

## 전차선 아크 검측 시스템 개발

### Development of Catenary Arc Detection System

송성근<sup>†</sup> · 이택희\* · 조성재\*\* · 문철이\*\*\* · 박성모\*\*\*\*

Sunggun Song · Teakhee Lee · Seongjae Cho · Chulyi Moon · Seongmo Park

**Abstract** Catenary (Overhead Contact Lines) and Pantograph are used to transmit electrical energy to electric railways. An Arc occurs by unstable contact between catenary and pantograph during electric railways operation, which causes malfunctioning or even an accident. Therefore, to prevent a arc or electric contact loss are required arc detection systems with catenary maintenance capability. This paper describes developing of catenary arc detection system using photo detector in order to detect arc incidence in a indirect way. This developed system can also achieve video-recordings and environmental conditions such as wire voltage/current, pantograph height, speed, position of electric railways, and temperature/humidity. This system have been evaluated at the section that bounds for dongdaegu from seoul. From the experimental results, the occurrence of arc and intensity of arc are mainly effected by wire voltage/current, pantograph height and speed of electric railways.

**Keywords** : Arc, Catenary Cable, Pantograph, Height

요 지 전차선과 팬터그래프는 전기철도차량에 전력을 공급하기 위해 사용된다. 전기철도차량 운행 시 전차선과 팬터그래프 사이의 불안정한 접촉에 의하여 아크가 발생하며 이는 고장 및 사고의 원인이 된다. 따라서 아크를 검출하고 전차선 유지보수를 위한 아크 검측 시스템의 필요성이 요구되고 있다. 본 논문에서는 이러한 전차선 아크 검측 시스템의 개발에 관하여 기술하였다. 아크는 광 검출기를 이용하여 간접 측정하며 가선 전압/전류, 전차선의 높이, 주행속도, 발생위치와 온/습도를 동영상과 함께 저장한다. 개발된 시스템은 서울-동대구간 하행선에서 시험 검측하고 평가하였다. 실험 결과, 아크 발생 및 강도는 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 속도에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

주 요 어 : 아크, 전차선, 팬터그래프, 팬터그래프 높이

## 1. 서 론

전기철도의 집전 시스템은 크게 전기를 공급하는 전차선(Catenary)과 전력을 공급받는 장치인 팬터그래프(Pantograph)로 구성된다. 팬터그래프는 전류를 전차선으로부터 차량에 전달하는 장치로서 전기철도차량 지붕위에 설치되어 있으며, 설계 목표는 고속 및 다양한 환경 조건하에서 연속적이고 일정한 양의 전류를 차량에 전달하도록 하는

것에 있다[1]. 전기철도 운행 시 전차선과 팬터그래프 사이가 이선될 때 이는 동력 전달을 중단시킬 뿐 아니라, 이선 시 발생하는 아크 방전으로 인하여 전기철도 차량 및 전차선에 큰 손상을 줄 수 있다. 이는 고장과 사고의 원인이 된다[2-5]. 따라서 주기적으로 아크를 검출하고 유지보수를 할 수 있는 검측 장비의 요구가 증대되고 있다.

본 논문에서는 이러한 전기철도 운행 시 발생하는 아크를 검측하고 발생 환경을 분석할 수 있는 전차선 아크 검측 시스템 개발에 대하여 다루고 있다. 아크는 그 발생량에 비례하는 아크-광을 방출하며 이를 이용하여 광-검출기로 간접 측정한다. 또한 아크 발생 환경을 분석하기 위하여 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 주행속도, 발생위치, 온/습도를 영상과 함께 측정한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 아크 발생 원인과 특성에 대하여 알아보고

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, 전남대학교, 전자컴퓨터공학과 박사수료

E-mail : ssgun0@moiza.jnu.ac.kr

TEL : (062)530-0798 FAX : (062)530-1798

\* 교신전자 : 호남대학교 정보통신공학과 교수

\*\* 호남대학교 정보통신공학과 강사

\*\*\* 지니언(주) 대표

\*\*\*\* 전남대학교 전자컴퓨터공학과 교수

3장에서는 전차선 아크 검측 시스템에 대하여 살펴본다. 4장에서는 실제 구현된 전차선 아크 검측 시스템의 실험환경과 결과에 대하여 기술하고 마지막으로 5장에서는 향후 연구방향과 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구 및 규격

### 2.1 아크의 발생 원인

전기철도 급전 시스템의 전차선과 팬터그래프 사이에 아크가 발생하는 원인은 크게 팬터그래프와 전차선 사이가 이선되는 경우와 타행 운전 상태가 아닌 역행 운전 상태에서 전기철도차량이 절연구간을 통과하는 두 가지 경우가 있다[6,7].

