

# 배전계통의 내뢰대책

글/송 원 순(한국전력공사 배전계획부장)

## 1. 머리글

전력계통의 말단에 위치하여 수용가와 밀접한 관계를 갖고 있는 배전분야는 현대 산업정보화 사회에 있어서 그 중요성이 증대되어 가고 있다.

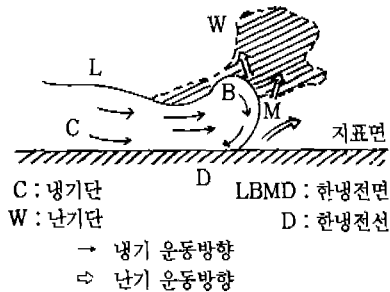
특히 계통의 안전확보와 양질의 전력공급이라는 대 전제하에 다양한 부하특성과 공급지역의 특수 환경조건에 적합한 설계 및 적정시공에 대한 요구는 점증되어 가고 있으며 고 신뢰도 확보를 위한 기술 개발 역시 필요한 사정이다.

각종 원인에 의해 발생하는 배전계통의 고장은 정전을 유발하고 수용가에게 일부 재산상 피해까지 가져올 수 있다는 점에서 효과적인 계통운영을 통한 지속적인 관리가 필요하다. 최근 배전계통의 고장은 전체적으로 감소추세를 보이고 있으며 비, 바람, 뇌격 등 자연재해에 의한 사고도 매년 조금씩 감소하고 있다. 특히 자연재해에 의한 고장원인중 반 이상을 차지하는 뇌격에 의한 고장은 점차적으로 줄어들고 있는데 이는 전반적으로 내뢰시설을 확대시킨 결과라 볼 수 있다.

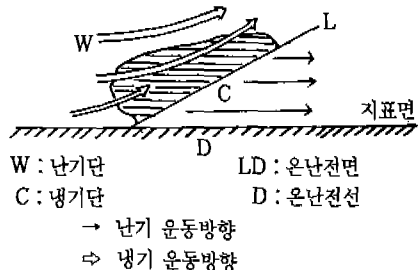
그러나 뇌는 기상의 변화에 따라 지역적으로 상이하게 발생하는 특징이 있으며 뇌격의 영향은 직간접적으로 각종의 전력시비에 광범위하고도 가혹한 피해를 가져온다. 그러므로 한전에서는 이러한 뇌피해를 최소화시키고 양질의 전력공급과 고 신뢰도 확보를 위한 구체적이고 포괄적인 내뢰대책을 시행하고 있으며 앞으로 이 분야에 대한 연구도 병행할 계획이다.

## 2 배전계통에 영향을 미치는 낙뢰의 현상

낙뢰를 일으키는 뇌운의 발생은 주로 강력한 상승기류에 의해 이루어지며 발생인자에 따라 평야지대에서 일어나는 열뢰, 한냉전선 및 온냉전선과 같이 상이한 전선대가 마주치면서 일어나는 계뢰<그림 1, 1-1참조>, 열뢰와 계뢰 등의 발생이 산악지형에서 일어나는 지형뢰로 분류된다. 이와같은 경로로 형성된 뇌운은 직경 수 km의 수평반경 및 수직형상의



<그림 1> 한냉전선의 종단면도



<그림 1-1> 온난전선의 종단면도

형태를 갖고 계속적으로 이동하면서 30초~수시간정도 뇌우를 동반한 낙뢰현상을 일으킨다. 즉 뇌는 정·부극으로 대전(帶電)된 뇌운이 공기절연을 파괴하면서 뇌운간 또는 대기간 방전을 일으키는 일련의 현상을 의미하며 이러한 자연뇌는 그 성격에 따라 직격뢰와 유도뢰로 분류되고 발생원인에 따라 외뢰라고도 부른다.

직격되는 뇌운으로부터 직접 송배전계통에 낙뢰되는 것으로 약 5,000kV의 크기를 갖고 수만 A를 초과하는 전류파고치를 가지며 22.9kV-y 배전선에 발생하는 뇌의 약 20%를 점유하는 반면, 뇌발생의 80%를 차지하는 유도되는 그 발생경로에 의해 정전유도에 의한 것과 전자유도에 의한 것으로 분류되는데 그 크기가 300~400kV이고 2,000A 전후의 전류크기를 가지며 영향이 대단히 광범위하여 배전계통에서 주된 내뢰대책의 대상이 되고 있다.

