

장기간 온도변화에 따른 전차선로 전선류의 노후도 분석

Aging Analysis of Catenary Wires in Accordance with Temperature Changes for a Long Period of Time

조 남 희* · 오 완 식* · 김 재 문*
(Nam-Hee Cho · Wan-Shik Oh · Jae-moon Kim)

Abstract - In this paper, catenary wires were analyzed aging through the experiment about a new product and a test sample in accordance with temperature changes from long-term use.

In case of the contact wire, the maximum load was reduced within 7% and the tensile strength showed a reduced within 6.7% compared with a new reference standard 110mm². 19 Strands of messenger wire have a little more than a standard value, but result data on tensile test were less than the reference value about stranded wire. Also parts among 49 strands of dropper was found to be smaller than the reference value and it appeared greatly increasing intensity as toward the center of the strand.

Key Words : Aging evaluation, Contact wire, Messenger wire, Equalizer, Tension strength

1. 서 론

최근 3차 국가철도망 구축계획이 발표됨에 따라 국내 전철화율은 지속적으로 증가할 예정이다. 전철화를 확대는 전기철도 급전계통을 통해 전기 에너지를 동력으로 하는 전기차량에 공급함을 의미한다. 급전계통의 대표적인 설비인 전차선로는 전기차량의 집전장치인 팬터그래프와 접촉하여 전력을 공급하기 위한 전차선을 비롯한 부속 전기설비를 포함한다. 한전계통의 일반 전력용 전선로와는 구조, 기능이 다르고 전차선은 전기 철도차량과 직접 접촉하여 동력에 필요한 에너지를 전기철도차량에 직접 전달하게 된다. 따라서 전기차량 부하의 급변동에 대해 충분한 용량을 가져야 하고 전기차량의 진동과 강풍시에도 진동과 동요가 작아야 한다. 또한 가선 급구류는 충분한 신뢰도를 가져야 하며, 전선류의 온도변화에 따른 신축 영향을 최소화해야 한다. 외기온도가 상승하면 전선류의 장력이 감소하기 때문에 처짐 현상이 발생하고, 이와 같은 개소에 전기차량의 팬터그래프가 진입하게 되면 가선 진동이 증대하여 이선과 아크가 발생하고 전차선이나 팬터그래프 습판의 마모를 촉진하여 전차선의 단선사고를 유발하는 결과가 나타난다.[1]

전차선로는 외부온도변화 등 외부환경에 대응하기 위해 일정

한 장력 유지를 위한 장력조정장치를 설치하여 장력을 유지하고 있다. 2~3Ton의 고장력을 통해 온도변화에 의한 신축을 방지하고 있으며 이러한 고장력을 통해 유지되고 있는 전차선로 전선류는 내구성과 기계적 강도, 내부식성이 우수해야 한다.[2][3]

그러나 전차선로의 전선류는 최초 설치 후 오랜 기간 외부에 노출되어 이에 따른 온도변화, 지속적인 전기차량의 운행으로 팬터그래프와의 접촉력에 의한 충격에 따른 피로강도 등 여러 가지 요인에 의해 노후화 되고 있다. 특히 고장력에 의한 내구성 손상이 발생되고 있으나 특성상 전차선로 전선류 내부 상태의 이상 유무를 알아볼 수 없어 기능의 저하를 직접적으로 확인할 수 없는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 장기간 사용으로 인한 전차선로 전선류의 시료 시험을 통해 노후상태를 정확히 파악하고자 실험을 수행하였다. 이를 위해 신품과 시료를 비교하였으며 성능 변화를 분석하였다. 분석을 통해 얻은 결과는 향후 노후화에 따른 유지보수 방법설정과 설비개량을 위한 최적의 시점 선정을 위한 기초자료로 정확한 수명예측이 가능할 것으로 기대된다.

2. 본 론

2.1 분석기준

본 논문에서는 전차선로 전선류 중 전차선, 조가선, 드로퍼선, 균압선을 대상으로 하였으며, 현장에 사용 중인 시료품과 신품에 대한 인장시험을 통한 비교분석을 실시하였다. 비교분석 시료는 약 20여년 이상 사용된 증산(민동산)-고한(약 10.7km) 사이의 전선류를 대상으로 하였으며 이 구간은 전기기관차 8200대, 8500

† Corresponding Author : Dept. of Transportation System Engineering, Graduate School of Transportation, Korea National University of Transportation, Korea
E-mail: goldmoon@ut.ac.kr

* Dept. of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Korea

Received : August 1, 2016; Accepted : August 24, 2016

대, EMU열차가 운행하는 구간으로 일 평균 편도 약 40회, 월 편도 약 1,200회의 열차가 운행 중인 구간이다.

