



낙뢰고장 통계분석을 통한 가공송전선로 고장 감소대책



최진성
한국전력공사 대전충남개발처 송변전개발팀 차장

1. 개요

가. 뇌우(雷雨)

뇌우는 적운이나 적란운이 모여서 발달한 국지적인

폭풍우로서 강한 돌풍과 심한 난류, 번개, 맹렬한 소나기, 우박 등을 동반하는 경우가 대부분이며, 심한 경우에는 토네이도가 발생할 수도 있다.

우리가 흔히 말하는 뇌운과 적란운은 사실상 같은

의미이며, 그 차이점은 단지 천둥(雷聲)이 존재하는가에 달려 있다. 즉, 천둥과 번개를 동반하는 것이 뇌운이다. 뇌우는 뇌운(雷雲)의 위쪽에 차고 밀도가 높은 공기가 존재하고, 아래쪽에 따뜻하고 습도가 높은 공기가 존재하는 경우에 발생한다.

나. 번개

번개가 전기현상 때문이라는 것은 250여 년 전 벤자민 프랭클린에 의해 밝혀졌으나, 본격적인 해명이 시작된 것은 1928년 Boys Camera에 의하여 번개가 사진으로 찍히기 시작하면서부터이다.

뇌우가 있는 동안에 번개는 구름 안에서, 구름들 사이에서, 구름과 공기 사이에서, 또는 구름과 땅 사이에서 나타날 수 있다. 번개를 발생시키는 뇌운은 주로 적란운(積亂雲)이며, 이 적란운은 상층과 하층의 대기가 불안정할 때 발생한다.

다. 천둥

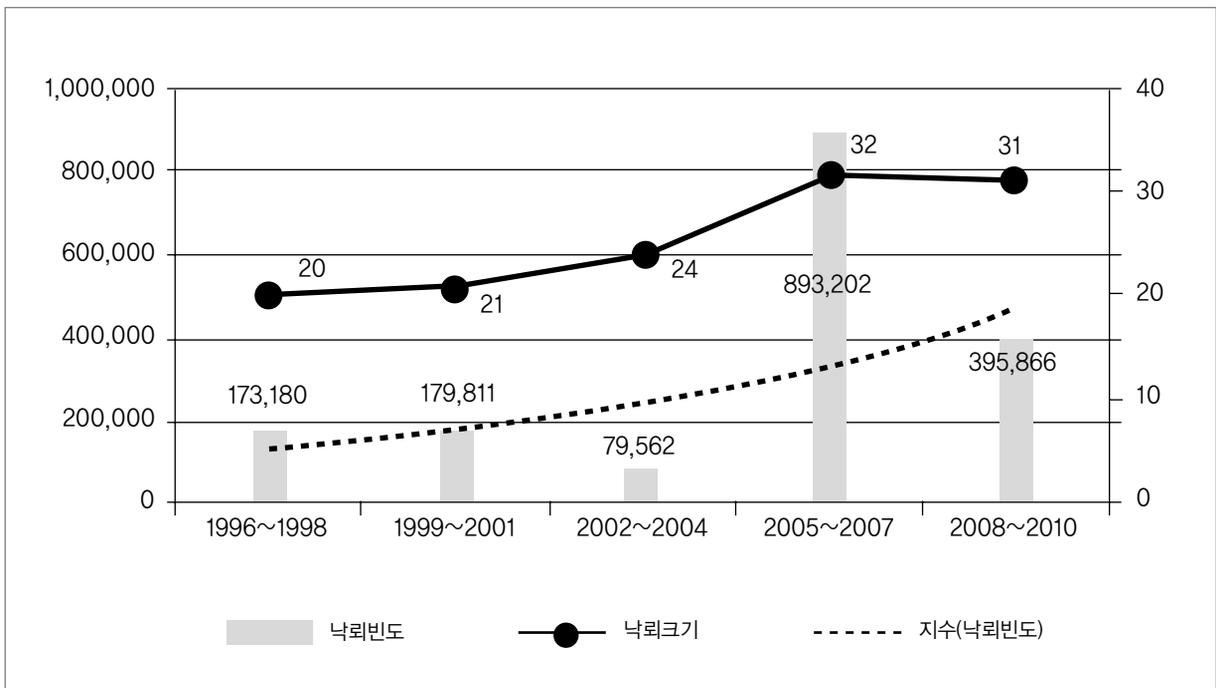
천둥은 번개(Lightning)에 의하여 만들어지기 때문에 두 개의 현상은 함께 발생한다. 번개는 적란운이 발달하면서 구름 내부에 분리 축적된 음전하와 양전하 사이에서 일어나는 불꽃방전을 말한다.

