

도시철도 선로안전시설에 관한 고찰(I) A Study on the Safety Facilities of Urban Railway(I)

이승원* 김승환** 신승교*** 김홍석****
Lee, Seong-Won Kim, Seung-Hwan Shin, Seung-Kyo Kim, Hong-Seug

ABSTRACT

In this paper, safety requirements for guard rails, buffer stops, defensive structures, anti-fire facilities, and safety sidings are studied to establish a standard. Various kinds of guard rails and their construction methods are investigated. Researches on the level difference of main track and guard rail, joint, length, and fastening force of guard rail are done. The classification of buffer stops, defensive structures, anti fire facilities, and safety sidings and its characteristics are examined. From this study, fundamental data on the safety facilities of urban railway system are established.

1. 서 론

도시철도는 현재 서울, 경기, 부산, 대구, 인천 등의 대도시에서 활발히 운행중에 있고 계속 확충 중에 있으며 광주, 대전 등의 도시까지도 건설이 진행되고 있다. 이러한 도시철도를 구성하는 각종 시스템 중에서 선로시스템의 안전확보를 위하여 안전 시설물이 설치되어 있다. 현재 일본, 미국, 유럽등과 같은 철도선진국에서는 선로시스템의 안전과 관련된 많은 연구가 수행됨으로써, 선로 설계 및 유지관리에 활용하여, 열차주행 안전성 확보를 위한 세부적인 안전기준을 마련하고 있다. 이러한 선로시스템의 안전시설 및 기준은 각 국가별로 철도시스템이 다르고 운영방식이 다르기 때문에 독자적인 연구개발을 통하여 확보되어야 한다. 대량 공공여객 수송수단인 도시철도에서 사고가 발생할 경우 막대한 인명 및 재산상의 손실은 물론 국가 중요 교통망으로서 기능이 상당시간 마비될 수 있으므로, 도시철도 사고를 미연에 방지할 수 있는 도시철도 선로안전시스템 구축은 경제·사회적으로 기여하는 바가 매우 크다고 하겠다. 따라서 도시철도 선로시스템의 안전성 향상을 위한 연구는 공공여객 수송수단인 도시철도에서 확보되어야 할 가장 중요한 기술사항이라 하겠다. 도시철도는 지형상의 여건과 기술적 한계에 의하여 제한적인 공간에서 운행하기 때문에 선로의 열차주행 안전에 있어 많은 취약개소를 가지게 된다. 이러한 선로 취약개소를 열차가 통과할 경우 예기치 못한 사고의 발생으로 인하여 심할 경우 열차발전 및 전복으로 인하여 인명사고를 포함한 대형사고가 발생하게 된다. 실제 철도현장의 많은 사고는 선로의 취약개소에서 발생하며 그 유형도 매우 다양하게 나타나고 있다. 따라서 계속적으로 급증하는 도시철도 확충 및 교통수요에 대비하여, 선로를 주행하는 열차의 안전한 주행과 사고발생시 피해 최소화 및 승객에 대한 최대한의 안전을 확보하기 위하여 국내여건에 적합한 체계화된 도시철도 선로시스템의 안전시설 표준화를 위한 기초연구가 시급히 요구된다 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 국내·외 도시철도에 적용되고 있는 선로 안전시설에 관한 각종 자료조

* 경북대학 토목신계과 교수, ** 도시환경센터 연구원, ** 경북대학 토목신계과 강사,

**** (주)SOC 엔지니어링 사장

사 및 분석을 통하여 안전관련 시설의 현황 및 특징을 분석하고자 한다. 이를 통하여 표준화가 필요한 혹은 가능한 주요 안전시설에 대하여 필수적으로 요구되는 최소한의 지침작성을 위한 기초자료를 정립하고자 한다.

