

# 도시철도차량 전선에 대한 열화진단 방법 고찰

## A Study on Deterioration Diagnostic Method for Electrical Wires of Electric Multiple Units

홍용기†                      정종덕\*                      편장식\*\*  
Hong, Yong-Ki              Chung, Jong-Duk              Pyun, Jang-Sik

---

### ABSTRACT

Several kinds of Electrical Wires have been used in Electric Multiple Units(EMU) for the supply of electric power, supervision, and the propagation of control signals. These Electrical Wires must be inspected for safe and stable operation of EMU. The degradation diagnosis to estimate the integrity of Electrical Wires has recently been requested according to the long use of EMU. This paper describes on application of diagnosis method for EMU.

---

### 1. 서 론

도시철도차량에는 여러 종류의 전선이 전력공급, 감시 및 제어신호 등의 전달을 위해 이용되고 있다. 이러한 전선들은 차량의 안전한 운행을 위해서 어느 정도 열화가 되었는지 확인할 필요가 있다. 특히, 도시철도차량의 정밀진단을 통한 수명연장과 전선을 장기간 사용함에 따라 전선열화를 평가하기 위한 방법들이 요구되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 도시철도차량의 전선에 대한 열화진단 방법에 대한 평가방법과 사용내구연한이 도래한 차량의 정밀진단시 활용가능여부를 고찰하고자 한다.

### 2. 전선의 열화현상

전기기기에 이용되고 있는 각종 고분자 절연재료는 열, 전기, 환경 및 기계적요인등에 의한 스트레스를 장기간 받으면 초기의 물성치를 유지하지 못하고 변질되기도 하고 극단적인 경우 파괴되기도 하는데 이것을 열화라고 하며 이로 인해 수명이 저하하게 된다.

전기적 열화의 요인은 제작 도중에 절연물에 침입된 이물질이나 공극, 포설공사 중에 받은 응력에 의해 생긴 균열 등에 전계가 집중하여, 코로나 방전이 발생하여 열화가 촉진되며, 화학적 열화의 요인은 폴리에틸렌, 가교 폴리에틸렌 케이블에는 화학 성분이 절연체를 투과하여 도체에 이르고, 도체 재료와 반응하여 생성한 화합물이 절연체 중에 트리 상으로 진행되어 절연파괴에 달하는 화학트리 현상이 생긴다. 비닐 외

---

† 책임저자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 도시철도표준화연구단, 수석연구원

E-mail : ykhong@krii.re.kr

TEL : (031)460-5501 FAX : (031)460-5749

\* 정회원, 한국철도기술연구원, 도시철도표준화연구단, 책임연구원

\*\* 비회원, 인하대학교 대학원(한국철도기술연구원), 도시철도표준화연구단, 학연박사과정

피(Sheath)는 기름이나 약품에 의해 가소제가 추출되어 경화한다.

열에 의한 열화는 절연체가 열에 의해 분자 연결고리의 분열 반응으로 열화 한다. 비닐 외피는 고온 수나 증기에 의해 가소제가 추출되어 열화가 진행된다. 흡수에 의한 열화는 절연체중의 수분이나 절연체 중을 투과하는 수분이 전계와 열과의 상승작용에 의해 수지상의 수트리(Water Tree)라 부르는 미세한 채널이 형성되어 절연파괴전압을 저하시킨다. 기계적 열화의 경우는 포설시의 무리한 구부림이나 킁크(꼬임, 비틀림, 압힘 등)에 의한 절연의 손상, 포설후의 중량물에 의한 압력이나 진동, 부하전류의 변화에 의한 신축 등에 의해 비닐 외피나 절연물이 손상을 받아, 그 부분으로 침수되거나 손상 부분에 발생하는 코로나에 의해 열화가 진행된다.

