

## 한전 낙뢰감지 네트워크(KLDNet)의 2006년도 낙뢰측정 결과

곽주식<sup>1</sup>, 우정욱<sup>1</sup>, 강연욱<sup>1</sup>, 박기준<sup>1</sup>, 민병욱<sup>2</sup>  
 한전 전력연구원<sup>1</sup>, 한전 중앙교육원<sup>2</sup>

### Lightning data detected by Kepco Lightning Detection & information Network in 2006

J.S. Kwak<sup>1</sup>, J.W. Woo<sup>1</sup>, Y.W. Kang<sup>1</sup>, G.S. Koo<sup>1</sup>, B.W. Min<sup>1</sup>  
 KEPRI of KEPCO<sup>1</sup>, Central Training Institute of KEPCO<sup>2</sup>

**Abstract** - KEPCO, a Korean utility, has been operating a new lightning detection network since 2006. The lightning data detected by the new system named as Kepco Lightning Detection & information Network(KLDNet) is presented, and compared with ten-years-old-statistics accumulated by LPATS in order to look over the detection abilities.

연결 케이블은 8개소 감지기 장소에서의 조건을 동일하게 설계되었다.

#### 1. 서 론

발전소에서 생산된 전력은 송배전망을 통하여 소비자에게 전달되어진다. 주로 가공선로인 전력수송망은 자연환경에 의한 고장 위협요인에 항상 노출되어 있다. 전력수송에 지장을 초래할 수 있는 요인들 중에서 특히 여름에 발생이 활발해지는 낙뢰에 의하여 가장 큰 영향을 받고 있다. 통계에 따르면 매년 낙뢰로 인해 발생하는 송전고장은 전체의 66% 이상을 차지할 정도이다[1]. 이처럼 낙뢰는 전력회사에서 관심 있게 다루어 지는 대상의 하나이다. 뇌 현상은 태풍, 폭우, 강풍 등의 가혹한 자연현상과 함께 발생하는 경향이 있으며 전력회사는 물론 일반인의 안전에도 위협 요인이 되고 있다.

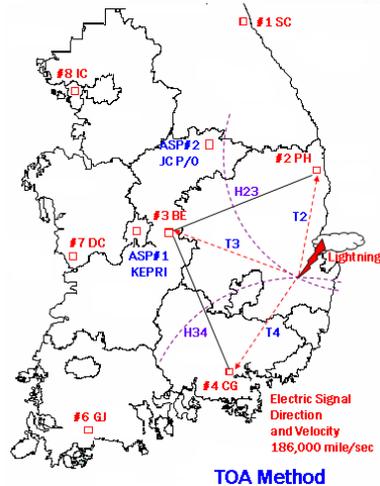
대개의 경우 낙뢰로 인한 전력설비에 대한 영향은 일시적으로 나타났다가 제거되지만 설비에 물리적 손상을 입히는 경우 가급적 빠른 시간 내에 복구되어야 한다. 신속한 복구를 위해서는 낙뢰에 의한 고장위치가 가급적 신속히 추적되어질 필요가 있다. 고장의 위치는 보호계전 시스템으로서 확인될 수 있지만 낙뢰정보와 협조적으로 활용된다면 보다 효과적일 수 있다. 한편 낙뢰의 발생 지역과 크기에 대한 중장기 측정 데이터로부터 전력설비의 내뢰 설계를 도출할 필요성이 요구되고 있다. 이를 위해서 우리나라의 전력회사에서는 1995년부터 낙뢰위치표정시스템(LPATS : Lightning Positioning & Tracking System)을 운영하여 왔으며 2005년에 성능이 개선된 한전 낙뢰감지 네트워크(KLDNet : Kepco Lightning Detection & Information Network)를 설치하고 운영을 시작하였다.

본 논문에서는 한전 낙뢰감지네트워크(KLDNet)를 통하여 2006년도에 측정된 낙뢰 결과를 분석하고 LPATS에 의한 측정결과와 비교를 통하여 성능을 살펴보고자 한다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 KLDNet 낙뢰측정 시스템

