
SEMBAWANG 공군 기지에 설치된
LEC의 충전전하 분산기(DAS)의
효과에 대한 검증

보고자 :

Goh Kek Meng
엔지니어 - ESD/ESD
건물 및 군사시설 담당
방위 과학 기술청
국방성

목 차

1) 서 론	3
a) 배 경	3
b) 목 적	4
c) 실험 장소	4
d) 실험 기간	4
2) DAS에 대하여	6
3) 실험 범위	7
4) 설치(Set-Up)	7
a) 데이터 수집	11
5) 결과와 분석	12
a) 낙뢰 횟수 기록	12
b) 전기장 비교 / 측정	13
c) 분산 전류	14
6) 결 론	15

1) 서 론

a) 배 경

싱가포르에서 낙뢰방지에 대한 설계지침은 「The Code of Practice」 제33장에서 규정하고 있다. 현재 국방성의 거의 모든 시설물은 이 규정에 따라 주로 피뢰기를 설치하는 것만으로 낙뢰로부터 보호하고 있는 형편이다.

오랜 기간동안 많은 사고를 수반하는 낙뢰가 계속 지속되었음에도 불구하고 그러한 피뢰 기준의 적용은 지켜져 왔다. 여러 경우에서 이러한 사고들은 장비의 손실과 손상, 설비 가동의 중단 등을 초래했다. 이런 사고들의 직접적인 결과는 장비 및 시설물의 교체와 수리, 장비에 대한 신뢰도의 하락, 그리고 설비 가동의 중단에 따른 예산의 낭비로 이어졌다.

이러한 이유로, 「Lands & Estates Organization (LEO ; 싱가포르의 국토 관리 공사)」에서 국방성의 시설물들에 대한 낙뢰보호의 수준을 개선하기 위한 방안을 조사하기로 결정한 바 있다.

그 조사를 보면 일반적으로 낙뢰방지의 효과를 높이는 두가지의 새로운 기술이 소개되었다는 것을 발견할 수 있었다.

- 조기 스트리머 발생기 (Early Streamer Emitters ; ESE)
- 충전 전하 분산 장치 (Dissipation Array System ; DAS)

ESE는 근본적으로 낙뢰가 정해진 특정 위치에 떨어지도록 많은 양의 스트리머를 방사하는 것을 목표로 한다. 조사에서는 이 기술에 대하여 「the National Fire Protection Agency (NFPA-USA)」와 많은 컨설팅 기관 등 전문 기관들을 인용해 일반 피뢰침과 비교해 괄목할 만한 개선점이 없다는 결론으로 고려 대상에서 제외되었다.

DAS는 낙뢰를 예방하는 시설이다. 제조업체는 이 시설이 보호하는 구역은 낙뢰로부터 예방될 수 있다고 주장한다. 낙뢰를 예방한다면 이상 전압과 전자기류/파(EMF/EMP) 등의 파괴적인 간접 피해 또한 제거될 것이다. 이 새로운 기술은 실제 측정 기록과 그저 개념상이 아닌 공식으로 수치를 계산해내는 과학적인 방법으로 설계된 해법에 근거를 두고 있다.

b) 목 적

DAS의 낙뢰방지 능력을 검증하기 위하여 국방성의 시설물들 중 한곳에 이것을 설치한다.

이번 조사에서 국방성의 시설물에 대한 낙뢰보호의 수준을 증가시킴에 있어 이 새로운 기술을 적용할 만한지 가늠해 보기위해 제조업체의 주장에 대한 설득력 있는 결론을 얻고자 한다.

c) 실험 장소

이상적인 실험 장소는 그동안 계속 낙뢰의 빈도가 높았던 곳이어야 할 것이다.

위의 기준으로 보아 Sembawang 공군 기지가 선정되었고, 아래 몇가지 이유로 공항 비상관리 빌딩(AES Bldg.)에 DAS가 설치되었다.

