

이온방사형 및 정전분산형 피뢰침의 국내외 기술동향

<ESE (이온방사형, 낙뢰유인) / DAS (정전분산형) / 일반피뢰침 시험비교>

피뢰 시스템은 낙격으로부터 인명사고 및 구조물 또는 설비의 화재, 폭발 사고등과 같은 직접적인 피해를 방지하기 위한 것으로 피뢰침과 인하도선, 접지극 및 서지 보호기를 포함한다. 이중 피뢰도체(Air terminal)는 낙방전시 피뢰도선에 낙격이 수뢰하도록 하여 대지로 방류시킴으로써 주변 공작물 혹은 인체로의 낙뢰사고를 방지하기 위한 것이다. 그러나 피뢰도선으로의 낙뢰는 낙뢰지점의 대지전위상승과 더불어 주변공작물에 미치는 전자기적 영향이 항상 뒤따르게 된다.

본 장에서는 피뢰침 설치에 관한 국내외 기술 기준을 조사 분석하였으며 최근 국내에서 널리 사용되고 있는 ESE (Early Streamer Emission) 피뢰침 및 DAS (Dissipation Array System) 피뢰침과 기존의 일반 피뢰침의 성능을 비교 분석으로써 이들의 설치에 대한 적정성을 검토하였다.

제 1 절 보호 원리 및 설치 기준

낙뢰는 지상 혹은 지상의 구조물과 낙운사이의 전기적 방전현상이다. 제 2 장에서 설명한 바와 같이 낙뢰는 하향리더와 상향리더(혹은 상향 스트리머)가 임의의 전기적인 거리(낙격거리)에서 상호의 방전로가 결합되는 현상이다. 낙방전은 표준 대기압, 평등전극 상태에서의 방전현상이 아니기 때문에 방전로의 양상은 여러 방향으로 분기된 수목의 뿌리와 유사하다. 이와 같은 낙방전로를 상정한 피뢰설계의 방법은 크게 보호각을 이용하는 방법과 전기기하학적 구조를 이용한 회전구체법(RSM : Rolling Sphere Method)으로 대별될 수 있다.

1. 보호각법

보호각법은 기준면 위에 있는 피뢰침이 이루는 원뿔각 내에 있는 구조물은 직격뢰로부터 보호된다는 것이다. IEC 1024-1-1990의 표준에 의하면 보호각은 피뢰도체의 높이가 증가하면 표 5-1과 같이 작아지며 이로 인한 보호공간도 작아진다. 미국의 NFPA 780-1997 표준에서는 지상으로부터 7.6m 이하의 구조물은 63°로, 15.24m 이하인 구조물은 45°로 규정하고 있다.

표 5-1. 보호레벨에 따른 피뢰침의 위치

보호레벨 (효율 E)	h(m) R(m)	20	30	45	60	메쉬 폭
		α°	α°	α°	α°	
I(0.98)	20	25	*	*	*	5
II(0.95)	30	35	25	*	*	10
III(0.90)	45	45	35	25	*	10
IV(0.80)	60	55	45	35	25	20

* 회전구체와 메쉬(피뢰보호도체)에서만 적용

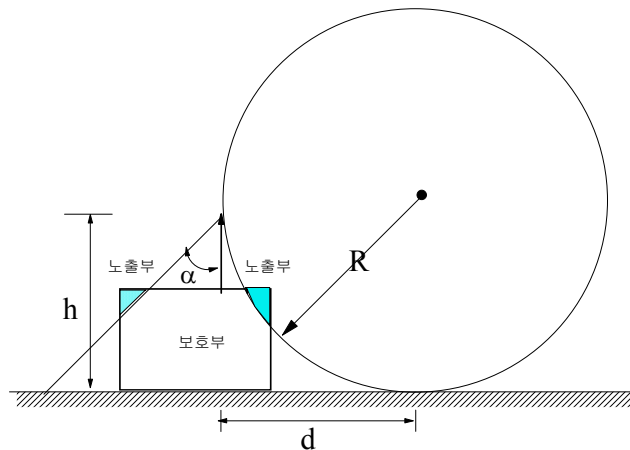


그림 5-1. 보호각법과 회전구체법

한편 「한국공업규격 KS C 9609 (피뢰침) - 1985.12.4」와 「건축물의 설비기준에 관한 규칙-2001.1.17」에 따르면 피뢰침의 보호각은 60° 이하를 권장하고 있으며, 화약·가연성 액체·가연성 가스를 보호하기 위한 피뢰침의 각도는 45° 로 규정하고 있다.

