

# 전기철도 차량과 전차선간 상호 인증 기술



박 영 선임연구원 (한국철도기술연구원 고속철도인프라연구단FTI)



철도는 다양한 구조물, 전기시스템, 신호시스템 등 서로 다른 시스템이 복합적으로 이루어져 있으나 설계 및 운영은 분야별로 각각 이루어진다. 이를 위해 각 분야의 특성에 따라 다양한 설계지침, 운영지침이 존재하며 인증 및 유지보수도 다르다. 그러나 철도에서는 각 분야가 접목되는 인터페이스 분야로 차량과 전차선간 인터페이스, 차량과 레일 간 인터페이스 및 차량과 신호 간 인터페이스가 있다. 이 3가지 인터페이스는 복합적 상호작용이 연계되므로 각각의 시스템이 상호작용에 의한 변화를 예측하고 이를 실제적으로 인증하는 검증시스템의 개발과 기술의 연구가 필요하다. 각 인터페이스의 인증기술은 상호 작용에 의해 나타나는 다양한 효과나 작용에 대해 다양한 요구사항을 정의하고 안전, 운영에 필요한 부분을 명확하게 나타내어야 한다. 국내 철도시스템은 상호인증에 대한 기준이 구체적으로 적립되지는 않았으나 유럽 기준인 TSI (Technical Specifications for Interoperability: 상호 운용성을 위한 기술 사양)은 각각의 세부 시스템 (차량, 선로, 신호등, 전력)에 대해서 해당 요건을 규정하고 있다.

이와 같이 상호운영에 적합한 기준을 명시하고, 세부적으로 나타내고 있으나 각 분야의 결합인 인터페이스에서 나타나는 다양한 상호작용이 각 세부 분야에 어떤 영향에 의해 나

타나는 것인지에 대한 인증기술을 구체적으로 발전하지 못하고 있다. 예를 들어 차량과 전차선간의 인터페이스에서 발생하는 다양한 효과인 마모, 아크, 동편위, 동높이, 전차선로의 피로 등의 원인과 문제점을 정확하게 분석하기는 어렵다. 특히, 아크, 마모 등과 같은 문제는 전차선에 심각한 손상을 발생시키고 열차의 정지나 사고를 유발하므로 상호 운영에 따라 정밀한 분석이 요구되나 현재 몇 가지 방법만이 규격화되어 있다. 본고에서는 전기철도의 상호 인터페이스 중 전차선과 팬터그래프와의 상호작용에 인증에 대한 시스템 기술을 나타내었다. 특히, 팬터그래프와 전차선로 간의 인터페이스 분야에서 규격화 되어 있는 인증기술에 대하여 기술하였다. 본고에서 작성된 내용은 EURAILTEST의 Rail system interface를 일부 인용한 것이며 국내 개발된 다양한 시스템을 분석한 것이다.

## 1. 팬터그래프와 전차선로간 인터페이스

전차선은 고속전기철도의 차량에 전기를 공급하기 위해 사용되는 가장 적합하고도 효율적인 방법이며 전차선으로 부터 전기를 집전을 하기 위한 방법은 팬터그래프가 현재까지는 가장 널리 사용되고 있다. 전차선과 팬터



그림 1. 국외 전차선로 사고사례 (전차선 단선).

그래프는 철도의 전력을 차량에 전달하기 위해 사용되는 가장 적합한 인터페이스 수단이다. 팬터그래프와 전차선간 인터페이스란 팬터그래프의 집전판이 전차선에 접촉되어 있는 것을 뜻하며 접촉상태는 열차의 속도, 기상조건, 운영조건에 상관없이 충분히 좋은 품질을 유지해야 한다. 그러나 팬터그래프와 전차선간의 접촉력이 매우 높을 경우 전차선의 과도한 압상량이 발생되며 이로 인해 가동부에 과도한 마모가 발생되며 전차선이 팬터그래프와 얽혀 사고의 원인이 될 수도 있다. 반대로 접촉력이 매우 낮은 경우 결과적으로 지나치게 많은 전기적 이션현상인 아크(Electric arc)가 발생돼 동력차의 성능을 손상하고 전차선을 훼손하며 마모현상을 가속화시켜 가공선로가 단선될 위험이 있다.

## 2. 팬터그래프-전차선로 인터페이스 성능 인증

팬터그래프-전차선로간의 인터페이스 성능 인증 기준은 IEC 62486, EN 50317 등 국제 및 유럽기준에 명시되어 있다. 또한, "에너지"와 "철도 차량"에 관한 TSI (Technical Specifications for Interoperability: 상호 운용성을 위한 기술 사양)와 유럽 표준은 시스템 간의 인터페이스의 해당 필수 요건을 규정하고 있다 (표 1).