먼저, 팬터그래프와 전차선 사이의 이선은 소이선, 중이선, 대이선으로 나눌 수 있다. 소이선은 팬터그래프 슬립판의 미세 진동에 의해 발생하는 것으로 이선시간은 수십분의 1초 정도이다. 중이선은 팬터그래프가 전차선의 경점에 의해 충격을 받을 때 발생하는 것으로 이선시간은 수분의 1초 정도이다. 대이선은 전차선의 지지점 통과 직후 팬터그래프 전체가 도약하여 발생하는 것으로 이선시간은 1~2초에 이른다. 전기철도차량 진행시 이선이 발생되면 이선개소의 시점부 및 종단부는 아크 및 충격에 의해 국부적으로 전차선의 마모가 촉진되며, 결과적으로는 단선 가능성이 높아진다. 또한 이선 시간동안 운전용 전력의 집전이 중지되고, 무선 잡음 장애가 발생하며, 심할 때는 전기차량의 주전동기나 보호기기류가 섬락에 의해 파괴되기 쉽다[7].

두 번째는 절연구간의 통과로, 절연구간은 사구간 또는 데드 섹션(Dead Section) 이라고도 하며, 인접한 2개 급전구간 간 경계점의 접속개소에 설치되어 두 구간을 전기적으로 절연시키는 역할을 한다. 따라서 절연구간은 크게 교류/교류 절연구간과 교류/직류 절연구간으로 나뉜다. 원칙적으로 전기철도차량이 절연구간을 통과할 때, 전기철도차량은 전압을 끊은(off) 상태에서 절연구간을 통과하여야 한다. 하지만, 예기치 않은 상황에 의해서 전압이 완전히 차단되지 않은 상태에서 절연구간을 통과하게 되면 전기철도차량의 팬터그래프는 가압구간에서 무가압 구간으로 아무런 보호 절차 없이 진입하게 되며, 이 때 전기철도 차량의 팬터그래프와 전차선 사이에 아크 발생 소지가 높다. 또한 절연구간을 벗어날 때에도 무가압 구간에서 바로 가압구간으로 진입하게 되므로 아크가 발생될 확률이 높다[8].

### 2.2 이선의 측정법

이선은 전차선과 팬터그래프 사이의 아크를 감시함으로써 간접 측정이 가능하며, 다음과 같이 3가지의 측정법이

많이 사용되고 있다.

첫 번째는 분압식 측정법이다. 팬터그래프를 주 회로에서 잘라내고, 1.5MΩ 정도의 저항 분압기를 끼워 접지시켜 가선전압을 약 1/20으로 내려 측정한다. 즉, 팬터그래프에 가선전압이 부하되는지 아닌지로 팬터그래프와 전차선의 이선의 발생을 판단하는 것이다. 이 방법은 역행, 타행 등의 운전조건에 좌우되지 않으며, 정밀도가 높은 것이 특징이다. 하지만 팬터그래프를 무부하로 해야 하며 한 개의 팬터그래프 전기철도차량에는 적용할 수 없다는 단점이 있다.

두 번째는 전류식 측정법이다. 여러 개의 팬터그래프가 고압 모선으로 접속되는 전기철도차량에서는 어떤 팬터그래프가 이선하면 집전전류는 순간적으로 0이 되며, 접촉되어 있는 다른 팬터그래프의 집전전류가 증가한다. 전류식 측정법은 이와 같은 현상을 이용하여 이선을 판단하는 방법이다. 팬터그래프의 집전 전류는 클램프 미터(Clamp Meter)로 측정이 가능하다. 전류 측정 파형은 컴퓨터에 의해 처리되고, 이선율, 이선의 회수, 이선의 지속시간, 그 분포 등의 통계량을 구할 수 있다. 이 방법은 측정이 쉬운 반면, 집전 전류가 큰 경우에는 이선이 발생해도 전류가 0이 되기 어려우므로 이선의 발생이 검출되지 않을 수 있다.

마지막으로 광학식 검측법이 있다. 집전하고 있는 팬터그래프에서 이선이 일어나면, 그것에 따른 아크-광이 발생한다. 따라서 이 광의 강도를 광전변환소자에 의해 전기신호로 변화하고, 아크를 검출하는 것이다. 광전변환소자로서는 실리콘, 갈륨, 비소, 린 계의 포토-다이오드나 광전자 증배관이 이용되고 있다. 이 방법은 다른 방식이 전압 및 전류의 변화를 측정하여 이선을 측정하는 것에 비해 이선으로 인한 아크를 검출하여 이선을 측정하는 점이 특성이며 운전조건 또는 주위 밝기에 영향을 받는다. 그러나 비접촉식 측정이고 측정 방법이 매우 간단하므로 상대비교를 하는 경우 등에 많이 이용된다. 또한 임의의 차량에 취부하여 측정하기 용이하다는 장점을 갖는다[9].

### 2.3 이선의 평가

가선-집전장치 간 이선특성을 평가하는 방법은 국제철도연합(UIC)의 유럽 EN 규격에 의하면 2가지 평가방법을 선택적 기준으로 정하고 있다[10,11].

그 첫째는 열차의 속도대역별로 측정된 가선과 집전장치 간 평균접촉력(Fmean)이 접촉력 표준편차의 3배 즉, 3σ만큼의 차값이 양수이고 0.2m의 스캔비율로 접촉력을 측정하였을 때 이선율이 1% 이하이면 양호한 것으로 평가하는 방법이다[11].

