

가공송전선 단시간 허용온도특성 실험 및 고찰

장태인, 박흥석, 강지원, 윤희희, 오장만, 민병욱
한국전력공사

A Study on Allowable Temperature Characteristics for Overhead Transmission Conductor

Tae-in Jang, Hung-sok Park, Ji-won Kang, Hyung-hee Yoon, Jang-man Oh, Byeong-wook Min
Korea Electric Power Company

Abstract - 송전선로의 송전능력은 크게 연속허용용량과 단시간 허용용량으로 구분되는데, 단시간 허용용량은 전선의 수명에 영향을 미치므로 이에 대한 명확한 기준과 관리가 필요하다. 단시간 운영기준의 정립을 위해서는 송전선 도체의 과부하 시간에 따른 도체수명평가 기술이 필요하며, 선로의 취약지점인 접속개소에 대한 열특성 분석이 수반되어야 한다. 본 논문에서는 과부하시나 돌발적 위급상황시 송전선의 단시간 운영과 관련된 도체 및 접속개소의 열특성을 파악하기 위하여 전선 및 접속슬리브의 고온인장강도시험과 가속열화시험을 통해 단시간 허용온도특성을 살펴보고, 그 결과에 대하여 분석 및 검토한다. 분석 및 검토결과는 ACSR계 도체의 단시간허용온도가 현행의 100℃에서 120℃ 이상으로 상향조정이 가능함을 보여준다.

1. 서 론

전력소비의 증가에 따라 발전력의 증대 및 송전능력의 확대가 절실히 요구되고 있으나 지역 이기주의와 집단민원 등으로 인해 송전선로의 건설은 갈수록 어려워지고 있다. 현재 운영 중인 송전선로의 송전능력은 아직 여유가 있는 상태이나 일부 선로의 경우 부하중대로 1회선 사고시 도체의 연속허용용량을 초과하여 일시적으로 과부하 운전을 해야 할 경우도 있으며, 이와 같은 선로는 앞으로 더욱 늘어날 것으로 예상되고 있다. 지금까지 송전선로 부하의 여유로 선로의 과부하 단시간 운영에 대한 검토가 미흡했던 것이 사실이나, 향후 송전선로 건설난의 심화, 부하의 증가 등에 따라 단시간 과부하 운전에 대한 관리 필요성이 증대될 것으로 예상된다.

송전선로의 송전능력은 연속허용온도에 대한 연속허용용량과 사고시에 일시적으로 과부하 운전을 하기 위한 단시간 허용용량으로 구분되는데 단시간 허용온도는 전선의 수명에 영향을 미치므로 이에 대한 명확한 기준을 마련하여 관리할 필요가 있다. 국내에서는 ACSR 도체의 단시간 허용온도를 100℃로 운영 중이지만 외국의 사례로 볼 때 120℃로 변경하여 적용하는 문제에 대해 검토할 필요가 있으며, 또한 현재 건설된 지 오래된 노후선로의 경우 슬리브, 압축인류클램프, 점퍼소켓 등 중간 접속개소에서의 취약지점에 의해 송전용량이 제약받을 수 있을 것으로 예상되므로 이에 대한 조사와 대책이 필요한 상태이다.

따라서, 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 송전용 도체 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 ACSR 도체 및 도체 접속개소 중 가장 취약한 지점으로 예상되는 슬리브에 대한 열특성 등을 파악하기 위하여 도체 및 접속슬리브에 대한 고온인장강도시험과 가속열화시험을 통해 단시간 허용온도특성을 살펴보고 그 결과에 대하여 분석 및 검토한다.