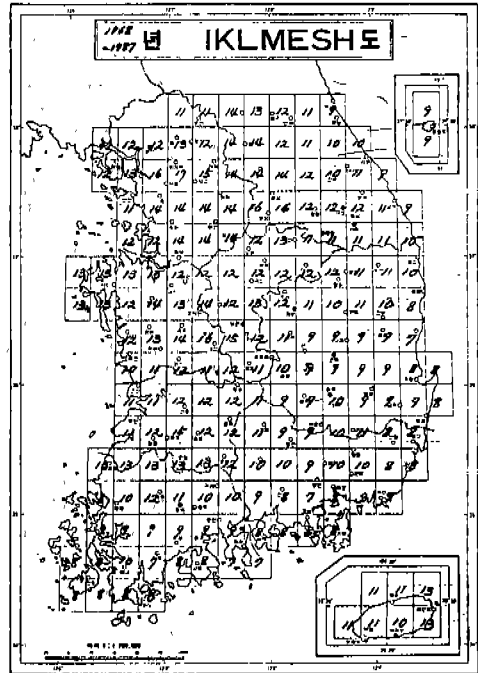
이와는 별도로 내뢰대책을 결정하는 또 다른 요인은 내뢰라고 부르는 내부이상 전압으로서 고장시 서지, 개폐 서지 및 상용주파 과전압 등이 있다.

뇌 서지는 매우 긴 역사를 가진 자연현상이면서도 그 성질이 아직도 불분명한 부분도 있으나 관측 방법 등의 개선으로 상당히 규명되고 있는 실정이다.

따라서 뇌의 빈도수 및 강도는 뇌격의 분석 및 대책수립에 절대적으로 필요한 재료이므로 각 지역별 습뢰빈도일수를 알 수 있도록 IKL(Iso Keraunic Level)도 <그림 2 참조>가 작성되었고 이것은 연간평균 발뢰일수를 지도상에 나타낸 것으로 현재 배전계통의 내뢰설계에 활용되고 있다.

IKL도에 의하면 월별 뇌일수는 8월이 가장 높고 전체 뇌일수의 30%를 점유하는 것으로 나타났으며 매년 다뤄지역도 변동되는 것으로 나타나고 있다. 또한 우리나라는 연간 평균 6일~15일의 낙뢰일수가 전체대비 90%이상을 차지하고 있으며 11일 이상을 다뤄지역, 10일 이하를 기타지역으로 구분하여 내뢰대책을 시행하고 있다.

이를 일본과 비교하여 보면, 일본은 연평균 20일로 지역적 차이는 있으나 우리보다는 높은 수치이다. 그



<그림 2> IKL MESH ('68~'87)

러나 뇌 발생의 특성상 발생상태, 지형, 기상여건 등 상이한 조건이 상존하기 때문에 IKL도에 의한 일괄적 대책은 바람직하지 못한 실정이다.

### 3. 배전계통의 뇌 고장분석

'91년 말 현재 배전계통의 전체고장 1,527건중 뇌격에 의한 고장은 81건으로 5.3%의 점유율을 나타내고 있으며 <표 1참조> 뇌격에 의한 절대 고장건수는 점차적으로 감소하는 추세이나 전체 고장대비 점유비는 '88년 이래로 일정한 수준을 유지하고 있다.

이를 전체 원인별로 보면 전선단선이나 애자과파 등 전선로의 고압측 사고가 2/3 이상을 차지하고 있는 관계로 <표 2, 표 3 참조> 고압선로에 대한 적극

<표 1> 연도별 배전선로 뇌고장 현황      단위: 건

연도별 구분	'87	'88	'89	'90	'91	비고
전체고장	1,893	1,705	1,545	1,606	1,527	
뇌 고장	57	97	87	73	81	
점유율(%)	3.0	5.7	5.6	4.6	5.3	

<표 2> 뇌고장 분석 (원인별/년도별)

