

궤도 설계 단계별 범위 및 기준선

The Base Line of Railway Track Design

이 기 승* 이 현 정** 유 진 영*** 조 영 남***
Lee, Ki Seung Lee, Hyun Joung, Yu, Jin Young, Cho, Young Nam

ABSTRACT

The aims of railway construction have been changed from only building the tracks and other civil works to satisfying the demands for safe, comfort and accurate operating. This trend makes railway construction harmonize with other engineering field such as electricity, signaling and vehicles systemically. It is highlighted that dynamic interaction between wheel and rail interface importantly.

A basic design of track works has a role to describe design standard and technical data for a working design. This must include factors for construction expenses like choice of track system, specification of track material, and decision of construction methods and relevant related facts for civil works and railway systems like layout of station, thickness of track bed, distance of center line, cant, building process.

A working design makes out technical reports for construction work and maintenance. To do this, it include detail design of track system, confirmation of track material, writing out specifications for construction work and drawings, planning the maintaining track etc.

A reference datum for longitudinal design should change to rail level instead of formation level.

A reference line for plane design must be each track center line and from this essential civil reference line will be decided such as formation level, the width of escape way, space for overhead line pole and the dimension of formation at curved and straight line.

1. 서론

궤도는 강(鋼)으로 만들어진 레일을 부설하고 그 위에 차량을 운전하여 여객과 화물을 운송한 설비를 말한다. 궤도선로는 열차 또는 차량을 운행하기 위한 전용통로의 총칭이며 일반적인 구조는 레일과 그 부속품, 침목 및 도상으로 구성되는 궤도와 도상을 직접 지지하는 노반과 이에 부속된 선로구축물로 구성된다. 과거에는 도로교통에서 도로의 역할을 하는 선로를 부설하고 그 위에 여러 가지 동력의 철도 차량을 운전함으로써 궤도의 사명을 감당할 수 있었다. 그 중 궤도는 열차 또는 차량이 주행할 수 있도록 레일, 침목, 도상 및 분기기, 기타재료로 구성되어 열차하중을 직접 지지하고 평탄한 주행로를 제공하는 설비로 그 중요성은 강조된다. 그러나 노반 구조물 위에 수시로 정정과 보수를 전제로 하여 부설하는 설비로서 공사비가 노반 구조물에 비하여 상대적으로 낮다. 따라서 과거부터 궤도 건설이라 함은 공사비에서 큰 비중을 차지하는 노반구조물의 축조를 의미하게 되었다. 그러나 안전과 신속, 정확이라는 철도

* (주)동명기술공단종합건축사사무소 철도부 전무이사, 정회원

** 한국철도시설공단 기술개발팀 부장

*** 한국철도시설공단 궤도기술팀 과장

*** 한국철도시설공단 궤도기술팀 과장

의 사명을 잘 감당하려면 안전 보안기능이 강화되어야 하며 고속으로 운전하는 것 이외에 조용하고 스무스한 승차감의 확보와 더불어 문화적인 기능을 갖는 쾌적한 여행공간의 확보 등으로 철도의 사명이 변화되고 있다. 그러므로 현대에는 철도 건설도 전기, 신호, 차량 등 여러 분야의 기술이 조화롭게 합해 지는 시스템으로 건설되어야 하고 차량과 궤도사이에서 일어나는 동역학적 특성이 중요한 점으로 부각하게 되었다. 이러한 시점에서 과거에 철도건설의 기준선이 되었던 사항들에 대하여 문제점들을 살펴보고 대안을 제시하는 데 본 논문의 목적을 두었다. 본 논문의 범위는 일반철도의 궤도 설계 범위를 두었다.

2. 설계단계별 궤도설계 범위

2.1 설계단계의 구분

토목공사 설계의 단계는 예비타당성 조사, 기본계획 수립, 기본설계, 실시설계의 단계로 이루어진다. 궤도공사의 설계도 동일한 단계가 이루어져야 한다. 그러나 사업은 철도건설이므로 타당성 조사 및 기본계획은 철도 계획분야에서 모든 시스템 분야에 대한 계획을 포함하여 이루어 져야 한다. 그러나 기본설계 및 실시설계는 전문기술을 보유한 기술자가 시행하는 것이 바람직하다. 궤도공사의 기본설계는 노반분야의 기본설계와 같은 시기에 수행되어 궤도분야의 기본 설계에서 결정한 내용들이 노반분야의 기본설계에 반영되어야 할 것이며, 부득이한 경우 시기적으로 동 시기의 시행이 불가하다 하더라도 노반공사의 실시설계 착수 이전에는 궤도공사 기본설계가 마무리 되어 그 내용을 노반공사의 실시설계에는 반영이 되어져야 할 것이다.