라. 낙뢰

적란운이 발달하면서 구름 내부에 분리 축적된 음전하와 양전하의 사이에서 일어나는 불꽃방전을 번개라고 한다. 이러한 번개 중에서도 구름 속에서 일어나는 방전현상을 구름방전이라 하고, 구름 하단의 음전하와 지면으로 유도된 양전하 사이에 발생하는 방전을 낙뢰라고 한다.

일반적으로 적란운에서 발생하는 방전의 90% 이상을 구름방전이 차지하며, 낙뢰 즉 대지방전(對地放電)이 차지하는 비율은 10% 미만이다.

(빈도 : 회, 크기 : KA)



[그림 1] 전국 낙뢰발생 현황

2. 현 황

가. 전력설비와 낙뢰

■ 낙뢰고장 영향

산지 등 전국 각지에 설치되어 있는 가공송전선로는 기후 영향을 많이 받고 있으며, 특히 낙뢰에 가장 취약점을 가지고 있다. 낙뢰로 인한 설비고장은 단순 전압강하 또는 정전 등을 유발시킨다.

이에 따라 전기 사용에 불편을 일으키는 경우가 종종 발생하는 등 낙뢰는 전기설비에 있어 많은 고장을 발생시키지만 이에 대해 완벽한 대책을 수립하는 것은 현실적으로 불가능하다.

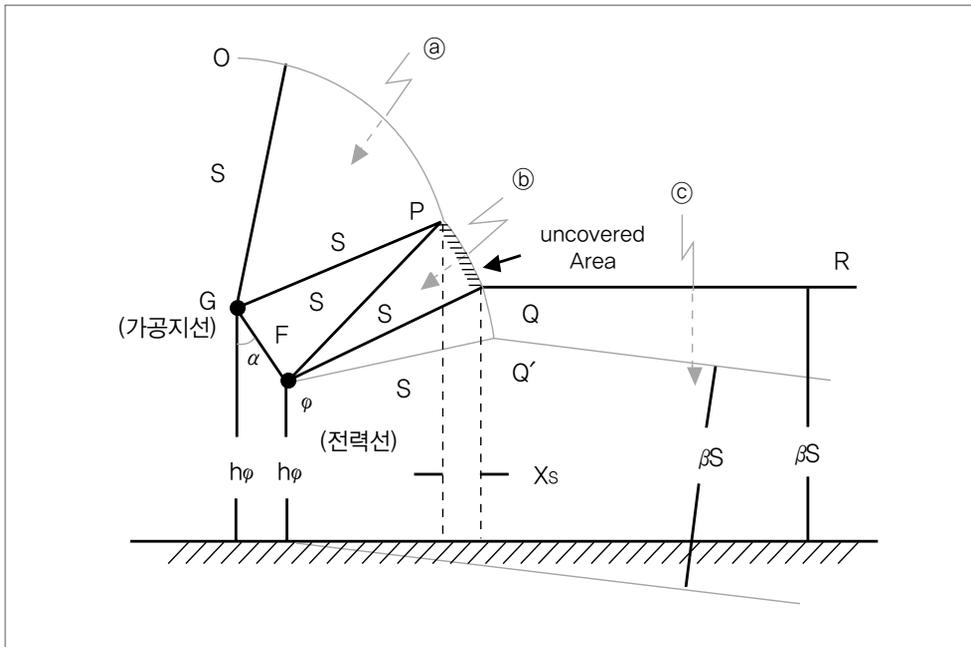
■ 낙뢰고장 발생 메커니즘

송전선로의 낙뢰고장은 크게 역섬락과 차폐실패로 구분할 수 있다. 역섬락(Back Flashover)은 2가지 형태로 구분할 수 있다.