2. 회전구체법

그림 5-2에 나타낸 바와 같이 뇌격거리와 동등한 반경의 가상구를 건축물에 회전시킬 때 접촉하는 모든 점에 피뢰침을 설치하도록 요구하는 방법이다. 즉, 보호영역은 뇌격거리 R 을 반경으로 하는 구를 돌출물(피뢰도체)에 접하게 했을 때 구내부로 노출되지 않는 공간이다. 이와 같이 RSM을 적용할 때는 구가 놓일 수 있는 가능한 모든 위치가 고려되어야 한다.

일률적으로 보호각을 적용하는 보호각법과는 달리 회전구체법은 1970년대부터 적용되기 시작한 방법으로 최근 선진 각국에서는 과학적인 타당성이 입증된 회전구체법이 널리 사용되고 있다.

미국의 NFPA 780-1997 표준에서는 일반구조물에 대해서는 뇌격거리를 45.75 m(150 ft), 가연성 증기나 액체를 담고 있는 탱크와 안테나 및 선박(watercraft)에 대해서는 30 m(100 ft)의 뇌격거리를 추천하고 있으며, 이 뇌격거리를 회전구체법에 적용하여 피뢰 설계를 하도록 추천하고 있다.

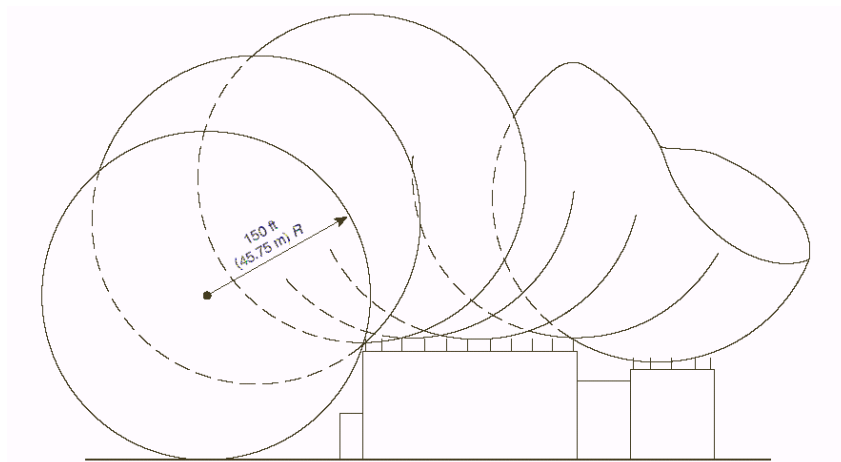


그림 5-2. 회전 구체법에서의 보호영역

3. 피뢰설비 관련 기술기준

피뢰설비와 관련하여 국내외에 다수의 관련 법규가 존재하고 있으며, 대개는 건축물 또는 높이 20 m 이상의 건축물과 화약류등 위험물을 저장, 취급하는 시설물에 설치하고, 접지는 접지저항값과 인하도선을 대상으로 하여 규제하고 있다. 이들 기준을 표 5-2에 정리하였으며 국내의 피뢰침 설치는 전반적으로 KS C 9609 규정을 대부분 적용하고 있다.

표 5-2. 피뢰침 설치규정

관련 규정	설치 조건	보호 범위
건축물의 설비기준등에 관한 규칙--2001.01.17	낙뢰우려가 있는 건축물 또는 높이 20m이상의 건축물	60° 45°(위험물 저장 및 처리시설)
피뢰침 설치에 관한 기술상의 지침 -노동부고시:2001.-4호	화약류 또는 위험물을 저장, 취급하는 시설물	회전구체법 적용
소방기술기준에 관한 규칙-160조(1993.11.11)	지정수량의 10배 이상의 위험물을 취급하는 제조소 단, 위험물 제조소 주위의 상황에 따라 안전상 지장이 없는 경우에는 피뢰침을 설치하지 아니할수 있다.	KS C 9609에 따름
KS C 9609 피뢰침	특별한 조건 없음	60°, 45°
화약류 단속법 시행규칙 -1990.2.5 (통산부령제1호)	통산부장관 고시로 정하는 것을 사용	60°, 45°
산업안전기준에 관한 규칙 -제357조	화약류 또는 위험물을 저장, 취급하는 시설물	45°
일본 건축기준법 시행령 1990. 11.20 --정령 제323호	건축물의 높이 20m를 넘는 부분을 너격으로 보호하여야 한다.	60°, 45°
일본 소방법 -1988.5.24--법률제55호	일본공업규격(JIS A 4201)에 따름	JIS A 4201에 따름
JIS A 4201 피뢰침	특별한 조건 없음	60°, 45°
IEC 61024	특별한 조건 없음	회전구체법 적용
NFPA	특별한 조건 없음	회전구체법 적용

