

가공송전선의 내용수명 예측

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

The Life Assessment of Overhead Conductor

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

Abstract : From the standpoint that the life of conductor is influenced by softening of Al wire, the life assessment of conductor was carried out. As a result, it was found that the estimated life of conductor was 45.2 year. The detailed description will be presented in the text.

Key Words : Life Assessment, Conductor, Softening

1. 서론

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 판리가 필요하다. 한전은 ACSR 도체의 단시간 허용온도를 100℃로 운영 중이지만 외국의 사례로 볼 때 120℃로 변경하여 적용하는 문제에 대해 검토할 필요가 있다. 단시간 과부하 운전시간에 대한 규정이 없으므로 운영자들이 과부하로 얼마 동안 운전할 것인지 판단이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 도체의 열화특성을 검토하고 도체 수명을 예측하고자 한다.

2. 실험

송전선로의 송전능력은 연속허용온도에 대한 연속허용용량과 사고시에 일시적으로 과부하 운전을 하기 위한 단시간 허용용량으로 구분되는데 단시간 허용용량은 전선의 수명에 영향을 미치므로 이에 대한 명확한 기준을 제시하기 위한 시험이다.

단시간 허용용량에서의 안정적인 물성변화 기준을 제시하기 위하여 실제 가설되어 장시간 사용된 재료와 유사한 물성변화를 갖는 시료를 얻기 위해서는 인위적으로 실사용 온도보다 높은 온도에서 등은 가속시험을 이용하여 그 물성변화를 예측하였다. 이와 같은 시험은 다음과 같은 이론적 근거를 바탕으로 그 시험조건을 설정하게 된다.

즉, Al도체의 경우, 각 온도에서 사용시간은 자기확산계수 이론에 의해 다음 식으로 표시할 수 있다. 식으로부터

입의 온도에서 장시간 사용한 것과 동일한 열화조직을 얻기 위한 열처리 시간을 계산할 수 있다

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

여기서, R은 기체상수. Q는 Al의 자기확산에 필요한 활성화에너지, T₁, T₂는 시험 온도, t₁, t₂는 사용시간이다.

3. 결과 및 검토

표 1은 신전선 ACSR 410mm²를 구성하고 있는 알루미늄도체[4.5φ]와 아연도금강선[3.5φ]의 규정치와 시험치를 나타내었다. 알루미늄도체의 인장강도는 내층이 17.75kgf/mm²과 외층이 16.82kgf/mm²로 내층이 외층에 비하여 전반적으로 약 0.9kgf/mm²정도 높게 나타났다. 또한 한전규정의 평균인장강도 16.8kgf/mm²와 유사하게 나타났다. 본 시험은 가공전선을 구성하고 있는 알루미늄도체를 해체하여 소선을 인장시험한 것이다. 이 경우 규정치는 연선하기 이전의 규정값(16.8kgf/mm²)의 95% 이상을 유지하여야 한다는 규정을 충분히 만족하였다.

아연도금강선의 인장강도는 140.6kgf/mm²로 한전규정의 평균인장강도인 130.0kgf/mm²를 상회하였다.

표 1 아연도금강선 및 알루미늄도체의 제원[신전선]

종류		탄성계수	항복강도	인장강도	연신율 %
		kgf/mm ²	kgf/mm ²	kgf/mm ²	
알루미늄도체	규정치	6300		16.9	2.0
	시험치	5500~6500	15	17.0	3.2
아연도금강선	규정치	21000		130	4.5
	시험치	21100	107	140.6	8.0

한전규정이 2.0%(알루미늄 도체)와 4.5%(아연도금강선)인 연신율의 경우에는 3.2%와 8.0% 이상의 연신율을 나타내었다. 일반적으로 강도와 연신율은 서로 상반된 물성을 나타내는 인자로서 한쪽 인자의 향상은 다른 인자의 약화

를 나타내게 되며 이것을 극복하게 위해서는 가공열처리에 의한 결정립제어 등을 통해 최적화 과정을 도모하게 된다.

표 2는 연속허용온도[90℃]와 단시간허용온도[120℃]에서 각 소선과 ACSR 410mm²가공송전선의 인장강도를 나타내었다. ACSR 가공전선과 같은 가공송전선은 운전 중에 통전전류에 의한 저항열과 철탑사이에서의 복합응력에 동시에 노출되어 있다. 고온인장시험은 이와 같은 환경을 모사하기 위한 가장 적당한 시험방법 중의 하나이다. 다만 자중이나 바람에 의한 피로거동의 영향을 함께 조사할 수는 없으나 고온 환경에서의 인장강도변화는 가공선의 단시간 온도특성을 평가할 수 있는 가장 우선적인 시험방법으로 사료된다. 표 2에 나타난 바와 같이 온도가 상승함에 따라 알루미늄도체, 아연도금강선의 인장강도는 온도에 직선적으로 비례하여 감소하였다. 120℃에서 고온 인장한 경우에는 알루미늄도체가 15.7kgf/mm², 아연도금강선이 135.98kgf/mm², ACSR 410mm²이 14,502kgf나타났으며, 전반적으로 연속허용온도와 단시간허용온도에서 아주 우수한 고온강도를 나타내었다. 인장강도에 대한 온도의존성을 실험식으로 도출하면 선형의 관계를 나타내며 다음과 같이 표현될 수 있다.

