

낙뢰감지 네트워크를 이용한 한반도 낙뢰특성 분석

(Analysis on the Lightning Characteristics using KLDNet in KOREA)

우정욱* · 곽주식 · 구교선 · 김경탁 · 권동진

(Jung-Wook Woo · Joo-Sik Kwak · Kyo-Sun Koo · Kyung-Tak Kim · Dong-Jin Kweon)

요 약

최근 전력설비의 품질 향상과 시스템 운영기술의 발전으로 전력설비 자체의 고장은 낮은 수준으로 억제되고 있어, 상대적으로 바람이나 낙뢰와 같은 자연재해에 의한 고장이 차지하는 비중이 증가하는 추세이다. 특히, 낙뢰에 의한 고장을 억제하기 위해서는 효과적인 절연설계가 필요하며, 이를 위해서는 여러 가지 과전압해석이 필수적이다. 낙뢰에 의한 과전압해석을 위해서는 낙뢰특성에 대한 기본데이터와 이의 분석된 결과가 필요하다. 본 논문에서는 체계적인 낙뢰대책 수립을 위해 도입된 한국전력공사의 낙뢰관측시스템인 KLDNet(Kepco Lightning Detection Network)의 낙뢰관측 정보를 이용하여 낙뢰발생분포, 낙뢰의 다중도, 연간낙뢰일수, 대지낙뢰밀도, 낙뢰전류의 크기 등 절연설계에 필요한 기본 자료에 대해서 통계 처리하여 분석하였다.

Abstract

Recently, the failures of electrical equipment have been reduced due to the improvement of its quality and the advance of operation techniques but the failure rates caused by natural disasters such as wind and lightning have been increased. To reduce the failures due to lightning, it is necessary for insulation design of transmission lines to be done, effectively. Also the analysis on the lightning characteristics is essential to the effective insulation design. In this paper, we describe lightning distribution, multiplicity, IKL(Iso-Keraunic Level) and amplitude distribution of lightning current base on the lightning data by KLDNet.

Key Words : Lightning, KLDNet, IKL(Iso-Keraunic Level), Multiplicity

1. 서 론

세계적으로 태풍, 홍수, 지진 등의 자연재해가 증가하면서 인명과 재산의 대규모 피해사태가 보고되고 있으며, 국내에서도 자연재해로 인한 피해가 다양한 형태로 발생되고 있다. 이와 같은 자연재해 중 낙뢰는 전력분야에서 사고와 관련된 가장 큰 위협요소로서 전력설비 자체의 손상뿐만 아니라 대규모 정

* 주저자 : 한국전력공사 전력연구원 송배전연구소
Tel : 042-865-5892, Fax : 042-865-5809

E-mail : jwwoo@kepri.re.kr

접수일자 : 2009년 7월 14일

1차심사 : 2009년 7월 16일

심사완료 : 2009년 7월 27일

낙뢰감지 네트워크를 이용한 안반도 낙뢰특성 분석

전의 원인이 되고 있다.

최근 고장통계에 따르면 순간정전을 포함한 송전선로 고장원인 중에서 낙뢰가 70[%] 이상을 차지하고 있다[1]. 전력설비의 품질이 향상되고 시스템 운영기술의 진보로 자연재해 이외의 고장은 낮은 수준으로 억제되고 있는 반면, 그림 1에서와 같이 낙뢰에 의한 사고가 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 국내의 낙뢰특성 연구를 통한 사고 대책의 수립 및 적절한 절연설계가 필요하다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 1990년대 초 한국전력공사에서는 낙뢰의 관측과 특성연구의 필요성이 제기되어 1996년부터 낙뢰위치표정시스템(LPATS : Lightning Positioning and Tracking System)을 운용하여 낙뢰를 관측하기 시작하였다. 2006년부터는 LPATS의 기능을 개선한 낙뢰감지네트워크(KLDNet : Kepco Lightning Detection & Information Network)를 운영하여 국내의 낙뢰특성에 대한 정보를 수집하고 있다[2].