4. 피뢰설비 선정 기준

뇌보호 설계에 있어서 건축물의 규모, 높이 주변 지형, 수목의 유무 등 여러 가지 요인에 따라 보호범위가 변하므로 피뢰 설비를 어떻게 구별하여 사용하는가 라는 것은 어려운 문제이다. 안전성과 경제성을 충분히 고려한 뒤에 하나하나 결정해야 할 것이다. 따라서 여기서 확실한 지침을 보이는 것은 곤란하지만, 일단 참고로서 피뢰설비의 필요성 유무, 각종 피뢰설비의 적용 대상 결정의 판단기준을 표 5-3에 나타내었다.

표 5-3. 피뢰설비 설치 필요 유무 판단

건물의 용도		건 물		건물의 시설 장소					
				뇌가 심하지 않는 지방 (IKL 30미만)			뇌가 심한 지방 (IKL 30이상)		
				1	2	3	4	5	6
				시가지 그밖의 2,3이외의 장소 건물	평지의 단독주택	산 또는 언덕의 정상 혹은 벼랑위 건물	시가지 그밖의 2,3이외의 장소 건물	평지의 단독주택	산 또는 언덕의 정상 혹은 벼랑위 건물
a	민가, 단독농가등 b,c,d,e에 해당하지 않는 건물	A	20 이하	불필요	S	R	불필요	S	P
			20 이하	불필요	불필요	R	불필요	R	Q
		B	20 초과	R	R	Q	R	Q	Q
b	다수의 사람이 모이는 건물(학교, 사원, 병원, 백화점, 극장, 육장 등)	A	20 이하	R	R	R	R	Q	P
			20 초과	R	R	Q	Q	Q	P
		B	20 이하	불필요	불필요	R	R	R	Q
			20 초과	R	R	Q	Q	Q	Q
c	업무를 하는 건물(사무실, 역사, 창고 등)	A	20 이하	R	R	R	R	Q	P
		B	20 이하	불필요	불필요	R	R	R	Q
			20 초과	R	R	Q	Q	Q	Q
d	미술, 과학, 역사상 귀중한 건물 및 귀중한 것을 수용하는 건물(박물관, 진열장, 보호 건조물 등)	A	20 이하	R	Q	Q	Q	Q	P
			20 초과	R	Q	Q	Q	Q	P
		B	20 이하	불필요	R	Q	Q	Q	Q
			20 초과	R	R	Q	Q	Q	Q
e	화약, 가연성 액체, 가연성 가스 등의 위험물을 저장 또는 취급하는 건물	A	20 이하	Q	Q	Q	Q	Q	P
		B	20 이하	R	R	Q	Q	Q	Q
			20 초과	R	R	Q	Q	Q	Q

비고) 1. P: 완전보호, Q: 중간보호, R: 보통보호, S: 간이보호

2. A: 목조 그밖의 뇌해상 목조에 준하는 것

B: 철근 콘크리트 그 밖의 뇌해상 철근 콘크리트에 준하는 것

제 2 절 피뢰침 성능 비교 평가

1. ESE (Early Streamer Emission) 피뢰침과 DAS (Dissipation Array System)

ESE 피뢰침은 뇌격이 피보호물을 향하여 진전될 때 피뢰침에 도달하기 전에 피뢰장치에서 미리 선행스트리머방사(Early Streamer Emission)를 일으켜 하향리더가 피뢰침에 접촉하게 되도록 하는 방식이다. ESE 피뢰침의 성능에 대한 제작사의 주장에 따르면 ESE 피뢰침은 특별히 고안된 피뢰침의 수뢰부의 전기적인 구조 및 특성에 의해 기존피뢰침보다 빠른 상향 스트리머가 발생하므로써 다음과 같은 상향리더의 길이 이득이 생긴다는 것이다.

