

철도종합시험선에서 터널 및 노반분야 시험의 필요성에 대한 소고



전영우
에스코컨설턴트
차장



정상준
에스코컨설턴트
이사



원재훈
에스코컨설턴트
과장



박치면
에스코컨설턴트
전무

1. 개요

현재 세계 철도산업은 독일, 프랑스, 일본 등 소수 철도선진국들이 세계시장을 점유하고 있으며, 세계시장 진출을 도모하기에는 우리의 기술력이 철도 선진국들에 비하여 다소 미흡하다는 평가를 받고 있다. 철도 선진국과의 신기술 경쟁에서 살아남기 위해 부단한 노력과 기술개발에 총력을 기울이고 있으나 국내 철도기술은 기술개발에 최우선적으로 필요한 기반시설과 대형 실내시험시설이 부족한 상황이며, 특히 현장시험을 할 수 있는 전용 시험선로가 없어 차량 및 용품의 현장시험 실적을 쌓는데 제한이 있어 경쟁력 확보측면에서 매우 열악한 실정이라 하겠다.

국내 철도시험시설 확보는 선진 해외 경쟁업체들과 어깨를 나란히 하고, 세계 철도시장에 뛰어들어 국가 수익성 증대와 고속화 철도망 구축에 필요한 철도산업의 발전과 철도차량 및 철도용품의 수출 확대 등으로 이어져 국

가의 신 성장 동력 산업으로 발전할 수 있는 기회가 될 것이라 생각된다.

따라서 국내 철도차량 및 철도용품의 기술력 향상을 통한 세계 경쟁력 확보를 위하여 철도용품/시스템의 요구 성능평가와 성능검증체계의 보완을 통한 철도기술력 개발 및 발전, 다양한 철도차량 및 용품을 현장에서 직접 시험, 검증할 수 있는 철도종합시험선로 구축사업의 추진은 매우 고무적이라 할 수 있다.

그러나 현재 제반법규나 시험항목 선정을 위한 연구결과들을 통해 미루어 볼 때 철도시험선의 활용도가 철도용품이나 시스템의 성능시험 위주로 구성되어 있어 노반 시설이나 구조물에 대해서는 요구되는 성능이나 시험을 반영하고 있지 못하며 해외시험선에서도 조차 그러하다.

우리나라는 국토의 70% 이상이 산지로서 대부분 평지에 위치하는 해외시험선의 지형조건과는 상이하며 이러한 지형특성상 노반구조물, 터널 등의 지중구조물의 발생이 필연적이기 때문에 현재 설계를 완료하고 지난 해 부

터 공사를 추진 중에 있는 우리나라 철도종합시험선로에서 이런 특성을 반영한 시험을 반영한다면 노반시설 및 철도터널 분야의 기술발전과 선진화가 가능할 것이라 된다.

2. 시험항목 선정에 위한 해외사례 검토

2.1 해외 철도시험선

① 독일 Siemens 시험선

350,000m² 부지에 시험선 5개 선로와 철도차량기지, 실험실, 연구실, 세미나실, 회의실을 갖춘 11,000m² 부지의 건물로 구성된 이 시험센터는 각종 철도장비와 차량 및 관련 시스템들을 시험하며, 연방철도국으로부터 시험

및 인정기관으로 정식 허가를 받고 있다.

Siemens 시험선은 총 5개(T1~T5)의 선로와 다양한 형태의 진입선을 포함하여 총연장 약 13km로 구성되어 있다.

아래 표 1은 독일 Siemens 시험선 현황, 시험항목 및 내용에 대하여 나타낸 것이다.

② 체코 Velim 시험선

Velim 시험선은 LTC(Long Test Circuit)와 STC(Short Test Circuit)로 구성되어 있으며 차량주행시험, 제동시험, 밀폐시험, 전기장치 내구성시험, 레일 및 궤도시험, 노반 소음·진동시험 등이 가능하도록 계획되어 있다.

아래 표 2는 체코 Velim 시험선 현황, 시험항목 및 내용에 대하여 나타낸 것이다.

