

## Evaluation Standards to Diagnosis Cables in Urban Railway Vehicles

임재윤<sup>†</sup> · 이종필\* · 이대종\*\* · 지평식\*\*\* · 강성화<sup>§</sup> · 김형철<sup>§§</sup>

(Jea-Yoon Lim · Jong-Pil Lee · Dae-Jong Lee · Pyeong-Shik Ji · Seong-Hwa Kang · Hyung-Chul Kim)

**Abstract** - Urban rail transit brings the benefits of various aspects of society. With the advent of fast and large trains, however, risk and scale of accidents have increased. Despite the fact that there is various safety features built into the modern metros, train faults happen from time to time. Especially, as urban railway vehicles in Korea have become deterioration rapidly, more advanced diagnosis methods are required to prevent various accidents. In this paper, we present diagnosis method for electrical wires to guarantee secure driving and authenticity more accurately in urban railway vehicles. Although there are kinds of conventional methods based on insulation resistance measurement and withstand test, it is extremely difficult to effectively diagnose obsolete equipments such as electrical wires and cables not new ones. This study is focused on development of diagnosis method and establishment of evaluation standard for electrical wires in urban railway vehicles.

Key Words : Cables, Diagnosis Method, Urban Railway Vehicles

### 1. 서 론

최근 산업 고도화에 따른 물류량 증가와 도시 인구 집중에 따른 교통난 심화로 교통 문제 해결이 심각하게 부각되고 있고, 자동차의 급속한 증가로 육로 교통은 한계 상황에 이르렀으며, 또한 공해, 소음 등 환경오염에 따른 우려도 높아졌다. 이런 상황에서 환경 친화적이고 에너지를 유효하게 이용할 수 있으며 안전성과 신속성, 편의성 등을 갖춘 대중교통 수단으로 전기철도가 각광을 받고 있다. 현재 국내에서 운영되고 있는 전기 철도는 고속화 및 고성능화의 요구로 인해 인버터 구동에 의한 추진 시스템을 갖춘 전기 철도가 운영되고 있다. 그러나 전기 철도의 유지 보수 방법과 체계는 신기술의 도입에 따른 각종 열화 및 전기적 스트레스를 고려하지 않고 과거의 진단방법에 의존하고 있어 진단방법의 개선이 요구된다[1][2].

전기 철도의 전기 장치는 집전장치, 견인 전동기, 주회로와 제어회로 기기, 종합 제어 장치, 보조전원장치, 신호보안장치 등으로 구성되어 있다[3]. 현재 주요 전기 장치에 대한 유지 보수 및 진단방법은 구축되어 있으나 전기장치들 사이를 연결하는 전선에 대한 진단방법에 대한 연구는 국내외적으로 미흡한 실정이다. 국내 도시철도차량의 절연 전선의 수명을 판단하기 위한 주요 진단방법으로는 절연저항 측정

이나 직류내전압시험이 사용되고 있다. 절연저항 측정의 경우 철도 차량의 사용 연한에 따른 절연저항의 변화가 거의 없는 관계로 기존의 절연저항 진단 기준으로는 실질적인 유지보수를 시행할 수 없다. 그러나 도시철도 차량의 사용 연한에 따라 전선 절연물의 경화에 따라 부분적으로 절연물이 열화 되어있어 주위 조건(환경)에 따라 누전 및 단락 사고의 위험성이 매우 크다. 따라서 주위 조건에 따른 절연 저항을 측정할 필요가 있으며, 또한 새로운 전선의 열화 정도를 측정할 수 있는 방법의 개발이 아주 중요하다. 따라서 전기 철도 차량의 운행 연한에 따른 절연 전선의 합리적인 열화 진단 방법과 이에 부합하는 진단 기준이 시급히 확립되어야 한다.

본 논문에서는 직류 누설전류시험법과 유전정접에 기반을 둔 도시 철도차량에 적합한 전선의 열화 진단 방법을 제안한다. 제안된 방법은 누설전류와 유전정접의 상호관계를 이용하여 진단하는 방법으로 판단기준을 세 경우(양호, 준불량, 불량)로 고려하여 전선의 상태를 진단한다. 실제 철도차량에 사용된 다양한 시료에서 취득된 데이터를 이용하여 제안된 방법을 검증한다.

