

무가선트램 시험선 건설



이수형
한국철도기술연구원
광역도시교통연구본부 선임연구원
T.031.460.5399
geoxlee@krii.re.kr



황현철
한국철도기술연구원
광역도시교통연구본부 선임연구원
T.031.460.5747
hchwang@krii.re.kr



오용국
한국철도기술연구원
광역도시교통연구본부 선임연구원
T.031.460.5273
yongkuk5@krii.re.kr



강윤석
한국철도기술연구원
차세대고속철도기술연구본부 책임연구원
T.031.460.5323
yskang@krii.re.kr



정우태
한국철도기술연구원
녹색교통물류시스템연구소 선임연구원
T.031.460.5817
wjeong@krii.re.kr



곽재호
한국철도기술연구원
광역도시교통연구본부 책임연구원
T.031.460.5675
jkwak@krii.re.kr

1. 서론

최근 고가 경전철의 국내 도시에 대한 적용성 문제로 건설비가 저렴한 교통약자 중심의 친환경 교통수단인 트램(노면전차)의 도입을 수원, 창원을 비롯한 10개 이상의 지역자치단체에서 검토 중에 있다. 도로에 설치된 레일을 따라 움직이는 전동차로 정의할 수 있는 '트램'은 국내에서는 1898년 서울 서대문~청량리 구간에 처음 개통되어 운행된 바 있다. 당시에는 '전차'로 불렸으며, 이후 남대문, 용산, 노량진 등 도심에서 영등포와 돈암동 등 외곽지역까지 연장되었다. 11개 노선, 72개 역, 40.6km를 운행했으며 1945년에는 하루 승차인원이 당시 서울시 인구 110만명의 절반가량인 54만명에 달했다. 대중교통 수단으로 주목받던 트램은 자동차 보급과 함께 이용객 숫자가 줄기 시작하여, 1968년에는 자동차의 소통을 방해한다는 이유로 철거돼 자취를 감췄다.

반면 지난 30여 년간 유럽, 아시아, 미국 등 전 세계적으로는 136개의 트램 노선이 건설되어 운행 중이며, 현재 50여개 노선이 추가 건설 중이다. 특히 교통문화가 발달한 유럽의 경우 경전철에서 트램이 차지하는 비율이 약 85%를 차지하고 있다. 프랑스의 경우 우리나라와 마찬가지로

1950년대 교통량 증가, 지하철 노선확대 등으로 인하여 트램이 폐기되었으나, 1980년대 이후 교통문제를 해결하기 위하여 트램을 재도입, 현재는 약 16개의 도시에서 운영 중에 있다. 특히 스트라스부르에서는 트램의 재도입을 통하여 도로 중심에 트랜짓몰(Transit Mall)을 형성하여 지역의 상권형성 및 환경문제를 동시에 해결하였으며 도시인구 50% 이상의 수송을 담당하고 있다. 따라서 국내에서는 중전철이나 고가 경전철이 안고 있는 문제점을 해결할 수 있는 새로운 교통수단으로 트램의 도입이 매우 필요한 실정이다(이수형 등, 2012).

국외에서는 활발한 트램 운행과 더불어 각국의 도심 운항에 적합한 차량, 노면선로, 신호시스템 등에 대한 기술개발이 함께 이루어져 왔다. 그러나 국내에서는 최근까지 이와 관련된 기술 개발이 전무하였던 상태였으며, 2009년 12월부터 국토해양부의 국가연구개발사업의 일환으로 새로운 친환경 트램 차량과 트램 전용 선로 개발이 이루어지고 있다. 본 고에서는 한국철도기술연구원에서 개발된 무가선트램 시제차량의 성능 검증을 위해 2012년 9월 충북 오송에 완공된 무가선트램 시험선을 소개하고자 한다.

