. By Ohm's law, we find that the lower the resistance of the electrolyte, the larger the corrosion current. Consequently, the lower the soil resistivity, the greater the galvanic corrosion.

By using a different metal than copper for grounding, the copper-steel galvanic couple can be eliminated. If this metal were closer to iron in the electromotive series, there would be a smaller potential, therefore the galvanic couple would be less. The metal should have good electrical conductivity, which a ground must have, because a ground must be offer low impedance to fault current and lighting. It should be noted that steel rebar (and the like), when encased in concrete, have approximately the same potential as copper and thus will not corrode.

Steel (carbon and stainless) has been used, and zinc has been recommended, for ground rods. Steel requires cathodic protection, as the steel rod may rust unless the more expensive stainless rods (see 4.3.1) are used.

Galvanized steel rods would not be used in actual grounding because the zinc will corrode away and expose bare steel, which would rust. Instead we would use a zinc anode, which consists of a small steel core embedded in zinc. These come in many sizes, but the sizes that are best suited for a ground rod are designated by the American Zinc Institute as AZI-2-30 and AZI-4-60. The

〈접지극으로 탄소와 스테인리스를 사용하도록 권고하고 있는 IEEE 문서〉

〔출전 : IEEE Recommend〕

1.4.3 피뢰설비 현황 및 문제점

- 지금까지 사용하고 있는 일반 돌침형 피뢰침과 광역 피뢰침은 낙뢰를 유인하는 방식으로 낙뢰피해를 근본적으로 막는데 제한적이다.
- 또한 현재까지의 피뢰 시스템은 피뢰용 단독 접지를 요구하고 있어 새로 제정되는 건축법 시행령 기술기준 및 KS C IEC 61024 규격에 부합되지 않는다.
- 이미 미8군 및 국방부에서는 군 시설에 이 광역 피뢰침의 성능이 검증되지 않아 설계, 시공을 금지하고 있다.
- 또한 기존 광역 피뢰침은 단독 접지를 요구하고 있어 내부 등전위에 의한 전위차 해소 목적을 달성시킬 수가 없도록 되어 있다.
- 기존 건축물들의 일반피뢰침이나 광역 피뢰침도 낙뢰 방지를 위한 피뢰 시스템으로 보강한 후 분리되어 있는 피뢰접지와 건물 구조체를 등전위 본딩시키는 보완이 요구되고 있다.

2. 뇌 보호 시스템의 트라이앵글 공법

2.1 트라이앵글 공법 개요

2.1.1 트라이앵글 공법 기술 배경

- 한국산업규격(KS C IEC 61024), 건축법(건축물의 설비기준 등에 관한 규칙) 〔1〕 등 피뢰설비 관련 제 법규의 국제화로 개정 공포되면서 피뢰설비에 대한 인식 전환과 환경문제 등이 거론되고 있다.
- 토양환경 보전법 및 수질환경 보전법에서 구리가 오염물질로 분류되어 있다. 개정된 건축법 "건축물의 설비기준 등에 관한 규칙"의 제20조6항에 환경오염을 일으킬 수 있는 화학물질이나 접지제품을 사용하지 못하도록 하였다. 접지 동봉 매설 시 동 부식에 의한 구리 성분의 유출로 토양과 수질을 오염시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 탄소 저저항 접지 모듈을 적용 설치하는 것을 권장한다(제주특별자치도 지하수관리 기본조례 참조).
- "트라이앵글 공법" 신기술 적용에 대한 법적근거 〈전력기술 관리법〉
  a. 전력기술관리법 제6조의2 (신기술의 지정·보호 등)〔본조신설 2002.3.25〕
  1) 산업자원부장관은 국내에서 최초로 개발한 전력기술 또는 외국에서 도입하여 개량한 것으로서 국내에서 신규성·진보성 및 현장적용성이 있다고 판단되는 전력기술에 대하여 이를 개발 또는 개량한 자의 신청이 있는 때에는 그 기술을 새로운 전력기술로

지정·고시할 수 있다.

2) 산업자원부장관은 제1항의 규정에 의하여 지정·고시한 새로운 전력기술(이하 "신기술"이라 한다)을 개발 또는 개량한 자가 신기술에 대한 기술사용료를 받을 수 있도록 하거나, 발주자에게 신기술과 관련된 장비 등의 성능시험과 시공방법 등의 시험시공을 권고하거나 시험시공의 결과가 우수한 신기술에 대하여는 우선 적용을 권고하는 등의 방법으로 신기술을 보호할 수 있다.

3) 신기술의 지정에 필요한 기술의 평가방법 및 지정절차, 신기술의 보호내용·기술사용료·보호기간 및 활용방법 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

b. 전력기술관리법 시행령 제7조의4(신기술의 보호·활용 등)〔본조신설 2002.12.11〕

1) 신기술을 개발 또는 개량한 자(이하 "신기술개발자"라 한다)는 그 신기술을 사용하는 자에 대하여 신기술사용료의 지급을 청구할 수 있다.

2) 산업자원부장관은 법 제12조제1항 본문의 규정에 의한 발주자(이하 "발주자"라 한다)에게 유사한 외국도입기술의 사용보다는 신기술의 우선사용을 권고하거나, 그 신기술의 활용을 위한 성능시험 및 시험시공을 권고할 수 있다.

3) 발주자는 신기술을 특별한 사유가 없는 한 그가 시행하는 전력시설물공사의 설계에 반영하여야 하며, 전력시설물공사를 발주하는 경우에 이를 공사계약서에 명시하여 신기술개발자로 하여금 당해 전력시설물공사 중 신기술과 관련되는 공정에 참여하게 할 수 있다.

4) 산업자원부장관은 신기술개발자에 대하여 다음 각호의 자금 등이 우선적으로 지원될 수 있도록 관계기관에 요청할 수 있다.

- 한국산업은행법에 의한 한국산업은행 또는 중소기업은행법에 의한 중소기업은행의 기술개발자금
- 여신전문금융업법에 의하여 신기술사업금융업을 등록한 여신전문금융회사의 신기술사업자금
- 기술신용보증기금법에 의한 기술신용보증기금의 기술신용보증
- 그 밖에 기술개발지원을 위하여 정부가 조성한 특별자금

5) 신기술의 지정을 받은 자는 산업자원부령이 정하는 바에 따라 신기술의 활용실적을 산업자원부장관에게 제출하여야 한다.

- 새로 개정된 KS C IEC 61024 피뢰설비 기준과 관련된 타 법규 검토

(1) 건축법 : 2006.2.13 건축법 시행령 제87조(건축설비 설치의 원칙) 및 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제20조(피뢰설비)가 개정 고시됨 : KSC IEC 61024 규격과 일치하도록 수정, 환경오염을 일으키는 접지 및 화학제품 사용하지 못하도록 함.

(2) 산업표준화 : 2004년 9월 1일로 기존 KS C 9609가 완전 폐지되고 KS C IEC 61024 규격이 관보에 게재되어 적용하고 있음. 이 후 피뢰설비 규정은 IEC 62305로 개정 예정임.