2. 본 론

2.1 가공전선 및 슬리브의 고온인장강도 특성

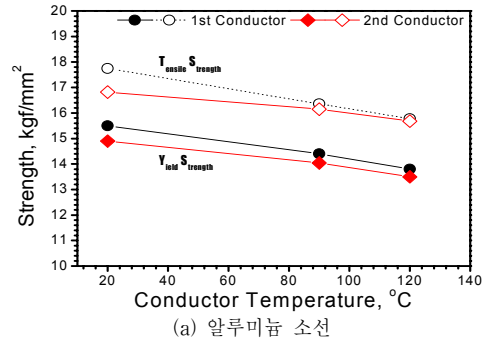
2.1.1 AI 소선 및 아연도금강선(ACSR 410mm²)

가공송전선은 통전전류에 의한 저항열과 철탑 지지물 사이의 인장력에 동시에 노출되어 있다. 고온인장강도시험은 이와 같은 조건을 모의하기 위한 가장 적당한 시험방법 중의 하나이다.

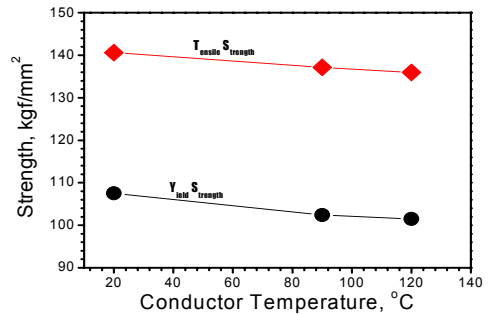
그림 1은 신전선의 알루미늄소선과 아연도금강선의 고온인장강도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 온도가 상승함에 따라 알루미늄소선, 아연도금강선의 인장강도는 온도에 직선적으로 비례하여 감소하였다. 120℃에서 고온인장 시험한 경우 인장강도가 알루미늄소선 15.7kgf/mm², 아연도금강선 135.98kgf/mm²로 나타났으며, 상온인장특성과 유사하게 내층의 고온인장강도가 외층에 비해 다소 높게 나타났다. 전반적으로 전선의 연속허용온도(90℃)와 추정 단시간허용온도(120℃)에서 양호한 고온강도 특성을 나타내었다. 상온인장강도는 알루미늄소선 17.0kgf/mm², 아연도금강선 140.6kgf/mm²이다.

2.1.2 전선 및 슬리브(ACSR 410mm²)

ACSR 410mm² 전선은 12,000kgf 이상의 인장강도 인가상태에서 90℃와 120℃에서 온도증가에 따라 신율이 증가하였으며, 최종파단 인장강도가 90℃에서 약 14,812kgf, 120℃에서 약 14,502kgf로 나타났다. 이 인장강도 수치는 120℃에서도 상온인장강도의 약 95.4%로 상당히 우수한 인장강도특성을 보여주는 것이다. 또한 ACSR 410mm²용 슬리브의 고온인장강도는 90℃와 120℃에서 각각 14,642kgf과 14,532kgf(상온인장강도의 97.3%와 96.6%)로 역시 상당히 우수하게 나타났다. 이들 실험결과는 단시간허용온도를 100℃에서 120℃로 상향시켜도 전선의 강도적인 측면에서는 충분히 여유가 있음을 보여주고 있다.

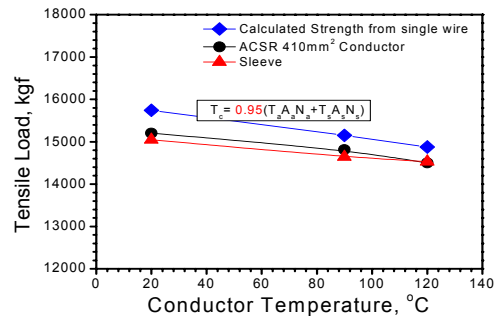


(a) 알루미늄 소선



(b) 아연도금 강선

<그림 1> ACSR 410mm² 전선의 소선별 고온인장강도



<그림 2> ACSR 410mm² 전선 및 슬리브의 고온인장강도

2.2 가속열화에 의한 가공전선 기계적 특성

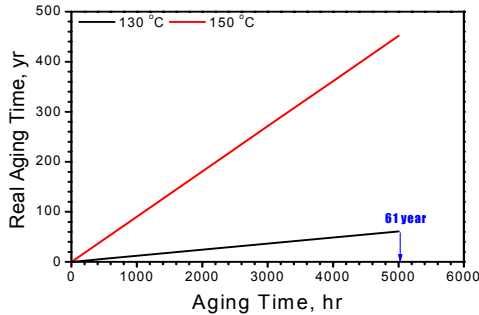
2.2.1 열특성 실험방법

단시간 허용온도에서 실제 가설되어 장시간 사용된 재료와 유사한 물성변화를 갖는 시료를 얻기 위해서는 인공챔버 내에서 실사용 온도보다 높은 온도에서 연속적으로 등온가열 후 시험하는 가속열화 시험법을 이용할 수 있다.

