

콘크리트궤도 적용을 위한 궤도/노반 인터페이스 검토

The Interface between Track and Civil Work for the Application of Slab Track

김한중* 이상진** 김재학*** 박대근****
Kim, Han-Jong Lee, Sang-Jin Kim, Jae-Hak, Park, Dae-Gun

ABSTRACT

The structure for supporting slab track should have a suitable criterion and be quality controlled for construction step. Because the slab track compare to ballast which is comfortable maintenance are very difficult and also considering much cost for adjust alignment and maintenance after construction. The embankment and transition area in slab track should consider of reinforcement against deflection and differential settlement. This paper introduce check list for basement criterion of each substructure and adjusted points of interface between civil and track during 2'nd phase designing by slab track. Hopefully this paper could assistant to make the criterion of civil and track for the other slab track project.

1. 서론

콘크리트궤도는 무도상궤도(Ballastless Track), Slab Track등으로 불리워지고 있으며 각 명칭은 개발자나 개발환경, 구조형식 등에 따라 명명되고 있다. 우리나라 고속철도는 1단계구간(서울~대구)중 대부분이 자갈도상궤도로 구성되어 있으며 5km이상 되는 장대터널에 한하여 콘크리트궤도로 건설되었다. 고속철도의 운영은 건설단계의 양질의 선로시설물을 구축하는 것도 중요하지만 열차의 주행안정성과 쾌적한 승차감 확보차원을 고려하여 볼 때 경제적이고 효율적인 유지관리에 최우선 과제를 두지 않을 수 없다. 대부분의 선로가 자갈도상궤도로 부설된 서울~대구간 1단계 개통구간에 제기된 문제점들을 보면, 열차의 고속주행에 따른 자갈이완현상으로 주기적인 검측 및 유지보수작업 시행, 구조물 접속부 강성차이로 인한 부등침하 발생, 자갈비산으로 인한 차량 및 시설물 훼손, 교량 신축이음부의 궤도이완 및 처짐현상 발생 등을 들 수 있으며 이러한 현상들은 시간이 경과됨에 따라 점차 안정화되고 있다고는 하나 콘크리트궤도 등의 생력화궤도에 비하여 많은 유지보수비의 부담과 전문 유지보수요원 확보 및 작업시간 확보도 어려운 실정이다.

이러한 현상들은 경부고속철도만의 문제점이 아니라 자갈도상궤도를 건설하여 운행한 경험이 있는 외국 선진철도국가 모두가 겪었던 자갈도상궤도의 근본적인 문제점이라 할 수 있으며, 이들 국가에서는 오래전부터 유지보수를 줄일 수 있는 보다 개선되고 효율적인 궤도시설물을 구축하는 꾸준한 노력을 기울이고 있다. 일본 신간선의 경우 새로 건설되는 신선의 경우 90%이상을 콘크리트궤도로 구축하고 있으며, 독일고속철도의 경우에도 열차속도 250km/h 이상인 경우 내구연한을 60년 이상으로 추정하고 있는 콘크

- * 한국철도기술공사 부장, 정회원
- ** 한국철도기술공사 전무, 철도기술사, 정회원
- *** 한국철도기술공사 상무, 철도기술사, 정회원
- *** 한국철도시설공단 궤도기술팀 부장, 정회원

리트케도로 구축하고 있다. 경부고속철도 2단계구간인 대구~부산간의 궤도구조도 1단계 개통구간에서 자갈도상궤도의 운용 경험과 유지보수 문제점을 근본적으로 개선하고 Maintenance-free를 지향하여 터널, 교량구간은 물론 토노반구간을 포함한 전구간을 콘크리트궤도로 설계 중에 있다.

2단계구간에서는 1단계구간 일부 장대터널내에 부설하여 성능이 입증된 독일 레다 디비닥 콘크리트궤도보다 궤도구조, 건설공법 및 비용측면에서 한층 발전시킨 Bi-Block 형태의 침목을 이용한 콘크리트궤도구조를 적용하기 위하여 설계중에 있으며 이러한 형태의 궤도구조는 이미 건설이 완료되어 개통준비중인 외국고속철도(독일, 대만, 네덜란드)등에서도 활성화되고 있다.

본 연구에서는 경부고속철도 2단계구간 본선 전 구간을 콘크리트궤도로 설계를 수행하면서, 당초 자갈도상구조로 계획하여 일부 시공이 진행되고 있는 노반구조물에 대하여 콘크리트도상궤도 적용에 따른 제반 문제점의 조정 및 추가 보완한 내용들을 제시하여 점차 확산되고 있는 콘크리트궤도 적용시 활용이 가능토록 하였다.