2. 가드레일

2.1 탈선방지 가드레일

탈선방지 가드레일은 본선으로서 반경 300m 미만의 곡선에 위험이 큰 쪽의 반대쪽 레일 구간 안쪽에 부설하는 것을 원칙으로 한다. 가드레일은 특수한 경우를 제외하고는 본선 레일과 같은 레일을 사용하여야 하며 본선레일보다 낮거나 또는 25mm 이상 높게 하여서는 안 된다. 폭은 80~100mm로 부설하고 그 양단은 2m 이상의 길이를 짧대기형으로 구부러서 종단은 본선 레일에 대하여 200mm 이상의 간격이 되도록 하여야 한다. 탈선방지 가드레일의 이음부는 특수한 경우를 제외하고는 이음매판을 사용하고 이음매판 볼트는 플랜지웨이 바깥쪽에서 조여야 한다. 다만, 특수한 구조의 가드레일 이음부는 신축구조로 하여야 한다. 곡선반경 300m 이상 단선구간이나 복선구간 중 인접선과의 거리가 8m를 초과하는 경우에는 탈선방지 가드레일을 적용하지 않아도 된다. 또한, 인접선의 거리가 8m 이하라도 그 선의 중간에 홈 등 탈선차량을 방호할 수 있는 경우와 인접선이 1.5m 이상 높은 경우에도 탈선방지 가드레일을 적용하지 않아도 된다. 다만, 인접선이 고가교로 교각이 무너질 염려가 있는 경우는 설치하는 것으로 한다.

2.2 교상 가드레일

교상 가드레일은 교량침복을 사용하는 교량에서 트러스교, 플레이트 거더교 및 전장 18m이상의 교량, 곡선중에 있는 교량, 10%이상의 구배 또는 종곡선 중에 있는 교량, 열차가 진입하는 쪽에 반경 600m 미만의 곡선이 근접되어 있는 교량 등에 설치한다. 교상 가드레일을 설치할 때, 본선 레일 양측의 레일 안쪽에 부설하고 특수한 경우를 제외하고는 본선 레일과 같은 레일을 사용하며, 본선 레일보다 25mm 이상 높거나 낮아서는 안 된다. 교상가드레일의 이음부는 특수한 경우를 제외하고는 이음매판을 사용하고 이음매판 볼트는 플랜지웨이 바깥쪽에서 조여야 한다. 다만, 특수한 구조의 가드레일 이음부는 신축이 가능한 구조로 하여야 한다.

교상가드레일은 복선구간에 있어서 교대 끝으로부터 열차 진입방향은 15m 이상 다른 한쪽은 5m 이상은 연장 부설하여야 하며, 단선구간에 있어서는 교량 시중점부의 교대 끝에서 각각 15m 이상을 연장 부설하여야 한다. 플랜지웨이 간격은 200~250mm로 하며, 양측 레일의 끝은 2m 이상의 길이에서 짧대기형으로 구부러서 두 가드레일을 이어 붙여야 한다.

2.3 안전 가드레일

탈선방지 가드레일이 필요한 개소로서 이를 설치하기가 곤란하거나 낙석 또는 강설이 많은 개소에 있어서는 안전 가드레일을 부설한다. 부설 위치는 pc 침복부설 구간 등 특별한 경우를 제외하고는 위험이 큰 쪽의 반대쪽 레일의 내측에 부설하는 것으로 한다. 다만, 낙석, 강설이 많은 개소에서는 위험이 큰 쪽 레일의 외측에 부설한다. 레일은 본선 레일과 동종의 현 레일을 사용하며 부설 간격은 본선 레일에 대하여 200~250mm의 간격으로 부설하고, 그 양 단부에서는 본선레일에 대하여 300mm 이상의 간격으로 하여 2m 이상의 길이에서 짧대기형으로 구부린다.

안전 가드레일의 이음에는 이음매판을 사용하고 이음매판 볼트는 안전 가드레일을 레일 내측에 부설하는 경우에는 플랜지웨이 외측에서 조이고, 레일 외측에 부설하는 경우에는 안전 가드레일 외측에서 조인다. 또한, 스파이크는 침목 1개를 걸러 박을 수 있다.