ESE 피뢰침의 시간 이득을 ΔT 라 하면, 상향리더(ΔL)의 길이 이득은

$$\Delta L = v \cdot \Delta T \quad [\text{m}]$$

v : 상향리더 속도 $[\text{m}/\mu\text{s}]$, ΔT : ESE 피뢰침의 트리거 시간 이득차 $[\mu\text{s}]$

이며, 보호반경 R_{ESE} 는

$$R_{ESE} = \sqrt{(d_s + \Delta L)^2 - (d_s - h)^2}$$

가 되며, 일반 피뢰침의 보호반경(R_{SR})은 단지

$$R_{SR} = \sqrt{d_s^2 - (d_s - h)^2}$$

가 된다는 개념이다.

따라서, 그림 5-3과 같이 뇌격거리의 이득이 생기므로 보호거리가 확대되며 일반 피뢰침에 비해 피뢰장치로부터 선행스트리머가 진전된 거리만큼 보호반경을 증가시킨다는 이론이다.

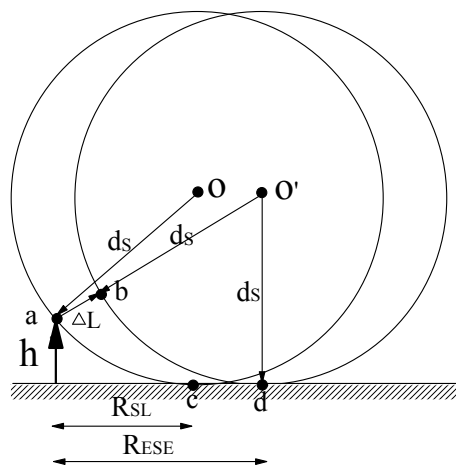


그림 5-3. ESE 피뢰침과 일반 피뢰침의 뇌격거리

DAS는 ESE 피뢰침과는 반대로 개념으로 다수의 침으로 구성된 전극을 통해 대기중으로 이온을 방사하여 공간전하를 중성화시킴으로써 낙뢰의 유도를 억제하여 건물을 보호한다는 개념이나 그 효과 및 경제적 타당성은 명확히 입증되지 않고 있는 실정이다.

2. 피뢰침의 성능비교 평가 시험

가. ESE 피뢰침 성능평가 시험

1) 뇌충격 임계 섬락 시험

피뢰침의 성능을 나타내수 중요한 지표인 방전개시전압을 측정하기 위해 뇌충격 임계섬락시험을 수행하였다. 낙뢰(대지 뇌방전)의 대부분을 차지하는 부극성의 뇌방전을 시험실에서 모의하기 위해 뇌운에 해당하는 평판전극에 부극성의 뇌충격전압 ($1.2/50 \mu s$)을 인가하였으며 각각의 피뢰침에 대해 섬락이 발생하는 전압을 측정하였다. 시험에 사용된 전극은 지름 3 m 평판전극이며 전극과 피뢰침사이의 간격이 2 m가 되도록 하였다. 뇌충격전압을 각각 30회 인가시 평균 임계섬락전압을 표 5-4에 정리하였다.

- 목 적 : 각 피뢰침에 대한 뇌충격 임계 섬락전압 측정
- 시험전압파형 : 부극성 뇌충격전압 ($1.2/50 \mu s$)
- 전극과 피뢰침간 거리 : 2 m
- 시험회수 : 각 형식별 30 회
- 관련규격 : IEC 60060
- 피시험품 : 일반형 돌침(A형), 주공형 돌침(B형) Indelec사 ESE 피뢰침(C형), 스페인 ESE 피뢰침(D형), 프랑스 ESE 피뢰침(E형)