2. 2단계 건설구간 콘크리트궤도구조

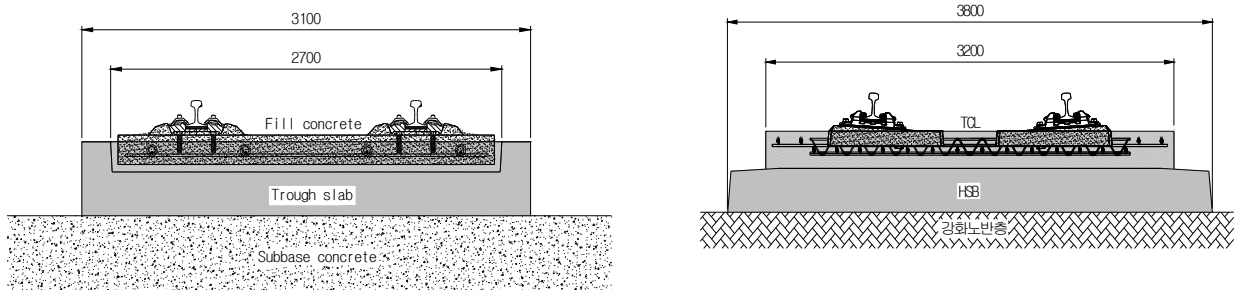
경부고속철도 2단계 건설구간의 콘크리트궤도는 고속선에서의 충분한 궤도강도와 성능을 발휘할 수 있음은 물론 보다 간편한 시공성, 편리한 유지관리성 및 경제적으로도 유리한 궤도구조를 채택·적용하고자 하며 이를 위한 채택요건으로서 다음 사항을 검토하였다.

- 1) 고속철도에서 성능이 입증된 궤도구조
- 2) 현재 건설공사중인 경부고속철도 노반구조물(흙노반, 교량, 터널등)조건이 충족될 수 있는 구조
- 3) 타 분야(노반, 신호, 전차선)와의 인터페이스 조정이 가능한 구조
- 4) 구조물별로 궤도의 균등한 강성 및 연속성이 확보될 수 있는 구조 (접속구간 등)
- 5) 건설비가 저렴하고 기술도입 및 이전이 용이한 구조

이러한 사항들을 고려하여 채택한 2단계 건설구간의 기본 콘크리트궤도구조는 <그림 1>에 제시된 궤도구조로서

- 1) 격자 트러스형 철근을 사용한 Bi-block 침목사용으로 침목두께 감소
 - 침목과 도상콘크리트간의 부착력 증대로 내구성 향상
 - 체결장치 적용 형식에 제한이 없고 정밀하게 결합이 가능한 궤도구조
 - 시공높이의 경감으로 공사비 절감에 기여
- 2) 기존 트러프 콘크리트가 생략된 일체화 시공으로 콘크리트의 종방향 균열감소
- 3) 궤도구조의 단순화로 시공능률 향상

등을 꾀할 수 있어 1단계 건설구간의 장대터널에 부설했던 레다 디비닥 궤도구조에 비하여 동등한 품질 확보와 더불어 시공성, 유지관리성 및 경제성에 보다 유리한 궤도구조라고 할 수 있다.



<1단계구간 콘크리트궤도(터널부)>

<2단계 구간 콘크리트궤도>

그림 1. 2단계구간 기본 콘크리트궤도구조(토공부)

표 1. 2단계구간 콘크리트케도구조 특성

구 분	1단계구간 케도구조	2단계구간 케도구조
시 스템	1차로 트러프콘크리트를 시공하고 트러프내부에 침목과 종방향 철근을 매입하여 일체화	기존 트러프를 시공하지 않고 격자트러스 형태의 Bi-block 침목과 종철근을 사용하여 도상콘크리트와 일체화
구 성	· 침목 : PCT Mono Block · 콘크리트강도 : 30Mpa	· 침목 : Bi-block 침목 · 콘크리트강도 : 30Mpa
단면제원	· 트러프폭 : 3,200mm · 높이 : 650mm	· TCL : 2,800mm (토공부:3,200mm) · 높이 : 472mm
시공속도	· 300m/day	· 300m/day
특 성	· 정밀시공가능 · 사전 트러프시공등 시공단계 다소 복잡 · 침목 중량이 상대적으로 무거워 취급이 곤란	· 정밀시공가능 · 시공단계 2단계로 간편하고 시공속도 빠름 · 도상콘크리트와의 일체화로 구조적 안정성 향상 · 침목 중량이 가벼워 운반 및 취급용이
공사비/km(터널부)	· 약 8억원	· 약 7억원

3. 케도/노반 인터페이스

3.1 개요

노반시설물은 케도시설물을 안전하게 지지함은 물론 노상에 하중을 분산 전달하고 노상의 열약화를 방지하며 노반침하나 변형을 일으키지 않도록 그 기능을 유지하여야 한다. 교량과 접속되는 교대배면 등은 다짐 등이 불충분한 경우 노반의 장·단기 부등침하로 인한 선로변위 등이 발생하여 열차 안전운행 등에 지장을 초래할 수 있기 때문에 설계단계의 면밀한 검토 및 시공단계에서의 철저한 품질관리를 시행하여야 하며, 또한 콘크리트케도는 케도시설물의 구축 후에는 노반침하 등으로 인한 선형조정 등의 유지보수작업 시행이 제한적이고 비용이 많이 들기 때문에 노반시설물의 적정한 기준 확립 및 엄격한 시공관리가 선행되는 것이 가장 중요하다.