표 1. 독일 Siemens 시험선 현황 및 시험항목

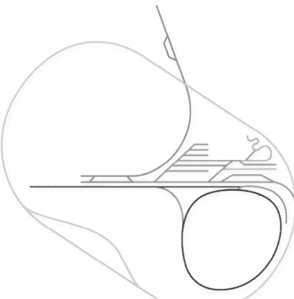

구분	시험 내용														
차량시험	주행/제동시험, 진동시험, 밀폐시험, 열적시험, 미끄럼방지시험, 열차상태시험 등	 <table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>Test oval T1</td> <td>Length 6082 m V_{max} 160 kph</td> </tr> <tr> <td>Test oval T2</td> <td>Length 2485 m V_{max} 100 kph</td> </tr> <tr> <td>Test track T3</td> <td>Length 1400 m V_{max} 80 kph</td> </tr> <tr> <td>Test track T4</td> <td>Length 553 m Radii 50/25/15 m</td> </tr> <tr> <td>Test track T5</td> <td>Length 410 m Gradients 40/70 ‰</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Connecting track leading to the railway network of DB AG</td> </tr> </table>	Test oval T1	Length 6082 m V _{max} 160 kph	Test oval T2	Length 2485 m V _{max} 100 kph	Test track T3	Length 1400 m V _{max} 80 kph	Test track T4	Length 553 m Radii 50/25/15 m	Test track T5	Length 410 m Gradients 40/70 ‰			Connecting track leading to the railway network of DB AG
Test oval T1	Length 6082 m V _{max} 160 kph														
Test oval T2	Length 2485 m V _{max} 100 kph														
Test track T3	Length 1400 m V _{max} 80 kph														
Test track T4	Length 553 m Radii 50/25/15 m														
Test track T5	Length 410 m Gradients 40/70 ‰														
		Connecting track leading to the railway network of DB AG													
시스템시험	시스템 전환시험, 차단시험, 진단/안전시험 집전/신호시험, 내부전력망 시험 등														
노반시험	소음/진동 시험 (전체 평지임; 터널구간 없음)														

표 2. 체코 Velim 시험선 현황 및 시험항목

구분	시험 내용	
차량시험	주행저항시험, 운행특성시험, 제동시험, 특수차량시험, 견인전동기시험 및 소음시험 등	
시스템시험	안전운행시험, 집전장치-가선관계시험, 전기장치 내구도시험, AC/DC전동차 Energetic Measurement	
노반시험	도상자갈 및 침묵에 대한 품질시험 (전체 평지임; 터널구간 없음)	

③ 미국 TTCI(Transportation Technology Center, Inc.)

미국 콜로라도주 푸에블로 인근 사막에 위치한 TTCI는 총연장 77km, 전체 5개의 선로(TTT, RTT, PTT, HTL, WRM, FAST)로 구성되어 있으며 선로 조건별로 다양한 시험이 가능하도록 계획되었다.

④ 중국 철도과학연구부(CARS) 시험선

중국 베이징 CARS 시험센터에 있는 원형트랙 시험선은 아시아에서 유일한 철도시험선으로서 해당 부지가 890만²m에 이르며, 1956년 철도부 장관 승인을 받아 착공되었고 1958년 1월 첫 번째 시험운행을 시작하였다. 시험선은 외부 루프트랙, 내부 루프트랙, 차고트랙, 삼각형트

랙, 연결트랙, 도입부트랙, 조차장트랙, 입체교차트랙 등으로 구성되어 있으며 총연장 약 36km 길이로 이루어져 있다.

표 4는 중국 CARS시험선 현황, 시험항목 및 내용에 대하여 나타낸 것이다.

2.2 기타 노반관련 시험사례

스위스 Amberg사의 HAGERBACH Test Gallery는 터널시험을 위해 구축한 지하공간으로 굴착, 발파, 지보재, 화재시험 등 다양한 실물시험이 가능하며 교육, 세미나 및 이벤트용으로도 활용되고 있다. 1970년대부터 현재까지 사용 중이며 단계별로 확장하여 현재는 연장이 약 5km에 달하고 있다