예비타당성 조사의 단계는 투자효과를 분석하는 것이 목적이다. 주요 과업내용은 경제여건을 포함한 사회현황조사, 철도 및 도로교통을 포함한 교통조사, 자연 및 생활환경 조사를 시행하여 대안노선의 비교 분석 및 수송량을 검토하여 최적의 노선을 도출한다.

기본설계 단계에서는 설계기준 및 실시설계에 필요한 기술자료를 작성하는 것이 목적이다. 설계기준은 선로설계기준에서 궤간, 곡선반경 및 길이, 캔트, 확폭, 기울기 및 종곡선, 궤도중심간격을 결정하며, 궤도설계기준에서는 궤도 구조, 레일, 침목 등의 궤도재료 사용기준, 장대레일 부설 기준 등을 설정한다. 그러나 선로설계기준에서는 철도건설규칙에서 정하는 사항의 범위를 벗어나지 않는 것이 일반적이므로 그 선로구간에서 나타나는 궤도의 특징을 표현하지는 못하는 실정으므로 궤도 기술자가 이러한 사항들은 지적하여 반영이 되도록 하여야 할 것이다.

실시설계는 시공 및 유지관리 등에 필요한 기술 자료를 작성하는 것이 목적이다. 그러므로 궤도 공사의 순서와 주의사항들을 염두에 두고 필요한 사항들을 검토 반영하여야 한다. 특히 궤도는 변형이 이루어지는 구조물이라는 특성을 알고 경제적이며 과학적인 유지관리를 고려한 설계를 수행하여야 할 것이다.

2.2 궤도공사 설계단계별 범위

예비타당성 조사의 단계는 투자효과를 분석하는 것이 목적이다. 주요 과업내용은 경제여건을 포함한 사회현황조사, 철도 및 도로교통을 포함한 교통조사, 자연 및 생활환경 조사를 시행하여 대안노선의 비교 분석 및 수송량을 검토하여 최적의 노선을 도출한다. 따라서 궤도분야의 조사 범위는 일반적인 사항을 초과하지 않는다. 그러나 타당성 조사를 바탕으로 교통영향조사 및 환경영향 평가가 이루어지므로 환경에 영향을 미치는 소음 진동의 발생검토 및 저감효과에 대한 검토가 이 단계에서 이루어지는 것이 바람직하다고 판단된다.

기본설계 단계에서는 시설물의 규모, 배치, 형태, 개략공사방법 및 기간, 개략 공사비 등에 관한 조사, 분석, 비교검토를 거쳐 최적 안을 선정하고 이를 설계도서로 표현하여 제시하는 설계업무로서 각종사업의 인허가를 위한 설계를 포함하며, 설계기준 및 조건 등 실시설계용역에 필요한 기술 자료를 작성하는 것을 말

한다.

궤도 기본설계는 설계기준 및 실시설계에 필요한 기술 자료를 작성하는 것이 목적이다. 그러므로 궤도공사 기본설계의 범위는 공사비에 영향을 미치는 사항으로 궤도구조 형식, 주요자재 규격, 시공방법을 결정하여야 한다. 또한 노반 및 철도 시스템 설계에 영향을 주는 사항으로 유효장, 안전축선, 차막이, 분기기 등의 배선설계, 궤도구조 단면, 장대레일, 도상 두께 및 바ラスト 매트, 궤도중심 간격, 캔트량, 시공 공정 계획 등을 포함하여야 할 것으로 판단된다. 궤도공사 기본설계 계획은 다음과 같이 시행한다.

