

# 궤도구조 성능검증체계 및 선정프로세스 구축 Development of Verification System and Selection Process for Track Structure

이호룡†                      장승엽\*                      김연국\*\*                      윤성순\*\*\*  
Ho-Ryong Lee              Seung Yup Jang              Yeon-Guk Kim              Sung-Soon Yun

## ABSTRACT

Recently, with the beginning of the commercial operation of high-speed railway, there have been a number of changes in track structure fields. Also, it is expected that the development and introduction of new technology will be increased afterwards. However, it accompanies a lot of risk to install new track structures of which performance and safety are not verified on permanent ways with high traffic density. Therefore, to minimize the risk and enhance the adoption of new technology, it is required to develop a systemic verification system for track structure. To do this, in this paper, main contents of a draft of guidelines for track structure verification, and main issues in debate such as criteria and method for verification, test conditions and test periods are discussed. Also, a process to choose a most appropriate one for a specific project out of proven track structures by the above verification system, the selection process by the technical investigation committee and the VE process to analyze the economical and maintenance aspects based on LCC concept in Korea Rail Network Authority is introduced.

## 1. 서론

고속철도의 개통과 함께 콘크리트궤도를 본격적으로 도입하는 등 궤도구조분야에서 최근 많은 변화가 이루어져 왔다. 또한 앞으로도 새로운 기술의 개발이나 도입이 더욱 늘어날 것으로 전망된다. 하지만 성능과 안전성이 충분히 입증되지 않은 새로운 궤도구조를 높은 빈도로 운행되는 선로에 부설하는 것은 많은 리스크를 동반하게 된다. 따라서 리스크를 최소화하면서 신기술의 도입을 촉진하기 위해서는 궤도구조의 성능과 안전성을 검증하기 위한 체계적인 검증시스템의 구축이 필요하다. 현재 한국철도시설공단에서는 이를 위해 유럽, 일본 등 국외의 성능검증 체계를 살펴보고 궤도구조에 대한 기술요건을 체계적으로 검토하여 우리 실정에 맞는 검증시스템의 구축을 추진 중에 있다[1]. 또한 이와 같은 성능검증 시스템을 통해 검증이 완료된 궤도구조 가운데 특정 프로젝트에 적합한 궤도구조를 선정하기 위한 과정도 중요한데 이를 위해 LCC 개념을 포함한 경제성 및 유지관리 측면을 비교, 분석하는 설계 VE와 기술심의위원회 등의 제도를 갖추고 있다. 본 논문에서는 현재까지 제시된 궤도구조 성능검증시스템의 체계와 절차, 성능시험기준 등을 살펴보고, 각 프로젝트별 궤도구조 선정절차에 대해 간략히 소개하고자 한다.

† 비회원, 한국철도시설공단, 고속철도사업단, 차장  
E-mail : horyle@lycos.co.kr

TEL : (042)607-3944 FAX : (042)607-3939

\* 정회원, 한국철도기술연구원, 초고속열차연구실, 선임연구원

\*\* 정회원, 한국철도시설공단, 철도협력합동처T/F, 차장

\*\*\* 비회원, 한국철도시설공단, KR연구원, 과장

## 2. 궤도구조 성능검증시스템

### 2.1 성능검증 단계와 절차

현재 제시된 성능검증시스템(안)에 따르면 궤도구조는 아래와 같이 3단계의 과정을 거쳐 검증을 거치도록 하고 있다.

(1) 기술요건 적합성 검토 : 주어진 기술요건에 대해 적합성을 검토하는 단계로써 구성품의 성능규격과 성능시험결과, 설계기준 및 궤도구조 성능요건, 상세 설계결과, 설계도면, 시공 또는 설치방법, 유지보수 방법, 기존 시스템 및 타 분야와의 인터페이스 사항 등을 검토

(2) 실내 성능시험 : 구성요소를 조합한 궤도구조 단위의 성능을 실내 시험을 통해 검토하는 단계로써 구성요소 간의 인터페이스를 고려한 조합체로서의 성능 검증이 필요한 경우에 실시

(3) 현장 성능시험 : 현장에서 실제 열차가 주행하는 조건에서 성능 및 적합성을 검증하는 단계로써 실제 열차 주행에 의한 효과, 외기 변화에 따른 영향 등 실내 성능시험에서 성능을 명확히 확인하기 곤란하다고 판단되는 경우에 실시

