

곡선교량의 건축한계와 대피로 간 간섭 분석 및 개선방안

오주한*[†], 변지수*, 김동규*, 김시철*, 허진효*, 이해영**

Ju-Han Oh*[†], Jee-Soo Byun*, Dong-Gyu Kim*, Si-Chul Kim*, Jin-Hyo Heo*, Hye-Young Lee**

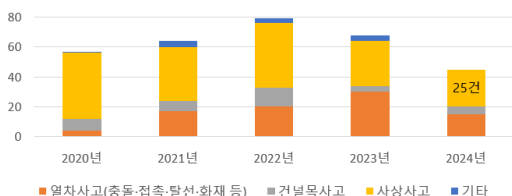
초록 본 연구에서는 곡선교량에서 건축한계와 대피로 간 발생할 수 있는 저축 문제를 분석하고 이를 예방하기 위한 합리적인 개선방안을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 터널 설계에서는 구축 중심 이격거리를 고려하여 곡선구간의 건축한계와 대피로 간 간섭을 사전에 배제할 수 있으나, 교량 설계에서는 이러한 고려가 미흡하여 일부 곡선교량에서 건축한계와 대피로 간 저축이 발생하는 사례가 확인되었다. 특히, 곡선반경, 캔트, 차량 동적거동 등에 따른 건축한계 확대를 고려하지 않을 경우, 대피로 확보 기준과 충돌할 가능성이 높다. 이에 본 연구에서는 곡선교량 설계 시 발생할 수 있는 저축 문제의 실태를 검토하고, 기준적 측면에서는 철도설계 참고도 개정, 설계적 측면에서는 구축 중심 이격거리 적용 등을 통해 간섭을 배제할 수 있는 개선방안을 제시하였다.

주요어 : 곡선교량, 건축한계, 대피로, 구축중심 이격거리, 철도설계, 안전성, 철도교통사상사고

1. 서론

철도는 열차 주행 중 예기치 못한 장애물을 발견하게 되더라도 비상제동 외에는 도로와 달리 정해진 궤도를 이탈하여 그 장애물을 피하는 등 철도사고를 피할 방법이 없다.

철도사고 중 이러한 열차의 운행으로 인해 여객, 공중(公衆) 또는 직원이 사망하거나 부상을 당하는 사고를 ‘철도교통사상사고’로 정의하는데, [그림1]과 같이 총 철도사고 중 절반 이상을 차지하고 있으며 작년에만 25건이 발생하여 그 중 17명이 안타까운 생명을 잃었다.



[그림1] 철도사고 현황(2020~2024)

이와 같이 철도사고는 재산 손실 뿐만 아니라 사망을 포함한 인명피해를 동반할 확률이 매우 높으므로 철도사고를 예방하기 위해 계획단계에서부터 운영단계에 이르기까지 전 단계에서 안전한 철도환경 구축을 위해 노력하여야 한다.

이에 따라, 본 논문에서는 이러한 철도교통 사상사고를 예방하기 위하여 정해놓은 각종 기준의 적정성을 검토하고 실제 적용 현황을 점검하여 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 기준 현황

철도건설규칙, 철도차량 기술기준, 철도설계 기준에서는 각각 건축한계, 차량한계 및 대피로를 규정하고 있는데, 공통점은 실제 구조물이 아닌 일정한 공간으로서 그 안으로 장애물 등이 침범할 수 없도록 설정하여 열차 주행 및 유지·관리업무 수행자 등의 안전을 확보한다.

특히, 차량한계는 차량의 정적한계를 고려한 너비 및 높이의 한계이며, 차량의 최대변위, 차량의 마모, 틸팅각 등 모든 경우의 동적거동이 건축한계 내에 있도록 설계되어야 한다.

† 교신저자: 국가철도공단 SE융합본부 인프라 기술처(jhoh@kr.or.kr)

* 국가철도공단 SE융합본부 인프라기술처

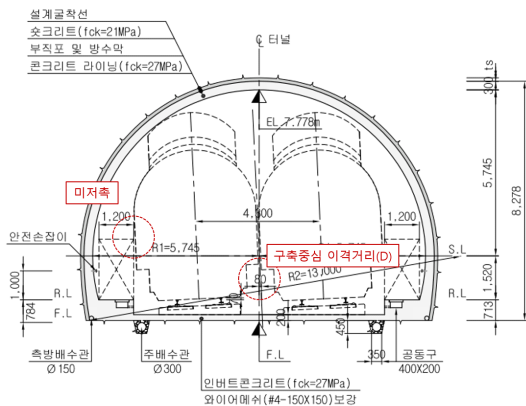
** 국가철도공단 건설본부 PM관리단

2.2 설계 현황

2.2.1 터널 설계

터널단면 결정 시에는 건축한계, 궤도중심 간격, 방재·배수, 공동관로 및 대피로 뿐만 아니라 공기저항 및 공기압 변화와 차량 밀폐도, 승차감 및 미기압과의 영향 등 안정성, 시공성, 경제성 및 유지관리성을 종합적으로 고려하여 [그림2]와 같이 표준단면도를 작성한다.