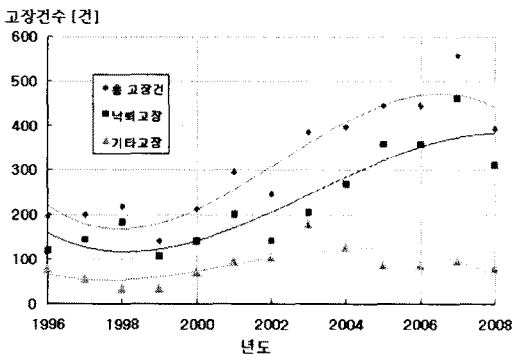


그림 1. 송전고장 현황(1996~2008)
Fig. 1. Failures of transmission line(1996~2008)

관측된 낙뢰정보는 사고의 원인규명이나 사고위치를 추정하는 일에 유용하게 사용되고 있으며, 축적된 낙뢰 정보는 낙뢰에 의한 사고나 전력품질의 저하를 예방하기 위한 절연설계에 기초자료로 활용하고 있다.

본 논문에서는 절연설계의 기초 자료를 제공하기 위하여 LPATS와 KLDNet으로 관측한 낙뢰자료를 이용하여 낙뢰발생분포, 다중도, 연간뇌우일수, 대지

낙뢰밀도, 낙뢰전류의 크기 등을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 기후변화

지난 100년 동안 지구의 지표면 온도는 0.74 ± 0.18 [°C] 상승하였으며, 이러한 온도 변화현상은 최근 세계적인 이상 기후현상의 원인으로 추정되고 있다. 이러한 현상은 우리나라가 속해 있는 북반구 고위도로 갈수록 더 크게 나타나며, 해양보다는 육지가 더 빠른 온도상승을 보여주고 있다.

이러한 현상에 따라 우리나라의 기상현상에도 변화가 나타나고 있다. 과거에는 연중 강수량은 장마철이 있는 6월과 7월에 집중되었지만 최근에는 8월의 강수량이 증가하고 폭우발생이 증가하는 등 아열대성 기후 현상이 나타나고 있으며, 낙뢰를 동반한 국지적인 폭우의 빈도가 늘어나고 있다.

그림 2는 1970년대부터 기상청에서 측정한 강수량 150[mm] 이상의 폭우 발생일수를 나타낸 것이다. 이 자료에 따르면 우리나라의 강수량 150[mm] 이상 폭우 발생일수는 1970년대에 연간 38일에서 1990년대에 71일로 증가하는 추세를 나타냈다. 또한 시간당 30[mm] 이상의 폭우 발생횟수도 1970년대에는 연간 75일에서 1990년대에는 117일로 증가하고 있다 [3-5].

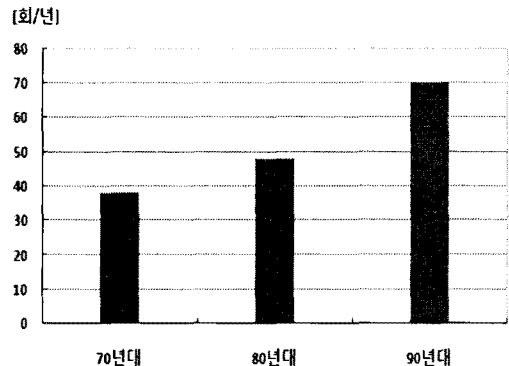


그림 2. 폭우 발생일수 변화(연간 150[mm] 이상)
Fig. 2. Change of rainy days(over 150[mm/year])

낙뢰 발생은 기상조건의 변화에 따라 매년 큰 편차를 보이므로 폭우일수의 증가로부터 낙뢰발생의 증가여부를 직접 확인하기는 어렵지만, 지난 40년간의 기상 관측 자료로부터 낙뢰가 발생할 수 있는 기상조건인 폭우빈도가 높아짐으로 연간뇌우일수의 증가 및 낙뢰발생의 빈도가 높아지고 있다.