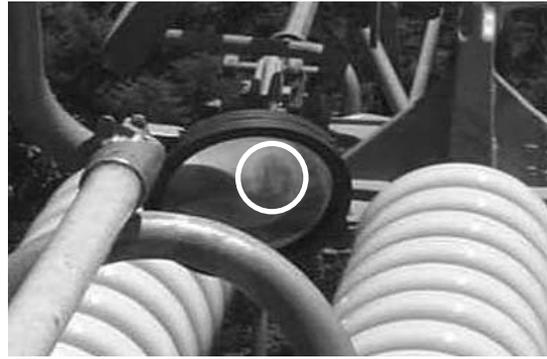
첫 번째는 첩탑 또는 가공지선에 뇌격이 가해져 첩탑의 전위가 현저히 상승하게 되어 송전선로의 절연내력을 초과하게 되면서 첩탑에서 전력선으로 섬락하는 경우이다.

두 번째는 가공지선에 뇌격이 가해지면 송전선로의 경간내에서 가공지선으로부터 전력선으로 섬락이 발생하는 고장이다. 차폐실패(Shielding Failure)는 뇌격이 가공지선에서 차폐되지 않고 전력선에 직격되는 경우로 뇌에 의한 과전압이 선로 양측으로 진행하여 애자련에 도달하게 된다. 이 과전압이 애자련의 내전압 보다 높은 경우 섬락을 일으키게 되는 고장으로 가공지선에 대한 Armstrong-Whitehead의 뇌격차폐이론은 그림 2와 같다.

그림 2는 차폐실패 현상을 나타낸 것으로 뇌격 ①은 가공지선으로 유도되며, 뇌격 ②는 대지로 떨어지나 뇌격 ③은 전력선에 직격하게 된다. 이 때 각각의 범위를



[그림 2] Armstrong-Whitehead의 뇌격차폐이론



[그림 3] 낙뢰로 인한 765kV 애자장치 섬락고장

정하는 호(弧)의 반경을 뇌격거리라 하며, 뇌격 전류의 크기(I)에 대하여 $S=10I0.65$ 의 값을 갖는다. 대지에 대한 뇌격거리는 상공의 도체에 대한 뇌격거리 S에 대하여 βS 로 표시되며, 이 때 β 값은 1.0(HV), 0.8(EHV) 또는 0.64(UHV)의 값을 사용한다. S에 대한 호 중에서 호 PQ는 뇌격에 대한 전력선의 노출범위가 되며, 대지 경사각 θ_g 를 고려하면 이 범위는 호 PQ'로 늘어나게 된다.

뇌격의 각도가 단지 수직되라면 실제 뇌격에 대한 전력선의 노출범위는 호 PQ의 투영길이 X_s 가 되며, 대지 경사각이 있는 경우에는 호 PQ'의 투영길이이다.

차폐각이 0° 보다 작을 경우 수직뢰에 대하여는 차폐 실패가 일어나지 않는다. 경사뢰에 대하여는 뇌격각도 증가에 따라 다소 차폐실패가 발생하나 뇌격각도가

증가되면 그 발생 확률값은 감소하고 노출면도 작아 지므로 차폐실패는 적어지게 된다.

나. 가공송전선로 낙뢰고장 분석

■ 전압별·회선별 낙뢰고장률

낙뢰고장률의 단위는 [건/100c-km·년]으로 나타낸다. 전압별, 회선별 낙뢰고장률을 파악하는 것은 낙뢰고장을 예방하기 위하여 핵심대상을 어떻게 정할 것인가와 밀접한 관련이 있다.

