

## STACIR/AW 410SQmm 가공송전선의 경년열화와 이도거동(III)

### Sag Behavior of STACIR/AW 410SQmm Overhead Conductor in accordance with the Aging

김상수<sup>1,a</sup>, 김병걸<sup>1</sup>, 신구용<sup>2</sup>, 이동일<sup>2</sup>, 민병욱<sup>3</sup>

(Shang-Shu Kim<sup>1,a</sup>, Byung-Geol Kim<sup>1</sup>, Goo-Yong Sin<sup>2</sup>, Dong-Il Lee<sup>2</sup>, and Byung-Uk Min<sup>3</sup>)

#### Abstract

As a way to expand electric capacity in conductor with electric power demand, STACIR/AW (Super Thermal-resistant Aluminum-alloy Conductors Aluminum-clad Invar-Reinforced) conductor which has high electric current and heat resistance characteristics have been developed. STACIR/AW power line is mechanical composite wire composed of steel cores for dip control and aluminum conductors for sending electric current. Recently, to ensure stable operation and prediction of wire life span of STACIR/AW conductor, a heat property of STACIR/AW conductor have been investigated. In the present work, a change of essential property with long term-heat exposure of STACIR/AW conductor and its structure material, INVAR wire and Al conductor, have been investigated. INVAR/AW is approximately  $3.2 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ . thermal expansion coefficient of INVAR/AW wire increases with time of heat exposure. the thermal expansion coefficient of INVAR/AW is markedly influenced by heat and mechanical treatment. creep rate(0.242) of STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> conductor at room temperature is much higher than that(0.022) at 210 °C. STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> conductor has minimum creep rate at operating temperature. To lower creep rate with increase temperature is more unique characteristics in STACIR/AW. It is expected that STACIR/AW turned its tension to INVAR/AW at the transition temperature. at room temperature, the tension apportionment of INVAR/AW in STACIR/AW is about 50 %. but whole tension of STACIR/AW is placed on the INVAR/AW alone of core metal above transition temperature.

**Key Words** : STACIR/AW conductor, INVAR/AW, Creep, Thermal expansion coefficient, Sag

#### 1. 서 론

1980년대 이후 국내에서는 전력 수요의 증가와 더불어 증용량 저이도 전선인 STACIR/AW 전선을 가설하기 시작하였다. STACIR/AW 송전선은 허용전류용량을 증가시킬 수 있는 내열알루미늄도체

(STAI)와 저이도 특성을 확보할 수 있는 인바강선(INVAR)으로 구성되어 있다. 일반적으로 송전선의 사용온도를 높이면 허용전류용량을 증가시킬 수 있으므로 경알루미늄선(HAI)에 비해 고온에서도 연화되지 않는 내열성을 갖는 알루미늄 합금도체 개발과 더불어 도전율을 증가 시켜 증용량에 따른 전력손실을 감소시키기 위하여 도전율을 동시에 향상시킬 수 있는 내열알루미늄도체 개발에 주력하여 왔다. STACIR/AW 송전선에 사용되고 있는 내열알루미늄도체(STAI)는 연속사용온도가 210 °C로 대단히 높으면서도 도전율이 60 %로 동일규격의 ACSR과 비교하여 약 두 배 가까이 송전용량이 증대되었다. 가공송전선의 사용온도를 높일

1. 한국전기연구원 신소재응용연구그룹  
(경남 창원시 성주동 28-1)
  2. 한국전력공사 전력연구원
  3. 한국전력공사 송변전처 송변전건설팀
- a. Corresponding Author : shangshu@keri.re.kr  
접수일자 : 2005. 9. 7  
1차 심사 : 2006. 1. 30  
심사완료 : 2006. 2. 2

때는 도체의 내열성 향상뿐만 아니라 전선 처짐(이도)를 억제하는 것이 대단히 중요하다. ACSR 철탑의 허용이도(처짐)를 유지한 채 허용전류용량을 증가시키려면, 내열알루미늄도체의 온도 증가에 따라 기존 강심의 열팽창이 커져 이도 증가가 수반되기 때문에, 내열알루미늄도체 사용 시에는 이도 억제를 위해 열팽창계수가 큰 기존의 고탄소강 강선 대신에 열팽창계수가 낮은 인바(Invar)강선을 사용하고 있다.