- 이곳은 공군 기지 중에서 가장 낙뢰가 심한 곳이다. 해마다 수많은 낙뢰가 떨어져 왔기 때문에 DAS 설치 조건 이전과 이후를 비교하기가 용이하다. DAS의 효과를 입증하기 위해서는 보호구역에는 실험기간 동안 계속 낙뢰가 발생하지 않아야 한다.
- 그 빌딩에 최고 16m 내에 DAS를 설치할 수 있다는 허락을 받았다. 그래서 실험장소 중에서 가장 낙뢰 피해가 심한 지점에 DAS가 설치되었다.
- AES 빌딩은 연중 매일 24시간 근무하는 곳이다. 실험 지역 내에 어떠한 낙뢰가 발생한다면 그 곳의 근무자가 자체적인 보고체계에 의해 그것을 확인하고 기록하는 데에 도움을 줄 수 있다.

사진 1은 DAS가 설치되어 있는 AES 빌딩을 보여준다.

d) 실험 기간

- 1998년 9월 - 2000년 1월 (16개월)

Sembawang 공군 기지
AES 빌딩

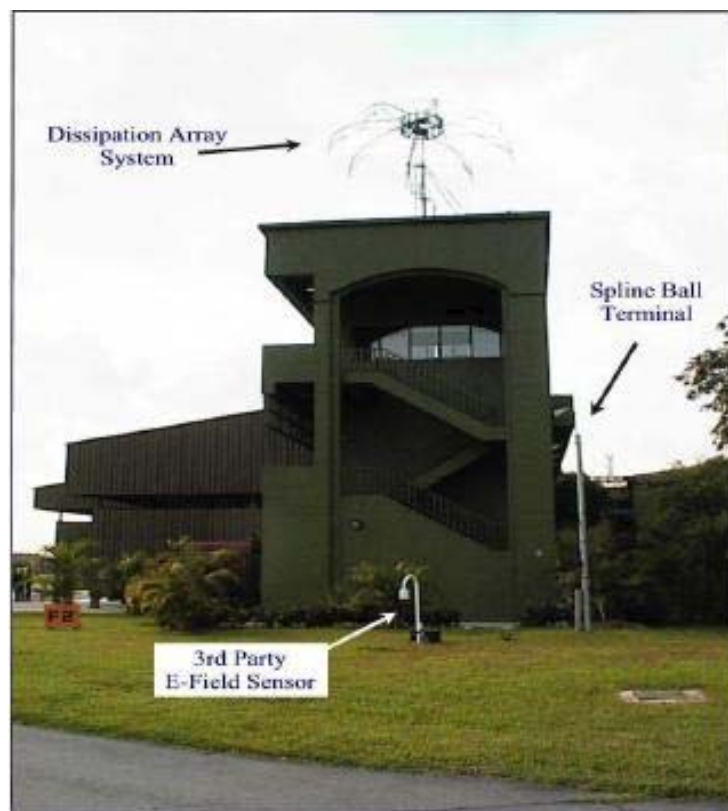


사진1 - AES빌딩에 설치된 DAS

2) DAS에 대하여

충전전하 분산장치(DAS)는 보호하는 구역은 물론 장치 자체도 낙뢰로부터 보호한다. 이 시스템은 대지와 전운(Charged Cloud) 사이의 전압차를 낙뢰성 전위 이하로 지속적으로 낮춰줌으로써 낙뢰를 예방한다.

DAS는 수동적인 시스템이다. 이 장치는 어떠한 전원도 사용하지 않고 폭풍 자체의 에너지에 의해 작동된다.

이 보호방식은 건물, 레이더, 전력선로 뿐만 아니라 연병장이나 공군 기지 같이 넓은 지역에도 적용할 수 있다. 그러나 이 특별한 설계를 위하여 시설물 각각의 도면이 필요하다.

DAS는 다음 세가지 장치로 구성된다. : 정전기 분산기(the Ionizer), 대지 충전전하 수집장치(the Ground Charge Collector; GCC), 그리고 정전기 전도체(Interconnecting Charge Conductor; ICC). GCC는 폭풍에 의해 대지에 증가된 정전기를 수집하고, ICC는 그 정전기가 대지에서 분산기로 이동하는데 낮은 임피던스를 제공한다. 정전기 분산기는 수집된 에너지의 분산을 촉진시키는 가장 중요한 장치이다.