(3) 내선규정 : 2005년 3월에 개정 발간된 KS C IEC 60364 규격이 잠정 규격으로 수록되어 적용되고 있으며 이 후 기존 규정의 내용이 대폭 수정될 예정이다. 건축전기설비 규격인 KS C IEC 60364 규격에서 건축물의 피뢰설비 규격은 KS C IEC 61024와 일치하도록 명기하고 있음.

(4) 산업안전기준에 관한 규칙 : 산업안전기술

법에서 정한 기준은 피뢰설비의 경우 KS C IEC 61024와 일치된 기준으로 변경이 완료되어 시행중임.

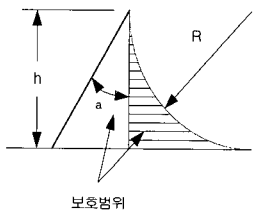
(5) 기타 : 소방법 등 기타 주변관련 법의 개정을 KS C IEC 61024 규격과 일치된 내용으로 개정 예상 됨.

2.1.2 개정된 KS C IEC 61024 규격의 주요 내용

1) 피뢰설비 설계 방법

피뢰침 설계는 새로 개정된 건축물 뇌 보호 시스템인 KS C IEC 61024의 각도법, 회전구체법, 메시법을 적용하여 설계한다. 대부분의 건축물이 단순한 형태가 아니고 건물의 높이와 미관 등의 제약이 많아 회전구체법을 적용하여 설계하는 것을 기본으로 하였다.

보호 레벨	h([m]) / R([m])	20	30	45	60
		a	a	a	a
I	20	25	*1)	*1)	*1)
II	30	35	25	*1)	*1)
III	45	45	35	25	*1)
IV	60	55	45	35	25

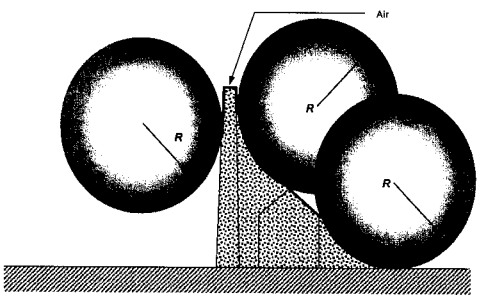


비고 - 1) *표시는 회전구체법 및 메시법만을 적용한다.
- 이것 이외의 높이는 검토중.

〈보호레벨에 따른 수뢰부의 배치〉

〔출전 : KS C IEC 61024-1 규격 표1〕

다음 그림과 같이 회전구체법으로 설계 후 각 피뢰보호 설계를 해야하는 지점에 쌍극자 피뢰침을 설치하여 낙뢰를 방지하는 것이다.



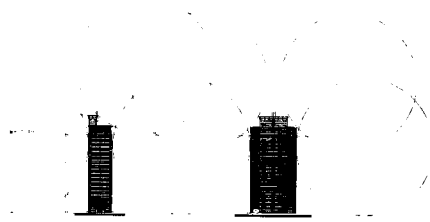
R Radius of the rolling sphere according to table 2

NOTE – Air-termination LPS conductors are installed on all points and segments which are in contact with the rolling sphere, whose radius complies with the selected lightning protection level.

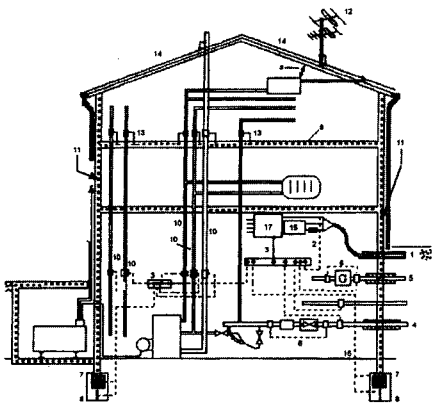
<Design of an LPS air-termination according to the rolling sphere>

〈회전구체법에 의한 피뢰설비 설계〉

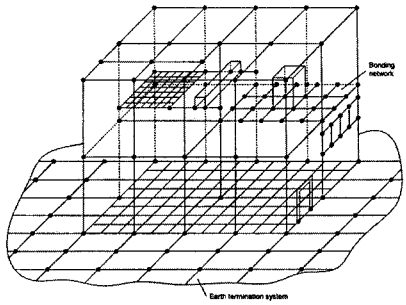
〔출전 : IEC 62305-3 Figure E.18〕



〈건축물 피뢰설비 설계 예〉



〈철근콘크리트 건축물의 내부 LPS 설계 예〉



NOTE All drawn connections are either bonded structure metal elements or bonding connections. Some of them may also serve to intercept, conduct and disperse the lightning current into the earth.

Figure 5 – Example of a three-dimensional earthing system consisting of the bonding network interconnected with the earth termination system

〈본딩 네트워크 구성도〉

2) 안전거리 S와 인하도선의 관계

$s \geq d$

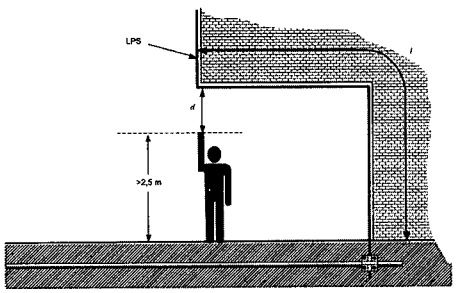
$$d = k_i \frac{k_c}{km} l\,(m) \quad \text{EC 62305 page 62} \qquad (1)$$

k_i : 뇌 보호시스템의 보호레벨에 관계된 계수 (table 10)

k_c : 치수형상에 관계된 계수(table 11, 그림 3.1)

k_m : 이격재료에 관계된 계수

l : 가장 가까운 등전위 본딩에 근접한 점에서 인하도선까지의 길이



d Actual distance > s
s Separation distance according to 6.3
l Length for the evaluation of separation distance s

NOTE The height of the person with raised hand is taken to be 2,5 m.

Figure E.3 – LPS design for a cantilevered part of a structure

〈안전거리를 고려한 LPS 설계〉

[출전 : IEC 62305-3 Figure E.3 Page. 62]

table 11에 나타난 바와 같이 인하도선 수(n)가 많을수록 k_c가 감소하므로 안전거리 식 (1)에 나타난 것처럼 s는 k_c와 비례하므로 안전거리도 감소하게 된다. 즉 건축물의 철골이나 철근을 인하도선으로 사용하면 인하도선 수가 급증하게 되어 안전거리 s는 더욱 줄어들게 된다.

Table 10 – Isolation of external LPS – Values of coefficient k_i

Class of LPS	k_i
I	0,08
II	0,06
III and IV	0,04

Table 11 – Isolation of external LPS – Values of coefficient k_c

Number of down-conductors n	Detailed values (see Table C.1) k_c
1	1
2	1 ... 0,5
4 and more	1 ... 1/n

[출전 : IEC 62305-3 규격 Table 10, 11]

Table C.1 – Values of coefficient k_c

Type of air-termination system	Number of down-conductors n	k_c	
		Earthing arrangement type A	Earthing arrangement type B
Single rod	1	1	1
Wire	2	0,66 [d]	0,5... 1 (see Figure C.1) [a]
Mesh	4 and more	0,44 [d]	0,25... 0,5 (see Figure C.2) [b]
Mesh	4 and more, connected by horizontal ring conductors	0,44 [d]	1/n... 0,5 (see Figure C.3) [c]

[a] Values range from k_c = 0,5 where c << h to k_c = 1 with h << c (see Figure C.1).