2. 무가선티램 및 인프라 개발 현황

2.1 무가선티램 개발 현황

기존의 트램은 팬티그래프가 차량 위에 설치된 전차선을 통해 전력이 공급하는 방식이 적용되어 왔다. 주로 도심을 운행하는 트램의 특성상 이러한 시스템은 누설전류나 전차선 접촉으로 인한 보행자의 안전문제를 유발할 뿐만 아니라 도시 미관도 크게 저해하게 된다. 또한 약 5km 간격으로 노선 중간에 건설해야 되는 변전소는 협소한 도시공간에 많은 문제점을 야기시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전차선 없이 주행 가능한 무가선티램에 대한 다양한 기술개발이 이루어져 왔다. 프랑스 Alstom은 배터리시스템과 제3궤도 방식의 급전시스템을 트램(차량명 Citadis)에 적용하여 무가선티행이 가능한 트램을 개발하였다. 현재 프랑스 니스에서는 Ni-MH 배터리가 장착된 Citadis 차량이 상용 운행 중에 있으나, 무가선티 운행구간은 대표적인 관광지역인 Massena/Garibaldi 광장에서 500m



그림 1. 국내 개발 무가선티램 주행시험

표 1. 국내 무가선티램 개발차량 제원

차량구성	5모듈 1편성
크기	31.8m(L)×2.45m(W)×3.4m(H)
중량	45 ton
최고속도	70 km/h
최대정원	200명/편성
시스템전원	직류 750V

2구간으로 한정되어 있다. 이러한 무가선티램 운영을 통하여 니스는 역사적인 관광도시의 풍광을 보존하게 되었으며, 현재 공항과 시내 중심을 연결하는 신규 노선도 계획 중에 있다. 보르도의 경우 Citadis 차량에 APS (Alimentation Par Sol, Surface current collection)라고 불리는 차량하부 접촉 급전시스템을 적용하여, 일부구간에서 무가선티행을 가능토록 하였다. Bombardier는 비접촉 급전시스템을 트램에 적용한 Primove라는 시제차량을 제작하였으며, 차상에 슈퍼캐패시터를 장착하여 시험 중에 있다. 일본의 철도연구기관인 RTRI(Railway Technical Research Institute)의 경우는 리튬이온 배터리를 장착한 1량 1편성의 시험차량인 Hi-Tram을 개발하였다. 국내에서는 현재 한국철도기술연구원을 중심으로 2009년 12월부터 국토해양부의 국가연구개발사업으로 무가선티저상트램(W-Tram)을 개발 중에 있으며 현재 시제차량이 완성되어 시험선에서 성능 시험 중에 있다(그림 1). 개발된 차량의 주요 제원은 표 1과 같다.

개발된 차량은 차상에 대용량 배터리를 탑재하여 1회 충전 시 만차 조건에서 약 25km의 주행이 가능하며, 무가선티 및 유가선티 하이브리드 방식으로 운행이 가능하다. 표준궤간을 적용하여 기존 일반철도 구간에서도 운행이 가능하며, 도심운행을 위하여 최소 곡선반경 25m, 최대 구배 6%의 조건에서 주행이 가능토록 설계 제작되었다.

2.2 트램용 매립궤도의 개발

2.2.1 트램 선로의 분류

트램(노면전차)은 전용선이나 도시 외곽에서는 자갈도상에 묻힌 침목위에 체결된 레일로 구성되는 일반철도에서 운행될 수도 있으나, 도심에서 운영되는 경우는 일반철도의 건널목과 같이 포장 내에 레일이 매립되어 있는 형태로 궤도가 시공되어 도로 교통과 동일한 공간을 공유하게 된다. 이 경우에는 트램의 차륜 플랜지가 도로 면에서 충분한 공간을 확보하도록 홈이 있는 레일(Grooved rail)을 사용하는 것이 일반적이나, 일반 레일도 적용이 가능하다. Esveld(2001)는 트램 궤도를 다음의 세 가지 유형으로 분류하였다.

(1) 트램 전용 궤도

: 다른 도로 교통은 이용할 수 없는 트램만의 독립적인 선로로 일반 자갈도상궤도 및 콘크리트궤도가 적용될 수 있으며, 도시 구간에서는 미관을 위하여 매립형궤도도 적용될 수 있다.