표 1. 연간뇌우일수(IKL)의 변화
Table 1. Change of ISO Keraunic level

연도	'68-'87년	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06년	'07년
뇌우일수	7-17	7-79	3-42	2-20	2-23	1-27	12-89	20-123

표 1은 1968년부터 측정된 연간뇌우일수(IKL : Iso-Keraunic Level)의 변화를 나타낸 것이다. 특히 신규 낙뢰관측시스템 도입후인 2006년 이후에는 뇌우일수가 100일 이상인 지역도 관측되었다. 특히 2007년도에는 천안, 청주, 대전 등지에서는 90일에서 최대 123일까지의 높은 값을 보였다.

2.2 연도별 낙뢰발생 특성

낙뢰발생 빈도가 증가함에 따라 송전선로에 낙뢰가 유입되어 사고로 진전될 가능성이 높아, 낙뢰자료가 송전선로 절연설계에 필수 자료로 사용됨으로 낙뢰데이터에 대한 면밀한 통계분석이 필요하다.

그림 3은 1996년부터 2008년까지의 년도별로 측정된 총 낙뢰수와 대지 뇌격수를 나타낸 것이다. 1996년부터 2005년까지는 LPATS에 의해 관측된 것이며, 2006년 이후는 KLDNet 시스템에 의해 관측된 것이다. KLDNet 시스템은 LPATS 시스템보다 관측능력이 향상되어, 2006년부터 관측된 총 관측낙뢰수가 월등히 많은 것을 볼 수가 있다.

이와 같이 성능이 서로 다른 관측장비와 관측영역의 차이에 의하여 낙뢰의 총관측 횟수만의 단순 비교는 큰 의미를 가질 수는 없으나, 발생하는 낙뢰 중에 고장과 피해를 입히는 내륙에 발생하는 낙뢰를 중심으로 분석할 필요가 있다.

내륙지역에 떨어지는 낙뢰인 대지뇌격이 실질적으로 송전선로에 피해를 입힐 가능성이 있으므로 년

도별 대지뇌격수를 분석하였다. 동일 시스템으로 관측된 2006년과 2007년 데이터를 비교할 때, 2007년에는 총 관측 낙뢰수가 감소하였음에도 대지뇌격수는 전년대비 1.5배 증가하였으며, 낙뢰고장 및 피해 발생도 증가하였다. 1996년부터의 13년간의 낙뢰관측결과에서 발생의 주기성은 뚜렷하지 않으나, 발생 횟수는 2006년부터 2007년까지 증가하였으며 2008년에는 다소 감소하였지만 송전계통의 고장발생은 지속적인 증가 추세를 보이고 있다.

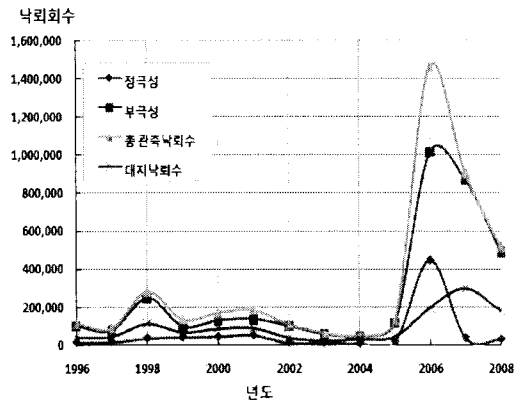


그림 3. 연도별 낙뢰수
Fig. 3. Total lightning per year

2.3 다중도

1개 또는 2개 이상의 stroke가 하나의 낙뢰를 형성하는데 낙뢰에 포함된 stroke의 수를 다중도라고 한다. 낮은 전류의 크기를 갖는 낙뢰라 할지라도 다중도가 높을 경우 사고의 위험이 커지므로 낙뢰의 다중도를 관측하는 것은 중요한 의미를 지닌다.

그림 4는 1996년부터 2008년까지의 낙뢰의 다중도를 나타낸 것이다. 전체 낙뢰발생 건수 중에서 단일 stroke인 낙뢰비율은 1996년부터 2005년까지는 약 80[%], 2006년부터 3년간은 약 75[%]로 관측되어, 상대적으로 단일 stroke의 비율이 높아 다중도가 낮은 의미로 해석될 수 있다. 일반적으로 외국의 사례에서 2이상의 다중도가 80[%] 가까이를 차지하는 것에 비하면 많은 차이를 보이고 있다[6].