이 지역은 그림 1에서 보듯이 국내 고산지대로써 기후가 평균 9°C 내외이며, 온도변화가 가장 심한 지역으로 지역적 온도변화는 최대 42.6°C [-14.5°C(2013.1)~28.1°C(2013.8)]를 보인다. 따라서 국내에 설치된 전차선로 설비에 대해 온도변화가 심한 지역의 전차선로 전선류의 노후 변화 현황을 확인할 수 있을 것으로 기대된다.

전선류는 외부환경변화에 따라 기계적 강도는 저하되고 영구 신장변화가 일어나게 된다. 현재 운영 중인 전선류의 기계적 강도에 대한 노후정도를 알 수 있는 방법은 시료 채취를 통해 인장시험을 시행하고 시료와 시료의 차이를 비교분석하여 노후정도를 확인하였다.

시험방법으로는 한국철도표준규격 KRS PW 0005-15(R)과 KRS PW 0007-15(R)의 기준에 따라 사용품(시료)과 신품으로 나누어서 비교분석 하였다.[4] 다만, 전차선 시료품은 107㎜로 하

였으며, 신품은 110㎜로 하였다. 이는 현장에 설치된 전차선은 단종된 상태이며 현재는 관련 규격이 없어 유사한 단면적을 갖는 제품과 비교하였다.

2.2 전차선로 전선류

2.2.1 전차선(Contact wire)

AC 25kV 커티너리 가선구간의 전차선 마모율은 0.0083[㎜/1만 panto]이다. 이는 연간 전차선 마모율 0.0083[㎜/1만 pan] × 연간 팬터그래프 통과 회수[1만 pan]을 기준으로 하고 있으며, 전차선 수명을 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$\text{전차선 수명} = \frac{\text{신품 전차선 두께} - \text{잔존직경}}{\text{연간 전차선 마모율}} \quad (1)$$

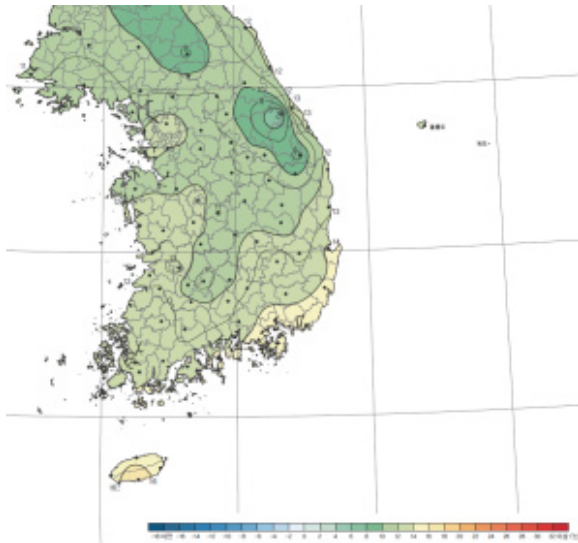
이와 같이 현재 전차선의 노후도를 분석하고 유지보수하는 기준은 전차선의 마모율을 중요시하고 있으며 인장강도의 경우 전차선 신품에 대한 시험 외에는 별도의 기준이 마련되어 있지 않다.

현장에 설치되어 운영 중인 전차선에 대한 흠불이 경동선(Cu) 재질의 107㎜ 시료 2개와 신품 110㎜ 1개를 관련 규격에 의해 시험하였다. 시험조건은 표점거리 50.0 mm, 시험속도 50.0 mm/min로 하였으며, 표 1에 측정결과를 나타내었다. 기존 107㎜ 규격을 기준으로 하였을 때 최대하중은 2%이내 감소하였고 인장강도는 4.5%이내 감소를 보였다. 다만, 전차선의 시료 107㎜의 경우 신품을 확보할 수 없을 뿐만 아니라 현재 규격이 없으므로 근접하는 110㎜ 규격 기준을 토대로 했을 때, 최대하중은 7%이내 감소하였고 인장강도는 6.7% 이내 감소를 보였다.

