

# 가공전차선로 전차선 과장력 인가 방안 연구

## A Study on Application of the Pre-Stretch for Contact Wire in Overhead Catenary System

김학련\*  
Kim, Hak-Lyun

유감두\*\*  
Yoo, Gam-Doo

### 1. 서 문

#### 1.1 전차선 특성비교

건설단계에서 전차선 및 조가선에 영구신장조성(Pre-Stretch)을 하게 되면 설비운영 중에 전차선로 설비 상태를 건전하게 유지관리할 수 있고, 유지보수업무를 줄여주는데 기여하게 된다. 즉, 전차선은 가설 후 상시 장력이 가해지므로 장시간 경과 후 전선의 크리프 현상으로 인해 자연 영구 연신이 발생한다. 따라서, 전차선의 경우는 이로 인해 금구의 설치위치가 변경되고, 전선을 잘라 내는 등 직접특성에 영향을 미쳐 유지보수업부가 과중된다. 크리프 연신률의 영향을 작게 하는 방법으로 표준장력보다 큰 장력을 일정시간 가하여 미리 초기의 크리프 연신을 발생시키는 영구신장조성 공법이 채용되어 사용되어 왔다.

이러한 목적으로 실시하는 영구신장조성에서 인가하는 과장력의 크기 및 인가 시간 등에 있어서 철도청 기준, 일본 기준 및 프랑스 기준이 크게 다르다. 또한 영구신장조성 기준에 대한 기술적인 검증 데이터나 감도 자료가 없는 실정이다.

따라서, 어떤 영구신장조성 방법이 향후의 설비 운영 및 유지보수 측면에서 유리한가를 판단하기 위하여 해외자료조사를 실시하였으며 이와 더불어 현장시험 및 실험시험을 수행하였다. 그리고, 본 연구의 목적은 전차선 Cu170mm<sup>2</sup> 및 운전장력 1.5ton에 대한 과장력 인가방안을 제시하기 위하여 여기에서는 전차선 Cu170mm<sup>2</sup> 및 적용된 운전장력에 국한하고자 한다.

#### 1.2 전차선 특성비교

현재 철도청에서는 3가지 타입(Cu110, Cu150, Cu170)의 전차선 선종을 사용하고 있다. 사용되고 있는 전차선의 형상 및 특성은 아래와 같다.

---

\* 서울산업대학교 교수(지도교수)

\*\* 서울산업대학교 석사과정

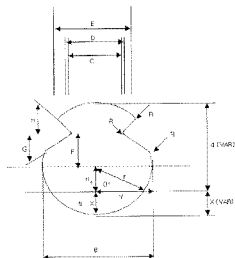


그림 1 전차선 형상

표 1 전차선 형상

	A	B	C	D	E	F	R	G	H	S	R	Unit Weight (kg/m)
170mm <sup>2</sup> 단면적	15.49	7.32	7.74	11.43	2.4	0.38	27	51	170	7.745	1.511	
110mm <sup>2</sup> 단면적	12.34	6.85	7.27	9.75	1.7	0.38	27	51	111.1	6.17	0.9877	

표 2 전차선 특성

	Cu 150	Cu 110	Cu 170
외경(㎜)	13.6	12.34	15.49
단위중량(kg/m)	1.334	0.987	1.511
전기저항(Ω/km)	0.1173	0.1592	0.104
파단하중(kgf)	5316	3900	5900
팽창계수(kgf/mm <sup>2</sup> )	$1.7 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-3}$
도전율(%)	98	97.5	97.5

- 영구신장 조성 기준 비교점토

각 나라의 영구신장 조성 기준을 근거로 전차선 Cu 170mm<sup>2</sup>에 운전장력 1500kg·f을 적용한다고 가정하면 파장력 크기 및 인가시간을 아래와 같이 경찰 수 있다.

표 3 영구신장 조성 기준 비교

구분	선종	운전장력	과장력의 크기	인가 시간
철도청	Cu 170mm <sup>2</sup>	1500kg · f	2,500kg · f	30분
프랑스	Cu 170mm <sup>2</sup>	1500kg · f	2,250kg · f	72시간
일본	Cu 170mm <sup>2</sup>	1500kg · f	3,000kg · f	30분

위와 같이 각 나라의 과장력 크기 및 인가시간이 상이하다. 인가시간에 있어서 철도청 및 일본은 과장력을 30분 이내로 인가하는데 비하여 SNCF는 72시간을 인가하도록 하고 있어 매우 큰 차이를 보이고 있다. 또한, 일본과 프랑스의 과장력 크기도 차이를 보이고 있다. 그러므로 인가시간에 대한 영구변형(Creep)의 관계를 정확히 알아야 최적의 인가시간을 결정할 수가 있을 것이다. 따라서, 이러한 차이에 대하여 전차선 및 조가선의 크리프 특성 실험이나 현장 시험을 통하여 비교 검토할 필요가 있으며, 이러한 시험데이터를 근거로 하여 영구신장조성 기준을 정립하는 것이 바람직하다.