두 번째는 첫 번째 방법처럼 집전장치와 가선 간 접촉력

측정이 기술적으로 어려울 경우 열차주행 중 발생한 전기적 아크(Arc)를 측정하되, 집전전류 값이 정격전류의 30% 이상인 구간에서 10ms 이상 지속된 아크만을 카운트하여 아크 지속시간의 총합( $\Sigma t_{Arc}$ )을 열차의 총 주행시간( $\Sigma t_{Run}$ )으로 나눈 백분율이 1% 이하일 경우 허용 가능한 이선율로 평가하는 방법을 규정하고 있다[12].

### 3. 전자선 아크 검측 시스템

#### 3.1 측정 항목

전자선 아크 검측 시스템은 전철에 전력을 공급하는 전차선과 집전 설비인 팬터그래프 간에 운행 중 발생하는 아크 검측을 주목적으로 하며, 체계적인 점검과 유지보수를 위하여 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 주행속도, 발생위치, 온/습도를 동영상과 함께 측정한다. 측정된 정보는 텍스트와 그래프 형태로 출력되며 능동적인 점검지점을 제공한다. 주요 측정 항목 및 기능은 Table 1과 같다.

여기서 RI(Relative Intensity)는 광-검출기의 상대강도를 나타내며  $0\mu W/cm^2 \sim 199.9\mu W/cm^2$  범위의 복사조도를 백분율로 나타낸 값이다. SRI(Sum of Relative Intensity)는 아크가 연속으로 발생한 구간의 아크 발생량의 총합이다. 이선길이는 아크 발생 시간동안 차량의 수평 이동거리이며 이선율은 전체 주행거리에 대한 이선길이의 단순 비이다.

Table 1. Variables of catenary arc detection system

측정항목	기능	단위	갱신주기
아크	- 아크 발생량 - 아크 발생 지속시간 - 아크 평균강도 - 아크 최대강도	SRI msec RI RI	0.01sec
이선	- 이선 길이 - 이선율	mm %	0.01sec
팬터그래프 높이	4500~5500mm	mm	0.01sec
동영상	- 측정정보 오버레이 - MPEG2 압축 저장	-	20 frame/sec
위치	- 킬로징 표시 - 킬로징 보정	m	0.01sec
주행속도	0~350km/h	km/h	1sec
가선전압	- 0~30kV 측정 - 0.1kV 단위의 분해능	kV	1sec
가선전류	- 0~1kA 측정 - 1A 단위의 분해능	A	1sec
온도	30°C~80°C	°C	1min
습도	- 0~100% RH - 온도에 따른 습도 편차 보정	% RH	1min

#### 3.2 설계 및 구조

전자선 아크 검측 시스템은 Fig. 1과 같이 지붕에 탑재하

는 아크 측정부, 영상 촬영부, 높이 측정부와 차량 객차에 탑재하는 측정처리부로 구성된다. 데이터의 송수신은 루프 컨트롤러(Roof Controller)와 랙 컨트롤러(Rack Controller)에서 패킷(packet) 형태로 가공되어 광-링크를 통해 이루어진다. 온/습도 센서는 루프 컨트롤러에 내장되며 가선 전류/전압 및 위치 측정은 랙 컨트롤러에서 담당한다.