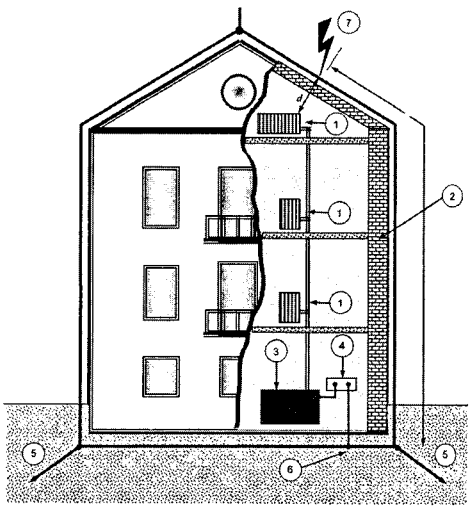
[b] The equation for k_c according to Figure C.2 is an approximation for cubic structures and for $n \geq 4$. The values of h, c_a and c_b are assumed to be in the range of 5 m to 20 m.

[c] If the down-conductors are connected horizontally by ring conductors, the current distribution is more homogeneous in the lower parts of the down-conductor system and k_c is further reduced. This is especially valid for tall structures.

[d] These values are valid for single earthing electrodes with comparable earthing resistances. If earthing resistances of single earthing electrodes are clearly different, k_c = 1 is to be assumed

NOTE Other values of k_c may be used if detailed calculations are performed.

[출전 : IEC 62305-3 규격 Table C.1]



Key
1 Metallic radiator/heater
2 Wall of brickwork or wood
3 Heater
4 Equipotential bonding bar
5 Earth-termination system
6 Connection to the earth-termination system or to the down-conductor
7 Worst case
d Actual distance
l Length for evaluation of separation distance *s*

NOTE The structure consists of insulating bricks.

〈건축물의 피뢰 시스템과 안전거리〉

〔출전 : IEC 62305-3〕

2.1.3 트라이앵글공법의 개요

KS 규격의 국제화로 피뢰관련 규격이 이미 KS C IEC 61024로 제정 공포되어 시행중이다. 현재까지 국내에서 접지는 1종, 2종, 3종, 특별 3종으로 나누어 개별 접지를 기본으로 하여왔으나 개정된 규격에 의하면 모든 접지는 하나의 공통접지로 해야 하며 등전위화가 필수적이다. 앞에서 언급한 바와 같이 개별 접지의 여러 가지 문제점을 극복하고 낙뢰 피해를 최소화하기 위한 당사의 신기술 공법은 쌍극자 피뢰침으로 직격뢰를 차단하고 서지 프로텍터로 유도뢰를 차단하며 등전위 접지를 실시하는 삼각 요소의 조화로 이루어진 완벽한 트라이앵글시스템으로 전위 상승을 억제 인명과 안전에 최우선한 시스템이라 할 수 있다. 당사의 신기술 공법을 실제로 시공한 결과 완벽한 낙뢰 방호를 이루었으며 낙뢰로부터의 위험과 두려움에서 벗어날 수 있었다. 당사의 트라이앵글 신기술 공법에 대해 간략히 요약하면 다음과 같다.

(1) 직격뢰 차단 : 당사에서 개발한 쌍극자 피뢰침을 설치하여 대지의 전하를 방전 분산시킴으로써 낙뢰의 근본적인 조건을 제거하여 직격뢰를 차단한다.

(2) 유도뢰 차단 : 서지 프로텍터를 전원부와 통신부 인입 라인에 설치함으로써 외부에서 유입되는 유도뢰를 완벽히 차단한다.

(3) 등전위 공통접지 : 낙뢰시 전위 상승을 최대한 억제하고 보폭 전압 및 접촉 전압을 안전전압 이하로 충족시키기 위한 최선의 접지 방법으로 당사의 탄소 저저항 접지 모듈을 이용한 저저항 접지 실현으로 더욱 더 완벽한 등전위 시스템을 구성하였다.

이상과 같이 세 가지 시스템을 적절히 조합함으로써 낙뢰의 완벽한 방지를 이룩했으며 점차 경험과 기술 개발의 축적으로 더욱 더 완벽한 낙뢰 대책을 이룩할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 당사 신기술 공법을 적용함으로써 얻을 수 있는 사회적 경제적 장점을 요약하면 다음과 같다.

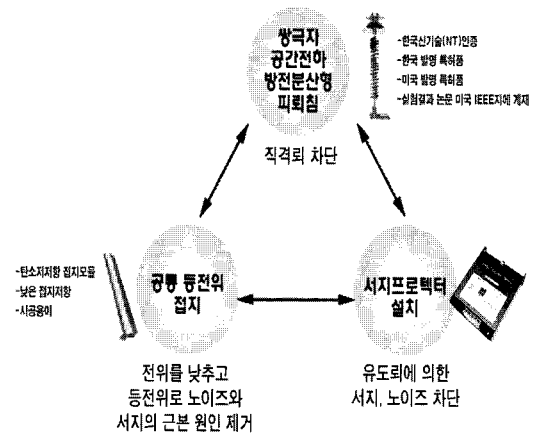


그림 3.9 완벽한 뇌 보호를 위한 "트라이앵글 공법" 개념도

(1) 각종 유도뢰 및 직격뢰의 완벽한 차단으로 낙뢰에 의한 피해 감소 ; 쌍극자 피뢰침으로 직격뢰를 차단하고 서지 프로텍터로는 각종 유도뢰를 차단하며, 등전위 접지에 의한 전위 상승을 억제함으로써 각종 뇌의 완벽한 차단으로 낙뢰로 발생하는 각종 재산상의 손실이나 피해로부터 자유로워 질 수 있다.

(2) 트라이앵글 공법을 시공함으로써 전위 상승을 억제하고 전위를 감소시킴으로 인해 장비의 중단 없는 운용과 인명의 안전을 최대한 확보할 수 있다.

(3) 환경 친화적 상품을 이용함으로서 오염 억제 역할

이와 같은 트라이앵글 신기술 공법의 적용 대상으로는 각 군의 통신 레이더 사이트, 군 탄약고, 군 관련 화약 제조 공장, 폭발 위험물 저장 장소, 도심에 위치한 전산센터 빌딩, 초고층 인텔리전트 빌딩, 전자 장비로 가동하는 대규모 공장설비, 한국전력 송, 변전설비 등과 낙뢰의 유입으로 피해가 예상되는 대상 건축물 등에 적용함으로써 완벽한 뇌 보호 대책을 수립할 수 있다.