### 2. 철도차량 전선의 열화진단 방법

전선에는 열화를 발생시키는 요인이 단독 또는 중첩(복합)으로 작용하여 열화가 발생하며, 열화의 종류로는 전기적, 열적, 화학적 및 기계적 열화가 있다. 전기적 열화는 케이블이나 전선에 전압을 인가하여 장기 사용함으로써 발생하거나 과전압이 가해짐으로 인하여 발생하는 열화로써 가장 많다. 열적열화는 케이블이나 전선을 구성하는 고분자 재료가 오랫동안 고온에 접하면서 발생하며 전기적 성능을 저하시킨다. 화학적 열화는 고분자재료에 기름이나 약품 등이 내부로 침투하여 전기적 성능을 저하시킨다. 기계적 열

<sup>†</sup> 교신저자, 시니어회원 : 대덕대학 전기과 교수 · 공박  
E-mail: jyylim@ddu.ac.kr

\* 비 회원 : 충주대학교 전기공학과 외래교수

\*\* 비 회원 : 충주대학교 전기공학과 외래교수 · 공박

\*\*\* 시니어회원 : 충주대학교 전기공학과 교수 · 공박

§ 비 회원 : 충청대학 소방안전과 교수 · 공박

§§ 정 회원 : 한국철도기술연구원 전철전력연구실장 · 공박

접수일자 : 2010년 6월 17일

최종완료 : 2010년 8월 14일

화는 케이블이나 전선의 손상 또는 변형 등이 있다. 이러한 열화로 인하여 케이블이나 전선의 절연체는 전기적 특성이 변화하므로 사용 중인 케이블이나 전선의 열화진단이 용이하고 신뢰도가 높은 진단 방법의 선정은 어려운 과제이다. 그림 1에서는 본 논문에서 제안한 철도차량 전선의 열화진단 방법을 나타냈다. 그림 1에서 보는 바와 같이 절연저항과 직류 내전압 시험에 의해 고려대상인 전선의 양호/불량 판정을 하게 된다. 기본시험에서 전선이 양호라 판정되었다 하더라도 열화진행 정도를 분석하기 위해 직류 누설전류시험과 유전정접시험을 수행한다. 본 장에서는 각각의 시험방법에 대하여 서술한 후 누설전류와 유전정접을 이용한 최종 진단방법을 서술하고자 한다.

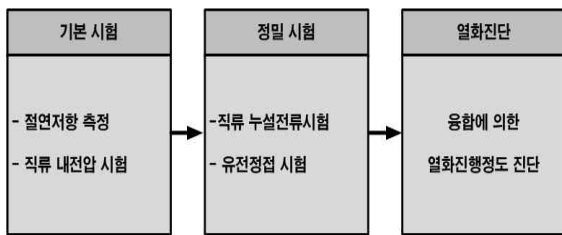


그림 1 철도차량용 전선의 진단방법  
Fig. 1 Diagnosis method for wires in urban railway vehicles

### 2.1 내전압 시험법

내전압 시험은 절연체에 규정의 고전압을 일정시간 인가하여 그때의 절연파괴의 유무를 조사하여 절연상태의 양부를 판정하는 것으로 본래는 전선을 설치한 후 준공검사에서 실시되고 있다. 엄밀하게는 절연열화진단을 하기 위한 시험이 아니고 절연성능을 기본적으로 보증하기 위한 목적으로 실시되는 시험이다[4]. 내전압 시험은 작업이 비교적 간단하고 단시간에 결과를 얻을 수 있는 장점 때문에 널리 사용되고 있으나, 측정대상이 열화정도가 심한 경우 전선의 절연물을 파괴시킬 위험성이 있어 주의가 필요로 한다.

본 연구에 사용된 Programmable Automatic Withstanding/Insulation Tester (MODEL 9051, kotronix)는 AC/DC 내압 및 절연저항을 각각 시험 할 수도 있고, 10단계 까지 시험 할 수 있다. 즉, AC 내압 → 절연저항 → DC내압 → AC 내압 등으로 10 단계의 시험 스템을 지정할 수 있으며, 50개 까지 저장해 필요한 시험을 할 수 있다. 내압 시험 시에는 누설전류도 측정가능 하며, 절연저항 시험 시에는 저항 측정이 가능하다. AC 내전압은 0.1~5[kV], DC 내전압은 0.1~6[kV], 절연저항 시험은 100~1000[VDC]를 공급할 수 있다.