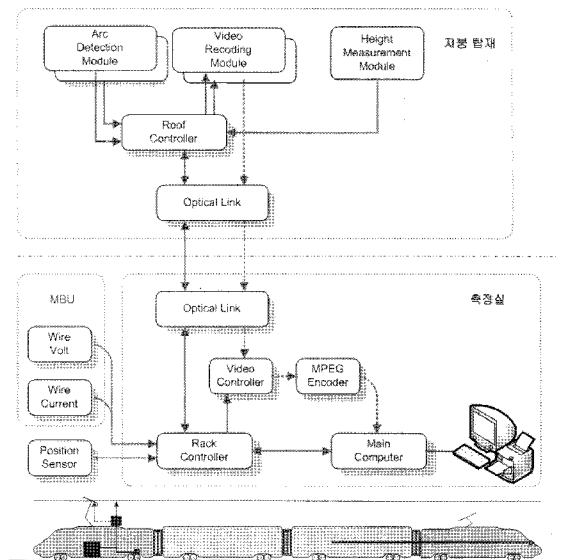


Fig. 1. Catenary arc detection system architecture

##### 3.2.1 아크 측정

아크는 이미 증명된 물리법칙인 에너지 보존 법칙에 의하여 그 발생량에 비례하는 아크-광을 방출하며 가시광선, 적외선, 자외선을 포함한다. 그 중 태양광과 주변 간섭광의 영향이 가장 작은 자외선 측정이 일반적으로 사용된다. 본 논문 역시 이 방법을 이용하였으며 Lutron Electronic사의 UVC-254 광-검출기를 사용 하였다. UVC-254는 자외선 C 대역인 254nm(with narrow) 파장의 복사조도(Irradiance)를 검출하며  $199.9\mu W/cm^2$ 의 측정범위와  $0.1\mu W/cm^2$ 의 해상도를 가진다. 정확도는  $\pm 2\%$  FS(Full Scale)이며  $\pm 1\%$ 의 선형성을 제공한다. Fig. 2는 아크 측정부의 구조를 나타낸다. UVC-254는 센서에 유입된 아크 광선이 센서에 고르게 전달되게 하는 확산기(Diffuser)와 자외선(Ultra-violet) 영역의 파장만을 통과시키는 필터(Filter)를 내장한다. 센서에서 측정된 값은 태양광과 유입되는 외부 노이즈를 제거하기 위하여 저역 제거 필터 회로를 통과시킨 후 증폭하여 디지털 형태로 변환한다. 아크는 매우 높은 고주파 성격이 강하므로 샘플링 스피드는 충분한 수집이 될 수 있도록 35khz/sec로 한다. 따라서 300km/h 주행 속도에서도 2.4 mm 간격으로 아크 검측이 가능하다( $300km/h \times 1sec/35k sample = 2.4mm/sample$ ).

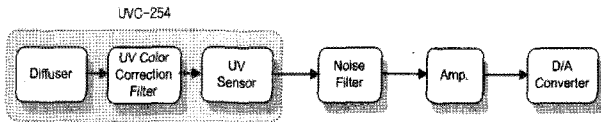


Fig. 2. Arc detection module architecture

3.2.2 영상 촬영

아크 발생 지점인 팬터그래프 상부 슈(Shoe)와 전차선의 접점부분을 측정 구간에서 CCD(Charge Coupled Device) 카메라로 촬영한다. 정지 영상 추출을 위하여 1/10,000초의 셔터 스피드(Shutter Speed)로 촬영하며 Pan/Tilt, Zoom, Focus의 원격 조정 기능을 통해 보다 세밀한 영상의 촬영이 가능하다. CCD 카메라는 환경의 변화에 따른 화질 저하를 줄이고 야간 촬영을 위하여 조명이 함께 설치된다. 영상은 MPEG2 영상 포맷으로 압축 저장되며 측정된 데이터(아크 강도, 팬터그래프의 높이, 가선 전압/전류, 발생위치, 주행속도)를 오버레이(Overlay) 하여 영상만으로도 아크의 확인 및 분석이 가능하다.

3.2.3 팬터그래프의 높이 측정

주행 중의 팬터그래프의 높이를 측정하며, Fig. 3과 같이 안전을 위해 팬터그래프 밑에 반사경을 설치하고 반사경과 수평한 위치에서 레이저로 비접촉식 측정을 한다. 본 논문에서는 Acuity사의 AR4000 레이저 센서를 사용하였다. AR4000은 방출된 적외선 레이저빔이 대상물체에 반사되어 돌아오는 이동시간(Travel-time)으로부터 거리를 역산하여 대상점 좌표를 인지한다[13]. 거리  $D$ 는 식 (1)과 같이 경과된 시간에 빛의 속도( $c$ )를 곱하여 산정된다[14].

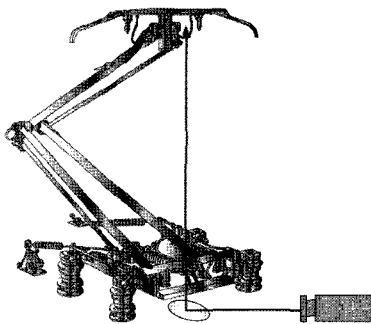


Fig. 3. Pantograph height measurement

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \Delta t \tag{1}$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도를 나타내며  $\Delta t$ 는 시간차를 나타낸다. AR4000의 측정 허용 범위는 최대 16.45m이며 3.175mm의 해상도를 제공한다. 정확도는 2.54mm이며 50kHz/sec

의 샘플링 스피드로 측정한다. 따라서 300km/h 주행 속도에서도 1.7mm 간격으로 높이의 변화를 관측할 수 있다. ( $300\text{km/h} \times 1\text{sec}/50\text{k sample} \approx 1.7\text{mm/sample}$ )

3.2.4 온/습도 측정

아크 발생환경을 참고하기 위하여 아크 센서와 동일한 위치에서 온/습도를 함께 측정한다. 온도 센서는 온도의 변화에 따라 저항 값이 변하는 서미스터(Thermistor) 소자를 사용하였으며 습도센서는 산업용으로 많이 쓰이는 정전용량형을 사용하였다. 온도는 섭씨, 습도는 상대습도로 처리하였으며 온도에 따른 습도 편차를 보정한다. 측정범위는  $-30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}(\pm 3\%)$ ,  $0 \sim 100\% \text{ RH}(\pm 5\%)$ 이며 1초 단위로 갱신한다.