## 제 2 장 영구신장조성

### 2.1 이론적 근거

결정질의 고체 재료에 일정하중 또는 일정응력을 가하고 특성온도에서 긴 시간 동안 유지하면 시간이 경과함에 따라 변형량(strain)이 증가하게 되는데 이러한 현상을 크리프(creep)라 한다.

그리고 재료에 특정 온도에서 일정응력을 가했을 때 시간의 경과에 따라 증가하는 변형량을 측정하여 여러 가지 재료역학적인 양을 결정하는 시험을 크리프 시험이라 하고, 크리프 변형량을  $e$ 라 하고 시간을  $t$ 라 할 때  $de/dt$ 를 크리프율(또는 크리프속도, creep rate)이라고 한다. 크리프율은 온도의 영향이 크며, 실제로 급속에 있어서 0.47<sub>M</sub> 이상의 온도에서는 재료의 실용에 있어 크리프 특성이 중요한 문제가 된다. 이는 일반적으로 저온에서는 변형에 따라 가공변화가 발생하지만, 고온에서는 가공경화와 함께 회복연화가 진행되므로 크리프가 현저해지기 때문이다. 그러므로 회복연화하기 쉬운 재료는 저온에서는 강력하더라도 고온에서는 재료의 미세조직이 시시각각 변화하는 것이 보통이기 때문에 비록 짧은 시간 측정하여 얻어진 크리프율이 작다 해도 긴 시간 동안 측정하면 크리프율이 커지는 경우도 있다.

용융점이 낮은 금속들 즉, 고용점(高融点) 금속재료에서는 예를 들면 납, 주석, 구리 등의 순금속(pure metal) 및 연한 경합금 등은 상온에서도 크리프 현상이 나타나지만 전장 및 강력한 경합금 등에서는 250℃ 이상의 온도가 아니면 실용에 영향을 줄 현저한 크리프 현상이 나타나지 않는다. 그러나 최근에 발전된 제트기관, 로켓, 증기터빈, 가스터빈 등에서는 450℃ 이상의 고온에서 재료가 사용되는 경우가 많고, 또한 화학 플랜트 등에서도 고온, 고압에서 재료가 사용되는 경우가 많다. 그러므로 크리프 현상은 공학상의 중요한 문제로 대두되고 있으며, 크리프 시험이 고온에서 재료의 변형기구를 해석하는 방법으로 널리 이용되고 있다.

일정응력 또는 일정하중 그리고 특정온도에서 시간에 따른 변형량의 증가현상을 크리프라 하였는데, 어떤 재료에 크리프가 생기게 하는 요인은 온도와 하중(또는 응력)이다.

따라서 크리프 시험에 있어서는 일정하중, 일정온도의 유지와 함께 정확한 변형량을 측정하는 것이 중요하며 크리프 곡선은 두 개 또는 세 개의 크리프 영역으로 나뉜다.

아래 그림은 3가지 영역이 모두 나타나는 경우의 크리프 곡선을 나타낸 것이다. 이 곡선에서 크리프 곡선을 다음의 4단계로 나누어 생각할 수 있다.

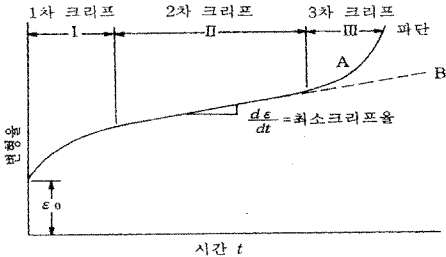


그림 2 3단계의 크리프 영역을 나타내는 대표적인 크리프 곡선

- 초기변형 (initial clognation)  
하중을 가하는 순간의 탄성변형과 시간에 의존하지 않는 소성변형의 합으로 나타나는 순간적인 변형( $\epsilon_0$ )
- 1차 크리프 (primary creep stage, 전이 크리프)  
초기단계를 지나면서 비교적 높은 속도로 변형률이 증가하지만 변형 속도는 감소하는 지역
- 2차 크리프 (secondary creep stage) 또는 정상 크리프  
이 영역은 재료의 가공경화와 회복연화가 서로 균형을 이루어서 일정한 변형속도가 유지되는 구간이다. 이 2차 크리프구간의 평균 크리프 속도를 최소 크리프 속도(minimum creep rate)라 한다.
- 3차 크리프 (tertiary creep stage) 또는 가속 크리프  
3차 크리프는 주로 높은 응력이나 높은 온도하에 일정 하중 실험에서 많이 나타난다. 이 영역은 변형속도가 점차 증가하여 파단에 도달할 때까지의 구간으로 재료에 수축(necking)이나 내부 공동(internal void)의 형성으로 인한 유효단면의 감소가 있을 때 일어난다.