전기적 요인 중에서 부분 방전열화는 절연체내의 보이드나 절연체와 내·외부 반도체층 간의 갭 등에서 발생하는 부분방전에 의해 절연체가 침식되어 절연성능이 저하되거나 경우에 따라서는 절연파괴에 이르는 열화형태이다. 또 전기트리 열화는 케이블 절연체내의 국부 고 전계부에서 부분파괴가 발생하여 수지(樹脂)형으로 진전하여 가는 열화형태로 케이블에 인가되어 있는 전압이 저하하여도 고 전계를 발생하는 조건이 있으면 일어날 수 있으며, 그 흔적이 나뭇가지형상으로 발전하여 전체가 파괴되는 열화형태이다. 한편 수 트리 열화는 물과 전계가 공존상태에서 발생하는 수Tree에 의한 열화형태로 전기Tree에 비해서 저전계에서도 발생하는데, 전기Tree와의 차이점은 건조하면 Tree가 보이지 않고 없어진다. 수Tree 열화의 종류로는 절연체중의 Void 수Tree, 이물로부터 발생하는 Bow-Tie 수Tree가 있다. 환경과 조합된 열화의 형태는 열적 열화와 화학적 열화가 있다. 열적 열화는 고분자재료가 장시간 고온에 접하면서 열과 산소에 의해 분자구조가 파괴되어 인장강도, 신장율의 저하 등을 가져와 노화되고, 노화에 의해 케이블의 성능이 저하되며, 화학적 열화는 기름, 약품 등이 내부로 침투하여 재료의 팽윤, 기계적강도의 저하, 용해, 화학적 분해, 배합물의 추출에 의한 경화, 중량감소 등의 화학적 손상 열화로 절연성능이 저하되고, 황화수소 등의 동 도체와 화학반응을 일으켜서 황화동, 산화동 등을 생성하여 절연성능을 저하시키고, 전계의 유무에 상관없이 일어나며, 전계가 있는 경우는 촉진하기 쉬운 화학 Tree 열화로 케이블의 성능을 저하시킨다. 또한 화학 Tree는 그것 자체의 전계가 높기 때문에 절연체의 파괴전압을 현저히 저하시킨다. 또한 전선의 기계적 손상 및 변형은 외상, 부하변동에 따른 열 신축운동, 생물학적 요인 등 여러 요인이 조합되어 절연성능을 저하시키게 된다.

케이블의 절연열화는 보통 사용되는 환경하의 여러 요인들에 의해 중첩되는 복합열화의 상태로 발생되며 그 중에서도 수트리를 포함한 전기적요인, 열적요인, 기계적 요인 등이 중요한 열화의 요인이 되고 있다. CV케이블에서 각종 열화요소에 의한 열화진전 과정과 열화신호를 요약하면 도표 1과 같다.

도표 1. 열화요소에 의한 케이블의 열화진행과정 및 신호

열화의 종류	고장MODE	열화PROCESS	열화 신호
열적열화	금속피로 (차폐층)	과열→열신축에 의한 금속피로 →파괴단선→Case C	차폐층저항 증가
	열열화 (절연체)	과열→산화,분해→반응생성물이온 →절연성능 저하	절연저항 저하
흡수열화 (방식층 외상침투)	수TREE열화 (절연체)	Case A : 수분침투→수TREE발생진전 →절연체 관통→절연파괴	절연저항 저하
	부식파괴 (금속차폐층)	Case B : 수분침투→차폐층 부식손상 →강도저하→파괴단선	차폐층 저항 증가
	열열화 (절연체)	Case C : 파괴단선부 발열→파괴단선부 과열,노화,탄화→절연파괴	절연저항 저하
전기적 열화 (Void,돌기)	전기TREE열화 (절연체)	Case D : 국부고전계→부분방전 →절연체침식→절연파괴	절연저항 저하

### 3. 열화진단 평가방법

전선의 절연체가 열화되는 경우는 열화의 원인 및 형태, 열화의 정도에 따라 절연체의 재질 및 구조가 변화하여 전선의 전기적 특성이 변화하게 된다. 이러한 변화 중에서 열화에 의한 내전압 성능저하를 나타낼 수 있는 특성값을 선별하여 이것을 측정함으로써 전선의 열화진단이 가능하게 된다.

#### 3.1 정전상태에서의 평가방법

정전상태에서 전력케이블의 절연상태를 진단하는 각종 절연진단법을 정리하면 다음 도표 2와 같다.

도표 2. 케이블의 정전상태에서의 절연진단법 종류

직류법	절연저항측정법, 직류누설전류법, 전위감쇄법, 내전압시험법, 회복전압법, 역흡수전류법, 잔류전압법, 과도직류전류법, 등온완화전류법
교류법 (상용주파법)	유전정접법, 정전용량측정법, 내전압시험법, 교류손실전류법
초저주파법	유전정접법, 부분방전법, 정전용량측정법
준삼각파법	부분방전법
교직중첩법	유전정접법, 부분방전법, 직류분시험법