3.2.5 가선 전압/전류 및 위치 측정

가선 전압/전류는 차량의 안전을 위해 견인제동추진장치(MBU:Motor Block processor Unit)에서 수신하여 측정한다. 견인제동추진장치는 실제 가선 전압/전류에 비례하는 0~150V의 AC 신호와 0~5A의 전류 신호를 출력한다. 이 신호를 다시 변류기(CT: Current Transformer)를 거쳐 입력에 비례하는 4~20mA의 전류 신호로 전송 받는다. 가선 전압은 0~30kV, 가선 전류는 0~1kA의 측정범위를 가지며 0.1kV와 1A의 해상도로 측정된다.

위치는 차륜의 회전수를 계산하여 얻는다. 따라서 표시되는 위치는 킬로정 원점으로부터의 이동거리 값이 된다. 센서는 회전수에 비례하는 펄스(pulse)를 발생시키는 로터리 엔코더(Rotary Encoder)를 사용하며, 차축과 커플링(Coupling)을 이용하여 직결된다. 위치  $P$ 는 식 (2)과 같이 계산된다.

$$P = RC \times \Phi_{calibrate} \times \pi \tag{2}$$

여기서  $RC$ 는 차륜의 회전수를 나타내며  $\Phi_{calibrate}$ 는 보정된 차륜의 직경이다. 차륜은 마모 등에 의하여 오차가 발생하며 이를 보정하기 위하여 지정된 위치의 거리표(kilometer-post)를 사용하여 보정한다. 보정은 측정자가 실제 거리표를 입력하여 처리된다. 보정된 차륜 직경  $\Phi_{calibrate}$ 은 식 (3)과 같이 지정된 위치의 거리값을 차륜의 회전수로 나누어 계산된다.

$$\Phi_{calibrate} = \frac{KP}{RC \times \pi} \tag{3}$$

여기서  $KP$ 는 보정을 위한 지정된 위치의 철도 노선 거리표를 나타낸다.

속도는 로터리 엔코더로부터 수신한 펄스의 시간 간격을 계산하여 얻는다. 즉 차륜이 1회전에 소요되는 시간을 계산하며 속도  $V$ 는 식 (4)와 같다.

$$V = RC_{rps} \times (\frac{\Phi_{calibrate} \times \pi}{\Delta t}) \quad (4)$$

여기서  $RC_{rps}$ 는 로터리 엔코더의 초당 회전수를 나타내며  $\Delta t$ 는 차륜의 1회전에 소요되는 시간이다.

#### 4. 실험 및 결과

##### 4.1 실험 환경

개발된 전차선 아크 검측 시스템은 KTX 36호차에 탑재하여 시험 검측하였다. Fig. 4는 KTX 36호차에 지붕에 탑재된 아크 측정부, 높이 측정부, 영상 촬영부의 모습을 나타낸다. 아크 측정부는 팬터그래프 하부 측면, 영상 촬영부 팬터그래프 하부 측면, 높이 측정부는 팬터그래프 수직 하부에 반사경과 함께 설치된다. 아크 측정부는 이중화를 위해 2개의 센서로 이루어지며 두 값 중 높은 값을 사용한다. 영상 촬영부는 2대의 CCD 카메라로 이루어지며 더블 슈(Double Shoe) 또는 1대는 팬터그래프의 감시, 다른 1대는 후방 감시를 담당한다. 모든 측정부는 알루미늄 합체로 제작되며 방수와 방열, 방진 구조를 가진다. 데이터의 송수신은 안전을 위해 전기적으로 절연되어 광섬유 케이블을 통해 이루어진다.

Fig. 5는 KTX 36호차의 객실에 설치된 측정처리부의 모습을 나타낸다. 아크 동영상 현시용 모니터, 분석용 모니터, 랙 컨트롤러, 광통신 모듈, UPS(Uninterruptible Power Supply)로 이루어지며 19인치 표준 랙에 장착되어 객실에 탑재된다. 각 측정부들은 자가 진단 기능을 가지며 랙 컨트롤러 전면에 배치된 LED를 통해 정상동작 여부를 판단할 수 있다.