### 2.1 성능인증 항목

팬터그래프와 전차선간의 상호작용은 일반적으로 차상과 지상 측정에 항목으로 나누어지며 세부 항목은 다음과 같다.

- (1) 팬터그래프와 전차선간 이션율 (NQ)
- (2) 집전판과 전차선 간의 평균 접촉력 (Fm) 및 표준 편차 ( $\delta$ )
- (3) 전차선의 압상량 (S)

### 2.2 성능 인증 방법

팬터그래프와 전차선간의 상호작용에 관한 인증방법은 EN 50119과 EN 50317의 세부 항목에 따라 인증되며 필요 검측은 다음과 같다.

- (1) 팬터그래프와 전차선간 아크
- (2) 팬터그래프에 가해지는 수직 접촉력
- (3) 팬터그래프의 접촉으로 인해 발생하는 전차선에서의 압상량 (Uplift) 측정

각 항목에 사용된 측정 시스템은 EN 50317의 세부항목에 따라 구현된 검측장치여야 하며 인증 시 다음 사항을 기록하고 시험조건의 조정이 가능하다.

- (1) 철도 차량의 특성 (팬터그래프 개수, 위

표1. 집전 인증기술 관련 유럽 기준 및 내용.

	인프라	인프라 및 철도 차량
표준	EN 50119 : 전차선 압상량	EN 50367: 집전 시스템 - 팬터그래프 및 가공급전선로 간의 상호작용에 대한 기술 표준

표2. 팬터그래프 접촉력 검측항목 및 기준.

계측 항목	기준	비고
Fmean-3σ	0N 초과	참조문헌 [EN50119]
Fmean+3σ	300 이하* 350 이하**	참조문헌 [EN50119]

\* 최고속도 200 km/h 이하인 선로  
\*\* 최고속도 200 km/h 초과한 선로

치 및 방향 등)

- (2) 철도 차량의 운행속도
- (3) 기상 조건
- (4) 전차선로의 특이구간

### 3. 전차선과 팬터그래프 간 접촉력을 이용한 인증기술

집전성능은 전차선과 팬터그래프간의 접촉력을 측정하거나 전차선과 팬터그래프간 이선이 되었을 때 발생하는 아크를 측정하여 평가하는 것이 일반적이다. 접촉력 시험은 전차선과 팬터그래프 집전판 간의 접촉 상태를 팬터그래프에 적절한 센서와 장비를 설치하여 전기차 운행 중에 측정하는 시험을 의미하며, 집전성능을 판단하는 기준으로 사용할 수 있다.

### 4. 전차선과 팬터그래프 간 이선아크 검측을 이용한 인증기술

이선아크는 팬터그래프의 집전판과 전차선 간 접촉력이 0 이하로 떨어질 경우 집전판과 전차선간에서 발생하는 빛으로 이를 광학적 센서를 이용 전기적 신호로 처리하여 측정하

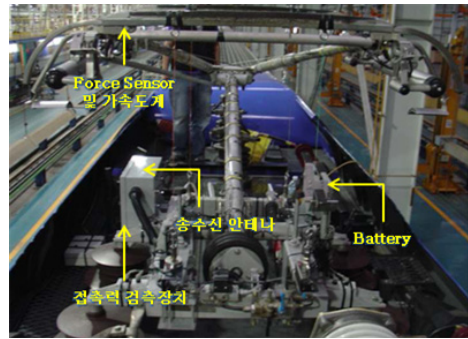


그림 2. 접촉력 분석 계측 장비 탑재 사진.

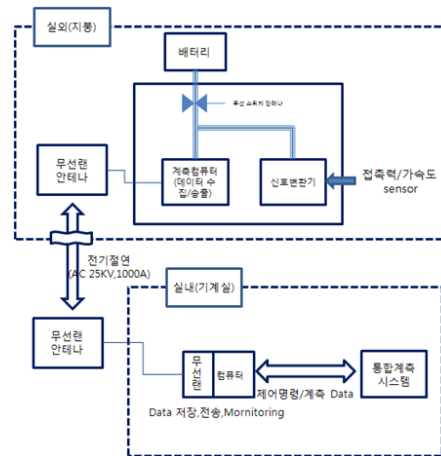


그림 3. 팬터그래프 접촉력 측정장치 구성도.

