

# 특 집

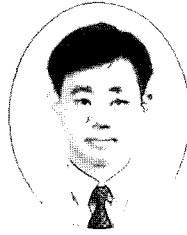
|| 고속철도 구조물에 적용된 최신 기술 ||

## 고속철도 콘크리트 슬래브 궤도의 최신 기술

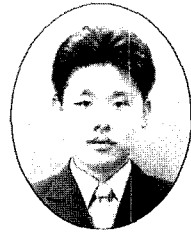
- Recent Technology of Concrete Slab Track in High-Speed Railway -



장승엽\*  
Jang, Seung Yup



강윤석\*\*  
Kang, Yun Seok



김 은\*\*\*  
Kim, Eun

### 1. 서 론

최근 개통된 우리나라의 고속철도도 그러하지만 지금까지 대부분의 궤도구조는 자갈도상 궤도(ballasted track)가 주류를 이루어 왔다. 자갈도상 궤도는 열차의 하중을 횡침목(transverse sleeper)과 침목 하부의 자갈도상(ballast)을 통해 지반으로 전달하는 구조로 열차의 주행을 원활히 하는 궤도구조의 기본 목적에 잘 부합하는 궤도구조이지만, 기본적으로 자갈의 소성변형을 수반하며 이 때문에 선로의 선형을 적합하게 유지하기 위해서는 반드시 유지보수를 필요로 하는 구조이기도 하다. 특히 최근 열차속도의 증가와 축중의 증가로 인해 자갈의 마모 등 궤도의 파괴가 더욱 가속화되고 이에 따라 유지보수비에 대한 부담이 점차 커져가고 있는 데다 유지보수 인력의 확보도 어려울 뿐 아니라 점점 더 길어지는 열차 운행시간 때문에 작업시간의 확보도 여의치 않은 실정이다. 이런 이유로 세계 각국에서 선로 유지보수를 줄이는 방안이 다각도로 검토되어 왔으며 그 결과 자갈도상을 사용하지 않은 궤도구조가 개발되어 현재 적용되기에 이르렀다. 이와 같은 궤도구조를 통틀어 일반적으로 무도상 궤도(ballastless track or non-ballasted track)라 한다.

무도상 궤도는 각 궤도구조마다 많은 차이가 있지만, 기본적으로 기존의 자갈도상을 콘크리트 또는 아스팔트 슬래브층으로 대체한 보다 견고한 지지구조를 가지기 때문에 미국 등에서는 slab track, 프랑스에서는 voie sur dalle(VSD)라 한다<sup>1)</sup>. 또, 보다

견고하게 고정된 궤도란 의미에서 독일에서는 feste fahrbahn(FF)으로 불리기도 한다. 우리나라에서는 통상 무도상 궤도 또는 슬래브 궤도와 동일한 의미로 "콘크리트 궤도 또는 콘크리트 도상궤도"라는 용어를 사용하고 있지만, 엄밀하게 말해 슬래브 궤도는 콘크리트 슬래브 궤도만을 의미하는 것은 아니며, 아스팔트 위에 침목을 올려놓은 아스팔트 포장궤도 등과 같은 무도상 궤도도 있다<sup>1)</sup>. 일본의 경우에는 프리캐스트 콘크리트 패널을 이용하는 궤도만을 슬래브 궤도라 하고 그 외에는 탄성침목직결궤도(일명 탄직궤도), 포장궤도, 콘크리트 도상 직결궤도 등 궤도구조에 따라 각기 다르게 분류하고 있다<sup>2,3)</sup>. 그러나 '슬래브 궤도 = 콘크리트 궤도'로 인식되고 있다는 점은 지금까지 개발된 무도상 궤도의 거의 대부분이 콘크리트 슬래브를 적용하고 있다는 것을 의미한다.

본고에서는 이와 같이 향후 고속철도를 비롯하여 대부분의 철도에서 자갈도상 궤도의 대안으로 대두되고 있는 콘크리트 슬래브 궤도의 최신 기술현황과 공법의 특성을 살펴보고 이와 함께 현재 제기되고 있는 콘크리트 슬래브 궤도의 문제점과 이에 따른 향후 전망에 대해 논하고자 한다.

### 2. 콘크리트 슬래브 궤도의 필요성

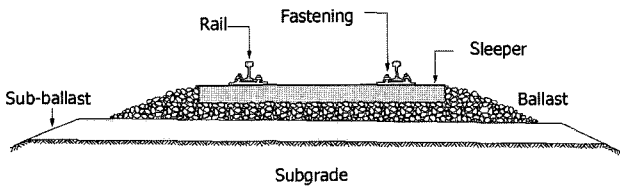
앞서 서술한 바와 같이 자갈도상 궤도는 자갈층 위에 침목이 단순히 놓여져 있는 상태인데 반해 콘크리트 슬래브 궤도는 침목과 자갈의 역할을 콘크리트 슬래브 또는 침목과 콘크리트 슬래브의 결합체로 대체하여 보다 더 견고하고 균일하게 레일을 지지한다(그림 1) 참조). 자갈도상 궤도에서 자갈층의 부분적인 침목

\* 정회원, 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원

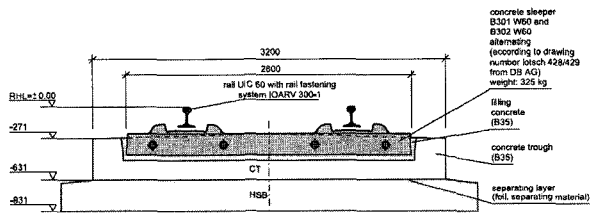
\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 선임연구원

