

碩士學位論文

LPATS를 이용한
配電設備 雷害豫測 및 補修運用



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

金 泰 翊

1999年 6月

LPATS를 이용한
配電設備 雷害豫測 및 補修運用

指導教授 金世鎬

金泰翊

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1999年 6月



金泰翊의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印


濟州大學校 産業大學院

1999年 6月

**Prediction of Lightning Damages
and Maintenance of Distribution Line
Equipments Using LPATS**

Tae-Ik Kim

(Supervised by professor Se-Ho Kim)

 제주대학교 중앙도서관
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL
ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 6.

- 목 차 -

LIST OF TABLES	vi
LIST OF FIGURES	vii
SUMMARY	viii
I. 서 론	1
II. 배전선로에 발생하는 뇌서지	3
1. 배전선로의 뇌현상과 낙뢰계측기술	3
2. 배전선로의 절연레벨 및 뇌해대책 설비	4
3. 배전설비 뇌해 현황	6
III. 뇌격점선정 및 유도뢰전압 표본계산	10
1. LPATS	10
2. 뇌격점 선정 프로그램	12
3. 유도뢰전압 표본계산	13
IV. 배전설비 뇌해 분석 시뮬레이션 및 결과고찰	16
1. 배전설비 뇌해 분석 시뮬레이션	16
2. 결과고찰	22
V. 뇌해예측 및 보수운용에의 활용방안	23

VI. 결 론	25
[참 고 문 헌]	26
부 록 1. 뇌격점 선정 프로그램	27
부 록 2. 제주관내 뇌격점선정 색인도	29
부 록 3. 배전선로 경과도(1/25000, 김녕지역)	30
부 록 4. 유도뢰전압 계산 프로그램 구동화면	31
부 록 5. 배전설비 뇌해 유형별 분석자료	34

LIST OF TABLES

Table 1	Occupation rate of lightning current	4
Table 2	Rated voltage and impulse withstanding voltage of distribution line equipments	5
Table 3	Fault statistics classified by cause and year in national region	7
Table 4	Fault statistics classified by cause in Cheju	8
Table 5	Statistics for Fault of distribution equipments due to lightning in national region	8
Table 6	statistics for Fault of distribution equipments due to lightning in Cheju	9
Table 7	Result of sample calculation	14
Table 8	lighting-induced voltage in parameter changes	15
Table 9	Examples of lightning point and equipment damage in Cheju	18
Table 10	Display of lightning point and lightning-induced voltage for type 1	20

LIST OF FIGURES

Fig. 1	Diagram of statistics for Fault of distribution equipments due to lightning in Cheju	9
Fig. 2	LPATS configuration	11
Fig. 3	Display screen of lightning location in Cheju	11
Fig. 4	Display screen for lightning point determination	12
Fig. 5	Lighting-induced voltage magnitude of condition 2,4,8	14
Fig. 6	Lighting-induced voltage magnitude of condition 1,3,7	14
Fig. 7	Flow chart for lightning damage simulation	16
Fig. 8	Voltage waveforms classified by position	21
Fig. 9	Results of lightning-induced voltage calculation for type 1	21
Fig. 10	Application system for prediction of lightning damages and maintenance of distribution equipments	24

SUMMARY

Lightning is the major 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 the analysis program. Also, it is developed the program that shows the exact lightning position on the route map of the distribution line in the Cheju district. 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 and the exact lightning position acquired by the developed program, we can predict the extent of damages in distribution systems. The result in this paper is very useful in finding fault location by lightning and performing rapid outage recovery and maintenance of distribution line equipments.

Key words : Lightning-induced voltage, Distribution line, LPATS,
Prediction of lightning damages

I. 서론

현대산업사회는 가정에서부터 산업자동화, 환경대책에 이르기까지 양질의 에너지인 전기에너지의 의존도가 증가하면서 고품질의 전력공급을 요구하고 있다.

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

한편, 뇌는 인류가 탄생하기 훨씬 이전부터 지구상의 자연현상으로 고대부터 인간생활에 많은 재해를 입혀왔다. 1760년 미국의 필라델피아에서 최초로 피뢰장치가 설치된 이후 현재까지 낙뢰피해방지는 미국, 일본, 유럽 등의 기술 선진국에서 많은 연구와 성과를 이루었으며 우리나라에서는 뇌방전 계수기를 이용한 IKL도 작성과 뇌격위치표정시스템이 도입, 운영하고 있으나 아직은 파라메타 분석, 연구 등의 초기단계에 있는 실정이다.(위상봉, 1995)

한국전력에서는 전력계통 운용과 송변전설비의 내뢰설계에 필요한 낙뢰 자료를 얻기 위해 1995년부터 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, 1998년부터 송전선로 뇌격시 사고점 추정에 활용되고 있다.(한국전력공사 와 전력연구원, 1995 와 1998)

그러나, 배전선로의 경우에는 뇌격이 미치는 영향에 대한 실측자료가 없어 외국의 자료에 의존하고 있으며, 국내 여건에 적합한 실측을 위하여 유도뢰 측정설비인 낙뢰유도철탑과 유도뢰 실험 배전선로를 전라북도 고창에

최근 시설하여, 가공배전계통의 절연협조 및 내뢰대책 수립에 활용될 것으로 기대되지만 배전선로 보수 운영부서에서의 고장신속복구를 위한 방안의 활용으로는 미흡하다.

본 논문에서는 제주지역에서 발생한 배전설비의 고장과 LPATS에서 얻은 각종 파라메타를 기초로, 새로이 개발한 뇌격점선정 프로그램을 이용하여 배전선로 경과도상의 뇌격점을 손쉽게 선정하고 유도뢰전압 계산프로그램을 구동시켜, 그 결과로서 얻어진 유도뢰전압의 크기와 실제 뇌격에 의한 배전선로 피해와의 상관관계를 분석하였으며 분석결과를 이용하여 뇌격고장시 뇌피해 범위의 추정과 조기복구 및 배전선로 유지보수 운용방안을 제시하고자 한다.



II. 배전선로에 발생하는 뇌서지

뇌는 대기에서 전기적 절연이 파괴되면서 뇌방전을 일으켜 배전선로에 직·간접적으로 영향을 준다. 따라서 배전선로에서 뇌해 예방을 위하여 피뢰기, 가공지선 등을 병행하여 사용하고 있다. 뇌해 예방을 위한 낙뢰계측 기술은 뇌음 측정, 광학적 측정에서부터 최근 기상레이다에 의한 측정에 이르기까지 날로 발전하고 있다.

1. 배전선로의 뇌현상과 낙뢰계측기술

전력계통에 침입하는 뇌격은 직격뢰와 유도뢰로 구별할 수 있으며, 배전선로는 경과지의 여건상 정전 및 전자유도 현상에 의한 유도뢰가 많이 발생하고, 이로 인한 유도뢰전압은 다음 3가지로 구분할 수 있다.

