

고속 강체 전차선로의 인터페이스를 위한 이선현상 모의 시뮬레이터 개념 설계

정노건*, 이재봉*, 장진영*, 김재문*
한국교통대*

Conceptual Design Study on Contact Loss Simulator for a Interface of High-speed Overhead Conductor Rail

No-Geon Jung*, Jae-Bong Lee*, Chin-Young Chang*, Jae-Moon Kim*
Korean National University of Transportation*

Abstract - 철도차량의 동력원은 화석연료를 사용하던 디젤차량에서 최근 고속전철 및 도시철도차량, 경량전철 등 전기를 주 동력원으로 사용되고 있다. 철도차량에 전기를 공급하는 시스템은 일반적으로 개활지 등 지상구간에 적용되고 있는 가공전차선 방식과 지하구간, 터널 등에 적용되고 있는 강체가선방식 그리고 경량전철 등에 채용되고 있는 제 3 레조방식이 있다.

최근에는 일반적으로 지하구간의 가선시스템에 적용되던 T-Bar방식의 강체가선 방식에서 탈피하여 고속주행이 가능한 R-Bar방식의 강체가선 방식에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

최근까지 지하구간의 터널구조에서 강체전차선로를 급전시스템으로 채택할 경우 열차의 최고속도는 국내의 경우 90km/h, 국외의 경우 160km/h를 넘지 못하는 실정이었다. 그러나 이를 극복한 제품이 개발되어 열차운행 최고속도를 200 ~ 250km/h까지 향상시킬 수 있게 되었다.

본 논문에서는 최근 설계속도 250km/h 급 R-bar방식 강체전차선로 인터페이스를 위한 이선현상 모의 시뮬레이터 개념 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 집전선능과 관계가 있는 전기철도차량 이선현상 요인 및 영향 분석하였으며 강체전차선로 운행에 따른 이선 등으로 인한 영향을 고찰하기 위해 이선 현상 모의 시뮬레이터 개념 설계에 대한 연구를 수행하였다.

1. 서 론

철도는 대중 교통수단으로서 신속, 정확하면서도 보다 안전한 서비스를 제공하는 유일한 교통수단으로서 항공기, 선박, 자동차와는 근본적으로 상이한 특성을 갖는다. 특히 정해진 선로 위에서만 주행할 수 있다는 점과 여러 대의 차량을 길게 편성하여 운용할 수 있다는 것은 철도만의 특징이다. 따라서 오늘날 대도시 교통난과 환경문제 해소를 위해 도시철도를 해결방안으로 제시되고 있다. 1974년 8월 15일 수도권 전철 개통시 서울 지하철 1호선도 동시에 개통되었다. 그로부터 30여년이 지난 지금 서울시는 9호선까지 완공되어 영업 중이고, 부산을 비롯한 대구, 인천, 광주, 대전에서도 운행 중에 있다. 또한 부산, 대구, 김해, 의정부, 용인 등에서는 교통수요에 맞는 경량전철이 건설되어 운행되거나 건설 중에 있다.[1]

철도차량의 동력원은 화석연료를 사용하던 디젤차량에서 최근 고속전철 및 도시철도차량, 경량전철 등 전기를 주 동력원으로 사용되고 있다. 철도차량에 전기를 공급하는 시스템은 일반적으로 개활지 등 지상구간에 적용되고 있는 가공전차선 방식과 지하구간, 터널 등에 적용되고 있는 강체가선방식 그리고 경량전철 등에 채용되고 있는 제 3레조방식이 있다. 가공전차선로인 커터너리 시스템보다 구조상 단순한 기계적 구조를 가지고 있어 지하구간의 터널 단면적을 작게 할 수 있어 토목공사비가 적게 드는 건설상의 이점이 있다.[2]

유지보수 측면에서 장력장치가 불필요하고 전차선의 높이 변화가 거의 없으므로 유지보수비용이 가공전차선로보다는 적게 드는 경제적인 시스템이다. 더욱이 전차선이 알루미늄 강체와 일체형으로 구성되어 전기적인 급전측면에서 급전용량이 충분하고 전차선이 끊어지는 사고가 발생되지 않아 안전성이 뛰어난 시스템이다. 반면, 강체전차선로는 가공전차선로에 비해 탄성변화가 극히 적으므로 전차선과 철도차량의 집전장치 사이에서 일어나는 집전특성 인터페이스 측면에서 고속주행에 어려움이 있다. 커터너리방식은 장력장치가 설치되어 장력에 의한 탄성과 집전장치인 팬터그래프 탄성의 상호작용에 의해 집전성능이 우수한 편이나 그에 비해 급전선과 전차선 또는 도전강 레일을 일체화한 구조인 강체가선방식은 무장력으로 탄성이 없어 팬터그래프 탄성과의 상호작용이 없기 때문에 커터너리 조가식과 비교할 때 낮은 속도에서 이선이 시작되게 된다. 따라서 강체전차선에서는 레일에 대한 높이를 일정하게 유지하는 정밀도 높은 시공이 요구되며, 강체가선방식에서 속도를 향상시키기 위해서는 이선을 기준치 이내로 줄이는 노력이 필요하다.