표 1과 같이 전압별로는 154kV가 345kV에 비해 3.8배 높은 고장률을 보였고, 회선별로는 4회선이 2회선보다 높다는 것을 통계적으로 확인할 수 있다. 따라서 낙뢰

[표 1] 전압별, 회선별 설비현황 및 고장률(10개년 누적 평균)

| 구 분 | 고장건수(건) | 설비수량(c-km) | 고장률(건/100km.년) |
|-----------|---------|------------|----------------|
| 345kV 2회선 | 27.5 | 7,302 | 0.377 |
| 345kV 4회선 | 2.2 | 537 | 0.409 |
| 345kV 합 계 | 29.7 | 7,839 | 0.379 |
| 154kV 2회선 | 211 | 15,065 | 1.399 |
| 154kV 4회선 | 38.4 | 2,180 | 1.762 |
| 154kV 합 계 | 249 | 17,244 | 1.445 |

고장 대책은 154kV 설비와 4회선 선로에 집중함으로써 개선효과를 극대화할 수 있다.

■ 대지 경사각에 따른 낙뢰고장

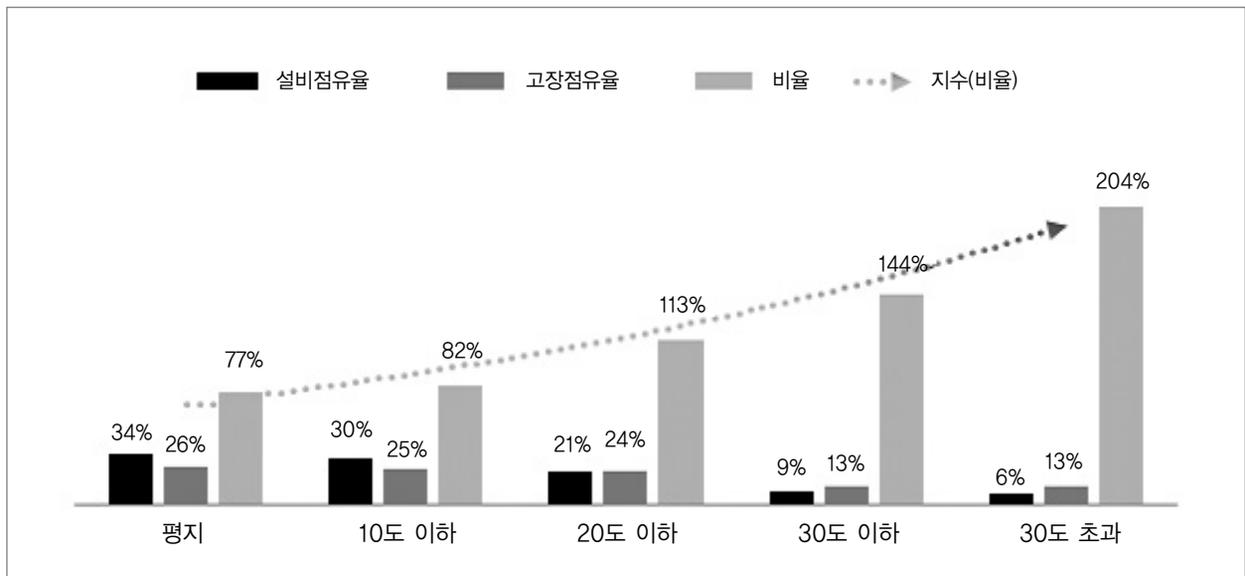
대지 경사각은 송전선로의 진행방향에 수직으로 형성된 대지의 경사도를 말한다. 대지 경사각은 차폐실패 범위를 확대시켜 결국 낙뢰고장 개연성을 증가시키는 요소로 작용한다. 대지경사각에 의한 고장분석은 송전선로의 대지 경사각을 일일이 파악해야 하는 어려운 작업으로 본 고를 통하여 의미 있는 분석을 시행하였으며 결과는 그림 4와 같다.