① 뇌운의 전하에 기인하는 전계에 의해 선로상에 구속되어진 전하가 뇌방전에 의해 뇌운의 전하가 소멸함에 따라 구속이 풀리면서 발생하는 전압

② 뇌방전 과정의 선행방전 단계에서 발생하는 전압

③ 뇌방전 과정의 주방전 단계에서 발생하는 전압

여기서 통상 ③의 전압이 배전계통에서 유도뢰 검토대상이 된다. 유도뢰 전압의 크기는 많은 데이터 축적이 되지 않아 적용하는데 어려움이 있지만 200kA전류가 배전선로 인근에의 뇌격 확률은 거의 없을 것으로 생각되며 보통 뇌격전류가 100kA이하의 경우 유도뢰 전압의 최대치는 250kV 정도로 추정할 수 있다.

배전선로 고장이 직격뢰인지 유도뢰에 의한 것인지 밝히는 것은 어렵지만 전주의 흠집, 전선 단선상태 등에 의하면 직격뢰에 의한 고장도 있는

것으로 여겨진다.

선로에의 직격뢰격 빈도는 연평균 지상고 10m일 때 0.34회/km, 지상고 15m일 때 0.4회/km로 예측된다.

우리나라에서의 뇌격전류는 Table 1에서와 같이 90%이상이 20kA미만이며 100kA이상은 0.01미만으로 나타났다.

Table 1. Occupation rate of lightning current

전류(kA)	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~200
뇌격수	49,747	3,831	360	195	74	4
점유율(%)	91.77	7.07	0.66	0.36	0.14	0.007

뇌관측에 관련한 계측기술로는 뇌방전로의 광학적 관측, 뇌격전류의 관측, 뇌음의 측정, 낙뢰지점 표정시스템, 뇌운측정(레이더에 의한 관측) 등이 있다.

뇌현상은 지극히 복잡하고 여기서 기술한 각 항목의 단독관측의 정도로는 그 전체를 파악하는 것이 어렵고 다면적인 관측이 필요하다.

우리나라에서는 1992년부터 기상청과 한국전기연구소 공동으로 LLP(Lightning Location And Protection)를, 1995년부터는 한국전력공사에 LPATS(Lightning Position And Tracking System)를 설치 운영 중에 있다.

2. 배전선로의 절연레벨 및 뇌해대책 설비

배전선의 절연레벨과 관련이 있는 22.9kV 배전계통의 주요기기에서 정격 전압과 충격내전압은 각각의 관련규정에서 Table 2와 같이 규정하고 있다.

일반적인 배전선로 내뢰대책으로는 피뢰기와 가공지선을 병행하여 시설

하고 있으며 최근에는 전선혼을 개발하여 시사용 중에 있다.

피뢰기는 과거부터 뇌직격에 의한 역섬락 방지를 주목적으로 하는 것이 아니고 선로의 모든 유도뢰서지에 대해 선로와 기기보호를 주목적으로 해 왔다. 근년에 속류아크에 의한 단선, 애자파손의 방지를 위해 아크혼방식이 실용화되어 피뢰기의 시설목적이 기기보호로 축소되고 있다.

가공지선은 배전선의 직격뢰에 대한 역섬락 방지와 유도뢰의 억제에 효과적인 내뢰설비로써, 직격뢰시 뇌격전류를 가공지선의 접지를 통해 대지로 유입시켜 어느 정도는 사고를 방지하도록 하고 있지만, 뇌격전류에 의한 전위상승이 선로절연을 초과하면 역섬락이 발생하므로 직격뢰의 보호는 어렵다.

유도뢰에서는 가공지선상에 발생한 뇌서지에 의한 전류가 접지선을 통해 대지로 흐를 때 가공지선과 선로도체간 상호유도작용에 의해 역기전력이 배전선로 측에 발생하기 때문에 유도뢰전압을 억제할 수 있고 억제효과는 약 30%정도이다.



Table 2. Rated voltage and impulse withstanding voltage of distribution line equipments

구 분	정격전압(kV)	충격내전압(kV)
변압기	22.9	125
피뢰기	18(상-대지)	125
차단기	25.8	150
단로기	24	150
부하개폐기	25.8	125
붓상	22.9	125
케이블	22.9	240(신품 시험전압)
케이블 접속재	23	240(신품 시험전압)
콘덴서	13.2(상-대지)	125
계기용 변성기	22.9	150
LP애자	25	180

(LA방전개시전압 : 65kV)

배전선의 절연열화로 뇌에 의한 전선용단이 많아지고 있다. 이것은 뇌섬락시 나선에서는 속류 아크점이 전자력 등에 의해 이동하는데 반해 절연전선은 피복으로 아크점이 고정되어 있어 용단이 쉽게 된다. 따라서, 가공지선과 피뢰기를 병행하고 한류소자의 저항(ZnO)을 이용한 전선흔을 사용하면 뇌서지 전류가 흡수, 방전되어 절연전선의 섬락단선을 방지할 수 있다.

주상변압기 피해방지를 목적으로 COS 2차측에 ZnO소자를 내장 또는 주상변압기 내부 유중에 ZnO소자를 내장하고 있으며 개폐기 내부에 ZnO소자를 내장하는 방법도 있다.

3. 배전설비 뇌해 현황

한국전력공사의 배전설비 고장통계 ('93-'97년)중 연도별, 원인별 고장 통계인 Table 3을 보면 영구고장은 풍우, 염진해, 뇌격 등 자연재해에 의한 고장이 전국적으로 13.4%(뇌격고장 6%)를 점유하고 있으며, 제주지역은 Table 4에서 보는 바와 같이 자연재해에 의한 고장이 38.4%(뇌격고장 19.5%)를 점유하고 있다.

뇌격에 의한 고장은 연도, 뇌격빈도에 따라 다르며, 제주지역의 경우 뇌격고장이 많은 이유는 뇌격에 의한 많은 피해가 있었고, 육지부와는 달리 6.6kV 배전선로가 있어서 절연레벨이 낮음에 기인한 것으로 여겨진다.

뇌격에 의한 설비별 피해현황을 보면 Table 5에서 전국적으로 전선(28.7%), 애자(24.8%), 피뢰기(12.6%), 변압기(9.6%), 개폐기(8%)의 순으로 나타나고 있으며, 제주지역은 Table 6에서 개폐기(28.1%), 애자(26.6%), 변압기(23.4%), 전선(9.4%), 피뢰기(10.9%)순으로 육지와는 다소 다른 양상을 보인다. 이는 6.6kV급 피뢰기 설치부족(생산중지)의 현상으로 여겨진다.

Fig.1에 전국과 제주의 설비별 고장 점유율을 그래프로 비교하였다.

배전선로 뇌해 현황을 고찰해 보면 장주별, 기기절연 레벨별, 내뢰설비 시설유무에 따라 뇌피해의 양상은 아래와 같이 다르다.

Pin주가 말단주보다 단선율이 많은 이유는 절연전선은 Pin주에서는 Pin 애자바인드에서 속류에 의한 핀홀이 발생하여 핀홀 발생점에서 트래킹현상에 의한 도체의 손상 때문이다.

애자별 피해는 현수애자가 많은데 이는 아크이동에 따른 현상으로 말단에서의 유도퇴서지 반사에 의한 흑한 조건 때문이다.

개폐기는 off 상태에서 서지반입에 의한 소손이 많고, 주상변압기는 내부권선의 절연파괴와 LA 설치주에서의 방전 시 전위상승에 의한 소손을 볼 수 있다.

