

철도교의 지진격리받침 적용에 대한 고찰



오영석
한국시설안전공단
일반철도실 실장
T.031.910.4088
oys8565@kistec.or.kr



황선근
한국철도기술연구원
책임연구원
T.031.460.5310
skhwang@krii.re.kr



이희현
씨티씨주식회사
대표이사
T.031.477.5182
lhh@ctceng.co.kr



이영일
씨티씨주식회사
이사
T.031.477.5182
lyi201@ctceng.co.kr

1. 서론

최근 우리나라 뿐 아니라 전 세계적으로 지진에 대한 공공시설물의 안전성 확보 방안에 대한 관심이 높아지고 있다. 비록 현재까지 우리나라의 경우에는 지진에 의한 피해 사례가 보고된 바는 없으나, 가까운 장래에 일어날지도 모르는 지진에 대비하기 위하여 상당한 비용을 들여가며 공공시설물의 지진에 대한 안전성 확보에 노력을 기울이고 있다.

특히 공공시설물 중 철도교량의 경우에는 열차의 고속성 등을 감안할 때, 적절한 내진성능이 확보되어 있지 않으면 지진에 의해 열차와 교량 뿐 아니라 상당한 인명피해도 예상되기에 최근 개정된 철도설계기준(노반편)[한국철도시설공단, 2011]에서는 내진1등급 교량의 경우에 설계지진의 평균재현 주기를 1,000년, 가속도계수는 0.154로 상향하여 구조물의 진동특성(고유주기)를 고려하여 응답스펙트럼해석법에 의해 설계하도록 명시하고 있다. 그리하여 고속철도교량의 경우 설계당시의 시방서[고속전철사업기획단, 1991]에 의한 지진력과 현행 설계기준에 의한 지진력을 비교해 보면 최대 약 6배까지 지진력이 커지는 등 지진에 대한 기준이 매우 엄격해졌음을 알 수 있다. 이러한 사실을 고려하여 한국철도시설공단[2013]에서는 고속철도 뿐 아니라 일반철도용 교량들의 지진에 대한 안전성 확보 방안을 수립하고, 순차적으로 내진성능 확보를 위한 보강공사를 진행할 예정으로 알려져 있다.

철도교의 내진성능을 확보하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 특히 지진격리받침을 적용하고자 하는 경우에는 아직까지 논란이 되고 있는 실정이다. 이에 본 고에서는 철도교에 지진격리받침을 적용하고자 하는 경우 어떤 사항에 대하여 검토가 이루어져야 하는지 살펴보고, 실제 적용하는 경우에는 어떻게 시공해야 하는지 논의해 보고자 한다.

〈표 1〉 기존 철도교량의 내진보강방안

구분	개요도	보강개요	보강범위	공법특성		
				구조	시공	경제
지진격리받침		• 지진력 소산	• 받침 • 교각 • 기초	양호	보통	보통
감쇠기		• 지진력 소산	• 받침 • 교각 • 기초	양호	양호	보통
충격전달장치		• 지진력 분산	• 받침 • 교각 • 기초	양호	양호	보통
직접보강	내진받침	• 지진력 저항	• 받침	양호	보통	양호
	전단키	• 지진력 저항	• 받침	양호	양호	양호
	교각보강	• 지진력 저항	• 교각	양호	보통	양호
	기초보강	• 지진력 저항	• 기초	보통	보통	보통

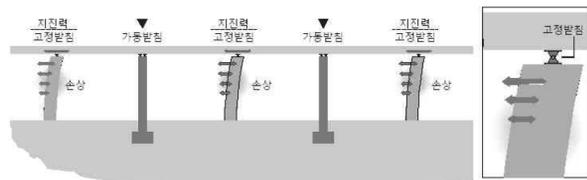
2. 철도교량의 내진보강 방법

현재, 기존 철도교량에 적용하고 있는 대표적인 내진보강 방법으로는 <표 1>에 나타난 바와 같이, 기존 구조물의 구체를 직접 보강하는 방법, 내진 또는 지진격리받침을 사용하는 방법, 감쇠기를 사용하는 방법 등이 있다. 이러한 방법들은 모두 각각의 장단점을 가지고 있으므로 실제 적용하고자 하는 철도교량의 형식과 특성을 파악하고, 적용시 어떠한 방법이 최선인지 충분한 검토를 한 후 내진보강 설계를 하고 있는 실정이다.

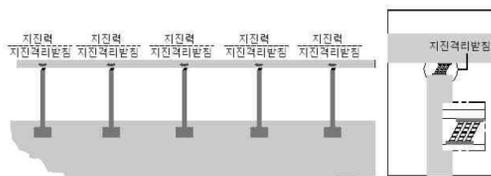
3. 철도교에서의 지진격리구조 적용

일반적으로 철도교의 경우는 도로교와 달리 교량 상부 그리고 교량 전후에 선로(궤도구조)가 존재하기 때문에, 상시 열차가 통과하는 경우나 지진시에 열차와 궤도, 궤도와 교량은 상호간의 작용을 하게 된다.

