

전차선 편위 및 높이 측정 시스템 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Catenary stagger and height Measurement System

송성근*
Song, Sung-Gun

박성모**
Park, Seong-Mo

ABSTRACT

Catenary and Pantograph are a power supply devices for electric trains and shall be steadily contacted. Rail catenary must be installed precisely and managed for stable train operations. But external factors such as weathers, nature, etc., or aging affect catenary geometry. Changed catenary height causes high voltage spark or instant electric disconnection. Big spark and disconnection damage pantograph shoe and catenary coating and might interrupt rail operations. To prevent a big scale spark or electric disconnection catenary maintenance shall be required with catenary geometry measurement systems.

In this paper, we describe the development of catenary height and stagger measurement system. The catenary height and stagger measurement system uses Acuity company's AR4000 Range Finder for distance measurement and AccuRange Line Scanner for degree measurement. This system reports suspicious overhead line sections with excessive height and stagger variance.

1. 서 론

전동차는 팬터그래프를 전차선에 접촉시켜 25,000V (교류구간), 1500V(직류구간)의 전기를 받아 기차 운행에 필요한 동력용 전원을 공급한다. 전동차에 필요한 전기를 정확히 공급하려면 전차선에는 일정한 높이, 균등한 장력, 적은 요동 등이 필요한데 가장 중요한 사항은 전차선이 팬터그래프에서 항상 일정한 거리와 높이 내에 있어야 한다는 것이다.

전차선의 위치가 레일중심에서 어느 정도를 유지하고 있는가를 전차선 편위라 하며, 레일에서 전차선까지의 거리를 전차선 높이라 하는데, 이는 선로조건·온도변화 등에 따라 변화되기 때문에 주기적으로 측정·점검하고 일정거리가 벗어나면 보수를 하여 전동차의 운행에 지장이 없도록 하여야 한다. 전철 초창기에는 보수자가 전 구간을 순회하며 편위자를 사용하여 수작업으로 검측을 하고, 측정 후 필요한 개소에 대하여 보수작업을 시행하였다. 그러나 보수자가 수작업으로 검측을 함으로써 측정 시에 오차가 발생되어 효과적인 보수에 애로가 발생하였는데 그 오차는 주로 검측자에 따른 오차, 편위자 흔들림에 의한 오차, 움직이는 차량과의 조건에서 발생하는 오차 등이다[1].

본 논문에서는 이렇게 수작업 검측 시 발생하는 오차를 줄이고 손쉽게 차량을 이용하여 자동 검측이 가능한 전차선 편위 및 높이 측정 시스템 개발에 관하여 기술하고 있다.

* 전남대학교, 전자컴퓨터공학과 박사과정, 회원

E-mail : ssgun0@gmail.com

TEL : (062)530-0798 FAX : (062)530-1759

** 전남대학교, 전자컴퓨터공학과 교수

2. 전차선의 편위 및 높이 측정

2.1 전차선의 편위와 높이

전철에 전력을 공급하는 전차선의 편위 및 높이는 전철 운행의 안전에 관련된 주요 측정 항목이다. 전차선의 높이는 전차선과 팬터그래프의 안정적인 접촉을 위하여 균일한 높이를 유지해야 하며, 전차선은 팬터그래프 접촉면(shoe)의 균일한 마모를 위하여 지그재그(zigzag)로 설치되어야 한다. 편위의 방향은 50m 간격으로 설치된 전주(electronic pole)에 따라 좌우로 바뀌며, 편위량은 좌우 $\pm 200\text{mm}$ 이내이어야 한다. 그림 1은 전차선의 편위와 높이를 나타내며 설계기준은 표 1과 같다.