그러나 이러한 3단계의 구분은 부파되는 응력과 온도에 크게 의존함을 이미 언급한 바 있다. 일반적으로 공학적인 크리프 시험은 시험종료 시까지 일정하중을 가하는 것이 보통이다. 따라서 시험의 단말점이 감소함에 따라 부파되는 응력은 증가하게 된다. 하지만 일정응력을 가할 수 있는 시험법이 개발됨에 따라 일정응력 크리프 시험을 행하였을 경우에는 3차 크리프의 시작이 늦어지서 위 그림의 B와 같은 점선으로 크리프 곡선이 나타나게 된다.

## 2.2 전차선료에서 크리프(creep) 영향

앞 절에서 언급한 바와 같이 영구변형(크리프)특성은 재질과 인가 응력 및 시간에 따라 다르다. 전차선료(Catenary)에서 전차선과 조가선은 재질이 다르므로 변형률이 다르다. 일반적으로 순동(Cu)을 재질로 하는 전차선이 합금제철인 조가선보다 변형률이 훨씬 크고 심각한 것으로 알려져 있다.

따라서, 전차선로에서 영구변형이 일어나면 조가선은 거의 신장되지 않는데 비하여(온도에 따른 신장 특성 제외 - 온도에 따른 신축량은 전차선이나 조가선이 거의 비슷함) 전차선은 늘어나므로 전차선을 붙고 있는 곡선당김금구가 돌아가고, 이로 인해 가동브래킷이 비틀리게 된다. 특히 터널 브래킷과 같이 전차선과 조가선이 일체형 금구에 같이 물려 있는 경우는 브래킷에 심각한 비틀림 응력이 작용하여 설비가 파손될 수도 있다. 따라서 이를 방지하기 위하여 주기적으로 전차선과 조가선을 물고 있는 금구위치를 교정해주는 유지보수 업무를 빈번히 해야 한다.

실제적으로 수도권을 비롯한 우리나라 기존 전철화 선로에서 전차선 영구신장으로 인해 가동브래킷이 비틀린 현상을 띠고 있는 것을 흔히 볼 수 있으며, 이를 바로잡는 조정 작업도 빈번히 이루어지는 것으로 알고 있다.

일반적으로 크리프 특성은 터널 날개(Blade)와 같이 고온에서 응력(Stress)을 받는 금속부재에 대하여 반드시 고려해야 하는 엔지니어링 문제이다. 그러나 전차선로(Catenary)와 같이 상온에서 생기는 크리프 특성에 대해서는 장기간 걸쳐서 발생하는 현상이고, 그 크기도 다른 Factor에 비하여 크지 않음으로 엔지니어링에서는 거의 다루지 않는 문제이다. 따라서 연구/검토된 자료나 데이터들을 찾기가 매우 힘든 실정이다.

### 제 3 장 영구신장 조성 시험

영구신장 조성의 크기 및 시간을 결정하기 위하여 먼저 현장에서 과장력을 적용하여 전차선의 연신을 점검하는 현장시험을 수행하였다. 그리고 적용된 크기로 과하중을 주었을 때 전차선 안전보장을 위하여 강도를 검토하였고, 실내에서 전차선을 이용하여 시편을 제작하여 84시간 동안 크리프 시험을 수행하였다.

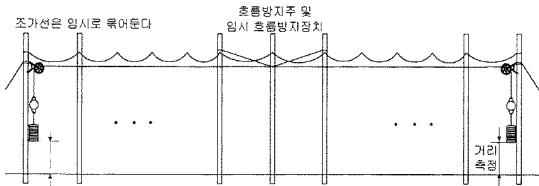


그림 3 현장시험방법

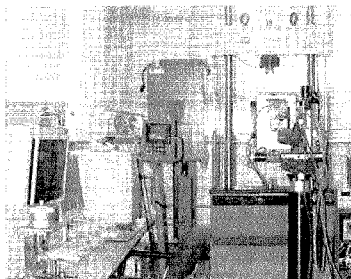


그림 4 만능재료시험기

※ 참고 문헌

1. “電氣鐵道要覽”, 鐵道電化協會
2. “日本國有鐵道電氣局制定 電氣工作物(電車線路)設計施工標準”, 社団法人 鐵道電化協會, 1979
3. “樂丸 宗弘”, 鐵道電氣技術 2003. 3. Vol 14 No. 3 pp.77
4. “고속철도 운영을 위한 철도 시설장비사업 및 기존선 전철화 사업 기술자문 상시자문 검토결과 보고서”, 2002 철도청
5. “전철전력시설규정”, 철도청 전기본부
6. “재료시험법”, 오길환 외, 기전연구사
7. “재료강도학”, 오세욱 외, 기전연구사
8. “재료시험 및 공정실습”, 금속재료공학교재연구회, 한국기술교육대학원
9. “ASTM E8-03 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”
10. “ASTM E139 Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials”