

LPATS를 이용한 배전설비 뇌해예측 및 보수운용

김 태 익* · 김 세 호**

Predition of Lightning Damage and Maintenance Using LPATS in Distribution Line Equipment

Tae-Ik Kim* and Se-Ho Kim**

ABSTRACT

Lightning is the single largest cause of outages on distribution and transmission systems in lightning-prone areas. In this paper, we analyze the damage modes of distribution equipments by lightning and calculate the lightning-induced voltage by using analysis program. In the calculation of lightning -induced voltage, it is used the various parameters obtained by LPATS being operated in KEPCO from 1995. Based on the lightning-induced voltage, we can predict the extent of damages in distribution systems. The result in this paper is very useful in finding fault location and rapid outage recovery by lightning and maintenance of distribution line equipment.

Key words : Lightning-induced voltage, Distribution line, LPATS

1. 서 론

배전선로는 발전 및 송·변전설비와 달리 설비가 광범위하게 설치되어 외부적 요인에 의한 피해로 전력공급이 중단될 가능성을 내포하고 있으며, 특히 뇌격에 의한 피해시 막대한 설비피해와 복구에 많은 인력과 시간이 소요되므로 이에 대한 적절한 대책을 강구해야 한다.

현재까지 낙뢰피해방지는 미국, 일본, 유럽 등의 기

술 선진국에서 많은 연구와 성과를 이루었으나 우리나라에서는 뇌방전 계수기를 이용한 IKL도 작성과 뇌격위치표정시스템이 도입 운영하고 있으나 아직은 파라메타 분석, 연구 등의 단계에 있는 실정이다.¹⁾

한국전력에서는 전력계통 운용과 송변전설비의 내뢰설계에 필요한 낙뢰자료를 얻기 위해 '95년부터 미국 ARSI(Atmospheric Research System, Inc)가 개발한 도달시간차 방식(TOA : Time Of Arrival)의 낙뢰감지기인 LPATS(Lightning Position And Tracking System)를 도입하여 운용하고 있으며, '98년부터 송전선로 뇌격시 사고점 추정에 활용되고 있다.^{2),3)}

배전선로에 뇌격이 미치는 영향에 대한 실측자료가 없어 외국의 자료에 의존하고 있으며, 국내 여건에

* 제주대학교 산업대학원
Industrial Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 전기공학과
Dept. of Electrical Eng., Cheju Nat'l Univ.

적합한 실측을 위하여 유도뢰 측정설비인 낙뢰유도철 탐과 유도뢰 실험 배전선로를 전라북도 고창에 최근 시설하여, 가공배전계통의 절연협조 및 내뢰대책 수립에 활용될 것으로 기대되지만 배전선로 보수 운영 부서에서의 고장 신속복구를 위한 방안의 활용으로 는 미흡하다.

본 논문에서는 LPATS에서 얻은 뇌격위치에 관한 각종 파라메타를 이용하여 유도뢰 해석프로그램을 구 동시키고 결과로서 얻어진 유도뢰전압의 크기와 실제 뇌격에 의한 배전설비 피해와의 상관관계를 분석하고 자 한다.

II. 배전선 뇌해실태 및 뇌해대책설비

전국적으로 뇌해 설비피해는 전선(28.7%), 애자 (24.8%), 피뢰기(12.6%), 변압기(9.6%), 개폐기(8%) 의 순으로 나타나고 있으며 제주지역에서는 개폐기 (28.1%), 애자(26.6%), 변압기(23.4%), 전선(9.4%), 피뢰기(10.9%)순으로 육지와는 다소 다른 양상을 보 인다. 이는 6.6kV급 피뢰기 설치부족(생산증지)의 현 상으로 여겨진다.

또한 배전선로 영구고장 통계를 보면 풍우, 염진해, 뇌격등 자연재해에 의한 고장이 전국적으로 13.4% (뇌격고장 6%)를 점유하고 있으나 제주지역은 자연 재해에 의한 고장이 38.4%(뇌격고장 19.5%)를 점유 하고 있다.

뇌격에 의한 고장은 연도, 뇌격빈도에 따라 다르며, 제주지역이 뇌격고장이 많은 이유는 뇌격에 의한 많 은 피해가 있었고, 육지부와는 달리 6.6KV 배전선로가 있어서 절연레벨이 낮음에 기인한 것으로 여겨진다.

뇌해대책으로는 가공지선과 피뢰기를 겸용으로한 내뢰설비가 주중을 이루고 있으며, 최근 전선흔이 개 발되어 시설되고 있다.