낙뢰감지 네트워크는 그림 1과 같이 8개의 낙뢰 감지기가 네트워크를 구성하며, 이들 감지기에 낙뢰신호가 도달하는 시간 차이를 이용하여 낙뢰의 발생위치를 뇌격 전류의 크기 등을 계산하는 도달시간차(TDOA : Time Difference of Arrival) 방식이 사용되고 있다. 시스템의 각 감지성능에 최적화되도록 감지기의 위치가 설계되었다. 인접 감지기간 거리는 최소 100 km에서 최대 210 km를 유지하도록 하였으며 그 위치정보를 표 1에 나타내었다. 번개는 전류의 급속한 방전현상으로 주변에 전자기파를 방사한다. 이러한 전자기파는 수백 km이상의 거리를 전파할 수 있다. 그림 1에서와 같이 특정한 지점에 번개가 발생하면 이때 발생한 전자기파 신호들이 각 감지기(예: #2, #3, #4)에는 T1, T2, T3의 시간 후에 도달하게 된다. 도달하는 시간의 차이에 의해 쌍곡선 H23, H34를 계산하며, 쌍곡선이 교차하는 지점이 송신원(번개의 위치)이 된다. 원리상 세 개의 수신기가 쌍곡선 계산을 위해 필요하지만, #2, #3, #4가 아닌 다른 감지기에서도 동일 조건의 낙뢰가 감지되어야만 낙뢰로 판정되도록 하고, 또한 이 정보를 이용하여 위치 오차도 보정하게 하여 위치 정확도와 감지율의 성능이 향상되도록 설계되었다. 낙뢰감지기는 일반적으로 빌딩 옥상의 한쪽 구석에 위치하게 되며, GPS 안테나도 가능한 한 낙뢰 안테나와 가장 인접해서 설치하고, 설계된 시스템에서 GPS 안테나의



<그림 1> 낙뢰감지기 위치 및 도달시간차 방법

<표 1> 낙뢰감지기 설치 위치 정보

감지기 위치	위도	경도
#1 SC (속초)	38.185	128.560
#2 PH (평해)	36.705	129.442
#3 BE (보은)	36.424	127.730
#4 CG (창공)	35.223	128.656
#5 JJ (제주)	33.494	126.534
#6 GJ (강진)	34.731	126.699
#7 DC (대천)	36.306	126.604
#8 IC (인천)	37.486	126.691

<표 2> 낙뢰감지기 특성

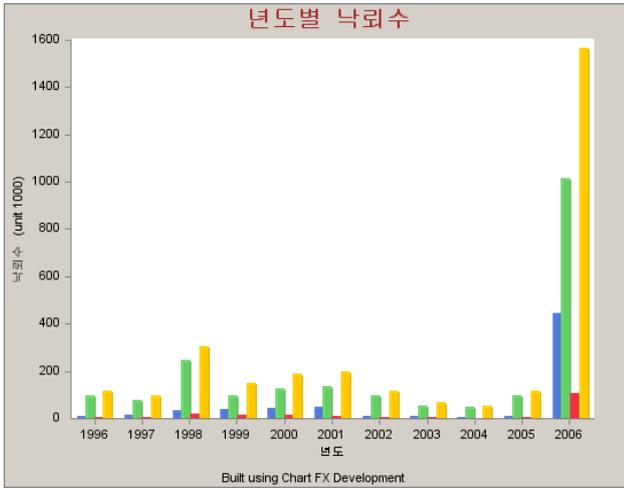
관측낙뢰 형태	운대시간 및 운간 방전(전계)
설계 위치정확도	< 250 m 최소
감지율	> 90~95 % 운대시간
베이스 라인	20~400 km
설치위치 최소조건	타워나 건물의 옥상
감지기 관측 대역	1.5 ~ 400 kHz
감지기시간 정확도	GPS/UTC (1 sigma) 15 ns 이내
감지기 재동작 시간	100 μs

표 2는 낙뢰감지기의 기본 특성표이다. 사용된 낙뢰감지기의 베이스 라인은 400 km 이내가 최적이며, 측정되는 신호의 주파수대역은 1.5 ~ 400 kHz이다. 이 감지기들에 의해 수신된 낙뢰신호는 인터넷을 통해 중앙분석장치로 전송하며, 이때의 데이터는 바이너리 형태이다. 낙뢰감지

기내에서는 GPS와 연동된 정확한 수신시간을 기록할 뿐 만 아니라 파형들의 상승시간, 하강시간, 진폭 등과 같은 정보를 기록하며, 필요한 파형을 디지털화 하는 기능들이 있다. 시스템의 시간측정 성능은 낙뢰의 위치 정확도에 결정적인 영향을 끼치게 되며, 모든 낙뢰감지기는 100 ns의 분해능을 갖는 GPS 수신기를 사용하고 있다.