이는 관측하는 시스템의 특성과 지역의 차이가

낙뢰감지 네트워크를 이용한 한반도 낙뢰특성 분석

있을 수 있다고 하더라도, 지속적으로 시스템의 성능개선 등을 통하여 연구하여야 할 대상으로 여겨진다.

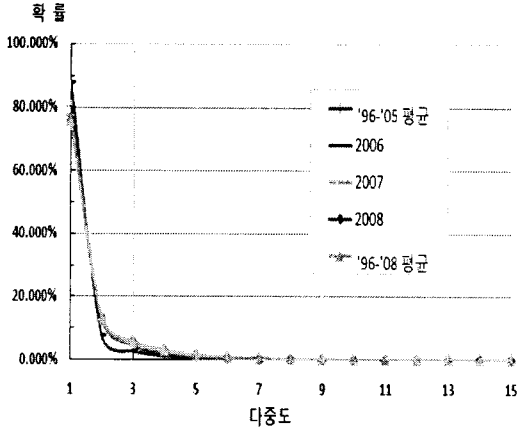


그림 4. 낙뢰의 다중도
Fig. 4. Multiplicity of lightning

2.4 대지낙뢰밀도 및 지역별 낙뢰발생분포

대지낙뢰밀도는 송전선로에 영향을 주는 낙뢰수와 뇌사고율을 예측하는데 활용된다. 일반적으로 위도와 경도를 15분씩 나는 격자를 기준으로 그 영역에 연간 발생하는 낙뢰의 수를 의미한다.

대지낙뢰밀도를 산출하는 방법은 두 가지가 있으며, 첫 번째는 단위 격자안의 낙뢰발생수로부터 대지낙뢰밀도를 환산하는 방법이다. 두 번째는 낙뢰관측 결과로부터 직접 대지낙뢰밀도[N/km²·year] 또는 낙뢰밀도지도를 생성하는 방법이다. 낙뢰발생수로부터 대지낙뢰밀도를 환산하는 방법은 연간뇌우일수로부터 식 (1)을 이용하여 대지낙뢰밀도를 구할 수 있다[7].

$$N_g = aT^b \text{ [N/km}^2 \cdot \text{year]} \quad (1)$$

여기서, N_g : 1[km²]당 1년간 발생하는 낙뢰수

a : 0.0106

b : 1.2268

T : 연간뇌우일수(IKL)

상수 a와 b는 국가별, 지역별 특성에 따라 다르며, N_g 는 연구뇌우일수 또는 낙뢰시간과의 관계로서 표현 할수 있다. 그림 5는 1996년부터 2008년까지 LPATS와 KLDNet에 의해 측정된 연간뇌우일수와 대지낙뢰밀도와와의 관계를 나타낸 것으로 두 데이터의 상관관계가 밀접함을 보여주고 있다.

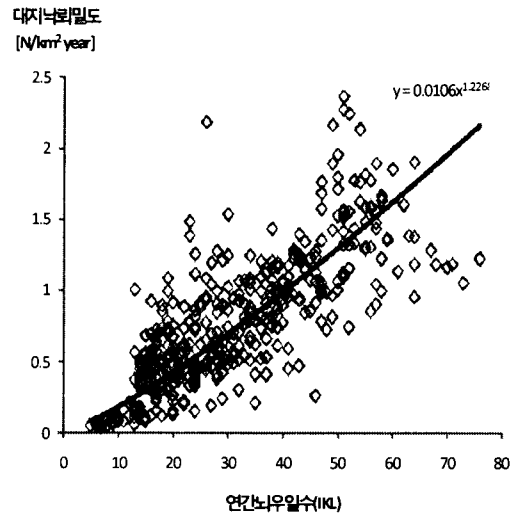


그림 5. 연간뇌우일수와 대지낙뢰밀도와의 관계
Fig. 5. Comparison between IKL and lightning density

또한 낙뢰관측시스템의 낙뢰관측 결과로부터 직접 대지낙뢰밀도를 구할 수 있다. 관측된 자료에 의하면 우리나라의 대지낙뢰밀도는 13년간 평균 0.98회[N/km²·year]이며 지역별 세부적인 값은 표 2와 그림 6에 표시하였다.