STACIR/AW전선의 연속사용온도가 210 ℃로 기존의 ACSR전선의 90 ℃에 비하여 두 배 이상 고온이므로 장시간 노출될 경우 전선의 강도, 탄성계수, 열팽창계수와 같은 소재 자체의 물성 변화와 함께 고온에서 일정한 장력이 장시간 인가될 경우 전선의 길이가 늘어나는 크립(creep)현상이 나타난다. 특히 인바강선은 투자율이 매우 높은 연자성(soft-magnetic)합금으로 장시간 고온 고하중 상태에 놓여진다면 자성체의 자기적 특성 및 소재의 열팽창특성이 급격히 열화되어 저이도 특성의 심각한 저하가 우려된다.

이미 앞서 발표한 “STACIR/AW 송전선의 장시간 운전에 따른 기계적 물성 변화”, “중용량저이도 송전선(STACIR/AW)용 인바강선의 피로특성에 미치는 경년열화의 효과”와 더불어 본 연구에서는 200 ℃와 300 ℃의 장시간 열화에 따른 선팽창계수와 크립변위량을 조사하여 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선의 이도변화에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험방법

본 연구에 사용된 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선은 지지선으로 직경 3.5 mm을 7가닥으로 연선했던 INVAR/AW강선과 도체로 직경 4.5 mm을 26가닥을 2층 구조로 연선했던 내열알루미늄합금(STAI)으로 구성되어 있다. 인바(INVAR)합금은 Fe-35Ni의 오스테나이트 단일상으로 인바합금에 알루미늄을 피복하는 크래딩(Al cladding) 공정과 신선공정을 거쳐 제조되고 있다. INVAR/AW내에서 알루미늄의 피복두께는 약 0.189 mm로 도전을 향상과 부식억제작용을 한다. 내열알루미늄합금의 조성은 Fe-0.24Zr이다.

경년열화에 따른 전선의 이도변화를 조사하기 위하여 200 ℃와 300 ℃에서 최대 10,000시간 까지 등온처리를 하였다.

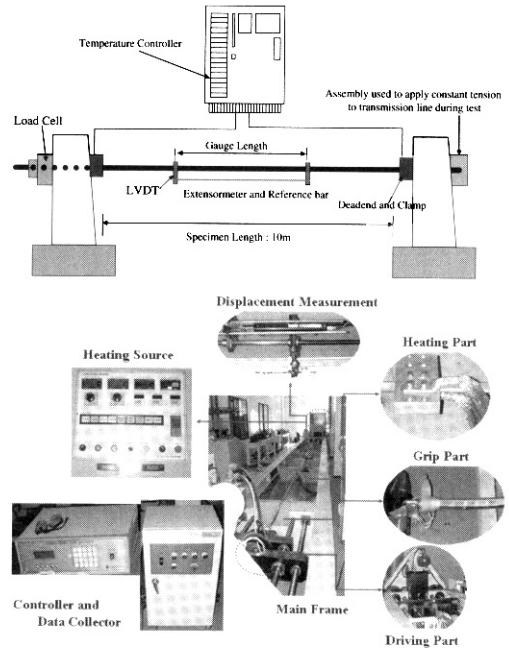


그림 1. 전선의 creep시험 장치.

Fig. 1. Schematic diagram and machine of creep test on conductor.

INVAR/AW소선과 내열알루미늄도체에 대한 열팽창계수는 Du pont사의 TMA2940 열분석기를 이용하여 상온에서부터 5 ℃/min속도로 승온하면서 변위량을 측정하였다.