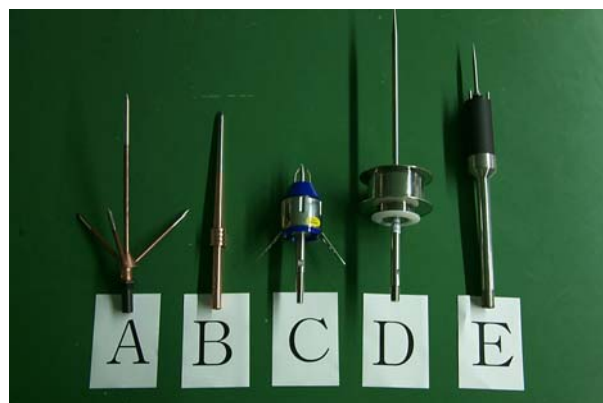


그림 5-5. 시험에 사용된 피뢰침

표 5-4. 뇌충격 임계섬락전압

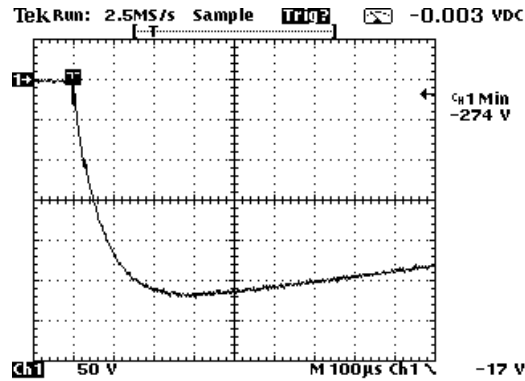
시 료		뇌충격 임계섬락전압(CFO) [kV]
일반형	A	- 1,142
	B	- 1,139
ESE	C	- 1,134
	D	- 1,158
	E	- 1,145

위의 표에서 보듯이 일반형과 ESE형 피뢰침의 임계 섬락전압은 전체적으로 유사한 경향이 관측되었으며 ESE의 유효성을 입증하기 어렵다.

2) 개폐충격전압 성능 비교시험

세계에서 유일하게 ESE 피뢰침에 대한 성능시험이 표준으로 제정되어 있는 프랑스의 규격에서는 일반 피뢰침과 ESE 피뢰침의 성능 비교의 지수로 방전 시간차를 측정하는 방법을 적용하고 있다. 이 방법에서는 파두장이 짧은 표준 뇌충격 전압파형이 아닌 $2 \times 10^8 \sim 2 \times 10^9$ V/m/sec의 파두 기울기를 가진 부극성 개폐충격전압을 인가하도록 하고 있어, 본 시험에서는 1.66×10^9 V/m/sec의 기울기를 가진 그림 5-6과 같은 300/2500 μ s 개폐충격전압을 사용하였다.

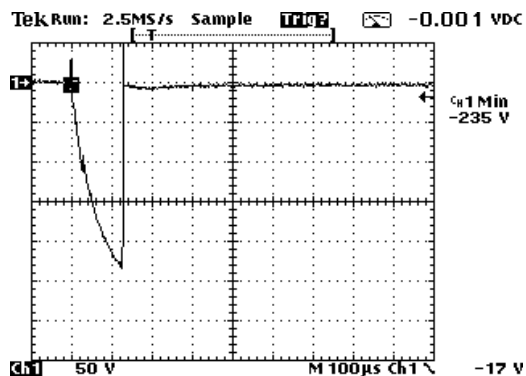
- 목 적 : 개폐 충격 전압에 대한 방전 시간 측정
- 시험전압파형 : 개폐충격전압 (300/2500 μ s, 파두 기울기 : 1.66×10^9 V/m/sec)
- 전극과 피뢰침간 거리 : 2 m
- 시험회수 : 각 형식별 30 회
- 관련규격 : French standard NF C 17-102-1995



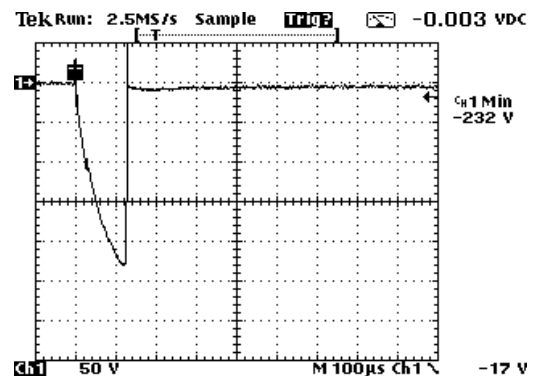
(분압비 : 1/2,180)

그림 5-6. 부극성 개폐충격전압 파형

각 피뢰침에 대한 방전파형(분압비 : 1/2,180)은 그림 5-7과 같고 일반 피뢰침의 평균 트리거 시간 $\overline{T_{SR}}$ 은 $122.3 \mu s$ 이며, ESE 피뢰침의 평균 트리거 시간 $\overline{T_{ESE}}$ 은 $120.6 \mu s$ 로 일반 피뢰침과 ESE 피뢰침간에 $2 \mu s$ 이내의 방전 시간차를 나타내었다. 절연파괴전압 평균에서도 일반 피뢰침은 $-543.3 kV$, ESE 피뢰침은 $-540.4 kV$ 로 거의 차를 보이지 않고 있음을 확인하였다.