그림 4와 그림 5에서 알 수 있듯 대지 경사각이 높을 수록 고장확률은 증가하며 경사측 고장이 반대측에 비하여 2배 이상 고장이 많이 발생함을 알 수 있다.

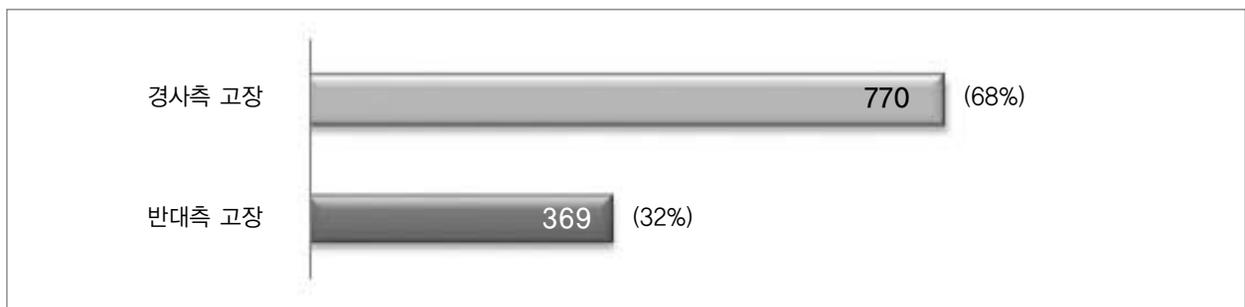
따라서, 낙뢰고장 저감을 위해서는 대지 경사각을 고려한 송전선로 설비계획이 필요하다.

■ 아킹혼 설치에 따른 낙뢰고장

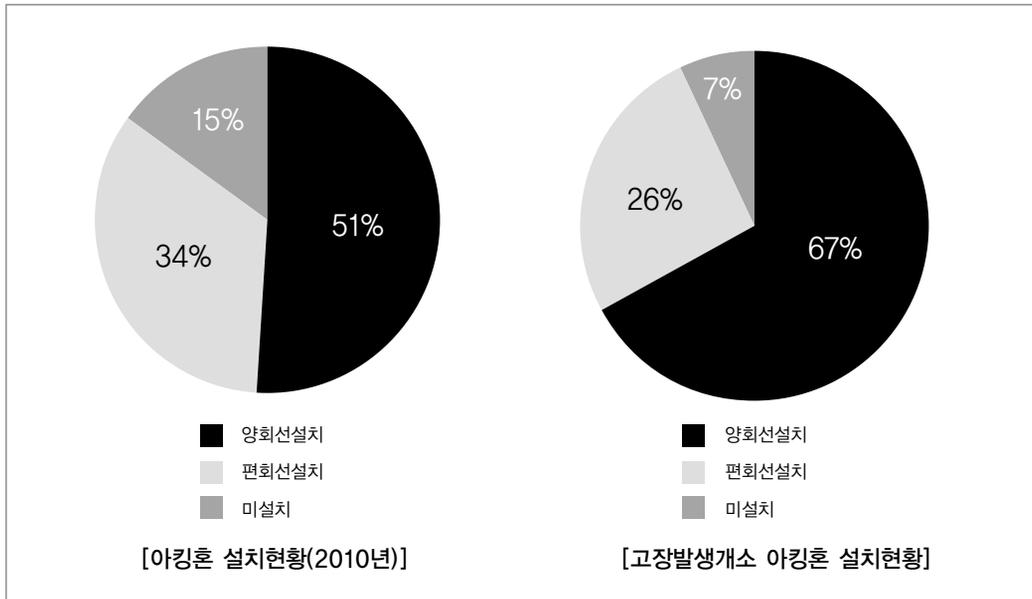
최근 아킹혼 설치방법 (편측, 양측) 및 설치여부에 따른 설비현장의 논란이 많다. 이에 아킹혼 설치에 따른 낙뢰고장 통계를 분석하였고 결과는 그림 6과 같다.