3.2 토공부

토노반을 포함한 전 구간에 콘크리트케도를 적용하는 것은 이번 경부고속철도 2단계구간 설계가 국내 처음으로 엄격한 노반설계기준을 적용하여 추후 발생할 수 있는 처짐 등에 대비하여야 한다. 국내 고속철도 노반 설계기준은 현재 고속철도에 콘크리트케도를 적용하고 있는 독일 및 일본고속철도에서 적용하고 있는 노반설계기준과 비교, 검토한 결과 적정한 것으로 분석되고 있으나, 향후 안전성 등을 고려하여 콘크리트케도가 정착되어 현재 운용중인 외국(독일 등)의 경우를 참고하여 노반설계기준을 보완토록 하였다.

(1) 강화노반의 두께조정

토공부 강화노반은 당초 보조도상($E_v2 \geq 120\text{MN/m}^2$):200mm, 입도조정층($E_v2 \geq 80\text{MN/m}^2$):300mm로 설계되었지만, 고속선에 콘크리트케도를 적용하고 있는 독일, 일본의 기준을 적용하여 보조도상의 두께를 300mm로 조정하였다.

(2) 방치기간

토공부는 노반이 침하에 의하여 받는 영향을 줄이기 위하여 일정기간의 방치기간을 설정하여야 한다. 방치기간이란 흙둔기 다짐 종료 시부터 강화노반의 시공개시까지를 의미하고 국내 기준은 당초 세립토의 경우 3개월, 세립토 이외의 지반의 경우 1개월로 규정하였으나, 이 또한 처짐에 대비할 수 있도록 외국의 기준을 적용하여 최소한 6개월 이상을 확보할 수 있도록 적용하였다.

(3) 시공기면의 조정

토공구간의 시공기면은 당초 R.L~F.L=683mm, 3%의 횡구배로 설계, 시공하도록 되어있으나, 콘크리트 레도적용에 따라 <그림 2>와 같이 R.L~F.L=633mm으로 50mm 축소 조정 및 횡구배를 수평으로 조정토록 하였다.

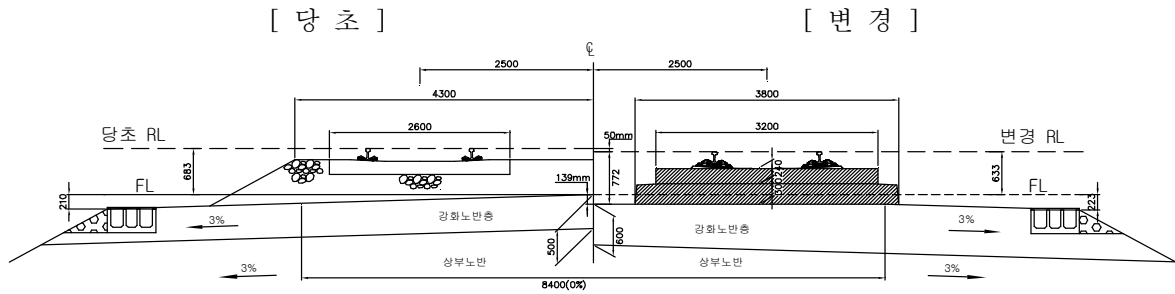


그림 2. 토공구간 조정

콘크리트레도는 자갈도상레도와 달리 레도시설물 구축후에는 선형조정 등이 어려운 관계로, 토노반 구간에 콘크리트레도를 구축하기 위하여는 노반처짐에 대한 기준설정 및 처짐량의 허용범위에 대한 엄격한 관리가 필요하며, 이는 적정 설계기준의 정립과 더불어 철저한 현장관리가 필요하다. 국내의 경우 설계기준은 적정하지만, 콘크리트레도 적용시의 침하허용량에 대한 기준이 아직 정립되지 않아 외국의 시공경험, 국내 노반현장 시공여건 고려 및 외국(독일)의 노반침하량에 따른 요구조건 등을 고려할 때, 다음과 같은 사항 등을 제안하여 적용토록 하였다.

- 노반 장기처짐에 대비한 양질의 성토재료 사용 및 사전 방치기간의 충분한 확보
 - 사전방치기간 : 성토구간 최소 6개월 이상
 - 성토구간은 가급적 선시공하여 공사용 도로 등으로 활용함으로써 자연적인 다짐 및 침하유도
- 노반 허용침하량 관리 : 최대 처짐량 ≤ 15mm(처짐길이 20m 이상시 : 30mm 까지)
 - 독일기준 DB AG의 요구조건 Ril 836 규정 적용
- 토공구간의 엄격한 다짐관리 및 관련 품질시험, 데이터 관리
- 토공 접속부의 장기 부등침하 억제를 위한 시공단계의 엄격한 품질관리
- 장래 토공부의 장기처짐 등을 효과적으로 관리할 수 있는 침하계측(침하판 설치)

3.3 교량부

당초 자갈도상으로 설계된 교량구조물은 콘크리트레도 적용을 위한 구조적인 사항들(처짐한도, 꺾임각 등)을 외국기준과 비교한 결과 이상이 없는 것으로 검토되었으며, 시공기면, 방수층, 교량신축이음부 설치 등을 조정하였다.