정전기 분산기의 설계는 “점방전(Point Discharge)”이라 불리우는 정전기학의 원리에 기초를 두고 있다. 점방전이란 10,000V 이상의 전위를 가진 정전기장 내에 날카로운 전도성 Point가 있을 때 공기분자가 그 Point로부터 정전기를 흡수해 가는 현상이다. 이 이온화 과정에서 Point들로부터 주변의 대기중으로 전류의 흐름이 발생한다. 폭풍우 조건에서 이 이온화 전류는 폭풍 자체의 정전기장에 의해 기하급수적으로 증가하며, 완전히 발달한 폭풍중에는 고도 1m당 최고 30,000V 까지 이를 수 있다.

폭풍에 의해 증가된 대지의 정전기는 보호지역으로부터 제거되어 공기분자로 이동된다. 이렇게 충전된 공기분자는 보호구역으로부터 떠나 보호지역과 뇌운 사이에 공간전하를 형성하고, 이런 현상은 전기장에 의해 계속 가속된다.

공간전하 차폐효과는 포아송의 공식(Poisson's Equation)으로 계산할 수 있다. 이 계산에 의하면 폭풍에 의해 형성된 정전기장은 DAS가 분산시키는 양보다 적은 적당한 공간전하에 의해서도 1m당 20,000V 이상 감소될 수 있다.

폭풍에 의해 증가된 정전기중 많은 양이 제거되어 공기분자로 이동되고, 뒤이어 공간전하 영향권이 형성되어 보호지역은 직격뢰로부터 차폐된다. 즉, “Faraday Shield”로써의 기능을 하는 것이다.

제조업체의 주장에 의하면 이 시스템의 성공률은 공식 집계에 따라 19,000건 이상의 실적에서 99.7%의 성공률을 보이고 있다.

3) 실험 범위

이 실험에서는 결정적으로 DAS가 보호된 시설물을 낙뢰로부터 보호할 수 있는지를 밝혀야 한다. 단지 낙뢰의 횟수만 기록한다면 만일 성공을 한다면 “행운”으로 돌려 버릴 수 있기 때문에 충분치 않다. 따라서 실험의 범위는 보호된 시설물의 전기장의 감소에 대한 측정과 함께 낙뢰의 횟수를 검증하고 제조업체의 주장대로 DAS의 접지선을 통해 전류가 분산된다는 점을 입증하는 것을 포함한다.

기본적으로, 다음 3가지 전기적 매개변수를 측정했다.

- a) 낙뢰 횟수 (보호구역 안과 밖)
- b) DAS의 접지선에 흐르는 분산 전류량
- c) 전기장의 세기 (보호구역 안과 밖)

4) 설 치

실험 대상으로 결정된 지역은 약 125,680평방미터(0.1257sq. km)이다. DAS가 설치된 AES빌딩이 중앙에 위치하고, 실험지역은 그로부터 반경 약 200m 에 걸쳐 있다. 보호구역은 중앙으로부터 반경 16m로 정해졌다.

아래 표는 실험에 사용한 장비를 기술하였다.

측정 장비/시스템	측정 매개변수	내 용
낙뢰 카운터	보호구역과 보호되지 않은 구역의 낙뢰 횟수	<p>실험이 시작되면서 2개의 낙뢰 카운터가 설치되었다. 하나는 AES빌딩에 설치되었고 다른 하나는 125m 떨어진 곳에 위치한 구관제탑에 설치되었다. 1999년 1월, 2개의 낙뢰 카운터가 추가로 설치되었는데, 하나는 Hanger123에 그리고 다른 하나는 Hanger97에 설치되었다.</p> <p>사진2는 낙뢰 카운터가 설치된 모습을 보여준다.</p> <p>낙뢰 카운터는 실험지역에서 낙뢰 활동을 관찰하는데 도움이 될 것이다.</p> <p>아주 작은 공간을 차지하면서 실험의 정확도를 높이는데 도움이 되는 것이다. DAS는 상당히 높은 낙뢰 피해지역인 실험장소 중에서도 가장 높은 위치에 설치되어 있다는 점을 다시 한번 주목해야 한다. 제조업체의 주장대로라면 AES빌딩에 설치된 낙뢰 카운터는 다른 지역에 설치된 것들이 낙뢰 횟수를 기록하더라도 “0”를 기록해야 할 것이다.</p>




