

## ACNR가공송전선의 개발(1) - 기계적 특성

김상수, 김병걸, 이희웅, 박주환\*  
한국전기연구원 신소재응용연구그룹, 고려상사(주)\*

### The Development of ACNR Conductor(1) - Mechanical Properties

Shang-Shu Kim, Byung-Geol Kim, Hee-Woong Lee and Joo-Hwan Park\*  
KERI, KEPRI\*, KEPCO\*\*, KOS\*\*\*

#### Abstract

최근에 미국이나 러시아를 중심으로 가공송전선의 송전효율을 증대시키고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있으며 어느 정도 성과를 거두고 있다. ACSR가공송전선에서 교류전류의 흐름에 의하여 코어(Core)에 자기장이 발생되어 투자율이 증가되고 이로 인하여 알루미늄층에서 전류밀도의 재 분포, skin effect 등으로 인하여 전력손실이 발생된다. 본 연구에서는 기존의 ACSR가공송전선의 코어(Core)인 고탄소강선 대신에 비자성이면서 고강도인 새로운 강선을 코어재료로 채택한 ACNR(Aluminum Conductor Nonmagnetic Steel Reinforced)가공송전선을 개발하여 전력손실을 감소시켰다.

Key Words : ACNR, 비자성강, 송전선의 인장강도, 미풍진동피로, 인장-인장 피로, 연선재의 피로

### 1. 서 론

현재 발전소에서 생산되는 전력이 송전 및 배전 동안에 발생하는 전력손실은 약 3.9%로 엄청난 양의 전력이 송전 라인에서 소모되고 있는 실정이다. 이런 의미에서 송전선의 송전손실을 대폭 감소시킨 새로운 초저손실 전선과 송전량을 획기적으로 증대시킨 대용량 송전선을 개발하는 것이 방법으로 제시될 수 있다. 본 연구에서는 전력손실을 감소시키기 위하여 기존의 고탄소강선을 송전선의 코어로 사용하던 것을 비자성강으로 대체하여 전력손실을 감소시킨 ACNR(Aluminum Conductor Non-magnetic steel Reinforced)송전선을 개발하였다. 현재 사용되고 있는 가공송전선(ACSR)을 기본으로 하여 알루미늄도체는 기존의 소재와 형상을 그대로 사용하였으며 지지선으로 사용되고 있는 고탄소강을 고강도비자성강으로 대체하였다. 개발된 전선(ACNR)의 강도와 비틀림강도, 부식 등의 기계적 특성과 피로특성에 대하여 조사하고자 한다.

### 2. 실험

본 연구에 사용된 고강도 비자성강의 화학조성은 표1과 같으며 내식성과 고온강도가 우수하다. 송전선의 지지선으로 사용하기 위한 제조공정은 다음과 같다. 초기 약 7~8φ의 선재로부터 흠집제거, 고융화 열처리, 산세 피막생성 및 신선과정을 거쳐 목표 직경까지 신선하였다. 이후 목적에 따라 알루미늄을 피복하는 알루미늄클래딩(Al cladding) 공정과 신선공정을 거쳐 최종적으로 3.0φ, 3.5φ 직경으로 제조하였다. 각 소선 7가닥을 연선하는 연선공정을 통해 7/3.5 연선재를 제조하였다.

표 1 고강도 비자성강(NM)의 화학성분

C	N	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Si
0.12	0.65	0.09	19.72	0.10	10.32	0.08	6.64	0.38

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 내열 특성

그림 1은 직경 3.0φ와 3.5φ 강선의 내열특성(각 온도에서 1시간유지 후 상온인장강도)을 나타낸 것으로 약 500℃까지는 상온에 비해 강도가 약 10%(19kgf/mm<sup>2</sup>) 증가하였으며 500℃이상의 온도에서는 강도가 급격히 감소하기 시작하였다. 이는 500℃이하에서는 저온시효에 의해 강도가 증가하지만, 500℃ 이상에서는 회복, 재결정 및 결정립 성장에 의해 강도가 급격히 감소한다.

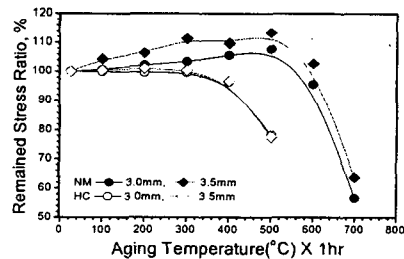


그림 1. 내열성의 변화

반면에 기존의 HC 강선은 약 300℃ 이후부터 강도가 감소하기 시작하였다. 본 연구에서 개발된 NM 강선이 기존의 ACSR전선용 강선(HC)에 비하여 우수한 내열 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.2 미소진동피로

그림 2는 알루미늄 크래딩(Al cladding)두께에 따른 피로강도의 변화를 나타낸 것으로 클래딩 되지 않은 강선의 피로강도는 약 33kgf/mm<sup>2</sup>이며 알루미늄 크래딩두께 약 0.35mm에서의 피로강도는 23kgf/mm<sup>2</sup>으로 약 10kgf/mm<sup>2</sup> 감소하였다. 크래딩두께 0.9mm에서는 18.2kgf/mm<sup>2</sup>로 알루미늄 클래딩 두께와 피로강도는 식 1)의 관계를 가지며 변화하였다. 크래딩두께가 약 0.9mm 피로강도에서도 전선의 지지선으로 요구되는 기준치(ACSR/AW의 피로강도 : 6.0kgf/mm<sup>2</sup>)를 훨씬 상회하는 우수한 특성을 나타내었다.