그림 2는 하중 시험으로 전차선 변위에 따른 하중변화를 보여 준다. 시료인 경우 최대하중은 큰 차이가 없는 반면 변위는 6mm 차이를 보인다. 반면 신품인 경우 110㎜ 기준이 큰 차이가 없으며 변위도 27mm까지 크게 변화됨을 확인할 수 있다.

2.2.2 조가선(Messenger wire)

조가선은 전차선을 같은 높이로 수평하게 유지시키기 위하여 드로퍼, 행거 등을 이용하여 조가하여 주는 전선으로 전차선을 단순히 지지하는 것만이 아니고 전기 철도차량이 운행할 경우 이



(a) 기후도

[일평균기온(°C)] 216 태백 / 2013년

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1월	-7.4	6.7	1.9	6.5	5.9	17.5	22.1	22.4	18.1	15.7	9.2	2.7
2월	-11.3	0.7	-3.6	4.6	4.5	15.3	22.7	22.9	17.8	16.1	10.4	1.3
3월	-14.5	-2.6	-2.2	9.2	8.5	16.5	24.2	24.0	15.3	13.4	9.0	1.4
4월	-12.9	-0.4	-0.8	6.2	11.9	19.3	23.3	24.6	14.3	12.1	6.8	2.5
5월	-8.9	-2.5	3.0	10.0	15.8	18.5	20.2	25.4	15.1	12.5	6.7	3.6
6월	-8.0	-1.8	7.8	4.8	15.2	16.6	22.6	25.7	15.2	15.5	10.3	0.6
7월	-6.8	-11.1	8.6	1.0	12.4	18.3	22.7	27.6	16.4	17.9	9.5	0.3
8월	-6.7	-12.3	8.5	6.3	17.7	18.7	24.4	28.1	17.3	16.3	4.4	-0.5

(b) 평균온도(2013)

그림 1 시료 설치지역 기후도 및 평균온도

Fig. 1 Local climate and average temperature of area Installed sample

표 1 전차선 하중 및 강도 시험 데이터

Table 1 Load and strength test data of contact wire

규격 ㎜	표준장력 (KN)	최대하중(N)		인장강도(N/㎜²)		비고
		시료 1	시료 2	시료 1	시료 2	
107	-	38,220		357.796		현재규격 없음
110	10 (10,000[kg/f])	40,551 (+2331)		368.645 (+10.858)		기준
107	-	37,854 (-366)	37,609 (-611)	344.127 (-13.669)	341.900 (-15.896)	-

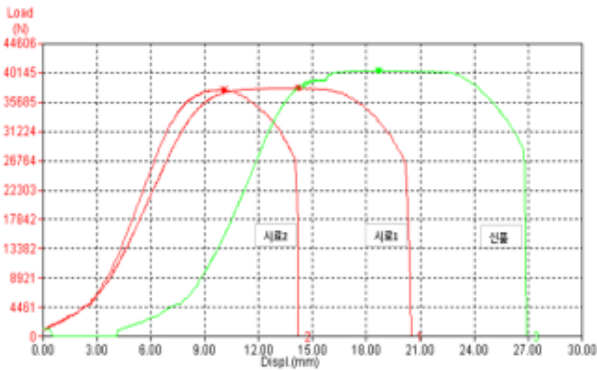


그림 2. 전차선 변위에 따른 하중변화 곡선
 Fig. 2 Load variation curve in accordance with displacement of contact wire

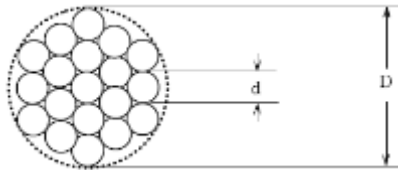


그림 3 조가선 도면
 Fig. 3 Messenger wire Diagram

표 2 조가선의 신제품과 시료에 대한 소선 인장강도 데이터
 Table 2 Tensile strength data of strand in case of new product and sample of messenger wire

Nr	신제품	시료	
	Force N/mm ²	Force N/mm ²	
1	629.59	666.09	외층 평균값 654.34
2	626.64	641.42	
3	632.53	677.73	
4	639.39	632.47	
5	643.32	632.32	
6	643.32	678.16	
7	653.12	631.69	
8	640.37	641.88	
9	633.31	695.38	
10	646.26	646.19	
11	698.23	666.78	
12	691.37	641.97	
13	669.79	682.41	속층 평균값 577.57
14	650.18	681.63	
15	629.59	670.34	
16	718.83	667.79	
17	698.23	670.22	
18	640.37	670.57	
19	650.18	685.62	중심 685.62

선(Contact loss)을 방지하는 역할을 한다.