Table 3. Fault statistics classified by cause in national region

년도	고장	자연열화	풍우	염진해	뇌격	외물접촉	제작불량	시공불량	보수불량	작업자과실	일반인과실	타사고파급	기타	계
'93	영구	428	127	119	168	703	605	61	121	111	348	52	227	3070
'94	"	474	140	123	184	745	416	55	89	98	444	343	290	3401
'95	"	424	138	101	233	732	214	22	50	45	375	318	217	2869
'96	"	697	118	86	145	631	301	25	25	30	382	292	174	2906
'97	"	460	80	69	200	544	93	17	27	43	314	253	133	2233
합계	"	2059	465	397	697	2623	1415	158	262	282	1488	940	824	11610
점유율	"	17.7	4	3.4	6	23	12.2	1.4	2.3	2.4	12.8	8.1	7.1	100

Table 4. Fault statistics classified by cause in Cheju

년도	고장	자연화	풍우	염진해	뇌격	외접	물족	제작량	시공량	보수량	작업자과실	일반인과실	타사파급	기타	계
'93	영구	10	21	11	26	3	2	6	4	2	1	27	10	123	
'94	"	11	6	3	15	4	7	3	6	1	13	13	11	93	
'95	"	5	8	3	4	8	1	0	3	1	5	13	1	52	
'96	"	5	10	0	11	5	0	0	1	2	3	7	6	50	
'97	"	7	5	2	8	5	0	0	0	1	2	8	3	41	
합계	"	38	50	19	64	25	10	9	14	7	24	68	31	359	
점유율	"	10.6	28	5.3	17.8	7.0	2.8	2.5	3.9	1.9	6.7	18.9	8.6	100	

Table 5. Statistics for fault of distribution equipments due to lightning in national region

년도	고장	전선	가공지선	애자	변압기	개폐기	피뢰기	기타	계
'93	영구	37	1	45	21	15	18	31	168
'94	"	44	1	35	24	17	27	36	184
'95	"	73	2	66	20	19	30	23	233
'96	"	39	3	45	8	12	12	26	145
'97	"	74	2	40	16	11	30	27	200
합계	"	267	9	231	89	74	117	143	930
점유율	"	28.7	1	24.8	9.6	8	12.6	15.4	100

Table 6. Statistics for fault of distribution equipments due to lightning in Cheju

년도	고장	전선	가공지선	애자	변압기	개폐기	피뢰기	기타	계
'93	영구	3	0	7	6	6	0	4	26
'94	"	0	0	5	3	5	0	2	15
'95	"	0	0	1	2	0	0	1	4
'96	"	2	0	3	2	3	1	0	11
'97	"	1	0	1	2	4	0	0	8
합계	"	6	0	17	15	18	1	7	64
점유율	"	9.4	0	26.6	23.4	28.1	1.6	10.9	100

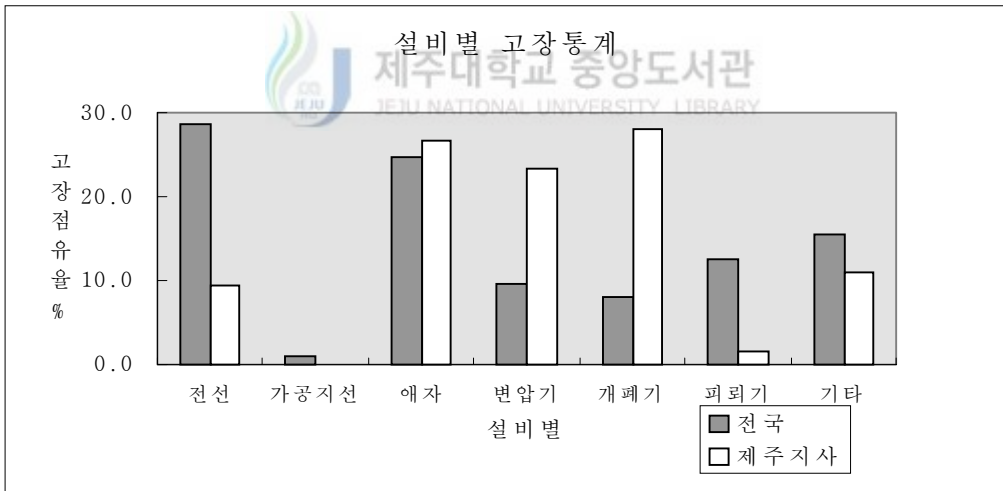


Fig.1 Diagram of statistics for fault of

Ⅲ. 뇌격점선정 및 유도뢰전압 표본계산

낙뢰의 위치와 특성성분을 분석하는 LPATS를 배전선로에 용이하게 활용하기 위하여 100분도의 뇌격위치를 60분도로 변환시키고 배전선로 경과도에서 신속히 뇌격점을 선정할 수 있도록 뇌격점선정 프로그램을 개발하였으며, 유도뢰전압 계산프로그램을 이용한 유도뢰전압을 표본 계산함으로써 가공지선과 피뢰기의 효과를 측정할 수 있다.

1. LPATS



한국전력공사에서는 국내 고유의 낙뢰특성 성분을 분석하고 통계, 기록 유지함으로써 송전선 사고예방 및 운영을 위한 기본자료를 제공 활용하기 위하여 1995년부터 LPATS를 설치 운영중이다.

시스템의 낙뢰감지효율 및 위치정확도를 고려하여 태안, 신강진, 창공등 6개소의 수신기가 설치되어 있으며, 낙뢰파형분석을 위해 수신기를 지리적으로 가장 멀리 떨어져 있는 4곳에 파형버퍼를 설치하여 전력연구원에 연결시켜 동일 낙뢰가 각 지점에서 어떤 형태의 파형을 가지는지 분석 가능하게 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 화면표시장치가 설치되어있다. (전력연구원, 1998)

Fig. 2에 LPATS의 구성도를, Fig. 3에 LPATS에서 1997.7.16 16시 49분 11초(뇌격전류 +11.6kA, 위도 33.5321, 경도 126.8644)에 계측된 제주지역의 낙뢰위치 표시화면을 나타내었다.