피뢰기는 과거부터 직격뢰에 의한 역섬락 방지를 주목적으로 하는 것이 아니고 선로에 모든 유도뢰서 지에 대해 선로, 기기보호를 주목적으로 해왔다. 근년 에 속류아크에 의한 단선 애자파손의 방지를 위해 아 크흔방식이 실용화되어 피뢰기의 시설목적이 기기보 호로 축소되고 있다.

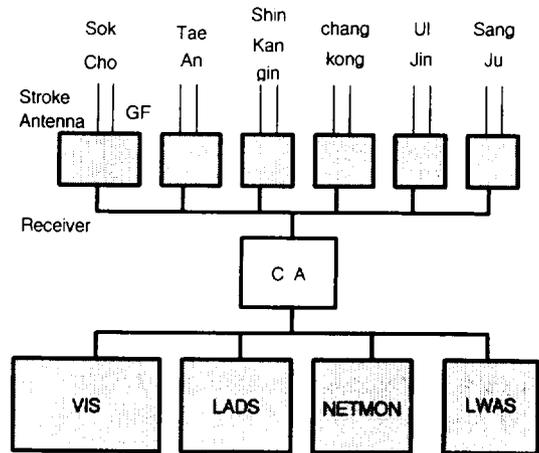
가공지선은 배전선의 직격뢰에 대한 역섬락 방지와 유도뢰의 억제에 효과적인 내뢰설비로서 뇌격전류에 의한 전위상승이 선로절연을 초과하면 역섬락이 발생 하므로 직격뢰의 보호는 어렵지만 가공지선상에 발생 한 뇌서지에 의한 전류가 접지선을 통해 대지로 흐를 때 가 공지선과 선로도체간 상호 유도작용에 의해 역 기전력이 배전선로측에 발생하기 때문에 유도뇌전압 을 억제할 수 있고 억제효과는 약 30%정도이다.

또한 배전선의 절연화로 뇌에 의한 전선용단이 많 아짐에 따라 전선흔을 가공지선, 피뢰기와 병행하여 뇌서지 전류를 흡수하고 방전시켜 절연전선의 섬락단 선을 방지하고 있다.

III. LPATS 개요

한국전력공사에서는 국내 고유의 낙뢰 특성 성분을 분석하고 통계, 기록 유지함으로서 송전선 사고예방 및 운영을 위한 기본자료를 제공 활용하기 위하여 1995년부터 LPATS를 설치 운영중이다.³⁾

시스템의 낙뢰감지효율 및 위치 정확도를 고려하여



- CA : Central Analyzer
- VIS : Video Information System
- LADS : Lightning Archive Data System
- NETMON : Network Monitor
- LWAS : Lightning waveform Archive System

Fig. 1 LPATS configuration

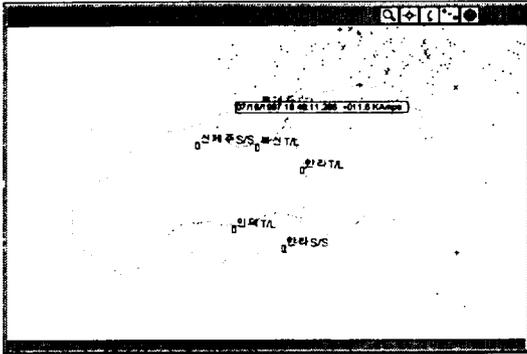


Fig. 2 Display screen of lightning location in Cheju

태안, 신강진, 창공등 6개소의 수신기가 설치되어 있으며, 낙뢰파형분석을 위해 수신기중 지리적으로 가장 멀리 떨어져 있는 4곳에 파형버퍼를 설치하여 전력연구원에 연결시켜 동일 낙뢰가 각 지점에서 어떤 형태의 파형을 가지는지 분석가능하게 되어 있다. 중앙분석장치 및 주변장치는 본사 EMS전산실에 설치되어 있으며, 전력계통 운용요원이 낙뢰의 발생현황과 진로를 추적하여 전력계통 운용에 대비할 수 있다. 또한, 본사 및 각 전력관리처, 전력연구원에 화면 표시장치를 설치하였다.

Fig. 1에 LPATS의 구성도를, Fig. 2에 LPATS를 이용한 제주지역의 낙뢰위치 표시화면을 나타내었다.

IV. 배전설비 뇌해예측 및 보수운용

LPATS에서 얻은 뇌격위치 및 뇌격전류의 크기 등 각종 파라메타를 이용하여 유도뢰 계산 프로그램을 구동시키고 그 결과 얻어진 유도뢰전압과 배전선로 피해와의 상관관계를 분석한다.