\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 주임연구원

의 침강이 생길 경우에는 열차가 지나갈 때마다 수평·수직의 동역학적 힘이 커지게 되고 이 힘으로 인해 궤도위치는 계속적으로 불안정해지고 승객의 요구에 역행하는 차량 주행의 불안정성을 낳게 된다. 특히 자갈도상 궤도구조에서는 속도가 증가할수록 궤도에 작용하는 하중과 변형이 더 널리 확산되며 그 정도는 선로 구조물의 상태에 따라 달라진다. 이런 과정이 반복되면 자갈입자의 재배열, 마모 등으로 궤도의 변형이 유발되고 이 변형은 일정한 간격을 두고 보수작업을 통해 복구해야 한다. 따라서 궤도구조의 취약점이 될 수밖에 없는 자갈도상을 콘크리트 등 보다 견고한 재료로 대체할 때 그만큼 더 안정적인 궤도구조를 만들 수 있을 것이다.



a. 자갈도상 궤도



b. 콘크리트 슬래브 궤도(RHEDA sengeberg)

그림 1. 자갈도상 궤도와 콘크리트 슬래브 궤도구조의 횡단면 비교

콘크리트 슬래브 궤도의 장점으로 가장 중요한 점은 바로 선로 유지보수를 혁신적으로 절감할 수 있다는 점이다. 한 예로 대표적인 콘크리트 슬래브 궤도인 RHEDA 궤도는 최고속도 200 km/h의 열차가 주행되는 구간에 1972년 최초로 설치된 후 지금까지 30여 년간 유지보수비용이 거의 발생하지 않았다<sup>1)</sup>. 이런 점은 매년 비용절감을 위해 각고의 노력을 기울이고 있는 철도운영기관의 입장에서는 무엇보다 매력적인 요소가 아닐 수 없을 것이다. 유지보수의 경감 뿐 아니라 선로구조의 수명도 최소 60년으로 자갈도상 궤도에 비해 2~3배까지 증가되므로, 초기 투자비가 자갈도상 궤도에 비해 높음에도 불구하고 총 생애주기비용(LCC)을 현저히 줄일 수 있다. 예를 들어 일본 신칸센의 경우 슬래브 궤도의 부설비용은 자갈도상 궤도에 비해 2배 이내인데 반해 유지보수비용은 1/5에 불과한 것으로 보고 되고 있다. (<그림 2> 참조)<sup>1,4,5)</sup>

슬래브 궤도의 두 번째 장점으로서는 무엇보다 궤도의 높은 안정성을 꼽을 수 있다. 궤도의 안정성이 높기 때문에 특히 고속주행에서 안정적인 차량주행을 보장하고, 전 구간에 걸쳐 균일한 높

은 수준의 승차감을 제공할 수 있으며, 이밖에 다음과 같은 장점이 있다.<sup>1)</sup>

- ① 선로선형계획에서 곡선반경이나 종곡선 등에 대한 제약이 자갈도상 궤도에 비해 적으며, 궤도의 횡단면이 더 작으므로 선로구조물의 설계에 더 유리하다.
- ② 선로 유지보수가 적으므로 우회연결(bypass connection)을 줄일 수 있고, 운영상 선로의 활용가능성이 증가된다.
- ③ 성토구간에서는 콘크리트 슬래브(또는 아스팔트 지지층)가 하중을 분배하여 노반에 가하는 정적·동적 하중이 더 작다.
- ④ 횡저항력을 현저히 증가시킴으로써 장대레일 적용 시 좌굴(buckling)의 위험을 배제할 수 있으므로 궤도의 안전성을 증가시킨다.
- ⑤ 차량의 측면에서 보면, 궤도의 선형이 일정하게 유지되므로 차량의 마모를 줄일 수 있고, 외상(渦狀) 전류 브레이크(eddy-current brake)<sup>주1)</sup>를 사용할 수 있어서 제동비용을 경감할 수 있으며, 자갈비산으로 인한 차량의 손상이 발생하지 않는다.

### 3. 콘크리트 슬래브 궤도의 요구조건

위에서 기술한 콘크리트 슬래브 궤도의 여러 장점을 효과적으로 얻기 위해서는 여러 요구조건을 충분히 만족하도록 설계 및 시공되어야 한다. 일반적으로 슬래브 궤도는 자갈도상 궤도에 비해 더욱 까다로운 조건이 요구된다. 슬래브 궤도는 하부지구조에 따라 다음과 같이 분류된다.

- ① 토공구간 슬래브 궤도(slab track on embankments)
- ② 교량상 슬래브 궤도(slab track on bridges)
- ③ 터널 내 슬래브 궤도(slab track in tunnels)

각 하부구조에 따라 각각의 특별한 고려가 필요하며, 서로 다른 지구조나 서로 다른 궤도구조 등이 만나는 천이구간에서는 서로 다른 구조를 원활히 연결할 수 있는 대책이 강구되어야 한다.

#### 3.1 슬래브 궤도 토노반의 요구조건

일반적으로 토노반 상 슬래브 궤도의 지지구조는 아래로부터 기초지반(foundation, 또는 원지반 subgrade), 동상방지층(frost protection layer, FPL), 수경결합층(hydraulically-bonded layer, HBL), 콘크리트 기층(concrete supportive layer, CSL) 또는 아스팔트 기층(asphalt supportive layer,