최근 들어 공용중인 교량의 내진성능 확보를 위해 많은 검토가 이루어지고 있는 지진격리받침(지진격리구조)은 지진시 구조물의 진동주기를 높여 줌으로써 하부구조로 전달되는 지진력을 감소시키는 구조형식이라 할 수 있는

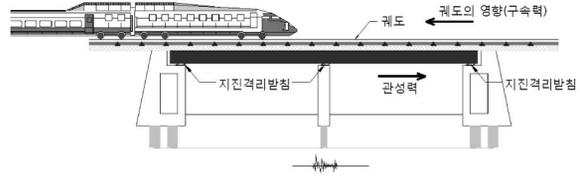


(a) F·M 방식에 의한 받침배치시 지진력 전달 구조



(b) 지진격리받침 배치시 지진력 전달구조

<그림 1> 도로교의 받침종류에 따른 지진력 전달 구조 비교



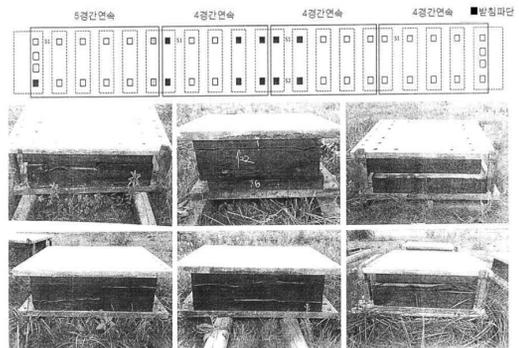
<그림 2> 철도교에 지진격리받침 적용시 지진력 전달구조

데, 여기서 진동주기를 높인다는 것은 결국 교량의 받침부를 유연하게 만듦으로써 지진시 교량 상부구조의 큰 변위를 유도하여 지진력을 변위로서 흡수하는 형태를 의미하는 것이라 할 수 있다. 따라서 지진격리받침을 적용하는 경우에는 지진시의 가용 변위량에 대한 검토가 내진성능 확보의 중요한 변수가 된다. 그런데 철도교의 경우에는 도로교와 달리 열차 운행을 위한 궤도, 특히 레일의 영향으로 인해 지진 발생시 교량의 상부구조가 구속되어지므로 지진격리효과를 충분히 발휘할 수 없는 상황이 발생할 수 있는 것이다.

<그림 1>은 도로교에서 받침종류에 따른 지진력 전달 구조를 비교하여 나타낸 것이며, <그림 2>는 지진격리받침을 적용한 철도교에서의 지진력 전달기구를 나타낸 것이다.

4. 지진격리받침의 적용 사례

최근 들어 큰 규모의 지진발생이 많아진 일본에서는 1995년 발생한 한신대지진 이후 도로교를 중심으로 지진



<그림 3> 동일본 대지진시 파손된 지진격리받침 사례

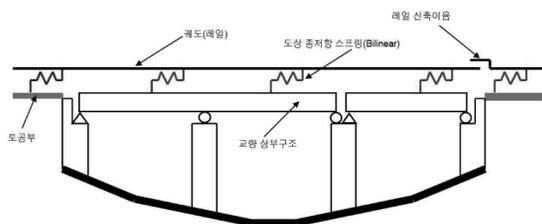
격리받침(적층고무받침)을 많이 적용하였으나 2011년 동 일본대지진시 지진격리받침이 파손되는 사례가 언론매체 등을 통해 다수 보고되면서(그림 3 참조) 관련분야 전문가 들은 이러한 피해의 원인을 지진격리구조에 의한 진동주 기의 부적절함에 기인한 것으로 보고 있으며[高橋良和, 2012], 이러한 내용에 대해서는 국내 신문기사에도 유사 한 사례를 보도한 바가 있다[경인일보, 2012 ; 충청일보 2012].

한편, 일부 문헌[Del Principe Balduino et. al., 2010]에 의 하면, 지진발생시 지진격리받침이 지진격리효과를 충분 히 발휘하기 위해서는 교량 상부구조의 큰 변위를 허용해 야 하는데, 도로교와는 달리 철도교의 경우에는 이러한 변 위가 궤도에 의해 억제되어 변위 허용에 한계가 있기 때문 에 지진격리받침은 전 세계적으로 도로교에만 주로 적용 되어 오고 있을 뿐 철도교의 적용은 제한적으로 실시되고 있는 것으로 알려져 있다.

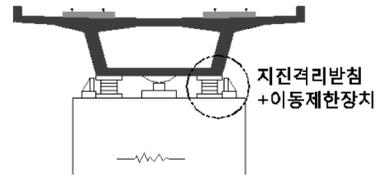
5. 철도교에 지진격리받침 적용시 유의사항

현행 철도설계기준(노반편)[한국철도시설공단, 2011] 의 내진설계편에 의하면 지진시 궤도가 교량에 미치는 영 향을 어떻게 고려해야 하는지에 대해서 상세한 언급이 없 으며, 철도설계지침(노반편)[한국철도시설공단, 2011]에 는 <그림 4>와 같이 궤도-교량 상호작용 모델에 대한 간단 한 언급이 있을 뿐 실무자들이 지진시 거동을 해석할 수 있 을 정도의 상세한 설명은 없는 실정이다.