- 1) 열차속도 향상에 따른 궤도 구조물 시스템의 보강 개선 방향을 계획한다.
- 2) 여객열차 전용 혹은 여객화물 열차 혼용 운영 등 장래 열차운행 목표와 현재 운행 체계를 고려하여 궤도구조 시스템의 보강 개선방향을 계획한다.
- 3) 노반, 신호 시스템과 궤도시스템, 차량, 전차선 간의 기술적 연계성(interface) 을 검토한다.
- 4) 복선 철도에서 정거장 및 본선 상하선의 건널선 위치 및 통과 속도 등을 검토한다.
- 5) 열차 운행 계획에 따른 정거장 배선계획 및 분기기 구조 시스템을 계획한다.
- 6) 선로 평면 및 종단 선형과 선로 구축물 간의 장대레일에 대한 기술적 연계성(interface)을 검토한다.
- 7) 자갈도상 궤도와 콘크리트도상 궤도의 적용성을 검토하고, 이에 따른 궤도재료 확보와 수송을 검토한다.
- 8) 기존 철도 궤도개량 및 신선 궤도부설공법을 검토하고 기계화방안을 수립한다.
- 9) 기계화공법에 따른 주요장비 소요판단과 확보방안을 검토한다.
- 10) 궤도부설 전진기지 및 보수 유지관리 기지의 위치선정 및 설비체계를 검토한다.
- 11) 궤도구조 시스템에 따른 궤도재료 소요판단과 확보 및 조달방안을 검토한다.
- 12) 도상자갈 규격 및 적합한 자갈 생산의 가능성산선정 및 생산능력과 수송 능력 등을 검토한다.
- 13) 궤도시스템의 구조 기준 및 시공 기준, 유지관리 기준 등 궤도 기술 기준을 검토한다.
- 14) 궤도재료의 규격 기준 및 품질관리 기준을 검토한다.
- 15) 건설 사업 추진 계획에 따른 궤도공사의 시행시기 및 총 공정을 검토토록 계획한다.

실시설계는 기본설계의 결과를 토대로 시설물의 규모, 배치, 형태, 공사방법과 기간, 공사비, 유지관리 등에 관하여 세부조사 및 분석, 비교·검토를 통하여 최적 안을 선정하여 시공 및 유지관리에 필요한 설계도서, 도면, 시방서, 내역서, 구조 및 수리계산서 등을 작성하는 것을 말한다.

기본계획 설계 후 노반공사 실시설계 계획이 변경 조정 될 경우 이에 따라 검토하여 변경조정 설계토록 계획한다.

실시설계는 시공 및 유지관리 등에 필요한 기술자료를 작성하는 것이 목적이다. 그러므로 궤도 구조의 상세 설계, 궤도재료의 규격 확정 및 시방서 작성, 궤도 시공에 필요한 시공도면 및 시방서 작성, 유지관리 계획, 구조, 선형, 축력 등의 각종 계산서 작성, 수량 산출 및 예산서 작성 등 시공 및 유지관리에 필요한 모든 기술 자료를 작성하는 것이 포함되어야 한다.

3. 종단설계의 기준선

3.1 계획고로서의 시공기면

시공기면은 선로 중심선에 있어서의 노반의 높이를 표시하는 표준면을 말한다. 선로의 종단면도를 작성하는 경우 지반고와 계획고를 표시하는 데 계획고는 시공기면(FL)을 나타내고 이 계획고는 단차가 발생하지 않도록 기울기의 변환점에서 다음 기울기 변환점까지 직선으로 이어주는 것이 일반적이다.

계획고를 시공기면으로 결정하는 경우 문제점은

첫째, 도상의 두께가 틀린 경우 레일면의 높이가 다르게 된다.

예를 들면 토공구간에서 자갈도상궤도를 사용하고 터널구간에서 콘크리트 도상을 사용하는 경우 서로 도상 두께가 다르게 되므로 레일면이 약 130mm 단차가 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해소하기 위하여 콘크리트도상을 사용하는 터널에서의 계획고를 FL+130 등으로 표기하여 실제 시공기면과 다른 가상의 시공기면을 계획고로 사용하는 경우가 발생한다.

둘째, 노반상면의 횡방향 기울기가 다른 경우 도상의 두께가 달라지게 된다.

예를 들어 교량구조물의 경우에는 횡기울기가 선로의 중심선이 낮도록 되었고 토공구간의 경우에는 횡방향기울기가 선로중심선이 높도록 되어 있는 경우에 궤도를 부설하는 위치에서의 노반 높이가 다르게 된다. 따라서 같은 두께의 도상을 갖도록 한다면 레일 면고가 상이하게 되므로 도상두께를 조정하게 된다.

셋째, 정거장 구간에서 본선과 측선의 레일면 높이가 다르게 되고(일반적으로 본선은 60kg 레일과 도상두께 300mm 사용하지만 측선은 50kg 레일에 도상두께는 220mm 사용) 본선과 측선이 연결되는 부분에서는 부득이한 기울기가 삽입되어야 한다.