주1) 전자기의 자기장이 외상 전류, 혹은 푸코의(Foucault) 전류를 통해 저지력(retardation)을 발생시키는 제동 장치

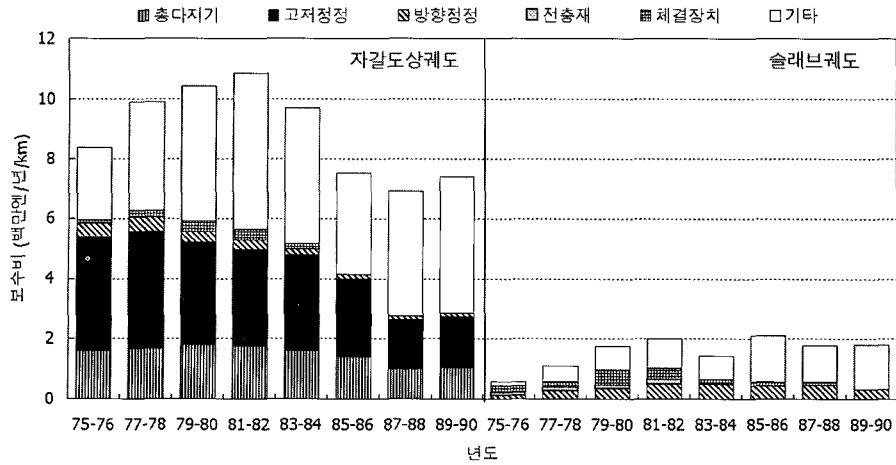


그림 2. 일본신간선의 보수비용(山陽 신간선의 경우)<sup>5)</sup>

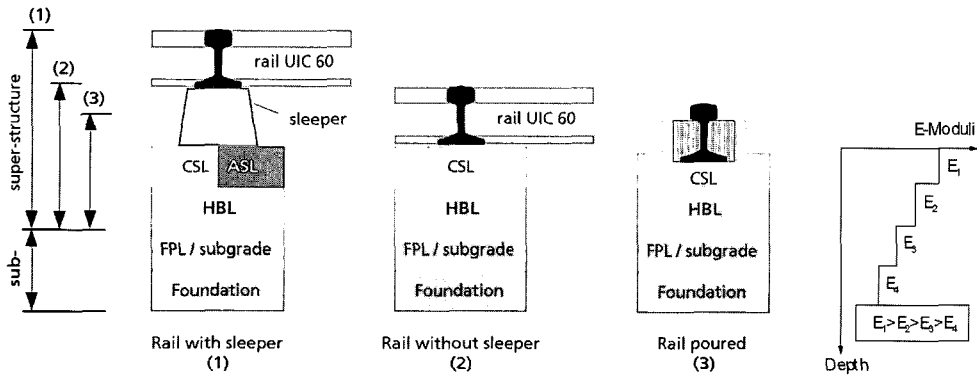


그림 3. 대표적인 슬래브 궤도 토노반의 구성<sup>6)</sup>

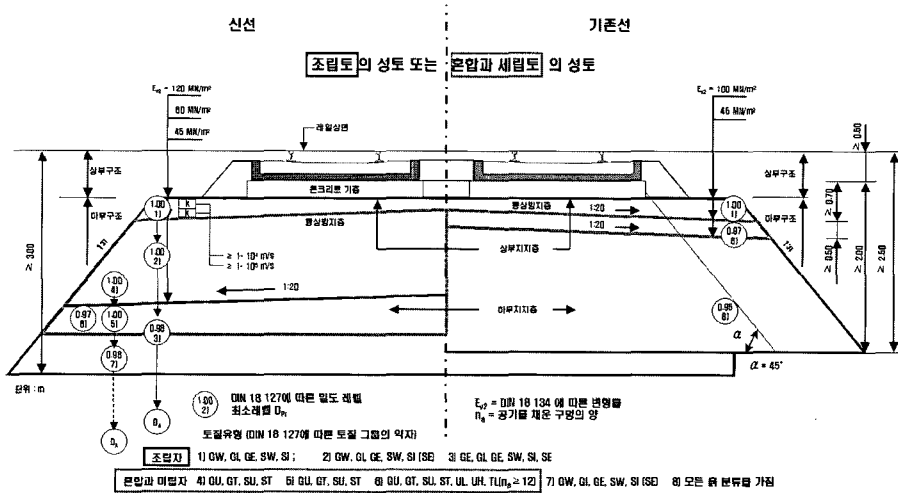


그림 4. 슬래브 궤도 하부 토노반의 요구조건<sup>1)</sup>

ASL)의 순으로 구성된다(그림 3) 참조). 위와 같은 구성은 아래로 내려갈수록 강성이 낮아지는 구조가 된다.<sup>1,6)</sup>

슬래브 궤도는 일단 부설이 끝나면 궤도의 수정이 매우 어렵기 때문에 토노반 구간에 부설되는 경우에는 하부구조의 침하를 최소화하기 위한 폭넓은 대책이 필요하다. 따라서, 토공을 준비하

기 전에 지반조건과 변형거동에 관한 광범위한 조사가 반드시 수반되어야 한다. 지질조사는 적어도 50m마다 최소 6m 이상의 지반탐사가 필요하다. 또, 하부구조의 요구조건이 보다 엄격해져야 한다. 독일의 경우, 하부구조 각 층의 요구조건을(그림 4)와 같이 명시하고 있다.<sup>1)</sup>

### 3.2 터널에서의 슬래브 궤도의 요구조건

슬래브 궤도는 터널에 매우 적합한 구조이지만, 지하수의 용출이나 지반의 침하 또는 기타 변화가 있는 불안정한 시공기면을 갖는 경우에 적절히 대비해야 한다. 따라서 슬래브 궤도를 터널에 적용할 경우에는 터널에서의 특정 지질요구조건을 만족해야 하며, 충분한 배수를 확보해야 한다. 또, 터널에서는 횡단면이 제한되는 경우가 많기 때문에 콘크리트 기층의 두께나 트로프(trough) 설치 등을 궤도형식을 결정함에 있어서 터널 횡단면의 면적을 고려해야 한다. 이 외에도 터널 내 사고 발생시에 대비하여 구출차량이 슬래브에 접근할 수 있도록 해야 한다.

### 3.3 교량상 슬래브 궤도의 요구조건

교량 위에 연속적으로 놓여지는 궤도구조는 교량과의 상호작용으로 발생하는 역학적 거동을 고려해야 한다. 이러한 역학적 거동으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 온도변화 및 건조수축에 의한 교량의 종방향 이동
- ② 교량의 종방향 및 횡방향 처짐
- ③ 지점에서의 비틀림(twisting)

따라서 슬래브 궤도는 이러한 교량의 거동에 대하여 대응할 수 있도록 해야 한다. 이러한 대책으로는 다음과 같은 몇 가지 해결 방안을 모색할 수 있다.