본 논문에서는 전선의 수명에 절대적인 영향을 미치는 알루미늄 도체를 가속열화시켜 과부하 시간에 대한 전선의 건정성을 모의하였다. Al 도체의 경우, 각 온도에서의 사용시간은 자기확산계수 이론에 의해 식 (1)로 표시될 수 있다. 여기서, R은 기체상수, Q는 Al의 자기확산에 필요한 활성화 에너지, T₁, T₂는 시험을 위한 온도, t₁, t₂는 사용시간이다.

$$t_2 = t_1 \exp \left[\frac{Q}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right] \quad (1)$$

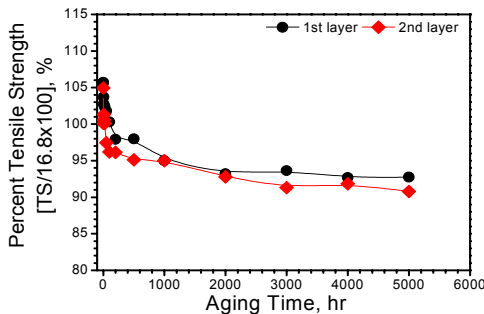
식(1)로부터 임의 온도에서 장시간 사용한 것과 동일한 열화시편을 얻기 위한 열처리 시간을 계산할 수 있다. 이 식을 이용하여 가공송전선내 Al도체의 가속열화를 위해 가속열화용 챔버 내부의 온도를 130℃와 150℃로 균일하게 유지하면서 최대 5,000시간 동안 등온 가열하였다. 130℃에서 약 5,000시간 동안 가속열화한 경우는 실제 전선이 연속허용온도인 90℃에서 61년간 사용된 경우와 동일한 조건이다. 여기서는 가속열화의 여러 조건 중 인장강도와 부식의 영향을 배제한 열적 열화만 고려하였다. 130℃와 150℃에서 가속열화 된 Al도체의 열화시간과 실제경년시간과의 관계를 그림 3에 나타내었다.



〈그림 3〉 가속열화시간과 경년시간과의 관계

2.2.2 Al소선의 인장강도 특성

130℃, 4000시간 가속열화에서 Al소선의 강도잔존율은 내층이 92.68%, 외층이 91.85%로 약 7%정도 감소하였다. 전 열화시간 5000시간 동안 전선의 인장강도 잔존율은 90%이상으로 나타났다. 150℃ 열화곡선은 130℃ 열화곡선보다 낮은 값이나 같은 온도로 환산할 경우 거의 일치하는 결과를 보였다. 기준강도는 KSC 3111의 알루미늄소선(4.5φ)의 평균 인장강도 16.8kgf/mm²이다.



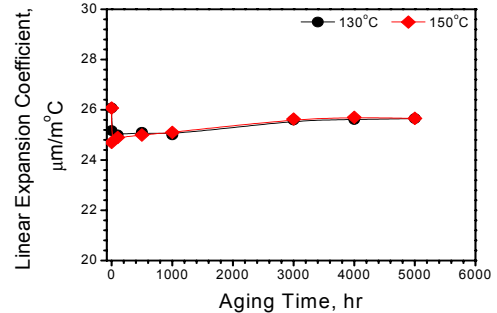
〈그림 4〉 130℃에서 가속열화 시간에 따른 Al소선 잔존강도비

ACSR 410mm² 가공송전선은 120℃에서 연속사용시간 약 5년, 150℃에서 약 2000시간 동안 사용하여도 기계적인 인장강도 90%이상의 안정적인 특성을 유지함을 보여주고 있다.