표 2와 그림 6에서 최근 2년간의 관측자료에 의하면 대도시로써는 광주가 가장 높은 값이며, 지역별로 보면 충남과 전북 지역이 높은 값이다. 이 지역은 실제로 송전선로에 낙뢰가 영향을 많이 주는 지역이다.

대지낙뢰밀도는 송전선로에 떨어지는 낙뢰수를 추정하는데 이용되며, 그 관계를 식 (2)에 표시하였다[7]. 식 (2)를 낙뢰의 전류크기 I 와 평균 도체높이 h 의 함수로서 나타내면 식 (3)과 같다[7].

표 2. 지역별 대지낙뢰밀도(N/km²·year)
Table 2. Regional lightning density(N/km²·year)

지역	96-05 평균	2006	2007	2008	06-08 평균	96-08 평균
서울	0.93	2.79	0.98	1.14	1.63	1.04
부산	0.38	0.90	1.26	1.68	1.28	0.58
대구	0.78	3.62	3.91	2.86	3.46	1.36
인천	1.27	2.54	1.30	1.60	1.82	1.31
광주	0.78	4.80	1.12	8.08	4.66	1.62
대전	0.79	3.41	4.79	3.15	3.78	1.41
울산	0.04	1.09	2.53	2.97	2.20	0.53
경기	0.78	1.84	2.24	0.95	1.68	0.94
강원	0.43	1.46	2.21	0.66	1.44	0.64
충북	0.70	1.76	4.15	2.62	2.84	1.14
충남	0.97	2.44	4.53	2.18	3.05	1.38
전북	0.79	3.55	4.68	3.31	3.84	1.40
전남	0.62	1.98	1.52	2.84	2.12	0.92
경북	0.49	1.45	3.29	1.80	2.18	0.85
경남	0.81	2.45	3.62	1.50	2.52	1.16
제주	0.16	1.80	1.03	0.19	1.01	0.34
평균	0.64	2.00	3.03	1.85	2.29	0.98

$$N_L = \frac{N_g}{10} (28h_t^{0.6} + b) \quad (2)$$

$$N_L = \frac{N_g}{10} (3.14I^{0.69}h^{0.45} + b) \quad (3)$$

여기서, b : 가공지선 수
 h_t : 철탑의 높이
 N_L 단위 : [N/100km · year]

2.5 낙뢰전류의 크기

낙뢰전류의 크기가 클 경우 사고로 이어질 확률이 커지기 때문에 국내에서 발생되는 낙뢰전류의 크기를 관측하여 절연설계에 반영할 필요가 있다. 이와 같은 낙뢰전류의 크기는 누적확률분포를 통해 임의의 전류크기를 갖는 낙뢰가 발생할 확률을 추정할 수 있는데, 식 (4)는 년도별 발생하는 낙뢰전류 크기의 중앙값(M:Median)과 누적지수 n을 이용하여 전류크기가 I인 낙뢰가 발생할 확률 P를 나타낸 식이다[8-9].

$$P = \frac{1}{1 + (I/M)^n} \quad (4)$$

표 3과 그림 7은 1996년부터 2008년까지의 년도별 낙뢰전류의 누적확률분포를 보여주고 있다. KLDNet에 의하여 측정된 2006년 결과는 이전의 측정값에 비하여 상대적으로 큰 값의 중앙값을 보여주고 있다.