- ① 체결장치의 체결력 감소: 철근 콘크리트 기층 위에 침목이나 슬래브를 교량상판에 견고하게 고정하거나 직접 교량상판에 체결시스템을 적용하는 경우 체결장치의 체결력을 감소시킴으로써 교량의 이동이 가능하도록 한다. 이런 체결장치를 활동체결구(moving fastner)라 한다.

- ② 교량상판에 레일 매립: 교량에 견고하게 연속적으로 지지된 매립레일을 적용한다. 이 경우 교량의 경간은 15 m 까지 허용할 수 있지만, 신축장치나 이음매를 사용하여 교량의 경간을 더 길게 할 수도 있다.
- ③ 슬라이딩 슬래브 설치: 슬라이딩 슬래브를 설치하여 교량은 슬래브 아래에서 자유롭게 이동할 수 있도록 한다. 이 경우 교량 경간은 25 m로 제한된다.
- ④ 노반 위에서 궤광의 움직임 허용: 콘크리트 또는 아스팔트 콘크리트 노반 위에서 궤광(track skeleton, 레일과 침목으로 이루어진 격자구조)이 자유롭게 움직일 수 있는 상태로 설치한다.

### 3.4 접속부에서의 요구조건

슬래브 궤도에서 접속부(transitions)로는 상부구조의 천이접속과 하부구조의 천이접속으로 나뉜다. 상부구조 접속부로는 슬래브 궤도와 자갈도상 궤도의 연결, 서로 다른 형식의 슬래브 궤도 간의 연결 등이 있고, 하부구조의 천이접속은 토노반/교량, 토노반/궤도, 토노반/터널 등이 있다. 슬래브 궤도와 자갈도상 궤도 간의 천이접속에서는 강성(stiffness)과 침하(settlement) 거동이 현저히 다른 두 구조를 원활히 연결할 수 있는 방안을 모색해야 하며, 이러한 방법으로 다음과 같은 대책이 있다.

- ① 강성측면: 레일 체결장치 탄성을 점진적으로 감소
- ② 유연도 측면: 20 m 거리에 걸쳐 보조레일 설치
- ③ 침하: - 도상안정제 등을 사용하여 자갈도상을 안정화하여 침하를 억제  
- 자갈도상 궤도의 시점에 수평 슬래브 적용하고 이와 함께 슬래브 궤도의 종점부에 보강앵커 적용
- ④ 침하 및 휨: 보조기층(subbase) 대신 콘크리트 노반층(HBL)을 10 m 이상 연장

궤도가 한 유형에서 다른 유형으로 변하는 천이접속의 경우 열차하중과 온도에 의한 신축을 원활히 전달할 수 있도록 해야 한다. 이를 위해서 접속부에는 특별한 이음이나 앵커 등을 적용할 수 있다.

하부구조의 천이접속에서도 지지층의 침하거동의 차이를 줄이기 위한 특별한 수단이 강구되어야 한다. 일반적으로 토노반/교량 접속부에서는 교대 뒤면의 성토층에서 자기침하가 발생할 수 있으므로 <그림 5>와 같은 탄소성 중간층을 설치하기도 한다. 그러나 그 구체적인 방법은 강교와 콘크리트교에서 달라져야 하고, 교량의 길이에 의해서도 좌우된다. 토노반/박스궤도 또는 토노반/터널 천이접속에서도 교량에서와 마찬가지로 탄성 및 침하거동의 차이를 조절하기 위한 방법이 강구되어야 한다.

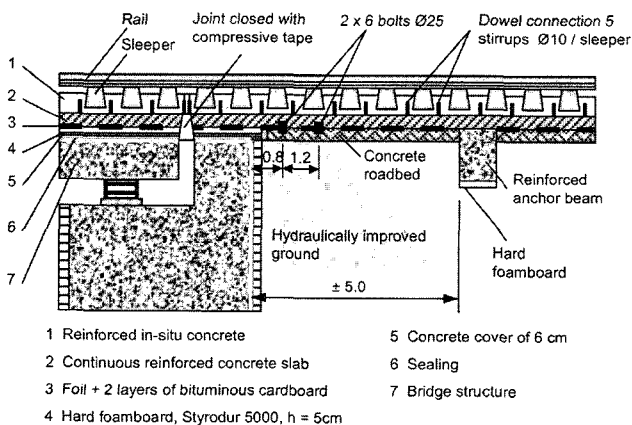


그림 5. 탄소성 중간층을 설치한 교량연결부 설계 예<sup>4)</sup>

### 3.5 슬래브 궤도를 위한 레일체결시스템

슬래브 궤도에 적용하는 체결시스템은 충분한 탄성(resilience)의 확보가 중요한 관건이 된다. 통상의 자갈도상 궤도에서는 동적하중을 흡수하는 데 필요한 탄성의 대략 절반 정도를 자갈도상이 부담한다. 따라서 슬래브 궤도에서는 자갈이 없는 대신 추가적인 탄성과 진동감쇠를 부담할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 이러한 방안으로는 레일의 하부에 자갈도상 궤도의 레일패드 대신 고탄성의 레일패드를 삽입하는 방안과 레일 하부에 강판<sup>주2)</sup> 또는 콘크리트 블록을 두고 그 하부에 고탄성의 패드를 적용하는 방안이 있다. <그림 6>은 콘크리트 슬래브 궤도에 적용되는 대표적인 체결장치들을 보여주고 있으며, <그림 7>은 고탄성의 고무부츠를 적용한 콘크리트 블록을 나타내고 있다.