4.1 다도체계 유도뢰 전압 계산프로그램의 해석

다도체계에 생기는 유도뢰전압의 해석은 편미분 방정식을 차분방정식으로 변환시켜 매시간, 매선로에 대해 전압과 전류를 계산하는 방법을 이용하고 있다.

- 뇌격과 선로 및 대지에 대한 가정은 다음과 같다.
- 주방전만을 대상으로 하며, 시간 영점에서 지표로부터 공간으로 전류가 흐른다.

- 전류는 대지에 대해 수직방향으로만 흐르며, 가지갈림은 없다.
- 전류의 진행속도는 일정하다.
- 전류파형은 구간선형으로 모의한다.
- 도체저항은 무시한다. 즉, 도체방향의 전계성분은 항상 0이다.
- 선로에서의 진행파의 감쇠 및 왜형은 무시한다.
- 대지는 완전 평판도체로 간주한다.

유도뢰에 의한 선로에서의 전압, 전류 진행과 방정식은 식 (1) - (3) 으로 나타낼 수 있으며 유도뢰의 전압 계산을 위한 등가회로는 Fig. 3과 같다.^{4),5)}

$$[U] = [V] + [h] \cdot \left[\frac{\partial A}{\partial t} \right] \quad (1)$$

$$\left[\frac{\partial V}{\partial x} \right] = -[L] \left[\frac{\partial I}{\partial t} \right] \quad (2)$$

$$\left[\frac{\partial I}{\partial x} \right] = -[C] \left[\frac{\partial (V-E)}{\partial t} \right] \quad (3)$$

단, [U] : 도체 전압

[V] : Induced Scalar Potential

[I] : 도체 전류

[A] : Inducing Vector Potential

[L] : 선로 인덕턴스

[C] : 선로 캐패시턴스

[E] : Inducing Scalar Potential

[h] : 선로 지상고

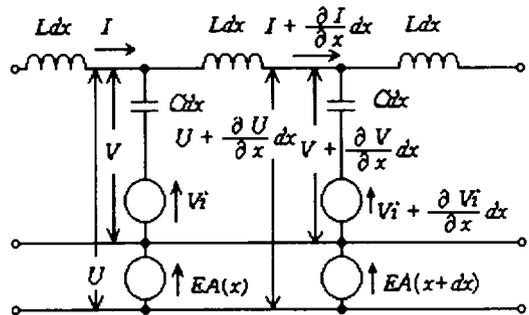


Fig. 3 Equivalent circuit for calculation of lightning-induced voltage

유도뢰 전압 계산을 위한 변이점은 가공지선의 접지개소, 피뢰기의 설치개소, 섬락개소, 선로말단으로 설정하였다.

4.2. 유도뢰전압 표본계산 및 현장적용

4.2.1 표본계산

계산조건은 배전설계 기준 및 가공지선, 피뢰기 유무를 적용하여 다음과 같이 설정하였다.⁶⁾

- 중성선 접지간격 : 200m
- 중성선 접지저항 : 5Ω/km
- 가공지선 : 매 전주마다 중성선과 접속
- LA 시설 간격 : 500m (접지저항 25Ω)
- 너적거리 : 100m
- 너적전류 : 2/70μs(파두장/파미장) 100KA

너적 전류의 침입 경로를 여러 조건으로 분류하여 공장에 따른 유도뢰 전압의 크기를 Table 1에 수록하였으며 Fig. 4와 5에 동일조건에서의 가공지선과 피뢰기 시설여부에 따른 유도뢰전압의 크기를 비교하였다.

Table 1과 Fig. 4, 5에서 살펴보면 조건 1과 3, 조건 2와 4에서 가공지선의 유도뢰에 대한 억제효과는 대략 30% 정도임을 알 수 있고, 조건 1과 조건 5, 7 그리고 조건 2와 조건 6, 7을 비교하면 피뢰기설치점에서 유도뢰전압이 급격히 떨어짐을 알 수 있다.

일반적으로 배전선로에는 가공지선만 설치된 것으로 가정하고 변압기등 배전기기의 BIL(125kV)을 고려할때 너적지점에서 좌,우 양방향 400m이내에서 섬락 및 절연파괴에 의한 설비피해가 예상되며 조건 6과 조건 8에서의 결과로 피뢰기 설치점 사이에는 전선혼을 설치함이 바람직하다.