2.2 쌍극자 공간전하 방전분산형 피뢰침

2.2.1 쌍극자 피뢰침 원리

1) 피뢰침 개요

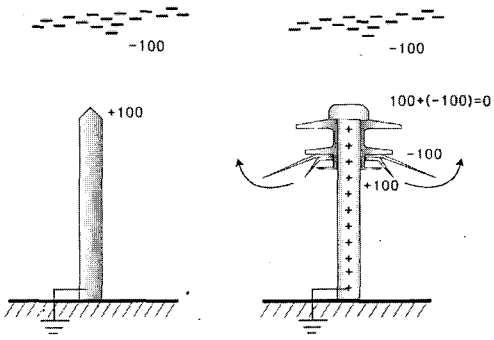
- 개정된 피뢰방식(KS C IEC 61024) : 회전구체법, 등전위 접지
- 뇌격 발생시 뇌전류가 상당히 커 유도장해 발생
- 유도장해에 의한 전산기기 소손, 가동 정지시 금전적, 사회적으로 큰 피해 발생
- 낙뢰 피해 영향

○ 방송 통신 장애에 의한 손실
○ 전력사고로 인한 수입 손실과 질 낮은 전원 공급
○ 상해 위험 또는 인명 안전 위협
○ 컴퓨터 등 서지에 민감한 전자기기의 손상과 이로 인한 경제적 손실

2) 쌍극자 피뢰침 특징

- 낙뢰의 근본적인 조건 제거
- 전기 쌍극자 이론과 전기 이중층 이론을 적용하여 코로나 방전 활성화
- 공간전하 형성으로 건축물의 전계 집중을 완화
- 쌍극자 코로나 방전 이론 : (-)뇌운 접근, 건물은 (+)전하로 대전, 건물 상부로 집중, 피뢰침 하부 전극에서 코로나방전 발생, 대지전위 "0" ⇒ 직격뢰 빈도 감쇠
- 쌍극자형 정전유도 장치 개발 ⇒ 방전 분산효과 극대화(미국 제품의 수배~수십 배)
- 이론과 실험을 통한 검증(IEEE 논문지 게재)

3) 쌍극자 피뢰침 동작원리



(a) 일반 피뢰침 (b) 쌍극자 피뢰침

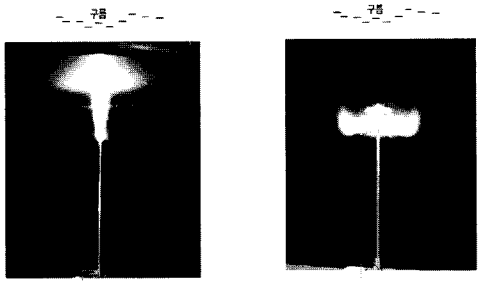
그림 3.10 일반 피뢰침과 쌍극자 피뢰침의 동작원리 비교

4) 코로나 방전전류 시험

쌍극자 피뢰침의 방전분산 이론을 실험적으로 검증하고자 공인시험인증기관인 한국전기연구원에서 시험을 실시하였다. 시험 결과 대기 중 코로나 방전이 육안으로 확인되었으며 측정한 방전량을 그림 3.19에 타나내었다. 그림에서와 같이 일반피뢰침과 쌍극

자 피뢰침의 방전량 차이가 확연하게 구분되는 것을 알 수 있다.

코로나 방전량이 크다는 것은 뇌운 접근시 대지의 전하를 쌍극자 피뢰침에서 지속적으로 신속하게 대기로 방전시켜 낙뢰의 조건인 전계의 집중을 방지하고 있다는 것을 나타낸다.



(a) 일반 피뢰침 (b) 쌍극자 피뢰침

그림 3.18 일반피뢰침과 쌍극자 피뢰침의 방전량 측정 시험 사진

5) 환경 문제 비교 검토

일반 피뢰침은 높이 설치할 경우 건축물의 외관을 손상하는 경우가 많다. 반면 쌍극자 피뢰침은 수뢰도체와 공조하여 설치할 경우 지상에서 거의 보이지 않으며 건축물의 미관을 그대로 살릴 수 있는 장점이 있으며 특수 코팅처리하여 지상에서 관측 가능하여도 건축물과 조화를 이룰 수 있다.

물론 일반 피뢰침도 수뢰도체와 공조하여 설치시 설치 높이를 대폭 줄일 수 있기 때문에 건축 미관에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그 외의 환경문제는 피뢰침 특성상 옥상 외부에 설치되기 때문에 문제가 없는 것으로 판단된다.

2.2 쌍극자 피뢰침 설계

쌍극자 피뢰침 설계는 앞 절에서 설명한 한국산업규격 KS C IEC 61024("건축물 등의 뇌 보호 시스템")을 적용하여 설계한다.

2.3 쌍극자 피뢰침 설치

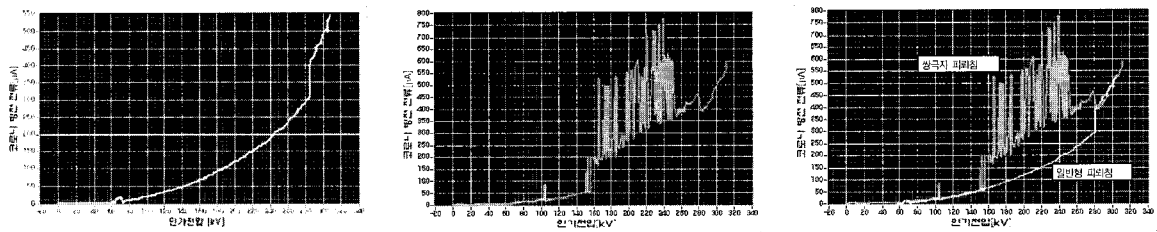
낙뢰를 방지하는 쌍극자 피뢰침은 앞 절에서 설명한 회전구체법으로 설계 후 건물 옥상 외곽은 수뢰도체를 설치하고 피뢰침 설치 포인트에 당사에서 개발한 쌍극자 피뢰침을 설치한다.

다음은 쌍극자 피뢰침의 설치 방법에 대해 설명한 것이다.

1) 수뢰부

① 일반사항

- 뇌격이 피보호 범위 내로 침입할 확률은 수뢰부 시스템을 적절하게 설계함으로써 상당히 감소된다.
- 쌍극자 피뢰침(BDAT)을 사용하는 수뢰부



a) 일반피뢰침 b) 쌍극자 피뢰침 c) 코로나 방전전류량 비교

그림 3.19 일반피뢰침의 코로나 방전전류 측정 결과 비교

시스템의 형태는 KS C IEC 61024-1에 의한 돌침방식과 같고 이와 동일한 방법으로 사용이 가능하다.