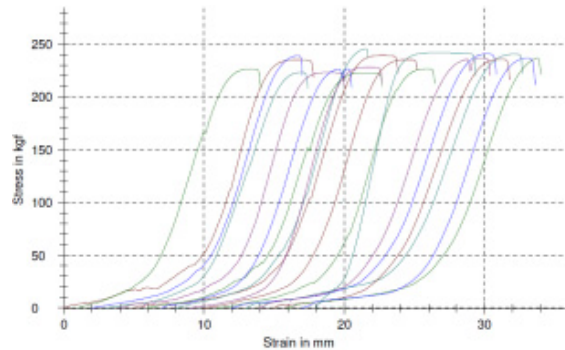
또한 전기 철도차량이 고속운전을 행하기 위해서는 조가선 및 전차선의 장력을 크게 하여 가선의 탄성계수를 높게 하는 것이 필요하고 인장강도가 큰 것이 가장 중요한 조건이다. 뿐만 아니라 높은 응력에 견딜 수 있고 진동피로 강도가 큰 것이 필요하다. 이에 따라 선팡창계수가 적절해야 함으로 이는 조가선의 열신축에 따른 변화에도 전차선이 수평을 유지하지 않으면 고속집전에 영향을 주기 때문에 선팡창계수가 적은 것이 좋다.[5]

그림 3은 조가선 도면으로 시료와 신제품에 대한 소선시험은 설치되어 있는 공칭단면적 70mm²(계산단면적 65mm²) 시료와 신제품을 관련 규격에 의해 시험하였다. 관련규격에 따르면, 재질은 카드뮴동연선(CdCu), 연선구성은 소선수 19개, 소선 표준지름 d=2.1mm, 표준 외경 D=10.5mm인 경우 인장하중은 608 N/mm² 이상이고 도선율은 80%이상이어야 한다.

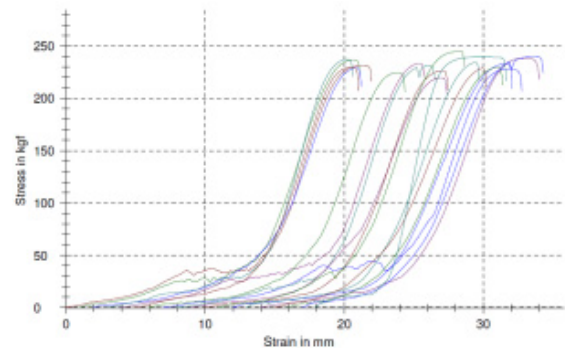
시험을 위해 시험조건은 표점거리 50.0 mm, 시험속도 50.0 mm/min로 하였으며, 조가선에 대한 소선시험을 위해

표 2와 같이 외층 1~12, 속층 13~18, 중심선 19로 소선번호를 매핑하였다. 표 2는 인장강도 데이터로 신제품은 외층에서 최소값, 속층에서 최대값을 보인 반면 시료는 외층인 7번과 9번 소선에서 최소 및 최대값을 보여준다. 또한 시료인 경우 내부로 갈수록 인장강도가 커짐을 보인다.

표 3은 표 2에 대한 최소값과 최대값, 그리고 각 소선에 대한



(a) 시료



(b) 신제품

그림 4 시료 및 신제품에 대한 소선시험시 응력변형률 곡선

Fig. 4 Stress-strain curve in case of test data of strand about new product and sample of messenger wire

평균값을 보여준다. 표에서 보듯이 20년 이상 기후변화가 심한 지역에 설치되어 운영되고 있음에도 불구하고 관련규격을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 소선시험시 변형률

표 3 조가선 소선에 대한 시험 결과 데이터

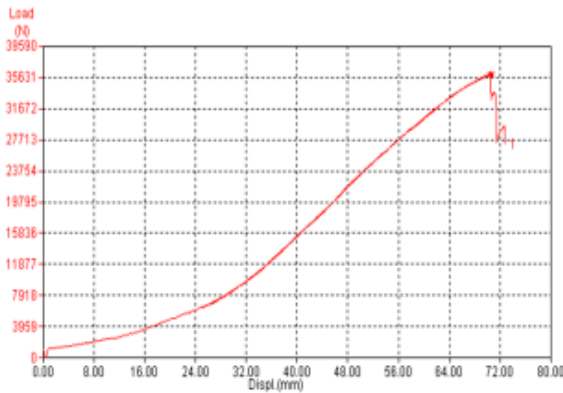
Table 3 Test result data about strand for messenger wire