도체 $TS_{Al} \text{ (kgf/mm}^2\text{)} = 18.1 - 0.02 \times \text{Temp} \text{ (}^\circ\text{C)}$ 식 2
 강심 $TS_{st} \text{ (kgf/mm}^2\text{)} = 141.5 - 0.05 \times \text{Temp} \text{ (}^\circ\text{C)}$ 식 3
 가공전선 T(kgf) = 15,358 - 6.77xTemp(℃) 식 4

표 20 온도에 의한 인장강도 변화.

		상온 20℃	연속허용온도 90℃	단시간허용온도 120℃
Al	내층	17.75	16.36	15.78
	외층	16.82	16.15	15.68
강선		140.62	137.15	135.98
ACSR 410mm ²		15,204	14,812	14,502

그림 1은 알루미늄도체를 130℃와 150℃ 장시간 열화처리를 한 후 상온에서 측정된 인장강도 잔존율의 변화와 각 운영온도에서의 전선수명을 나타내고 있다. 이 시험을 통하여 연속허용온도와 단시간허용온도에 노출된 전선의 물성변화와 수명을 예측할 수 있다. 전선의 수명은 열화로 인하여 인장강도가 10% 감소하는 시점을 전선의 수명으로 보고 있다. 그림에서 보면 인장강도 잔존율은 열화에 따라 지수 함수적으로 감소하고 있으며, 450시간 열화에서 인장강도 잔존율이 약 90% 이하로 감소하기 시작하였다. 이 열화시간을 운영온도 90℃로 환산할 경우 약 45.2년과 동일한 결과이다. 단시간허용온도(120℃)하에서 가공송전선이 운영된다면 전선의 수명은 1.2년으로 감소하게 된다. 전선의 운영온도와 수명과의 관계는 지수 함수적으로 증가하고 있다.

이외에도 전선의 열적거동에 영향을 미치는 인자로는 선팽창계수(26.0μm/m℃)와 도전율(61.21%IACS) 등이 있다. 이러한 인자는 열화로 인하여 거의 변화를 나타내지 않았다. 다만 부식이 발생하지 않는다는 조건하에서 도전율이

62.05%IACS로 다소 증가하였다. 이는 단시간허용온도에서 열화로 인하여 가공 중에 도입된 전위 등이 소멸됨으로 기인한 것으로 사료된다.

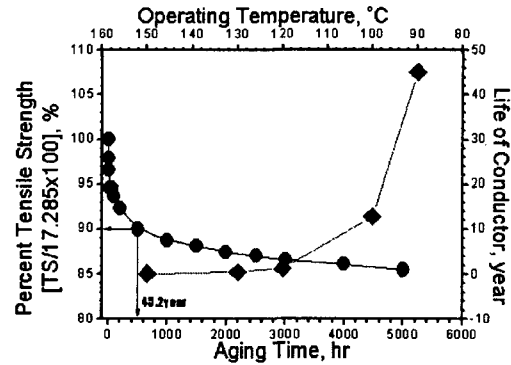


그림 1 열화온도와 인장강도 잔존율과의 관계, 운영온도와 전선수명과의 관계

4. 결론

본 연구에서 ACSR가공송전선의 기본적인 물성과 온도 특성에 대하여 조사와 더불어 송전선의 수명을 결정하는 알루미늄도체에 대하여 가속열화시켜 인장강도의 변화와 전선수명과의 관계를 조명한 결과 다음과 같다.

Al소선(4.5φ)의 인장강도는 내층이 17.75kgf/mm², 외층이 16.82kgf/mm²로 한국전력의 Al소선에 대한 평균인장강도 16.8kgf/mm²보다 높게 나타났다. 아연도금강선(3.5φ)의 상온 인장강도는 140.6kgf/mm²로 한국전력의 평균 인장강도인 130.0kgf/mm²를 상회하였다.

신전선 Al소선과 아연도금강심의 고온인장강도는 단시간 허용온도인 120℃에서 Al소선이 15.7kgf/mm², 아연도금강선이 135.98kgf/mm²로 온도와 인장강도는 선형적인 관계를 나타내었다.

열화에서 Al소선의 강도잔존율은 450시간 동안 90%이상으로 나타났다. ACSR 410mm²가공송전선은 90℃에서 45.2년간 사용하여도 열적으로 안정적인 특성을 유지할 뿐만 아니라 기계적인 인장강도도 90%이상으로 안정적인 특성을 유지할 수 있다.

참고 문헌

- [1] S.N. Taiwari and A.S.B. Sarror, "An investigation into loadability characteristics of EHV high phase order transmission lines", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 3, 1264-1270, 1995
- [2] R.D. dunlop, R. Gutman and P.P. marchenko, "Analytical development of loadability characteristics for EHV and UHV transmission lines", IEEE transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, No. 2, pp. 606-617, 1979