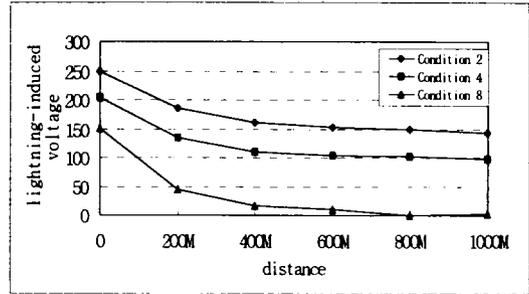


Fig. 4 Lightning-induced voltage magnitude of condition 2, 4, 8

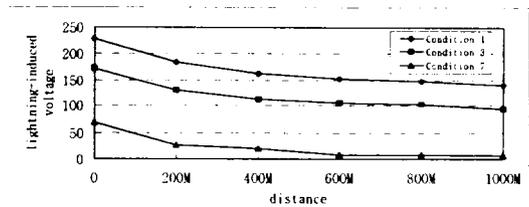


Fig. 5 Lightning-induced voltage magnitude of condition 1, 3, 7

유도뢰 전압계산 조건인 각종 파라메타를 변경한 결과를 Table 2에 수록하였으며 다음의 결과를 얻을 수 있다.

- 파두장이 짧으면 유도뢰전압이 커지고 반대로 파두장이 길면 유도뢰전압 파고 치가 작아진다.

Table 1 Result of sample calculation (0 :Existence, ×:Nonexistence)

구 분	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4	Condition 5	Condition 6	Condition 7	Condition 8	
Inrading route of Lightning Current	route 1	route 2	route 1	route 2	route 3	route 4	route 3	route 4	
Ground Wire	×	×	0	0	×	×	0	0	
L A	×	×	×	×	0	0	0	0	
LIV [kV]	0m	228.9	249.3	172.8	203.6	70.6	192	69.8	151.7
	200m	183.7	186	129.2	135.2	34	59.2	26.3	45
	400m	162.1	161.3	111.4	110.8	28.8	24.9	20.5	16.2
	600m	153	152.3	105.3	104.1	10.5	18.1	8.6	9.9
	800m	147.9	149.2	101.9	101.1	9.8	17.7	8.5	1
1000m	139.9	142.6	94.3	97.5	8.1	17.9	7	1.2	

- route1 : Ground Point of Neutral Line
- route2 : Interval Between Ground Points
- route3 : Equipment Point of LA
- route4 : Interval Between LA Equipments
- LIV : Lightning Induced Voltage

Table 2 Lightning-induced voltage in parameter change

Parameter	Lightning Induced Voltage[KV]						
	0m	200m	400m	600m	800m	1000m	
Lightning Current [kA]	100	172.8	129.2	111.4	105.3	101.9	94.3
	20	34.6	25.8	22.3	21.1	20.4	18.9
Front of Wave [μ s]	1	229.4	162.8	139.4	132.4	128.9	120.8
	3	140.9	107.7	93.2	88.1	84.0	77.3
Tail of Wave [μ s]	50	172.8	129.2	111.4	105.3	101.8	94.3
	100	172.8	129.2	111.4	105.3	101.9	94.3
Radius of Conductor [mm]	9	172.8	129.2	111.4	105.3	101.9	94.3
	7	172.8	129.2	111.4	105.3	101.9	94.3
Lightning Distance [m]	50	248.7	162.8	145.4	140.0	135.9	128.2
	150	133.7	108.9	92.5	86.0	82.5	75.1
	300	80.0	72.9	62.9	56.8	53.5	46.9
Height of the Line [m]	11.6	195.5	145.6	125.5	118.7	114.8	106.1
	13.5	221.4	164.5	141.7	134.0	129.7	119.6

- 파미장의 변화에는 영향이 거의 없다.
- 도체 반경에 따른 변화가 없다.
- 유도된 전압은 선로와 뇌격지점과의 거리에 따라 변한다.
- 선로의 지상고가 높을수록 뇌격지점의 영향이 크다.

4.2.2. 현장적용

뇌격지점 및 설비피해 정도와 유도된전류의 크기와 상관관계를 분석해보면 LPATS에서 제공되는 뇌격위치와 배전선로의 피해 위치에 다소 거리상 차이가 있는 경우가 있었고, 실제 뇌격은 있었으나 LPATS에 자료가 없는 경우도 있었으며 '96년 보다 '97년에는 감지율이 많이 향상되었다. 앞으로 측정 프로그램의 정밀도 보정이 필요하다.

뇌격 피해에는 저압설비의 피해도 많았으며 특히 3 ϕ 4W식 전력량계 소손이 많았다. 앞으로 저압 피뢰기설치에 대한 연구가 필요하다.