원인별	연도별				점유율(%) (’91)
	’88	’89	’90	’91	
전 선	21	30	19	24	29.7
에 자	29	29	25	25	30.8
주상변압기	9	12	7	10	12.3
COS	11	6	8	11	13.6
기기류	20	18	11	9	11.1
기 타	7	2	2	2	2.5
지중선	0	0	1	0	0
합 계	97	87	73	81	100.0

<표 3> 배전선로 연도별 고장 현황

구분 \ 연도	연도				
	’87	’88	’89	’90	’91
전체고장(건)	1,893	1,705	1,545	1,606	1,527
뇌 고장(건)	57	97	87	73	81

적인 내뢰대책의 시행이 중점적으로 실시되어 온 배경이 되었으며 기기류 등의 뇌격피해는 점차적으로 줄어드는 추세이나 전반적으로 기기나 주상변압기 등 개별보호가 필요한 개소에 대한 대책이 시행·계획중에 있다.

#### 4. 배전계통의 내뢰대책

##### 가. 가공지선의 설치

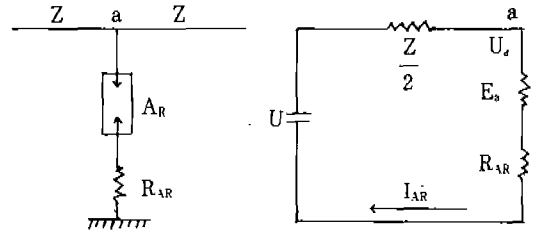
가공지선은 배전선로에 내습하는 유도뢰 및 직격뢰에 효과적으로 대처할 수 있는 설비로서 직격뢰의 경우 뇌전류를 가공지선의 접지선을 통해 대지로 방전되게 하여 사고를 미연에 방지하고 있으며 유도뢰의 경우 가공지선에 발생한 뇌서지 전류가 대지로 흐를때 가공지선과 선로 도체간 상호 유도작용에 의하여 역기전력이 배전선로에 발생, 유도뢰 전압을 억제하게 되므로 뇌에 의한 피해를 최소한으로 줄일 수 있다. 현재 가공지선의 설치율은 26.5%(’91년말)로서 일본의 가공지선 설치율인 44%(’85)와 비교하면 현저히 낮은 수준이나 ’88년과 비교 약 5배정도

증가하였고 향후 설치범위를 대폭적으로 확대할 계획이므로 증가폭은 더욱 가속화될 전망이다.

특히 ’90년도에 개정된 배전선 내뢰기준에 의하면 IKL 14일이상 지역에 한하여 설치하던 가공지선의 설치범위를 전지역(파뢰설비를 갖춘 20m이상의 고층빌딩이 밀집되어 유도뢰의 차폐효과가 현저한 지역은 제외)으로 확대 시행하고 있다.

##### 나. 피뢰기의 확대부설

유도뢰에 의한 뇌서지를 억제하기 위하여 피보호대상기기(에자·기기 등)에 근접 부설하는 피뢰기는 송전선로와는 다른 배전선로의 특징인 짧은 분기선 때문에 단위 분기선로를 일정구간으로 보고 내뢰대책이 설정되어야 하므로<그림 3>과 같이 방전시의 등가회로로 단절화 시켜서 해석한다.



- (1) 피뢰기 설치점의 서지 (2) 피뢰기 방전시의 등가회로  
 $A_R$  : 피뢰기  $U$  : 유도뢰서지  
 $R_{AR}$  : 피뢰기접지저항  $U_a$  : 피뢰기방전시의 a점의 서지  
 $Z$  : 선로서지임피던스  $E_a$  : 피뢰기의 제한전압  
 $I_{AR}$  : 피뢰기 방전전류

<그림 3> 피뢰기 방전시의 유도뢰 서지와 등가회로

특히 피뢰기의 보호거리를 결정하는 주요 요소인 배전선로와 낙뢰지점간의 상대위치, 뇌전류 크기, 파형 등에 의한 유도뢰 서지의 크기, 선로절연, 피뢰기 특성, 접지저항 등에 의하여 상이한 결과를 나타내나 일반적으로 피뢰기는 가공지선에 의한 차폐효과를 증가시키는 결과를 가져온다.