Series n=19	신품	시료	비고
	Force N/mm ²	Force N/mm ²	
최대값	718.83	695.38	기준 608 N/mm ²
최소값	626.64	631.69	
평균	672.74	663.54	

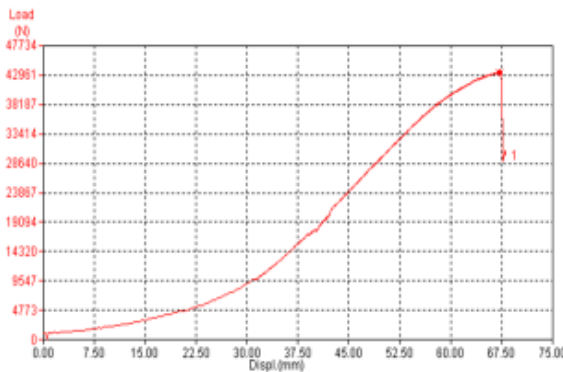
표 4 조가선 연선의 시험 데이터

Table 4 Test data of stranded cable for messenger wire

구분	최대하중(N)	인장강도(N/mm ²)	비고
신품	43,394	-	120%
시료	35,990	628.434	99.9% 기준보다 미달



(a) 인장시험 그래프(시료)



(b) 인장시험 그래프(신품)

그림 5 조가선 인장시험 그래프

Fig 5 Tension test graph for messenger wire

(Strain) 대비 응력도를 보여준다. 파괴강도는 신품이나 시료가 200~250 kgf 범위이지만, 변형률은 신품인 경우가 범위가 좁고 시료품은 넓게 나타난다. 이는 20년 이상 장기간 노출됨에 따라 탄성률이 적어지고 경도가 높아져 쉽게 파괴될 수 있음을 의미한다. 표 4는 조가선 연선시험 결과를 보여준다. 관련 규격에 따르면, 19/2.1인 경우 인장하중은 36,010 N 이상이며 전기저항은 0.3398 Ω/km이다. 신품인 경우 120%이상인 반면 시료는 기준값 미만을 보이고 있다. 20년 이상 온도변화가 심한 지역에 설치되어 운영됨에 따라 하중값이 감소하고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 조가선의 시료와 신품에 인장시험 그래프를 보여준다. 변위 대비 하중은 비선형 특성을 보이는 특성을 보이고 있지만, 신품이 시료에 비해 상대적으로 크다는 것을 확인할 수 있다. 이것은 하중의 증가에 비례하여 늘어나고 항복점에 이르면 하중에 관계없이 늘어남이 증가하여 절단되는데 신품이 인장강도가 크음을 의미한다. 시료인 경우 절단시점에서 계단형태를 보인 것은 소선이 동시에 절단되지 않고 3회에 걸쳐 절단된 반면 신품인 경우 항복점에서 동시에 소선이 절단되었음을 보여준다.

2.2.3 드로퍼(Dropper)

드로퍼는 전차선로에서 여러 형태의 클램프로 취부 되어 전차선이 수평으로 유지하도록 지지하고, 팬터그래프가 통과할 때 굽힘에 대한 기계적 응력에 영향을 받는다. 전기 철도차량 운행에 있어 중요한 요소의 하나로 드로퍼가 단선이 되면 전차선의 가선 특성에 큰 영향을 주어 탄성의 불균일성을 발생시켜 이선현상이 발생되어 전차선의 굽부 마모와 드로퍼 와이어 처짐이 팬터그래프와 순간 접촉 충격으로 발생하는 전차선로의 변형과 팬터그래프 파손 등으로 인한 심각한 열차운행 장애를 유발시킬 수 있다.[6] 따라서 가선진동이 가해지는 상태에서 사용되고 있기 때문에 기계적 강도가 큰 것이 필요하며, 환경에 대한 내식성이 작아야 한다.