이상의 체계는 일본이나 독일 등에서 실시하고 있는 검증체계와 기본적인 골격은 유사하다고 볼 수 있다[1]. 기술요건 적합성 검토에서는 설계(개발) 단계에서 해당 궤도구조와 그 구성품이 합리적인 기준과 설계법에 의해 설계되고 구성품의 성능규격을 만족하는지, 시공이나 설치방법, 유지보수개념이 실제로 실현 가능한 것인지, 그리고 기존 시스템이나 타 분야와의 상호관계에서 문제가 충분히 검토되었는지 등을 확인하게 된다. 이를 위해 설계보고서와 구조계산서, 도면을 비롯하여 구성품 성능시험성적서, 공사시방서, 유지보수매뉴얼 등을 검토한다. 시공성 확인을 위해서는 야드에서의 일정 길이 이상의 시험시공을 필요로 한다.

다음으로 실내 성능시험에서는 극한조건에서의 반복하중시험(그림 2) 등을 통해 구성요소를 조합한 상태에서 실제로 궤도구조의 성능을 실험실에서 확인하는 과정을 거치게 된다. 그러나 모든 궤도구조가 성능시험을 거쳐야 하는 것은 아니며 레일체결장치를 비롯한 구성요소 자체의 성능시험은 설계단계에서 이미 실시하기 때문에 유사 사례 등으로 각 구성요소들의 조합체로서의 성능을 충분히 판단할 수 있는 경우에는 실내 성능시험을 면제할 수 있도록 하고 있다(2.3절 참조).

현장 성능시험은 실제로 검토 대상 궤도구조를 현장에 부설하여 성능을 확인하는 단계이다. 현장 성능시험의 목적은 기본적으로는 실 열차하중에 대한 궤도구조의 안전성을 확인하는 것이지만, 기본적인 궤도구조의 구조적 안전성에 대해서는 기술요건 적합성 검토와 실내 성능시험에서 충분히 판단할 수 있기 때문에 실제 상황에서 시공이 원활히 이루어지고 온도도와 습도, 강우와 강설 등 실제 환경에 노출된 상태에서 열차가 운행되는 중에도 기능을 지속적으로 유지할 수 있는가를 확인하는 것이 더 중요하다고 볼 수 있다. 현장 성능시험의 경우에도 이미 검증된 궤도를 통해 성능을 확인할 수 있는 경우에는 현장 성능시험을 면제할 수 있다(2.3절 참조).

이상의 과정을 flow chart로 나타낸 것이 그림 1이다.

### 2.2 기술요건

기술요건은 구성품 성능규격과 설계 요구조건으로 나눌 수 있다. 궤도 구성품은 표 1에서 규정한 해당 성능규격 및 시방기준에 따라 설계, 제작되어야 하고, 성능시험을 통해 그 성능을 검증하도록 하고 있으며, 성능시험은 공인시험기관에서 실시해야 한다. 구성품의 규격은 국내 관련 규격을 우선 적용하되, 국내 관련 규격이 제정되어 있지 않거나 충분한 요건이 제시되어 있지 않은 경우는 국외 규격을 적용할 수 있도록 하였고, 신규 개발품으로 국내외에 아직 규격이 정립되어 있지 않은 경우 또는 관련 규