낙뢰 카운터

측정 장비/시스템	측정 매개변수	내 용
정전기 분산 기록계 (Static Discharge Monitor)	분산 전류(A)	<p>사진1에서 SBAB의 AES빌딩에 설치되어 있는 DAS를 보면 주로 반구형태의 구조물과 철타로 구성되어 있는 점을 알 수 있을 것이다. 정전기 분산용 Point들을 가지고 있는 반구형태의 구조물은 절연용 링들로 철타로부터 차폐되어 있다. 접지선이 분산용 Point에서 정전기 분산 기록계(SDM)까지 연결되었다. 다시 SDM에서부터 접지선이 건물의 접지시스템에 연결되었다. 이렇게 하는 목적은 모든 분산전류가 이 접지선을 통해 흘러서 측정할수 있게 하기 위함이다.</p>



정전기 분산 기록계(SDM)

측정 장비/시스템	측정 매개변수	내 용
<p>낙뢰 경보 시스템 (Lightning Warning System)</p>	<p>보호지역과 비 보호지역 사이의 전기장 세기 비교</p>	<p>낙뢰 경보 시스템(LWS)는 Spline Ball Terminal(SBT)라는 센서부와 종단박스 그리고 신호처리 장치로 구성되어 있다. SBT 센서는 펼쳤을 때 대략 100개 정도의 Point를 가지고 있으며 수평으로 360°로, 수직으로 약 200°로 펼친다. 두 개의 SBT 센서가 각각 두 개의 가로등에 설치되었는데, 보호지역과 비 보호지역에 각각 하나씩 설치되었다. SBT 센서는 주변의 전기장 세기를 측정하여 그와 비례된 전류를 LWS로 보낸다. LWS는 전류 신호를 전압 신호로 바꾸는 Transducer 역할을 한다. 그런 다음 신호는 Data Logger에 의해 기록, 관찰된다.</p>
 <p>낙뢰 경보 시스템(LWS)</p>		
<p>전기장 센서</p>	<p>전기장 세기 (kV/m)</p>	<p>전기장 측정기는 모니터부와 필드밀 센서로 구성되어 있다. 필드밀 센서는 전기장의 세기를 측정해내어 그 데이터를 모니터부로 전송한다.</p>
<p>사진XX : 전기장 센서</p>		

a) 데이터 수집

데이터 기록계(Data Logger), 두 개의 낙뢰 경보 시스템(LWS) 그리고 한 대의 컴퓨터가 AES 빌딩 3층에 설치되어 신호들의 수집과 관찰과 처리를 수행했다. 두 개의 SBT 센서가(보호구역과 비 보호구역에 각각 설치되어) 지중 선로를 통해 LWS에 연결되었다.

SBT로부터 전해온 신호는 데이터 기록계로 전해지고 기록계는 컴퓨터로 연결 되었다. 이 데이터 기록계는 각 신호에 대한 자동 트리거를 내재하고 있어 낙뢰가 임박했음을 알려줄 수 있다. 낙뢰가 임박했을 때(신호의 크기가 커졌을 때), 데이터 기록계는 이 모든 데이터를 기록할 것이며 결국 실험의 결과를 산출해 낼 것이다. 폭풍우 조건에서 정확한 신호를 기록하기 위해 컴퓨터의 메모리 용량을 비워두는 특별한 조치를 취했다. (데이터 검색은 기본 메모리만으로도 가능함) 그렇게 하지 않으면 평상시에 수집된 중요치 않은 데이터와 아주 빈번히 행해지는 주기적인 정보검색으로 인해 컴퓨터의 메모리가 꽉 차버리고 말 것이다.

「Delogger Plus」라는 소프트웨어를 사용하여 실험중 수집된 데이터를 검색하고 분석하였다.

2주간격으로, 컴퓨터의 하드 디스크로부터 주목할 만한 것이 있는지 데이터를 검색하고 처리했다.