그림 2 내전압 실험장치 구성  
Fig. 2 Configuration of withstand voltage tester

### 2.2 직류 누설전류 시험법

직류 고전압 전원을 이용한 직류누설전류 측정법은 일반적으로 전력케이블의 열화 판정에 사용되어 왔던 열화진단 방법이다. 이 측정법은 전원이 소용량으로 측정이 비교적 간단하고 전류값, 흡수전류의 형상, 킥 전류현상, 전압 특성 등 정보가 풍부하여 현장 적용이 용이한 측정법이다. 이 방법은 케이블 절연체에 직류 고전압을 인가하고, 그때에 검출된 누설전류의 크기와 시간특성 변화로부터 절연성능을 진단하는 방법이다[5]. 시험은 피측정물에 직류고전압을 인가하여 전류-시간특성, 전류-전압특성, 전류-온도특성 등으로 절연의 손상, 특히 건조, 오손, 도전성 불순물의 혼입 등으로부터 절연물의 열화 상태를 진단하는 시험법이다. 누설전류는 절연물의 내부 및 표면의 오손 등의 전기저항분에 의한 전류로써 시간의 경과와 함께 거의 일정하게 연속되며 절연열화와 관계가 깊은 전류성분이다. 누설전류를 검출하기 위해서는 브리지 방법 또는 전압과 절연저항의 측정으로 측정될 수 있다. 직류 고전압 시험회로를 그림 3과 같이 구성하고 인가전압에 따른 전류값을 측정한다. 측정되는 전류는  $\mu A$  크기로 미소하기 때문에 외부 잡음, 정전유도 등에 의한 측정오차를 최소화 하여야 하므로 접속선은 가능한 짧게 하고 쉴드선을 사용한다.

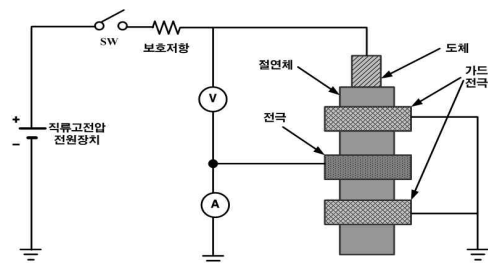


그림 3 직류누설전류 측정 회로  
Fig. 3 Circuit for DC leakage current testing

본 연구에서는 누설전류 측정을 위해 Programmable Automatic Withstanding/ Insulation Tester와 Electro pico-Ammeter를 사용하여 전동 차량용 전력케이블 및 제어선, 전동기선 등의 직류 누설전류를 측정할 수 있도록 시험 장치를 구성하였으며, 그림 4는 직류 누설전류 측정 예를 나타내었다. 한편, 본 연구에 사용된 장비는 DC 시험전압은 0.1~6[kV]로 공급할 수 있으며, Electro pico-Ammeter는  $10^{-12}[A]$ 까지의 누설전류를 측정할 수 있다.

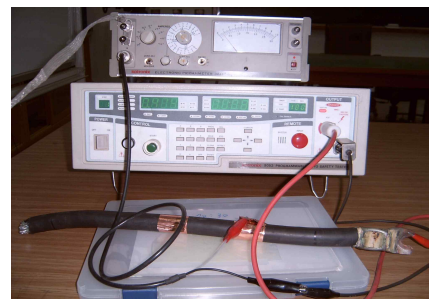


그림 4 철도차량 전선의 직류누설전류 시험법  
Fig. 4 DC leakage current testing for wires in urban railway vehicles

**2.3 유전정접 시험법**

유전정접 시험의 목적은 전선절연체의 열화를 유전정접 값의 관측을 통해 검출하기 위한 것이다. 유전정접( $\tan\delta$ )의 값은 절연물 고유의 것이기 때문에 절연물의 특성을 표시하는데 이용되지만, 이 값은 시험물의 국부적인 특성을 나타내고 있는 것은 아니며, 평균화된 특성을 표시하는 것이다. 또한 절연물의 특성(예를 들면, 수지의 경화정도), 불순물의 잔류, 보이드 등의 결함에서의 부분방전에 의해서도 고유값이 달라지기 때문에 절연물의 품질관리나 열화의 판정에 널리 이용되고 있다[6-9].

유전정접 시험장치는 시험용 전원, 표준 콘덴서, 측정회로 부 및 검출부로 구성된다. 시험전원은 고주파 성분을 포함하지 않는 정전전압에 근사한 전원으로 시험전압까지 부분방전이 발생하지 않아야 한다. 표준콘덴서는 정전용량이 정확하게 교정되어 무손실이거나 혹은 손실을 알고 있는 것이라야 한다. 전원전압의 파형의 왜형은  $\tan\delta$  값에 상당할 오차를 주기 때문에 가능한 한 정현파 전압의 전원을 사용하여야 한다. 전원전압에 고조파 성분이 포함되면, 부분방전 발생 위상이 달라지기 때문에 전압파형의 왜형률이 10[%] 이상의 경우에는 특히 주의하여야 한다. 측정회로부는 통상 브리지 회로가 이용되고 있다. 브리지 회로에는 고전압용으로 1[kHz] 이하의  $\tan\delta$ 를  $1 \times 10^{-5}$ 의 정도로 측정할 수 있는 웨링브리지 가 오래 전부터 널리 이용되고 있다. 또한, 대형회전기와 같이 저전압 측이 접지되어 있는 경우에는 역웨링브리지가 이용되며, 기타대역용 손실각계나 정전용량만의 평형을 갖는 간이 웨링브리지 등이 있다.