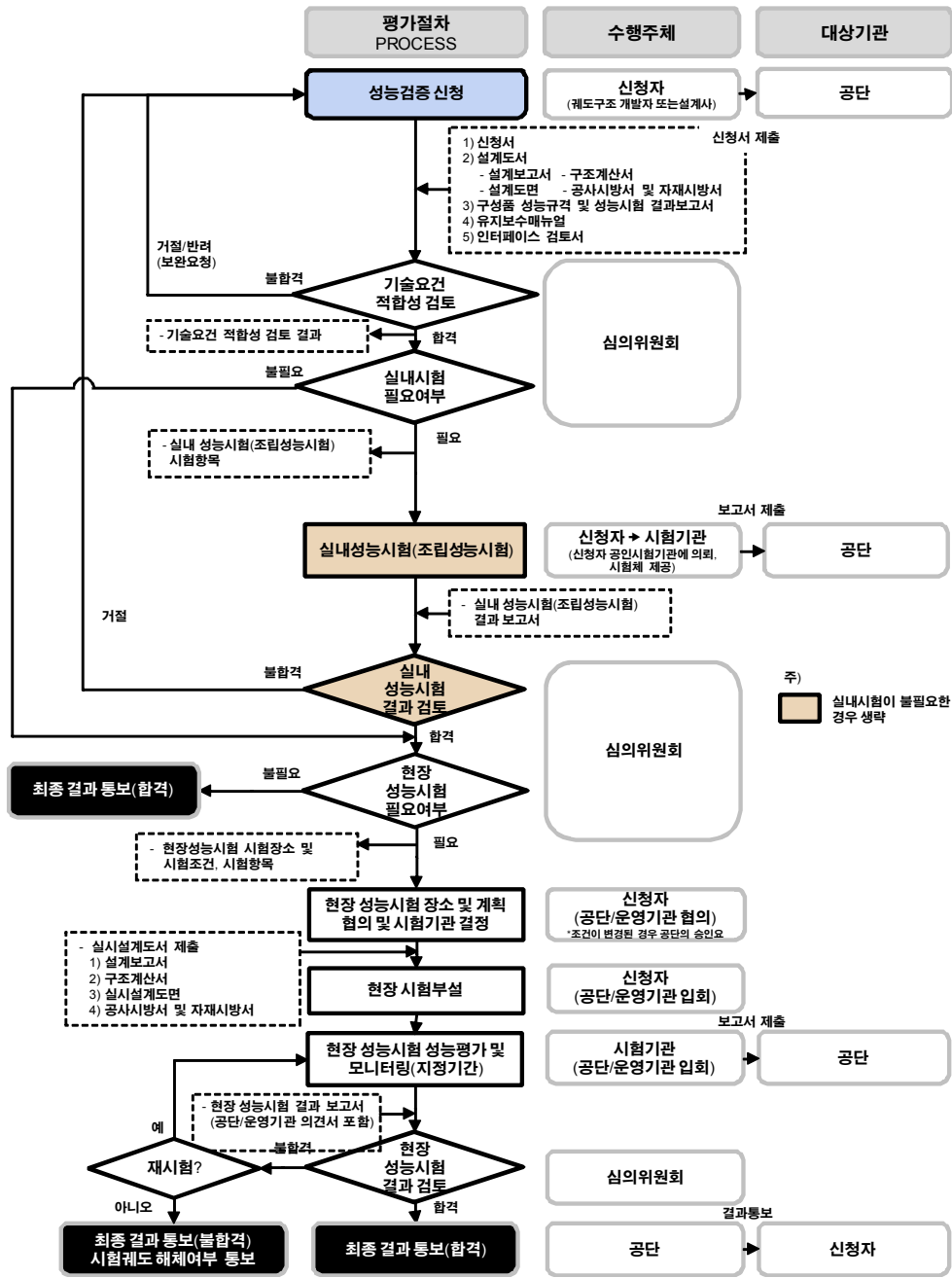


그림 1. 케도구조 성능검증 절차

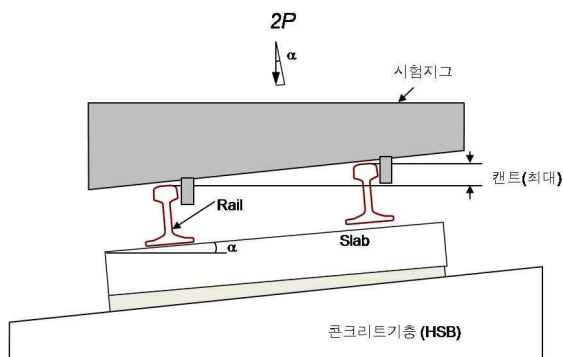


그림 2. 반복하중시험

표 1. 구성품 성능규격

| 구분         | 구성품      | 적용 규격   | 비고(특기사항)                                      |
|------------|----------|---|---|
| 궤도구조<br>일반 | 레일       | 1.1 KRS TR 0001~0006 (국토해양부)<br>1.2 KS R 9106, KS R 9110 (지식경제부)          | -   |
|            | 레일체결장치   | 2.1 레일체결장치 성능시방서(철도시설공단)<br>2.2 KRS TR 0010<br>2.3 EN 13146/EN 13481(CEN) | -   |
|            | 침목(콘크리트) | 3.1 EN 13230(CEN)<br>3.2 PC침목설계시방서(국토해양부)<br>3.3 KRS TR 0008/0009(국토해양부)  | -   |
|            | 자갈       | 4.1 철도용품표준규격 5610-1058 -<br>도상자갈(코레일)                                     | 적용 대상 전로의 규격이<br>별도로 있는 경우는 해당<br>규격 적용       |
|            | 기층재료     | 5.1 철도설계기준(노반편)<br>5.2 고속철도설계기준(노반편)                                      |   |
|            | 노반       | 6.1 철도설계기준(노반편)<br>6.2 고속철도설계기준(노반편)                                      |   |
|            | 기타       | 개발자(궤도구조 공급자) 제시 규격   | 국내외 적용규격이 없거나<br>해당 규격에서 규정하지<br>않는 사항이 있는 경우 |
| 분기기        | 체결장치     | 1.1 레일체결장치 성능시방서 (한국철도시설공단)<br>1.2 EN 13146, EN 13481                     | 주1)   |
|            | 미끄럼상판    | 2.1 레일체결장치 성능시방서(한국철도시설공단)<br>2.2 EN 13146, EN 13481                      |   |
|            | 가드상판     | 3.1 레일체결장치 성능시방서(한국철도시설공단)<br>3.2 EN 13146, EN 13481                      |   |