(1) 시공기면의 조정

교량시공기면은 당초 F.L의 변경없이 <그림 3>과 같이 R.L 높이를 축소 조정(633mm로 50mm 축소)하였고, 교량구간의 콘크리트레도구조는 탈선방호벽 내측 전폭으로 교량보호콘크리트층(Protection concrete layer)을 시공하고 그 상면에 도상콘크리트층(Track concrete layer)을 설치하기 때문에 당초 자갈도상레도에 설치하던 방수층(방수층4mm, 방수보호층(아스콘) 40mm) 44mm는 콘크리트로 변경(교량

보호콘크리트층에 포함)하였으며 교량 방수는 교량보호콘크리트층(PCL) 상면 방수 또는 구체방수 등으로 검토하여 궤도측에서 시행하는 것으로 조정하였다.

[당 초]

[변 경]

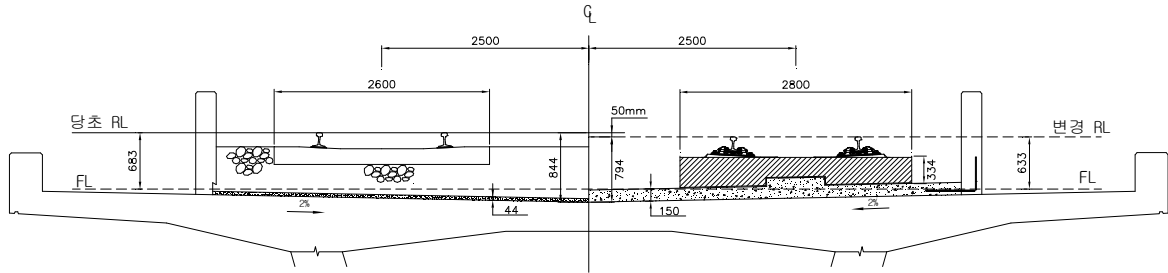


그림 3. 교량구간 조정

(2) 교량신축이음장치 조정

기존 교량신축이음장치는 자갈도상궤도용으로 계획된 것으로 교량상판에 시공 시 콘크리트궤도의 구축이 곤란 할 뿐 아니라, 신축이음매 하부에 별도의 배수장치 필요, 향후 유지보수의 어려움 등, 콘크리트궤도구조에는 적용키 어려운 측면이 있다. 따라서 교량상 콘크리트궤도에는 새로운 신축이음매 시스템의 설계가 필요하여 아래 <그림 4>와 같이 콘크리트궤도용 교량신축이음장치를 최대한 간단한 구조로 고안, 경제성 및 시공성을 증대하였으며 구성부품의 교체를 최대한 간편하게 함으로서 향후 유지관리성을 감안하였다.

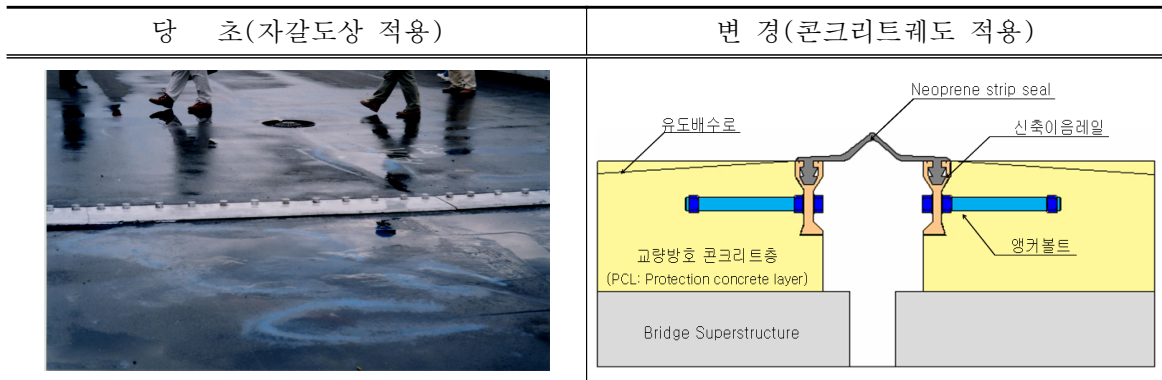


그림 4. 콘크리트궤도용 신축이음장치

2단계 구간에 적용코자 하는 교량신축이음장치의 특징을 각 항목별로 살펴보면,

○ 시공성

- 교량보호콘크리트층(PCL) 타설시 편리하게 병행시공 가능
- 신축이음장치의 경량화로 교량보호콘크리트층(PCL)에 시공함으로써 시공이 용이

○ 경제성

- 제품이 간단하여 기존 자갈도상궤도용보다 비용절감(m당 약 30만원)
- 별도의 배수 및 집수장치 불필요

○ 유지관리성 및 내구성

- 신축이음레일 및 앵커볼트의 반영구적인 수명 확보 가능
- Neoprene Strip Seal의 의 간편한 교체로 인한 유지보수작업 편리

(3) 배수방안

○ 중앙부 배수방안

교량 콘크리트궤도의 배수방안은 교량보호콘크리트층(PCL)상면에 부설하는 도상콘크리트층(TCL)을 교

량형식에 따라 6~8m 길이의 Segment로 분할하여 중앙배수구로 배수를 유도하였다.