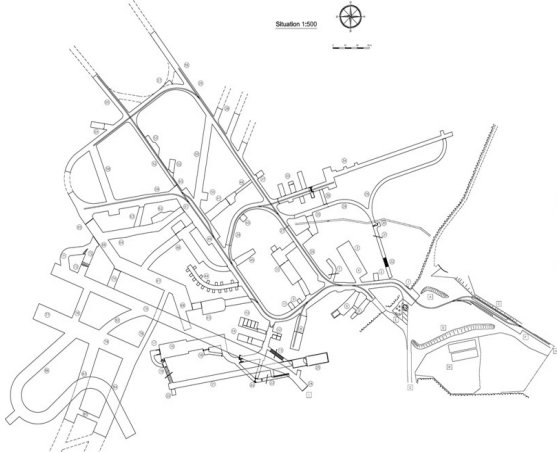




표 3. 미국 TTCI 시험선 현황 및 시험항목

구분	시험 내용	
차량시험	Spin/Slide시험, 추진/제동 시험, 힐마모시험, 차량 동적 특성시험, 안전시험, 충돌시험 등	<p>High Tonnage Loop (HTL) • 2.7-mile loop, three 5° curves, one 10° curve • Main use – HAL studies • Test bed for various premium track components • 25 MCT/month in controlled environment</p> <p>Wheel/Rail Mechanism Track (WRM) • 7.5°, 10°, and 12° curving performance tests • Dynamic curving tests • Lubrication studies</p> <p>Transit Test Track (TTT) • 9.1-mile loop • 80 mph max speed • DC electrified third rail • Up to 1150 volts • Up to 12,000 amps</p> <p>Railroad Test Track (RTT) • 13.5-mile loop • 1°-15° curve and four 50° curves • Maximum speed 165 mph • 12.5-, 25-, and 50-kV overhead catenary</p> <p>Precision Test Track (PTT) Multi-use track for railcar testing • Pitch and bounce • Twist and roll • Yaw and sway • Car impact • Miscellaneous studies</p>
시스템시험	신호/통신에 대한 유도장애 시험 주행안전성 시험 등	
노반시험	노반신뢰도시험, 내구성 시험 (전체 평지임; 터널구간 없음)	

표 4. 중국 CARS 시험선 현황 및 시험항목

구분	시험 내용	
차량시험	주행저항시험, 운행특성시험, 제동시험, 특수차량시험, 건인전동기시험 및 소음시험 등	
시스템시험	안전운행시험, 집전장치-가선관계시험, 전기장치 내구도시험, AC/DC전동차 Energetic Measurement	
노반시험	도상자갈 및 침묵에 대한 품질시험 (전체 평지임; 터널구간 없음)	

표 5. 스위스 HAGERBACH Test Gallery 현황 및 시험항목

	지보재·장비시험	화재시험
		
	방재시설 시험	기술교육세미나
		

3. 노반분야 시험인프라 및 시험항목 선정

3.1 관련기준 검토

철도 핵심용품에 대해서는 현장부설시험이 법적으로 의무화될 예정이며 시험대상 분야는 차량, 궤도, 노반, 구조물(교량 및 터널), 전차선, 전력, 신호통신 제어, 소음, 공력 등으로 구분된다.

시험은 크게 인증시험과 성능검증시험으로 구분되는데 인증시험은 철도안전법 및 도시철도법을 기반으로 법적으로 의무화된 시험이며, 성능검증시험은 건설, 운영기관, 제작업체, 연구기관 등의 의뢰자가 R&D 연구, 신제품 개발 등의 목적으로 특정 시험대상에 대한 성능검증을 목적으로 하는 시험이다.

『철도용품 품질인증 관련 법규』상 노반 및 터널관련 시험은 해당사항이 없으며 또한 현재 연구중인 『철도용품 실내/현장시험기준 정립 및 용품 성능인증 체계 개선연구』에서도 이와 관련된 시험내용은 제외되어 있는 상태이다. 그러나 철도의 고속화로 인하여 노반 및 터널 등의 구조물에 대한 재료, 공법 등의 성능검증필요성이 점차 증대

되는 상황이므로 향후 인증시험도 검토 되어야 할 것으로 판단된다.

노반 및 터널분야에 대한 시험항목으로는 철도의 반복 운전, 고속화에 따른 동적응답, 내구성, 공기압/미기압 및 노반재료에 대한 시험항목 도입을 고려해 볼 필요가 있다고 판단된다.