2005년 이전까지 LPATS에 의한 통계분석결과는 상대적으로 작은 크기의 낙뢰전류 분포를 보여주고 있어 비교가 되는 부분이다. 이는 신규시스템이 정극성 낙뢰의 관측비율이 높고 중앙값이 44.84[kA]로 높았던 것이 원인이다. 정극성 낙뢰와 달리 부극성 낙뢰의 중앙값의 연도별 변화는 크지 않다. 낙뢰전류 크기의 중앙값을 비교하면 1996~2005년 사이에는 15.66[kA]이며, 2006~2007년 2년간의 평균 중앙값은 23.65[kA]이다. 1996년부터 2008년도까지의 13년 평균값은 19.11[kA]이다. 2006년의 경우 정극성 낙뢰의 크기가 매우 큰 값을 보여 전체적인 중앙값을 증가시킨 것으로 분석된다. 극성별로 구분하여

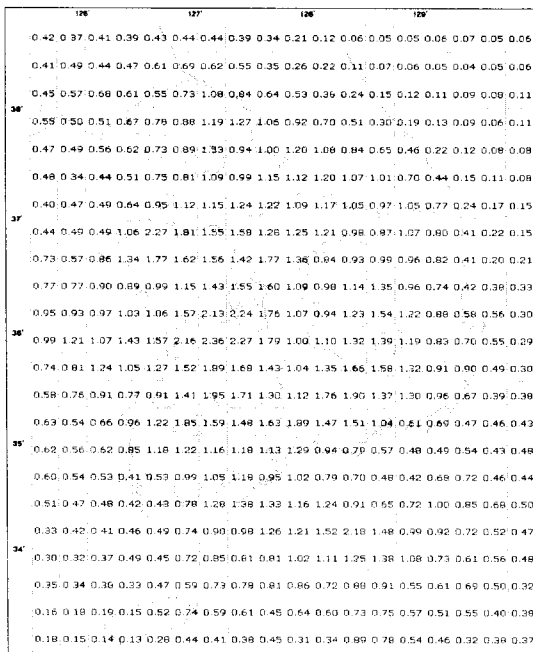


그림 6. 대지낙뢰밀도(1996~2008, (N/Km²·year))
Fig. 6. Lightning density(1996~2008, (N/Km²·year))

낙뢰감지 네트워크를 이용한 한반도 낙뢰특성 분석

보편 정극성 낙뢰전류는 부극성의 경우보다 평균 약 15[kA] 이상의 큰 값을 보여주고 있다.

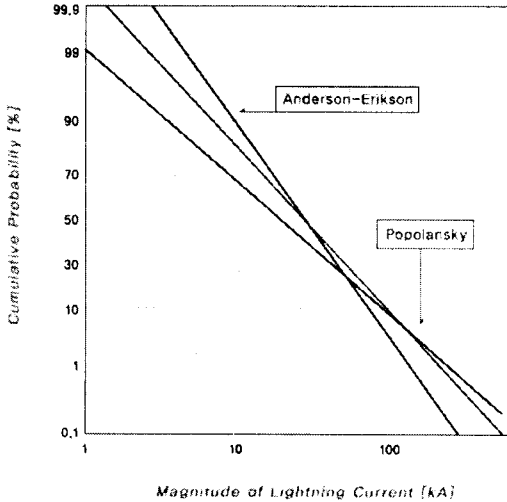


그림 7. 낙뢰전류 누적확률분포 곡선(1996~2008)
Fig. 7. Lightning current cumulative probability distribution(1996~2008)

표 3. 낙뢰전류 누적특성
Table 3. Lightning current cumulative characteristics

년도	중앙값(M) [kA]	누적지수 (n)	정극성	부극성
			M [kA]	M [kA]
1996	16.22	3.941	12.74	17.88
1997	19.28	3.519	23.78	20.49
1998	19.79	3.548	17.08	22.08
1999	12.78	2.430	8.78	16.89
2000	16.46	2.417	11.72	20.48
2001	10.74	2.888	7.01	13.16
2002	19.44	3.601	25.09	20.18
2003	12.34	3.610	19.28	12.36
2004	10.27	3.317	18.29	10.09
2005	24.02	1.382	44.41	13.49
2006	30.47	1.883	48.84	27.43
2007	15.46	3.162	14.90	16.71
2008	14.98	2.818	21.29	16.18
평균	19.11	1.995	32.21	18.90

3. 결 론

한국전력공사에서는 현재 낙뢰관측시스템을 이용하여 얻은 낙뢰정보를 낙뢰사고의 원인규명이나 사고위치를 추정하는데 사용되고 있으며, 더 나아가 낙뢰에 의한 사고나 전력품질의 저하를 예방하기 위한 절연설계에 사용될 목적으로 낙뢰자료를 통계 처리하여 분석하고 있다.