(2) 개방 트램 궤도

: 이 유형의 선로는 포장된 매립형궤도로 건설되며, 버스(공공 교통), 공공 서비스 및 때때로 택시와 같은 특정한 유형의 도로 교통만 통행할 수 있다.

(3) 보통 트램 궤도

: 트램과 도로 교통이 같은 공간을 사용할 수 있는 형태로 포장된 매립형궤도가 적용된다.

트램용 궤도는 설치되는 도시의 특성 및 환경에 따라 많은 제작업체에서 다양한 형태로 개발되어 왔다. 보행자의 통행이 많은 도심에는 석재 또는 보도블럭을 적용한 궤도가 많이 적용되고 있고, 도로 교통과 병행하는 구간은 아스팔트 및 콘크리트를 적용한 궤도가 많이 적용되고 있으며, 트램 전용궤도나 시 외곽에서는 잔디나 자갈도상 궤도가 많이 적용되고 있다(이수형 등, 2011).

2.2.1 수지고정형 매립형궤도의 개발

국내의 경우는 돌출레일형 자갈도상 및 콘크리트 궤도는 큰 어려움 없이 시공이 가능하다. 그러나 트램의 도심지 운행을 위해서는 레일이 도로에 매립되어 자동차 통행이 가능한 매립형궤도의 적용이 필요하다. 매립형궤도는 보행자나 도로교통과 병행하는 도심에 주로 설치되기 때문에 보행자 및 다른 교통수단의 안전을 위하여 누설전류(Stray current)를 방지하기 위한 절연처리가 필요하며, 건물에 매우 근접하여 설치되기 때문에 소음 및 진동에 대한 대책도 일반철도에 비하여 철저히 강구되어야 한다. 유럽에 설치되었던 전통적인 매립형궤도는 레일이 침목에 체결되는 다점지지 방식의 궤도이다. 이 경우 침목간격은 75cm에서 150cm까지 적용되고 있다. 레일 하부는 침목을 고정하고 있는 궤도콘크리트(Track concrete), 노반과 접하는 기초 콘크리트(Foundation concrete)로 이루어져 있다. 궤도 콘크리트 상부는 목적에 따라 다양한 재료(콘크리트, 아스팔트, 석재, 잔디, 나무판 등)를 이용하여 레일 상부 높이까지



그림 2. 수지고정형 매립형궤도(CDM nv)

포장된다. 누설전류에 대한 절연은 레일 매립부를 채우는 재료와 체결장치를 통해 이루어진다. 전통적인 매립형궤도는 도심지에 설치 시 소음과 일반차량 통과에 따른 잦은 유지보수 등의 문제점을 일으킨다. 따라서 최근에는 레일을 궤도콘크리트에 수지형태의 합성화합물(Corklast, Masterflow, CDM, Polycork 등)을 이용하여 직접 고정하는 방식(그림 2)이 많이 적용되고 있다. 이 방식은 침목을 사용하지 않기 때문에 레일은 궤도콘크리트에 의하여 연속적으로 지지된다.

수지고정형 매립형궤도는 레일체결을 위한 고가의 재료로 인해 시공비용이 상대적으로 높으나, 일반적인 다점지지 궤도에 비하여 저소음, 저진동의 성능과 일반차량 운행에 의한 궤도 열화가 적어 유지보수가 거의 필요 없다는 장점을 갖고 있으므로, 특히 도심구간에서 건물이 근접한 경우, 교차로에서 궤도 직각방향 도로교통 통행이 빈번한 경우에 많이 적용되고 있다. 국내에서는 한국철도기술연구원 주관으로 (주)ERS와 포스코건설이 현장타설 방식 콘크리트슬래브에 국내에서 개발된 Polycork라는 합성수지로 레일을 고정하는 형태의 매립형궤도가 개발되었다. 개발된 궤도는 무가선트램용 시험선의 연장 1.0km 선로에 시공되었다(한국철도기술연구원, 2012).

3. 무가선트램 시험선의 건설

3.1 시험선 개요

무가선트램 시험선은 충북 청원군 오송읍의 한국철도시설공단 시설장비사무소 기지 내에 건설되었다(그림 3).