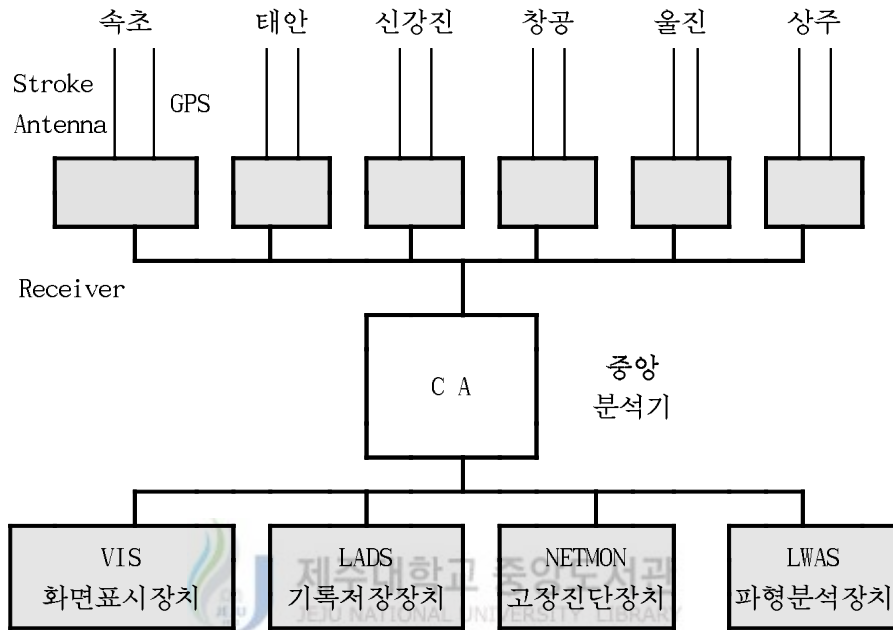


Fig. 2 LPATS configuration



Fig. 3 Display screen of lightning location in Cheju

2. 뇌격점 선정 프로그램



유도뢰전압을 계산하기 위해서는 배전선과 뇌격점과의 거리를 확인해야 하는데, LPATS에서의 뇌격위치(위도, 경도)는 100분도로 표현되고 지도나 배전선로 경과도(1/25000)에서는 60분도로 표시되어 있어 배전선로 경과도 상에서 뇌격지점을 확인하기 위해서는 별도의 복잡한 계산이 필요하였다.

따라서 배전선로 경과도상에서 손쉽게 뇌격지점을 선정하기 위하여 Visual Basic을 이용하여 100분도를 60분도로 환산하고 경과도번호와 2' 30" 마다의 선상에서 거리로 환산, 축척자를 이용하여 뇌격지점의 확인이 가능하도록 Fig. 4와 같이 뇌격점 선정 프로그램(부록 1)을 개발하였다.

Fig. 4에서 LPATS에서 얻은 100분도 위도와 경도를 입력하고 "뇌격점?"을 클릭하면 60분도와 2' 30" 간격의 위치, 그리고 그 위치에서 뇌격점까지의 거리가 나타난다. "경과도 번호(지명)"을 클릭하면 배전선로 경과도 번호와 지명이 나타난다. 그러면 해당 경과도에서 축척자를 이용하여 뇌격지점

을 확인할 수 있다.



Fig.4 Display screen for lightning point determination

3. 유도뢰전압 표본계산

다도체계에 생기는 유도뢰전압의 계산은 선로에서의 전압과 전류의 진행 파방정식인 편미분방정식을 차분미분방정식으로 변환시켜 매시간, 매선로에 대해 전압과 전류를 계산하는 방법을 이용하고 있다.(일본전기협동연구

회 와 한국전력공사, 1988 와 1998)

유도뢰전압의 계산조건은 배전설계 기준 및 가공지선, 피뢰기 유무를 적용하여 다음과 같이 설정하였다. (한국전력공사, 1996)

- 중성선 접지간격 : 200m
- 중성선 접지저항 : $5\Omega/\text{km}$
- 가공지선 : 매 전주마다 중성선과 접속
- LA 시설 간격 : 500m (접지저항 25Ω)
- 뇌격거리 : 100m
- 뇌격전류 : $2/70\mu\text{s}$ (파두장/파미장) 100kA

뇌격전류의 침입경로를 여러 조건으로 분류하여 공장에 따른 유도뢰전압의 크기를 Table 7에 수록하였으며 Fig.5와 6에 동일조건에서의 가공지선과 피뢰기 시설여부에 따른 유도뢰전압의 크기를 비교하였다.

Table 7과 Fig. 5, 6에서 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, 8을 비교하면 피뢰기 설치점에서 유도뢰 전압이 급격히 떨어짐을 알 수 있다.

배전선로에 가공지선만 설치된 것으로 가정하면 변압기등 배전기기의 BIL(125kV)을 고려할때 뇌격지점에서 좌우 양방향 400m이내에서 섬락 및 절연파괴에 의한 설비피해가 예상되며, 조건 6과 조건 8에서의 결과에서 보면 피뢰기 설치점 사이에는 전선혼을 설치하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Table 7. Result of sample calculation

구 분	조건 1	조건 2	조건 3	조건 4	조건 5	조건 6	조건 7	조건 8	
뇌격지점	중성선접지점	중성선접지사이	중성선접지점	중성선접지사이	LA 시설점	LA 설치간	LA 설치점	LA 설치간	
가공지선부유	무	무	유	유	무	무	유	유	
L A	무	무	무	무	유	유	유	유	
유도뢰전압 [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

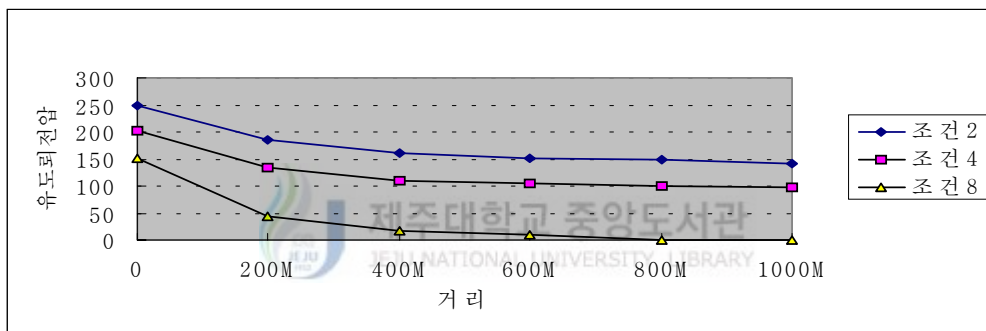


Fig.5 Lighting-induced voltage magnitude of condition 2, 4, 8

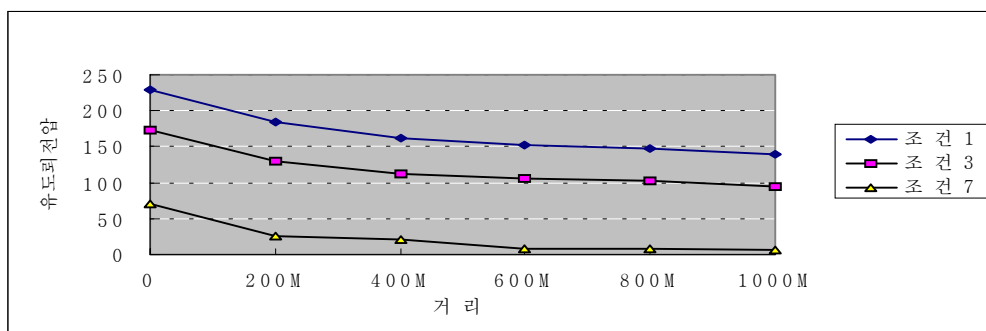


Fig.6 Lighting-induced voltage magnitude of condition 1, 3, 7

유도뢰전압 계산조건인 각종 파라메타를 변경한 결과를 Table 8에 수록

하였으며 다음의 결과를 얻을 수 있다.

- ① 파두장이 짧으면 유도뢰전압이 커지고 반대로 파두장이 길면 유도뢰전압 파고치가 작아진다.
- ② 파미장의 변화에는 영향이 거의 없다.
- ③ 도체 반경에 따른 변화가 없다.
- ④ 유도뢰 전압은 선로와 뇌격지점과의 거리에 따라 변한다.
- ⑤ 선로의 지상고가 높을수록 뇌서지의 영향이 크다.