본 연구에서는 그림 5에서 보는 바와 같이 C& $\tan\delta$  시험장치를 사용하여 시험 대상인 철도차량용 전선들에 대한 유전손실을 측정하였다. 본 연구에서 사용한 C& $\tan\delta$  시험장치는 0~20[kV] AC를 공급할 수 있으며, 고체 및 액체 유전체의 정전용량 및 유전정접( $\tan\delta$ )을 측정하는 장치이다.



그림 5 유전정접 시험장치  
Fig. 5 Dissipation factor testing equipment

**2.4 누설전류와 유전정접을 이용한 진단방법**

지금까지 연구된 절연전선의 다양한 진단 방법의 특성을 고려할 때, 철도차량 절연전선의 합리적인 진단을 위해서는 기본적인 열화 진단 시험인 절연저항 시험을 실시하고, 현장

의 적용이 용이한 직류 누설 전류 시험을 수행하여 전선의 열화를 일차적으로 판단할 수 있다. 여기서 전선의 열화 정도가 판단이 안 되는 경우는 정밀 진단 방법인 유전정접시험과 부분방전 시험을 수행하고 더 나아가 샘플에 대한 내전압 시험 등을 실시하여 최종 열화 여부를 판단하게 된다. 열화가 된 경우는 내전압 시험으로 인한 절연체의 절연성의 파괴 등이 초래할 것이며, 이러한 열화 여부는 다시 직류 누설전류 시험법을 통하여 확인할 수 있다. 그리고 실시된 열화 진단 방법들의 결과와 판단 기준, 상관성 등 종합적인 분석을 통하여 최종 열화 여부를 판단한다.

철도차량에 사용되는 전선의 열화를 판단하는 방법으로서 본 논문에서는 그림 6에서 보인 바와 같이 누설전류와 유전정접을 고려한 진단 방법을 제안한다. 직류누설전류시험법에 의한 기준은 현재 철도차량에 대한 기준은 없으므로 본 논문에서는 시험에 적용된 전압을 기준으로 유전정접시험결과와 직류 누설 전류 시험 결과를 대응시켰다. 그림 6에서 유전정접시험 결과의 판단 기준 임계값  $\tan\delta_c$ 와 인접한 가장 큰 직류누설전류가 직류누설 전류 시험법의 판단 기준 임계값일 될 것이다. 즉 유전 정접에 의한 판단 기준 임계값  $\tan\delta_c$ 와 직류누설전류 임계값  $I_{dc}$ 의 관계로부터 표 1에서 보는 바와 같이 네 영역으로 구분된다. 따라서 유전정접시험과 직류누설전류시험의 결과에 따라 표 1과 같이 절연전선의 열화 여부를 판정 할 수 있다.

표 1 절연전선의 판정 기준

Table 1 Diagnosis criteria for wires in urban railway vehicles

영역	판단 기준		진단 결과
	유전정접시험	직류누설전류 시험	
I	$\tan\delta \leq \tan\delta_c$	$I_d \leq I_{dc}$	양호
II	$\tan\delta \leq \tan\delta_c$	$I_d \geq I_{dc}$	준불량
III	$\tan\delta \geq \tan\delta_c$	$I_d \geq I_{dc}$	준불량
IV	$\tan\delta \geq \tan\delta_c$	$I_d \leq I_{dc}$	불량

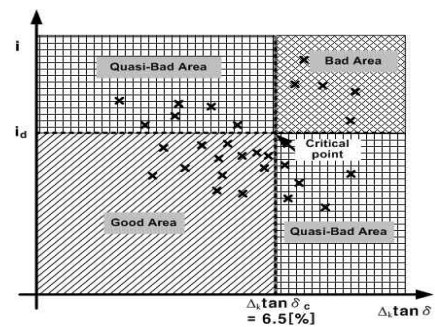


그림 6 누설전류와 유전정접을 이용한 진단방법  
Fig. 6 Degradation by leakage current and dissipation factor