② 배치

- KS C IEC 61024-1에 의한 수뢰부 시스템의 일반적인 배치는 a) 보호각 방법, b) 회전구체(rolling sphere)법, c) 메쉬크기(mesh size)법을 사용토록 하고 있다. 신기술(NT) 제품인 쌍극자 피뢰침(BDAT)을 사용하는 경우 보호각 방법이나 회전구체법을 적용할 수 있다.
- 수뢰부 시스템은 도체를 사용하는 메시크기(mesh size)법과 쌍극자 피뢰침(BDAT)을 이중 적용하는 경우는 완전한 보호에 이를 수 있다.
- 수뢰부 시스템은 도체를 사용하는 메시크기(mesh size)법 또는 회전구체법을 사용하여 보호를 시행하고 쌍극자 피뢰침을 건축물, 구조물 등의 모서리, 돌출부 등에 추가로 설치하는 경우에는 증강된 보호에 이를 수 있다.
- 60[m] 이하의 건축물, 구조물 등은 KS C IEC 61024-1 표1의 기준에 의한다. 설계시 쌍극자 피뢰침의 설치는 모서리 부분에 우선하여 설치하고 기타 부분은 회전구체법으로 위치를 선정한 후 설치한다.
- 지상으로부터 60[m]를 초과하는 초고층의 빌딩, 구조물 등은 상기 항에 의하는 이외에 전체높이에서 상부측으로 20[%]에 해당하는 부분을 측뢰에 대한 보호 범위로하여 수뢰부를 다음과 같이 설치한다. 이때, 설계는 보호레벨 I 의 적용을 원칙으로 한다.

ㄱ. 측뢰보호용 쌍극자 피뢰침은 전체높이의 80[%] 부분에 가까운 아래 측에 처음 설치하고 최상층의 지붕 또는 옥상 각 부분에 설치한다.

ㄴ. 처음 설치한 쌍극자피뢰침과 최상층에 설치된 쌍극자피뢰침의 높이의 간격이 회전구체 반지름(R=20[m])의 이상인 경우는 처음 설치한 곳으로부터 높이가 회전구체 반지름(R=20[m])이내가 되고, 수평간격은 15[m] 이내가 되도록 설치한다.

③ 건축물에서 자연적 구성부재 부분을 수뢰부로 사용 할 수 있는 경우 이와 함께 쌍극자 피뢰침을 적용하는 경우는 완전한 보호에 이를 수 있다. 다만 쌍극자 피뢰침을 건축물, 구조물 등의 모서리, 돌출부 등에만 추가로 설치하는 경우에는 증강된 보호에 이를 수 있다.

④ 수뢰부 시스템을 인하도선에 연결하는 경우는 압축터미널 사용, 캐드웰드 방법 시행 등의 공법으로 하여 전기적, 기계적으로 수뢰부 시스템과 인하도선 시스템과 같은 능력이어야 한다. 이것은 자연적인 수뢰부를 이용하거나 자연적 인하도선을 이용하는 경우도 이와 같다.

2) 인하도선 시스템

① 인하도선은 KS C IEC 61024-1에 의하거나 NFPA 780에 의한다.

② 쌍극자 피뢰침(BDAT)은 다량의 전하를 공간으로 방전시키는 특성으로 하여 건축물 구조체를 사용하는 자연적 인하도선을 사용하는 것을 권장한다.

③ 시험용 접속점

자연적인 인하도선인 경우를 제외하고 별도의 인하도선을 사용하는 경우에는 접지시스템과의 접속점 부근에서 시험용 접속점을 설치한다. 시험용 접속점은 측정을 위하여 공구 등으로 개방될 수 있어야 하나 평상시에는 폐로가 유지되도록 하여야 한다.

2.3 접 지

2.3.1 등전위 접지

1) 접지도체의 유효거리

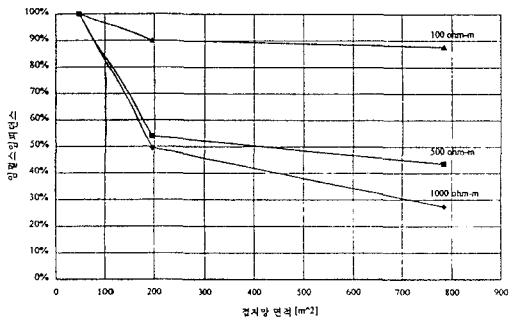
① 전류의 유입점으로부터 유효거리 또는 유효반경이란, 접지임피던스 또는 접지도체전위의 저감에 기여하는 접지도체의 최대길이를 의미하는 말이다. 즉 전류 유입점으로부터 유효거리 또는 유효반경 바깥쪽에 접지도체를 아무리 조밀하게 많이 포설하더라도 접지전위나 임피던스는 별로 작아지지 않는다. 유입전류의 주파수가 낮은 경우, 접지도체는 위치에 상관없이 거의 등전위를 갖게 된다.

〈대지저항률별 유효반경〉

대지저항률	100[Ω-m]	500[Ω-m]	1000[Ω-m]
유효반경	10 [m], 미만	20 [m] 미만	약 40 [m]

(유전율 : 65.562[pF/m](3.0[ϵ_0]), 투자율 1.26[μH/m] (1.0[μ_0]))

② 접지망 면적이 커질수록 임펄스임피던스는 감소하나 일정면적 이상으로 커져도 임펄스임피던스가 줄지 않는 한계가 존재하며, 이 한계거리(또는 유효반경)는 대지저항률에 비례하여 커진다.

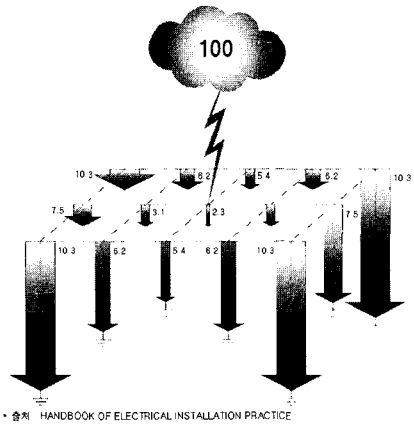


〈접지망 면적증가에 따른 임펄스임피던스의 감소〉

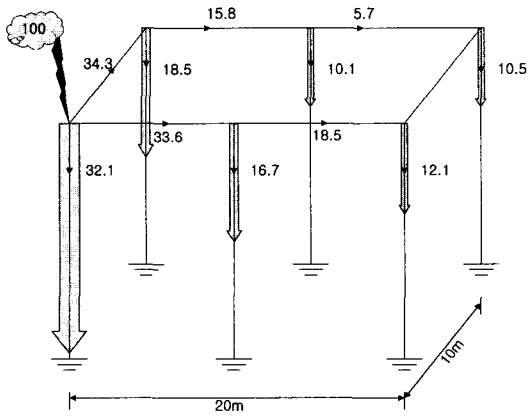
[출전 : "축소형 변전소 접지효과 증대방안 연구", 전력연구원, 1998. 1]

2) 등전위화 접지공법

- 메시접지에 사고전류 유입시 전류 분포를 살펴보면 아래 그림과 같이 외각 모서리 부분이 다른 외곽 부분보다 3배 이상 차이가 나는 것을 알 수 있다.