본 논문에서는 1996년부터 2008년까지 한국전력공사의 낙뢰감지시스템에 의해 관측된 낙뢰정보에 대해 송변전설비 절연설계에 필요한 낙뢰특성에 대해 통계적으로 분석하고 그 결과를 나타내었다.

- 13년간의 낙뢰관측결과에서 주기성은 뚜렷하지 않으나 발생횟수는 관측시스템의 성능 향상으로 2006년부터 증가하였다.
- 전체 낙뢰발생 건수 중 단일 stroke인 낙뢰의 비율은 약 75[%]로, 다른 연구결과와는 많이 차이가 있어 향후 지속적으로 관측 및 분석해야 할 대상이다.
- 우리나라의 연평균 대지낙뢰밀도는 13년간 평균 0.98회[N/km²·year]로 나타났다.
- 중앙값은 1996~2005년 사이에는 15.66[kA]이며, 2006~2007년 2년간의 평균 중앙값은 23.65[kA]이다. 1996년부터 2008년도까지의 13년 평균값은 19.11[kA]이다.

본 논문에서 분석된 낙뢰자료들은 송변전설비의 절연설계에 활용할 뿐 아니라, 일반적인 건축물의 내뢰설계에도 활용할 수 있다.

References

- [1] 우정욱 외, “낙뢰관측 시스템의 기능 및 정밀도 향상 연구(중간보고서)”, 전력연구원, pp. 1-2, 2009. 6.
- [2] 우정욱 외, “The Introduction about New KLDNet and the Statistical Distribution of Lightning Parameters in Korea”, International Lightning Detection Conference, 2006.
- [3] 신재기, “한국의 기후변화와 담수환경관리”, 제13회 세계물의 날 기념 심포지움, pp.39~54.
- [4] 기상청, 한국의 기후변화, 기술노트, 2002.
- [5] www.gihoo.or.kr, 환경부 기후변화홍보포털.
- [6] MA Uman 외, “Lightning” Dover Publications, Inc., 1984, p.29.
- [7] A. R. Hileman, “Insulation Coordination”, ABB Power Systems Inc., 1991.
- [8] CRIEP Report, “Guide to Lightning Protection Design of

Power Stations, Substations and Underground Transmission System”, 1995.

- (9) EPRI, “Transmission Line Reference Book 345kV and Above”, 2nd Edition, 1982.
- [10] Dr. Masaru Ishii, “Evaluation of Lightning Fault Rate of EHV transmission Line Based on Lightning Parameters Derived from Electromagnetic Field Observation”, IEEE 111-5, 1991.

◇ 저자소개 ◇

우정욱 (禹貞旭)

1968년 9월 19일생. 1992년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원.
Tel : (042)865-5892
E-mail : jwwoo@kepri.re.kr

곽주식 (郭周植)

1971년 11월 10일생. 1994년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원.
Tel : (042)865-5893
E-mail : joosiki@kepri.re.kr

구교선 (具敎善)

1974년 9월 27일생. 2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사), 현재 한국전력공사 전력연구원 선임보연구원.
Tel : (042)865-5894
E-mail : kskoo@kepri.re.kr

김경탁 (金慶鐸)

1978년 10월 1일생. 2005년 경북대학교 전기전자공학부 졸업. 현재 한국전력공사 전력연구원 일반연구원.
Tel : (042)865-5895
E-mail : eiff@kepco.co.kr

권동진 (權東震)

1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력공사 전력연구원 책임연구원.
Tel : (042)865-5890
E-mail : djkweon@kepri.re.kr