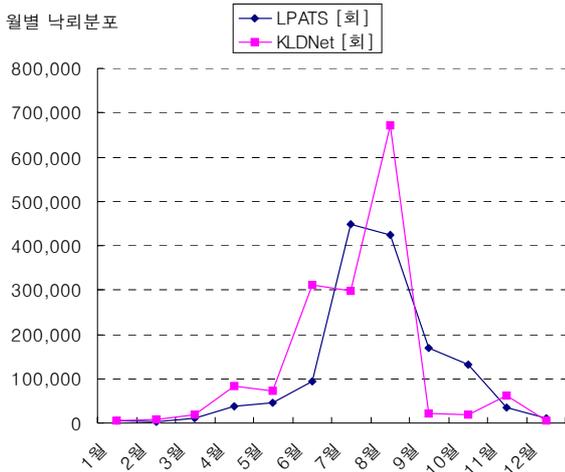
### 2.2 KLDNet 낙뢰측정결과

아래의 그림2는 1996년부터 2006년까지의 연도별 측정낙뢰 수를 보여 주고 있다. 1996년부터 2005년까지의 자료는 LPATS 시스템으로 측정된 결과이며 2006년의 데이터는 KLDNet으로 측정된 결과를 보여주고 있다. 두 개의 낙뢰측정설비를 통하여 11년간 측정된 낙뢰의 총 숫자는 2,982,151건이며 2006년도에 측정된 숫자가 전체의 52.6%(1,568,518건)를 차지하고 있다. KLDNet 시스템이 LPATS 시스템 보다 높은 감지율을 보여주고 있는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 낙뢰의 발생은 기후현상과 밀접한 관계가 있으며 연도별로 큰 편차를 보일 수 있으므로 단정적으로 시스템의 성능차이를 비교하기에는 무리가 있을 수 있다. 또한 낙뢰측정 성능은 낙뢰감지기의 위치, 주변의 노이즈 환경, GPS 시간분해능, 통신의 신뢰도, 연산능력, 보정상태등 다양한 조건에 영향을 받게 됨을 고려하여야 한다.



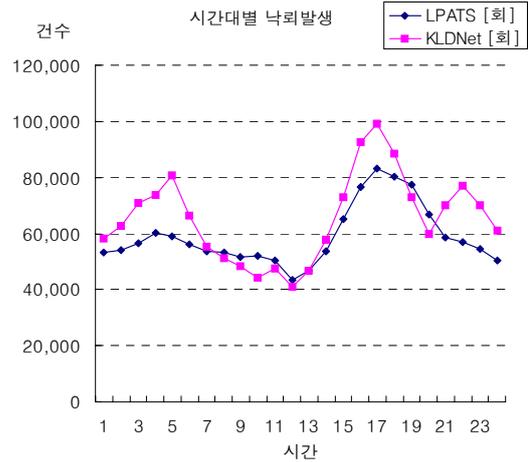
<그림 2> 연도별 측정 낙뢰수

### 2.2.1 월별/시간대별 낙뢰 발생



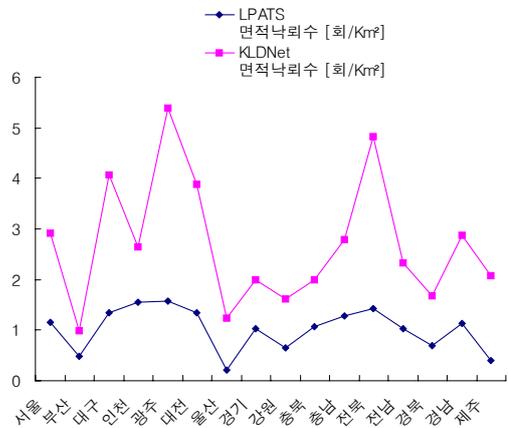
<그림 3> 연도별 측정 낙뢰수

그림 3은 KLDNet의 월별 낙뢰측정 경향을 LPATS에 의한 10년간 측정결과와 비교하여 보여 주고 있다. 우리나라의 낙뢰는 연중 6월부터 8월 사이에 집중되고 있다. KLDNet의 감지율이 매우 높지만 과거 10년간의 월별 낙뢰발생 경향과 일치하는 결과를 보여주고 있다. 그림 4에서 하루 중 낙뢰발생은 16시에서 18시 사이에 가장 높은 발생 경향을 보이고 있으며 KLDNet에 의한 측정 결과도 지난 10년간의 경향과 일치하고 있는 것으로 확인된다.