[그림 4] 대지경사각에 따른 고장비율 현황



[그림 5] 대지경사각 및 반대측 고장비율 현황



[그림 6] 아킹혼 설치현황 및 고장현황 분석

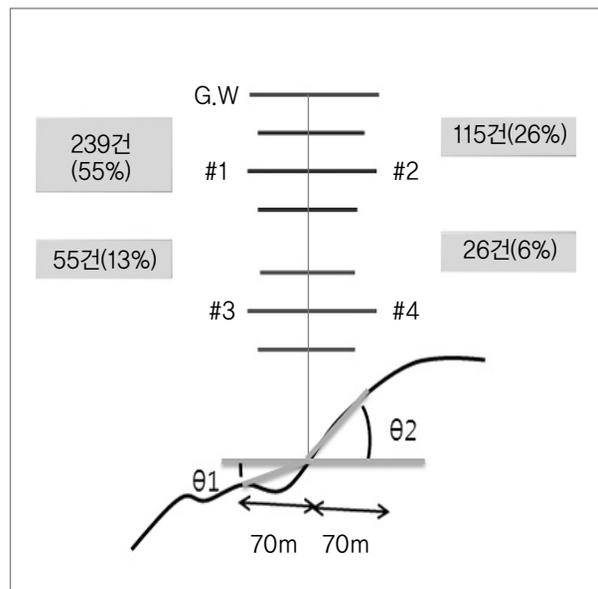
[표 2] 아킹혼섬락 고장대비 애자섬락고장 점유율

| 구 분 | 2006년 | 2007년 | 2008년 | 2009년 | 2010년 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 아킹혼 섬락고장(건) | 228 | 292 | 171 | 214 | 402 |
| 애자 섬락고장(건) | 17 | 16 | 8 | 12 | 16 |
| 애자고장 점유율(%) | 6.9 | 5.2 | 4.5 | 5.3 | 3.8 |

그림 6에서 보는 바와 같이 아킹혼을 양회선으로 설치한 설비의 고장확률은 미설치 설비대비 2.8배 높은 것으로 나타났고 이는 이론적으로 당연한 결과이다. 아킹혼 설치의 애자련보호의 본래의 목적으로 사용하는 것이며, 실제로 낙뢰고장 빈도는 증가시켰다. 또한, 표 2에서 보는 바와 같이 최근 아킹혼 섬락고장 대비 애자 섬락고장비율은 3.8~6.9%로 애자보호 효과가 있는 것으로 분석되었다.

■ 4회선 송전선로 위치별 고장분포

‘전압별·회선별 낙뢰고장률 및 대지 경사각에 따른 낙뢰고장’에서 도출된 결과와 같이 대지 경사각이 높은 측과 4회선 철탑의 상단에 고장확률이 높았다. 이를