|            | 분기침목     | 4.1 EN 13230-4  | 주2)   |

주1) 단, 미끄럼상판 및 가드상판에 대한 성능검증 방법 및 기준은 아래의 사항을 우선적으로 적용하여야 한다.

- 피로시험 하중 크기 및 재하 각도는 EN 13481-7:2003 Railway applications Track Performance requirements for fastening system Part 7 : Special systems for switch and crossing and check rails의 기준을 적용한다.
- 패드의 정·동적 수직 강성 시험은 시험의 정확도를 향상시키기 위하여 실제 적용되는 베이스플레이트와 레일을 조립하여 시험할 수 있다.
- 체결력 시험시 비대칭 클립에 의해 체결된 경우에는 체결장치 변위량  $d_0 \geq 4\text{mm}$ 의 기준은 적용하지 않는다.

주2) 콘크리트 도상에 의해 전면 지지되어 분기침목의 휨 변형이 미소한 궤도구조 이외에 적용한다.

격이 있더라도 해당 규격에서 규정하지 않은 사항에 대해서는 개발자가 제시한 규격을 적용할 수 있도록 하고 있다.

설계 요구조건으로는 궤도구조 일반과 분기기로 구분하여 제시하고 있는데 공통사항으로는 적용 기준과 설계하중이 있다. 적용기준은 콘크리트궤도 일반 설계요건, 접속부 설계지침, 궤도/교량 종방향 상호작용 해석지침, 콘크리트궤도 교량 단부 궤도 사용성 검토 지침 등 철도시설공단에서 최근 제시한 궤도 관련 기준과 철도설계기준, 콘크리트구조설계기준 등 국내 설계기준 외에 유럽표준규격(eurocode) EN 1990(+A1)[2], EN 1991-2[3], EN 1992-1-1[4] 등과 DIN 1045-1[5] 등도 함께 적용할 수 있도록 했다. 설계하중도 기본적으로는 이러한 설계기준을 따르도록 하되 궤도에 작용하는 하중은 별도로 산정하도록 하고 동적충격율(충격계수) 등에 대해서는 새로운 가이드라인을 제시하였다.

궤도구조 일반에 대해서는 구성요소의 허용응력, 종방향 및 횡방향 저항력 기준 등과 궤도-교량 상호작용에 대한 설계요건 등을 제시하였고, 분기기의 경우는 분기기 선형, 구조적 안전 및 차량/분기기 상호작용에 관한 설계요건을 제시하였다.

### 2.3 개량의 범위와 성능검증 대상의 선정

앞서 실내 성능시험과 현장 성능시험의 필요성을 판단하는 과정에서도 언급했듯이 검토 대상의 궤도가 기존에 이미 성능이 입증된 궤도구조를 개량한 것인지 아니면 새로운 궤도구조로 보아야 하는지, 또는 개량을 했다면 어느 정도의 수준으로 개량한 것인지 그 경계가 모호한 경우가 많다. 따라서 어느 정도 가이드라인을 제시할 필요가 있다. 우선 궤도구조는 그 개량의 범위에 따라 아래와 같이 구분한다.