<그림 4> 일중 시간대별 낙뢰발생 분포

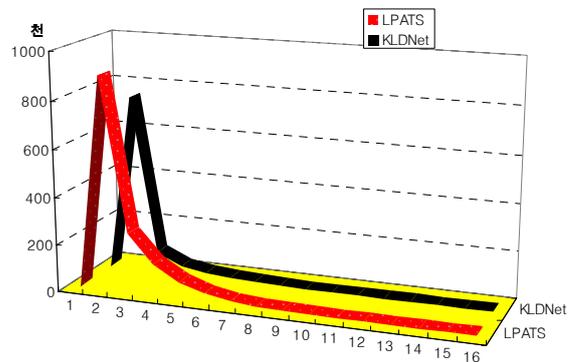
### 2.2.2 지역별 낙뢰 발생



<그림 5> 지역별 단위면적당 낙뢰 수[회/km<sup>2</sup>]

그림 5와 같이 지역별 낙뢰발생경향을 KLDNet과 LPATS에 의한 10년간의 통계 값과 비교하여 볼 때 지역별 낙뢰발생 밀도의 경향이 일치하고 있음을 확인 할 수 있다. 다만 KLDNet의 감지율이 높아 10년 통계 값보다 높은 값을 보여주는 것으로 분석할 수 있다.

### 2.2.3 다중도



<그림 6> 낙뢰의 다중도 분석

그림 6은 낙뢰의 다중도를 비교 분석한 결과이다. LPATS의 10년간 통계값은 2 이상의 다중도를 갖는 낙뢰의 비율이 약 37%이며, KLDNet에 의한 2006년도 낙뢰의 다중도의 비율은 약 19%의 값을 보여주는 것으로 분석되고 있다.

### 2.2.3 낙뢰전류의 크기

낙뢰의 전류크기값은 최대 1,000 kA 이상의 값까지 측정되고 있으며, 식(1)에 의하여 표현되는 전류크기별 발생확률로 통계분석 되어진다. 낙뢰에 대한 전력설비의 절연설계에 고려전류에 대한 누적확률분포가 사용된다. 누적확률분포는 제안자에 따라 여러 가지가 사용되고 있고, 과거 10년 동안 낙뢰위치표정시스템에 의해 관측된 결과가 있다. 일반적으로 누적확률(P)은 식 (1)과 같이 누적분포의 중간값(M)과 누적지수(n)로 표현한다[1]. 즉, 낙뢰의 최대전류값(I)보다 더 큰 최대 전류를 가질 수 있는 가능성을 확률 값으로 보여주는 것이다. 이때 전류크기값의 단위는 kA이다. 식 (2)와 (3)은 CIGRE 및 IEEE 등에서 가장 많이 적용하고 있는 Anderson-Eriksson과 Popolansky가 제안한 식이며, 식 (4)는 전력연구원에서 낙뢰위치표정시스템에 의해 관측된 결과를 이용하여 얻어진 결과이다.

표 3과 식(1) ~ 식(4) 는 1996년부터 2006년까지의 년도별 낙뢰전류의 누적확률을 보여주고 있다. KLDNet에 의하여 측정된 2006년 결과는 이전의 측정값에 비하여 상대적으로 큰 값의 중간값을 보여주고 있으며 세계적인 통계값에 보다 근사한 값을 보여주고 있다. 2005년까지 LPATS에 의한 통계분석결과는 상대적으로 작은 크기의 낙뢰전류 분포를 보여주고 있어 비교가 되는 부분이다. KLDNet은 2005년 7월부터 12월까지 시범운영기간에도 낙뢰자료를 측정하였으나 크기에 대한 보정작업이 완료되지 않아 통계분석에는 포함시키지 않았다. 발생확률이 50%인 중간값(Mean)에 해당하는 낙뢰전류의 크기를 비교하여 보면 1996~2005년까지의 통계값 15.66 kA 이며 2006년도의 값은 33.87 kA 분석되고 있다. 극성별로 구분하여 보면 정극성 낙뢰전류는 부극성의 경우보다 약 20 kA 이상의 큰 값을 보여주고 있다.

<표 3> 년도별 낙뢰전류의 누적확률

년도	중간값 (M) [kA]	누적 지수 (n)	표준 편차	낙뢰수	정극성	부극성
					M [kA]	M [kA]
1996	16.22	3.941	12.416	118,950	12.736	17.88
1997	19.28	3.519	15.773	96,466	23.78	20.49
1998	19.79	3.548	14.294	304,123	17.08	22.08
1999	12.78	2.43	16.838	152,806	8.78	16.89
2000	16.46	2.417	19.795	188,055	11.72	20.48
2001	10.741	2.888	13.438	198,573	7.01	13.16
2002	19.44	3.601	14.339	114,407	25.09	20.18
2003	12.34	3.61	11.446	68,476	19.28	12.36
2004	10.27	3.317	11.342	55,804	18.29	10.09
2005	24.02	1.382	44.423	238,009	44.41	13.49
2006	33.87	1.883	40.265	1,077,266	50.64	29.72