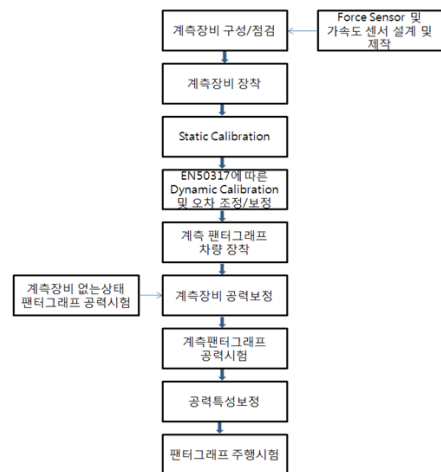


그림 4. 접촉력 시험 절차.



는 것이 일반적이다.

이선아크 검측은 전차선과 팬터그래프 간 이선 시 발생하는 아크를 광센서를 이용하여 전기적 신호로 측정하는 것이다. 측정차량의 상부에 검측장치는 위치하고 민감도를 높이기 위해 근접하게 설치하도록 한다. 이때 검측기는 차량 진행방향을 기준으로 팬터그래프 후방에 고정한다. 차량상부에는 차량계측 시스템인 아크검출기, 팬터그래프 동작 범위 측정이 가능한 비디오 모니터링 장치 및 열차 상부의 열악한 환경에서 계측장치를 보호하기 위해 Housing하도록 한다. 실내 계측 시스템은 열차의 내부에서 운행 중 이선아크를 모니터링 하기 위한 것으로 아크 검출기 컨트롤 및 이선을 모니터링 장치, 속도, 팬터그래프 전류 검출장치, 운영 프로그램 (이선을 계산, 속도, 위치, 정격전류 등) 및 비상 전원 공급을 위한 UPS 등을 이용한다. 세부적인 측정방법은 열차 운행에 따라 발생하는 아크를 센서 신호 차량 내의 실내 계측시스템에서 측정하며 차량속도, 아크발생 횟수, 이선시간 (아크발생시간의 총합), 최대 아크 발생 시간, 총 측정시간 (팬터그래프 정격전류 30% 이상), 검측시스템 총 운영시간, 이선을 등을 측정하도록 한다. 이때 시험장비의 일반 요구사항은 다음과 같다. 전차선과 팬터그래프 간 아크측정은 구리 혹은 구리합금 전차선로시스템의 아크측정파장범위인 220~225 nm 또는 323~329 nm를 포함하여야 하며, 파장범위는 관련기관의 협의에 의해 변경가능하고, 파장 길이 330 nm 이상인 가시광선에는 빔광감성 하도록 한다. 또한, 검측장의 민감도를 높이기 위해 광센서를 근접하게 설치하며 검측기는 차량 진행방향을 기준으로 팬터그래프 후방에서 집전판을 향하도록 설치한다. 여기서, 검측기는 팬터그래프 작동범위에 반응하도록 충분한 시계와 민감도를 갖도록 하며 이때의 민감도에 대한 허용오차는 10% 미만이어야 한다. 또한, 검측기는 100  $\mu$  s 미만의 아크에 해당하는 반

응하도록 하며 직사일광에 의해 검측기가 오작동 하지 않도록 출력전압 레벨을 조정하여 임계값으로 설정하고 임계값을 최소 파워 밀도로 한다.

#### 4.1 시험장비의 교정 사항

- (1) 시험장비 출력은 파워밀도로 표현하도록 한다 ( $\mu$ W/cm<sup>2</sup>).
- (2) 시험장비의 최소 검측 파워밀도를 임계값으로 나타내도록 한다.
- (3) 팬터그래프와 검측기간 거리에 따른 파워밀도 교정은  $1/d^2$  법칙을 이용하여 교정 (여기서  $d$ 는 전차선과 팬터그래프간의 거리)

#### 4.2 차량계측시스템

그림 5는 이선아크 측정을 위한 아크 검출기, 비디오 모니터링 장치, Housing 등을 차량에 설치한 모습을 보여준다.

#### 4.3 실내 계측 시스템

그림 6은 차량계측시스템으로부터 얻어진 속도 및 전류신호를 축출하는 실내계측 장비 사진을 보여주며 이외에도 실내계측시스템은 아크 검출기 컨트롤 및 이선을 모니터링 장치, 운영 프로그램 (이선을 계산, 속도, 위치, 정격전류 등), UPS (비상 전원 공급) 등으로 구성된다.