(a) 일반 피뢰침



(b) ESE 피뢰침

그림 5-7. 개폐충격전압에 대한 피뢰침의 방전파형

3) 비교시험

두 종류의 피뢰침을 동일한 전기기하학적 조건으로 배치하고, 개폐충격전압을 인가하여 방전이 일어나는 방향을 통해 피뢰침의 성능을 판단하였다. 시험 조건으로 그림 5-8과 같이 평판전극과 피뢰침 상부간의 거리를 각각 $1.2 m$ 간격으로 설치하였고, 두 피뢰침 간의 간격은 $1.8 m$ 로 유지하여 평판전극의 가장자리와 피뢰침간에 방전이 일어나지 않도록 배치하였다.

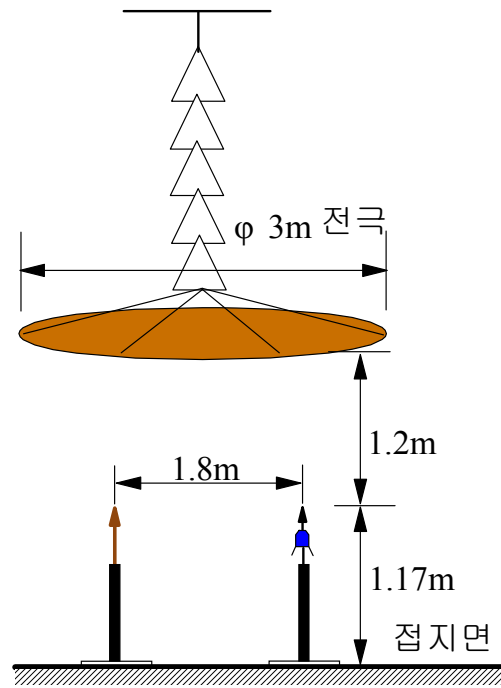
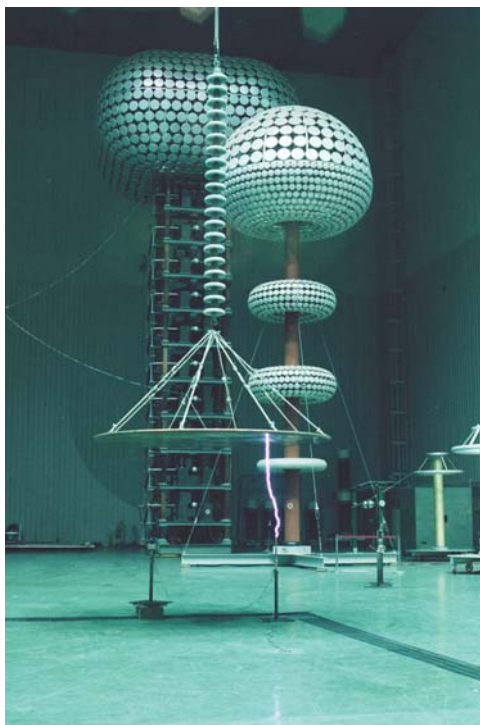


그림 5-8. 비교 시험을 위한 시료의 배치도



(a) 일반피뢰침(A형)



(b) ESE 피뢰침(C형)

그림 5-9. 피뢰침의 비교 시험

통계적인 편차를 줄이기 위해 총 120 회의 개폐충격전압을 인가하였으며, 총 인가 회수에 대해 60 회 이후에는 전극의 배치에 따른 영향을 배제하고자 두 피뢰침의 위치를 서로 바꾸어 시험하였다. 그림 5-9에 각 피뢰침에 방전이 발생했을 때의 예를 나타냈으며, 총 120 회의 시험에서 ESE 피뢰침으로의 방전회수는 61 회, 일반 피뢰침으로서는 55 회의 방전회수를 나타내었으며, 4 회는 두 피뢰침 모두 방전이 발생하지 않았다. **이상의 결과를 볼 때 비록 뇌방전이 일어나는 실제의 상황(풍속, 습도 등)을 고려 할 수는 없지만, 동일한 조건에서 두 피뢰침을 시험하였을 때 일반피뢰침에 비해 ESE 피뢰침의 성능이 매우 우수하다고 보기는 어렵다.**

나. DAS 성능평가 시험

1) 뇌충격전압 및 개폐충격전압 시험

ESE 피뢰침의 성능시험과 동일한 방법으로 DAS 피뢰침에 대해 충격전압 시험을 수행하였다.