2.4 길널목 가드레일 및 포인트 가드레일

길널목에는 본선레일 레일 안쪽 양측에 가드레일을 부설하여야 하며, 특수한 경우를 제외하고는 본선과 같은 레일을 사용하며 플랜지웨이 폭은 65mm에 슬래를 더한 치수로 하여야 한다. 길

널록 보란 또는 포장은 본선레일과 같은 높이로 하며 특수한 경우를 제외하고는 본선레일 바깥 양쪽으로 약 450mm 보란을 깔아야 하며, 궤간 내 차량의 복귀가 용이하도록 양쪽 끝은 경사지게 설치하여야 한다. 레일 마모가 심한 곡선 분기기 등의 포인트 부에는 텅레일 마모용 포인트 가드레일 또는 포인트 프로텍터를 붙일 수 있다. 포인트 가드레일의 부설 방법은 탈선방지 가드레일에 의하되, 플랜지웨이 폭은 65mm에 슬랙을 다한 치수로 한다.

2.5 가드레일 설치 기준 및 특성

국내 도시철도의 가드레일 종류 및 가드레일에 따른 부설기준, 본선레일과의 높이차, 이음매, 부설길이, 체결력 등에 대한 현황을 다음표에 표시하였다.

표 1. 국내 도시철도 가드레일 종류 및 현황 (도시철도공사)

| 구분 | 탈선방지 가드레일 | | 교량상가드레일 | 건널목가드레일 | 안전가드레일 |
|--------------------------|---|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|
| | 레일식 | 앵글식 | | | |
| 부설기준 (선로 경비 규정) | 본선으로서 반경 200m이하의 곡선 내외측에 설치 | | 무도상 교량으로서 교량 침몰을 사용하는 교량에 설치 | 건널목에 설치 | 고가부등 반경 300m 이하의 곡선 내측에 설치 |
| 본선레일 과의 높이차 | 본선레일과 동종의 레일사용 (높이 동일) | “-”자 앵글사용 (10mm 높음) | 본선레일과 동종의 레일사용 (높이 동일) | 본선레일과 동종의 레일사용 (높이 동일) | 본선레일과 동종의 레일사용 (높이 동일) |
| 이음매 | 본선레일상판과 일체화 (코일스프링 크립사용) | 본선레일 지부에채결 (고장력볼트사용) | 메침목마다 스파이크 박음 | 메침목마다 스파이크 박음 | 메침목마다 스파이크 박음 |
| 부설 길이 | 5호선 고덕차량기지내 -무프선: 255m 7호선 장암~도봉산 -상선: 610m -하선: 611m 7호선도봉차량기지내 -무프선: 433m | 7호선 특성유원지~청담 -상선170×2=340m -하선170×2=340m | 부설개소 없음 | 각 차량기지 건널목 (도봉,고덕,원왕, 모란,방화) | 부설개소 없음 |
| 체결력 | 코일스프링크립사용 (0.9ton/개) | 고장력볼트사용 (3,000~6,000kgf·cm) | | | |

3. 차막이

3.1 독식차막이

독식차막이는 그림 1에 나타난 바와 같으며 건물, 높은 축제, 절취선이 설치되어 있는 경우에, 열차 또는 차량이 정지 위치를 오인하면 중대한 피해를 줄 우려가 있는 개소에 설치된다. 그 구조는, 성토나 콘크리트블록 구조 및 이와 동등한 것을 표준으로 하지만, 통상은 콘크리트조로 하며, 높이는 2m 전후, 길이는 1.5~2.5m 정도로 설계된다. 차량의 강도를 감안하여 100t 까지는 견딜 수 있는 것으로 하며, 그 이상이 되면 차막이가 전도되도록 설계하고 있다.