전선의 열팽창계수는 각 소선에서 측정된 결과에 대하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\alpha = \frac{m \alpha_a E_a + \alpha_s E_s}{m E_a + E_s} \quad (1)$$

여기서  $\alpha_a$ ,  $\alpha_s$  : STAI과 INVAR/AW의 열팽창계수

$E_a$ ,  $E_s$  : STAI과 INVAR/AW의 탄성계수  
 $m$  :  $A_a / A_s$

STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선의 크립시험은 IEC 61395규정에 의하여 그림 1에 나타난 바와 같이 시험편길이를 약 10 ~ 15 m로 하였으며 시험하중은 전선의 인장하중의 약 20 %인 2544 kgf에서 약 1,000동안 유지하면서 변위를 측정하였다. 시험은 상온과 연속허용온도인 210 ℃에서 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전선의 이도에 영향을 미치는 인자

송전선의 이도 및 장력의 변화를 예측하고 설계하는 것은 송전선의 운영과 유지보수차원에서 대단히 중요하다. 초기 가설되어진 전선의 이도는 식 (2)에 나타난 바와 같이 전선의 장력(T)과 철탁간의 거리(S)에 의해 결정되어 진다. 전선의 이도를 크게 할수록 전선에 인가되는 장력은 작아지고 전선의 안전율은 증가하나 철탁의 높이를 크게 하고 바람에 의한 진동파괴가 발생될 확률이 높아진다. 반면에 이도를 작게 하면 전선의 장력이 증가되어 단선사고가 발생할 우려가 있으며 철탁의 하중부담이 가중되는 현상이 발생되므로 적절한 이도 유지가 필요하다.

송전선이 연속허용온도(210 ℃)에서 장시간 사용되는 과정에서 이도에 직접적인 영향을 미치는 것은 식 (3)에 나타난 바와 같이 전선의 실장이다. 이러한 전선의 실장은 식 (4)의 첫 번째 항에 나타난 전선의 강도와 탄성계수의 열화, 두 번째 항의 열팽창계수의 열화 그리고 마지막 항의 크립 변형 등으로 인하여 변화되어진다.

$$D(Sag) = \frac{WS^2}{8T} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Conductor Length}(L) &= 2P[\sinh(\frac{S}{2P})] \\ &= S + \frac{8D^2}{3S} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Delta L = \frac{T(t)}{EA} + \alpha(\theta(t) - \theta(0)) + \epsilon_c(t) \quad (4)$$

여기서 P = T/W, S는 경간, T는 장력, W는 전선무게, D는 이도이다.

#### 3.2 인장강도의 변화

그림 2는 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선에 대하여 200 ℃와 300 ℃에서 장시간 등온열처리 후 상온 인장하중과 전선 내에서 INVAR/AW강선의 인장하중비를 나타낸 것이다. 전선의 인장하중은 13,667 kgf로 INVAR/AW강선과 STAI이 각각 7,1068 kgf(52 %)와 6,560 kgf(48 %)의 하중을 분담하고 있다. 200 ℃열화에서 전선의 인장하중은 열화 초기 약 1000시간까지는 전선을 제조하기 위한 신선공정 중에 형성된 잔류응력이 소멸되는 과정에 하중이 약 500 kgf 정도 감소하였다. 1000시

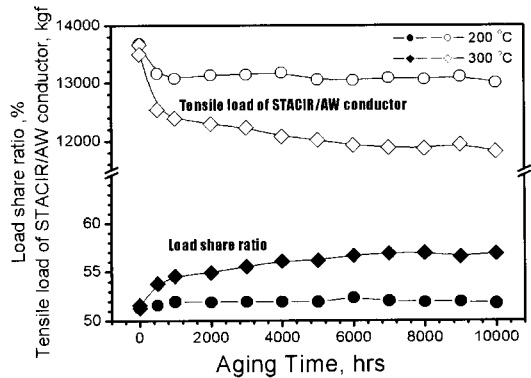


그림 2. STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> 전선의 인장하중.  
Fig. 2. Tensile load and share ratio of STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> conductor.