4.3 뇌해예측 및 보수운용

뇌해대책을 고려하는데에는 뇌해대책 설비만이 아니고 일단 고장이 발생했을 때 조기복구를 도모해 송전을 행하기 위한 복구 대책도 중요한 과제이다.

뇌는 주야를 불문, 급격히 발생 단시간중에 피해를 발생시키기 때문에 배전선의 보수담당부서는 순시, 절체조작, 고장복구등 대응조치가 중요하다.

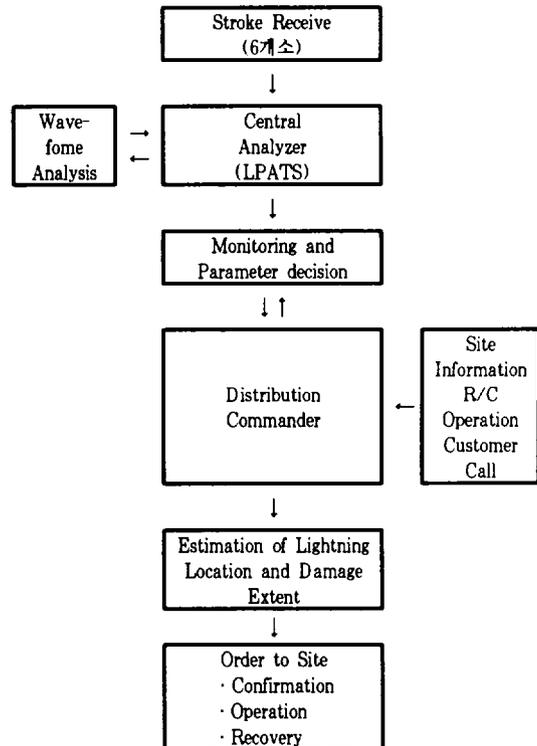


Fig. 6 Application system of LPATS and lightning induced voltage calculation program

따라서 조기복구를 행하기 위해서는 항상 기상정보와 LPATS를 이용한 뇌격감지 및 진로예측으로 사전

에 충분한 준비체제를 마련할 수 있도록 하고, 뇌격으로 인한 고장시 LPATS에서 얻은 뇌격지점과 각종 파라메타를 활용하여 신속 정확한 뇌격지점 파악과 유도뢰 계산프로그램에 의한 유도뢰 전압의 크기를 계산하여 배전선로 설비피해의 정도, 범위 등의 정보를 추정 제공함으로써 고장복구 시간을 축소시킬 수 있다.

또한 배전설비 피해와 유도뢰전압과의 상관관계를 분석하므로써 앞으로 현행 배전선로 내뢰설계 기준의 평가 보완과 동시에 뇌사고 감소방안을 마련하고 배전선로 유지보수운용에 활용을 기대할 수 있다.

LPATS와 유도뢰전압계산 프로그램을 이용한 활용 방안을 Fig. 6에 표현하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 배전선로의 뇌피해 양상을 분석하고, 또한 '95년부터 한국전력공사에서 설치 운영중인 LPATS에서 얻은 각종 파라메타를 이용, 유도뢰 해석프로그램에 의한 유도뢰전압의 크기를 계산하여 실제 뇌격에 의한 배전선로 설비피해와의 상관관계를 분석하였다. 향후 더 많은 사례를 검토함으로써 낙뢰 발생시 뇌피해 범위를 신속히 추정하여 조기복구 및

배전선로 유지보수 운용에 활용을 기대할 수 있다.

또한 배전선로 유지보수 운용에 적극적으로 활용하기 위해서는 LPATS의 정밀도 향상을 위한 측정프로그램 보완과 유도뢰계산 프로그램의 사용자 편의를 위한 기능 수정 보완이 필요하다.

참고문헌

- 1) 위상봉, 1995. 5. "한국에서의 낙뢰 발생현황의 분석에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 제44권, 6호, pp. 812-818.
- 2) 한국전력공사, 1995. 6. "전력계통 낙뢰감지 및 진로예측시스템 개발에 관한 연구"
- 3) 전력연구원, 1998. 5. "LPATS를 이용한 뇌격누적 분포곡선작성에 관한 연구",
- 4) 일본전기협동연구회, "배전선 뇌해대책", 제40권 제6호
- 5) 한국전력공사, 1998. 7. "IKL도 작성 및 배전선 내뇌설계",
- 6) 한국전력공사, 1996. 3. "배전설계기준"
- 7) 전력연구원, 1996. 10. "특고압 배선용 전선의 섬락단선 대책 연구"
- 8) 송병권, 1997. 6. "뇌현상의 이해와 뇌보호 대책",