3.2 유압식차막이

특정한 구내에서 유요장 확보 및 여객 공중에 대한 안전을 고려하여 그림 2와 같이 유압 램퍼를 사용한 기계식 차막이를 사용하는 경우가 있다. 이 설비는 본선로의 선로 종단에서 열차가 과

주하면 여객 공중과 각종 역 설비에 증대한 피해를 줄 우려가 있거나 시설 건조물에 증대한 지장이 생기는 경우에 이용된다. 따라서 이것은 진입하는 열차의 중량과 속도에 견디고 동시에 차량, 승객, 지상설비의 피해를 최소화할 수 있는 기능을 가질 필요가 있다.

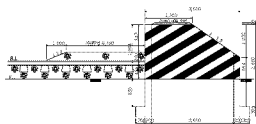


그림 1. 독식 차막이

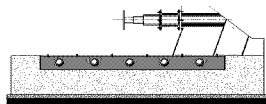


그림 2. 유압식 차막이

유압식 차막이의 설계시에는 충격력을 받아 지지하는 부분의 구조는 차량의 피해를 감안하여 연결기를 끼워 넣어 충격력을 받아 지지하는 구조로 하며, 저항력의 크기는 차체의 강도를 고려하여 결정하여야 한다. 또한, 완충의 용량은 차량에 피대한 충격력을 주지 않고 동시에 진입하는 열차의 운동에너지를 짧은 stroke로 효율성 좋게 흡수할 수 있는 구조로 한다.

3.3 자갈돋기식 차막이

자갈 돋기식 차막이의 경우에 차량이 받는 제동력은 차막이의 자갈에 의한 궤도와 차륜 등과의 마찰력 또는 차량끼리의 충돌 힘 등에 의하여 결정된다. 이 관계는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$F \times S = 0.5 \times \frac{W}{g} \times V^2 \quad (1)$$

여기서 F는 제동력(tf)을 나타내며, S는 충돌거리(차막이에서 경지하기까지의 거리, m), W는 차량중량(t), g는 중력가속도(m/s²), V는 속도(m/s)를 각각 나타낸다.

4. 차륜막이

차륜막이는 축선에서 유치중인 차량이 자연적으로 굴러 타 선로와 차량에 지장을 줄 염려가 있을 때 레일상에 설치하는 반전식 차륜막이가 있고, 폐기형으로 된 차륜막이는 차륜 밑에 고여 차량의 진주(轉走)를 막는다. 재료는 일반적으로 단단한 목재 및 고무재료를 사용한다. 또한 반전식 차륜막이는 일반적으로 본선으로부터 분기하는 축선의 차량접속 한계표지 내방 3m 지점에 설치하는 것으로 한다.

5. 방호설비

5.1 낙하물의 방호설비

낙하물 방호설비는 동절기 열차의 상하에 부착된 설빙 덩어리가 고속운전에 의해 선로에 낙하하거나 또는 낙하된 설빙 덩어리가 도상 자갈층에 떨어져 열차의 안전운전에 방해되는 사고를 방지하기 위한 설비이다. 일반 고가구간의 경우 전선로에 걸쳐 1m 작업용 통로 외측에 50m 간격으로 유형강구조를 설치하도록 계획하는 것으로 하지만 현재 100m 간격마다 설치하여도 된다. 터널구간의 경우 터널 순회차를 사용하지 않는 터널내의 중앙통로 노측벽에 아치 슬림베달에 의한 도비라 형식의 설비를 설치한다. 간격은 터널 출입구 1km 이내에서는 50m 마다 설치하고 기

타의 경우는 100m 마다 설치하는 것으로 한다.

5.2 방호공

교량 방호공은 교량을 자동차의 충격에서 보호하기 위하여 설치하는 장치로서 교량하 공간의 높이가 4.7m 미만의 가도교에 설치한다. 이 구조는 14ton의 자동차가 40km/h의 속도로 충격하였을 경우에 건디는 H형강 등에 의해 문형 구조로 한다. 교각 방호공은 도로 및 철도 등의 입체교차개소에 있어서 차량이 교각에 충격하여 손상되는 것을 방지하기 위하여 설치하는 설비로서 도로용으로는 콘크리트 또는 강도레일을, 철도용으로는 H형 구조를 채용한다.