넷째, 승강장의 높이와 전차선의 높이 치수는 레일면을 기준으로 하므로 레일면의 높이가 정확하게 결정되지 않은 상태에서 승강장과 전차선의 높이를 계획, 시공한 경우에는 이의 조정이 불가피하게 된다.

3.2 계획고를 레일면으로 조정하는 경우

종단면도를 토공량 산정의 목적으로 사용하는 경우에는 지반고와 시공기면의 높이가 표현되어 흙쌓기 높이와 땅깍기 높이가 표현되므로 용이하다 하겠다. 이 경우 시공기면을 별도로 표시한다면 계산에 어려움이 없게 된다. 도면 작성기준에는 토목설계에서는 시공기면을 표시하도록 되어있고 궤도공사용 종단면도에는 레일면(RL)과 시공기면(FL)을 표시하도록 되어 있다. 도상두께는 침목하면에서부터 노반면까지의 깊이로 측정한다. 과거 횡단기울기가 없는 경우에는 문제가 없었으나 노반 상면의 횡기울기가 있는 경우에는 위치에 따라 깊이가 다르게 된다. 따라서 어느 위치에서 측정하여야 할 것인가가 문제가 되는데 이 경우 궤도의 중심선에서의 높이로 하는 것이 바람직하다고 판단된다. 왜냐하면 도상의 응력이 가장 크게 작용하는 위치는 레일 직하부이지만 레일 직하부와 궤도중심과의 거리는 750mm이고 수평구배 3%를 고려하면 22mm로서 300mm의 7.5%로서 노반에 미치는 응력의 크기 영향은 거의 없기 때문이다. 또한 시공기면은 선로중심선의 높이보다는 궤도 중심에서의 노반 높이로 합이 바람직하다고 판단된다.

4. 평면설계의 기준선

4.1 계획선형으로서의 선로중심

현재 철도설계의 선로평면도에서 선형은 선로중심선으로 표시하고 있다. 이때의 문제점은

첫째 시공기면의 부족현상이 발생하거나 편기하여 궤도가 부설될 우려가 있다.

단선의 경우에는 궤도 중심선과 선로 중심선은 일치한다. 복선의 경우 직선구간은 두 궤도의 중간선과 선로중심이 일치하지만 곡선에서는 상하의 두 궤도의 중간선과 선로중심선이 서로 다르게 된다. 특히 지하 박스에서와 같이 궤도사이에 기둥, 신호주등의 장애물이 있는 경우에는 상 하선간에 완화곡선의 길이와 이점 길이가 상당히 차이가 발생할 수 있다. 그러므로 곡선에서 선로중심선을 기준으로 측량하여 구조물 축조를 하는 경우 궤도의 중심선 즉 궤도 시공 위치가 노반 시공기면 쪽의 중심에서 한 쪽으로 편기되는 경우가 발생한다.

곡선구간에서 시공기면쪽은 도상의 경사면이 캔트에 의하여 늘어난 폭만큼 확대하여야 하는 것으로 규정되어 있다. 이 규정은 1, 2급선의 경우 최대캔트를 붙이는 경우에 캔트가 붙는 곡선 외측으로 460mm확대시켜야 한다는 것을 의미한다. 곡선 내측에 대하여는 언급이 없으므로 확대하지 않는다. 그러나 캔트가 160mm인 경우 국유철도 건설규칙에 정한 건축한계의 내측 편기량은 384mm이다. 또한 궤도

중심간격도 곡선에서는 넓혀주어야 하며 이 때 궤도사이에 장애물이 없는 경우에는 확대량만을 고려하면 되지만 궤도사이에 기둥이 설치된 경우라면 편기량을 고려하여 더 확대하여야 한다.

그러나 현재는 그 확대량이 크지 않다는 이유에서 무시하거나 선로중심선(측량중심선)에서 양측으로 일정거리를 시공기면쪽으로 결정하여 설계에 반영하는 경우가 종종 있었다. 이 경우 노견이 부족하여 유지관리에 어려움이 발생하거나 전차선 지주설치공간이 부족하게 될 수도 있다.

둘째 궤도의 경합사항의 발생 가능성이 있다.

선로중심선으로 경합사항을 검토하기 때문에 선로 중심선은 경합사항이 발생하지 않는 것이 궤도 설계를 하면 경합사항이 발생하는 경우가 있다. 이는 선로 중심선에서의 선형과 궤도의 선형이 완벽하게 일치하지 않고 완화곡선의 길이, 종곡선의 길이에 분기기의 위치등이 상 하선에 일치하지 않기 때문이다. 따라서 노반 설계에서 검토되었고 시공이 된 경우에도 궤도 설계과정에서 선형에 경합조건에 위배되는 사실이 발견되어 궤도 설계할 때 선형조정을 시행하여야 하는 경우가 발생한다.