3.2 연구기관 과제 및 자문을 통한 검토

국내 연구기관에서는 철도관련 기술뿐만 아니라 굴착, 지보, 방재 등 터널과 관련된 다양한 기술분야에 대한 연구와 현장시험을 진행중이거나 계획하고 있다. 하지만 신기술 개발과 연구성과물에 대한 현장시험 및 실물시험을 위한 부지와 시험시설 등의 인프라가 부족한 것이 국내 실정이다. 이러한 국내 여건을 고려할 때 철도시험선로 설치 및 운영계획이 각 기관의 연구과제와 연계된다면 철도 노반 및 터널 기술발전에 큰 도움이 될 것으로 생각된다. 또한, 연구기관의 자문결과 및 요구사항을 고려해 철도시험선로에 적용 가능할 것으로 판단되는 다양한 성능검증시험의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 해외시험선 벤치마킹을 통한 검토

독일, 체코, 미국, 중국 등 해외 시험선의 시험항목 및 시험 인프라를 참고하고 해당 시험선 전문가들의 의견을 반영하여 적용 가능한 시험항목을 선정한 후 시험항목에 대한 세부적인 계획 수립이 필요하다고 판단된다.

중국 CARS 시험선의 경우 열차 진입 속도별 터널내 공기압 시험 사례가 있으며 미국 TTCI 시험선의 경우 시험선 전구간에 진입이 가능하도록 시험선과 병행하여 측도를 설치하였고 독일 SIEMENS 시험선의 소음측정 시험 사례는 우리 시험선에도 적용 검토할 필요가 있다고 판단된다.

또한 다양한 궤도구조 적용, 터널내 공기압/소음시험, 시험 편의를 위한 시설물 등 해외 시험선의 분야별 전문가의 의견과 벤치마킹 항목도 고려할 필요가 있다고 판단된다.

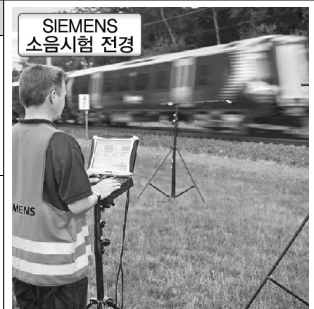
해외시험선 분야별 전문가 의견은 및 운영전문가의 의견은 표 6에 나타나 있으며, 해외시험선 검토를 통해 우리나라에 적용 가능할 것으로 판단되는 시험항목을 표 7에 나타내었다.

표 6. 해외시험선 운영 전문가 의견

구분		전문가 의견
미국 TTCI	터널구간 시험항목 및 설계 개선사항	• 터널내 공기압, 소음 시험 필요
	유지관리 개선사항	• 터널내 원활한 시험여건 조성을 위한 배수확인공 필요 • 유지관리, 시험편의를 위한 터널내 추가시설 설치

표 7. 해외시험선 벤치마킹 항목

구분		자원 및 특이사항	벤치마킹 가능항목
중국 CARS	공기압 시험	• 열차속도별 터널내 공기압 시험 (공기압 시험에 필요한 인프라 없음)	• 공기압시험과 미기압 시험 연계 및 인프라구축
독일 SIEMENS	소음시험	• 160km/h까지 소음시험 수행 가능 • 레일면 상단 1m에서 소음측정	• 미기압시험 및 인프라 구축 • 터널내 소음저감시설 시험



4. 시험선 시험인프라 및 시험항목 적용 방안

철도용품에 관한 관련법규, 국내 연구기관 연구과제 분석 및 자문, 해외시험선 벤치마킹 등을 통해 노반 및 터널 분야에서 국내 철도시험선에 적용하면 좋을 시험항목 및 시험인프라는 무엇이 있는지 조금 더 세부적인 시험 적용 계획에 대해 언급하고자 한다.