자동차 전차 방지공은 자동차가 낙하하는 것을 방지하기 위한 것으로 눈길평형도로, 레일면에서 도로가 높이 위치하고 있는 개소 또는 도로가 1.5km 낮게 있어도 접근할 위험이 있는 개소에 설치한다. 14ton의 자동차가 80km/h의 속도로 직각 또는 15°의 각도에서 충격을 주었을 경우, 충격에 대한 내구성을 가지게 설계되고 설비되어야 한다. 과선 도로교의 난간에는 강성 방호책을, 평행도로의 선로측에는 가드레일 S형 또는 가드로드 S형을 설치한다. 또한, 과선 도로교에는 적하 전낙 방지망을 설치하는데, 이 설비는 도로부대물의 필요에 따른 개소에는 도로관리자가 요청하여 설치하는 것으로 한다.

5.3 교량 전낙방지망 및 선로 방호책

전낙 방지망은 야간 교량침몰, 궤도구간에 보수작업등을 행하는 작업원의 전락을 방지하기 위해서 설치하는 장치로서 교측보도와 주교간, 상하선 주교간에 철망으로 만들어진 방호공을 설치한다. 선로 방호책은 일반인이 선로내에 들어오는 것을 방지하기 위한 장치로서 전선로에 설치하는 강구조로 하며 선간선의 경우 높이를 2.1m 이상으로 하고 있다.

6. 방화시설

현재 국내 철도터널에는 도시철도를 제외하고 환기설비 뿐만 아니라 방재 설비가 설치된 사례가 적으며 특히 환기 및 배연시스템 즉, 수직 환기구에 의한 화재배연 및 환기시스템에 대한 도입은 미미한 실정이다. 그러나, 최근 장대화되고 있는 철도터널에서 터널 공조시스템이 설치되어 있지 않으면 매연 문제와 열차운행에 따른 터널내부 온도상승으로 안전뿐만 아니라 철도 종사원들의 작업환경 문제도 크게 대두되고 있다. 현재 소화 및 방화시설로는 소화설비, 피난설비, 경보설비, 소화용수설비, 소화활동설비, 소화 및 방화시설의 유지관리로 구분할 수 있으며 각 시설은 소방법에 따라 설치하여야 한다. 터널 화재안전 설계 기준에 필요한 사항으로는 터널내의 온도, 환기기준, 화재크기에 대한 설정문제, 비상 연결터널 간격, 환기설비의 용량문제, 구조물의 내화 성능, 화재규모에 따른 입체속도 등이 있다.

7. 안전축선 및 피난선

7.1 국내 설치기준(도시철도공사)

안전축선의 부설길이는 분기기 교점에서 70m 이상으로 하고 구배는 3‰ 이하로 한다. 종단제동설비는 차막이(레일식)를 설치하는 것으로 하고 본선과의 간격은 4.3m 이상으로 한다. 피난선의 부설길이는 1열차장길이+안전거리(70m)+열차전후 각 10m 여유를 기준으로 하여 Y-선 또는 축선(부분선)에 설치한다. 구배는 3‰ 이하로 하고 본선과의 간격은 4.3m 이상으로 한다.

7.2 국외 설치기준

안전축선은 본선과 본선사이 또는 본선과 축선사이에 설치하여야 하며 폭은 900mm 이상으로 하며, 충분한 시간동안 열차 진입을 인지할 수 없는 곳에서는 자동으로 열차 진입을 알릴 수 있

는 장치를 설치하여야 한다. 한계 선로 유효장을 표시하는 신호는 눈높이로 적어도 40m 간격을 두고 설치되어야 하며 열차 운행시 적위의 출입이 허용되지 않는 경우 출입금지 표시를 양옆에 설치하여야 한다. 또한, 40m 거리내에 안전 대피소가 설치되어 있지 않거나 열차진입 시간내에 안전 대피소로 피난할 수 없는 경우를 대비해서 안전축선을 설치해야 한다. 또한, 터널, 선로유효장이 옹벽이나 건물에 의해 제한되어 있는 경우, 장대교량이나 고가교의 경우, 열차주행동안 대피할 곳이 없는 계방이나 개각구간에는 필수적으로 설치해야 한다.

