

## 가공전선 경간 중간 단선고장 에 관한 연구

박철배\*, 정종만\*, 김동명\*, 김한홍\*  
한국전력공사 설비진단센터

### A Study on the Breaking down of overhead line in the middle of span

Hanl-hong Kim\*, Chul-bae Parkn, Jong-man Joung, Myeong-ho Choi  
Korea Electric Power Coporation Facility Diagnosis Center

**Abstract** - 한국전력공사 배전선로의 가공설비(특고압)는 2011.03 현재 약 615,089 km가 설치 운전 중에 있으며 해마다 가공전선 단선 고장이 일어나고 있어, 원인 규명 및 방지대책을 강구하고 있다. 본 연구에서는 가공전선 단선사고의 일반적인 사례 LP 애자 설치개소가 아닌 선로 중간에서 단선 고장난 사고사례에 관한 것으로써 전선피복(절연체)의 두께와 impulse voltage에 따른 Pinhole 형성 그리고 단선 메커니즘에 대해서 기술하였다.

#### 1. 서 론

절연전선의 단선고장의 원인을 발생원인별로 분류 하면, 뇌 서지, 부식, 이물질접촉 그리고 화학 부식으로 나눌 수 있으며 간략하게 정리하면 다음과 같다.

- 가. 뇌 서지에 의한 아크 용단은 직격뢰 혹은 근접 유도뢰에 의해 고정 된 아크점에 의해 단시간에 단선되는 현상을 말한다.
  - 나. 응력부식 단선은 대기 중의 부식성 수분이나 빗물과 같은 외부 환경에 의해 전선 부식이 진행되어 응력의 집중에 의해 단선되는 현상이다.
  - 다. 기계적 충격에 의한 단선은 외부환경에 의해 피복이 손상되어 누설전류경로를 형성하여 종국적으로 전선이 단선되는 현상을 말한다.
  - 라. 부식 단선은 흔히 염진해 지역에서 관찰되는 것으로써 도체가 부식되어 지속적인 방전에 의해 단선되는 현상을 말한다.
- 본 논문에서는 상기와 같은 여러단선 고장 요인중에 뇌 서지 및 응력 부식에 의한 고장 사례에 대해서 기술하고 있다.
- 본 논문에서는 일반적으로 단선이 발생하고 있는 LP(Line Post) 애자 설치개소가 아닌 경간 한 중앙에서 발생한 경우에 관한 것으로써 절연체 손상에 따른 단선에 대한 실험시험과 단선 메커니즘에 대해서 연구하였다.

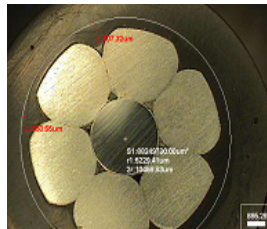
#### 2. 본 론

##### 2.1 시료발취

본 연구에 사용된 시료는 22.9kV ACSR-AW/OC 58mm<sup>2</sup>으로 좌우 경간이 약 60m으로 구성된 배전선로에서 약 20m 지점에서 단선된 전선을 가지고 가지고 실험을 수행하였다. 제조당시의 절연체 편심 제작유무를 확인하기 위해서 그림1과 같이 수직으로 자른 다음 각각 시료를 polishing 한 후 Sometch 사 Camscope를 이용하여 반도전층 및 절연체 두께를 각각 측정하여 기준값과 비교하였다.



〈그림 1〉 단면발취



〈그림 2〉 반도전층 및 절연체 두께 측정

그림 2와 같이 전선 단면을 40배로 확대하여 절연체의 평균두께는 약 15.38mm로 한국전력공사 표준규격(ES-6145-0008)에서 규정한 15.7mm의 97.9%로 규격과 큰 차이가 없었으나, 반도전층의 두께가 최소 345μm에서 최대 870μm으로 편차가 심하며, 내부 굴곡 또한 심한 상태였다.

또한 절연성능을 저해 시키는 외부환경중 대표적인 전선관리 상태를 보기 위해서 단선된 부분의 전선의 외피를 관찰하여 그림 3에 나타 내

었다.

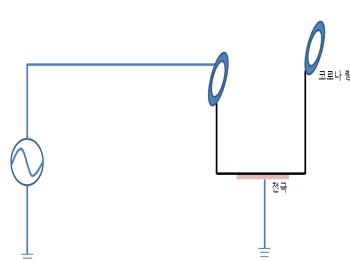


〈그림 3〉 전선 외피상의 scratch and micro hole

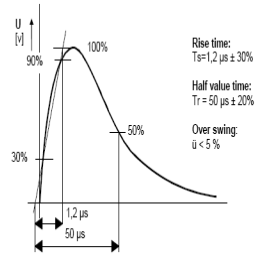
그림 3은 단선된 전선의 좌우의 외피에 나타난 scratch 및 micro hole의 사진이다. scratch의 경우 전선이 바닥에 끌리면서 형성된 것으로 추정하고 있으며, micro hole의 경우에는 상당한 무게로 전선을 누르거나 표면 미세 방전에 의한 것으로 추정된다. 이러한 현상들은 절연체와 도체와의 두께를 줄어 절연층의 절연내력을 약화시켜 종국적으로 절연과 괴를 일으킬 수 있다.