4.1 공력시험

공기압과 미기압은 국내 관련기준이 미흡하고 관련시험도 전적으로 실내 모형시험에 의해 수행되므로 철도시험선에 공기압과 미기압 같은 공력시험을 수행할 수 있도록 계획한다면 관련기준 정립 및 관련연구 수행시 큰 도움이 될 것으로 판단된다. 공력시험을 수행하기 위한 시험인프라를 다음과 같이 제안하였다. 열차진입부에 다양한 미기압 저감시설을 편리하게 시공할 수 있도록 부지를 확보하여 크레인 등의 장비운영이 가능한 부지를 계획하면 시설물 설치를 원활히 할 수 있어 유리할 것이라 생각

표 8. 공력시험(공기압 및 미기압)을 위한 시험 개요

	구분	내용
	시험 필요성	<ul style="list-style-type: none"> • 미기압영향 특성 및 미기압 저감시설 시험을 위한 시험 인프라의 필요성 • 공기압 특성 및 저감방안에 대한 종합적 연구 가능
	활용	<ul style="list-style-type: none"> • 미기압 및 이명감에 대한 국내 환경에 최적화된 설계기준 정립에 활용 • 미기압 및 공기압 저감을 위한 설계가이드 제시

된다. 또한 중점부에는 미기압 측정 부지를 조성하고 시험편의를 위해 전기/통신/조명시설 등을 계획하면 좋을 것으로 생각된다. 실제 현장계측 및 측량 시 가장 어려움을 겪는 부분이 계측에 필요한 부대시설의 부재라는 점을 고려할 때 시험편의성을 위해 설치 고려되면 좋을 시험 인프라로 생각된다.

표 8은 공력시험을 위한 시험인프라 계획을 보여주고 있다.

4.2 콘크리트라이닝 동적거동 시험

열차의 고속화에 따라 주요 노반구조물인 터널의 콘크리트라이닝에 대한 열차의 반복하중/진동하중 시험이 필요하다 판단된다. 또한 시험선과 인접하여 기존 터널이

있는 경우 상호 진동 영향이 예상되는바 열차의 고속화, 건설부지 여건 등을 고려할 때 시공중/운영중 발파 및 열차진동에 따른 콘크리트라이닝의 동적거동 시험을 고려해 볼 수 있다.

이러한 시험을 통해 콘크리트 라이닝의 진동거동 특성을 분석하여 설계기초자료 및 설계기준 정립을 위한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

진동 계측의 경우 철도터널 특성상 고압전선 및 전차선 등의 영향으로 계측에 신뢰성이 저하될 우려가 있는 점을 고려해 상대적으로 영향이 적은 광섬유 가속계 등 외부 영향이 적은 계측기 적용을 검토하면 더 좋을 것이다.

표 9는 콘크리트라이닝 동적거동을 위한 시험 개요를 나타내고 있다.

표 9. 콘크리트라이닝 동적거동 시험 개요

	구분	내용
	시험 필요성	<ul style="list-style-type: none"> • 시험선 열차 및 인접선 열차 운행에 따른 콘크리트라이닝 동적거동 특성 검토 필요 • 시험선터널 굴착시 발파에 따른 인접선 콘크리트라이닝 진동영향 검토 필요
	활용	<ul style="list-style-type: none"> • 열차진동에 의한 콘크리트라이닝 영향 분석 및 설계기초 자료 제공 • 발파진동 영향 검증 및 설계기준 정립

4.3 터널 장기거동 특성 시험

터널 콘크리트라이닝, 슛크리트 및 록볼트 등 지보재의 장기거동에 대한 연구는 관련기술자들 뿐 아니라 국내 연구기관에서도 지대한 관심이 있는 부분이며 터널 설계시 주요 인지중 하나이다. 이와 관련된 시험을 통해 장기거동 특성을 파악하여 이완하중, 잔류수압 등에 대한 설계 기준 정립을 위한 기초자료로 활용하면 좋을 것이다.

지중구조물 특성상 반복시험이 어려운 문제가 있지만 시공 전 시험업체나 연구기관과 사전협의를 통해 시공에 서부터 운영 중까지 체계적인 계측이 가능하도록 하거나 시공중 체계적인 계측 및 자료관리, 완공후 시험주체 선정까지 지속적인 계측을 수행하여 시험주체 선정 후 계측 자료 이관을 통해 지속적인 시험이 가능하도록 계획한다면 의미있는 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4.4 연구기관 연계 신기술 성능검증 시험

법적으로 규정된 성능검증 대상만을 목적으로 보는 것은 다소 편협한 생각이라고 판단되며 특히 산악지형이 많은 우리나라 특성을 고려해본다면 철도계획에서 터널과 같은 노반구조물 발생은 필연적이라 생각된다. 따라서 이것은 단순히 별도 시험분야로 치부하기 보다는 법적 규정 용품시험뿐 아니라 다양한 노반시험도 가능하도록 고려하는 것이 철도산업의 발전에도 도움이 될 것이라 생각된다.