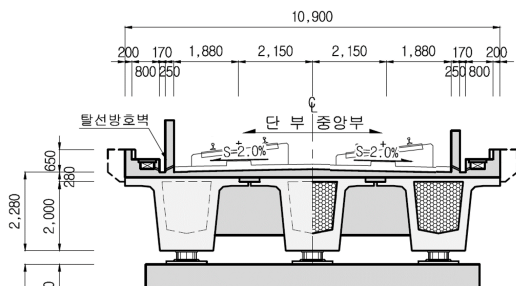
특히, 곡선구간의 건축한계는 캔트 및 슬랙 등을 고려하여 확대하여야 하며 캔트의 크기에 따라 경사시켜야 하는데, 이 때 터널 내측단면이 과도하게 확대되는걸 방지하기 위하여 구축중심을 선로중심선 내측으로 이격(이하 “구축중심 이격거리(D)”)한다. 이렇게 작성된 표준단면도에서 육안으로 손쉽게 건축한계와 대피로 간에 저축 여부 확인이 가능하다.



[그림2] 터널 표준단면도(○○선 ○공구)

2.2.2 교량 설계

교량의 폭도 터널단면 결정과 유사하게 설계 하는데, 터널 설계와 다른 점은 [그림3]과 같이 건축한계 및 대피로를 별도로 도면에 표현하지 않으며, 곡선교량이라 하더라도 구축중심 이격거리(D)를 적용하지 않는다.



[그림3] 교량 횡단면도(△△선 △공구)

2.3 문제점

2.3.1 건축한계와 대피로 간 저축

앞서 기술한 바와 같이, 육안으로 확인되지 않았던 곡선교량에서 건축한계와 대피로 간 저축여부를 검토한 결과, 대피로를 최소기준 (0.7x2.0m) 이상으로 확보하더라도 [그림4] 및 [표1]과 같이 건축한계와 대피로 간 저축이 발생하여 철도교통사상사고를 완벽하게 예방할 수 없는 것으로 확인되었다.

$$\begin{aligned} \text{곡선내측(확대)} &= \frac{\text{건축한계 폭}}{2} + W + B \\ &= 2,100 + \frac{50,000}{R} + \frac{1,679}{1,500} C_a \end{aligned}$$

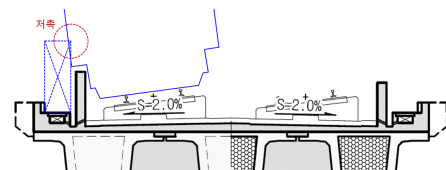
여기서, W : 곡선에 따른 확대량(mm)

B : 곡선 내측 편기량(mm)

R : 곡선반경(m)

C_a : 설정캔트(mm)

1,679 : 대피로 높이(2,100mm)에 대응하는 건축한계 높이



[그림4] 곡선교량 건축한계와 대피로 간 저축(예시)

<표1> 곡선교량 건축한계와 대피로 간 저축량

구 분	R	C _a	궤도중심 ~대피로	건축한계 확대폭	저축량
☆☆교	1,200	180	2,300	2,343	43
○○교	800	160	2,300	2,342	42
◇◇교	3,100	140	2,130	2,273	143
□□교	3,500	120	2,130	2,249	119
△△교	10,000	70	2,130	2,183	53
▽▽교	5,000	120	2,130	2,244	114

2.3.2 저축에 대한 논란

건축한계와 대피로 간 저축에 대한 논란도 존재하는데 그 내용은 다음과 같다.

- ① 공동관로 상부 외측에서부터 최소폭(0.7m)만을 대피로로 볼 경우 건축한계 미저축
- ② 차량한계에는 저축되지 않으므로 안전함
- ③ 대피로는 구조물이 아니므로 기준 미위배

그러나, 실제 대피로를 이용하는 작업자 등이 최소폭을 정확히 인지하고 자발적으로 행동 반응을 최소폭에 맞추어 제한할 것이라고 가정하기는 어렵다. 따라서, 공동관로 상부 전체 폭을 대피로로 간주하는 것이 보다 합리적이다.