**3. 실험 및 결과**

도시철도 차량에 사용되는 전선의 고장진단기법을 제시하기 위해 표 2에서 보인 네 종류의 시료를 대상으로 DC 누

설전류 시험, 유전정접 시험, 부분방전 시험을 실시하였다. 표 2에서 보인 실험에 사용된 시료 중에서 주전원선은 사용하지 않은 신제품과 25년 사용된 전선을 대상으로 시험하였다. 보조전원선은 신제품과 15년, 25년 사용된 전선을 대상으로 시험하였고, 제어선은 신제품, 15년, 25년 사용된 전선을 대상으로 시험하였다.

표 2 시료의 사양

Table 2 The specification of wire samples

Item	Rated voltage [V]	Conductor size [mm <sup>2</sup> ]	Insulation	Used year
주전원선	1500	150	XLPE	New,25
보조 전원선	1500	125	XLPE	New,15,25
제어선1	600	8	XLPE	New,15,25
제어선2	600	3.5	XLPE	New, 15,25

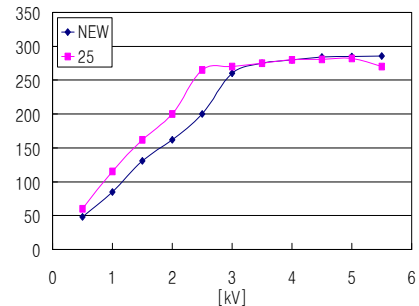
3.1 DC 누설전류 시험 결과

누설전류는 Electro pico-Ammeter로 측정하였다. 실험 시편에 대한 누설전류의 크기를 모르기 때문에 계기의 측정범위는 가능한 한 큰 값부터 설정하여 측정하여야 한다. 측정시 인가전압은 500[V], 1000[V], 1500[V], 2000[V], 2500[V], 3000[V]로 하였다. 고려대상인 시료에 대해 측정된 누설전류는 그림 7과 같다. 그림 7에서 보는 바와 같이 주전원선의 누설전류치는 인가전압에 따라 증가하다가 정격전압의 2배 정도의 전압이 인가되면 포화하는 경향을 보인다. 포화영역을 넘는 전압을 인가/상승 시키면 절연재료를 통과하여 흐르는 누설전류가 급증하고, 결국에는 절연파괴가 발생한다. 일반적으로 동일 시료에 인가되는 전압이 증가하면 흐르는 전류도 증가한다. 따라서 누설전류 측정 및 분석에 의한 결과에 의하면 주전원선의 경우는 절연파괴에 이르는 급격한 전류의 증가 현상이 보이지 않으므로 심각한 열화가 발생되었다고 볼 수 없다.

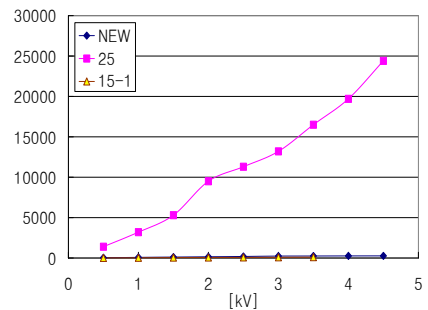
보조전원선의 누설전류치는 신제품 및 15년 사용 시편의 경우 인가전압에 따라 증가하다가 3kV 정도의 전압이 인가되면 포화하는 경향을 보인다. 그러나 25년 사용 보조전원선 시편의 경우 다른 시편의 경우와 비교하여 매우 큰 누설전류치를 보여주고 있다. 보조전원선의 경우 일반적 경향을 적용하면 동일 시료에 인가되는 전압이 증가하면 흐르는 전류도 증가한다. 따라서 누설전류 측정 및 분석에 의한 결과에 의하면 주전원선의 경우는 절연파괴에 이르는 급격한 전류의 증가 현상이 보이지 않으므로 심각한 열화가 발생되었다고 볼 수 없다. 그러나 25년 사용 시편의 경우 다른 시편과 비교해 상대적으로 매우 큰 누설전류치를 보여 줌으로 주요(Quasi-Bad area)하여야 할 것으로 사료된다.

