

궤도시설물 검증시험 점검항목 및 효율적 유지관리에 관한 고찰 A Study on Track Facility Verification Test Inspection Items and Efficient Maintenance

우성원[†], 홍철기*, 한종문*

Sung-Won Woo[†], Chul-Kee Hong*, Jong-Moon Han*

초 록 철도운영자가 철도노선을 신설 또는 개량하여 운영하려는 경우 철도안전법에 따라 종합시험운행(시설물검증시험, 영업시운전)을 실시하여 주무관청의 승인을 받아야 하며, 이중 시설물검증시험은 궤도시설관리자와 협의하여 계획을 수립하고 전문기관의 승인을 받은 후 시행하도록 되어있다. 최근 신안산선 및 GTX 등 수도권광역철도에 대한 민간투자사업이 활성화되면서 새롭게 철도운영자의 지위를 얻은 사업시행자를 위하여 현행지침을 분석하고, 개통 전 종합시험운행 대비 및 향후 효율적인 선로유지관리를 위한 중점관리개소에 대하여 신안산선 취약구간 예측사례를 중심으로 고찰하였다.

주요어 : 철도종합시험운행 시행지침, 시설물검증시험, 취약구간 궤도검증시험, 선로유지관리

1. 서 론

최근 수도권광역철도의 건설과 운영이 민관 협력투자방식으로 확대 시행되고 있으며, 최대속도 120~180km/h의 여객열차가 지하 대심도를 운행하는 계획으로 건설되는 만큼 광역급행철도에 요구되는 안전 확보는 고속철도 수준이어도 무방할 것이다. 철도안전법에서는 개통 전 종합시험운행을 실시하여 시설물과 차량의 안전을 검증하도록 하고 있으나, 현행 지침에서는 일반철도와 고속철도에 대해서만 세부시험항목이 제시되어 있고, 일부는 협의항목으로 되어있어 고속화 추세에 있는 광역철도에 대한 대응도 필요한 실정이다.

따라서 현재 수도권광역철도를 건설 중인 민간사업자가 개통 전 종합시험운행 대비 및 향후 효율적인 선로유지관리를 위한 중점관리개소에 대하여 신안산선 취약구간 예측사례를 중심으로 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 철도종합시험운행 시설물검증시험

2.1.1 궤도검증시험 점검항목 분석

현행 「철도종합시험운행 시행지침」(이하 시행지침)의 시설물검증시험 점검항목(제12 조제3항관련) 중 궤도검증시험 점검항목을 발췌하면 Table 1과 같다.

Table 1 궤도검증시험 점검항목.

세부시험 항목 및 내용	일반철도	고속철도	비고
○ 궤도선형검측 - 궤간, 수평, 고저, 방향 등	● (적용)	● (적용)	
○ 레일탐상 - 레일결합 검측	● (적용)	● (적용)	
○ 궤도육안점검 - 차량에 의한 증속시험 전	● (적용)	● (적용)	※
○ 취약구간 궤도검증시험 - 윤중·횡압 - 레일응력 - 레일변위(연직변위/횡변위) - 침목변위(연직변위)	△ (협의)	● (적용)	

※ RO_1(차량의 단계별 증속 주행시험) 연계 및 궤도검측 결과를 토대로 필요하다고 판단되는 취약구간에 적용

† 교신저자: (주)포스코건설 인프라사업본부
(swwoo@poscoenc.com)

* (주)도화엔지니어링 철도부

철도시설관리자는 Table 1의 궤도검증시험 점검항목을 참조하여 시험항목을 선정하며, 이중 궤도선형검측, 레일탐상 및 궤도육안점검은 궤도검측결과 등을 참고하여 판단하고, 취약구간 궤도검증시험(윤중·횡압, 응력, 변위 등)은 차량의 단계별 증속 및 최고속도 주행시험을 토대로 취약구간으로 판단되는 구간에 한하여 적용 후 판단하게 된다.

또한 취약구간 궤도검증시험은 일반철도에서는 협의항목으로 되어 있으며, 도시철도에서는 협의항목으로도 명시되어 있지 않음에 따라 광역(도시)철도의 경우 시행여부에 대하여는 관계기관과 사전협의를 되어야 할 사항으로 사료된다.

2.2 신안산선 취약구간 예측

2.2.1 한국교통안전공단 권고사항

교통시설안전진단은 교통안전법에 따라 시행되는 제도로서, 철도시설 이용자 측면에서 열차운행, 철도시설 이용 및 타 교통과의 연계 시 나타날 수 있는 위험요인을 실시설계 단계에서 제거하고, 이용자의 안전성 및 편의성을 확보하는데 그 목적이 있다.