$$\text{누적확률분포} : P = \frac{1}{1 + (I/M)^n} \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{Anderson-Eriksson} : P = \frac{1}{1 + (I/31)^{2.6}} \quad \text{----- (2)}$$

$$\text{Popolansky} : P = \frac{1}{1 + (I/25)^{2.0}} \quad \text{----- (3)}$$

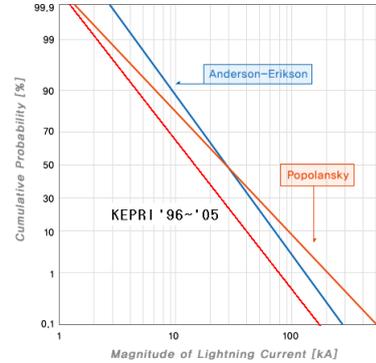
$$\text{KEPRI 1996-2005} : P = \frac{1}{1 + (I/15.66)^{2.86}} \quad \text{----- (4)}$$

낙뢰전류의 크기가 두 개의 시스템에서 상당한 차이를 보이는 원인은 시스템의 감지율과 보정상태에서 찾을 수 있을 것으로 판단된다. LPATS 시스템의 사용연수가 증가함에 따라 감지율이 낮아져 통계분석에 신뢰도가 낮아진 부분도 고려하여야 할 필요가 있다. 과거 LPATS에 의한 측정결과에서도 정극성 낙뢰의 값이 해마다 증가하는 경향을 보여주고 있는 것이 특징이라 할 수 있다. 이처럼 정극성 낙뢰는 발생빈도는 낮지만 피해측면 보다 위협적인 요인으로서 다루어지고 있다. 그림 3과 4는 LPATS와 KLDNet에 의해 측정된 낙뢰전류의 발생 누적확률을 그래프로서 보여주고 있는 것이다.

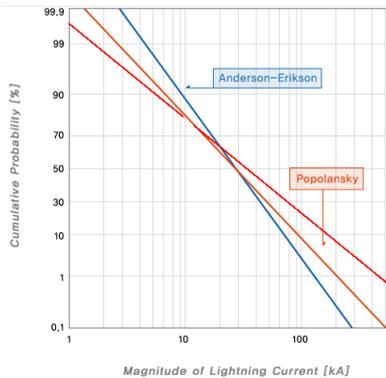
### 3. 결 론

본 논문에서는 2006년부터 낙뢰 측정을 시작한 한전 한전감지 네트워크

크(KLDNet)의 1년 동안의 낙뢰측정결과를 1996년부터 LPATS 시스템의 측정결과와 비교분석하여 측정성능을 분석하였다. KLDNet에 의한 측정결과는 월별 낙뢰발생분포, 시간별 낙뢰발생분포, 지역별 단위면적당 낙뢰발생빈도, 다중도 분석결과에서 10년간의 낙뢰통계와 일치하는 경향을 보여주었으나 측정낙뢰의 숫자와 낙뢰전류의 크기에서는 뚜렷한 차이를 보여주었다. KLDNet에 의한 누적확률상의 중간값은 33.87 kA로 지난 10년간의 평균값 15.66 kA 보다 매우 큰 값을 보여 주었다.



<그림 7> 낙뢰누적확률(' 96~' 05)



<그림 8> 낙뢰누적확률(' 06년도)

#### [참 고 문 헌]

- [1] 심응보, 우정욱, 강연욱, 광주식, 권동진, “절연설계 신뢰도 향상을 위한 뇌격전류 직접측정 설비 구축에 관한 연구”, 2005.11
- [2] 광주식, 우정욱, 추진부, 이복희, 장성익, 문재덕, “The Site Survey Results for New Lightning Detection System of KEPCO”, Korea-Japan Symposium Joint Symposium on electrical Discharge and High Voltage Engineering, 2005.
- [3] 우정욱, 광주식, 강연욱, 김현주, “The Introduction about New KLDNet and the Statistical Distribution of Lightning Parameters in Korea”, International Lightning Detection Conference, 2006
- [4] Takatoshi Shindo, Lightning location systems in Japan and a lightning frequency map using the data obtained by them, 10th ISH, 1997. 8
- [5] CRIEPI, Guide to Lightning Protection Design of Power Stations, Substations and Underground Transmission Lines, T40, pp. 31~53, 1995. 7
- [6] “KEPRI Site Survey Final Report”, TOA Systems Inc., May, 2005
- [7] KEPCO, A Research For Construction of Lightning Position and Tracking System and for Power System Application (Final Report), pp. 55~90, 1995. 6