5) 결과와 분석

a) 낙뢰 횟수 기록

i) 낙뢰 기록표

낙뢰 카운터 (15개월 동안 측정된 낙뢰 횟수)			
보호구역	비 보호구역		
공항 비상 관리 빌딩	구관제탑	Hangar97	Hangar123
0	4	1*	3

* Hangar97에 설치된 낙뢰 카운터에는 낙뢰 횟수가 찍히지 않았다. 여기의 “1”은 AES의 소방관인 Mr. Faizul씨에 의해 목격된 것이다. 당시 Mr. Faizul씨가 근무중이었는데 그곳에 심한 낙뢰가 있었다고 했다.

ii) 낙뢰 횟수에 대한 분석

낙뢰 횟수를 기록한 목적중 하나는 AES빌딩에 DAS를 설치하기 전과 설치한 후의 낙뢰 횟수의 차이를 관찰하기 위함이다. AES의 담당자에 대한 인터뷰에서 과거에는 많은 낙뢰가 있었음을 알 수 있었다. 그것과 대조적으로, DAS가 설치된 이래로 근무자가 매일 확인하고 기록한 현재의 상황은 그러한 낙뢰가 전혀 없다는 것을 알 수 있다. 낙뢰카운터에 “0”라고 기록되어있고, 그와 함께 AES 근무자의 근무일지에서도 설치 전과 설치 후의 실로 큰 차이점을 보이고 있었다. DAS는 제조업체의 주장대로 실제로 효과를 보이고 있었던 것이다.

낙뢰 상황의 호전이 “행운”이 아니었나 하는 생각을 떨쳐 버리기 위해, 비교 목적으로 조그마한 실험구역을 정했던 것이다. 만일 이 작은 지역에 낙뢰 기록이 없는 걸 보고, AES빌딩에 설치된 낙뢰 카운터에 “0”로 표시된 것이 그 지역 전체에 낙뢰 활동 자체가 없었기 때문 아니냐고 결론지어 버릴 수도 있다. 하지만, 실험구역의 다른 낙뢰 카운터와 근무일지는 그 구역에 심한 낙뢰 활동이 있었음을 보여준다. “8” 대 “0”이라는 차이는 DAS가 AES빌딩을 낙뢰로부터 예방했음을 보여주는 납득할만한 증거라 하겠다. 바로 이점이 DAS가 그 지역에서 가장 높은 곳을 차지하고 있는 이유인 것이다.

b) 전기장의 비교/측정

보호구역과 비 보호구역 전기장의 세기를 지속적으로 관측하기 위해 두 세트의 낙뢰 경보 시스템이 SBT센서와 조를 이뤄 데이터 기록계에 연결되었다. 그 장비는 전기장의 세기를 절대 수치로는 측정하지 못한다. 하지만 두 지역의 전기장을 비교할 만한 수치는 나타내 주었다.

아래 표는 날짜별로 된 기록중 가장 높은 것들만 발췌한 자료이다.

i) 전기장 비교표

날짜별 가장 높은 기록의 비교			
날짜	비 보호구역	보호구역	차이(%)
98년 09월 16일	6.2689	0.10226	6130%
98년 10월 07일	1.2681	0.03788	3348%
98년 10월 17일	0.69161	0.33745	205%
98년 12월 19일	1.5757	0.09772	1612%
98년 12월 22일	3.9558	0.10109	3913%
98년 12월 27일	2.981	0.09953	2995%
99년 01월 09일	3.4757	0.0502	6924%
99년 01월 24일	5.8193	1.3302	261%
99년 01월 28일	4.7475	2.0061	237%
99년 03월 06일	1.1508	0.18792	612%
99년 03월 08일	13.032	0.1982	6575%
99년 03월 09일	5.2783	0.13588	3885%
99년 03월 10일	2.1804	0.13959	1562%
99년 03월 11일	5.5335	0.3528	1568%

ii) 전기장 기록에 대한 분석

위의 비교표에서 보는 바, 비 보호구역의 전기장 세기가 보호구역의 전기장 보다 아주 많이 높다는 것을 알 수 있다. 몇몇의 경우는 거의 7,000%나 높다. 보호구역의 전기장은 낮은 수준으로 유지되고 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 보호구역과 비 보호구역에 설치된 각 SBT센서(전기장 탐침기로써 설치된) 간의 거리는 75m에 불과했다. 이정도 거리는 하나의 폭풍이 이 두 지역을 뒤덮어 같은 영향을 주기에 충분한 거리이다. 보호구역내의 전계강도가 일정하게 낮게 유지됨에 따라 낙뢰의 초기 섬광인 Streamer의 발생 가능성을 감소시킨 것이다.