아울러 피뢰기 설치현황을 보면 ’91년 현재 255,975대로서 고압선로 단위연장대비 설치율이 0.74대/Km로 이는 일본의 피뢰기 설치율 4.4대/km 보다는 낮은 수준이나 ’88년의 0.75대/km과 비교하면 매년 꾸준히 증가되고 있는 실정이다. 특히 ’90년도에 개정된

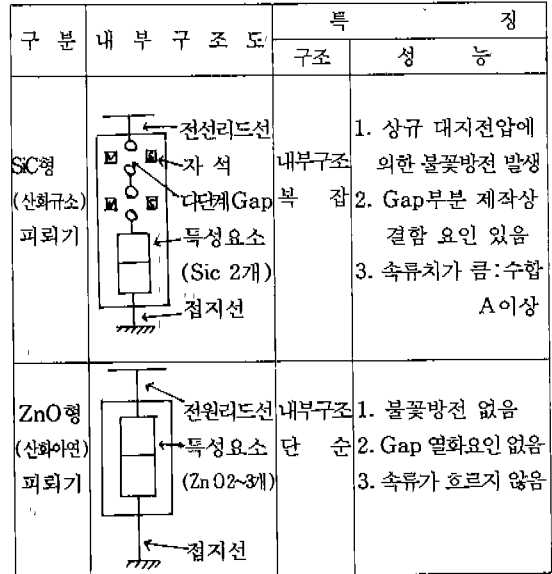
배전선 내뢰기준에 의거 설치기준이 대폭 강화됨에 따라<표 4 참조> 설치대수는 크게 증가할 전망이다.

<표 4> 피뢰기 설치기준 개정('90. 2. 7)

내뢰시설	기 준		비고
	개 정 전	개 정 후	
피뢰기	- IKL 14일이상 지역에서 500m 마다 설치하되 가급적 변대주에 설치	- IKL 11일이상 지역에 설치된 주상변압기 (단, 200m 구간내에 피뢰기가 설치되어 있을시 생략)	
	- 분기주 및 말단주	- 분기주, 말단주, 변대주 - 선로의 매 500m 마다 설치하되 가급적 주상 변압기 전주에 설치 - 다회선 병가구간은 상하 각 회로마다 시설	

아울러 기타 피뢰기 부설개소로는 변전소 모선으로부터 배전선 인출개소, 승압 또는 강압용 변압기의 전원·부하측, 가공선과 지중선과의 접속개소, 기기의 전원·부하측, 고압측 절연전선과 나전선과의 접속개소 등이 있다.

피뢰기는 일반적으로 피보호기기의 피해를 방지하기 위하여 피보호기기의 기준충격 절연강도(BIL)보다 충분히 낮은 값을 가짐으로서 먼저 동작 할 수 있는 특성을 가져야 하며 뇌전류 방전후 따라오는 상용주파전류(속류)를 차단하여 접지상태로 이르지 않도록 하여야 하고 제한전압을 낮게 유지하며 큰 값의 방전내량을 가져야 한다는 전제조건에 충족해야 한다. 이와같은 맥락에서 '91년부터는 기존에 채택 사용하였던 탄화규소 소자(SiC) Gap Type 피뢰기를 신소재인 산화아연소자(ZnO)를 이용한 Gap Less 피뢰기<그림 4 참조>로 대체함으로써 피뢰기 자체 내부구조를 단순화하고 열화 및 제작불량에 의한 고장요인을 배제시켰으며 피뢰기 성능이 향상되는 등 기존의 SiC 피뢰기보다 우수한 Zn o Gap Less형 피뢰



<그림 4> 배전용 피뢰기의 특징

기를 확대 부설중에 있다.

다. 배전선로의 절연협조

22.9kV-y 배전계통의 절연강도는 그 정도에 따라 직격뢰 및 유도뢰의 발생비율이 크게 차이가 나는 등 내전대책의 시행에 있어서 기본적으로 고려하여야 할 사항이다.

그러므로 각종 배전 기자재에 대한 품질개선 및 자체개발은 품목별로 유지되어야 하는 절연강도에 맞춰서 설계·시험·제작되고 있다.