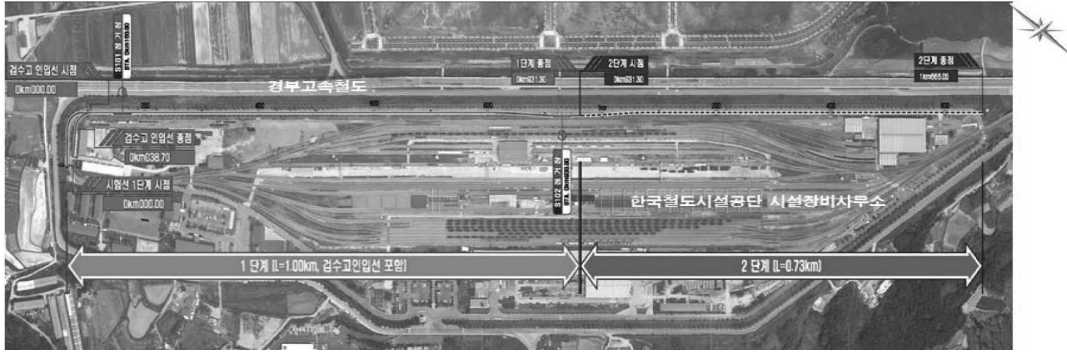


그림 3. 무가선트램 시험선 현황

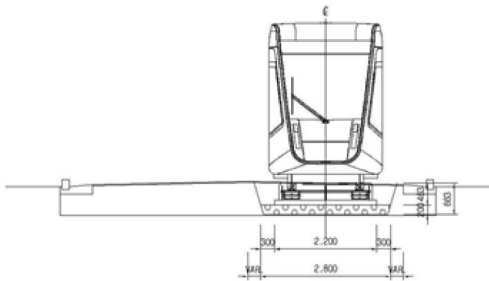


그림 4. 매립형궤도 선로의 표준횡단도



그림 5. 매립형궤도 하부 노반의 조성

2010년부터 후보지선정 및 기본계획을 거쳐 2011년 10월에 입지를 선정하여 설계를 착수하였으며, 2012년 4월에 착공하여 2012년 9월에 완공되었다. 주요 시설물로는 1.0km의 매립형궤도선로, 검수고 1동, 변전소 1동 및 충전시설, 간이 승강장 2개소가 있다. 2013년 4월에 완료되는 차량개발 위주의 1단계 사업에서는 무가선 방식의 주행성능 평가만을 수행하도록 계획되어 있으므로, 현재까지 가선 시설은 설치되지 않았다. 2013년 중반기에 착수예정인 2단계 실용화 사업에서는 730m 정도의 선로를 확장할 예정에 있으며, 800m 정도의 유가선 구간을 설치하여 유무가선 하이브리드 주행 성능을 검증할 수 있는 시설을 구축할 예정이다.

3.2 배선계획

트램용 선로는 기지내 2차선 순환도로 중 내측 1차선을 점유하도록 계획되었으며, 전체 길이는 1.0km이다. 주행시험이 수행되는 본선은 총 961.3m로 원화곡선이 고려된 곡선반경 25m(개발된 무가선트램의 최소 곡선반경)의 곡선부 1

개소를 포함하고 있다. 종단선형은 본선 전체 구간이 완전 평면이며, 검수고 인입선은 2%의 경사로 계획되었다. 검수고 인입선 38.7m는 곡선반경 25m의 완전 원곡선 구간으로 매립형분기기를 통해 본선으로부터 분기된다(그림 3).

3.3 노반조성

그림 4는 본선 선로의 표준횡단도이다. 궤도 슬래브는 하부노반은 반복평판재하시험 재재하연직강성(E_v2)을 50MPa로 가정하여 설계하였다. 실제 시공에서는 그림 5와 같이 기존 도로를 60cm 깊이로 굴착하고, 일반적인 진동 다짐 방법으로 되메운 후 최상부층에 20cm 두께의 강화노반을 포설하여 다짐하였으며, 현장시험결과 강화노반 상부에서 E_v2 는 100MPa 정도로 측정되었다.