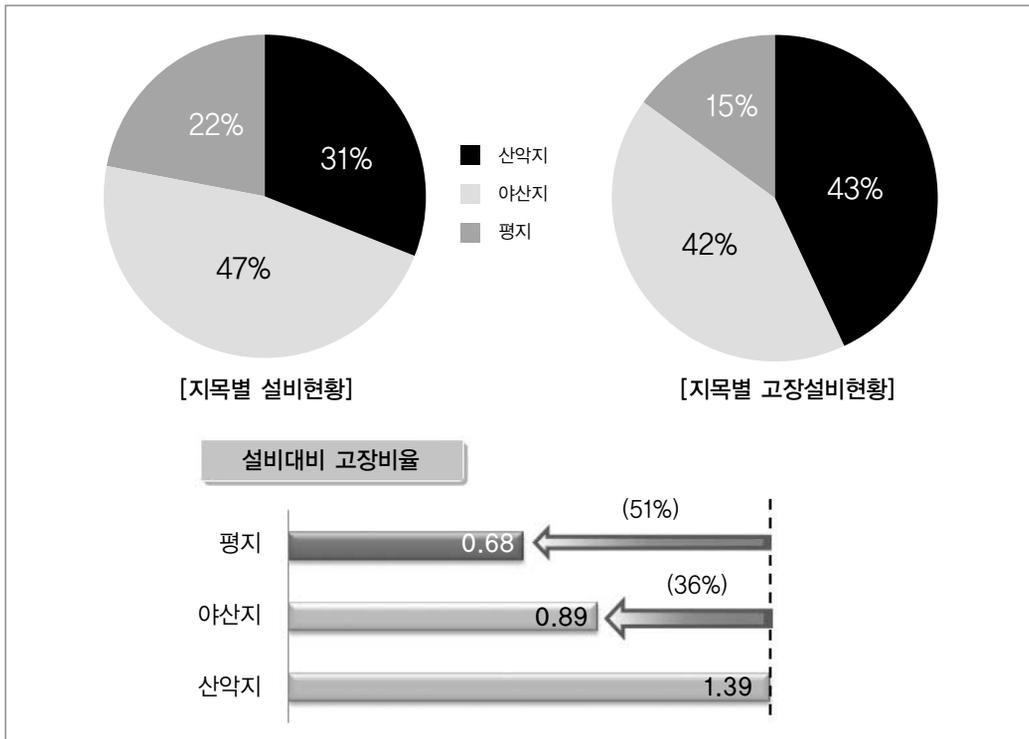
[그림 7] 154kV 4회선 송전선로 낙뢰고장 분포

고장이 많은 154kV 송전선로 4회선 선로에 적용하여 재분석하였다.

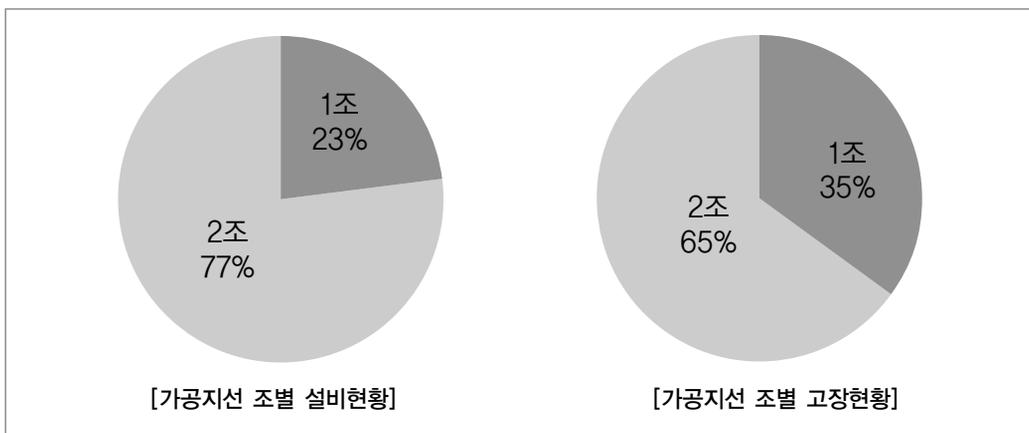
높은 상단선로를 우선 적용하는 것이 고장예방의 확률도 높일 수 있다.

그림 7과 같이 대지경사각 측 상단선로가 55%의 낙뢰고장이 발생하였다. 따라서, 송전용 피뢰기 설치 및 애자중결 등의 낙뢰예방대책을 적용할 경우 대지 경사각이