또한 배전계통에서의 각종 기자재 절연강도에 의한 합리적인 절연협조는 내수에 의한 뇌섬락시 고장 범위를 축소시키고 조기 복구할 수 있는 것을 목표로 하여 추진되고 있으며 현재 한전에서 채택, 시행되고 있는 배전선로의 절연단계는 <표 5>와 같다.

배전선로의 절연단계는 ACSR-OC 절연전선의 사용으로 현수 및 라인포스트 애자의 절연강도가 230kV, 180kV 등으로 높아진 반면 주상변압기, COS 등의 절연강도는 125kV이므로 절연전선 애자 부근에서 주상 변압기, COS부분에서의 사고가 발생할 가능성이 높다. 이의 보강책으로 피뢰기의 근접설치 및 피뢰소자 부 변압기의 개발 등이 검토되고 있다.

한편 충격섬락전압을 초과하는 뇌의 발생회수는

< 표 5 > 배전선의 절연계급

230kV											
		180kV									
				175kV							
						150kV		150kV			
										125kV	
										125kV	
										65kV	
에 자		개 폐 기								피뢰기 방전개시 전압	
현수예자 (2개연)	라 인 포스트	특고편	SF <sub>6</sub> 가 스	INT. SW	CCS	PT					

주: 수치는 기차재의 임펄스 내전압임

절연강도에 따라 상이한 분포를 나타내며 절연강도가 높아짐에 따라 유도뢰의 발생횟수가 대폭적으로 감소하므로 < 표 6 참조 > 절연단계에 의한 내뢰대책이 병행되어야 하고 이를 위하여 가장 효과적인 방법은 직격뢰에 대한 가공지선의 설치와 유도뢰에 대한 피뢰기 설치를 병용하는 것이며 궁극적으로는 절연단계차에 의한 피보호범위를 확대시켜 고장의 극소화를 그 목적으로 한다.

< 표 6 > 뇌서지 발생횟수

설락전압(kV)	60	80	100	125	150	165	175	200	220	250
발생회수										
직격뢰	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
유도뢰	1.53	1.06	0.78	0.59	0.41	0.35	0.30	0.22	0.17	0.11

주: 1. IKL 30일, 4회/km/년을 기준

2. 배전선로 지상고는 10m

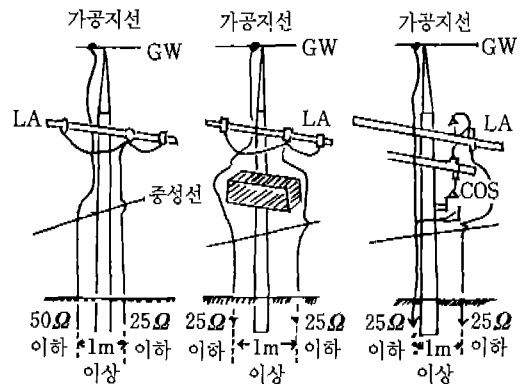
라. 접지시공의 적정

배전계통의 내뢰대책인 가공지선과 피뢰기의 동작책무를 확실히 보장받기 위하여는 전선로에 대한 접지저항의 규정값이 정확하게 유지되고 규정치에 맞는 시공이 우선되어야 한다.

대지로의 방전이 용이하여야 하는 피뢰기의 접지는 피보호기기보다 우수한 접지저항값을 가져야 하고 피뢰설비간에도 효과적인 보호범위를 확보하기 위하여 접지저항치의 단계차를 두어야 한다.

현재 한전에서의 피뢰기 접지는 제 1종 접지공사를 원칙으로 하고 있으며 다중접지 중성선과 분리하여 단독접지하고 있다. 접지저항치는 25Ω이하로 유지되 접지극 상호간의 간격은 1m이상 이격하여 시공하며 특히 비접지 계통의 선로에 설치하는 피뢰기는 단독접지시 30Ω이하의 접지저항값을 유지한다.

아울러 가공지선과 피뢰기의 접지방식은 < 그림 5 > 와 같다.