##### 2.1.1 절연체 두께에 따른 뇌충격 섬락실험

상기와 같은 현상을 실험시험 하기 위해서 절연체 두께에 따른 Pinhole 형성을 실험시험을 하였다. 실험에 사용된 실험장비는 HAEFELY사의 IVG(Impulse Voltage Generator) 사용하였으며 실험 구성도는 그림 4 및 5와 같이 구성하였다.



〈그림 4〉 실험 구성도



〈그림 5〉 인가파형

실험은 현장에서 발취된 전선과 새로운 전선을 이용하여 실험을 하였으며 시험전압 인가부와 전선과의 옆면방전을 줄이고자 전선 양단에 코로나 링을 연결 하고 전극의 크기를 최소화 하여 그림6 같은 impulse 시험 전압을 인가하였다



〈그림 6〉 현장 절거전선의 핀홀

실험한 결과 현장에서 절거한 전선은 한전구매시방서의 기준치는

270kV(부극성)보다 훨씬 낮은 전압에서 160kV(부극성)에서 핀홀이 생성되었으며, 새로운 전선의 경우에는 기준치 이상으로 측정되었다. 새로운 전선(ACSR-AW/OC 58mm)을 이용하여 절연체 두께에 따른 뇌 충격 절연과피 실험을 실시하였다.

표 1에는 한국전력공사 구매규격서에서 해당 전선(58mm)의 규격을 발췌한 것으로 반도체층을 포함한 절연체는 약 3mm 이고 반도체층을 제외한 순수 절연층은 약 1.2mm로 구성되어 있다.

〈표 1〉 ACSR-AW/OC 58mm의 규격

공칭 단면적(mm <sup>2</sup> )	도체 외경(mm)	두께(mm)			외경(mm)
		내도	절연	피복	
58	9.7	0.6	1.2	1.2	15.7

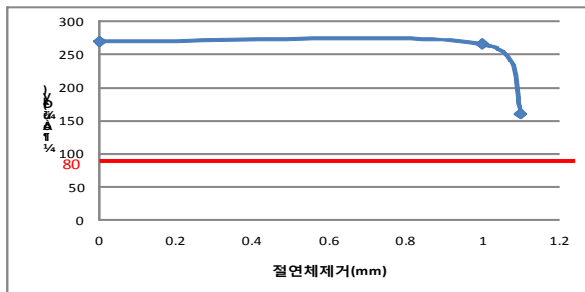
본 실험에서는 1.2mm의 절연층의 두께를 조절한 다음 impulse 전압을 인가하여 핀홀이 발생하는 전압을 측정하여 절연체의 손상에 따른 현상을 관찰 하였으며, 핀홀이 생성된 전선에 impulse 전압을 계속 인가하여 고정 핀홀 생성 또한 확인 하였다.

절연체의 두께조절은 외경을 측정하면서 전선의 피복을 밖에서 안쪽방향으로 잘라내면서 실험하였다.



〈그림 8〉 새로운 전선의 핀홀

새로운 전선에서는 그림 8과 같이 절연체 일부를(1.2mm) 제거하고 전극을 씌운 부분에서 핀홀이 발생 하였다.



〈그림 9〉 절연체(피복) 제거에 따른 섬락 전압 및 핀홀 고정섬락전압

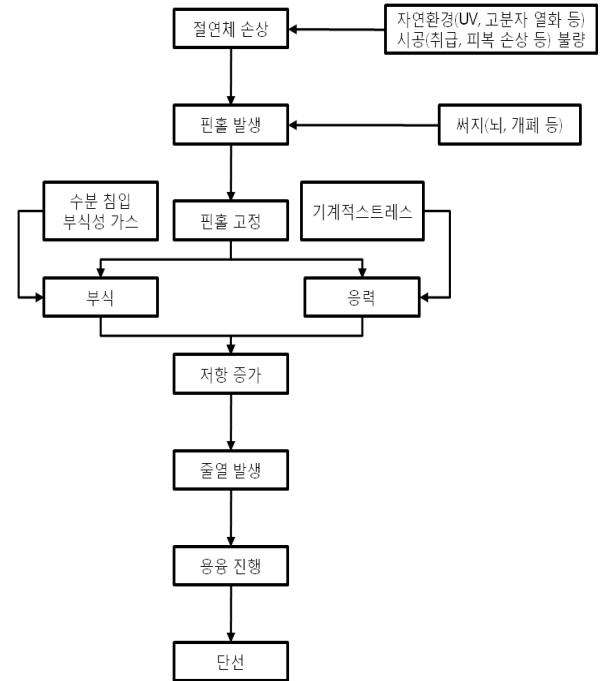
그림 9는 새로운 전선의 피복제거에 따른 섬락 전압을 측정하여 파란색 그래프로 나타낸 것으로써 실험실 환경에서 impulse 전압에 의해 절연과피는 전압은 그림과 같이 비선형적 현상을 보이고 있다. 절연체인 피복의 두께는 반도체층을 제외하고 0.2mm 이상 일때는 매우 양호한 특성을 보이다가 0.1mm에서는 절연이 파괴되어 약 160kV에서 절연이 파괴됨을 보이고 있다.