〈중앙 뇌격시 뇌 전류 분포〉

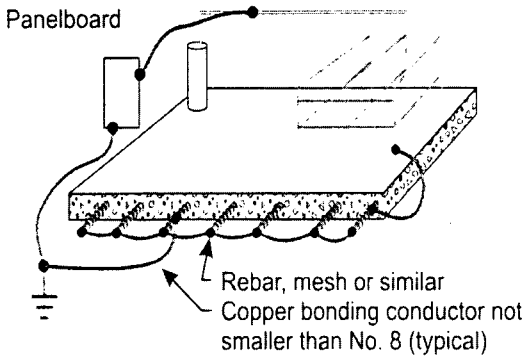


〈모서리 뇌격시 뇌 전류 분포〉

- 등전위화 접지 시스템은 이러한 문제를 해결하기 위해서 새로 고안한 접지 시스템으로 모서리 부분에 집중하는 사고 전류를 신속히 방류시키기 위해 메시접지의 네 모서리 부분에 탄소 저저항 접지모듈을 3개 이상 직렬로 연결하

여 대지 방류 면적을 넓혀주고 탄소 저저항 접지 모듈 자체 방류능력을 최대한 이용한다.

- 접지 설비는 미국 IAEI에서 권고하는 방식대로 나동선을 기초 버림 콘크리트 내에 내장시키고 인출선을 전기적으로 환경 친화적인 탄소 저저항 접지모듈로 보강하여 노이즈나 서지에 대비한 기본 개념을 도입 적용한다.



〈구조체 건축물에서 등전위 본딩〉

[출전 : IAEI Soares Book on Grounding 7th Ed.]

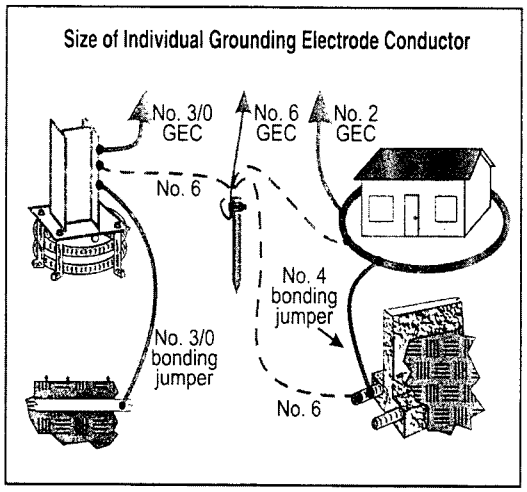


Figure 6-7

〈IAEI에서 권고하는 구조체 본딩 예〉

[출전 : IAEI Soares Book on Grounding 7th Ed.]

2.3.2 탄소 저저항 접지 모듈

1) 탄소접지 모듈 개요

OMNI G 시리즈인 탄소 저저항 접지모듈은 일종의 비금속 재료를 위주로 한 접지체로서, 전기 전도성 및 안정성이 비교적 뛰어난 비금속광물과 전해물질로 구성되어 있어 건축물의 피뢰접지, 정전방지 접지, 교류접지, 직류접지, 안전보호 접지 및 기타 다른 목적의 접지체로 사용할 수 있다.

탄소 저저항 접지 모듈 제품의 경우 친환경적이며, 경년변화가 없어 반영구적인 수명을 가지고 있으며 국내 특허 출원 완료된(특허 제10-0610604호) 제품이다.

① 제품의 특징

- 내부식, 무독성, 그리고 제품의 사용 수명이 반영구적이며 설치가 편리하다.
- 수분을 흡수하여 보습을 함으로 습도 유지력이 있고 같은 치수의 철제앵글접지체에 비해 22~44[%] 낮은 접지 저항치를 나타낸다.
- 강한 낙뢰전류에도 저항이 증가하지 않고 경화, 깨짐, 부스러짐이 없다.
- 토양 전기 저항률이 높은 지역에 접지를 할 때 효율적으로 접지 전기저항을 저하시킨다.
- 접지 전기저항에 있어 계절의 영향을 적게 받고, 일정한 저항치를 안정적으로 유지한다.

② 원리

탄소 저저항 접지모듈 내에 금속 심을 넣어 보호되는 대상의 접지선과 연결됨으로써 땅으로 들어가는 전류를 신속하게 퍼트려 낮은 접지 저항을 얻을 수 있다.

그 원리는 접지체 자체의 방류면적을 증가시켜 접지체와 토양 사이의 접지 전기저항을 줄이고 강력한 수분흡수와 보습능력으로 모듈의 유도작용을 충분하게 발휘하게 한다.

③ 탄소 저저항 접지 모듈 특성

〈표 2.3〉 탄소 저저항 접지 모듈의 특성

모 델	크기[mm]	무게[kg]	실내온도 이하의 저항률a* [Ω×m]	탄소 고유 접지 저항[Ω]**	평가공식
OMNI G-1	Φ150 × 800	20	≤4.0	7	Rj ≒ 0.18ρ
OMNI G-2	Φ260 × 1000	50	≤4.0	4	Rj ≒ 0.11ρ
OMNI G-3	500 × 400 ×60	20	≤3.5	6	Rj ≒ 0.16ρ

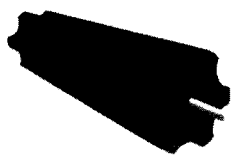
* 토양저항률
** 대지저항률 40[Ω×m]일 경우

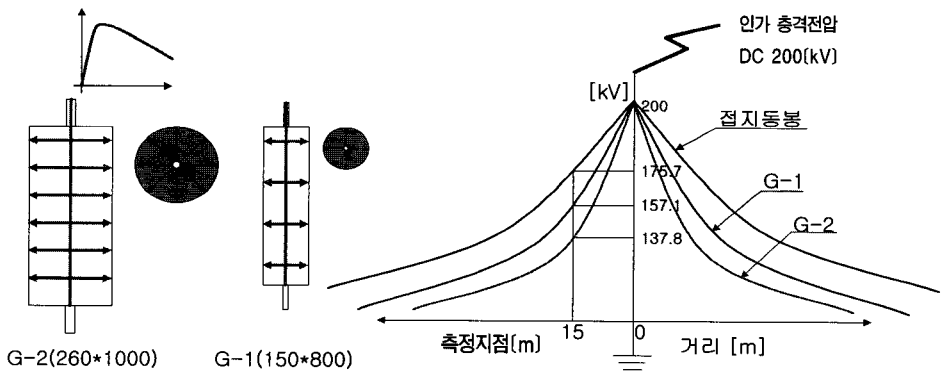
2) 탄소 저저항 접지 모듈 시험 검토

한국전기연구원 대지 전위차 측정 시험을 한 결과 G-2의 탄소 단면적이 커 낙뢰 이상전압의 대지 분산 효과가 가장 크게 나타난다.

또한 각 접지방법에서 접지저항치를 가장 낮고 안정적으로 유지하기 위해서는 IEEE Std 80-1896에서 명기하고 있는바 접지저항은 접지봉의 외부 단면적 크기의 자승에 반비례로 크기가 작아진다. 탄소 저저항 접지 모듈은 최소개수를 시공하면서 최대 저항 저감 효과가 모두 나타나도록 하였다.