신안산선 사업시행자는 설계당시 상기 제도의 이행을 위하여 한국교통안전공단에 안전진단을 의뢰하고 교통안전진단지침에 따라 도출된 권고사항에 대하여 적극적으로 설계에 반영하도록 하였다. 그중 궤도분야에게 권고된 “궤도검증시험 취약구간(개소) 선정 List 제시”가 있었으며, Table 2와 같이 예측하였다.

Table 2 궤도검증시험 취약구간(개소) 예측 항목.

궤도검증시험 취약구간(개소) 예측 결과	예상시험항목	
급곡선부	최소곡선반경	윤중·횡압, 레일횡변위
궤도접속부	자갈궤도~콘크리트궤도	레일응력, 레일연직·횡 변위
노반접속부	토공~교량	레일응력, 침목변위
	토공~터널	

2.2.2 급곡선부

급곡선부는 원심력 등 열차주행특성에 의하여 외측레일에 횡압과 횡변위가 최대로 발생되고, 내·외측레일 간 윤중의 불균형(윤중변동 및 감소)이 최대로 발생되며, 이로 인해 열차운행안전성 및 궤도시설물에 좋지 않은 영향을 주게 된다.

곡선부에는 열차운행의 안전성 및 승차감을 확보하고 궤도에 주는 압력을 균등하게하기 위하여 캔트를 설치한다. 그러나 열차주행 중 발생하는 차량의 동적거동, 운행속도 변화에 따른 캔트의 과·부족, 누적통과톤수에 따른 궤도의 피로 및 틀림 등의 현상은 불가피하다.

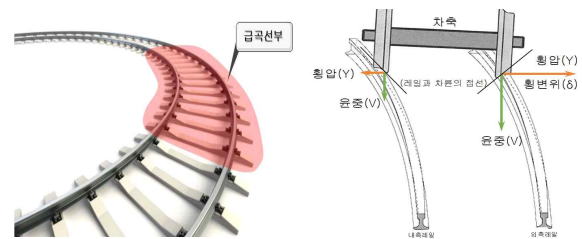


Fig. 1 급곡선부 개요도.

「철도의 건설기준에 관한 규정」에서는 설계속도별로 최소곡선반경의 하한 값을 규정하고 있지만, 전기동차전용선의 경우 설계속도와 관계없이 R=250미터까지 허용하고 있다.

신안산선 노선계획에서도 전동차전용선의 경우 최소곡선반경을 250미터로 계획하고 승인된 사항과 전술한 영향을 감안하여 급곡선부를 궤도검증시험 취약구간으로 예측하였다.

2.2.3 궤도접속부

궤도접속부는 도상형식 및 궤도구조가 변화하는 구간(자갈궤도~콘크리트궤도)으로 철도 설계기준(KDS) 및 지침(KR CODE)에 따르면 궤도접속부의 설계는 궤도와 차량의 상호작용(궤도지지강성, 주행안전성 등) 및 궤도와 구조물의 상호작용 등을 고려하도록 하고 있다. 세부적으로 궤도접속부는 노반접속부와 동일지점에서 발생하지 않도록 하고, 탄성이 단계적으로 변화하도록(보강레일, 정착단부 및 전단연결재, 완충레일패드 등을 보강)하며, 선형경합조건(가급적 직선구간에 설치,

중곡선과 완화곡선구간 미설치)과 레일용접 (특히 테르미트 용접)개소가 발생하지 않도록 하고 있다.

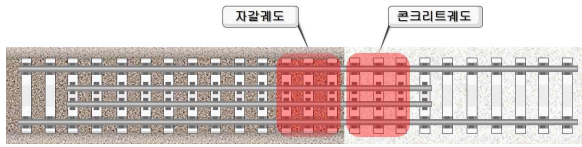


Fig. 2 궤도접속부 개요도.

궤도접속부는 차량/궤도/구조물 간 각종 상호작용에 의해 영향을 받는 구간으로 설계시공 시 유의하여야 하고, 철도종합시험은행 시행지침 개정(2010.7.15) 이전의 시설물검증시험 점검항목(취약구간 궤도검증시험)에서 궤도접속부가 시험대상구간으로 포함되었던 점을 고려하여 궤도접속부를 궤도검증시험 취약구간으로 예측하였다.

2.2.4 노반접속부

노반접속부는 토공-교량 또는 토공-터널 등으로 다른 노반구조물이 접속하는 구간으로 노반의 지지강성이 변화하는 구간이며, 설계시공단계에서는 관련설계기준에 따른 접속부 완충대책(어프로치 슬래브 및 블록, 강화노반, 뒤채움 재료 및 다짐 등)을 고려하여야 한다.



Fig. 3 노반접속부 개요도.