피난선은 선로 작업자들이 열차진입을 인지한 후 작업을 중지하고 안전하게 대피할 수 있도록 충분한 공간을 확보해야 하는데, 축선간 간격이 40m를 넘지 않도록 각 궤도마다 설치되어야 한다. 단선일 경우 피난선 간격은 최대 20m를 넘지 않아야 하며 충분한 대피인원 및 작업자의 경우 작업장까지 수용할 수 있도록 충분한 공간을 확보해야 한다. 피난선은 높이 2000mm, 폭 1400mm, 길이 700mm 이하여서는 안되며 대피자가 쉽게 접근할 수 있도록 피난선의 바닥 높이는 주변 선로와 높이차가 많이 나서는 안된다. 또한, 피난선의 위치는 신호등이나 눈에 잘 띄는 표시로 대피자들이 한눈에 알 수 있도록 하여야 하고 피난선 내에는 열차 주행동안 대피자들이 몸의 균형을 잃지 않도록 손잡이를 마련하여야 한다.

8. 대피시설

8.1 열차대피 손잡이

열차운행중 본선 점검시 복선 터널구간은 단면폭이 넓어 열차(교행) 진입시 대피거리가 멀어 사고발생 우려가 있으므로, 유지관리 점검반(선로, 본선환기설, 기타)의 안전을 위하여 반드시 열차대피 손잡이를 설치하는 것이 타당하다. 복선터널(직선, 곡선부)일 경우 양쪽 측벽에 모두 설치하고 단선병렬 터널일 경우 보도 현치가 설치된 측벽에 설치하며 곡선부는 R=2000 이하인 경우에 설치한다. 터널 중앙부 1.1m 지점에 스트롱 앵커로 고정하여 5m 간격으로 설치한다.

8.2 본선 출입용 계단

정거장 시, 종점 부위에 본선 출입용 계단을 설치하며, 터널구간은 콘크리트 계단으로 Box 구간은 철제형 계단으로 설치한다.

9. 결론

본 연구에서는 국내·외 도시철도에 적용되고 있는 선로 안전시설 중 가드레일 및 차막이 시설, 차륜막이, 방호설비, 방화시설, 안전축선 및 피난선, 대피시설에 관한 각종 자료조사 및 분석을 통하여 다음과 같은 연구결과를 얻었다. 먼저 국내에서 적용되고 있는 가드레일 중 탈선방지 가드레일, 교방 상 가드레일, 안전가드레일, 진닐록 가드레일 및 포인트 가드레일에 대하여 국내 도시철도의 설치기준 및 특성에 대하여 검토하였다. 차막이 시설 중에는 특식, 유압식, 자갈둔기식 차막이에 대하여 국내 설계기준을 검토하였다. 방호설비로는 낙하물의 방호설비, 교방 진낙방지막, 선로 방호책, 교량 및 교각 방호공, 자동차 진낙 방호공 등에 대하여 검토하였다. 방화시설은 현재 국내 현황 및 앞으로의 개선방향에 대하여 연구하였으며, 안전축선 및 피난선은 국내와 국외의 설치 기준을 비교·검토 하였다. 이상의 기초 연구를 통하여 국내여건에 적합한 체계화된 도시철도 선로시스템의 안전시설 에 대한 표준화를 위한 기초를 정립하였다.

참고문헌

1. 건설교통부 (2003년), "철도안전법"
2. 한국철도기술연구원 (2003년), "건설교통 안전관리 개선방안 철도안전전문 연구"
3. HSE Books (1997년), "Railway Safety"