〈탄소 저저항 접지모듈 종류별 시방〉

G-1형	G-2형
	
크기 : ø150×800[mm] 무게 : 20[kg]	크기 : ø260×1000[mm] 무게 : 50[kg]



〈접지 자재별 전위 상승 그래프〉

미시시피 주립 대학의 Patrick Donohoe 교수가 연구 발표한 바에 따르면 철근 콘크리트 파일을 접지극으로 사용할 경우 일반 접지봉을 사용하는 것보다 표면적 확대효과가 크기 때문에 접지 저항값 측면에서 접지봉 보다 낮은 결과를 보여주고 있다.

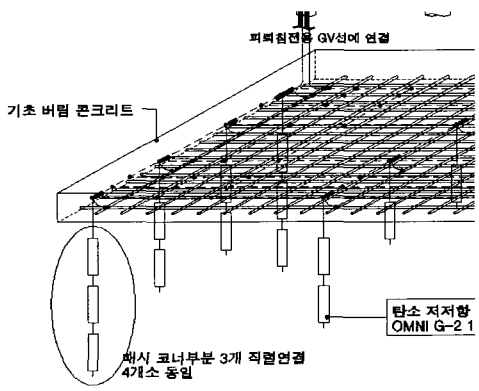
탄소 접지 모듈을 접지극으로 사용할 경우에는 표면적 확대 효과뿐만 아니라 이상전류 신속한 방류면에서도 뛰어난 효과를 발휘할 수 있다.

3) 환경문제 비교 검토

일반접지동봉	탄소 저저항 접지 모듈
토양환경 보전법 및 수질환경 보전법에서 구리가 오염물질로 분류되어 있다. 개정된 건축법 "건축물의 설비기준 등에 관한 규칙"의 제20조 6항에 환경오염을 일으킬 수 있는 화학물질이나 접지제품을 사용하지 못하도록 하였다. 접지 동봉 매설시 동 부식에 의한 구리 성분의 토양 유출로 토양 및 수질을 오염시킬 수 있다.	탄소 저저항 접지 모듈은 스테인리스 스틸 봉으로 이루어져 있어 부식 문제를 해결하였으며, 토양의 주성분인 탄소로 구성되어 토양이나 수질오염을 발생시키지 않는 친환경 제품이다. 이 사실은 화학시험연구소에서 실시한 탄소 저저항 접지 모듈의 용출시험에서 확인할 수 있다.

3.3 적용 예

아래의 그림에서 보는 바와 같이 기초 버림 콘크리트 내에 접지선을 Mesh 형태로 포설하고 기초 철근과 연접하여 접지극으로 사용한다. 기초 콘크리트 하부로 연결선을 인출하여 탄소 저저항 접지모듈을 설치하여 서지나 노이즈를 대지로 방류시킨다. 특히 뇌 전류의 특성상 외곽 코너에 집중되므로 코너부분의 탄소 접지모듈의 개수는 중앙부 보다 많은 3개를 직렬로 연결하여 설치하고, 코너 바로 옆 부분은 2개를 직렬로 설치하여 완벽한 등전위를 이루도록 한다. 토양과 직접 연결되는 탄소 저저항 접지 모듈 연결선은 부식 및 전식, 토양오염을 고려하여 F-GV를 사용한다.



〈접지 개선안 부분 확대도〉

2.4 서지프로텍터

2.4.1 SPD 개요

인입 전원라인이나 통신라인 등을 통해 유도된 서지가 침입하여 기기를 손상시키는 경우가 매우 많이 발생하고 있다. 대부분의 낙뢰사고는 유도뢰 침입에 의한 사고로 그 피해규모가 점차 증가하고 있다. 다음 그림에서와 같이 전원 배전반 내 차단기 2차 측과 각 설비 분전함 내 차단기 2차 측에 전원용 서지프로텍터를 각각 설치해야 한다.

배전반과 각 분전함까지의 거리가 먼 경우 한전 인입구에만 서지프로텍터를 설치 할 경우 배전반과 분전함 사이의 전력선에 유도뢰가 유기 될 수 있기 때문에 분전함의 차단기 2차 측에서 서지 프로텍터를 설치한다.

- SPD의 특성 및 접지방식에 따른 SPD 설치 지점은 다음 표와 그림을 참고한다.

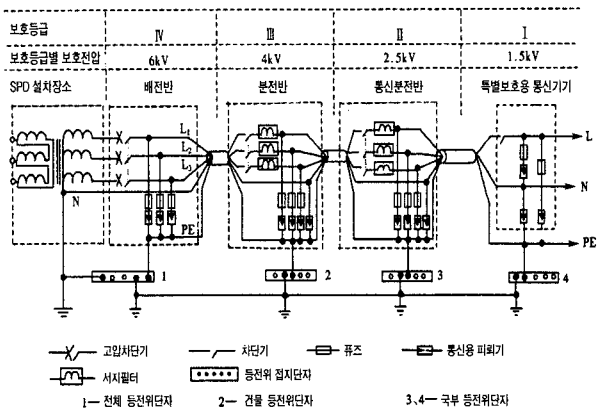
〈SPD 특성 및 접지방식에 따른 SPD 설치 지점〉

보호등급	LPZ0 및 LPZ1 경계 지점		LPZ1 및 LPZ2, LPZ2 및 LPZ3 경계 지점			직류전원 공칭방전전류 (kA)
	제1급 (B) 공칭방전전류(kA)		제2급(C) 공칭방전전류(kA)	제3급(D) 공칭방전전류(kA)	제4급(E) 공칭방전전류(kA)	
	10/350(μs)	8/20(μs)	8/20(μs)	8/20(μs)	8/20(μs)	8/20(μs)
I등급	≥20	≥80	≥40	≥20	≥10	≥10
II등급	≥15	≥60	≥40	≥20		≥10(kA) 미만의 직류배전계통
III등급	≥12.5	≥50	≥20			
IV등급	≥12.5	≥50	≥10			

〔출전 : IEC 61024에 의한 규격 표 5.4.1.2〕

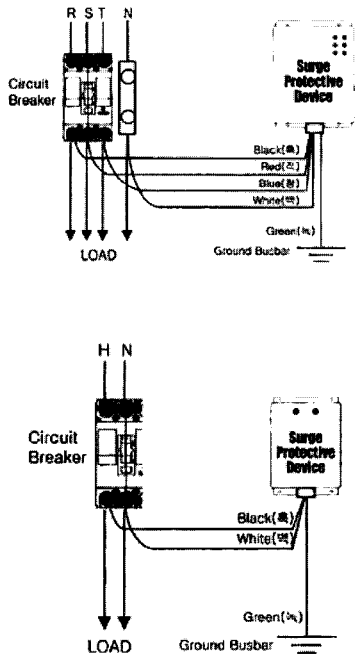
① 서지보호장치(SPD)의 설치기준은 KS C IEC 60364(건축전기설비)와 KS C IEC 61024-1에 의한다.

② 뇌보호 시스템의 동작으로 인한 서지(유도뢰)의 유입에 대비하여 피보호 대상 장비의 전원 인입부 및 통신, 신호선의 인입부 등에서는 서지보호장치(SPD)를 설치한다.