탄성 외에도 슬래브 궤도에서의 체결장치에 요구되는 특성으로는 고도의 궤도선형 조절능력이 있다. 자갈도상 궤도는 기본적으로 자갈도상에서 침목의 위치를 조정해서 궤도 선형을 조절하지만, 슬래브 궤도는 이것이 불가능하기 때문에 체결장치에서 이러한 선형 조정성을 확보해야만 한다. 좌우조정방법으로는 절연블럭의 두께를 조절하는 방법과 절연부쉬를 편심부쉬(eccentric bush)로 하거나, 또는 <그림 6(c)>의 와 같이 톱니모양의 판을 설치하여 베이스플레이트의 이동이 가능하게 하는 방법이 있다. 고저조정방법으로는 베이스플레이트 하부에 고저조정용 패드를 삽입하는 방안이 가장 널리 사용된다.

이와 같이 슬래브 궤도에서는 자갈도상 궤도에서의 자갈의 역할을 체결시스템이 담당하기 때문에 그만큼 체결장치의 기능이 더욱 다양해지고 복잡해진다.

### 4. 콘크리트 슬래브 궤도구조의 종류와 특성

슬래브 궤도는 세계 각국에서 지금까지 매우 다양한 형태의 궤도구조가 개발되었다. 그 구조를 침목의 사용유무나 지지방식 등 상부구조 형식과 시공방법에 따라 분류하면, 침목매립식 또는 직접체결식의 일체형(monolithic) 현장타설 콘크리트 궤도, 프리캐스트 콘크리트 궤도, 콘크리트 또는 아스팔트 포장기층 위에 침목을 올려놓는 침목분리형 궤도, 매립레일 등의 연속지지 궤도 등이 있다(<그림 8> 참조). 이 가운데 가장 대표적인 몇 가지 예를 다음에서 간략히 소개한다.

#### 4.1 RHEDA 궤도

RHEDA 궤도는 1972년 RHEDA역 구간에 부설 된 이후 지금까지 다양한 변화를 거쳐 현재의 RHEDA2000의 설계에

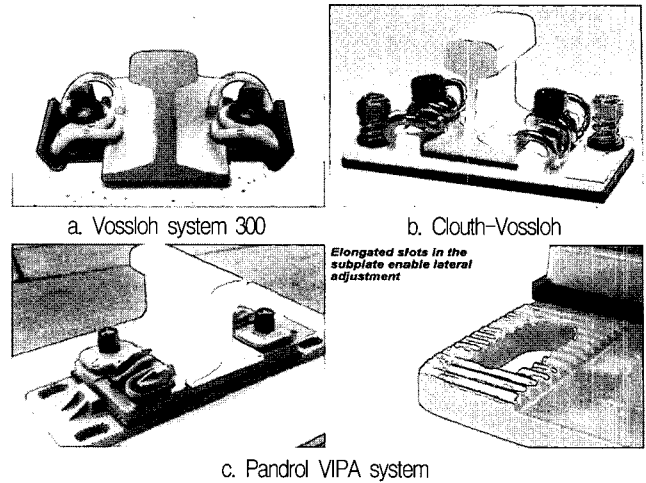


그림 6. 슬래브 궤도용 레일체결장치의 예

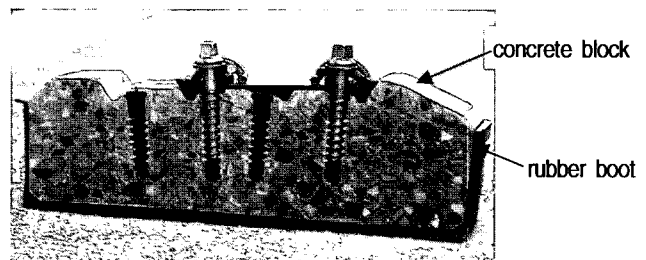


그림 7. 고무부츠를 적용한 콘크리트 블록(STEDEF)

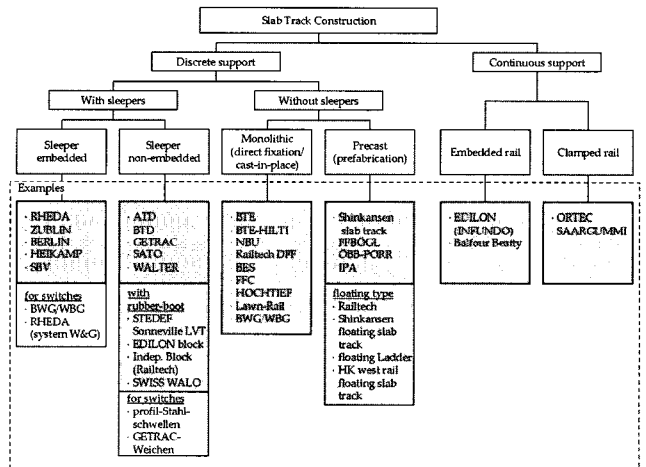


그림 8. 슬래브 궤도의 종류<sup>6)</sup>

까지 이르렀다(<그림 9> 참조). RHEDA 궤도는 침목을 콘크리트 슬래브에 매립 타설하여 일체화하는 구조를 가지며, 기계화 시공과 레일과 침목을 포함한 궤광전체를 한꺼번에 움직여 궤도 선형을 조정하고 슬래브를 타설하는 Top-down 시공으로 매우 빠른 시공속도와 우수한 궤도선형 및 내구성을 제공한다(<그림 10> 참조).

#### 4.2 ZÜBLIN 궤도

ZÜBLIN 궤도는 1974년부터 개발되기 시작하여 현재 RHEDA 궤도와 함께 대표적인 침목매립식 일체형 궤도로 알려

주2) 이를 베이스플레이트(baseplate)라 한다. 목침목에도 이러한 강판을 적용하는데 이것은 타이플레이트(tieplate)라 하여 구분한다.