제어선1의 누설전류치는 인가전압에 따라 선형적으로 증가하다고 있다. 신제품, 15년 사용 및 25년 사용 시편의 경우 모두 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 인가전압에 따라 누설전류가 비례하여 증가한 것이므로 시편이 열화되었다고 볼 수 없다. 제어선2의 누설전류치는 인가전압에 따라 선형적으로 증가하다고 있다. 신제품, 15년 사용 및 25년 사용 시

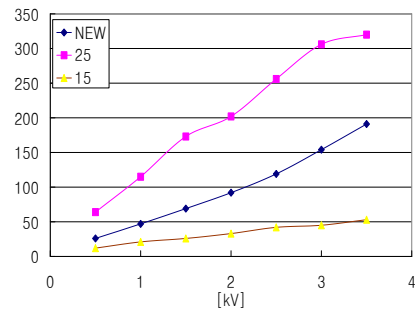
편의 경우 모두 유사한 경향을 보이고 있다. 이는 인가전압에 따라 누설전류가 비례하여 증가한 것이므로 시편이 열화되었다고 볼 수 없다. 다만, 신제품 시편의 경우 누설전류치가 가장 작지 않은 것은 제조상의 문제일 수도 있으나, 이 시편도 또한 열화되었다고 볼 수 없다.



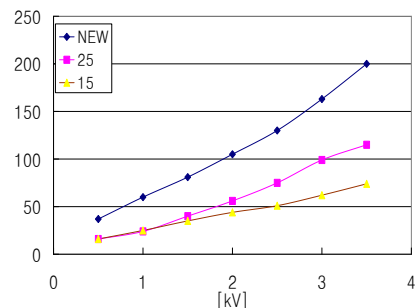
(a) 주전원선



(b) 보조전원선



(c) 제어선1



(d) 제어선2

그림 7 직류 누설전류 시험 결과

Fig. 7 Results of DC current leakage testing

### 3.2 내전압 시험 결과

그림 8에서는 Programmable Automatic Withstanding/Insulation Tester를 사용하여 내전압 시험 결과를 나타냈다. 주전원선 시편의 경우 사용전압의 1.5배의 전압을 1분 이상 인가하여 실험 하였다. 주전원선 시편의 경우 신품, 15년 사용 및 25년 사용 시편의 경우 모두 내전압 시험 결과는 양호하였다. 보조전원선 시편의 경우 "사용전압의 25배 +1,000V = 2,200V"의 전압을 1분 이상 인가하여 실험 하였다. 보조전원선 시편의 경우 신품, 15년 사용 및 25년 사용 시편의 경우 모두 내전압 시험 결과는 양호하였다. 제어선1 및 제어선2 시편의 "사용전압의 25배+1,000V = 2,200V"의 전압을 1분 이상 인가하여 실험 하였다. 제어선1 및 제어선2 시편의 경우 신품, 15년 사용 및 25년 사용 시편의 경우 모두 내전압 시험 결과는 양호하였다.

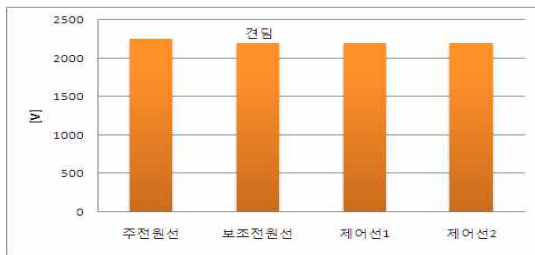
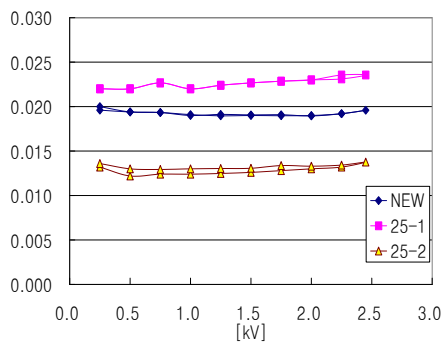


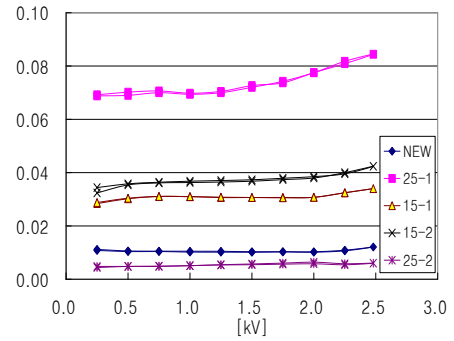
그림 8 내전압 시험 결과  
Fig. 8 Results of withstand testing