Table 8. Lighting-induced voltage in parameter changes

파라메타		유도뢰전압 [kV]					
		0m	200m	400m	600m	800m	1000m
뇌격전류 [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
파두장 [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
파미장 [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
도체반경 [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
뇌격지점 [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
지상고 [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

IV. 배전설비 뇌해 분석 시뮬레이션 및 결과고찰

LPATS에 제공하는 뇌격위치, 뇌전류의 크기와 배전선로의 피해설비, 위치 등을 계산해봄으로써 실질적인 상관관계 분석이 가능하고 뇌격시 배전선로의 영향을 예측할 수 있다.

1. 배전설비 뇌해 분석 시뮬레이션

배전설비의 뇌해를 분석하기 위한 시뮬레이션 흐름도를 Fig.7에 표시하였다.

Fig.7의 과정과 같이 LPATS에서 얻은 뇌격위치 및 뇌격전류의 크기 등 각종 파라미터를 이용하여 뇌격점선정 프로그램 및 유도뢰전압 계산프로그램을 구동시키고 그 결과에서 얻어진 유도뢰전압과 이로 인한 배전선로 고장건을 발취하여 Table 9에 수록하였다.

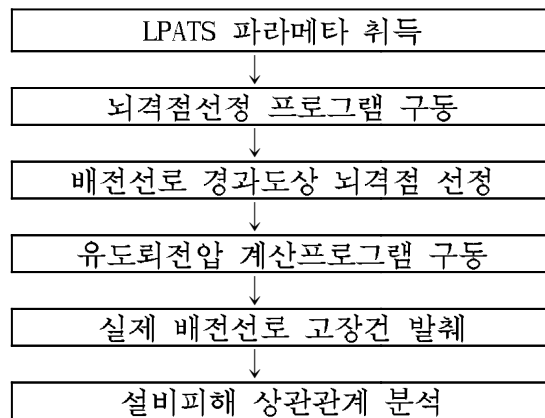


Fig.7 Flow chart for lightning damages simulation

Table 9을 분석해보면 유형 1의 경우 고장당시는 뇌격에 의한 고장을 인

지하지 못하여 고장원인을 원인불명으로 하였다. 유형 2~10은 일정지역에 동시다발적 뇌격에 의해 설비피해가 극심하였음을 알 수 있다.

유형 11의 경우 유도뢰전압이 22.8kV로 고장요인이 될 수 없으나 불량에 자가 집중 제작된 '86,'87년 동계제품으로 낮은 뇌전압에도 절연이 불량한 현수애자('86.11)가 파손된 것으로 추정된다.

유형 12,13은 현수애자가 파손되면서 전선에도 손상을 입혔고 유형 14는 AS외합 접지선이 이탈된 상태에서 뇌격에 의한 소손이고, 유형 15,17,18,19,20,22,23,24는 피뢰기 파손 이유가 열화에 의한 내부소자 불량, 뇌격점 감지오차 등을 추정할 수 있다.

유형 25의 경우 뇌격 2일 후 주상변압기가 소손된 사례로 뇌격당시 뇌에 의한 절연손상이 있었던 것으로 추정되며, 유형 26~30은 뇌격은 있었으나 당시 설비고장은 없었다.

전반적으로 충격내전압 이하에서의 설비피해는 뇌격점계측의 오차와 기 자체 제작불량, 자연열화, 오염 등에 기인한 것으로 추정된다.

다음은 Table 9의 30개 유형중 유형 1에 대한 뇌격점선정과 유도뢰전압 계산 및 상관관계 분석의 과정을 Table 10에, 유도뢰전압 계산프로그램을 구동하여 계산된 위치별 파형과 유도뢰전압 계산 결과치를 Fig. 8과 9에 소개하였으며, 나머지 유형은 부록 5에 수록하였다.

Table 10에서 보는 바와 같이 유형 1에 대해 1997.7.16 16:24에 계측된 LPATS에서의 자료(위도 33.5297도, 경도 126.773도, 뇌격전류 33.4kA)를 이용하여 당시 김녕D/L 원인불명 고장건을 아래와 같이 분석하였다.

Table 9. Examples of lightning point and equipment damage in Cheju

유형	일시	경도	위도	뇌전류 (kA)	유도뢰 전압 (kV)	발생 장소	동작 기기	기 타
1	'97. 7. 16 16: 24	33. 5295	126. 6041	-33. 4	-137. 3	조천	OCGR	원인불명, 섬락추정
2	'98. 7. 15 03: 30	33. 289	126. 7461	-20. 9	-85. 9	민속, 한남, 위미	R/C추정	-내역- P. Tr소손 : 21개 휴즈링크용용 : 303개소 전력량계소손 : 207대
3	'98. 7. 15 03: 43	33. 2851	126. 6475	29. 7	122. 1	"	"	
4	'98. 7. 15 04: 17	33. 3662	126. 749	-27	-111. 0	"	"	
5	'98. 7. 15 04: 20	33. 29	126. 7402	-21. 7	-89. 2	"	"	
6	'98. 7. 15 04: 31	33. 3222	126. 7041	-23. 2	-95. 4	"	"	
7	'98. 7. 15 04: 46	33. 2695	126. 6533	-25. 1	-103. 2	민속, 한남	OCR OCGR	
8	'98. 7. 15 04: 46	33. 3095	126. 708	-17. 5	-71. 9	"	"	
9	'98. 7. 15 04: 48	33. 3007	126. 6943	-19. 5	-80. 1	민속, 한남, 위미 D/L	R/C 추정	
10	'98. 7. 15 05: 46	33. 2832	126. 7402	-18. 4	-75. 6	"	"	
11	98. 4. 23 07: 10	33°25' 35"	126°36' 50"	8. 6	22. 8	목장	OCGR	

Table 9. (continued)

유형	일시	경도	위도	뇌전류 (kA)	유도뢰 전압 (kV)	발생장소 (D/L)	동작기기	기타
12	98. 7. 21 13:00	33°32' 52"	126°45' 12"	-21. 7	-54. 0	김녕	OCGR	현수애자 3개 파손
13	98. 7. 21 13:11	33°31' 33"	126°49' 44"	-22. 9	-60. 7	"	"	32mm ² 전선단선, 현수3개 파손
14	98. 7. 21 13:18	33°25' 02"	126°30' 54"	-30. 2	-124. 1	한라	"	AS 소손
15	98. 7. 21 13:30	33°28' 30"	126°35' 00"	-24. 5	-80. 9	목장	"	피뢰기 파손
16	98. 8. 1 07:31	33°23' 11"	126°18' 38"	-71. 3	-165. 5	한경	"	PTr 1대 소손
17	98. 8. 1 07:35	33°28' 17"	126°34' 00"	-43. 4	-82. 9	연미	"	피뢰기 파손
18	98. 8. 1 07:43	33°30' 34"	126°32' 03"	-31. 2	-103. 0	명주	"	"
19	98. 8. 1 07:46	33°31' 35"	126°37' 12"	-19. 7	-81. 0	신촌	"	"
20	98. 8. 1 09:29	33°28' 04"	126°37' 20"	25. 4	63. 1	제원	"	"
21	98. 10. 20 14:18	33°32' 40"	126°44' 04"	-8. 4	-22. 3	김녕	"	PTr 1대 소손
22	98. 10. 23 22:06	33°30' 43"	126°39' 17"	-7. 9	-41. 9	"	"	피뢰기 파손
23	98. 10. 25 12:20	33°27' 52"	126°30' 56"	-7	-32. 3	월성	"	"
24	98. 10. 29 21:47	33°23' 22"	126°15' 14"	-9. 2	-30. 6	한경	"	"
25	98. 12. 29 03:52	33°28' 24"	126°26' 54"	-10. 2	-54. 2	현대	"	PTr 1대 소손
26	98. 7. 17 04:21	33°22' 58"	126°41' 41"	-9. 2	-37. 8	서부	없음	
27	98. 10. 8 06:16	33°17' 22"	126°20' 49"	10. 8	57. 3	신평	"	
28	98. 10. 10 19:40	33°24' 25"	126°40' 40"	7. 4	30. 4	월정	"	
29	98. 10. 11 23:23	33°25' 28"	126°30' 29"	9. 0	3. 8	성판	"	
30	98. 10. 11 23:39	33°30' 44"	126°34' 38"	7. 7	3. 0	부두	"	