##### (1) 절연저항측정법

절연저항계는 일반적으로 [메가]로 불리워지고 있고 전지식과 회전식이 있다. 케이블에 직류전압을 인가하여 누설전류를 측정하는 것으로, 충전전류가 순간적으로 흐르지만, 다음에 흡수전류는 감소하여 누설 전류만 잔존한다. 이 때문에 절연저항 측정은 일반적으로 직류전압인가로부터 1분 경과후의 값을 측정한다. 절연저항계에서의 열화판정기준을 정확히 정하는 것은 현재에서는 어려운 점이 있고, 측정치는 환경과 케이블의 구조, SIZE 등에 따라 변화하므로, 정기적으로 측정하여 장기적인 변화 경향으로부터

절연의 상태를 판단하는 것이 바람직하다. 절연저항측정법의 장점으로서, 절연저항계는 소형경량으로 어떤 장소에서도 간단히 취급할 수 있고, 또 조작도 간단하여 많이 사용되고 있다. 그러나 열화진행이 매우 작은 열화를 측정할 수 없고, 측정 외부환경의 영향 등에 의해 측정결과 오차가 커서 일반적으로 참고치로 사용하는 경우가 많아지고 있다.

(2) 직류누설전류법

CV케이블에 직류전압을 인가하여, 흡수전류 및 누설 전류를 측정하여, 그 절대치, 전류-시간특성, 특이점 유무에 따라 CV케이블의 열화의 상태를 판정하는 방법이다. 또한 용이하게 실시가 가능하며, 측정정도가 높아 케이블의 열화판정 및 보수판정에 널리 활용되고 있다.

(3) 직류내전압시험

케이블 절연체에 규정의 직류고전압을 일정시간 인가하여 그때의 절연파괴의 유무를 조사하여 절연상태의 양부를 판정하는 시험이다. 본래는 전선로의 준공검사로 실시되고 있다. 따라서 엄밀하게는 절연열화진단 하기 위한 시험이 아니고, 케이블의 절연성능을 기본적으로 보증하기 위한 목적으로 실시되고 있다. 이 시험은 작업이 비교적 간단하고 단시간에 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있지만, 측정대상 케이블이 열화 정도가 심한 경우 케이블을 파괴시킬 위험성이 있기 때문에 비파괴시험이어야 한다는 열화진단시험의 본래 목적에는 맞지 않다.

(4) 유전정접법

절연물에 교류전압을 인가한 경우 흐르는 전류 I는 손실이 있기 때문에 전압 V에서  $\pi/2$ (전기각) 앞선 충전전류보다 불과  $\delta$ 만큼 뒤진 것이 된다. 이  $\delta$ 를 유전손각이라고 하며, 그 정접을 유전정접( $\tan\delta$ )이라고 한다.  $\tan\delta$ 는 절연물 고유의 것이며 절연물의 크기나 두께에는 관계가 없고 절연물의 평균화된 성상을 나타낸다. 이 때문에 권선절연의 전압특성에서 절연내부의 공극 유무, 오손, 흡습 등의 열화진단에 널리 사용된다. 절연층 내부에 공극이 존재하면 전압인가에 의해 부분방전이 발생,  $\tan\delta$ 가 상승하는 것에 의해 방전이 발생하지 않는 전압에서의  $\tan\delta$ 와의 차, 이른바  $\Delta\tan\delta$ 는 절연열화를 전체적으로 나타내는 지표로서 이용된다.  $\tan\delta$ 는 일반적으로 전압의 상승에 따라 증대하지만 오손이나 흡습의 영향을 받아 전압의 상승과 더불어 감소하는 예도 볼 수 있는 등 그 특성은 일정하지 않다.

(5) 전위감쇄법(직류전압감쇄법)

전위감쇄법과 직류전압감쇄법의 측정원리는 동일하며, 전위감쇄법의 측정원리는 측정대상 케이블의 도체에 직류전압(규정인가전압)을 인가하여 고압SW를 off한(직류인가전압개방) 후, 전압계에 측정되는 판정전압까지 소요되는 시간특성을 측정하는 것이다. 한편, 직류전압감쇄법은 일정시간 동안 규정인가 직류전압을 측정대상 케이블의 도체에 인가하고, 고압SW를 off하여 정해진 시간이 경과한 후의 전압계에 측정되는 전압을 측정하는 것이다.