#### 4.4 측정방법

검측 시에는 아크별 지속시간, 열차 속도, 팬터그래프 전류 및 아크 발생 위치에 대하여 기록하며, 그림 7(a)는 실내계측시스템을 나타내며, (b)는 차량계측시스템으로부터 얻어진 결과를 토대로 이선아크 데이터 분석 프로그램에 관해 보여준다. 이때, 이선아크 분석 프로그램은 이선아크 검출 및 분석, 화상 모니터링, 전류·속도·거리 분석, 이선률 계산, 아크별 지속 시간 분석 및 아크발생 개소 등에 관한 분석이 가능하다.



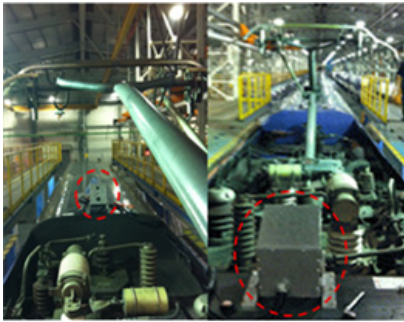


그림 5. 센서 및 비디오 장치 (Housing) 정면 및 측면 탑재 사진.



그림 6. 속도 및 전류 신호 축출 (a) 정격전류 신호 축출용 보드, (b) Tacho-Meter (속도) 신호 축출.

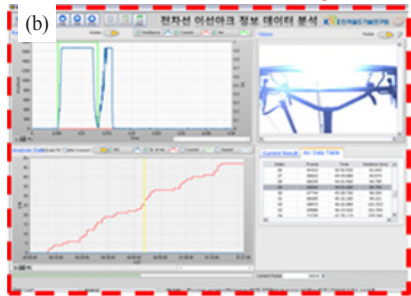


그림 7. 실내 계측 시스템 및 이선아크 데이터 분석 화면.

## 5. 전차선의 지지점 압상량 검측을 이용한 인증기술

지지점 압상량은 팬터그래프가 전차선 지지점을 통과 시 팬터그래프의 압상력에 의한 전차선의 동적 최대 수직 변위로 최고속도 구간 중 최대압상조건인 1개소를 선정하여 측정하고 있으며 검측기의 요구항목과 세부 항목을 국내·외 기준에 따라 구성하여야 한다. 시험장비는 일반적으로 검측장치가 측정결과 값 변화에 3% 이상 영향을 주지 않도록 한다. 지지점 압상량 일반사항은 전차선 압상량 검측장치의 오차는 5 mm 이하여야 한다. 접촉부 수직변위 측정 일반사항은 접촉부의 수직 변위측정은 팬터그래프 기본 프레임에 대해 측정하며 이때 측정시스템의 정확도는 10 mm 이하여야 한다. 측정시스템의 정확도는 검측된 진폭의 10% 이하 이거나, 10 mm 이하이어야 하며 이때 높은 정확성을 선택한다. 계측 시스템은 일반적으로 가압부와 비 가압부로 구분되며 가압부의 경우 센





그림 8. 전차선 압상량 검측 장치 설치 사진.

서부(변위계) 및 가압부 전차선로 압상량 측정장치(데이터 처리부, 송신부, 배터리 등)로 구분된다. 비가압부는 비가압부 전차선로 모니터링 장치(수신부, 중계기, DAQ시스템 등)와 측정결과 분석 프로그램으로 구성된다.

### 참고 문헌

[1] EN 50119:2001, "The European Standard, Railway applications-Fixed installations-Electric traction overhead contact lines", 2001.

[2] EN 50317:2001, "The European Standard, Railway applications-Current collection systems- Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line", 2001.

[3] EN 50367:2006 "Railway applications-Current collection systems- Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line(to achieve

free access).", 2006

[4] IEC 62486:2010, "International Standard, Railway applications-Current collection systems- Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line", 2010.

[5] 일반(고속화)·고속철도 등 철도종합시험 기술통계 연구용역 최종보고서, 한국철도기술연구원, 2011.12

[6] Rail system interface, Eurailtest, Railway consultancy, engineering and testing.

[7] 팬터그래프-전차선간 아크 검측 장치의 신뢰성 분석, 대한전기학회논문지, 61권 8호, pp.1216-1220, 2012.

[8] 터널구간 팬터그래프와 전차선간 동적성능 검측장치 구현, 박영, 박철민, 이기원, 권삼영, 대한전기학회 논문지, 61권 11호, pp. 1732-1736, 2012.

### 저자약력



성명 : 박 영

◆ 학 력

- 2000년  
성균관대학교 대학원  
전기전자 및 컴퓨터공학부  
공학석사
- 2004년  
성균관대학교 대학원  
전기전자 및 컴퓨터공학부  
공학박사

◆ 경 력

· 2004년 - 현재

한국철도기술연구원  
고속철도인프라연구단TFT  
선임연구원