뇌격점은 배전선로 경과도 3(김녕)상의 김녕D/L 418R35~40호간에서 약

100m지점임을 알 수 있다. 유도뢰전압은 유도뢰전압 계산프로그램을 구동, 지지물 높이·전선규격·뇌격전류 등의 파라메타를 입력하면 Fig. 8, 9와 같이 뇌격점에서 배전선로를 따라 가장 가까운 지점(0m)은 88.5kV, 전원·부하측 양단의 200m지점은 62.7kV, 1000m지점은 46.5kV의 결과치가 나온다.

당시의 뇌격고장은 충격내전압 125kV이하에서의 고장으로 애자 또는 붓싱류의 오염·자연열화 등에 의한 순간섬락 고장으로 추정되며, 현장을 확인하였다면 전주나 완금·전선 등에 아크의 흔적을 발견할 수 있었을 것으로 여겨진다.

Table 10. Display of lightning point and lightning-induced voltage for type 1

현상	일시	위도	경도	뇌전류 (kA)	발생 장소	동작 기기	기 타
	'97. 7. 16 16:24	33. 5297	126. 7732	-33. 4	김녕D/L	OCGR	원인불명 섬락추정
뇌격지점	김녕D/L 418R35 - 40호간에서 좌측 100m 지점 ※배전선로 경과도번호 3(김녕)에서 위도 33. 5287 ⇨ 위도위치번호 9(33°30')에서 3294m지점 경도 126. 7732 ⇨ 경도위치번호 16(126°45')에서 2156m지점						
유도뢰 전압계산	공장(m)	0	200	400	600	800	1,000
	전압(kV)	88. 5	62. 7	53. 7	51. 0	49. 7	46. 5
분석	충격내전압(BIL) 125kV 이하에서의 고장으로 애자 또는 붓싱의 오염, 자연열화 등에 의한 순간 섬락, 고장 추정						
참고자료	1. 뇌격점선정 프로그램계산 화면[Fig 3. 3] 2. 제주관내 뇌격점선정 색인도[부록 2] 3. 배전선로 경과도(1/25000, 김녕지역)[부록 3] 4. 유도뢰전압 계산프로그램 구동과정[Fig 4. 2, 4. 3, 부록 4]						

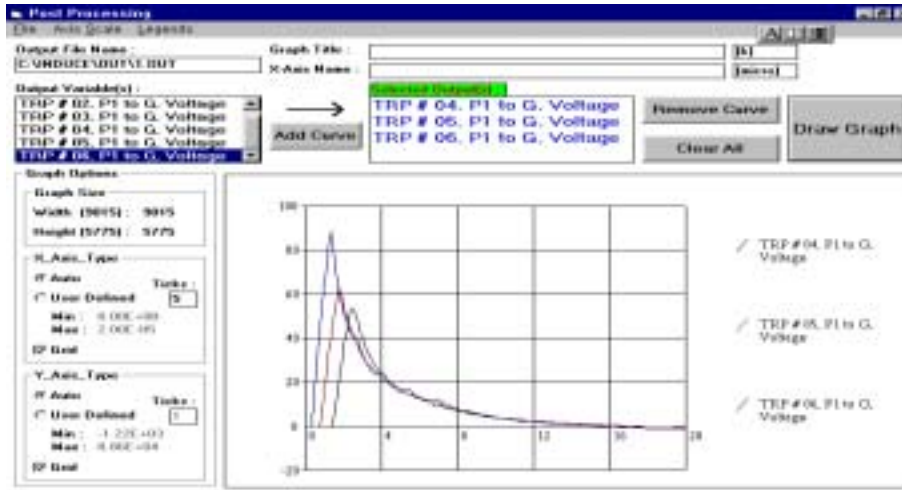



Fig.8 Voltage waveforms classified by position for type 1


제주대학교 중앙도서관
 JEJU UNIVERSITY LIBRARY

Main Data File : C:\INDUCE\유형1. ILO
 Lightning Data File : C:\INDUCE\LTN\유형1. LTN
 Line Data File : C:\INDUCE\LIN\유형1. LIN
 Transition Data File : C:\INDUCE\TRP\유형1. TRP
 Output File : NONAME. OUT
 Total # of Outputs : 6

#	Position	From:To:Type			Max	Min	AbsMax
		From Left	#	#			
1	1000	1	0	1	46507.03	-486.8193	46507.03
2	800	1	0	1	49675.79	-714.438	49675.79
3	600	1	0	1	51033.54	-577.9194	51033.54
4	400	1	0	1	53737.16	-473.851	53737.16
5	200	1	0	1	62741.14	-664.5853	62741.14
6	0	1	0	1	88482.66	-1215.074	88482.66

Fig.9 Results of lightning-induced voltage calculation for type 1

2. 결과고찰

뇌격지점 및 설비피해 정도와 유도뢰전압 크기의 상관관계를 분석해보면 고장당시 고장원인은 규명되지 않았으나, 시뮬레이션 결과 뇌격에 의한 고장으로 확인된 경우(유형 1), 그리고 LPATS에서 제공되는 뇌격위치와 배전선로의 피해 위치에 다소 거리상 차이가 있는 경우(유형 13, 20, 21, 22)가 있었고, 실제 뇌격은 있었으나 설비고장은 없는 경우(유형 26~30)도 있었으며, '96년보다 '97년에는 감지율이 많이 향상되었으나 앞으로도 정확성 확보를 위한 측정 프로그램의 정밀도보정 노력이 필요하다.

한편 배전선로의 14M전주에 가공지선이 시설되고 피뢰기는 없는 경우를 기본조건으로 한 시뮬레이션 과정에서 배전선로와 뇌격점과의 이격거리 그리고 뇌격전류 크기의 변화에 따라 유도뢰전압 계산 프로그램을 구동시킨 결과 이격거리에 따라 0m지점에서의 계산된 유도뢰전압의 값은 뇌격전류×일정계수(30m이격시 5.316, 50m이격시 4.112, 70m이격시 3.328, 100m이격시 2.649)값과 거의 일치하였으며 이를 이용하여 유도뢰전압 계산프로그램 구동없이 약식계산에 의해 배전설비에의 영향을 간단히 유추해 볼 수 있다.