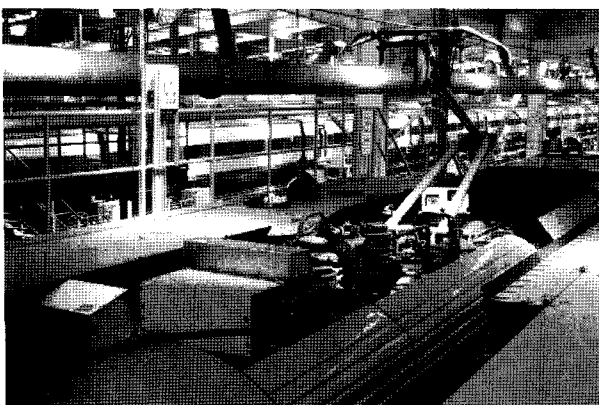


Fig. 4. Roof-part configuration of catenary arc detection system

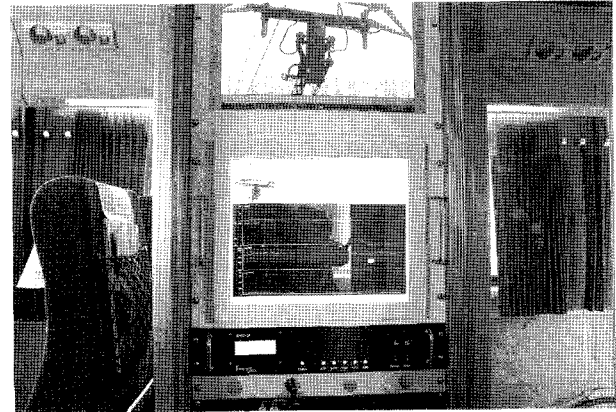


Fig. 5. Processing-part configuration of catenary arc detection system

##### 4.2 실험 결과

Fig. 6은 전차선 아크 검측 시스템의 측정 프로그램을 나타낸다. 측정 프로그램은 크게 영상창, 텍스트창, 그래프창 세 부분으로 나뉜다. 영상창은 실시간으로 동영상 촬영 모습을 보여주고 텍스트창은 아크 강도, 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 주행속도, 발생위치의 측정값의 수치로 제공한다. 그래프창은 아크 강도, 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 주행 속도를 각각 색을 달리하여 표시한다. 현시 그래프는 직각 좌표계를 사용하며 가로축은 측정위치(킬로정 원점으로부터의 거리 기준)와 시간을 표시하고 세로축은 그에 따른 각 변화량을 표시한다. 그래프는 시간축에 따라 오른쪽에서 왼쪽으로 이동한다. 측정된 데이터는 사후 측정 프로그램을 통해 텍스트와 그래프 보고서로 변환된다.

Fig. 7은 아크 발생 시의 영상으로, 측정된 데이터가 영상에 자막으로 합성되어 영상만으로도 아크 발생 당시의 상황을 분석할 수 있다.

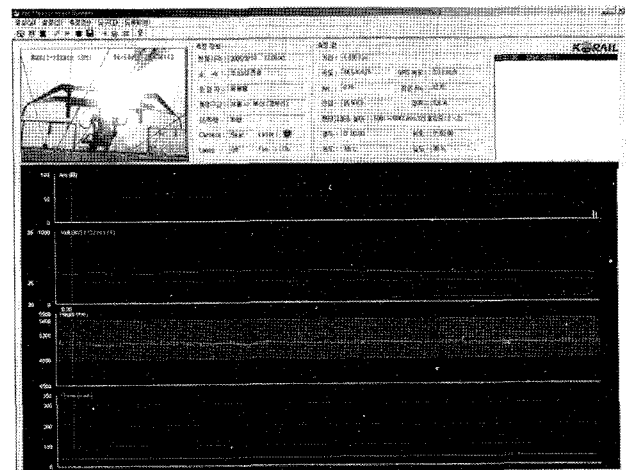


Fig. 6. Measurement program of catenary arc detection system

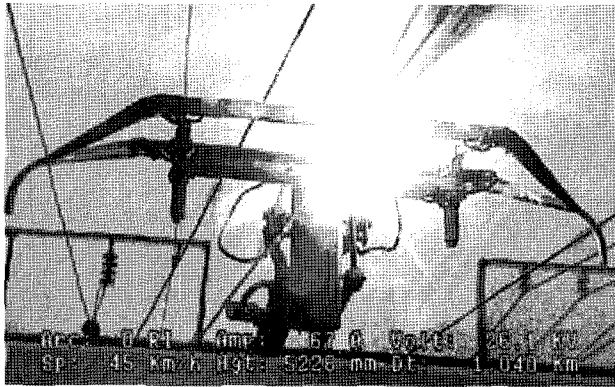


Fig. 7. Capture image of detected arc

Fig. 8과 Fig. 9는 서울~동대구(하행)에 대한 텍스트 보고서 중 일부를 나타낸다. 아크의 측정단위는 RI로 직관적인 파악을 위하여 광검출기에서 측정된  $0uW/cm^2 \sim 199.9uW/cm^2$  범위의 복사조도를 백분율로 나타낸 값이다. Fig. 8은 아크의 허용강도가 10RI 이상인 아크만을, Fig. 9는 20 RI 이상인 아크만을 출력하였다. 20RI 이하의 아크는 촬영된 영상을 통해 육안으로 판별하기 어려운 정도의 소규모 아크이며 그 이상의 아크는 상대적으로 복사조도가 크고 지속시간이 긴 아크이다. 30RI 이상의 아크는 검출되지 않았다. 연속하여 발생하는 아크는 1회의 아크로 처리되며, 각 발생 아크에 대하여 아크 총량, 지속시간, 최대 강도, 평균 강도가 나열된다. 또한 발생 시 관련 값인 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 주행속도, 이선길이, 아크의 발생 위치가 함께 기록된다.