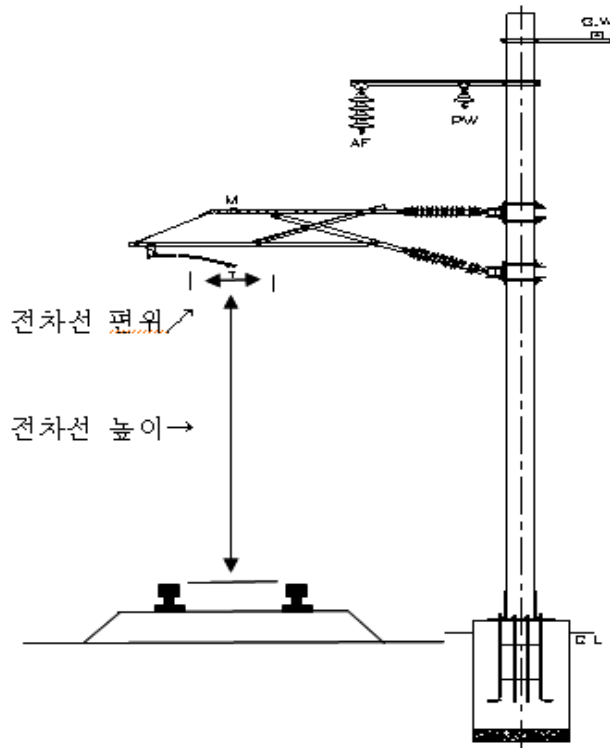


그림 1. 전차선 편위 및 높이

표 1. 전차선 편위 및 높이 설계기준

구 분	기 준	기 사
○ 전차선 편위 - 일반구간, 복선터널 - R 1,600 이상구간 - R 1,600 미만구간 - 강풍구간, 승강장 - 단선터널 - 고상홈(수도권) - 무효부분	좌우 200mm(250mm)이하 좌우 200mm이하 선로외측 200mm이하 좌우 100mm이하 좌우 100mm이하 고상홈 반대측 궤도중심에 설치	() 부득이한 경우
○ 전차선 높이 - 커티너리 구간 - 강체가선 구간	표준 5,200mm(4,850mm) 최저 5,000mm 최고 5,400mm 표준 4,750mm	() 부득이한 경우

2.2 전차선의 편위와 높이 측정 방법

전차선의 편위와 높이를 측정하는 방법은 측정 장치와 전차선의 접촉 여부 및 측정 장치를 설치하는 방법에 따라 각각 차상시과 궤도식, 접촉식과 비접촉식으로 분류되며 이중 물리적인 제약 없고 안전하며, 측정이 용이한 궤도식 비접촉 방법의 요구가 증가되고 있다. 대표적인 비접촉 측정방식으로는 레이저를 이용한 스캔 방식과 머신비전을 이용한 방식이 있는데, 머신비전을 이용한 방식은 고해상도 카메라 등 높은 제조 단가와 측정 장치의 정밀도의 단점을 가진다. 따라서 본 논문에서는 높은 정밀도를 가지며 상대적으로 제어하기가 쉬운 레이저를 이용하여 편위 및 높이 측정 시스템을 구현하였다[2].

레이저 거리 측정기는 삼각측량(Triangulation) 방식과 TOF방식(Time Of Flight)으로 구분할 수 있으며 본 논문에서 사용된 거리 측정기는 후자의 방식을 사용한다. 전자의 경우 삼각측량법에 근거하고 있으며, 후자의 경우에는 방출된 적외선 레이저빔이 대상물체에 반사되어 돌아오는 이동시간(travel time)으로부터 거리를 역산하고 대상점 좌표를 인지하는 방식을 측정의 기본이론으로 하고 있다[3].

전차선의 좌표각을 얻는 레이저 스캐너는 그림 2의 오른쪽 그림과 같이 고속으로 회전하는 반사경을 이용하여 방출각을 조절하여 측정하는 라인스캔(line scan)방식을 사용하였다.

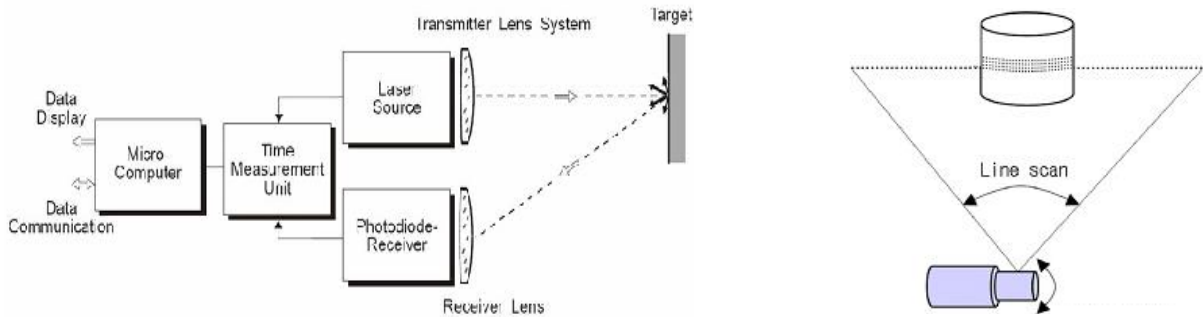


그림 2. 레이저를 이용한 편위 및 높이 측정 방법

거리와 각도 값이 주어지면 삼각함수를 이용하여 높이와 편위 데이터를 산출할 수 있는데, 관련 된 측정 변수는 표 2와 같으며 높이와 편위를 구하는 공식은 식(1)과 식(2)와 같다.