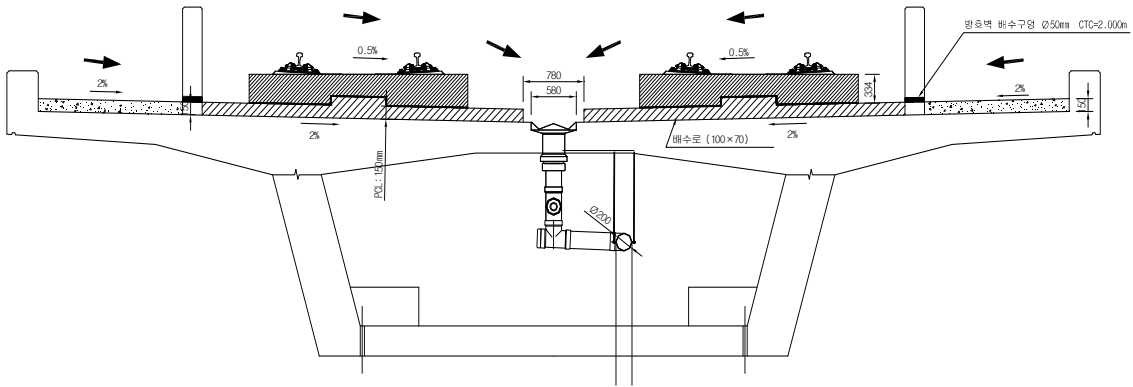


그림 5. 교량구간 배수방안

○ 보도부 배수방안

교량 양 측면 보도부 배수는 당초 보도부 보호층이 69mm의 두께로 포설되어 방호벽 배수구를 통하여 중앙배수구로 유도하였으나, 교량 내측에 보호콘크리트층(PCL)이 설치됨에 따라 보도부 보호층 두께를 150mm(81mm 추가 타설)로 교량보호콘크리트층(PCL)과 동일 높이로 조정하여 선로내측의 중앙배수구로 유도하였다.

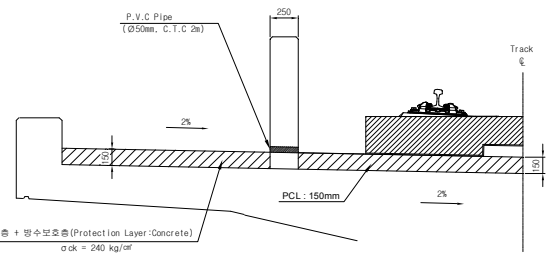


그림 6. 보도부 배수방안

3.4 터널부

터널부는 시공면이 강성노반으로 이루어져 있고, 이미 1단계 장대터널구간에 콘크리트레도를 적용한 경험이 있어 타 노반구조물(토공, 교량부)처럼 특별하게 고려해야할 인터페이스 조정방안은 요구되지 않고 있다. 다만 2단계구간 터널부도 콘크리트레도 적용을 위한 시공높이 감소에 따른 시공기면의 조정과 배수방안은 별도로 조정하였다..

(1) 시공기면의 조정

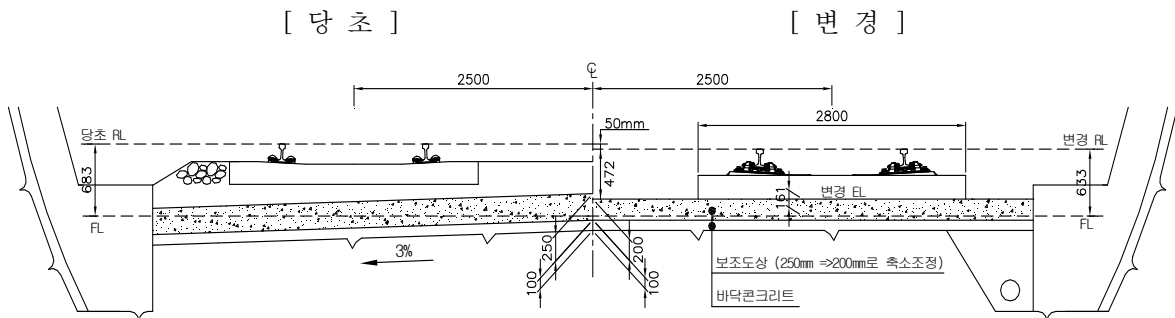


그림 7. 터널부 시공기면 조정

터널구간의 시공면은 당초 자갈도상으로 계획되어 R.L~F.L=683mm로 계획되었으나, 콘크리트레도 적용으로 인하여 시공높이가 감소(472mm)함으로서 터널굴착 단면이 축소되며, 보조도상의 두께도 250mm에서 외국의 경우(독일의 경우 터널부 노반강도 10Mpa)와 비교하여 200mm로 축소, 조정하였다. 이상과 같이 2단계구간의 터널구간은 콘크리트레도의 적용으로 단면감소에 따른 노반공사 사업비 절감 등의 효과가 수반된다고 할 수 있다.