표 5 드로퍼 소선의 인장시험 결과 데이터

Table 5 Tension test result data about strand of dropper

Series n=49	신품	시료	비고
	Force N/mm ²	Force N/mm ²	
최대값	1147.69	862.87	
최소값	765.62	602.72	
평균	858.15	662.14	-196.01

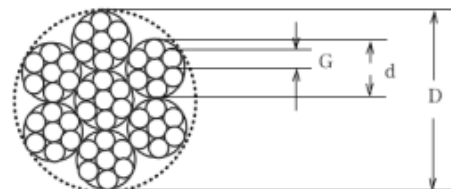


그림 6 드로퍼 도면(10mm²)

Fig. 6 Dropper Diagram

관련규격에 따르면, 드로퍼는 그림 6에서 보듯이 재질은 카드뮴 동연선(CdCu), 10㎜인 경우 연선구성은 소선수 49개, 소선 표준지름 G=0.508㎜, 표준 외경 D=4.57㎜이다. 소선에 대해서는 인장하중은 608 N/㎜ 이상이고 도전율은 80%이상이어야 한다. 연선에 대해서는 인장하중은 6.050N이상이어야 한다.

드로퍼에 대한 시료는 10㎜로 외층연선은 6개 묶음(1~7, 8~14, 15~21, 22~28, 29~35, 36~42)로 이루어져 있으며, 각 외층연선은 중심부로부터 6개의 소선(7, 14, 21, 28, 35, 42)이며, 중심연선은 6개의 소선(43~49), 중심 소선은 49번으로 표 6과 같이 매핑하여 측정하였다.

표 5는 드로퍼의 신제품 및 현장에 설치된 시료에 대한 인장강도 시험결과와 데이터이다. 신제품인 경우 평균 858.15N/㎜이고 시료인 경우도 관련 규격을 만족하는 662.14N/㎜이다. 그러나 인장시험 데이터를 비교했을 때 평균값뿐만 아니라 최소, 최대값이 신제품대비 시료 데이터가 현저히 떨어짐을 확인할 수 있다. 표 6은 드로퍼의 신제품과 시료의 각 소선에 대한 인장강도 값을 보여준다. 소선 중에 중심부에 근접한 6개의 소선(7, 14, 21, 28, 35, 42)과 중심연선에 있는 6개의 소선(43~49)가 유사한 값을 갖고 외층에 있는 소선의 인장강도는 상대적으로 작거나 일부 소선은

기준값보다 작은 확인할 수 있다. 이는 장시간 노출에 따른 외부 환경으로 인해 인장강도 값이 작아짐을 의미한다.

그림 7은 49개의 소선에 대한 시험시 변형률(Strain) 대비 응력을 보여준다. 신제품과 시료의 데이터를 비교해 보면, 시료의 각 소선은 변형률이 거의 일어나지 않아 일반적인 비선형 특성곡선을 보이지 않으며 약 12~17 kgf 범위에 존재한다. 반면 신제품은 전형적인 비선형 특성을 보이고 있으며 응력값도 17~23 kgf 범위내에 존재하고 있어 시료에 비해 매우 높음을 알 수 있다.

2.2.4 균압선(Equalizer)

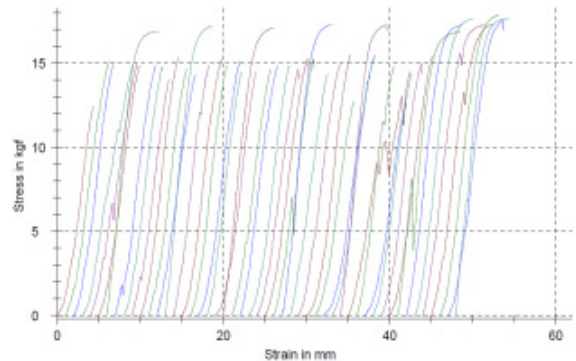
균압선은 전차선과 조가선 상호간에 전위차가 발생하지 않도록 균압하는 역할과 순환전류에 의한 사고 발생을 방지하는 중요설비로써 기계적 강도가 크고 진동에 느슨함이 없어야 하며, 내식성이 좋아야 한다.

균압선은 재질은 카드뮴 동연선(CdCu) 95㎜로 시료는 646 소선으로 구성되어 있고 신제품은 259개의 소선을 이루어져 있다. 이 경우 외층연선 1~126, 중간층 127~210, 속층 211~252, 중심은 253~259로 매핑시켜 인장시험을 하였다.