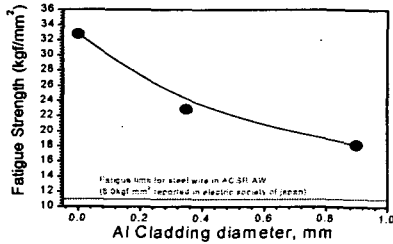


그림 2. Al cladding두께와 피로강도 변화.

$$F. S. = 31.08 - 15.57 \times (\text{Cladding Dia.}) \quad 1)$$

### 3.3 인장-인장 피로

전선의 장력과 자중에 의해 전선의 길이 방향으로 발생되는 인장 - 인장 피로는 최대공칭응력(P<sub>max</sub>)을 인장강도의 90%로부터 점차적으로 응력을 감소시키면서 시험하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

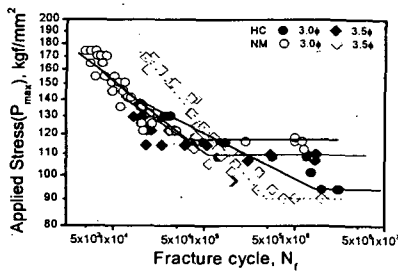


그림 3 인장-인장피로곡선

NM강선의 피로수명과 피로강도는 HC강선과 유사한 피로특성을 나타내었으며 직경에 따라 피로강도의 차이는 다소 크게 나타났으나 전반적으로 인장강도의 50 ~ 60% 수준인 90 ~ 120kgf/mm<sup>2</sup>으로 어닐링강의 40~60%수준 보다 높게 나타났다. 또한 미소진동피로의 약 32.kgf/mm<sup>2</sup>보다 3 배 이상 높게 나타났다. 이는 신선공정에서 가공방향을 따라 섬유상조직과 같이 길게 연신되므로 인하여 우수한 피로특성을 나타내었다.

### 3.4 연선재의 균형피로특성

소선 7가닥을 연선한 연선재(NM, Al cladding NM, HC wire)를 대상으로 진동피로시험을 실시하여 각 진동진폭에

서의 피로강도를 그림 4에 나타내었다. 가공송전선에서 바람에 의한 진동으로 피로파괴가 유발되는 주파수와 진동진폭은 전선의 직경과 풍속에 의해 좌우된다. 진동진폭과 전선직경과의 관계에서 피로는 전선 직경의 2배를 넘지 않는 진폭에서 발생된다고 보고되었다. 진동피로가 발생하는 진폭인 전선 직경의 2배 이하의 진폭에서 전선의 피로수명과 피로강도는 NM강선이 기존의 HC강선에 비해 우수하게 나타났다. 12mm의 진동진폭에서의 NM강선의 피로강도는 약 110kgf/mm<sup>2</sup>으로 HC강선의 80kgf/mm<sup>2</sup>보다 약 30kgf/mm<sup>2</sup>정도 더 높게 나타났다.

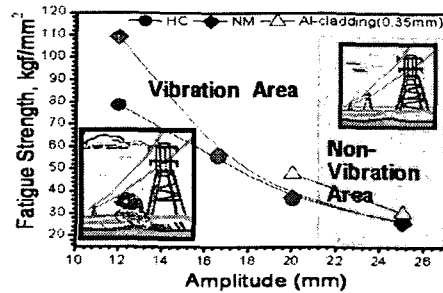


그림 4. 진동진폭에 따른 연선재의 진동피로강도.

## 4. 결과

고강도 비자성강을 가공송전선의 지지선으로 적용하여 기계적특성 분석한 결과 단시간 및 장시간의 내열특성과 크립 및 부식특성이 기존의 ACSR 강선의 지지선으로 사용되고 있는 HC 강선에 비하여 우수하였다. 그 외의 기계적 및 피로특성의 분석결과 다음과 같은 결과가 나타났다.

1. 고강도 비자성강(NM)의 강도는 HC강선에 비하여 우수하게 나타났다. 특히 상온인장강도는 약 185kgf/mm<sup>2</sup>이상으로 전선의 기준값 130kgf/mm<sup>2</sup>를 훨씬 상회하였다.
2. 미공진동피로에서 개발강선의 피로강도는 직경에 따라 약 32 ~ 35kgf/mm<sup>2</sup>으로 가공송전선의 지지선으로 사용되기 위한 요구치 32kgf/mm<sup>2</sup>를 이상으로 우수한 피로특성을 나타내었다.
4. 인장-인장 피로에서 피로강도는 인장강도의 50 ~ 65% 수준인 90 ~ 120kgf/mm<sup>2</sup>으로 나타났다.