(2) 배수방안

터널구간의 배수는 종단구배에 따라서 배수를 유도하여 횡배수로를 설치하는 것으로 하며, 횡단배수로는 다음과 같은 방안으로 적용하는 것으로 하였다.

- 터널 종단구배 변곡점을 기준으로 하여 200m 마다 설치
- 종단구배가 V형인 경우 시,종점부에 각 1개소 추가 설치
- 선로중심을 기준으로 양측면으로 1% 구배를 두어 설치

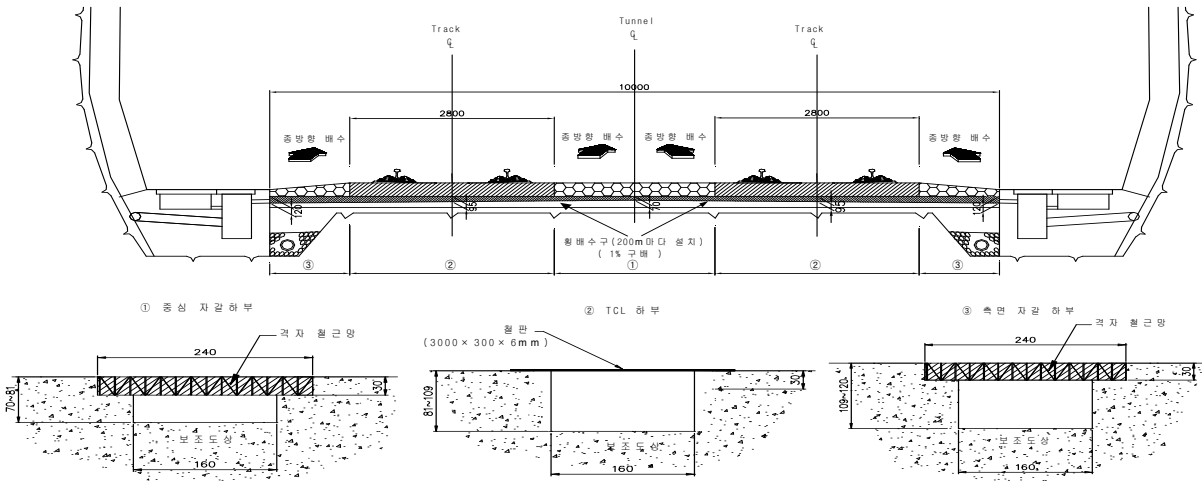


그림 8. 터널부 배수방안

3.5 접속구간

(1) 교량-토공 접속구간

구조물 접속부는 궤도하부구조(노반)의 강성차이로 인하여 장, 단기적인 부등침하를 발생시켜 궤도틀림 우려가 높기 때문에 엄격한 시공관리가 필요하다. 1단계 자갈도상구간에서도 접속부에 어프로치 블록을 설치하여 토공과 구조물의 급격한 노반강도의 변화를 방지하였다.

콘크리트궤도는 그 특성상 과도한 침하발생시 유지보수 작업이 상당히 어려운점을 감안하여 사전에 구조물 접속부에 대한 적절한 보강방안을 강구하여 적용하여야 한다.

국내 설계기준	독일 설계기준

그림 9. 접속부 설계기준

접속부에 대한 국내 설계기준과 독일고속철도의 설계기준을 비교하여 보면 국내 기준은 적절한 것으로 보여진다. 독일 고속철도에서는 접속부에 대한 보강방안으로서 교대배면 되메우기 길이는 채움높이의 4 배 또는 20m 이상, 국부처짐 단차는 5mm 이내로 규정하고 있으며, 5mm 초과 시에는 어프로치 슬래브 (Drag plate)의 설치를 하여야 하며, 또한 교량길이가 25m를 초과하는 경우에는 교대배면으로부터 최소

5m에서 최대 10m의 간격으로 Endsporn이라는 단부보강 고정장치를 설치해야 한다. 이 장치는 교량에서 노반으로의 전환부의 설치된 콘크리트궤도구조에 대한 안정성을 보완하며 노반으로부터의 온도팽창에 대한 콘크리트궤도의 종방향 이동을 제한하는 역할을 한다.

접속구간 특히 교량-토공구간의 접속구간은 궤도품질에 큰 영향을 미치는 취약한 구간이고, 국내에서 처음으로 도입하는 콘크리트궤도임을 감안하여 독일고속철도의 경우를 준용하였으며, Drag Plate의 설치는 처짐한도(5mm이상 개소)를 판단하여 시행하여야 하나, 국내 경험이 부족하고, 건설후의 안정성을 고려하여 전 개소에 설치하는 것으로 하였다.