- 1. 선로보호용 피뢰기
- 2. 기기보호용 피뢰기
- 3. 추상변압기 피뢰기

< 그림 5 > 가공지선과 피뢰기의 접지방식

5. 향후 추진계획

사회의 발전과 경제수준의 급속한 향상에 대응하기 위하여 한전에서는 '70년대 초반부터 22.9kV-y 승압을 본격적으로 시행하였고, '91년말 현재 서울의 중심가 일부와 제주도를 제외한 전국 대부분 지역의 승압이 완료되었으며 급격한 부하증가에 대처하기 위하여 변전소 주변압기가 상위용량으로 대체되고 아울러 특성 임피던스가 변경되는 등 계통을 구성하고 있는 주요 요소가 그 성격을 달리함에 따라 배전계통에 설치된 각종 개폐 및 보호장치 등의 기기 차단능력이 변화하고 절연등급이 재조정되었다.

<별표> 내뢰설비 지표

지표 및 설비		연도별			
		'88	'89	'90	'91
지표	1.피뢰기 설치율 (대/km)	0.57	0.61	0.65	0.74
	2.가공지선 설치율 (%)	4.4	9.5	14.3	26.5
설압	고 전장(km)	93,856	97,347	101,548	108,029
	연장(km)	285,791	300,832	317,967	348,047
	가공지선 연장(m)	4,121,240	9,224,188	14,488,660	28,667,613
	피뢰기(대)	161,932	184,069	208,201	255,975
비	회선수(회선)	2,115	2,352	2,605	2,901
	주상변압기(대)	493,099	540,966	597,085	663,029

주 : 1. 피뢰기 설치율=피뢰기 대수/고압 연장(대/km)  
 2. 가공지선 설치율=가공지선 연장/고압 전장(%)

이에 따라 기존의 내뢰대책으로는 충분한 효과를 얻을 수 없어서 적극적인 예방대책이 요구되었고 가

공지선과 피뢰기의 설치범위 확대가 어느 정도 뇌격에 의한 고장감소에 일부분을 담당하였으나 절대 배전설비와 비교하여 볼 때 아직도 그 설치율이 부족한 실정이다. 그러므로 현재 설치하고 있는 피뢰설비를 개정된 기준에 의거 설치개소를 증가시켜 나갈 것이며, 이와는 별도로 뇌격에 의한 절연전선 단선고장을 예방하기 위하여 애자와 완금사이에 ZnO 소자가 내장된 아킹 혼 등의 개발을 검토하여 사고예방에 적극적으로 대처할 계획이다.

전반적인 내뢰대책이 시행된다면 고압선로측 고장은 큰 폭의 감소가 예상되고 공급신뢰도의 확보 역시 가능하리라 확신하지만 상대적인 절연등급이 낮은 저압선로 및 주상변압기에 대한 별도의 내뢰대책이 향후 뇌해방지대책의 중착점이라 판단되므로 이에 대한 시기적절한 연구 및 시행이 강력하게 추진될 것이다.

### 겨울철, 수도관 보온관리 요령

동절기 수도관을 제대로 관리하지 않으면 수도관이 얼어붙어 식수를 공급받는데 곤란을 겪게 된다.

수도관은 0℃ 이하로 내려가더라도 쉽게 동파되지는 않지만, 추운날씨가 계속되면 관속의 물이 얼기 때문에관이 파열될 수가 있기 때문에 미리 예방을 해두는 것이 좋다.

일반주택의 경우 수도미터보호통이 옥외에 있는 것이 보통인데 보호통에 보온뚜껑이 없으면 형질으로 싸거나 왕겨를 뿌려야 한다.

아파트에서는 윗층과 아래층을 연결하는 공동구에 계속 찬바람이 유입되는 대류현상으로 인해 저층(1~5층)에 수도미터 동파사고가 많이 발생한다. 이 때는 수도미터보호통 연결구를 형질 등으로 잘 메우고 외부의 찬바람이 들어가지 않도록 수도미터보호통의 미세한 틈을 접착테이프로 막아주어야 한다.

그리고 옥외에 노출된 수도관이나 마당에 설치된 수도는 스티로폼이나 형질으로 감은 뒤 테이프를 붙여 물이 들어가지 않도록 보온해야 한다.

만일 수도관이 얼었을 경우, 15℃ 정도의 미지근한 물로부터 시작해 점점 뜨거운 물을 뿌려야 관 손상없이 관속의 얼음을 녹일 수 있다.