최근까지 지하구간의 터널구조에서 강체전차선로를 급전시스템으로 채

택할 경우 열차의 최고속도는 국내의 경우 90km/h, 국외의 경우 160km/h를 넘지 못하는 실정이었다. 그러나 이를 극복한 제품이 개발되어 열차운행 최고속도를 200 ~ 250km/h까지 향상시킬 수 있게 되었다. 본 논문에서는 최근 설계속도 250km/h 급 R-bar방식 강체전차선로 인터페이스를 위한 이선현상 모의 시뮬레이터 개념 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 집전선능과 관계가 있는 전기철도차량 이선현상 요인 및 영향 분석하였으며 강체전차선로 운행에 따른 이선 등으로 인한 영향을 고찰하기 위해 이선 현상 모의 시뮬레이터 개념 설계에 대한 연구를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 이선현상[3]

이선현상은 전력을 공급하는 전차선과 공급받기위한 차량의 팬터그래프 사이에서 물리적인 접촉이 순간적으로 떨어지는 현상을 말한다. 이선이 발생하는 요인은 계절적인 요인과 구조적인 원인 등 다양하지만 주로 철도의 주행속도와 그에 따른 전차선의 요동에 의해 드로퍼로 등고를 유지하던 전차선의 높이가 변화함에 따라 접촉력이 감소하여 발생한다. 이선현상의 분류는 크게 세 가지로 분류된다. 우선 팬터그래프의 미세한 진동에 의한 소이선과 충격에 따라 발생한 불연속점에 의한 중이선, 마지막으로 지지점 주기에 의한 대이선으로 분류된다. 중이선의 경우 수분의 일조 정도의 이선시간을 가지나, 대이선의 경우 1~2초 이선이 발생하기도 한다. 철도 건설기준 규정에 의해 고속철도의 경우, 이선율은 1%를 넘지 않아야 한다. 식 (1)은 이선율을 나타낸다.

$$\text{이선율}[\%] = \frac{\text{이선주행시간}}{\text{전체주행시간}} \times 100[\%] = \frac{\text{이선주행거리}}{\text{전체주행거리}} \times 100[\%] \quad (1)$$

이선(Contact Loss)은 외인성의 임펄스 노이즈의 유입으로 인한 전도성 형태로 전력계통인 전차선에 강력한 노이즈레벨을 갖고 다양한 형태로 나타나는데, 기기에 치명적인 영향을 미치기 때문에 매우 중요하며 반도체 소자를 이용한 스위칭 전원회로 투입시의 돌입전류로 인한 과도현상과 같은 특징을 갖는다. 뿐만 아니라 전차선과 전력을 공급받는 팬터그래프 사이의 불안정한 접촉으로 인한 아크(Arc)현상은 방사성 노이즈 형태로 나타나게 되어 전도성 및 방사성 노이즈를 유발시킨다.

이선현상이 나타날때 접촉 손실시간에 따라 소이선, 중이선, 대이선으로 나눈다. 소이선인 경우 이선시간은 1/XXX초(10ms 단위) 정도로 팬터그래프 슬롯판의 미세 진동에 의해 발생되고, 중이선의 이선시간은 1/XX초(100ms 단위) 정도로 팬터그래프가 전차선의 경점에 의해 충격 받을 때 발생한다.