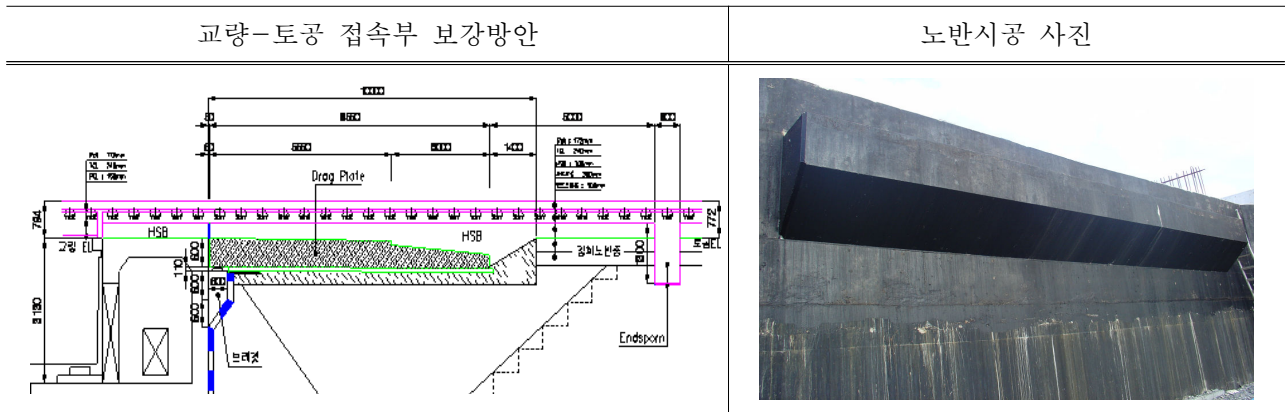


그림 10. 교량-토공 접속구간 보강방안

- 토공-교량 접속구간에 보강방안으로 설치하는 Drag plate는 교대부분에 브라켓을 설치하여 고정하여야 한다.

(2) 터널-토공 접속구간

토공과 터널이 접속하는 구간에서도 토공-교량부와 마찬가지로 구조물의 강성차이로 인한 탄성거동 및 침하로 인한 궤도틀림 발생의 우려가 있으며 터널과 토공구간의 온도차이로 인하여 터널입구 약 100m구간에서는 레일변위의 경향이 발생할 수 있다. 따라서 토공-터널 접속구간도 이런 취약성을 고려하여 아래와 같은 보강방안을 적용하였다.