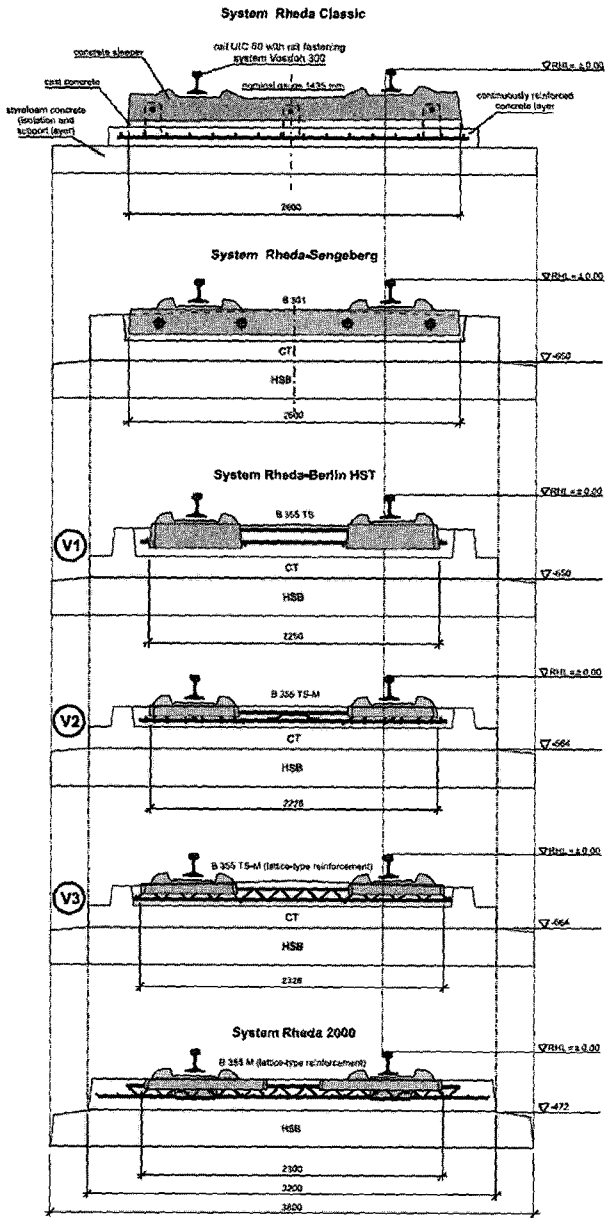


그림 9. RHEDA 궤도의 발전

져 있다. <그림 11>에서 알 수 있듯이 기본적으로 침목을 슬래브에 매립하는 구조는 RHEDA 궤도와 거의 동일하지만, 시공상의 상세한 사항에서 그 차이점을 발견할 수 있다. ZÜBLIN 궤도 역시 silpform paver 등을 이용한 슬래브 시공 등 기계화 시공과 독창적인 방식의 Top-down 시공으로 빠른 시간에 우수한 품질의 궤도를 시공할 수 있다.(<그림 12> 참조)

### 4.3 프리캐스트 슬래브 궤도

프리캐스트 슬래브 궤도는 공장에서 미리 제작된 콘크리트 슬래브 패널을 현장까지 운반하여 이를 직접 조립, 시공하는 궤도구조이다. 이와 같은 형식의 슬래브 궤도는 현장타설식 슬래브 궤도와 비교할 때, 높은 품질의 콘크리트를 얻을 수 있을 뿐 아니라, 기계

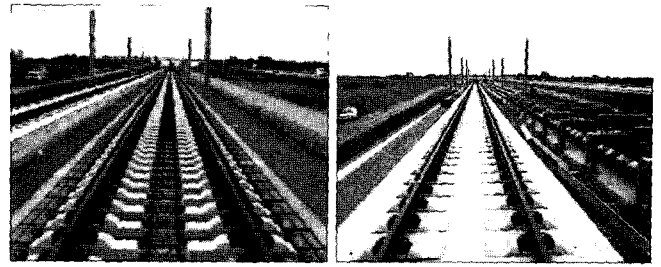


그림 10. RHEDA 궤도의 시공

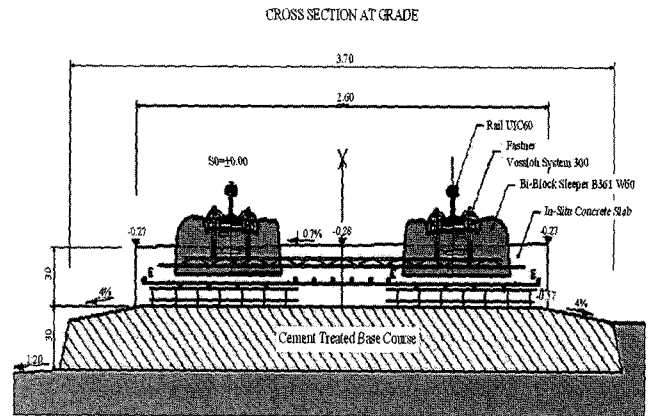


그림 11. ZÜBLIN 궤도의 구조



그림 12. ZÜBLIN 궤도의 시공

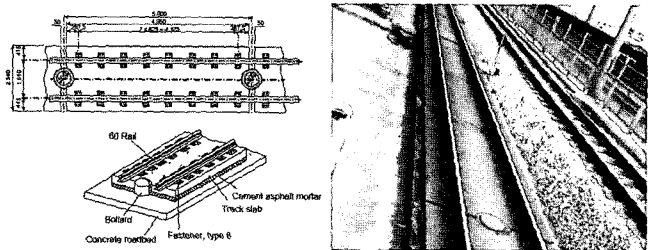


그림 13. 일본 신간선 슬래브 궤도(A형 슬래브)

화 시공의 수준을 더욱 높일 수 있고 따라서 시공속도가 빠르고, 건설노동력을 절감할 수 있으며, 슬래브 상에서 직접 레일을 조정하고 체결하므로 시공오차를 줄일 수 있고, 상대적으로 유지보수가 더 쉽다는 장점이 있다<sup>4)</sup>. 이러한 장점 때문에 일본의 신간선 철도에서는 이미 20년 이상 프리캐스트 슬래브 궤도를 부설, 운영해왔고, 특히 최근에는 신설선의 대부분을 프리캐스트 슬래브 궤도로 부설하고 있으며, 독일, 이탈리아, 오스트리아 등에서도 프리캐스트 슬래브 궤도가 개발되어 실용화되고 있다. 대표적인 프리캐스트 슬래브 궤도로는 다음과 같은 것들이 있다.