(6) 등온완화전류법

이 방법은 절연체의 방전특성변화를 이용하여 케이블의 중합 절연체 상태를 판정하는 것으로 중합성체 구조중의 특성이너지수준에서 전하의 흐름이 트랩(trap)된다는 사실을 이용한 것으로 측정회로에서 케이블 도체에 직류전압(1kV)을 일정시간(30분) 인가한 후 전원을 분리하여 단시간(5초)동안 접지로 연결하여 용량성분을 제거한 후에 완화전류를 측정하여 Aging Factor(열화계수)를 계산하여 케이블 열화

상태를 판정한다.

(7) 잔류전압법(회복전압법)

수트리 열화된 CV케이블에 전압인가 후, 도체를 접지하고 다시 개방하면 시간경과에 따라 어느 정도의 전압이 도체에 회복된다. 이 절연체 내에 공간전하 또는 주입전하에 의해 발생하는 시간적인 지연특성을 갖는 전압을 잔류전압 또는 회복전압이라 부르며 CV케이블의 수트리 열화진단에 이용한다.

(8) 역흡수전류법

역흡수전류의 발생원리는 잔류전압법과 거의 동일하다. 전자는 완화가 늦은 분극전하성분을 도체개방시의 유기 전압으로 하여 고임피던스 측정기에 의해 검출하는 것에 대하여, 본 방법에서는 도체단락시의 전류로서 저임피던스 측정에서 검출한다.

(9) 부분방전법

부분방전측정은 초고압CV케이블의 결함검출 기술로서 근래 특히 많이 사용되고 있다. 그러나, 수트리에서 발생하는 부분방전은 절연과괴의 최종단계인 전기 트리의 발생·진전에 기인하기 때문에 부분방전측정을 전력케이블 열화진단에 이용하는 의의는 없으며, 적용 예도 없고, 단말접속재의 열화진단에 일부 사용되고 있는 것이 현재상태이다.

(10) 잔류전하법

케이블에 직류를 인가하고, 일단접지한 후에 교류전압을 인가하여, 교류전압에 중첩되어 유출하는 과도직류전류(잔류전하)를 검출하는 것이다. 수트리 열화케이블의 열화상태와 잔류전하량이 있다는 것이 알려져 있기 때문에 검출한 전하량을 사용하여 열화를 진단한다.

(11) 교류손실전류법

교류손실전류법은 교류인가시에 케이블 절연체에 흐르는 전류 중 손실전류 성분을 측정하여 손실전류에 포함되어 있는 고조파(특히 제3고조파)를 절연진단에 이용하는 것이다. 고조파 전류의 발생원리는 수트리의 전류 전압특성이 비직선적이라는 것에 기인하며 원리적으로 비관통 수트리 검출도 가능하다.

### 3.2 활선상태에서의 평가방법

(1) 직류성분법

교류전압 인가시에 충전전류 중에 미약한 직류성분이 포함되는데 이를 활선상태에서 차폐동 TPAB과 대지간의 접지선에서 측정한다. 직류중첩법과 달리 특별한 전원장치가 필요가 없어 측정이 간편하다.

(2) 직류전압중첩법

GPT(또는 접지면압기)의 1차 중성점을 통하여 고압모선에 직류50V를 교류전압에 중첩시키고, 활선상태에서 전력케이블 도체와 차폐동 Tape간에 흐르는 직류누설 전류를 측정하여 절연저항을 산출하는 것이다.

(3) 활선Tanδ법

고압케이블에 분압기를 접속하여 측정한 선로전압과 절연체 중에 흐르는 전류와의 위상차에서 Tanδ구하는 방법이다. 활선상태에서 Tanδ를 측정하므로 특별한 고압전원장치가 불필요하지만 전압측정을 위해 충전부에 접촉할 필요가 있다.

#### (4) 저주파중첩법

배전선로에 저주파 전압을 인가하고 cable접지선에 흐르는 저주파 전류 가운데 유효분 전류를 검출하고 절연저항을 구하는 것이다.

#### (5) 교류중첩법

교류중첩법은 케이블의 차폐층에 상용주파수의 2배+1Hz의 교류전압을 중첩하여, 수트리열화에 기인한 1Hz의 열화신호를 검출하는 방법이다. 수트리 열화케이블에서는 상용주파수+1Hz 부근의 전압을 중첩한 때, 측정된 열화신호가 가장 크게 된다. 이것 때문에 본 방법에서는 상용주파수+1Hz의 전압을 중첩하여, 1Hz의 열화신호를 검출하고 있다.

#### (6) 맥동검출법

교류전압 과전상태에서 수TREE 열화부의 정전용량이 변화하여 발생하는 상용주파수보다 낮은 주파수의 전류를 맥동으로서 검출하는 방법이다.