뇌해대책으로는 가공지선과 피뢰기를 겸용으로한 내뢰설비가 주종을 이루고 있으며, 최근 전선흔이 개발되어 시험단계에 있다.

따라서 배전선의 절연열화로 뇌에 의한 전선용단이 많아짐에 따라 이에 대한 대책으로 전선흔을 가공지선, 피뢰기와 병행하여 뇌서지 전류를 흡수하고 방전시켜 절연전선의 섬락단선을 방지하는 것이 바람직함을 제Ⅲ장 3절의 유도뢰전압 표본계산 결과에서 알 수 있었다.

뇌격 피해에는 저압설비의 피해도 많았으며 특히 3Φ4W식 전력량계 소손이 많았다. 앞으로 저압 피뢰기설치에 대한 연구도 필요하다.

V. 뇌해예측 및 보수운용에의 활용방안

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

뇌는 주야를 불문, 급격히 발생하여 단시간 중에 피해를 발생시키기 때문에 배전선의 보수담당부서는 순시, 절체조작, 고장복구 등 대응조치가 중요하다. 따라서, 조기복구를 행하기 위해서는 항상 기상정보와 현재 송전선로 뇌격시 고장점 추정에 활용하고 있는 LPATS를 배전선로에서도 이용하여 낙뢰감지 및 진로예측으로 사전에 충분한 준비체제를 마련할 수 있도록 함은 물론이고, 뇌격점과 설비피해범위를 예측하여 신속하게 복구할 수 있는 방안을 마련하여야 한다.

본 논문에서는 뇌진로예측과 신속복구체제를 마련하고자 LPATS와 유도뢰전압 계산프로그램, 뇌격점선정 프로그램을 이용한 뇌해예측·보수시스템의 활용방안을 제시하였으며, 활용시스템을 Fig. 10에 표현하였다.

Fig. 10에서 보는 바와 같이 뇌격으로 인한 고장시 LPATS에서 얻은 뇌격지점과 각종 파라메타를 활용하여 새로이 개발한 뇌격점 선정 프로그램을 이용, 신속 정확한 뇌격지점 파악과 유도뢰전압 계산프로그램에 의한 유도뢰전압의 크기를 계산하여 배전선로 설비피해의 정도, 범위 등의 정보를 추정 제공함으로써 해당선로 전체에 대한 순시와 복구에서 탈피하여 과학적근거에 의한 순시와 고장점의 조기발견으로 인력은 물론 고장복구시간을 축소시킬 수 있다.

또한 배전설비 피해와 유도뢰전압과의 상관관계를 분석함으로써 앞으로 현행 배전선로 내뢰설계기준의 평가·보완과 동시에 뇌사고 감소방안을 마련하고 배전선로의 유지보수 및 운용에 활용을 기대할 수 있다.

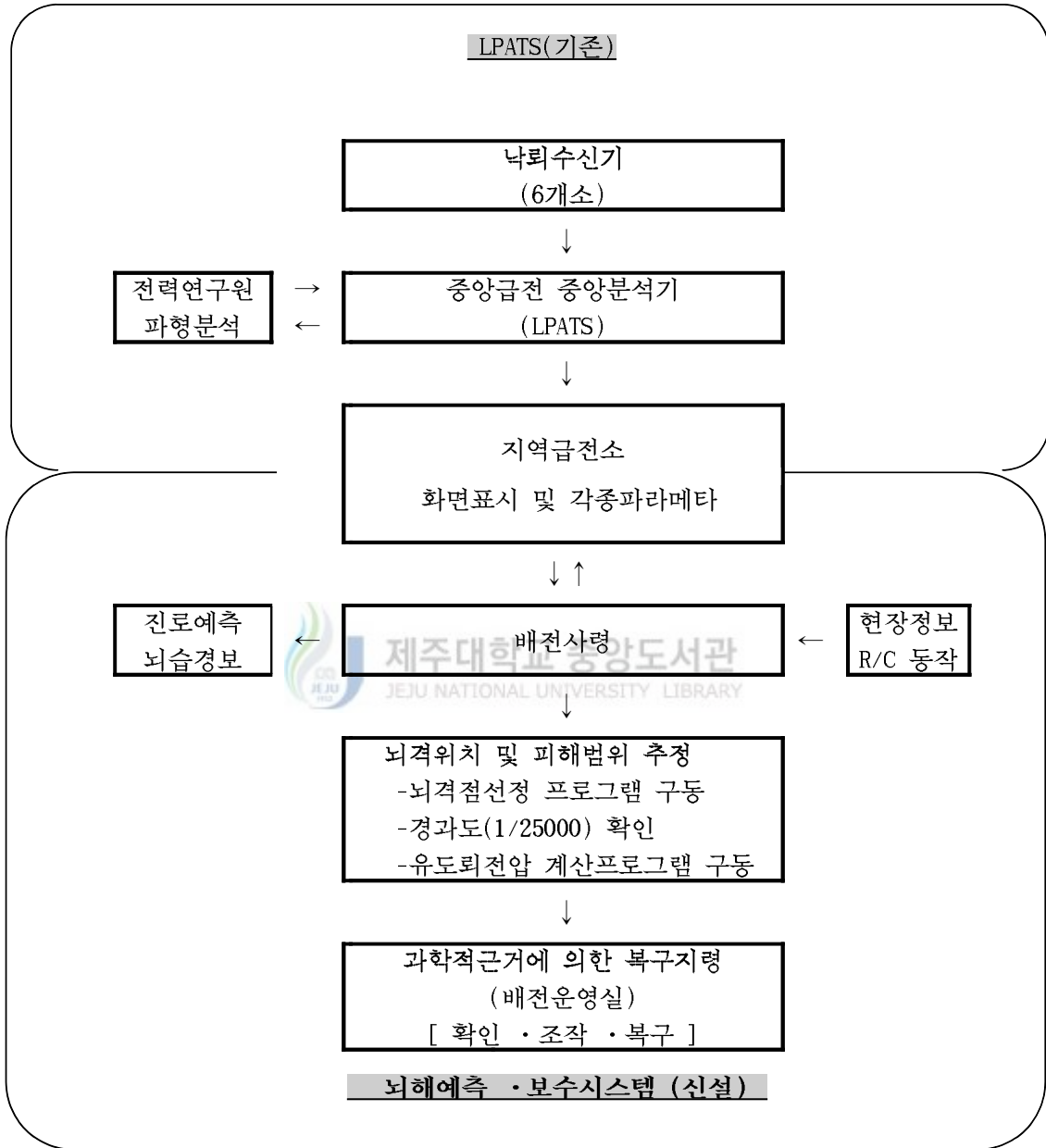


Fig.10 Application system for prediction of lightning damages and maintenance of distribution equipments

VI. 결 론

본 논문에서는 배전선로의 뇌피해 양상을 분석하고, 1995년부터 한국전력공사에서 설치 운영중인 LPATS에서 얻은 각종 파라미터를 이용하고, 새롭게 개발한 뇌격점선정 프로그램을 구동시켜 배전선로 경과도상에서 신속·정확히 뇌격점을 선정, 유도뢰전압 계산 프로그램에 의한 유도뢰전압의 크기를 계산하여 실제 배전선로의 뇌피해와 유도뢰전압과의 상관관계를 분석하였다.