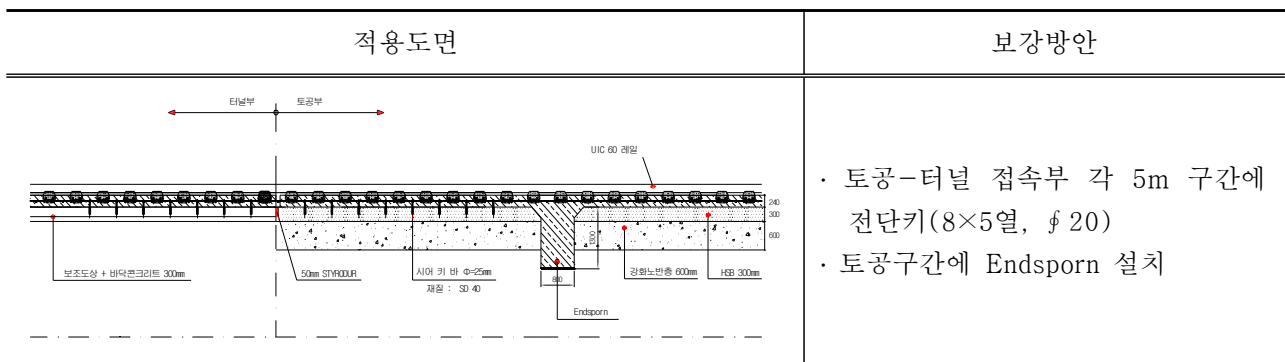


그림 11. 터널-토공 접속구간 보강방안

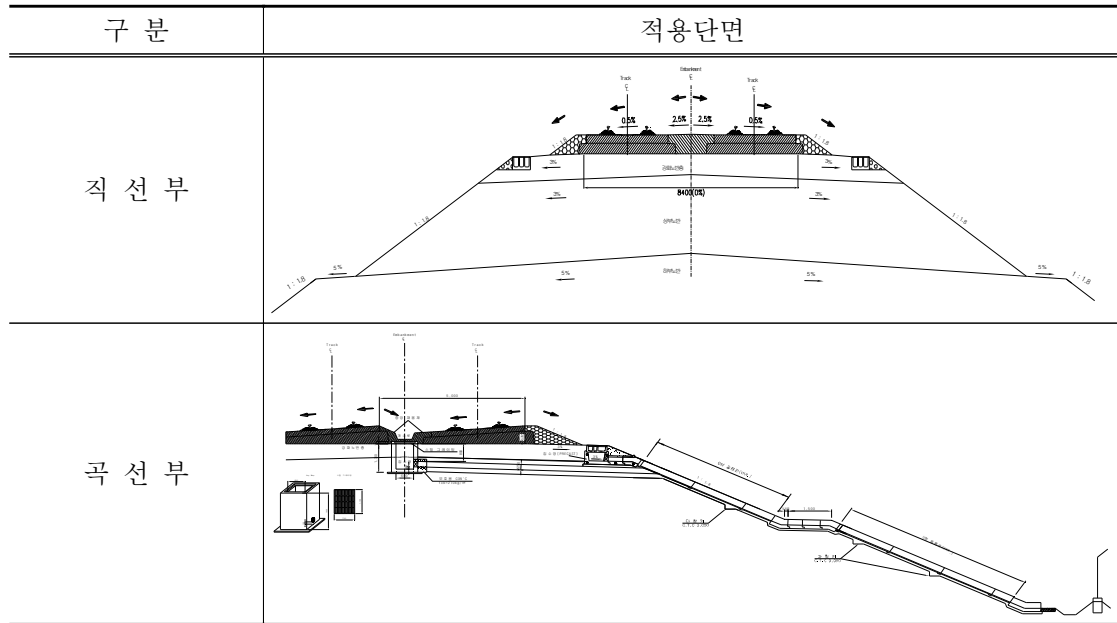
3.6 토공부 배수방안

토공구간 콘크리트궤도 적용을 위하여는 배수방안에 대한 별도의 조정이 요구된다. 자갈도상궤도에서는 시공기면을 횡구배 3%의 구배로 배수를 유도하였으나, 콘크리트궤도는 선로 종방향으로 도상콘크리트가 설치되므로 강우등에 의한 선로내측 표면배수에 대한 대책이 강구되어야 한다.

2단계 토공구간의 콘크리트궤도는 선로상간 중앙부를 콘크리트로 채우는 형식으로 적용하여 직선부는 선로양측으로 배수를 처리하는 것으로 조정하였으나, 곡선부는 캔트로 인한 선로중앙부 체수(滯水)현상으로 인하여 별도의 배수방안이 필요하였다.

따라서 2단계구간과 같은 시스템을 적용하고 있는 외국(독일, 네덜란드 등)의 사례를 참고하여 가장 적절한 배수방안을 도출하고자 하였으며, 그 방안은 아래와 같이 적용하였다.

그림 12. 토공 곡선부 배수방안



토공 곡선부 배수는 선로중앙부에 종단구배로 집수된 물을 일정간격으로 설치된 선로중앙 집수정으로 유도한 후, 횡단배수관을 통하여 측면으로 배수하도록 조정하였다.

- 횡단배수관은 동결깊이 이상으로 설치하고, 보호콘크리트(surrounding con'c)를 시공하여 상부하중 및 동결융해에 의한 안정성 확보
- 횡단배수관의 설치간격은 2단계구간(대구~부산간)의 평균 강수량을 조사한 후, 유량계산을 통하여 설치 간격 : 100m 및 관경 : 250mm 적용

4. 결 론

콘크리트궤도의 적용은 궤도시스템 그 자체도 중요하지만 하부구조물, 즉 궤도시설물을 지지하는 노반조건도 그에 못지 않게 콘크리트궤도 구축여부에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 콘크리트궤도는 그 특성상 노반조건 특히 토공부 기준을 엄격하게 적용하여야 하는데, 이는 토노반의 침하가 열차 안정성 및 유지보수 측면에서 큰 영향을 미치고, 기존 자갈도상궤도와 달리 침하가 일어날 경우 콘크리트궤도에서는 선형조정등의 유지보수가 제한적이고 대처방안이 힘들기 때문이다.

본 연구는 경부고속철도 2단계구간(대구~부산간) 궤도설계과정에서 콘크리트궤도구조를 적용하기 위한 노반과의 인터페이스 조정방안에 대하여 수록하였다. 2단계구간의 국내 노반조건(토공, 터널, 교량)들은 콘크리트궤도 구축을 위한 외국경우와 비교한 결과 적정한 것으로 판단되지만, 토노반 구간에서는 향후 처짐에 대비하기 위한 엄격한 현장품질관리를 시행하여야 한다. 또한 지속적인 관리(계측을 통한)를 시행, 침하에 대한 기준을 정립하여 향후 콘크리트궤도 적용시 활용하는 방안을 강구하는 것이 요구된다고 할 수 있다.

참고문헌

1. DB Systemtechnik, Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn(4. überarbeitete Auflage), 2002
2. 경부고속철도 궤도제1공구 궤도부설공사 최종감리보고서, 한국고속철도건설공단, 2003
3. Esveld, C., Modern Railwaytrack, 2nd ed., MRT-production, Zaltbommel, 2001
4. PFLEIDERER, The Slab Track system for High Performance Railway Applications, 2005