3.4 매립형궤도 건설

시험선 선로로 적용된 궤도는 그림 6에 나타난 구조의 수지고정형 매립형궤도로 앞에서 언급한 국가 연구개발사

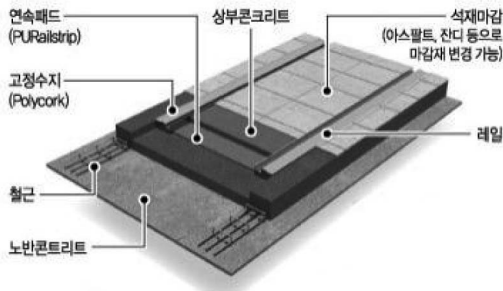


그림 6. 국내개발 수지고정 매립형궤도 구조

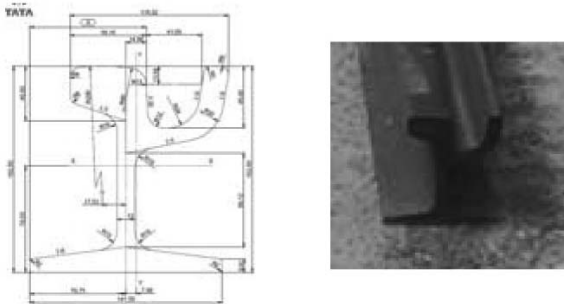


그림 7. Grooved rail(41GPU) 단면

업으로 개발된 것이다.

상부 궤도콘크리트는 슬립폼페이퍼(Slip form paver)를 이용하여 현장타설방식으로 시공되었다. 레일은 국내 기술로 개발된 polycork라는 코르크를 함유한 합성수지로 레일이 고정된다. 레일로는 전세계적으로 트램선로에 가장 많이 적용되는 Grooved rail(41GPU, Tata Steel 제조)을 적용하였다(그림 7).

선로 구성으로는 자동차의 통행이 예상되는 821.8m의 구간은 아스팔트로 마감하였으며, 도로 주변 녹지구간에 설치된 종점부 승강장 부근에는 석재마감 선로 76.4m와 잔디마감 선로 51.2m를 설치하여 다양한 궤도 형식을 시험 적용하였다(그림 8).

본선 직선구간으로부터 곡선반경 25m의 완화곡선이 있는 곡선부와 완전 원곡선의 인입선으로 분기하기 위한 분기기로는 매립형제품인 룩셈부르크 KIHN사의 CR2 6011 41GPU Turnout과 독일 HANNING-KAHL사의 HMU42-D 수동형 선로전환장치를 수입 설치하였다(그림 9).



(a) 아스팔트 마감



(b) 석재 및 잔디 마감

그림 8. 마감재료에 따른 매립형궤도 적용



그림 9. 매립형분기기의 설치

3.5 선로 배수시설

그림 10은 시험선 매립형궤도 선로에 설치된 배수시설이다. 기본적으로 도로의 횡방향 배수시설을 공용하고 있으며, 시험선에서는 기존 도로 배수구 위치에 선로길이 56m 마다 설치되었다. 배수구 설치 구간에는 10cm 폭으로 궤도콘크리트와 레일고정수지가 설치되어 있지 않으며,

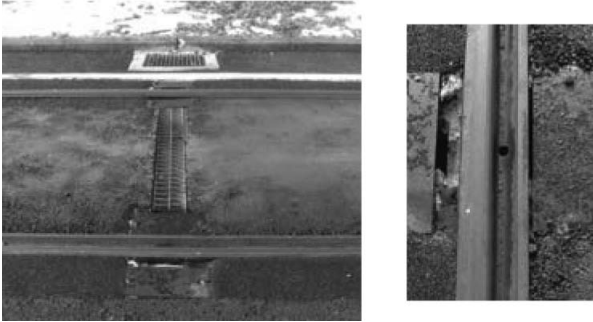


그림 10. 매립형태도 선로의 배수

스틸그레이팅을 덮고 레일홈에 구멍을 뚫어 궤도 표면 및 레일에 누적되는 물을 배수할 수 있도록 하였다(그림 10).