간 이후는 인장하중은 경년에 거의 영향을 받지 않고 일정한 값을 유지하였다.

300 ℃열화에서는 열화초기의 INVAR/AW강선의 잔류응력의 완화와 STAI도체의 열화로 인하여 약 1000 kgf 정도 감소한 후 1000시간 이후 인바의 열화에 의한 하중감소는 거의 일어나지 않고 STAI의 열화로 전선의 인장하중은 일정한 기울기를 가지며 감소하였으며, 10,000시간 경년에서 전선의 인장하중은 약 11,816 kgf로 감소하였다.

전선에서 INVAR/AW강선이 차지하는 인장하중비는 경년이 진행됨으로 증가되고 있다. 300 ℃, 10,000시간 열화된 전선에서 INVAR/AW강선의 인장하중비는 약 57 %로 열화이전의 52 %에 비하여 약 5 %정도 증가되었다. 이는 가공송전선이 고온에 장시간 노출될 경우 전선의 강도는 INVAR/AW강선에 비하여 STAI의 열화에 의해 지배된다는 것을 의미한다.

경년열화 초기 약 1,000시간까지, 전선의 급격한 인장하중감소는 잔류응력이 소멸되는 과정에서 나타나는 현상으로 강선을 신선하는 과정에 생긴 공공원자, 전위와 같은 결함이 200 ℃ ~ 300 ℃의 저온에서 유지하게 되면 열역학적으로 불안정하기 때문에 원자의 열진동에너지가 증가하며 격자결합의 이동이 쉬워져 그 배열을 변화하여 상호결합 소멸된다. 그 결과 격자결합부분에 집적되어 있는 변형에너지는 점차적으로 감소하고 이에 따라 잔류응력이 감소한다[1,2].

#### 3.3 열팽창계수의 변화

그림 3은 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> 송전선을 구성

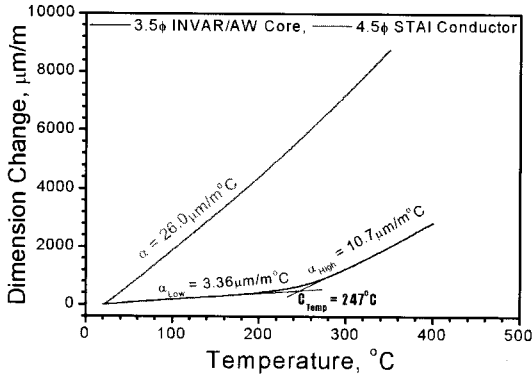


그림 3. INVAR/AW강선과 STAI도체의 온도신율 특성.  
Fig. 3. Temperature-strain properties of INVAR/AW core and STAI conductor.

하고 있는 INVAR/AW강선과 STAI 도체의 온도신율을 나타낸 것이다. INVAR/AW강선은 저온측(RT ~ 자기변태온도)에서는 극히 적은 온도의존성을 나타내지만 고온측(자기변태온도 이상)에서는 큰 온도의존성을 나타낸다. 자기변태온도는 약 247°C 부근에서 나타났으며 이 온도이하에서는 강자성체이고 이상이 되면 상자성체로 변태된다. 따라서 상온에서 자기변태온도까지의 온도구간에서는 자기변형이 발생하여 수축하며, 이것이 열팽창과 상쇄되어 아주 작은 선팽창계수를 나타내지만 자기변태온도 이상의 온도에서는 큰 선팽창계수를 나타낸다. 상온에서 230°C까지의 온도구간에 대한 선팽창계수는 3.36 μm/m°C이며 230°C에서 290°C까지의 온도구간에 대한 선팽창계수는 약 10.7 μm/m°C로 나타났다. STAI 도체의 선팽창계수는 전온도구간에 걸쳐 약 26.0 μm/m°C를 나타내었다.