4.2 계획선형을 궤도중심선으로 조정

열차는 일정한 궤적으로 운행되는데 엄격히 말하면 선로를 따라 운행되는 것이 아니라 궤도를 따라 운행된다. 복선 또는 그 이상의 궤도가 부설되어 있는 경우 궤도의 중심간격은 위치에 따라 여러 가지 이유에서 변화하므로 선로중심선으로는 궤도의 상황을 판단하기 어렵게 된다. 따라서 노반 시공책임기술자는 궤도의 상황을 정확하게 파악할 필요가 있으므로 평면도에 궤도의 중심선을 표시하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이 경우에는 궤도 중심선이 정확하게 표시되므로 궤도 중심에서 시공기면 도상폭과 통로폭, 울타리 설치공간, 전차선지주 설치 공간 및 곡선부에서의 차량 편기 및 경사등을 확보할 수 있도록 시공기면 폭을 설정하는 것이 용이하다고 판단된다.

5. 결론

철도 건설이라 함은 공사비에서 큰 비중을 차지하는 노반구조물의 축조를 의미하였으나, 철도의 사명이 안전하고 정확하게 고속으로 운전하는 것 이외에 조용하고 스므스한 승차감의 확보와 더불어 문화적인 기능을 갖는 쾌적한 여행공간을 확보하는 것으로 추가되고 있다. 따라서 철도 건설도 전기, 신호, 차량 등 여러 분야의 기술이 조화롭게 합해지는 시스템으로 건설되어야 하고 차량과 궤도사이에서 일어나는 동역학적 특성이 중요한 점으로 부각하게 되었다. 이러한 시점에서 궤도공사 설계단계별 범위를 살펴보고 철도건설의 기준선의 문제점들에 대한 대안을 제시하였다.

본 논문을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 궤도 기본설계는 설계기준 및 실시설계에 필요한 기술자료를 작성하는 것이 목적이다. 그러므로 궤도공사 기본설계의 범위는 공사비에 영향을 미치는 사항으로 궤도구조 형식, 주요자재 규격, 시공방법을 결정하여야 한다. 또한 노반 및 철도 시스템 설계에 영향을 주는 사항으로 유효장, 안전 축선, 차막이, 분기기 등의 배선설계, 궤도구조 단면, 장대레일, 도상 두께 및 바라스트 매트, 궤도 중심 간격, 캔트량, 시공공정 계획 등을 포함하여야 할 것으로 판단된다.
- 2) 실시설계는 시공 및 유지관리 등에 필요한 기술자료를 작성하는 것이 목적이다. 그러므로 궤도 구조의 상세 설계, 궤도재료의 규격 확정 및 시방서 작성, 궤도 시공에 필요한 시공도면 및 시방서 작성, 유지관리 계획, 구조, 선형, 축력 등의 각종 계산서 작성, 수량 산출 및 예산서 작성등 시공 및 유지관리에 필요한 모든 기술 자료를 작성하는 것이 포함되어야 한다.
- 3) 종단설계의 기준선은 시공기면으로 하는 것보다 레일면을 계획고로 하고, 시공기면은 선로중심선의 높이보다는 궤도 중심에서의 노반 높이로 함이 바람직하다고 판단된다.
- 4) 평면설계의 기준선은 선로중심선보다 상·하선 별도의 궤도중심선으로 하고, 궤도 중심에서 시공기면 도상폭과 통로폭, 울타리 설치공간, 전차선지주 설치 공간 및 곡선부에서의 차량 편기 및 경사 등을 확보할 수 있도록 시공기면 폭을 설정하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. VA Profillidis(2000),"Railway Engineering 2nd edition", Ashigate Publishing Limited
2. 須田征男외3(1997), “新しい線路”, 日本鐵道施設協會
3. 이종득(2002),“철도공학”, 노해출판사
4. Coenraad Esveld(2001), “*Modern Railway Track Second Edition*”, Professor of Railway Engineering Delft University of Technology

감사의 글

이 논문은 궤도설계편람작성 용역 수행과정에서 검토된 사항 중 일부를 정리한 논문이며, 궤도설계 편람 작성 용역에 도움을 주시는 모든 분들에게 감사를 드립니다.