### 4. 도시철도차량 정밀진단

#### 4.1 도시철도차량 케이블 정밀진단방법

도시철도차량의 전기장치에 대한 정밀진단은 추진제어장치, 보조전원장치, 고전압장치 및 기타 전기장치를 대상으로 한다. 단, 주기적인 교환품이거나 이전의 분해검사에서 수리 또는 교체된 부분이 최적의 상태로 복원된 것으로 판단되는 경우에는 진단대상에서 제외할 수 있도록 되어 있다. 전기장치 중 케이블에 대한 정밀진단은 일반검사와 정밀검사로 나누어져 있다. 일반검사는 정밀진단자가 성능시험기준을 준용하여 검사항목을 선정하며, 육안검사를 통한 상태검사와 측정에 의한 검사(절연저항 및 내전압 시험)를 실시한다. 정밀검사는 정밀진단자가 일반검사결과 정밀검사가 요구되는 경우 실시하며, 케이블의 전기적 특성평가를 위해 절연특성시험(절연저항, 내전압, 유전손실 및 부분방전시험 등)을 실시한다.

#### 4.2 케이블 정밀진단 사례

##### (1) 도시철도차량 케이블 정밀진단 사례

국내 도시철도차량 중 25년이 도래한 차량의 케이블에 대한 정밀진단은 전기배선에 대한 상태검사 및 절연저항을 측정하였다. 전기배선은 대부분 차량 내부의 배관 안에 들어가 있는 상태로서 외부의 자외선, 오염물질, 오염공기 등으로부터 보호되어 매우 양호한 상태이었으나 외부에 노출된 배선은 많은 오염물에 오염된 상태였으며, 열화 및 경화가 진행되고 있었다. 전반적으로 양호한 배선상태를 유지하였으나 일부분에서 부식, 열화, 경화 등이 발생되었으며, 사용내구연한을 초과하여 사용하는 것은 불가능한 것으로 판단되었다. 또한 본선시운전을 시행한 후 전기장치의 이상 발열상태를 확인하기 위하여 열화상 진단을 실시하였으며, 열화상진단결과 이상이 발견된 곳은 정상적인 곳보다 높은 온도를 보여 열화가 발생한 것으로 나타났다.

##### (2) 철도차량 케이블 정밀진단 사례

디젤전기기관차의 전기장치에 대한 정밀진단 항목 중 고압 케이블에 대한 진단을 실시하였다. 고압

케이블의 전기적 시험은 견인전동기로부터 고압 케이블을 분리할 수 없기 때문에 케이블과 견인전동기가 연결된 상태에서 실시한 결과와 유사 사용 년 수의 차량으로부터 채취한 샘플 케이블에 대하여 실시한 결과를 분석하여 교체 여부를 판정하였다. 케이블에 대한 시험은 육안점검, 절연저항의 측정 및 내전압 시험을 실시하였고, 노화평가를 위해 열화상검사 분석이 실시되었다. 고압케이블의 시험 결과 현장설치상태에서의 시험과 샘플에 의한 시험 결과에 따라, 열화에 의한 전기적 성능저하는 나타나지 않았으며, 또한 외관상 열화로 추정되는 갈라짐이나 변색 등의 이상점이 발견되지 않았다.

## 5. 도시철도차량 케이블에 대한 열화진단 기법적용 고찰

### 5.1 케이블 열화진단 기법 분석

케이블의 절연재는 열화로 인하여 전기적 특성이 변화하므로 사용 중인 케이블의 열화진단은 검출이 용이하고 신뢰도가 높은 진단법을 선정할 필요가 있다. 따라서 케이블 열화에 대한 여러 가지 진단방법 중 도시철도차량 케이블 정밀진단에 적용되고 있거나 적합하다고 판단되는 방법에 대해 도표 3과 같이 장단점을 비교하였다.