● 목 적 : 뇌/개폐 충격전압에 대한 임계 섬락전압 측정

● 시험전압파형 : 부극성 뇌충격전압 (1.2/50 μ s),

개폐충격전압 (300/2500 μ s, 파두기울기 : 1.66×10^9 V/m/sec)

● 전극과 피뢰침간 거리 : 1.2 m

● 시험회수 : 각 형식별 30 회

● 관련규격 : IEC 60060

● 피시험품 : 일반형 피뢰침(a), DAS 피뢰침 (b, c, d)

충격시험 결과 표 5-5에 나타낸 바와 같이 시료(b)형의 DAS는 일반 피뢰침보다 임계 섬락 전압이 다소 높게 관측되었으나 그 차이는 약 20 kV 정도이다. **시험에서 두 전극 사이의 거리가 1.2 m 이고 인가전압이 600 kV라 가정하면 약 20 kV 정도의 차이는 4 cm 정도의 거리차이 밖에 나지 않으므로 DAS의 성능이 그렇게 우수하다고 볼 수 없다. (c)와 (d) 시료는 개폐충격전압에 대해 일반형 피뢰침보다 오히려 낮은 전압에서 방전이 발생하였다.**

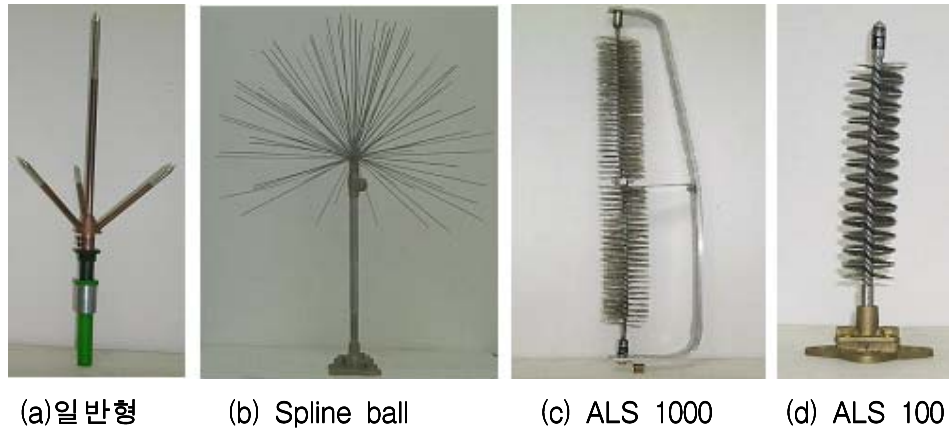


그림 5-10. 일반 피뢰침과 DAS 피뢰침

표 5-5. 충격전압시험

시 료		CFO Voltage [kV]	
		뇌충격전압	개폐충격전압
일반형	a	-629	-552
DAS	b	-647	-578
	c	-631	-548
	d	-640	-546

2) 비교 시험

일반피뢰침과 DAS에 대해 동일한 전기기하학적 조건으로 배치하고, 개폐충격전압을 인가하여 방전이 일어나는 방향을 통해 피뢰침의 성능을 판단하였다. 시험 조건은 그림 5-8과 동일하며 평판전극과 피뢰침 상부간의 거리를 각각 1.2 m 간격으로 설치하였고, 두 피뢰침 간의 간격은 1.8 m로 유지하여 평판전극의 가장자리와 피뢰침간에 방전이 일어나지 않도록 배치하였다. 각각의 시료에 대해 총 120회의 충격전압을 인가시 방전발생 회수를 표 5-6에 나타내었다. 이상의 결과를 볼 때 비록 시료(b)가 다소 양호한 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않다. (C)와 (d)의 경우에는 일반 피뢰침과 유사한 결과를 보였다. 따라서 DAS형 피뢰침의 이온방사를 통한 낙뢰유도 억제효과가 우수하다고 보기 어렵다.

