

노후 송전선로의 가공송전선 직선 슬리브 분석 연구

김병걸, 김상수, 안상현, 손홍관, 박인표, 장태인*
한국전기연구원, 한국전력연구원*

The Study on Aged Sleeves for Old Transmission Lines

Byung-geol Kim, Shang-shu Kim, Sang-hyun Ahn, Hong-kwan Sohn, In-pyo Park, Tae-in Jang*
KERI, KEPRI*

Abstract : A detailed study on aged sleeves for old transmission lines was carried out to clarify the deterioration of sleeves and the condition of installation. A lot of removed aged sleeves from transmission lines were investigated. Many biased installed cases and corrosion of steel sleeve part were found. These defects can cause a serious accident such as blackout during operating. The detailed results were presented in the text.

Key Words : Aged Sleeve, Biased Installation, Corrosion of Steel Sleeve

1. 서 론

전력소비의 증가에 따라 발전력의 증대 및 송전능력의 확대가 절실히 요구되고 있으나 지역이기주의와 집단민원 등으로 인해 송전선로의 건설은 갈수록 어려워지고 있다. 송전선로 1회선 사고시의 안정성을 확보해 두지 않으면 사고의 파급범위가 확대되어, 광역정전으로 확대될 우려가 있고, 국가기간선로에서 안정도가 붕괴되면 국가 전체의 전력망이 다운되는 혼란이 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 전선로의 송전능력은 연속허용온도에 대한 연속허용용량과 사고 시에 일시적으로 과부하 운전을 하기 위한 단시간 허용용량으로 구분되는데, 단시간 허용용량은 전선의 수명에 영향을 미치므로 이에 대한 명확한 기준과 관리가 필요하다. 현재 건설한 지 오래된 노후선로의 경우 선로 중간에 접속개소(슬리브, 압축인류클램프, 점퍼소켓 등)의 취약점이 노출되고 있으며, 이들 취약개소에 의해 송전용량이 제약받고 있는 실정이므로 이에 대한 조사와 대책이 필요한 상태이다. 선로와 접속설비인 슬리브에서 전선의 탈락사고가 종종 발생하고 있고, 이는 슬리브의 시공상의 불완전성으로 인해 발생하는 것으로 예측하고 있다. 이러한 슬리브의 불완전한 시공은 전선의 탈락에 의한 사고와 더불어 접촉저항이 기타 부위에 비해 높게 발생하여 열적 불안정성을 유발하여 계통의 사고를 유발한다.

본 연구에서는 선로에서 수거된 슬리브를 해체하여 슬리브의 시공조건을 파악하고, 시공유형을 분류하고자 한다.

2. 실 험

노후슬리브의 시공유형을 분석하기 위하여 본 연구에서는 현장에 가설되어 수십 년 동안 사용된 슬리브를 수거하여 시공유형을 분석하였다. 전선이 가설되어 사용된 지역은 울산화력과 신온산 지역의 ACSR 480mm²가공전선이다. 송전선이 가설되어 있는 지역의 환경에 따라 전선의 부

식, 도전을, 기계적 특성 및 전기적 특성이 서로 다르게 나타난다. 신온산 지역과 울산화력은 청정지역인 산악지대에서 수거한 슬리브이다. 울산화력에서 수거된 슬리브는 총 24개이며 32 ~ 35구간, 신온산에서 수거된 슬리브는 32 ~ 34구간에서 사용된 17개 슬리브로 구성되어 있다.

3. 결과 및 검토

전선의 외관형상을 그림 1에 나타내었다. 신전선에서는 AI도체와 아연도금강선의 표면에 광택과 함께 매끄럽고 균일한 형태를 유지하였으며 아연도금상태도 양호하게 나타난 반면 노후화된 전선의 경우 전반적으로 전선의 최외층의 표면부에는 비, 눈, 먼지 등으로 인하여 전류의 통전시에 반응을 하여 표면층이 검게 변화하였다. 내층은 외층과는 달리 검게 반응한 흔적은 크게 나타나지 않았으며, 전체적인 외관상으로는 큰 특징을 발견할 수 없었다. 강심의 경우, 노후화가 진행될수록 윤활제의 소실이 나타났으며, 부분적으로 아연도금층의 박리현상이 발견되었다.



a) 신전선

b) 노후 전선 및 슬리브표면

그림 1. 신전선과 노후전선

본 연구에 사용된 ACSR 480mm² 가공송전선은 중심부에 직경 2.47φ 아연도금강선 주위에 직경 3.7φ 알루미늄도체를 3층으로 연선했던 구조로 되어 있다. 따라서 외층도체는 대기 중에 노출되어 있고 오염원과 같은 부식원에 직접 접촉되어 있다. 내층도체는 수분과 같은 부식원으로부터 어느 정도 보호를 받고 있다. 그러나 부식원이 내부로 침투하게 되면 습윤 기간이 외부에 비해 길어서 부식

진행을 촉진하기도 한다. 또한 내부의 경우 강선/아연도금/알루미늄이 접촉되어 있으므로 성분이 다른 금속간의 접촉에 의하여 부식이 진행되기도 한다. 송전선에서 발생하는 부식은 대기부식과 전해부식이 있다.