유도뢰전압 표본계산결과 전선흔을 가공지선, 피뢰기와 병행하여 절연선 선 섬락단선의 예방이 가능함을 알 수 있었고, 시뮬레이션 구동결과 원인 불명의 고장이 뇌격에 의한 고장으로 확인되었으며, 뇌전류의 크기 그리고 뇌격위치와 배전선로의 이격에 따라 피해범위에 대한 추정이 가능하고 설비피해의 양상이 다름을 알 수 있었다. 한편, 유도뢰전압 계산프로그램의 구동없이 뇌격전류×일정계수의 약식계산에 의해 배전설비의 영향을 간단히 유추해 볼 수 있었다.

본 논문에서 제시한 뇌해예측·보수시스템의 활용은 과학적근거에 의한 뇌피해범위의 추정이 가능함에 따라 선로순시와 신속한 복구로 인력과 정전시간의 단축 및 배전선로 예방정비 보수자료로 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 더 많은 사례를 검토함으로써 내뢰설계기준의 평가 보완과 각종 신개발기자재 연구개발의 기초자료로도 활용할 수 있다고 확신한다.

또한 배전선로 유지보수 운용에 적극적으로 활용하기 위해서는 LPATS의 정밀도 향상을 위한 측정프로그램 보완과 유도뢰전압 계산프로그램의 사용자 편의를 위한 기능의 수정·보완이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- 기상청, 낙뢰연보, 1997.
- Masaru Ishii etc, "LIGHTING-INDUCED VOLTAGE ON AN OVERHEAD WIRE DEPENDENT ON GROUND CONDUCTIVITY", Vo1.9, NO.1, pp.109-118, 1994.1.
- 송병권, "뇌현상의 이해와 뇌보호 대책", 1997. 6.
- Abdul M etc, "THE APPLICABILITY OF LIGHTING ELIMINATION DEVICES TO SUBSTATIONS AND POWER LINES", Vo1.13, No. 4, pp.1120-1127, 1998.10.
- 위상봉, "한국에서의 낙뢰 발생 현황의 분석에 관한 연구", 대한전기학회 논문지 제 44권 6호, pp.812-818, 1995. 5.
- 일본전기협동연구회, 배전선 뇌해대책, 1988, 제40권 제6호
- 일본 전력중앙연구소, 배전선 직격뇌 응답특성에 미치는 뇌전류 파두장의 영향, 1994년 5월호.
- 일본전설공업협회, 1988년 8월호.
- 전력연구원, LPATS를 이용한 뇌격누적 분포곡선 작성에 관한 연구, 1998. 5.
- 전력연구원, 전선흔 개발 연구, 1996. 9.
- 전력연구원, 특고압 배선용 전선의 섬락단선 대책 연구, 1996. 10.
- Koji Michishita etc, "LIGHTING-INDUCED VOLTAGE ON AN OVERHEAD WIRE INFLUENCED BY A BRANCH LINE", Vo1.12, No 1, pp. 296-301, 1997.1.
- 한국전력공사, 배전설계기준, 1996. 3.
- 한국전력공사, IKL도 작성 및 배전선 내뇌설계, 1988. 7.
- 한국전력공사, 전력계통 낙뢰감지 및 진로예측시스템 개발에 관한 연구, 1995. 6.

부록 1.

[뇌격점 선정 프로그램]

○ 본 프로그램은 Visual Basic으로 아래와 같이 작성하였다.

```
***** 위도 값 입력 및 계산*****/

/-----100분도의 뇌격점 배열-----/
secvalue = Array(10, 12.5, 15, 17.5, 20,
                22.5, 25, 27.5, 30, 32.5, 35)

/-----10분도로 60분도 계산하여 배열화 함-----/
For i = 0 To 10
    temp = secvalue(i) / 60
    minvalue(i) = 33 + temp

/-입력된 값을 가지고서 100분도, 60분도, 위치 찾아내기---/
For i = 0 To 10
    If minvalue(i) > invaluel Then
        outvalue1 = minvalue(i - 1)
        outvalue2 = secvalue(i - 1)

/----- 입력된 값을 가지고서 거리 구하기-----/
temp = (invalue - outvalue1) * 110916
outvalue3 = CInt(temp)

***** 경도값 입력 및 계산*****/

/----- 100분도의 뇌격점 배열 -----/
secvalue = Array(7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5, 30,
                32.5, 35, 37.5, 40, 42.5, 45, 47.5, 50, 52.5, 55, 57.5)

/-----10분도로 60분도 계산하여 배열화 함-----/           For
i = 0 To 20
    temp = secvalue(i) / 60
    minvalue(i) = 126 + temp

/----- 입력된 값을 가지고서 거리 구하기-----/           temp
= (invalue - outvalue1) * 92916
outvalue3 = CInt(temp)

*****경과도 번호 구하기*****/
garray = Array(19, 20, 21, 19, 20, 21, 16, 17, 18,
               16, 17, 18, 16, 17, 18, 3, 14, 15,
               13, 14, 15, 13, 14, 15, 10, 11, 12,
               10, 11, 12, 10, 11, 12, 10, 11, 12,
               7, 8, 9, 7, 8, 9, 7, 8, 9, 4, 5, 6,
               4, 5, 6, 4, 5, 6, 1, 2, 3, 1, 2, 3)
```

```
warray = Array(9,10, 0, 0, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 0,
              0, 3, 4, 5, 0, 3, 4, 5, 0, 9, 10,
              0, 0, 6, 7, 8, 0, 2, 3, 4, 5, 9,
              10, 0, 0, 6, 7, 8, 0, 3, 4, 5, 0,
              2, 0, 0, 0, 6, 7, 8, 9, 3, 4, 5,
              0, 2, 0, 0, 0, 6, 7, 8, 0, 3, 4,
              5, 0, 1, 2, 0, 0, 4, 5, 6, 0, 1,
              2, 3, 0)
```

```
/-----된 경도와 위도 위치번호를 가지고
                          경과도 번호를 구하기 -----/
```

```
For i = 0 To 19
  For j = 0 To 2
    If glist(i, j) = gyongdo Then
      For k = 0 To 3
        If wlist(i, k) = wido Then
          result = i + 1
          allstp = 1
          Exit For
        End If
      Next k
    End If
  Next j
  If allstp = 1 Then Exit For
Next i
```

```
/----- 경과도 번호에 따른 지명 선택하기 -----/
```

```
Select Case result
  Case 1: Place = "우도"
  Case 2: Place = "신양"
  Case 3: Place = "김녕"
  Case 4: Place = "송당"
  Case 5: Place = "표선"
  Case 6: Place = "함덕"
  Case 7: Place = "와산"
  Case 8: Place = "위미"
  Case 9: Place = "제주"
  Case 10: Place = "오라"
  Case 11: Place = "한라산"
  Case 12: Place = "서귀"
  Case 13: Place = "귀일"
  Case 14: Place = "회수"
  Case 15: Place = "강정"
  Case 16: Place = "한림"
  Case 17: Place = "저지"
  Case 18: Place = "모슬"
  Case 19: Place = "고산"
  Case 20: Place = "무릉"
End Select
```