표 2. 측정 변수

측정 항목	측정 범위	측정주기	측정 방법
전차선 높이	4500 ~ 6000 mm (레일면으로부터)	0.1 sec	- 레이저 거리 측정기 - 전동차 지붕에 설치(+ 3400 mm)
전차선 편위	좌400 ~ 우400 mm (중심축 기준)	0.1 sec	- 라인 스캐너에 의한 각도 검출

- 레이저 설치 위치(전동차의 높이) : 3400 mm
- 레이저의 측정 거리(Dr) 범위 : 1100 ~ 2600 mm (측정범위 - 설치위치)
- 라인 스캐너의 cable 감지 최대 각(θ) : 약 $\pm 20^\circ$
 - $\theta = \tan^{-1}(400/(4500-3400)) = \tan^{-1}(0.3636) = 19.98^\circ$

$$\text{HEIGHT} = (\text{Dr} \times \cos \theta) + 3400 \text{ mm} \quad (1)$$

$$\text{STAGGER} = (\text{Dr} \times \sin \theta) \text{ mm} \quad (2)$$

3. 구현 및 실험

본 논문에서는 실험을 위하여 Acuity사의 AR4000 레인지 파인더와 AccuRange 라인 스캐너를 사용하여 시스템을 구성하였다. AR4000 레인지 파인더는 레이저빔이 측정대상에 반사되어 돌아올 때까지의 시간을 계산하여 PWM 신호로 출력하며[4] AccuRange 라인 스캐너는 스캔 모터가 360° 회전할 때마다 2048개의 각도에 비례하는 펄스를 발생한다. AR4000 레인지 파인더와 AccuRange 라인 스캐너는 0.25mm의 정밀도와 0.17°의 분해능을 가진다[5].

AR4000 레인지 파인더에서 나오는 PWM 신호의 시간 값을 계산하고 AccuRange 라인 스캐너의 각도 펄스를 카운트하기 위해서는 별도의 측정 보드가 필요하며 본 논문에서는 ATmega128 MCU를 사용하여 측정보드를 구현하였다. 그림 3은 개발된 측정 보드의 구조와 기능을 나타내며, 높이와 편위 외에 레이저빔의 반사강도(Intensity)를 측정하여 잡음 제거 및 데이터의 신뢰성을 보장한다. 측정된 데이터는 USB 인터페이스를 통하여 분석용 PC와 연결되며, 측정 데이터를 분석하여 텍스트와 그래프 형태로 저장한다.