또한 피복을 제거하지 않은 채 핀홀이 발생한 전선에 대해서 지속적으로 impulse 전압을 인가 했을 경우에는 그림 9의 빨간색 그래프처럼 절연과피 전압이 일정하였으며, 절연과피 경로는 새로운 핀홀을 생성하지 않고 기존에 생성된 부분으로 계속 파괴되는 현상을 보였으며, 그 값은 약 80kV로 일정하게 측정 되었다.

## 2.2 단선 메커니즘

상기 실험결과와 여러 문헌을 참조하여 단선 메커니즘을 그림 10과 같이 작도하였다. 여기에서의 기본 가정은 “전선은 매우 양호한 상태로 제작 되었다.”라고 가정하였는데 이는 제조사의 결함 즉 도체나 반도체층이 편심 또는 도출 된 부분이 없이 제작 되었음을 뜻하고 있다.

상기 실증 시험에서 알수 있듯이, 시고 또는 자연환경에서 전선 절연체 즉 피복이 외부 환경에 의해서 손상이 되고 이는 전선의 절연 두께를 감소시켜 종국적으로 전선의 절연내력을 저하시켜 썩지 등에 의해 핀홀이 형성되게 된다.



〈그림 10〉 전선 단선 메커니즘

그림 10은 전선단선의 전형적인 예인 LP 애자단선의 경우와 다른 공간 중간에서의 단선에 관한 메커니즘을 작도한 것이다.

본 고에서는 절연체의 손상을 크게 2가지로 고분자의 열화에 의한 표면 크랙과 시공불량으로 나누었다. 고분자의 열화는 대개 UV에 의해서 고분자의 결합이 끊어져 미세 크랙을 발생시키는데 이는 대부분이 절연체 제조사의 결함으로 볼 수 있으며, 절연체의 외부 손상은 흔히 시공자들 부주의에 의해 발생되는데 대표적인 사례로는 전선을 바다에 끌거나 도로 횡단시 차량에 의해 손상되는 경우이다. 이렇게 손상된 절연체 즉 피복은 상대적으로 에너지가 적은 썩지에 핀홀이 쉽게 발생될 수 있다. 발생한 핀홀을 통해서 대기중 수분, 부식성 가스 등에 의해 응력부식이 진행된다. 이러한 응력부식에 의한 도체의 국부적 저항증가는 줄열을 발생시켜 도체의 용융이 진행된다. 또한 절연체가 존재하는 피복전선의 경우에는 절연체가 열의 흐름을 차단하여 나전선에 비하여 대단히 빠른 시간에 용단되는 결점을 가지고 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 배전선로(22.9kV 다중접지) 전선의 단선에 관하여 기술한 것이지만, 일반적인 고장사례인 LP 애자 부분이 아닌 공간 중간의 고장에 대해서 논한 것이다.

공간중에서 발생한 고장에 대하여 실증 시험과 단선 메커니즘에 대해서 상기와 같이 실험 및 정리를 하여 다음과 같이 결론 정리하였다.

1. 절연체(피복) 건전한 상태에서의 절연내력은 양호하며, 한번 생성된 핀홀은 이동하지 않으며 고정되어 전선의 절연성능을 저하시킨다.
2. 절연체의 손상은 썩지등에 의해 핀홀을 발생시켜 종국적으로 응력부식에 의해 전선 단선 고장을 일으킬 수 있다.
3. 선로 중간에서의 단선 메커니즘을 정리하였다.
4. 향후 추가 실험을 통해 절연체의 손상의 종류(도체 변형, puncture 등)와 절연과피와의 상관관계에 대해서 정리 하고자 한다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 기술연구원, “AL배전선의 신뢰도 향상대책”,1986.
- [2] 한전전력연구원, “배전선에서의 전기아크 발생원인 규명 및 아크로 인한화재 발생 가능성 실증연구”, 2005