#### 가) 기존 궤도구조(V)

운행선에서 기 운영된 실적을 보유하고 궤도 구성요소를 포함하여 그 성능이 검증된 궤도구조(다만 속도와 적용 구간 등 적용 범위가 현저히 다른 경우는 해당되지 않는다)

#### 나) 개량형 궤도구조(R)

- ① 단순 개량형(R0) ~ 궤도구조와 이를 구성하는 요소의 기능 또는 그 기능을 발휘하는 구조적 원리(하중 전달 구조 등)의 변경 없이 단순한 형상 또는 치수, 규격 등이 변경된 경우, 궤도구조의 기능에 큰 영향을 주지 않는 일부 구성품이 변경된 경우
- ② 중요 개량형(R1) ~ 궤도구조와 이를 구성하는 요소의 기능 또는 그 기능을 발휘하는 구조적 원리의 변경을 동반하는 주요 구성품의 형상 또는 치수, 규격 등이 변경된 경우, 궤도구조의 기능에 중요한 영향을 미치는 주요 궤도 구성품이 변경된 경우

#### 다) 신규 궤도구조(N)

새로운 궤도구조로서 궤도구조 자체의 기능 또는 기능을 발휘하는 메커니즘이 기존 궤도구조와 달리 새롭게 개발된 경우

기본적으로는 신규(N) 궤도구조 또는 중요 개량형(R1) 궤도구조의 경우는 성능검증의 대상으로 보아 변경된 구성요소의 종류와 개량의 범위와 수준을 고려하여 성능검증 항목을 결정하고, 기존 궤도구조(V)와 단순 개량형(R0)의 경우는 성능검증의 대상으로 하지 않고 일반적인 설계 변경의 수준에서 검토할 수 있도록 하였다. 다만 국외에서 적용 실적이 있더라도 국내에서 적용 타당성이 입증되지 않았다고 판단되는 경우 성능검증의 대상으로 할 수 있도록 하여 국외 기술이 잘못 적용되어 문제를 유발하는 사례를 줄이고자 하였다.

또한 개량의 범위를 판단함에 있어 객관성을 높이기 위해 개량형과 신규 궤도구조에 대해서는 구성요소별로 가이드라인을 제시하고 있다. 예를 들어 레일체결장치를 새롭게 개량한 경우 탄성패드의 재질과 스프링상수, 앵커볼트 등 하중전달을 위한 구조가 변경된 경우에는 중요 개량형으로 보아, 구성요소 성능시험 외에도 실내 성능시험 또는 현장 성능시험의 필요성을 검토해야 한다.

### 2.4 실내 성능시험

실내 성능시험은 그림2와 같은 반복하중시험이 가장 기본이 된다. 반복하중시험에서는 모든 구성요소를 결합하여 최대 캔트를 적용하여 경사지게 설치한 후 설계하중( $1\sigma$  수준의 충격 고려)을 5Hz의 빈도로 3백만회 가하여 전반적인 궤도의 응력과 변위를 확인한다(그림 2 참조). 이 밖에도 고려해야 할 시험항목으로 궤간확대시험과 업리프트 시험, 횡방향 및 종방향 저항력 시험, 연직크리프하중시험 등이 있다. 그러나 이들 시험항목은 대부분 구성요소 시험에서 확인할 수 있는 것이고 구성요소 시험에서 확인이 곤란한 특별한 경우에 한해 실시한다. 예를 들어 궤간확대시험의 경우에는 레일체결장치 시험에서 실시하는 반복하중시험과 동일한 시험이지만 고무부츠침목(LVT, STEDEF 궤도 등)과 같이 레일체결장치 외에 궤간확대가 가능한 구조로 되어 있다면 고무부츠침목을 설치한 상태에서 별도의 궤간확대시험이 필

요하다. 또한 업리프트 시험의 경우도 레일체결장치의 인발시험에서 확인이 가능하지만 고무부츠침목 궤도나 침목을 슬래브 위에 올려놓고 앵커 등으로 고정하는 구조의 경우에는 별도의 시험이 필요하게 된다. 분기기의 경우는 조립상태에서 크로싱, 텅레일부 등 각 부분에 대한 재하시험(그림 3)과 장애물 검지, 밀착, 전환력 등 조립 동작시험을 실시하게 된다.