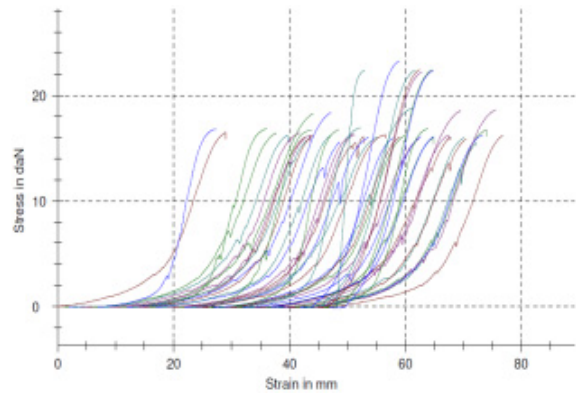
표 6 드로퍼의 신제품과 시료의 소선별 인장강도 데이터

Table 6 Tensile strength data of strand in case of new product and sample of dropper

Nr	신제품	시료	Nr	신제품	시료
	Force N/㎜	Force N/㎜		Force N/㎜	Force N/㎜
1	814.49	602.72	26	792.77	738.47
2	811.53	732.06	27	828.31	737.98
3	831.27	722.18	28	796.72	836.71
4	802.64	720.70	29	836.70	695.53
5	813.50	726.13	30	802.64	727.12
6	790.30	719.22	31	793.76	749.83
7	902.36	816.47	32	789.81	617.04
8	909.27	720.21	33	794.74	748.84
9	790.80	715.27	34	789.31	742.42
10	801.16	679.24	35	916.18	836.21
11	801.16	741.93	36	783.88	701.45
12	832.75	710.34	37	826.83	717.74
13	769.57	690.59	38	802.64	607.17
14	800.67	832.26	39	765.62	698.00
15	807.09	719.71	40	920.62	724.65
16	796.23	737.98	41	801.66	746.86
17	825.35	718.23	42	832.75	815.48
18	791.78	732.06	43	1147.69	835.22
19	791.78	700.46	44	1106.22	853.49
20	805.60	699.97	45	1096.85	836.21
21	804.62	826.83	46	1109.68	838.68
22	801.66	708.85	47	1107.71	862.87
23	788.82	717.25	48	1104.25	848.55
24	928.52	717.74	49	1104.25	855.46
25	784.87	708.36			



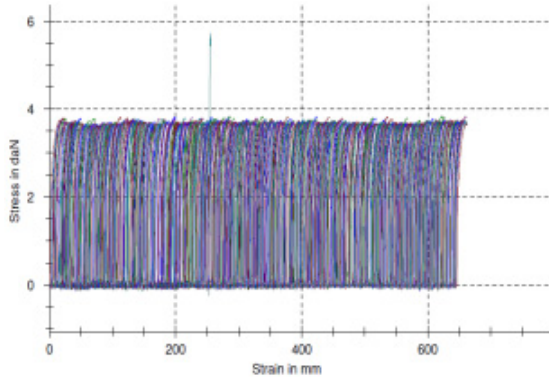
(a) 시료



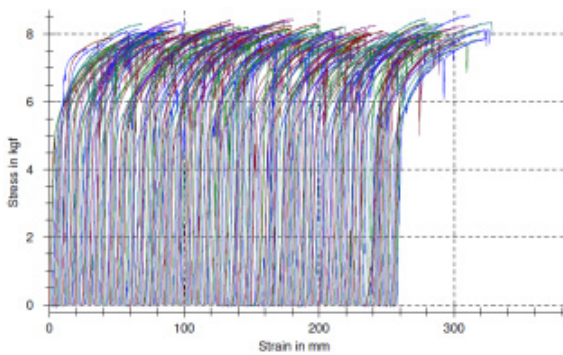
(b) 신제품

그림 7 신제품과 시료의 소선에 대한 응력 변형률 곡선

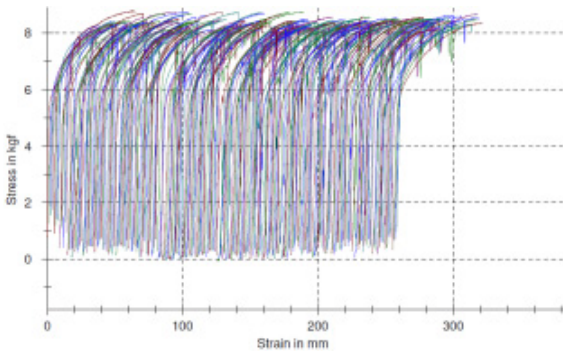
Fig. 7 Stress-strain curve in case of test data of strand about new product and sample of dropper



(a) 시료(연동연선)



(b) 신품 1



(c) 신품 2

그림 8 신품과 시료의 소선에 대한 응력 변형률 곡선

Fig. 8 Stress-strain curve in case of test data of strand about new product and sample of equalizer

표 7에서 보듯이 균압선 소선의 인장강도는 소선수가 646개로 이루어진 시료인 경우는 평균 182.64 N/mm²이지만, 259개 소선수로 이루어진 신품은 383.55~403.3 N/mm²으로 값이 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 시료가 상대적으로 소선수가 많기 때문에 작다는 것을 의미하기도 하지만, 그림 8에서 보듯이 변형률에 따른 응력도가 비선형 특성이 거의 나타나지 않아 쉽게 절단될 수 있음을 의미한다.