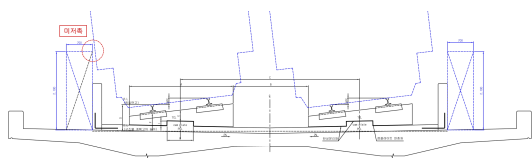
또한, 차량한계는 차량이 궤도 위에 정지된 상태에서 측정하는 정적한계로서 동적거동이 발생할 경우 차량이 차량한계를 벗어나 건축한계까지 미칠 수 있으므로 저축 여부는 차량한계가 아닌 건축한계를 기준으로 보아야 한다.

아울러, 건축한계 및 대피로의 취지(열차 주행 및 작업자 등의 안전확보)와 설계기준에서 대피로를 대피 ‘시설’로 정의하고 있음을 고려할 때, 대피로는 구조물에 준하는 시설로 보는 것이 안전확보 측면에서도 타당하다.

2.4 개선 방안

2.4.1 기준 측면

곡선구간 건축한계와 대피로 간 저축이 발생하고 있음에도 그간 개선이 이루어지지 않은 주요 원인은 설계사 뿐만 아니라 발주처, 시공사, 감리단에서 해당 내용을 인지하지 못 하였기 때문인 것으로 추정된다. 이에 따라, 설계 시 저축 여부를 손쉽게 확인할 수 있도록 철도설계참고도(KRDR, Korea Rail Drawing Reference)의 교량편을 [그림5]와 같이 개정 중에 있다.



[그림5] 철도설계참고도 개정(안)

2.4.2 설계 측면

곡선교량에서 건축한계와 대피로 간 저축을 배제하기 위해서는 <표2>와 같이 대피로를 곡선 내측으로 또는 건축한계를 곡선외측으로 이동시켜야 한다.

전자는 탈선방호벽의 위치를 곡선내측으로 밀거나, 탈선방호벽 자체의 두께를 키우거나, 배수로의 폭을 확대함으로써 위 조건을 만족시킬 수 있는데, 탈선방호벽은 탈선 초기 열차의 수평 이탈을 제어할 수 있는 적정 위치에 설치되어야 하므로 위치 이동에 한계가 있으며,

두께증가는 공사비 증가를 동반하고, 배수로 폭 확대는 작업자 발빠짐 등 또 다른 문제가 발생할 수 있으니 유의하여야 한다. 실제로 현장에서는 발빠짐 문제를 해결하기 위해 개구부에 스틸 그레이팅을 설치한 사례가 있는데, 이는 대피로가 곡선내측으로 다시 확대되는 결과를 초래한다.

후자는 터널 설계 시 사용하는 구축중심 이격거리(D)를 곡선교량에도 적용함으로써 해결할 수 있는데, 이는 전자와 달리 공사비의 증가를 동반하지 않아 가장 합리적인 방법으로 보여진다. 다만, 구축중심과 선로중심선이 일치하지 않게 되므로 시공 시 유의할 필요가 있으며, 구조적으로 문제가 없는지 별도 검토가 필요할 것으로 판단된다.

<표2> 건축한계와 대피로 간 저축 배제방안

구 분	방 안	특 징
대피로 이 동	탈선방호벽 밀기	위치이동 한계
	탈선방호벽 두께 증가	공사비 증가 수반
	배수로 폭 증가	발빠짐 우려
건축한계 이 동	구축중심 이격거리 적용	시공 시 유의, 구조검토 필요

3. 결 론

본 연구에서는 곡선교량에서 건축한계와 대피로 간 저축 가능성이 존재하여 안전 확보에 한계가 있음을 확인하였으며, 이에 대한 개선방안으로 철도설계참고도의 개정과 함께 구축중심 이격거리 적용이 가장 합리적인 대안임을 제시하였다.

본 연구 결과는 향후 곡선교량에서의 철도 사고를 예방하고 보다 안전한 철도 인프라 구축에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 국토교통부 (2025) 철도건설규칙
- [2] 국토교통부 (2025) 철도의 건설기준에 관한 규정
- [3] 국토교통부 (2024) 철도차량 기술기준
- [4] 국토교통부 (2024) KDS 47 90 10 철도시설 설치 및 유지관리기준
- [5] 국가철도공단 (2025) KR C-02010 철도계획
- [6] 국가철도공단 (2025) KRDR C-02030 노반계획 및 설계일반