〈TN 접지계통의 서지 보호 장치 설치 예〉

[출전 : KS C IEC 61024에 의한 규격 그림 5.4.1.1]

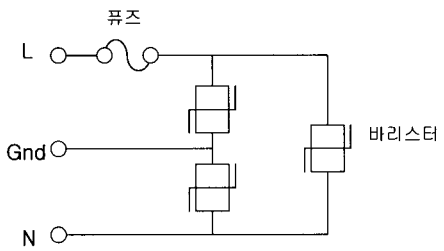


〈전원 SPD 설치 상세도〉

2.4.2 SPD 종류

(1) 전원용 서지 억제기

전원용 서지 억제기는 교류 600[V] 이하의 전원선로 또는 전원 접속단자에 설치된다. 주로 산화아연 바리스터 또는 MOV(Metal Oxide Varistor)를 사용하며, MOV 열화시 전원측 손상을 방지하기 위하여 서지용 퓨즈가 내장되어 있다.



〈전원용 서지 억제기의 회로 예(병렬접속 방식)〉

서지 억제기에 필터링 기능을 요구하는 경우에는 전원에 직렬로 설치하기도 하지만, 대부분은 병렬방식으로 서지 억제기를 설치하게 된다.

전원용 서지 억제기의 선정시는 다음과 같은 사항들을 신중히 고려하여야 한다.

① 최대 서지 전류 내량

침입 가능한 뇌서지의 빈도나 세기, 피보호기기의 중요도에 따라 서지 억제기가 처리가능한 최대 서지 전류 내량을 고려하여 서정한다.

② 이상시 전원회로와 분리되어야 한다.

정상상태에서 전원시스템 또는 부하측에 영향을 주지 않아야 하며, 소자 열화에 의한 보호기능 소멸시, 서지전류 내량 초과시 등 이상시에도 전원회로와 분리되어 전원이 정상상태를 계속 유지하거나 즉시 전원의 재투입이 가능하여야 한다.

③ 상태표시기능을 가져야 한다.

서지 억제기의 교체시기를 표시해주는 LED 점등회로나 원격감시 접점이 있어야 하며, 피보호기기의 중요도에 따라 부저 등의 경고기능도 포함하여야 한다.

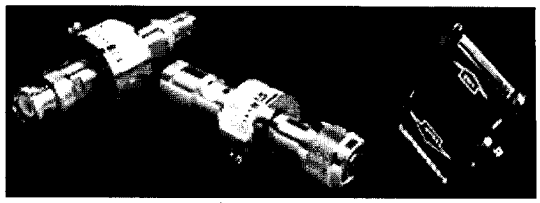
④ 제한전압이 낮아야 한다.

제한전압은 IEEE 규격에 의한 시험파형(8/20 [㎲])에 의해 정해지며, 피보호기기가 감당할 수 있는 서지 전압 이하로 선정하여야 하지만, 너무 낮게

선정하면 서지 억제기의 수명을 단축시킬 수 있다.

⑤ 보호모드

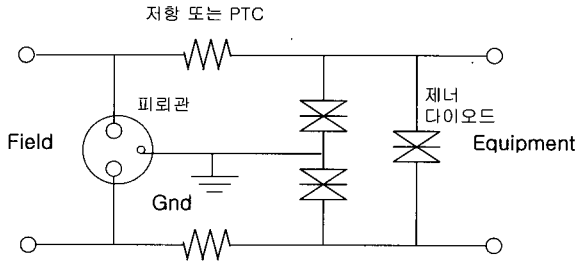
서지 억제기는 공통모드(Common-mode), 차동모드(Differential-mode)에 대해 모두 보호성능을 유지하여야 한다.



〈통신용 서지 억제기〉

(2) 통신용 서지 억제기

통신용 서지 억제기는 데이터 선로 같은 평형 선로용과 동축케이블 선로에 설치되는 불평형 선로용으로 다시 나눌 수가 있다. 그러나 그 종류는 전화용, 모뎀용, 제어선용, 안테나용, RS232/422/485 선로용 등 용도에 따라 다양하다. 통신용 서지 억제기는 전원용과 달리 각 용도에 맞는 주파수 특성을 특히 고려하여야 하며, 방전관 등의 바이패스 소자를 주로 사용하게 되므로 속류에 대한 차단성능도 가져야 한다.



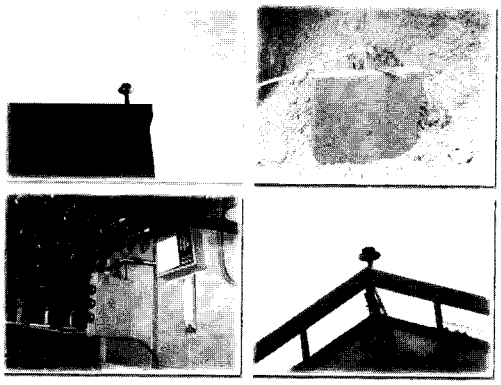
〈통신용 서지 억제기 회로 예(평형선로)〉

2.5 트라이앵글공법 적용 사례

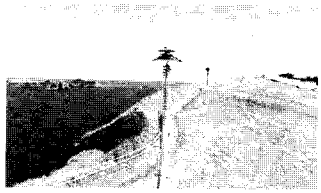
2.5.1 시공사례

적용 장소	설치 전	설치 후
청와대 비서실(제2집무실)	신축	낙뢰 사고 없음
제주기상청 고산기상대	매년 2~3건 발생 기상장비 파손, 업무중단	2003년 8월 적용 후 1건의 사고도 없음
면봉산 기상레이더관측소	2004년 레이더돔 직격뢰 레이더 장비 피해 복구기간 수개월	2004년 12월 적용 후 사고 없음
해양수산청 통신철탑	매년 수 차례 유도뢰 피해 발생 통신장비 피해 및 통신마비 복구기간 중 운영 중단	2004년 6월 적용 후 사고 없음
OO부대 탄약고	낙뢰 사고 다수 발생 낙뢰시 폭발물에 위험요소 큼	2004년 11월 적용 후 사고 없음
문경정수사업소	매년 수 차례 낙뢰 피해 발생 장비 가동 중단으로 급수 중단 대민 민원발생	2004년 8월 적용 후 사고 없음 군내 타 설비로 확대 적용 중

2.5.2 설치 사진



〈청와대 비서실〉



〈제주 고산기상대〉

◇ 저 자 소 개 ◇

정용기(鄭龍基)
1952년 3월 5일생. 숭실대학교 대학원 박사(재료 및 고전압). 건축전기설비, 전기응용, 전기안전, 소방설비기술사. 대한전기협회 내선규정위원회 위원장. IEC TC-81, TC-64 전문위원. NFPA 기술전문위원. 해양수산부, 서울시 설계자문위원, 건설교통부 설계자문위원.

이강수(李康壽)
1970년 2월 19일생. 숭실대학교 대학원 전기공학과 석사. 전기공사기사.