도표 3. 주요 케이블 열화진단 방법 비교

열화진단방법	장점	단점
절연저항시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 취급간단, 숙련이 필요 없음</li> <li>○ 단시간에 측정 가능</li> <li>○ 절대값으로 가능</li> <li>○ 기준치 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 미소한 열화검출은 어려움</li> </ul>
내전압시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 직접적, 실무적임 방법</li> <li>○ 취급이 비교적 용이</li> <li>○ 평가 기준치 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 시편의 파괴 가능성 있음</li> <li>○ 측정시간이 비교적 짧음</li> </ul>
유전정접시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수분(수트리) 등의 영향 평가에 용이</li> <li>○ 기술이 실용화 되어 있음</li> <li>○ 관련 자료 풍부</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장비가 비교적 큼</li> <li>○ 수분 등에 의한 배향 분극이 없는 경우는 적용이 어려움</li> <li>○ 정확한 평가 기준이 없음</li> </ul>
등온완화전류법	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 수분(수트리)에 의한 열화 평가에 용이</li> <li>○ 공간전하 영향 적음</li> <li>○ 새로운 측정 기술임</li> <li>○ 인가전압이 낮음</li> <li>○ 상대적 측정은 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ pA오더의 전류를 검출:노이즈 영향 큼</li> <li>○ 측정시간이 많이 걸림</li> <li>○ 정확한 평가 기준이 없음</li> </ul>
부분방전 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 열화를 초기에 검출 가능</li> <li>○ 다양한 열화 정보를 알 수 있음</li> <li>○ 국부적인 열화 검출에 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 장비가 비교적 큼</li> <li>○ 정확한 평가 기준이 없음</li> <li>○ 데이터량이 많음</li> </ul>
직류누설전류	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 측정감도가 높음</li> <li>○ 다양한 열화 정보를 알 수 있음</li> <li>○ 흡습 열화 검출에도 적용 가능</li> <li>○ 신뢰성이 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 측정이 다소 복잡함</li> <li>○ <math>\mu</math>A오더의 전류 검출</li> <li>○ 데이터량이 많음</li> </ul>

### 5.2 도시철도차량 주요 케이블 열화진단 시험 및 결과

사용내구연한이 도래된 도시철도차량 케이블에 대해 일부 전선을 채취하여 시험을 시행하였으며, 시편의 채취부위는 Power 선, Motor 선, 보조전원선, 제어선으로 선정하였고, 시험방법은 절연저항시험, 유전

정접시험, 내전압시험, 누설전류측정, 부분방전시험에 대해 열화진단이 실시되었다. 시험결과 각 열화진단 방법의 평가기준에 의해 양호한 것으로 나타났으나 신제품과의 비교가 이루어지지 않아 정확한 열화정도를 평가하는데 어려움이 있었다. 이는 사용내구연한이 도래한 차량의 케이블이 현재 생산되지 않고 있어 비교를 할 수 없었으며, 현재 사용되고 있거나 근래에 사용되었던 케이블 신제품과의 간접적인 비교시험을 진행하여 열화정도를 비교할 수는 있으나 정확한 열화정도를 평가하는데 비교데이터로는 신뢰성이 떨어질 것으로 사료된다.

## 6. 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 도시철도차량 정밀진단 과정에서 전기장치 중 전선에 대한 열화진단 및 수명평가에 대한 연구가 많이 진행되지 않아 전선의 노화 및 열화 등을 판단하는데 어려움이 많을 것으로 사료되며, 도시철도차량 정밀진단지침 중 전선에 대한 열화진단방법이 일부 제시되어 있으나, 명확한 열화 평가기준을 제시되어 있지 않아 다른 열화진단 평가방법을 통해 도시철도차량 전선 열화의 평가 가능여부를 확인할 필요가 있다.

도시철도차량 전선의 절연재는 열화로 인하여 전기적 특성이 변화하므로 유지보수시 철저한 관리가 요구되며, 또한 정밀진단시 케이블의 열화진단은 검출이 용이하고 신뢰도가 높은 진단방법을 선정하여 제시할 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 김종은, 서광석 (1998), “특성분석을 통한 케이블 열화진단의 기본개념”, 전기전자재료, 제11권, 제6호.
2. 임종성, 김보경, 주태광, 유성종 (1996), “전력 케이블 열화진단 기술”, 대한전기학회지:전기의세계, V.45, No.4, pp.20-24.
3. 서광석, 박진우 (1990), “고압용 전선의 전기절연과 공간전하”, 대한전기학회지:전기의세계, V.39, No.2, pp.12-24.
4. 김보경, 목영수, 이관우, 박대회 (2003), “고압 및 특고압 전력케이블의 절연진단 및 유지보수 관리방법”, 전력기술인협회지.
5. 한국철도기술연구원 (2005), “전기동차 유지보수체계 개선을 위한 전기장치 정밀진단”, 한국철도공사.
6. 한학수, 민경윤, 유기선 (2007), “전력케이블 열화 감시방안에 관한 연구”, 한국철도학회.