신안산선 건설구간 노반접속부(토공-교량 및 토공~터널)에는 자갈궤도가 계획되었으며, 노반지지강성이 급변할 경우 궤도에 주는 영향이 지대하므로 노반접속부를 궤도검증시험 취약구간으로 예측하였다.

2.3 신안산선 취약예측구간 설계현황

2.3.1 급곡선부

신안산선 건설구간 중 최소곡선반경이 계획된 구간의 설계현황은 Table 3과 같으며, 해당구간은 지하 전동차전용선으로 성과요구사항에 따라 콘크리트궤도로 계획되었다.

Table 3 신안산선 급곡선부 설계현황.

곡선반경	선로연장	선로기울기	캔트설정	슬랙설정
250 m	351.9 m	32 ‰	140 mm	5 mm

2.3.2 궤도접속부

신안산선 건설구간 중 궤도접속부가 계획된 구간의 설계현황은 Table 4 및 Fig.4와 같으며, 해당구간은 여객열차(EC, EMU) 및 장래 화물열차 운행계획이 있다.

Table 4 신안산선 궤도접속부 설계현황.

설계속도	선로기울기	곡선반경(R) 및 설정캔트(C)	
		상선	R=702.81 m, C=80 mm
120 km/h	19 ‰	하선	R=697.70 m, C=70 mm

궤도접속부의 위치는 기존선(콘크리트궤도)에 신설선(자갈궤도)을 연결하기 위하여 설치되어야 할 궤도접속부를 철도설계기준 및 지침에 따라 노반접속부(토공~교량, 토공~터널) 및 선형경합조건(중곡선, 완화곡선, 기울기변경점)을 피하여 강성노반(개착BOX, 원곡선 R=700m) 상에 계획하였으며, 적정한 보강 및 완충대책(보강레일, 전단연결재, 완충레일패드) 등을 반영하고, 레일용접개소가 발생하지 않도록 하였다.

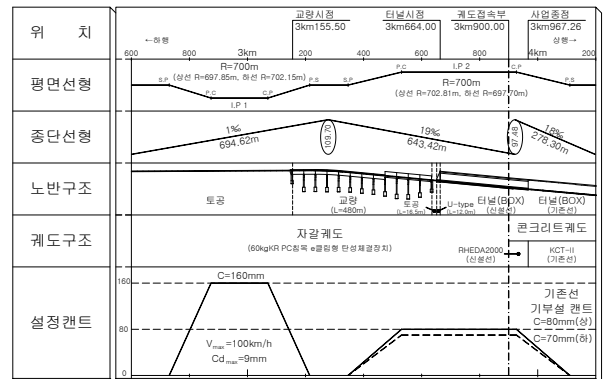


Fig. 4 접속부 위치 및 전후 구간 시설개요.

2.3.3 노반접속부

신안산선 건설구간 중 노반접속부가 계획된 구간의 설계현황은 Table 5 및 Fig.4와 같으며, 설계속도 120km/h에 자갈궤도로 계획되었다.

Table 5 신안산선 노반접속부 설계현황.

노반접속	선로기울기	곡선반경(R) 및 설정캔트(C)
토공-교량	1‰	R=700 m, C=160 mm
토공-터널	19‰	R=700 m, C=70/80 mm

2.4 중점 검토사항

2.4.1 궤도지지강성

궤도지지강성은 열차하중에 대한 궤도의 내하성능 및 품질평가지표가 되는 중요한 요소로써 각 궤도시스템의 도상형식, 궤도구조 및 궤도재료의 탄성 특성에 따라 각기 상이한 특성 값을 갖는 궤도의 고유특성이다. 또한 궤도지지강성은 궤도시스템의 성능 및 궤도구성품의 내구수명에 직접적인 영향을 주므로 접속부는 궤도지지강성의 변화에 대한 중점검토가 요구되는 구간이다. 신안산선 궤도설계에서는 궤도검증시험 시 참고 될 수 있도록 궤도접속부 정적 궤도지지강성 설계 값을 Table 6과 같이 산출 제시하였다.

Table 6 신안산선 궤도접속부 궤도지지강성(설계).

구 분	단 위	완충 1	완충 2	완충 3
궤도구조형식	-	자갈	자갈	콘크리트
정적최대운중	kN	75 (전동차, EMU-260)		
완충패드강성	kN/mm	60	40	40
레일수직변위	mm	0.64	0.82	0.75
궤도지지강성	kN/mm	117.0	91.7	99.4

2.4.2 궤도접속부 설계

궤도접속부는 도상 및 궤도구조의 형식이 변화하는 구간으로 궤도지지강성이 급변하게 될 경우 차량의 주행안전성과 궤도시설물에 좋지 않은 영향을 주게 되므로 설계지침(KR

CODE)에서는 Table 7의 관리기준을 만족하기 위해 궤도지지계수 변화율이 Fig.5의 허용 값 이내로 설계되도록 하고 있다.