<표 1> 이선의 종류

종 류	원 인	시 간 (sec)
소이선	팬터그래프 슬롯판의 미세진동	1/XXX
중이선	팬터그래프와 전차선 경점에 의해 충격	1/XX
대이선	전차선 지지점 통과 직후 자체 도약 현상	1~2

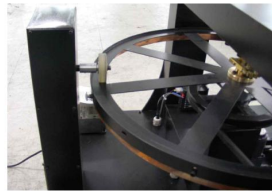
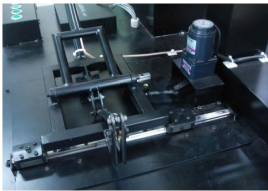
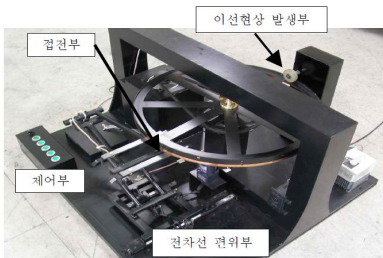
고속전철 주행시 이선이 발생하게 되면 이선 개소의 시점부 및 중단부는 아크와 충격에 의해 국부적으로 전차선의 마모가 촉진되어 열화 등에 따라 단선될 가능성이 높아진다. 또한 이선이 발생하는 동안 차량내 부로의 집전이 중지되고 무선 노이즈 장애가 발생한다. 최악의 경우 고속전철의 견인전동기 혹은 전력변환장치의 반도체 소자를 비롯한 전자

폼이나 보호기기가 침략에 의해 파괴될 수 있다.

또한 전기철도 급전계통시스템은 전기적으로 절연역할을 하는 사구간(Dead Section)이 존재하는데, 전원의 접속개소에서 아크현상이 발생한다. 즉 고속전철이 절연구간을 통과할 때, 예기치 않은 상황에서 가압구간에서 무가압 구간으로 보호 절차 없이 진입하게 되면 고속전철의 팬터그래프와 전차선 사이에 아크 발생 확률이 높다. 뿐만 아니라 절연구간을 통과할 때 무가압 구간에서 바로 가압구간으로 진입하게 되면 아크가 발생하기 쉽다.

2.2 이선 현상 모의 시뮬레이터 개념 설계

이선 현상 모의 시뮬레이터 개념 설계를 위해 기존 이선 현상을 모의할 수 있는 시뮬레이터를 분석하였다. 그림1은 기존 이선현상 모의 시뮬레이터의 구성도로 크게 집전부, 이선현상 발생부, 전차선 편위부, 제어부로 나눈다. 고속전철 주행 중에 이선현상을 모의하기 위해 시뮬레이터 상단에 설치된 원판이 회전운동을 함으로서 고속전철이 주행하는 것으로 모의 하였으며, 원판은 고속전철 주행과 비례하여 가감속 회전이 가능하게 구성되어있다. 크게 집전부, 이선현상 발생부, 전차선 편위부, 제어부로 나눈다. 고속전철 주행 중에 이선현상을 모의하기 위해 시뮬레이터 상단에 설치된 원판이 회전운동을 함으로서 고속전철이 주행하는 것으로 모의 하였으며, 원판은 고속전철 주행과 비례하여 가감속 회전이 가능하다.[3]



〈그림 1〉 기존 이선현상 모의시뮬레이터

하지만 강제전차선로와 전기철도차량의 인터페이스를 분석을 위한 실험에 위해서는 강제전차선로의 특성이 반영되어야한다. 이를 위해 아래와 같은 특징이 추가로 필요하다.

- R-bar 가진주파수 대역을 반영한 하드웨어 개발
- R-bar 가진주파수 모의 시뮬레이터의 제어기 설계
- 압상력 변화 조절이 가능한 집전장치 설계
- AC/DC 전력변환장치 설계

3. 결 론

본 논문에서는 최근 설계속도 250km/h 급 R-bar방식 강제전차선로 인터페이스를 위한 이선현상 모의 시뮬레이터 개념 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위해 집전성능과 관계가 있는 전기철도차량 이선현상 요인 및 영향 분석하였다. 또한 이선 현상 모의 시뮬레이터 개념 설계를 위하여 기존 시뮬레이터를 분석하였으며 강제전차선로와 전기철도차량 간의 인터페이스를 위한 이선 현상 모의 시뮬레이터는 R-bar 강제전차선로의 특성을 반영할 수 있어야 한다.

향후 연구에서는 강제전차선로의 특성을 반영한 시뮬레이터를 제작하여 그 특성을 분석하고자 한다.

【참 고 문 헌】

- [1] 배상준, 장광동, 이기원, 박윤철, "250km급 강제전차선로 시스템 개발을 위한 R-BAR 특성 고찰", KIEE, Vol 63, No. 3, pp. 492~497,

2013

- [2] 박영, 이기원 "강제전차선로와 전기차량의 팬터그래프간 상태판단 기술 분석", 대한전기학회 학술대회 논문집, 2014
 [3] 장진영, "고속전철 이선현상을 고려한 추진제어용 전력변환장치 설계", 석사학위논문, 2010