3.6 승강장

시험선에는 그림 11과 같은 2개소의 승강장이 설치되었으며, 레일 상면으로부터 35cm 높은 보도 형태로 설계되었다. 1개소는 도로에 인접하여 설치되었으며 차량과의 간극 조절을 위해 고무발판을 부착하였다(그림 11a). 다른 개소는 도로에서 화단 쪽으로 인입된 전용선(잔디궤도)에 설치하였으며, 차량과의 간극 조절을 위해 목재를 사용



(a) 도로 인접 승강장



(b) 전용선 인접 승강장

그림 11. 저상트램용 승강장



그림 12. 검수고 및 검수시설

하였다(그림 11b). 이와 같이 저상트램용 승강장은 기존 철도시스템과 달리 단순한 구조로 버스 정류장 수준의 공사비로 시공할 수 있다는 장점이 있다.

3.7 검수시설

개발 차량의 검수를 위한 검수고는 면적 367.47m², 지상 1층의 철골조 건축물로 건설되었다(그림 12). 주요 검수장비로는 차체를 700mm 이상 인양하여 대차와 분리가 가능한 최대중량 64톤(8포인트, 1포인트당 8톤)의 리프팅잭이 설치되었다.

3.8 전력공급 및 충전시설

전력 공급을 위한 변전소는 면적 86.89m², 지상 1층의 철근콘크리트조 건축물로 건설되었다(그림 13). 변전소는 한전으로부터 3φ AC 22.9KV의 전압을 수전한다. 정류용 변압기에 의해 변환된 직류 750V는 검수고 차량 출입구에 설치된 충전용 전차선에 공급된다.

충전용 변전설비와 강체가선(그림 14)은 162 kWh 용량의 차량 배터리에 4C의 전류(720A)로 충전할 수 있도록



그림 13. 변전소 및 변전설비



그림 14. 충전용 강체가선

설계되었다. 또한 AC 22.9KV 전압을 AC 380V와 AC 220V 전압으로 강압하여 검수고내 전기설비(리프팅잭, 크레인, 냉난방시설, 조명 등), 변전소/사무실 전기설비(조명, 냉난방시설 등)의 전원으로 이용한다.

4. 맺음말

사회약자를 위한 친환경 교통수단이 점차 증대하고 있는 전세계적인 경향에 따라 국내에서도 향후 트램이 대중 교통수단으로서 차지하는 비율이 증가할 것으로 기대된다. 시험선 건설에서도 알 수 있듯이 트램은 특화된 역사와 구조물이 필요 없으며, 다른 경전철 대비 작은 건설비와 짧은 공사기간이 소요되는 등의 많은 장점을 갖고 있다. 특히 우리나라의 세계최고 수준의 이차전지 기술을 적용하여

개발된 무가선트램은 도입 지자체의 이미지 제고 및 승객 편의성 확보를 가져올 수 있을 것이다. 향후 2단계 실용화 사업을 통해 확장되어 건설될 무가선트램 시험선은 향후 개발될 신형식 트램의 시험의 장으로써 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 기사는 국토해양부 미래도시철도기술개발사업 “무가선 저상트램 시스템 기술연구(12PUR1-B053833-04)” 과제의 연구비지원에 의한 연구결과로 작성되었습니다. ☺

♣ 참고 문헌

1. C. Esveld(2001), Modern railway track 2nd Ed., MRT Production
2. CDM nv(2011), "Heavily Rail Tram High Speed Metro Track", Brochure
3. 이수형, 강윤석, 정우태, 곽재호(2011), "트램용 선로 건설기술의 최신 동향", 한국철도학회 춘계학술발표회 노면전차 특별세션 논문집
4. 이수형, 곽재호, 황현철, 한순우, 오용국 (2012), "친환경 노면전차 시스템인 무가선트램과 매립형궤도의 개발 현황", 대한토목학회지, 제60권, 제6호, pp.57-61
5. 한국철도기술연구원(2012), "무가선 저상트램 시스템 기술개발 3차년도 중간보고서", 국토해양부