Table 7 접속부 설계 및 관리기준.

차체상하 진동가속도	운중변동율	레일피로 허용응력	레일압상력
1.3 m/sec ²	0.13	90 MPa	체결력의 70%

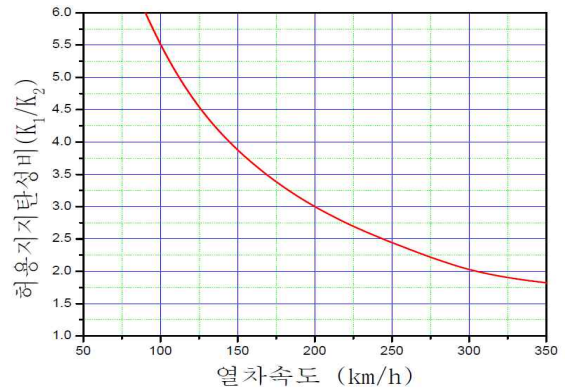


Fig. 5 접속부 궤도지지계수 변화율 허용기준.

신안산선 설계에서는 궤도접속부 완충대책 중 탄성체감을 Table 8과 같이 계획하여 Fig.6의 궤도지지계수 변화율이 검토되었으며, 변화율 2.17~1.0 으로 열차속도(120km/h)에 따른 허용기준(≤4.5)에 약 2배 이상의 여유를 가지고 있다.

Table 8 궤도접속부 완충구간 탄성체감 계획.

신설선	궤도접속부 완충구간			기존선
자갈궤도	1 구간	2 구간	3 구간	콘크리트궤도
PSC 침목 (C=200)	PSC 침목 (C=60)	PSC 침목 (C=40)	Bi-block 침목 (C=40)	Bi-block 침목 (C=40)

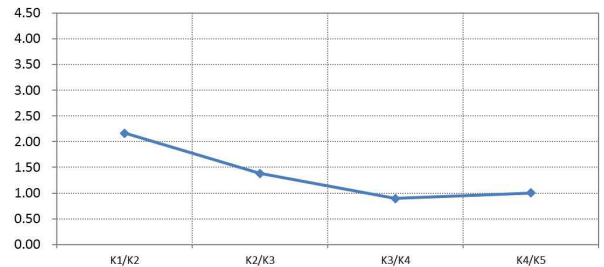


Fig. 6 신안산선 궤도접속부 지지계수 변화율.

2.4.3 곡선구간 궤도접속부 설치

궤도접속부는 가급적 직선구간에 설치하여야 하나, 신안산선에서는 기존 서해선 단절구간(missing link)을 건설하는 계획에 따라 부득이 원곡선(R=700m)구간에 궤도접속부가 위치하게 되었으며 유사사례는 Table 9와 같다.

Table 9 곡선구간 궤도접속부 설치사례.

노선명(사업구간)	위치	곡선반경	캔트
강릉선(강릉시구간)	T.강릉	400 m	150 mm
중부내륙선(부발차량기지)	토공부	600 m	160 mm
부발차량기지(출고선)	토공부	700 m	-
동해선(신경주~포항)	T.제산	1,000 m	140 mm
경강선(성남~여주)	T.설봉	1,500 m	90 mm

3. 결 론

신안산선 사업시행자는 도시철도 전동차 전용선(신안산선 전용구간), 고속열차 및 전동차 혼용선(월곶~판교 공용구간), 일반철도 및 전동차 혼용선(서해선 공용구간) 및 각 구간 운행차량의 정비를 위한 차량기지를 건설하여 40년간 운영·유지관리하게 되며, 현재 착공 2년째를 맞이하고 있다.

본론에서 서술된 취약예측구간들은 관련설계기준에 따라 적정하게 설계되었으나, 개통 전 종합시험운행에 대비하고 향후 선로유지관리 효율화를 위하여 취약구간에 대한 현장의 중점관리가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 국토교통부 (2021), 철도종합시험운행 시행지침.
- [2] 국토교통부 (2021), 철도설계기준(KDS 47 20 55 궤도와 타분야 인터페이스).
- [3] 국토교통부 (2021), 철도공사 표준시방서(KCS 47 20 20 콘크리트궤도 부설공사).
- [4] 국가철도공단 (2021), 철도설계지침 및 편람 (KR C-14080 궤도,차량,구조물,전기,신호 등의 상호작용).

- [5] 한국교통안전공단 (2019), 신안산선 복선전철 민간투자사업 철도교통시설안전진단 보고서.
- [6] 국토교통부, 넥스트레인(주) (2021), 신안산선 복선전철 민간투자사업 실시설계보고서(궤도분야), 제I편 제5장-제6장.