그림 4의 열적변화 거동과 국내의 일시적 과부하 운영시간 등을 고려하면 국내 ACSR 가공송전선의 단시간허용온도를 100℃에서 120℃로 변경하여도 전선의 수명기간 동안 안정적인 특성을 유지할 수 있는 것으로 생각된다.

2.2.3 Al소선의 선팅창 특성

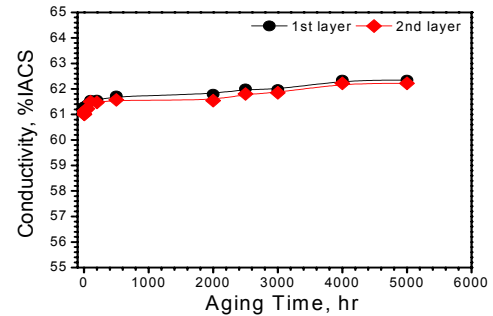
신전선에 대하여 130℃ 및 150℃에서 약 5000시간 열화과정에서 Al소선의 온도에 대한 길이팽창 실험결과 열화온도와 열화시간에 대해 Al소선의 길이팽창은 거의 변화가 없음을 보였다. 신전선의 선팅창계수는 26.0μm/m℃이고, 150℃에서 5000시간 열화된 소선의 선팅창계수는 25.66μm/m℃로 0.34μm/m℃ 정도 낮게 나타났다. 이러한 수치는 열화시간과 시험편의 상태 등을 고려하면 무시할 수 있을 정도이다. 즉 Al소선의 선팅창계수는 열화온도와 열화시간에 거의 무관하게 약 25.0~26.0μm/m℃의 값을 유지하고 있음을 확인하였다.



〈그림 5〉 가속열화 시간에 따른 Al소선의 선팅창계수 변화

2.3 가속열화에 의한 가공전선의 적기적 특성

부식 및 기계적인 피로 등에 의한 열화는 고려하지 않고 온도에 의한 열화만을 고려하여 Al소선의 전기적 특성으로서 도전율을 검토하면, 신전선 Al소선의 내층이 61.21%IACS, 외층이 61.05%IACS로 한국전력의 규정치인 61%IACS를 만족하였고, 150℃, 5000시간 열화된 Al소선의 경우 내층이 62.34%IACS, 외층이 62.22%IACS로 약 1%IACS 증가하였다. 또한 외층에 비해 내층의 도전율이 약간 높게 나타났으며 각 온도에서 열화시간과 열화온도에 따른 도전율은 큰 변화가 없었지만 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 130℃ 열화시험에서도 거의 동일한 도전율 변화 특성을 나타내었다.



〈그림 6〉 150℃ 가속열화 시간에 따른 도전율 변화

3. 결 론

지금까지 송전도체 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 ACSR 도체 및 이의 접속 슬리브를 대상으로 단시간 허용온도특성에 대한 실험을 실시하고, 그 결과에 대하여 살펴보았다. 실험결과에 의하면 ACSR계 도체의 단시간허용온도는 현행의 100℃에서 120℃ 또는 120℃이상으로도 상황이 가능한 것으로 생각되나 국외의 주요 국가들에서 장시간허용용량 및 단시간허용용량을 각각 연속허용용량의 105%~115%, 120%~150% 범위에서 적용하고 있고, 부식 등 환경에 의한 열화를 고려하여, 국내 ACSR계 도체의 장시간허용온도를 100℃ (연속허용전류의 약 110%), 단시간허용온도를 120℃ (연속허용전류의 약 130%)로 상향 조정하는 것을 검토할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 산업자원부, “국내 송전선로 설비특성을 고려한 단시간 과도경격 운영기준 정립(1차년도 보고서)”, 2006
- [2] 산업자원부, “가공송전선 허용용량 산정시스템 개발(최종보고서)”, 2005
- [3] 한국전력공사, “송전 설계기준 1210(가공송전용 전선선정기준)”, 2004