### 3.3 유전정접시험

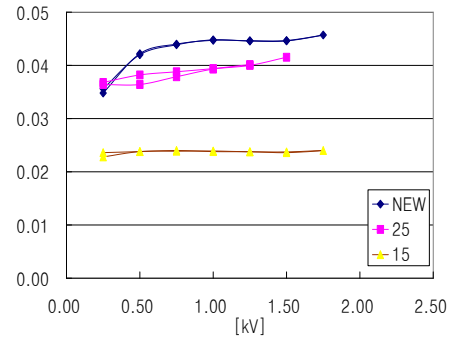
주전원선, 보조전원선, 제어선 등에 대해 유전손실을 측정하고 그 결과를 그림 9에 나타냈다. 주전원선의 유전손실 값은 인가전압에 따라 증가하고 있는 경향을 보인다. 이와 같은 현상은 건전한 유전체의 경우도 유사한 경향을 보이는 것이 일반적이므로 유전체의 열화 판단은 할 수 없다. 다만 높은 인가전압에서 급격한 증가를 보이므로 더 많은 실험 및 검토가 필요하다. 그러나 인가전압의 상승 및 하강 시에 히스테리시스 현상을 보임으로 일부 열화가 진행되어 있을 수 있다고 볼 수 있으나, 정확한 판단을 위해서는 더 많은 실험 및 검토가 필요하다. 그러나 주전원선 25-2 시편의 경우 인가전압의 상승 및 하강 시에 히스테리시스 현상을 보임으로 일부 열화가 진행(Quasi-Bad Area)되어 있을 수 있다고 볼 수 있으나,  $\Delta \tan \delta$  값이 0.06[%]로 열화 되었다고 판정하기는 어렵다.



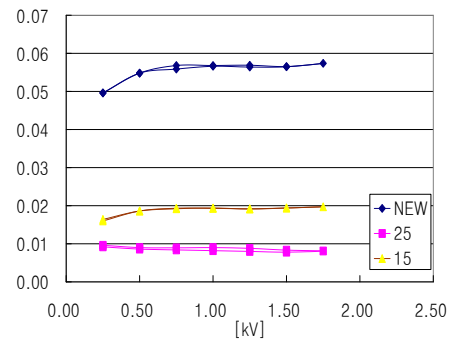
(a) 주전원선



(b) 보조전원선



(c) 제어선1



(d) 제어선2

그림 9 유전정접 시험 결과  
Fig. 9 Results of dissipation factor testing

보조전원선의 유전손실 측정값은 인가전압에 따라 증가하고 있고, 히스테리시스 현상을 보이지 않으므로 열화가 진행되지 않은 것으로 사료된다.  $\Delta \tan \delta$  값 또한 모두 0.2[%] 이내의 값을 보이므로 절연물의 상태가 양호하다고 판정할 수 있다. 제어선의 경우 신품 및 15년 사용 시편의 경우 특이한 열화 징후를 보이지 않고 있으나, 25년이 경과된 샘플들에서 히스테리시스 현상이 나타나고 있다. 그러나  $\Delta \tan \delta$  값은 0.1[%] 이하로 양호하였다.

### 3.4 누설전류와 유전정접을 이용한 진단방법

그림 10에서는 제안된 방법을 적용하여 철도용 차량의 전선의 상태의 진단결과를 나타냈다. 그림 10에 나타낸 바와 같이 차량용 전선의 진단을 위해 정격전압을 인가하여 측정된 누설전류와 유전정접( $\Delta_k \tan \delta_c$ )의 두 인자를 계산하였다.



진단결과 유전정접은 임계치인 6.5[%]보다도 매우 적은 영역에 분포되어 있어 고려 대상의 전선은 매우 양호한 것으로 진단되었다. 본 과제에서 제안된 방법은 유전정접과 누설전류의 상호관계에 의해 진단을 수행하는 방법으로, 제안된 방법이 효과적으로 적용되기 위해서는 열화 상태에 따른 다양한 데이터가 필수적인 요소이다. 그러나 본 실험에 사용된 데이터는 매우 양호한 상태임으로 제안된 방법을 효과적으로 적용하는 데는 한계가 있다. 따라서 향후 가속열화실험 등을 통하여 다양한 상태에 따른 열화인자를 측정하고, 측정된 데이터들을 이용하여 선형회귀분석 또는 뉴로-퍼지 알고리즘 등을 적용한 지능형 진단 기법에 관련된 연구가 수행되어야 할 것이다.