신온산과 울산화력 32~35구간에 설치된 슬리브의 중심선을 따라 개봉하여 각 부위에 따라 치수를 측정하여 표 1, 표 2와 그림 2에 나타내었다. 전체적으로 살펴보면 알루미늄슬리브내에 강슬리브의 편중이 다소 발생되었으며 강슬리브의 부식이 발생되었다. 그러나 외관상으로는 알루미늄 슬리브와 강슬리브에서 치명적인 문제점은 발견되지 않았다.

표 21 슬리브의 치수변화

선종	압축 전 (mm)		압축 후 (mm)		압축 전/후 외경 (mm)	
	Al	St	Al	St	Al	St
ACSR 410	740	240	792-829	283-295	48/41.6 +0.7	24/20.07 +0.4
ACSR 480	710	240	760-795	283-295	47.6/41.2 +0.7	19.2/16.6 +0.3

표 2 노후 슬리브의 분석결과

분석	Mean	Min	Max
슬리브의 길이	750		790
슬리브의 압착구간	209	130	270
강슬리브와 도체간의 Gap	22	0	50

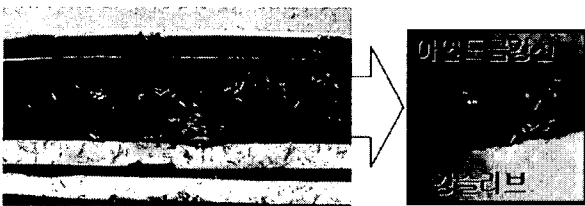


그림 2. 부식에 의한 강슬리브의 파단

압착에 의한 Al슬리브 길이는 7~15%늘어난 약 760mm로 50mm 길이변화를 나타내었다. 강슬리브 길이 변화는 18~23%로 나타났다. 슬리브압착 시 Al슬리브와 도체간에 압착되는 구간은 약 240mm 정도이다. 표 2에서 Al슬리브의 길이는 전체적으로 약 750mm이며 이는 표준치에 비하여 약 10~45mm 정도 작게 나타났다. 이는 압착 시 정상적인 압착압력에 미달하였음을 나타낸다. Al슬리브 압착과정에서 단자의 압력차에 의해 발생될 수 있다. 즉 Al슬리브를 압착할 때 압착기의 압력이 표준이하일 경우 Al슬리브는 다소 적게 밀려나가게 되며 이로 인해 슬리브의 전체길이는 760mm 보다 작아진다. 또 다른 원인으로는 Al슬리브 내 비압착 구간에 의해 발생될 수 있다. Al슬리브가 정상적으로 가설될 경우 Al슬리브 내 비압착 구간 길이는 약 240mm인 반면에 노후 Al슬리브의 비압착구간 길이는 약 240mm에서 최대 270mm로 나타났다. 즉 압착을 하지 않은 길이가 길수록 알루미늄 슬리브의

전체길이 작아진다.

강슬리브 끝단과 도체간의 간극(gap)을 나타내었다. 평균간극은 22mm이며, 최대 50mm 간극을 나타낸 경우도 있었다. 간극이 40mm이상인 샘플이 약 25% 정도를 나타내고 있으며 슬리브 내에서 양 끝단이 동시에 40mm 이상의 간극을 나타내 경우도 5%를 나타내고 있다. 간극은 Al슬리브와 전선과 압착되는 면적을 감소시키며, 열적 특성과 더불어 기계적 특성을 저하시킬 수 있다.

Al슬리브내에서 전선이 압착되는 거리는 평균적으로 약 209mm이며, 최소 130mm에서 최대 270mm로 나타났다. 정상적인 가설에서 전선압착 길이는 약 240mm이다. 노후슬리브 경우 전선압착이 다소 편중되는 경향이 있다. 즉 Al슬리브의 양 구간 중 한구간은 Al슬리브와 전선이 270mm 압착된 반면 반대구간은 상대적으로 작은 130mm 정도 압착이 되어 있다. 이는 Al슬리브내에서 강슬리브의 위치가 다소 한쪽으로 편중되므로 인해 나타나는 현상으로 슬리브와 전선간의 밀착성을 방해하여 열적거동을 저해하여 심각한 발열현상을 유발하거나 심한 경우 전선이 가설되어 운영되는 과정에서 슬리브에서 전선이 탈락되는 사고를 유발할 수도 있다. Al슬리브에서 전선 압착거리가 140mm 이하인 경우가 약 20%를 이루고 있으며 반면에 압착거리가 260mm이상인 경우는 20%정도를 나타내었다.