국내 건설연구기관에서는 다양한 신기술, 신공법, 신재료 등을 독자적, 또는 산학 협력을 통해 이뤄지고 있으나 성능검증을 위한 시험인프라는 매우 미흡하다. 이러한 신기술, 신공법 등에 대한 성능시험이 가능한 테스트갤러리를 계획해 보는 것도 기술발전을 위해 좋을 것으로 판단된다. 테스트갤러리는 시험선과는 별도의 공간에 계획하여 신기술, 신공법 적용에 따른 리스크를 배제하고 장래 확장이 가능하도록 계획하면 좋을 것이다.

테스트 갤러리는 스위스나 미국 등의 설치사례를 통해

벤치마킹 할 수 있을 것이며 굴착, 지보재, 발파, 화재, 소방시설 등 다양한 시험을 통한 철도 터널 및 노반구조 등의 기술발전에 크게 기여할 수 있을 것이라 판단된다.

또한 시험선 수익성 측면에서 테스트갤러리를 통한 시험부지 임대 및 사용료 등으로 추가수익 확보가 가능할 수도 있을 것이며 시험요청 주체와 사전 협의를 통한 단계별 확장으로 초기투자비의 최소화도 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

철도종합시험선은 법적으로 규정되어 있는 성능검증 용품을 위한 시험 위주로 계획되어야 할 것으로 판단된다. 산악지형이 많은 국내 여건상 터널과 같은 노반구조물에 대한 시험도 필요할 것이라 판단되어 법적규정, 해외사례 및 의견, 연구기관 과제 등을 통해 국내 시험선에 적용 가능한 시험항목들을 제시하여 보았다.

- (1) 열차 진입시 미기압 및 공기압 발생에 대한 시험을 고려하여 시점부에 미기압저감시설 설치부지를 계획하고 종점부에 미기압 측정을 위한 시험부지 및 전력/통신/조명 시설을 계획한다면 원활한 공력시험이 이루어질 수 있을 것이라 생각된다.
- (2) 철도시험선 건설여건을 고려하여 시험선 터널 시공중 발파진동에 따른 인접터널 콘크리트라이닝 동적거동 특성 시험을 수행하고, 시험선 운영 중 열차진동 및 반복하중에 따른 시험선터널 및 인접 터널의 콘크리트라이닝 동적거동 특성/반복하중 거동특성 시험 등을 수행할 수 있도록 계획한다면 콘크리트라이닝 등의 지중구조물에 대한 설계기준 정립을 위한 자료로 활용할 수 있을 것이라 생각된다.
- (3) 슛크리트, 록볼트 등 터널 지보재 및 지하수 장기거동 특성 분석은 관련분야 종사자 및 연구기관에서 관

심이 많은 분야로 이완하중, 잔류수압 등에 대한 설계기준 정립을 위한 기초자료로의 활용도가 매우 높을 것이라 생각된다.

지중구조물 특성상 반복시험이 불가능한 문제점이 있으나 시공 전 충분한 준비 및 협의를 통해 체계적인 시험계획을 수립한다면 추후 의미있는 결론을 도출할 수 있을 것이다.

(4) 개발 중이거나 혹은 개발된 다양한 신기술·신공법에

대한 성능검증시험이 가능한 테스트 갤러리를 시험선 본선과 별도로 추가 계획한다면 철도터널 및 철도노반의 기술선진화에 이바지 할 수 있고 또한 부지임대 및 사용료 수익이 발생하여 시험선 운영수익성 확보 측면에서도 유리할 것이라 판단된다.

철도시험선을 통해 철도분야 국가경쟁력이 강화되길 간절히 바라며 이상으로 소고를 마친다.