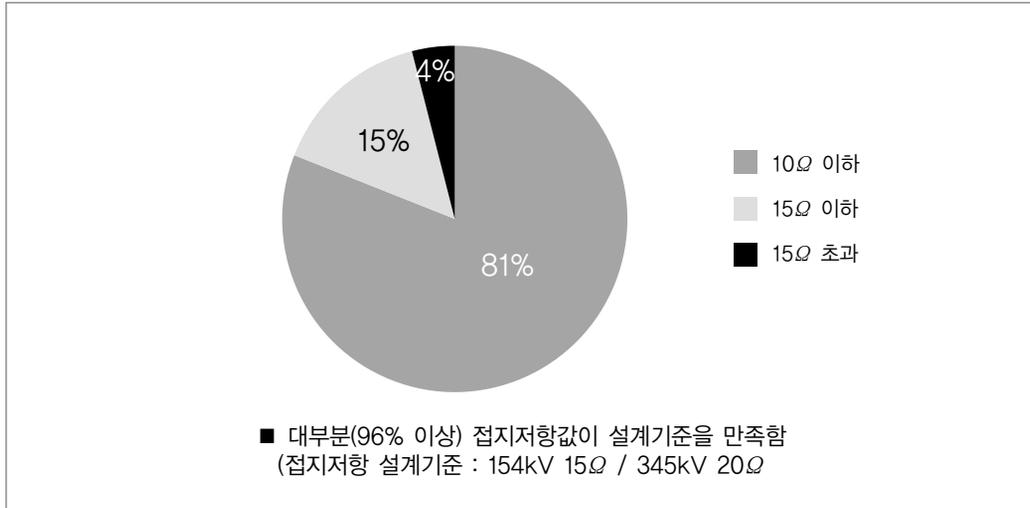
■ 지목 및 가공지선 조별 고장분석
그림 8은 지목에 따른 고장현황을 나타내고 있다. 산악지의 경우 31%의 설비현황을 가지고 있지만 고장은



[그림 8] 지목에 따른 낙뢰고장 분포



[그림 9] 가공지선 조별 고장현황



[그림 10] 가공지선 조별 고장현황

43%를 점유하고 있다. 평지와 산악지를 설비대비 비율로 비교하면 평지는 산악지 대비 51%나 낮게 고장이 발생함을 알 수 있다. 또한, 그림 9에서 보는 바와 같이 가공지선 조별 고장현황을 보면 당연히 2조의 경우가 1조에 비해 고장이 적음을 알 수 있다.

■ 접지저항 값에 따른 고장분석

역섬락 고장에 많은 영향을 미치는 접지저항 값을 10개년 낙뢰고장 현황으로 분석하였다. 결과는 그림 10과 같다.

그림 10에서 보는 바와 같이 96% 이상이 접지저항 기준 값에 만족함을 알 수 있다. 따라서 접지저항 값을 기준 이하로 낮추어도 낙뢰고장 저감효과에는 많은 영향이 없음을 알 수 있다.

3. 전망

2001~2010년 한전에서 운영 중인 실제 송전설비에 발생한 고장들을 전압, 회선, 대지 경사각, 접지저항 값,

아킹흔 설치여부 등 16개 인자들을 통하여 분석한 결과 높은 고장점유율을 차지하고 있는 154kV 송전선로에 대한 고장저감대책이 시급함을 알 수 있다. 그 중에서도 대지 경사각이 높은 4회선 선로의 상단에 대해서 설비보강 등을 우선 반영하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.

또한, 아킹흔 설치는 낙뢰고장 빈도를 증가시키지만 현재의 혼능률로는 애자보호 효과가 있으므로 아킹흔 본연의 목적대로 2회선을 동시에 설치하는 것이 타당하다. 다만, 현재 오손지구별로 상이하게 운영되고 있는 혼능률을 통일하여 설치하면 낙뢰고장이 저감됨을 알 수 있었다.

앞으로 보다 신뢰성 있는 낙뢰고장 분석을 위해서는 낙뢰고장 섬락위치, 애자의 섬락정도, 동시고장에 대한 고장통계 기준정립 등이 필요하다. 이러한 데이터를 향후 수년간 추가로 관리하여 분석한다면 보다 신뢰성 있는 낙뢰고장 원인파악 및 대책수립이 가능할 것으로 예상된다. KEA