Al슬리브 양 끝단에서 90mm까지는 슬리브 직경이 감소하기 때문에 이 부위는 압착을 하여도 큰 압착력을 가지지 못하는 부위이다. 따라서 노후 슬리브의 약 20%는 전선과 Al슬리브간의 압착은 최소 부위에서는 약 40mm 정도에 지나지 않는다.

이외에도 슬리브 내에서 나타난 현상으로는 그림 2의 강슬리브 부식과 더불어 강 슬리브의 파단 등이 조사되었다. Al슬리브가 가설되어 운영되는 과정에서 외관상으로는 문제점이 발견되지 않았지만 강슬리브에 심각한 부식이 존재하는 경우도 전체 노후 슬리브 중에 약 25%를 나타내고 있었다. 이러한 강슬리브의 부식은 Al슬리브와 강 슬리브사이에는 압착하지 않는 구간이 있다. 이 구간은 그리스와 같은 윤활제를 투입하여 부식을 방지하게 되어 있다. 그러나 전선이 가설되어 장시간 고온에서 사용되면 윤활제가 소실되며 비와 눈 등에 의한 습기로 메워질 가능성이 있다. 이러한 경우 강 슬리브의 부식은 급격하게 진행하게 된다. 부식이 발생한 노후 슬리브를 조사하여 보면 알루미늄도체나 아연도금강선에서는 심각한 부식의 흔적은 발견할 수 없는 반면에 강 클램프에서만 부식이 발견되었다.

신온산 지역과 울산화력 선로에서 수거된 슬리브를 해체하여 슬리브의 시공조건을 파악하고, 시공조건을 분류하였다. 수거한 슬리브의 시공유형을 바탕으로 하여 예측 가능한 시공모델을 분류하면 시공상의 문제점과 부식으로 인한 문제점 등의 나눌 수 있으며 세부적인 분류는 다음과 같이 할 수 있을 것이다.

○ 시공상의 문제점

- 정상적인 가설.
- 알루미늄 슬리브내 강슬리브의 편중.
- 강 슬리브/전선간의 간극 파다.
- 전선/알루미늄 슬리브 압착거리 미달.
- 슬리브 압착하중 미달.
- 슬리브에서 전선의 탈락.
- 부식방지용 그리스 미주입.
- 강 슬리브내 아연도금강선연선의 삽입 미달

○ 부식에 의한 문제점

- 강 슬리브의 부식.
- 강 슬리브의 파손.

4. 결 론

본 연구에서 수거된 슬리브를 해체하여 슬리브의 시공 조건을 파악하고, 시공조건을 분류한 결과는 다음과 같다. 압착에 따른 슬리브의 전체길이는 약 750mm로 표준치에 비하여 약 10~45mm 정도 작게 나타났다. 강슬리브의 길이는 280mm로 나타났다.

Al슬리브와 전선의 압착구간은 평균적으로 약 209mm이며 최소 130mm에서 최대 270mm로 강슬리브가 Al슬리브 내의 중심에 위치하지 않고 한 방향으로 편중되어 있었다. 이 현상이 심각하게 나타날 경우 슬리브와 전선간의 밀착성을 방해하여 열적거동을 저해하여 심각한 발열현상을 유발하거나 심한 경우 전선이 가설되어 운영되는 과정에서 슬리브에서 전선이 탈락되는 사고를 유발할 수도 있다.

슬리브가 가설되어 운용되는 과정에서 외관상으로는 문제점이 발견되지 않았지만 내부의 강 슬리브 부식이 노후 슬리브 중 약 25%를 나타내고 있었다. 강 슬리브의 부식은 알루미늄 슬리브와 강 슬리브사이 압착하지 않는 구간에 전선이 장시간 고온에서 사용되는 과정에 비와 눈 등에 의한 습기로 메워지므로 인해 발생할 가능성이 높다. 강 슬리브의 부식이 촉진되고 전선의 장력 등이 복합적으로 작용하게 되면 강 슬리브는 파단된다. 강 슬리브의 파단은 전선의 탈락사고를 유발하게 된다.

참고 문헌

[1] 가공송전용 전선선정기준 1210, 한국전력, 2004

[2] IEEE Standard for calculating the current-temperature relationship for bare overhead conductors, IEEE Standard 738, 1993.

[3] Draft standard for calculating the current-temperature relationship for bare overhead conductors, IEEE Standard p738, 1999

[4] The thermal behavior of overhead conductor, CIGRE Wg22-12 Electra, No. 144, 1992

[5] Overhead electrical conductors calculation methods for stranded bare conductors, IEC-1957 First Edition