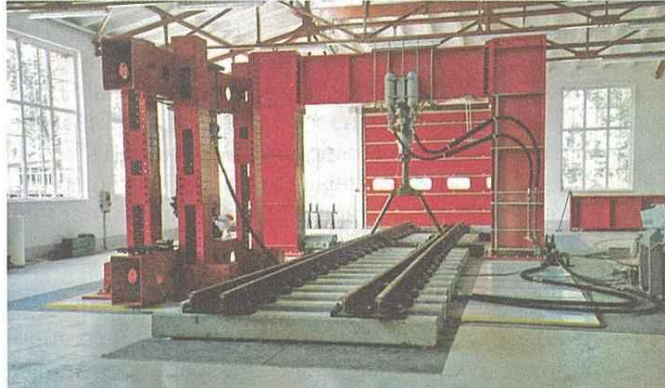


그림 3. 분기기 재하시험[6]

## 2.5 현장 성능시험

현장 성능시험은 현장 주행시험과 모니터링으로 나누고 있다. 현장 주행시험은 시공 직후 최초 1회 실시하고, 운영기간 중 1회 이상, 시험 종료 직전 1회 이상 실시하는 것으로 하고, 열차 주행 시 궤도의 응력과 변위를 측정하여 궤도 기능의 유지여부를 판단한다. 분기기의 경우는 지상측정 외에도 차상측정 데이터도 함께 측정하여 평가하도록 하고 있다. 또한 모니터링 과정에서는 궤도틀림 검측, 균열 및 파손 등 외관상태, 도상 저항력 등을 확인하여 유지보수 수준 등을 종합적으로 평가한다. 분기기의 경우도 궤도틀림 외에 레일마모 및 이빠짐, 포인트부 및 크로싱부 침단 개구값, 포인트부 및 크로싱부 보호값, 포인트부 및 크로싱부 플렌지웨이 폭, 스톨드와 텅레일의 해당 표면 사이의 유격, 텅레일과 기본레일의 접촉 표면 사이의 유격, 밀착쇄정부에서 텅레일과 기본레일의 접촉 표면 사이의 유격, 가드레일 높이, 체결구 상태, 텅레일 직각틀림, 밀림양 등을 관찰한다.

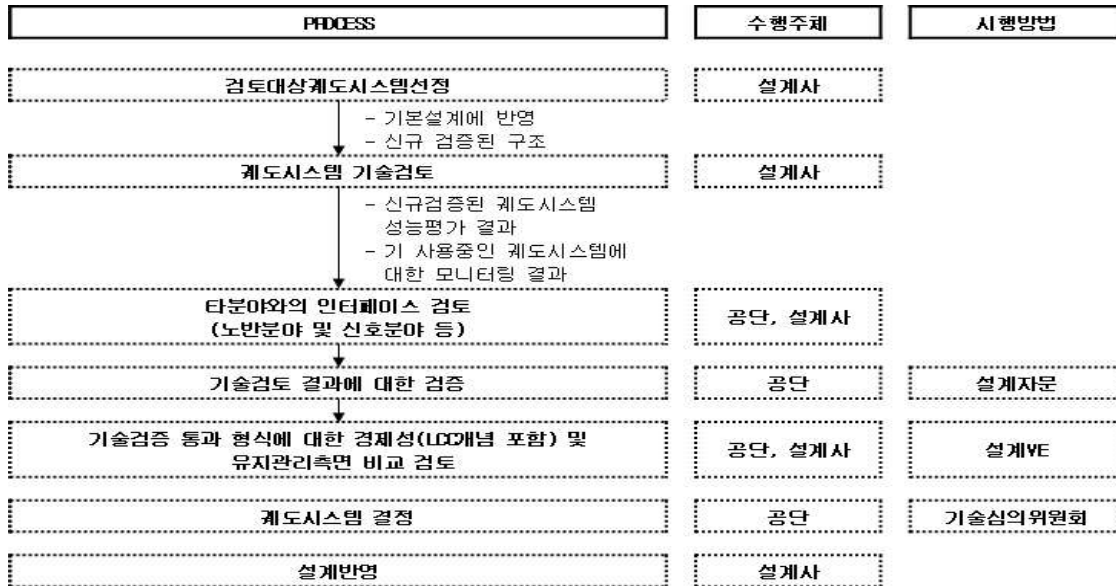
시험장소, 기후조건, 선형조건, 차량조건(축중 등), 최고 운행속도 등 시험조건은 신청자가 제시한 궤도 구조의 적용 범위에 따라 심의위원회에서 정하도록 하고 있다. 시험장소는 각 구성품에 대한 기후조건(우천, 온도변화, 진습반복 등)의 영향을 검토할 수 있는 곳을 기본으로 하고, 특정 개량 요소에 대해 성능 검증이 필요한 구간(토공, 터널 및 교량)으로 한정하되, 가능한한 취약구간이 되는 접속구간을 포함하는 것이 바람직하다. 시험구간의 길이는 각 구간(토공, 터널 및 교량)별 최소 0.5V(단위:m)(V: 구간최고속도, km/h) 이상으로 하되, 시험목적에 따라 조정할 수 있도록 하였다. 또 분기기 현차시험에 적용하는 시험차량은 적용 대상 노선의 대표 차량으로 하되, 만약 혼용노선의 경우에는 가장 극한조건인 차량을 이용하는 것으로 하였다.