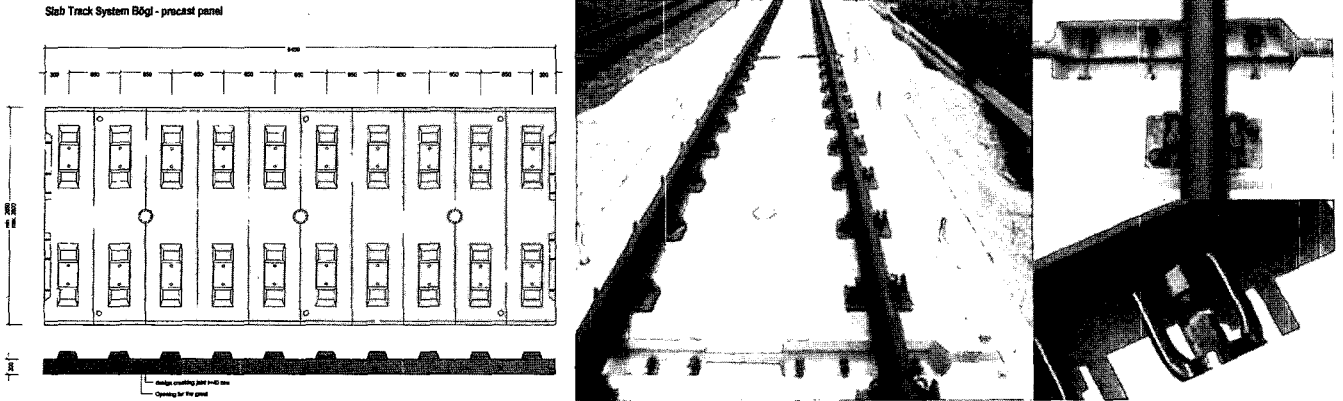


그림 14. 독일 프리캐스트 슬래브 궤도(FFBÖGL)

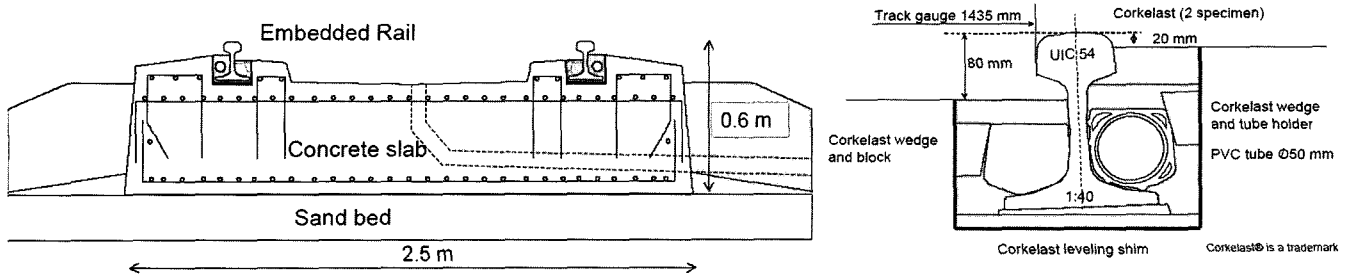


그림 15. Edilon ERS 궤도의 최신 설계

표 1. 신간선 슬래브 궤도의 부설연장<sup>4,5)</sup>

(단위 : km)

궤도 구조	東海道	山陽		上越	東北	胡北
	東京 ~ 新大阪	新大阪 ~ 岡山	岡山 ~ 博多	大宮 ~ 新湯	東京 ~ 盛岡	
자갈도상 궤도	516	156(95%)	125(31%)	15(5%)	48(10%)	37.2(15%)
슬래브 궤도	0	8(5%)	273(69%)	255(95%)	453(90%)	210.5(85%)

표 2 독일연방 소음방지 규정<sup>6)</sup>의 궤도 종류에 따른 소음기준치

연번	궤도 종류	Dfb* [dB(A)]
1	잔디로 덮인 선로와 노반	-2
2	자갈도상, 목침목	0
3	자갈도상, 콘크리트 침목	2
4	소음흡수층이 없는 슬래브 궤도와 시간전차의 매립 궤도	5

\* 특별한 예방책을 통해 영구적인 소음의 감소가 입증된 선로구조의 경우 여기서 규정하는 기준치보다 추가의 소음감소에 상응하는 기준치가 적용될 수 있다.

#### 4.3.1 일본 신칸선 슬래브 궤도

일본의 신칸선 철도에 적용되는 슬래브 궤도는 자갈도상 궤도의 보수절감을 목표로 개발되어 1975년부터 본격적으로 적용되기 시작하였다<sup>2)</sup>. 신칸선 슬래브 궤도는 시멘트 안정화기층(콘크리트기층), 횡방향 및 종방향 이동방지를 위한 원형의 돌기콘크리트, 프리스트레스트 프리캐스트 콘크리트 슬래브, 그리고 슬래브 하부에 시멘트 아스팔트 모르타르(cement asphalt mortar, CAM)라 불리는 채움재층(grout layer)으로 구성된다(그림 13) 참조. 최근 개통된 上越, 東北, 胡北 신칸선 등에서는 전체 부설연장의 85% 이상을 슬래브 궤도로 부설하는 등 일본 신칸선에서는 신선 건설에서 이미 슬래브 궤도가 주류를 이루고 있

다.(표 2)<sup>4,5)</sup> 참조

#### 4.3.2 독일 FFBÖGL

독일의 Max Bögl사에 의해 개발된 슬래브 궤도 시스템인 FFBögl 슬래브 궤도는 대체로 일본의 신칸선 슬래브 궤도와 유사하지만, 내장 스펀들에 의한 슬래브의 위치조정방식, 종방향 슬래브 연속화 등의 특징을 가진 궤도 구조이다(그림 14) 참조. 1977년 처음으로 시험선에 부설되어 현재까지 약 20년 이상 시험 운행동안 유지보수가 거의 없었을 만큼 높은 안정성을 보여주었고, 높은 승차감과 주행안전성이 입증되었다<sup>7)</sup>. 추가적인 성능보완을 거쳐 현재 독일의 고속철도에 채택, 부설 중에 있다.