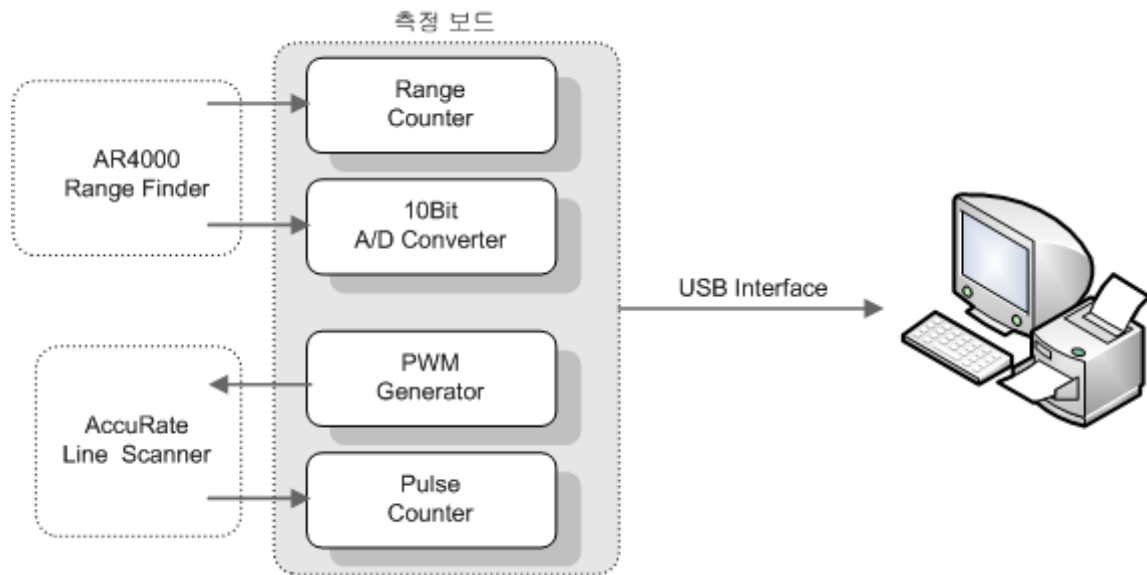


그림 3. 측정 보드의 기능 블록도

- Range Counter : 사면에 반사되어 돌아오는 레이저 빔 수신 신호를 50KHz/sec의 Sampling rate로 검출하여 거리를 계산하는 회로. 0.25mm의 반복 정밀도를 제공한다.
- 10Bit A/DC : 1반사된 레이저 빔의 신호 강도를 측정. 잡음 제거 및 데이터의 신뢰성 보장을 위해 사용된다.
- PWM Generator : Line Scanner의 Scan motor를 일정한 속도로 회전 하는 회로. 기본 5rps의 회전 속도를 가지며 프로그램에 의하여 변경 가능하다.
- Pulse Counter : Line Scanner의 회전 각도를 정밀하게 검출하는 회로 한 바퀴(360°) 회전 시 2048개의 펄스를 Count하며 360/2048=0.17°의 해상도를 제공한다.

그림 4는 전차선이 설치된 일부구간을 구현된 편위 및 높이 측정 시스템으로 차량을 운행하여 측정된 결과를 나타낸다. 직관적인 신호 분석을 위하여 그래프 변환 프로그램을 제작 하였으며, 레이저 빔의 신호강도가 낮은 데이터를 필터링 하였다. 전차선의 높이 그래프를 보면 설계 기준에 맞게 일정하게 나옴을 알 수 있고, 편위는 진입 구간을 제외하고 주행 구간에서는 지그재그 형태로 균등하게 나옴을 알 수 있다. 본 논문에서 개발된 편위 및 높이 측정 시스템의 반복 정밀도는 0.25mm를 나타냈고 해상도는 0.17°를 나타냈다.

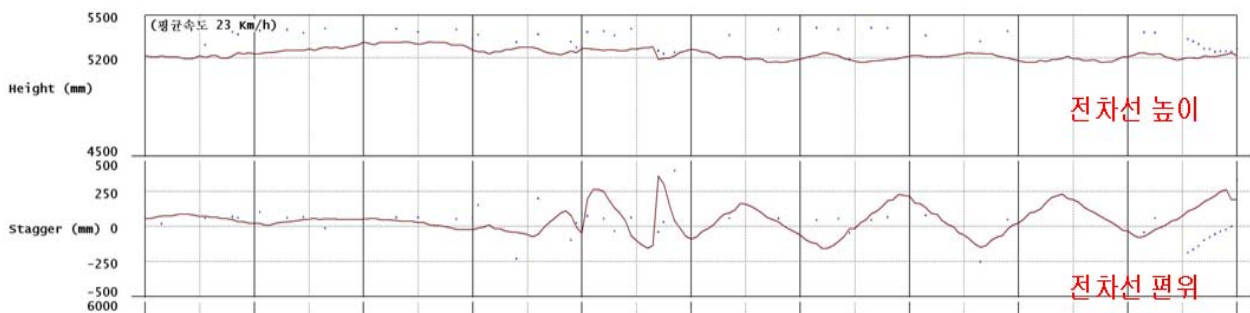


그림 4. 측정 및 실험

4. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 레이저를 이용한 비접촉식 전차선 편위 및 높이 측정 시스템 개발에 관하여 연구하였다. 거리 측정과 각도 측정을 위하여 Acuity사의 AR4000 레인지 파인더와 AccuRange 라인 스캐너를 사용하였고, 측정 및 제어를 위하여 별도의 측정 보드를 개발하였다. 개발된 편위 및 높이 측정 시스템

은 0.25mm의 반복 정밀도와 0.17°의 해상도를 가지며, 분석 프로그램에 의해 텍스트와 그래프 형태로 출력된다. 이는 능동적인 점검 지점을 제공함으로써 전차선의 설치 및 유지보수에 효과적으로 응용 될 수 있을 것이다.

현재 구현 된 편위 및 높이 측정 시스템은 설치 된 차량의 기울기가 고려되지 않아 주행 측정 시 외부 환경적인 요인에 따라 오차가 발생한다. 따라서 이를 보정함으로써 더욱 정교한 편위 및 높이를 얻을 수 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 코레일(2003), “철도 전기시설안내”, 코레일.
2. 김선기 외 6명(2006), “스테레오비전을 이용한 전차선 높이 및 편위 정밀 측정”, 한국정밀공학논문집, 제23권 10호, pp.14-21.
3. 추창우 외 4명(2007), “3차원 복원 기술 동향”, 전자통신동향분석.
4. Acuity Corporations(2006), “AR4000 Range Finder User's Manual”.
5. Acuity Corporations(2006), “AccuRange Line Scanner User's Manual”.