현장 성능시험의 기간은 계절의 변화에 따른 영향을 확인할 수 있도록 부설 완료 후 최소 1년 이상으로 하되, 필요한 경우 궤도구조의 특성과 중요도, 시험구간의 통과톤수 등을 감안하여 심의위원회에서 조정할 수 있도록 하고 있지만 충분한 성능검증을 위해 독일과 같이 기간을 2~3년으로 하고 최소 통과톤수도 규정해야 한다는 의견도 있어서 좀더 논의를 거쳐 결정되어야 할 것으로 판단된다.

또 논란이 되고 있는 사항은 고속철도에 시험부설을 하는 것은 사실상 불가능하기 때문에 고속철도에 적용하는 것으로 목표로 하는 궤도구조를 속도 200km/h 미만인 일반철도에서 성능을 검증할 수 있는가 하는 것이다. 속도향상에 따라 궤도구조에 발생하는 영향은 동적충격율(충격계수)로 판단할 수 있으므로, 설계나 실내 성능시험에서 이미 속도에 따른 충격계수가 반영되어 있기 때문에 현장 성능시험에서 이러

한 속도에 의한 하중증가를 판단하는 것은 제한적이라고 판단된다. 현장 성능시험의 목적이 반복하중과 실제 외부 환경에 동시에 노출된 상태에서 궤도구조의 기능유지가 가능한가를 확인하는 것이라고 한다면 일반철도에서도 일정 수준의 성능검증이 가능하다고 본다. 독일에서도 이런 맥락에서 200km/h미만을 목표로 하는 경우는 2년(통과톤수 7천5백만톤), 200km/h 이상을 목표로 하는 경우는 3년(1억5천만톤)으로 규정하고 있는 것으로 판단된다[7]. 이 부분은 앞서 현장 성능시험의 기간과 함께 보다 폭넓은 논의를 통해 국내 실정에 가장 적합한 방향으로 합의를 도출해 나가야 할 것이다.

### 3. 궤도구조 선정절차



### 4. 결론

본 논문에서는 새로운 궤도구조의 도입에 따른 리스크를 최소화하면서 신기술의 도입을 촉진하기 위한 체계적인 검증시스템 구축을 위해 절차와 체계, 기술요건, 성능시험기준 등을 제시하였으며, 프로젝트별 궤도구조 선정을 위한 설계VE와 기술심의위원회를 통한 선정절차를 소개하였다. 합리적인 궤도 성능평가 체계와 선정절차가 구축됨으로써 궤도구조에 대한 연구개발과 새로운 기술의 도입을 촉진하여 국내 철도기술의 발전을 도모할 수 있으며, 최적의 궤도구조를 선정함으로써 철도 경제성과 신뢰성을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 장승엽 외, “새로운 궤도구조의 성능검증을 위한 평가체계 현황,” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2009.
2. EN 1990(+A1), Eurocode - Basis of structural design(including amendment A1:2005).
3. EN 1991-2, Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges.
4. EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
5. DIN 1045-1 Deutsche Norm, Plain, reinforced and prestressed concrete, Part 1: Design and construction.
6. Darr, E. and Fiebig, W., Feste Fahrbahn - Konstruktion, Bauarten, Systemvergleich Feste Fahrbahn - Schotteroberbau, Band 1, Teetzlaff Verlag, 1999.
7. Anforderungskatalog zum bau der feste fahrbahn(AKFF)(고정식궤도 공법에 관한 요구사항 목록), 4th ed., Deutsche Bahn, 2002.