#### 4.4 매립레일 궤도

매립레일(embedded rail system, ERS) 궤도는 레일을 슬래브 속에 매립하여 연속적으로 지지하는 구조로 네덜란드 Edilon 社의 ERS 궤도(INFUNDO 궤도)와 영국 Balfour Beatty 社의 BBEST(Balfour Beatty Embedded Slab Track), 그리고 Pheonix 사의 grooved rail system인 ERL 등이 있다. 매립레일은 단속지지 구조에서 발생하는 pinned-pinned 공진을 없앨 수 있기 때문에 진동과 소음의 제어와 레일 마모억제에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다. 이 때문에 주로 도심에서 시가전차(tram) 등에 많이 적용되어 왔으나, 현재에는 고속철도에도 적용이 시도되고 있다. <그림 15>는 Edilon ERS 궤도의 최신 설계를 보여주고 있다.

#### 5. 결론 및 향후 전망

지금까지 콘크리트 슬래브 궤도의 여러 가지 우수성에 대해 기술하였으나 슬래브 궤도가 문제점이 전혀 없는 것은 아니다. 슬래브 궤도기술에서 해결해야 할 가장 중요한 문제점으로 현재 우리나라 고속철도에서 현안이 되고 있는 소음문제를 들 수 있다. 슬래브 궤도는 레일하부에서 탄성지지 되기 때문에 레일과 하부 지지층간에 진동분리(vibration isolation)가 발생하기 때문에 레일과 차륜의 접촉에 의해 발생하는 airborne noise가 더 커질 수 있으며 콘크리트 슬래브의 표면에서는 자갈도상에 비해 더 많은 소음을 반사시킨다(<표 2> 참조). 반면 진동측면에서 볼 때는 고탄성의 탄성패드에 의해 탄성지지하기 때문에 오히려 진동수치는 자갈도상 궤도보다 낮은 것으로 평가되고 있다. 따라서 슬래브 표면에 소음 흡수층을 설치하는 등의 소음제어를 위한 특별한 조치가 강구되어야 하며, 이를 위해서는 앞으로 보다 많은 연구가 이루어 져야 할 것으로 보인다.

또 다른 슬래브 궤도의 문제점은 시공비용이 자갈도상 궤도에 비해 더 높다는 점이다. 유지보수의 감소를 고려하면 생애주기비용(life cycle cost)은 더 낮다고 하더라도 시공비용이 높다는 것

은 아무래도 건설주체에게는 부담스러운 수밖에 없을 것이다. 따라서 보다 저렴하면서도 동등의 성능을 발휘할 수 있는 새로운 슬래브 궤도에 대한 연구도 계속 이루어져야 할 것이다.

이상 살펴본 바와 같이 슬래브 궤도는 자갈도상 궤도에 비해 보다 우수한 궤도의 품질과 안정성을 제공할 수 있으며 유지보수를 현저히 줄이고 궤도의 수명을 더 연장할 수 있는 등의 장점을 가지고 있으며, 실제 지금까지의 경험에서도 그 우수성이 충분히 입증되어 왔다. 따라서 앞으로 콘크리트 슬래브 궤도가 기존 자갈도상 궤도를 점차 대체해 나갈 것으로 생각되며, 앞으로 국내에서의 슬래브 궤도기술 도입과 발전을 위해 보다 많은 노력이 요구된다. □

#### 참고문헌

1. Darr, E. and Fiebig, W., Feste Fahrbahn - Konstruktion, Bauarten, Systemverlaggleich Feste Fahrbahn - Schotteroberbau, Band 1, Teetzlaff Verlag, 1999.
2. Sato, T., "新軌道力學", 1997.
3. Ando, K., Kozeki, M., Fukui, Y., Nagafuji, T. and Miura, S., "System engineering on new track structures," RTRI Report, Vol.9, No.12, 1995, pp.55~60.
4. Esveld, C., "Modern Railway Track, 2nd ed., MRT-productions," Zaltbommel, 2001.
5. Ando, K., "A Study on Load-Varying Structures and Its Design for Low-Maintenance Track on Earthwork," RTRI, 1997.
6. Quante, F. and Ogilvie, N., "Innovative track systems - criteria for their selection," Prom@in No.1, Nov. 2001, pp.14~21.
7. Max-Bögl, "Slab Track System," in CD-ROM Title produced by Max-Bögl, 2002.
8. DB, Bundesimmissionchutzverordnung (Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. 06.1990), Schall 03.

### 도서소개 - "콘크리트 표준시방서 해설"

◆ 소개 : "... 「콘크리트 표준시방서 해설」의 개정에는 1999년도 재정판을 근간으로 하였으며, 국내외 각종 시방서 및 기준 등을 참고하였습니다. 또한, 집필에는 콘크리트 관련 분야에 종사하고 있는 토목·건축 분야의 중진 기술자 및 연구자들이 참여하였으며, 수치의 토의와 여러 번의 공청회를 개최하여 특히, 현장 기술자들의 의견을 반영하였습니다. 초안에 대해서는 학회 자체의 자문회의를 거쳐 수정 보완하였으며, 콘크리트와 관련이 있는 기관 및 연구소 등에 검토를 요청하여 수용할 수 있는 부분은 최대한 반영함으로써 좋은 「콘크리트 표준시방서 해설」이 출간 될 수 있도록 정성을 다하였습니다. ..." (머리말 中)

- 제 목 : 콘크리트 표준시방서 해설
- 저 자 : 사단법인 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 출판일 : 2004년 2월
- 페이지 : 670쪽
- 정 가 : 35,000원