표 7 균압선 소선의 인장시험 결과 데이터

Table 7 Tension test result data about strand of equalizer

Series	Force N/mm ²			비고
	시료 n=646	신품 1 n=259	신품 2 n=259	
최대값	282.85	413.66	424.52	
최소값	177.21	351.46	362.32	
평균	182.64	383.55	403.30	

3. 결 론

본 논문은 온도변화가 심한 지역에서 장기간 운용 중인 전차선로 전선류를 한국철도표준규격(KRS)의 시험기준을 적용하여 신품과 시료에 대해 인장시험을 통한 노후도를 분석하였다. 분석을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 전차선의 시료 107 mm²의 경우 신품을 확보할 수 없을 뿐만 아니라 현재 규격이 없으므로 근접하는 110 mm² 규격 기준을 토대로 했을 때, 최대하중은 7% 이내 감소하였고 인장강도는 6.7%이내 감소를 보였다.

2) 조가선 19소선은 인장시험 결과 기준을 약간 넘는 정도로 나타났으나 연선에 대한 인장시험은 기준값보다 작게 나타났다. 드로퍼 49소선은 일부의 경우 기준값보다 작게 나타났으며, 중심 소선으로 갈수록 강도가 크게 나타나 외부 소선인 경우 온도변화 환경에 인장강도가 작아짐을 확인할 수 있었다. 균압선 소선은 신품에 비해 강도가 작을 뿐만 아니라 변형률에 따른 응력도가 비선형 특성이 거의 나타나지 않았다.

다만, 장기간 사용된 전선류에도 불구하고 사용기간에 비하여 양호하다고 볼 수 있다. 그러나 전차선로 전선류는 고장력이 지속되고 전기차 운행에 따른 진동과 이선 및 아크가 발생되고 있다는 점과 시료채취의 데이터에서 기준보다 미달하였으나, 일정한 주기로 비교분석을 시행하여 데이터를 축적 후 지속적인 기준 미달이 발생할 경우 유지보수가 필요하다고 판단된다.

본 논문을 통해 향후 노후 정도를 사전에 파악할 수 있는 기초자료가 될 것으로 기대된다.

References

- [1] Yang-Su Kim, Hae-Chul Yu, "Electric Railway Engineering" dongil publisher 2012
- [2] Korea Rail Network Authority, KR-Code, 2016
- [3] Korea, General Electrical Railroad, K722-4C101-1, K722-4-C104-1, K722-4-C-105-1
- [4] Korea Railway Standards KRS PW 0005-06(R) Hand-drawn Copper Round Trolley Wire, 2006
- [5] Korea Railway Standards KRS PW 0007-15(R) Cadmium Copper Stranded Wire

- [6] Gi-chun Lee, Tae-hoon Lee, Jong-woo Lee, "Mechanical Loads of Dropper for High Speed Electric Railway", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 14, No. 3, pp. 222-227, 2011

저 자 소 개



조 남 희 (Nam-Hee Cho)

2014년 우송대학교 철도전기제어공학과 졸업(공학석사). 2016년 8월 동 대학원 철도시스템학과 박사과정(수료). 1995년 1월~현재 (주)한진중공업 부장.

E-mail : namhicho@hanjinsc.com



오 완 식 (Wan-Shik Oh)

2014년 우송대학교 철도전기제어공학과 졸업(공학석사). 2016년 8월 동 대학원 철도시스템학과 박사과정(수료). 2002년 4월~현재 (사)한국전기철도기술협력회 부장.

E-mail : yanshik@hanmail.net



김 재 문 (Jae-Moon Kim)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 졸업(공학박). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2006년~현재 국토교통부 철도기술 전문위원. 2004년 3월~현재 한국교통대학교 교통대학원 교통시스템공학과/철도전기전자공학과 교수.

E-mail : goldmoon@ut.ac.kr