그림 4는 각 온도에서 경년열화한 INVAR/AW강선과 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선에 대하여 상온에서 230°C구간의 열팽창계수의 변화를 나타낸 그림이다. STAI도체의 열팽창계수는 열화온도와 열화시간에 무관하게 26.0±0.5 μm/m°C로 일정하게 나타났다. INVAR/AW강선과 STACIR/AW전선의 열팽창계수는 열화온도에 의해서는 거의 영향을 받지 않았지만 열화시간이 경과함에 따라 증가하다가 약 6.0 μm/m°C, 23.0 μm/m°C로 포화되었다. STACIR/AW 전선의 열팽창계수는 INVAR/AW강선의 열화로 인하여 증가되었다.

INVAR/AW강선의 열팽창계수는 인바내의 알루미늄 클래딩(cladding) 두께, 기계적 가공, 탄소함

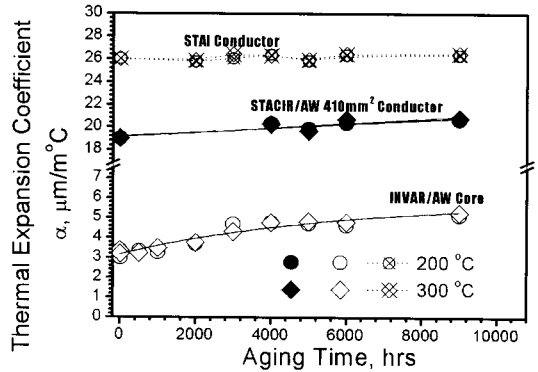


그림 4. 경년열화에 의한 열팽창계수의 변화.  
Fig. 4. Change of thermal expansion coefficient in accordance with aging.

유량에 영향을 받는다. 알루미늄의 클래딩 두께가 증가하면 알루미늄의 열팽창계수의 영향으로 INVAR/AW강선의 열팽창계수가 증가한다. 또한 기계적 가공에 의해 도입된 잔류응력에 의해서도 열팽창계수는 감소한다. Guillaume에 의하면 인바내의 탄소가 저온에서 장시간 유지되면 Fe<sub>3</sub>C가 형성되고 상자성(paramagnetic)체에서 강자성(ferromagnetic)체로 변화되어 체적이 증가되어 열팽창계수가 증가한다고 보고하였다[3,4].

본 연구에 사용된 INVAR/AW강선의 경년에 따라 열팽창계수의 증가는 기계적 가공에 의해 도입된 잔류응력의 감소와 탄소의 함량에 따른 graphite의 형성에 의해 증가된 것으로 사료된다[5,6]. 이러한 전선의 열팽창계수 증가는 전체적으로 전선의 실장을 증가시켜서 이도 증가를 초래한다.

### 3.4 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선의 전이온도

STACIR/AW 전선은 선팽창계수가 서로 다른 이중금속으로 구성되어 있기 때문에 온도에 대한 신율과 하중거동은 각 소선과는 다른 복잡한 거동을 나타낸다. 일반적으로 상온에서의 전선장력은 그림 2에 나타난 바와 같이 구성소재의 인장강도와 단면적에 비례하여 INVAR/AW강선과 STAI도체에 각각 52%와 48% 부과되지만 전선의 온도가 t(°C)까지 증가하면 도체부와 강심부의 선팽창계수의 차이에 의하여 도체부의 장력은 감소하고 강심부의 장력은 증가한다. 각 부위에 대한 신율과 장력은 식 (5)와 식 (6)을 따라 변화한다.

$$\alpha t = \alpha_a t - \frac{\Delta T_a}{E_a A_a} = \alpha_s t + \frac{\Delta T_s}{E_s A_s} \quad (5)$$

$$T = (T_a - \Delta T_a) + (T_s + \Delta T_s) \quad (6)$$

$$\Delta T_s = \Delta T_a$$

여기에서 식 (6)을 식 (5)에 대입하여 알루미늄 도체의 감소하는 장력  $\Delta T_a$ 을 구하면 식 (7)과 같다.

$$\Delta T_a = \frac{(\alpha_a - \alpha_s)tE_aE_sA_aA_s}{E_aA_a + E_sA_s} \quad (7)$$

- t : 전선의 온도
- A<sub>a</sub>, A<sub>s</sub> : 연선에서 Al도체와 인바의 단면적
- E<sub>a</sub>, E<sub>s</sub> : Al선과 인바선의 탄성계수
- α<sub>a</sub>, α<sub>s</sub> : Al선과 인바선의 열팽창계수
- T : 임의의 온도에서의 전선의 장력

이와 같이 전선의 온도가 t<sub>0</sub>에서 t<sub>1</sub>으로 변화할 때 도체부와 강심부간에 마찰이 없다고 가정하면 각각의 선팽창계수는 도체부(α<sub>a</sub> = 26.0 μm/m°C)가 강심부(α<sub>s</sub> = 3.36 μm/m°C)보다 크므로 도체부 쪽이 강심부보다 더 큰 온도신율이 발생된다. 또한 t<sub>1</sub>에서 전선의 탄성계수는 E<sub>a</sub> = 0의 상태까지 감소한다. 도체부의 탄성계수 E<sub>a</sub> = 0 되는 온도를 천이온도라 하며 이 천이온도 이상에서는 도체부의 장력은 인바의 강심부에서 전적으로 부담하게 된다. 알루미늄도체부에서 장력을 부담하지 않는 온도(천이온도)는 장력에 의한 강심부의 탄성신율과 선팽창계수에 의한 강심부의 온도신율 합계가 알루미늄도체의 온도신율 보다 작아야 하며 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_1 > t_0 + \frac{T_s}{E_s A_s (\alpha_a - \alpha_s) - T_s \alpha_s} \quad (8)$$

이 t<sub>1</sub>(천이온도) 이상이 되면 STACIR/AW전선의 특징인 저이도를 나타내게 된다. 그림 5는 STACIR/AW전선의 천이온도를 측정하기 위하여 온도에 따른 신율을 나타내 것이다. 인장하중의 약 20 % 인 2544 kgf의 장력하에서 시험적으로 구한 천이온도는 130 °C로 나타났다. 또한 각 소선에서 실험적으로 도출된 탄성계수(INVAR/AW : 162.74 GPa, STAI : 62.44 GPa)와 선팽창계수(INVAR/AW : 3.36 μm/m°C, STAI : 26 μm/m°C)를 식 (8)에서 대입하여 계산된 천이온도와 거의 일치하였다.

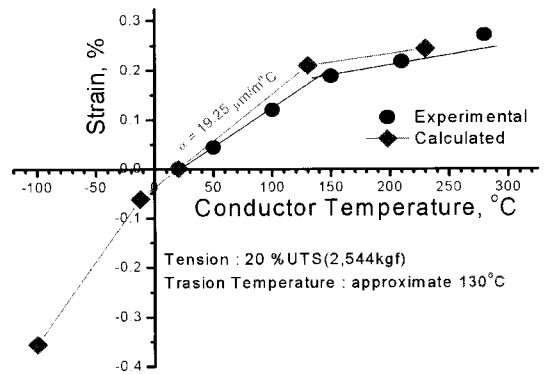


그림 5. 온도에 대한 STACIR/AW의 변위량.  
Fig. 5. Strain of STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> conductor in accordance with temperature.

천이온도는 전선의 길이와 전선 내에서 인바가 점유하고 있는 단면적에 의존한다. 즉 전선 내에서 인바의 단면적이 차지하는 비가 증가하면 천이온도는 감소하고 인바의 단면적이 감소하면 천이온도는 증가하는 역비례관계이다.

그림 5에서 전선의 온도가 저온으로 감소할 경우는 앞서 설명한 고온과는 반대적인 현상이 나타난다. 즉 STACIR/AW 전선의 온도가 t<sub>0</sub>에서 t<sub>2</sub>로 저하할 때(t<sub>2</sub><t<sub>0</sub>)는 알루미늄이 강심보다 더 큰 온도수축이 발생된다. 이와 같은 상태에서 장력을 인가하면 고온상태와는 반대로 알루미늄부위에서 장력을 전담하며 식 (1)의 "E<sub>s</sub> = 0"의 상태가 된다(그림 5의 저온측). 알루미늄부위의 탄성신율이 강심부의 온도수축보다 커지기 시작하면 강심부위도 장력을 부담하기 시작하여 식 (1)과 같이 전선의 탄성계수값이 나타난다. 그림 5에 나타난 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> 전선에서의 인장하중, 20 %장력(2544 kgf) 하에서 나타난 저온측 천이온도는 약 -12.6 °C이다.

### 3.5 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> 가공송전선의 Creep 변형

1970년에 John Harvey 와 Bob Larson은 전선의 크립변형 측정과 이도와 관계를 조사한 이래 많은 연구가 진행되고 있지 않은 실정으로 국내에서는 전선의 크립특성에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다. 그림 6은 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선에 대하여 2544 kgf(인장하중의 약 20 %)로 인가한 후 상온과 단시간허용온도인 210 °C에서 1,000시간

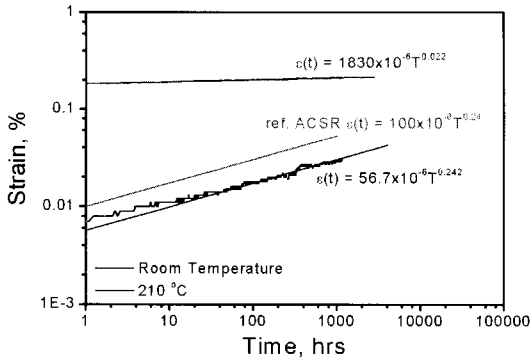


그림 6. STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> 전선의 크립변형.  
Fig. 6. Creep strain of STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> conductor.

크립시험한 결과이다. 참고로 일본의 강심알루미늄 연선(ACSR)의 크립변형을 함께 나타내었다. 상온에서의 크립변형량은 56.7 μ로 ACSR의 100 μ에 비해 낮으며 크립속도는 0.24로 ACSR의 0.24와 거의 유사하였다. 연속허용온도 210 °C에서 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선의 크립속도는 0.022로 상온의 크립속도에 비하여 크게 감소하였다. 전선은 알루미늄도체와 강선으로 이루어진 복합소재이므로 상온에서는 INVAR/AW강선과 STAI도체에 그림 2의 하중분담율에 따라 약 52 %와 48 %의 하중이 부과되므로 크립변형 또한 INVAR/AW강선과 STAI도체에서 각각의 하중 하에서 발생되지만 온도가 증가하면 구성소재의 열팽창계수의 차이에 의하여 하중의 분담율이 변화하고 또한 천이온도 이상에 되게 되면 전선의 하중은 강선이 모든 하중을 담당하게 된다. 따라서 천이온도이상인 210 °C에서의 크립변형은 전선의 강심인 INVAR/AW강선에 의하여 지배가 되기 때문에 온도가 증가할수록 크립의 변형량은 증가하지만 크립속도는 감소하였다[8].

그림 6의 결과로부터 결정된 크립상수를 표 1에 정리하였다.

### 3.6 경년에 따른 이도변화

경간 350 m, 장력 4800 kgf하에서 가공송전선 온도에 따른 이도는 식 (2)의 장력(T)과 경간(S)에 의해 결정된 초기 상온 이도는 약 5.18 m이다.

전선의 온도가 증가하면 전선의 이도는 천이온도까지는 INVAR/AW강선과 STAI도체의 열팽창이 복합적으로 나타나는 19.0 μ/°C을 따라 증가하고 천이온도 이상의 온도에서는 전선에서 STAI의 열

표 1. 온도에 따른 크립 지수.