표 5-6. 비교시험 결과

비교대상	일반형 피뢰침 방전회수(%)	DAS 피뢰침 방전회수 (%)
A 와 B	79 (66%)	41 (34%)
A 와 C	64 (53%)	56 (47%)
A 와 D	61 (51%)	59 (49%)

다. ESE 피뢰침과 DAS의 동향

ESE 피뢰침의 효과에 대한 논란은 1980년 이후 구미의 많은 학계 및 연구기관에서 논의된 바 있다. IEC에서는 뇌보호 표준을 담당하는 기술 위원회 TC81에서 1992년에 저명한 프랑스의 고전압방전학회(CIGRE)에 유뢰과정(Lightning Interception Process)와 ESE 기술에 논쟁에 대한 학회의 연구조사를 요청하였다. CIGRE 연구그룹 SC33.01.03에서 1994년부터 1995년까지 여러 차례의 회의를 거쳐 내린 결론은 「ESE 피뢰침은 기존의 피뢰침에 비해 두드러진 유뢰효율이 나타난다는 충분한 이론적인 해석결과나 실질적인 현장 데이터가 없다」는 것이다. 이후 TC81은 95년과 97년의 회의 개최 후 ESE기술에 대한 IEC 표준을 만들지 않기로 결의하였다. IEC와 매우 밀접한 관계를 맺고 있는 EC와 EFTA 표준기구인 Cenelec (European Committee for Electrotechnology Standardization)에서도 ESE기술에 대한 표준안이 없는 상태이다.

미국에서는 1991년 1월에 미국의 NFPA에 ESE피뢰침의 표준화 초안(NFPA 781 Draft)이 상정되면서 논의되었다. 초안을 심의하는 위원회는 프랑스, 호주, 미국의 제작사 대표로 구성되었으며, 제안된 NFPA 781은 1993년 11월에 NFPA 평의회(Council)에 제출되었으나 더 충분한 연구가 요구되어 본 안전은 기술 위원회에 넘겨졌다. 기술위원회는 이들 표준 초안이 제작자의 로비에 의한 것이라는 불만이 있어 평의회는 제 3자에게 표준안을 평가토록 하고 표준화를 연기시켰다.

NIST(National Institute of Standard and Technology)에서 이들 표준안이 검토되었으며 이들의 결과에 이어 평의회는 1995년 7월에 표준화의 가부에 대해 공청회를 개최하였으나, 그 결과 평의회는 본 NFPA 781안건을 거부하기로 의결하였다.

이처럼 선진 국가에서는 ESE피뢰침의 효용성에 대한 논쟁이 종료된바 있으며, 본 시험에서도 이를 입증하듯이 두드러진 보호특성이 나타나지 않았다.

한편, DAS에 대한 각국의 반응도 ESE와 유사하다. Abdual M. Mousa와 Donald W. Zipse 씨 등의 연구 결과에 따르면 DAS로는 낙뢰발생을 억제할 수 없으며, 일반피뢰침에 비해

별다른 효과가 없는 것으로 나타났다. 특히 건축물의 높이가 300m 이하인 경우에는 DAS에 의한 낙뢰발생빈도를 저감시키는 효과가 전혀 없다고 발표하였다. 이런 결과는 본 시험을 통해 얻어진 결과와 유사하며, 경제적인 측면을 고려할 때 일반 피뢰침의 추가 보완적인 설치가 더 바람직하다고 사료된다.

요 약

IEC/뇌보호표준기술위원회TC81, 「ESE피뢰침은 기존의 피뢰침에 비해 두드러진 유효 효율이 나타난다는 충분한 이론적인 해석결과나 실질적인 현장데이터가 없다」

IEC/TC81은ESE기술에 대한 표준부결.

NIST/표준화 평의회는 NFPA 781안건을 부결.

선진 국가의 ESE피뢰침의 효용성에 대한 논쟁이 종료.

DAS에 대한 각국의 반응도 ESE와 유사.

특히 건축물의 높이가 300m이하인 경우 DAS에 의한 낙뢰발생빈도를 저감한 효과 전혀 없다 발표.

소결: 경제적인 측면을 고려할 때 일반 피뢰침의 추가 보완적인 설치권고.