Arc Measurement Report

1. 측정 정보

- 측정구간 : 서울 → 동대구 (하행)
- Arc 허용치 : 10
- 전압 범위 : 0.0 ~ 27.4 kV
- 온도 범위 : 17 ~ 21 °C
- 운영자 신고사항 :
- 측정 거리 : 285.799 Km
- 전류 범위 : 0 ~ 753 A
- 온도 범위 : 39 ~ 53 %

2. Arc 측정

연번	발생시간 (h:m:s)	위치 (Km)	속도 (Km/h)	Arc			이선길이 (cm)	높이 (mm)	전압 (kV)	전류 (A)
				Arc량 (SRI)	지속시간 (msec)	최대강도 (RI)				
1	07:38:31	66.777	293	25	5.3	25	83.2	5125	25.2	212
2	07:38:38	118.939	276	23	0.4	23	2.9	5188	25.3	586
3	07:38:43	112.751	289	25	2.9	25	23.0	5148	25.6	586
4	07:38:57	116.345	294	46	9.9	24	40.5	5168	25.7	577
5	07:39:34	196.646	294	21	0.4	21	3.0	5124	25.5	585
6	07:39:38	197.473	294	21	1.0	21	8.2	5159	25.6	589
7	07:39:42	206.923	287	26	1.6	26	13.0	5167	26.6	363

Fig. 8. Text Report(over 10RI)

1. 측정 정보

- 측정구간 : 서울 → 동대구 (하행)
- Arc 허용치 : 20
- 전압 범위 : 0.0 ~ 27.4 kV
- 온도 범위 : 17 ~ 21 °C
- 운영자 신고사항 :
- 측정 거리 : 285.799 Km
- 전류 범위 : 0 ~ 753 A
- 온도 범위 : 39 ~ 53 %

2. Arc 측정

연번	발생시간 (h:m:s)	위치 (Km)	속도 (Km/h)	Arc			이선길이 (cm)	높이 (mm)	전압 (kV)	전류 (A)
				Arc량 (SRI)	지속시간 (msec)	최대강도 (RI)				
1	07:38:31	66.777	293	25	5.3	25	83.2	5125	25.2	212
2	07:38:38	118.939	276	23	0.4	23	2.9	5188	25.3	586
3	07:38:43	112.751	289	25	2.9	25	23.0	5148	25.6	586
4	07:38:57	116.345	294	46	9.9	24	40.5	5168	25.7	577
5	07:39:34	196.646	294	21	0.4	21	3.0	5124	25.5	585
6	07:39:38	197.473	294	21	1.0	21	8.2	5159	25.6	589
7	07:39:42	206.923	287	26	1.6	26	13.0	5167	26.6	363

Fig. 9. Text Report(over 20RI)

Fig. 10과 Fig. 11은 서울~동대구(하행)에 대한 100km, 10km 단위의 그래프 보고서 중 일부를 보여준다. 그래프 보고서는 100km, 10km 두 가지 단위 그래프로 출력되어 상세한 변화 패턴을 파악할 수 있다. Fig. 10의 100km 단위 그래프에서 ①번 지점은 아크가 발생한 구간으로 40~80km 구간에서 빈번히 발생함을 확인 할 수 있다. ②번 지점은 사구간으로 전압과 전류가 0으로 떨어지는 지점이다. ③번 지점은 정차역으로 속도가 0인 지점이다. 서울~동대구를 운행하였으므로 첫 번째 정차역은 광명역이며 두 번째 정차역은 천안-아산역임을 유추할 수 있다. Fig. 11은 Fig. 10의 그래프를 10km 단위로 확대한 모습이다. 아크는 앞서 설명한 바와 같이 속도, 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이에 크게 영향을 받음을 그래프를 통해 직관적으로 확인할 수 있다.

본 논문에서의 시험 검측 구간인 서울~동대구(하행) 총 285.799km 구간에서 최대 가선 전압은 27.4kV, 최대 가선 전류는 753A로 나타났다. 온/습도는 21°C, 53%가 최고치로 측정되었으며 아크의 최대 강도는 26RI, 최대 지속시간은 9.9msec로 측정되었다. 아크는 전체적으로 가선 전압/전류가 크고 속도가 빠를수록 강도가 증가하였다.

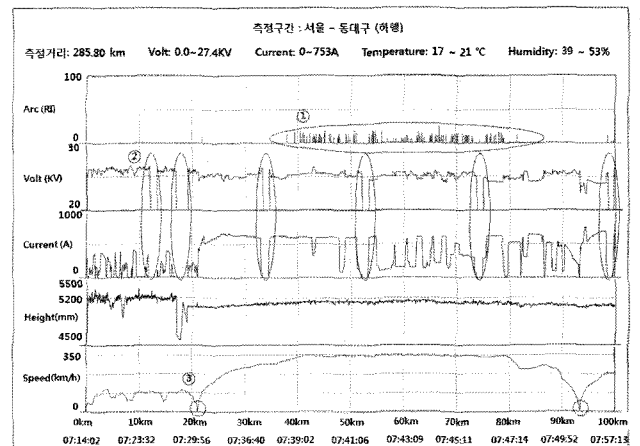


Fig. 10. Graph report(unit of 100km)