Table 1. Creep parameter of STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> conductor.

$\epsilon(t) = A \times T^n$			
선종	상수	온도 °C	n
STACIR/AW 410 mm <sup>2</sup>		25	56.7
		210	1830
ACSR		25	100
			0.24

팽창에 대한 영향은 사라지고 INVAR/AW강선의 열팽창계수, 3.36 μ/°C에 의해 지배되어 이도증가는 둔화된다. 천이온도 이상에서 저이도 특성이 나타나게 된다. 연속허용온도인 210 °C에서의 전선의 이도는 약 11.44 m이다.

고온에서 장시간 가동으로 전선의 탄성계수와 열팽창계수의 열화, creep변형으로 전선의 실장은 증가하게 되고 그 결과 이도는 변화하게 된다.

앞서 각 온도에서 경년에 따른 탄성계수와 열팽창계수의 열화, 크립에 의한 이도의 변화량을 연속허용온도, 210 °C에서 36년간 운전한 전선에 대하여 조사하여 보면 다음과 같다. 그림 4의 열팽창계수의 열화로 인하여 약 36년 후에는 2.2 m 증가되고 그림 6의 크립에 의한 전선실장 증가로 인하여 이도는 1.2 m가 증가될 것이다. 연속허용온도 210 °C에서 36년 사용한 경우 전선의 이도는 3.4 m 증가하게 될 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

증용량 저이도전선인 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선에 대하여 경년열화가 이도변화에 미치는 영향을 조사한 결과 다음과 같다.

1. STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup>전선과 INVAR/AW강선의 열팽창계수는 19.0 μ/°C, 3.2 μ/°C이다. 200 °C와 300 °C에서 온도에 의한 영향은 거의 나타나지 않았으며 열화시간에 의존하여 증가하였으며 약 23.0 μ/°C, 6.0 μ/°C로 포화되었다.
2. 전선의 온도가 증가함에 따라 구성소재의 열팽창계수의 차이에 의한 각 소재의 응력분담이 변화로 INVAR/AW강선이 전선의 전하중을 담당하는 천이온도가 나타났다.
3. STACIR/AW전선의 크립변형에서 상온의 크립속도(0.242)보다 연속허용온도 210 °C의 크립속

도(0.022)가 낮게 나타났다. 이는 전선의 온도가 천이온도 이상이 되면 전선의 크립변형이 INVAR/AW강선에 의해 지배되기 때문이다.

4. 연속허용온도 210 °C에서 STACIR/AW 410 mm<sup>2</sup> 전선의 이도는 36년 동안 사용하였을 경우 탄성 계수의 열화와 크립변형 등으로 인하여 이도는 약 3.4 m 정도 증가하게 될 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 김병걸, 박수동, 김상수, "STACIR/AW 송전선의 장시간 운전에 따른 기계적 물성 변화", 한국전기전자재료학회 2004하계학술대회논문집, p. 1258, 2004
- [2] 김병걸, 김상수, "냉간 신선된 고탄소강선의 굽힘피로특성", 대한금속·재료학회지, 39권, 1호, p. 1212, 2001.
- [3] E. E. Guillaume, "Transitory and permanent changes of nikel steels", C. R. Acad. Sci., Paris, Vol. 136, p. 356, 1903.
- [4] B. S. Lement, B. L. Averbach, and Morris Cohen, "The dimensional behavior of invar", The minerals, Metal & Materials Society, p. 171, 1997.
- [5] H. Scott, "Expansion characteristics of low expansion nickel steels", Transactions, American Society for Steel Treating, Vol. 13, p. 829, 1928.
- [6] T. F. Russell, "Low expansion nickel steel", Engineering, London, Vol. 128, p. 400, 1929.
- [7] M. Yokota, "Development of high strength invar alloy", Japan Journal of Institute of Metallurgy, Vol. 21, No. 4, p. 260, 1982.