보호구역과 비 보호구역 간의 전기장 세기 비교(위의 실험 결과로 증명된 바)에서 얻어진 결과

를 확인하기 위해 실험지역의 전기장 세기를 정확하게 측정할 수 있는(kV/m로) 필드밀 센서나 더 일반적으로 알려진 전기장 측정기가 필요했다.

인터넷에서 기상예보의 도움으로 실험팀은 그 지역의 3시간 후의 날씨 상황에 대한 정보를 얻었고 팀원들은 예보된 폭풍속에서의 전기장을 측정하기 위해 전기장 측정기를 셋업할 수 있는 충분한 시간을 가질 수 있었다. 심한 폭풍속에서 전기장 측정기는 보호구역과 비 보호구역의 전기장 세기를 측정했다. 표XX는 긴박한 폭풍우속에서 측정된 전기장 세기의 기록들을 보여준다.

c) 분산 전류

분산되는 전류의 측정이 시도되었으나 다음의 이유로 인해 결과를 산출해낼 수 없었다.

1. DAS의 높이가 공군 기지내에서는 AES빌딩의 16m 높이의 템플릿에만 설치할 수있도록 허락되었다. 이 높이에서는 실제 분산되는 전류는 마이크로 암페어로 밖에 측정되지 않는다.
2. 사용했던 정전기 분산 기록계(SDM)는 이 정도의 분산 전류를 측정하기는 충분히 민감한 장비가 아니었다.

처음, SDM의 저항 조정을 0.1Ω으로 맞췄었다. 다음 신호를 증폭시키기 위해 Factor를 10까지 주면서 저항 조정을 계속 늘려 1까지 올려 봤다. 몇 번은, 폭풍 속에서 전류 흐름의 기록을 약간 잡아낼 수 있었다. 하지만 한정된 장비로 인해 정확한 값으로써 실제 전류의 흐름을 반영할 수는 없었다.

위와 같은 이유에도 불구하고 보호구역 내의 전기장 세기가 지속적으로 낮아진다는 점에서 분산 전류의 흐름은 존재한다는 점을 알 수 있었다. 이는 DAS가 보호지역에 있는 정전기를 이동시켜 공간 전하로 형성시킨다는 것을 입증한다. 또한 보호구역에 낙뢰 기록이 전혀 없었다는 점도 분산되는 전류량이 보호구역 내에 낙뢰가 치는 것을 예방할 수 있을 만큼 충분했다는 것을 입증한다.

6) 결 론

실험지역에서 얻어진 데이터를 근거로, DAS는 그것이 보호하고 있는 지역을 낙뢰로부터 예방해주는 능력이 있음을 확실하게 보여 주었다. 실험은 DAS의 성능을 평가를 목적으로 3가지 중요한 매개변수를 측정하고자 셋업되었고 전기장 실험과 낙뢰를 관찰함으로써 DAS의 효과에 대해 충분하고 명백한 검증을 했다고 본다.

실험이 성공적이었으므로, 레이더 지역과 같은 국방성의 취약한 설비들에 대해 DAS의 설치가 실행되어야 할 것이다. DAS가 보호하는 구역에서 낙뢰를 예방하면 모든 해로운 낙뢰성 피해가 깨끗이 제거될 것이다. 설비가동의 중단이 없어질 것이며 낙뢰가 사라짐으로 해서 취약한 장비가 손상되어 수리비나 교체비가 드는 일도 없어질 것이다.

SBAB에서 15개월 동안 행해진 DAS의 평가 수행은 DAS가 낙뢰를 예방할 수 있는 능력이 있다는 점을 입증했다.