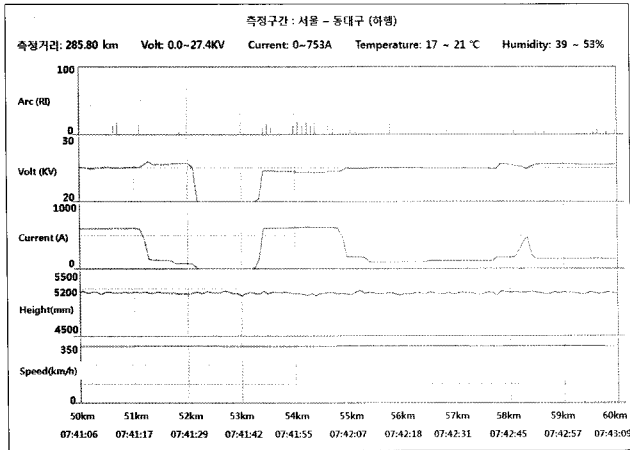


Fig. 11. Graph report(unit of 10km)

### 5. 결론

전기철도의 운행 시 이선이 발생되거나 절연구간을 가압 상태에서 통과하게 될 경우, 팬터그래프와 전차선 사이에 아크가 발생한다. 이 때 발생한 아크는 전기철도 집전설비 및 차량에 치명적인 영향을 미치며 고장, 사고의 원인이 된다.

본 논문에서는 300km/h 이상의 고속에서도 실시간으로 아크 검측이 가능한 전차선 아크 검측 시스템을 설계하고 개발하였다. 전차선 아크 검측 시스템은 아크 발생량, 아크 발생 위치, 가선 전압/전류, 주행속도, 팬터그래프의 높이, 온/습도를 영상과 함께 측정하며 실시간으로 현시 및 저장한다. 저장된 데이터는 사후 텍스트와 그래프 보고서로 출력된다. 개발된 시스템을 이용하여 서울~동대구(하행) 구간을 시험 검측한 결과 아크는 가선 전압/전류, 팬터그래프의 높이, 차량의 속도에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

개발된 전차선 아크 검측 시스템은 능동적인 점검 지점을 제공함과 동시에 체계적인 유지보수에 효과적으로 활용될 수 있으며 측정된 누적 데이터의 정량화를 통해, 전기철도의 집전설비와 차량 설계에 도움을 줄 것으로 사료된다.

현재 개발된 아크 검측 시스템을 이용하여 다양한 구간에서 반복 검측을 수행하고 있으며, 실제 철도 운영현장에 활용하기 위하여 압상력 측정과 함께 검측된 데이터와 국

제 규격간의 명확한 이선 판정 기준에 대한 연구를 진행 중이다.

### 후 기

본 연구는 BK21 사업단의 지원을 받았습니다.

### 참 고 문 헌

1. 송성근, 이택희, 송재열, 박성모 (2008), "레이저를 이용한 전차선 편위 및 높이 측정 시스템 개발," 한국철도학회논문집, 제 11권, 제 6호, pp. 569-574.
2. 김진우, 박인기, 장진희, 왕영용, 한창수 (2003), "고속 전철용 가선-팬터그래프 시스템의 모델링 및 접촉력 해석," 한국소음진동공학회논문집, 제 13권, 제 6호, pp. 474-483.
3. 한형석 (1998), 고속용 판토그래프의 기술현황, 기계와재료.
4. 김양수 유해출 (2008), 전기철도공학, 도서출판 동일.
5. 길정석, 지흥기, 박대원, 김일권, 류길수, 송재용 (2008), "직렬아크신호의 검출방법," 한국철도학회논문집, 제 11권, 제 5호, pp. 477-481.
6. 김재문, 김양수, 장진영, 김윤명 (2008), "고속전철 주행시 이선에 따른 전원외란 현상 모델링 및 시뮬레이션 구현," 한국철도학회추계학술대회논문집, pp. 1123-1128.
7. 김백 (2005), 전철전력공학, 도서출판 지다리.
8. 이봉이, 김재철, 한성호, 이수길 (2005), "판토그래프와 전차선 사이에서 발생하는 아크 특성에 관한 연구," 한국조명전기설비학회 추계학술대회논문집.
9. 창상훈 (2001), 가선시스템 설계요소기술 최적화방안, 한국철도기술연구원.
10. 오석용, 박상현, 박영, 조용현, 송준태 (2009), "전차선로 동적·전기적 특성평가 시스템 구현 기술 분석," 한국철도학회추계학술대회논문집, pp. 1174-1179.
11. EN 50119 (2002), Railway applications-fixed installations - electric traction overhead contact lines, British Standard.
12. 목진용 (2005), 차량분야 집전 특성 시험, 한국철도기술.
13. 추장우, 박지영, 김호원, 박정철, 임성재, 구분기(2007), 3차원 복원기술동향, 전자통신동향분석.
14. 조형식, 김성삼, 손홍규, 윤공현 (2008), "대상체의 반사 특성에 따른 지상레이저 스캐너의 정확도 분석," 한국GIS학회 추계학술대회논문집.

접수일(2009년 9월 10일), 수정일(2009년 12월 31일),  
게재확정일(2010년 2월 10일)