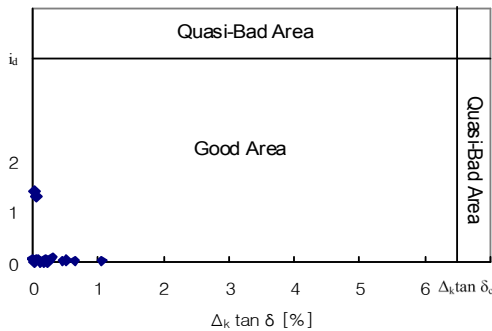


그림 10 누설전류와 유전정접을 이용한 시험 결과  
Fig. 10 Diagnosis by leakage current and dissipation testing

#### 4. 결 론

본 논문에서는 도시철도차량에 사용되는 전선의 평가방법을 제시하였다. 본 논문에서 제시된 평가방법은 기본시험인 절연저항과 직류 내전압 시험에 의해 고려대상인 전선의 양호/불량 판정을 한다. 기본시험에서 전선이 양호라 판정되었다 하더라도 열화진행정도를 분석하기 위해 누설전류와 유전정접 시험으로 고려대상 전선의 열화진행을 판정한다. 진단결과 고려대상인 전선 모두 매우 양호한 것으로 진단되었다. 그러나 본 실험에 사용된 데이터는 매우 양호한 상태임으로 제안된 방법을 효과적으로 적용하는 데에는 한계가 있다. 따라서 향후 가속열화실험 등을 통하여 다양한 상태에 따른 열화인자를 측정하고, 측정된 데이터들을 이용하여 선형회귀분석 또는 뉴로-퍼지 알고리즘 등을 적용한 지능형 진단 기법에 관련된 연구가 수행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

[1] 전기케이블의 전기적특성시험방법(KS C IEC 60885-1)  
[2] 전기설비기술기준, 지식경제부 고시, 2010, 1. 8  
[3] Hanmin Lee, Gildong Kim, Sechan Oh, Gilsoo Jang,

Saehyuk Kwon, "Fault analysis of Korea AC electric railway system," Electrical Power Systems Research, vol. 76, pp. 317-326, March. 2006.

[4] XLPE전력케이블의 DC내전압 시험법에 의한 열화 판정법에 관한 연구, 서울산업대학교 전기공학과 석사학위논문, 신명호, 2006.  
[5] N. C. Wang, C. F. Chi, T. Y. Guo, "Leakage current test and study of room temperature vulcanizing coatings for outdoor high voltage porcelain insulators", Conf. Power System Technology, Perth, WA, Dec., 2000.  
[6] D. G. Byun, H. T. Shin, W. J. Kim, J. Y. Shin, J. W. Hong, "Insulation deterioration diagnosis on ultra high voltage power cables," presented at the 7nd Int. Conf. Dielectric Materials, Nagoya, Japan, 2003.  
[7] M. Kruger, R. Feurstein, A. Filz, "New very low frequency methods for testing extruded cables," presented at Conf. Electrical Insulation, Toronto, Canada, 1990.  
[8] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Std 400, IEEE Guide for Field Testing and Evaluation of the Insulation of Shielded Power Cable Systems", IEEE, 2001.  
[9] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Std 400.1, IEEE Guide for Field Testing of Laminated Dielectric, Shielded Power Cable Systems Rated 5kV and Above with High Direct Current Voltage", IEEE, 2007.

### 저 자 소 개



#### 임재윤 (林 裁 尹)

1961년 8월 4일생. 1984년 충북대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1995년 홍익대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 대덕대학 전기과 교수.  
Tel. 042-866-0332  
E-mail : jyylim@ddu.ac.kr



#### 이종필 (李 鍾 弼)

1970년 12월 14일생. 1996년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 충주대학교 외래교수.  
E-mail : jolious@ddu.ac.kr



**이 대 종 (李大鐘)**

1969년 2월 25일생. 1995년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2002년 동대학원 졸업(공학박사). 2004년~2005년 캐나다 알버타대학교 박사 후 연수. 현재 충주대학교 외래교수

E-mail : djmidori@empal.com



**강 성 화 (姜成和)**

1987년 충북대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1997년 동 대학원 졸업(공학박사). 1991년~1993년 한국생산기술연구원 연구원. 현재 충청대학 소방안전과 교수.

E-mail : shkang@ok.ac.kr



**지 평 식 (池平植)**

1964년 3월 5일생. 1989년 한밭대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1994년 충북대학교 대학원 전기공학과 석사과정 졸업(공학석사). 1998년 동대학원 박사과정 졸업(공학박사). 현재 충주대학교 전기공학과 부교수.

E-mail : psji@cjnu.ac.kr



**김 형 철 (金炯徹)**

1967년 9월 30일생. 1993년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2003년 Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원 전철 전력연구실 실장.

E-mail : hckim@krri.re.kr