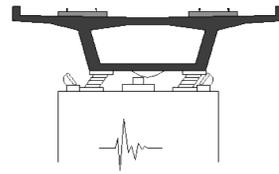
한편, 철도교의 경우에는 설계 지진하중 작용시의 안전 성 확보도 중요한 사항이지만 그 보다 우선적으로 고려되



<그림 4> 궤도-교량 상호작용 모델의 구성(철도설계지침)



(a) 상시 및 중소규모 지진시



(b) 대규모 지진시

<그림 5> 교축직각방향 이동제한장치의 기능

어야 할 사항은 공용중 및 중·소규모의 지진시에 열차의 주행성 확보를 통한 안전운행이라 할 수 있을 것이다. 따 라서 이를 위해서 받침부에는 열차의 사행동(hunting movement)으로 인한 교축직각방향으로의 변위를 구속하 기 위하여 이동제한장치의 설치가 필수적이라 할 수 있다. 즉, <그림 5>와 같이, 대규모 지진 발생시에는 이동제한장 치가 파괴되면서 교량 상부구조의 변위를 허용하는 지진 격리구조화 형태가 되어야 하고, 상시에는 이동제한장치 에 의해 열차의 주행안전성을 확보할 수 있도록 장치의 이 증화가 필요하다. 또한 이동제한장치는 대규모 지진 발생 에 의해 확실하게 파괴되는 것도 중요하다고 할 수 있겠으나 이동제한장치의 파손에 이어 교량의 상부구조가 급격 하게 지진격리화 됨으로써 큰 변위가 발생하지 않도록 이 동제한장치의 소성화가 서서히 진행되도록 조절하는 것도 교량 상부구조의 안전성 확보에 매우 중요하다고 할 수 있 다[家村浩和, 2008].

국내에서는 1999년에 전면 재 가설된 당산철교의 경우 전술한 철도교 지진격리구조의 특수성을 고려하여 <그림 6>과 같이 교축직각방향으로 이동제한장치가 부착된 지 진격리받침이 적용된 바가 있으나, 국내외에 발표된 자료 나 적용사례 등을 살펴볼 때 교량의 형식에 따라 특히 철도 교의 경우에 지진격리받침을 적용하기 위해서는 많은 연

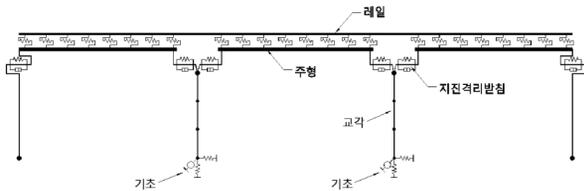


<그림 6> 당산철교에 적용된 지진격리받침

구가 필요하다는 것과 해결해야 할 과제가 많다는 것을 알 수 있다.

앞서 언급한 사항들을 고려하여 공용중인 철도교 특히 열차의 운행속도 및 수송집중도가 높은 기존의 고속철도교에 지진격리받침을 적용하고자 하는 경우에는 다음과 같은 사항이 충분히 검토되어야 할 것이다.

- 1) 현재 국내에는 받침교체를 위한 설계기준 뿐만 아니라 안전시공을 위한 시공지침 등이 전무한 상황임에도 불구하고, 기존 시설물의 내진성능 확보를 위한 받침 교체공사가 이루어지고 있는 실정이다. 특히 고속철도의 경우에는 시공중 안전사고 예방을 위해 받침 교체공사는 반드시 받침교체를 위해 작성된 설계기준과 시공지침에 따라서 실시되어야 하므로 이에 대한 연구가 시급하다.
- 2) 지진격리받침을 적용한 경우 상시에 구조물의 유연성(flexibility)이 증가하여 변위가 커지게 되므로 사용성 및 주행안전성 기준을 만족하지 못하는 문제가 발생할 수 있으므로 다양한 경우의 실험 등을 통하여 열차-궤도-교량의 상호작용을 고려할 수 있는 동적해석 모델을 개발하고 이를 통하여 충분한 사전검토를 실시하여야 할 것이다. <그림 7>은 지진격리받침 적용시 궤도-교량의 동적상호작용을 고려할 수 있는 모



<그림 7> 궤도-교량 동적상호작용 해석모델의 일례

델의 사례를 나타낸 것이다.

- 3) 또한 공용중인 시설물의 특성을 감안해 공사 전·중·후 열차운행시 발생하는 받침부의 종·횡·연직 변위를 지속적으로 측정하고 비교분석하여 받침교체로 인한 영향을 면밀히 검토하여야 할 것이다.
- 4) 지진 발생시 궤도 특히, 레일의 영향으로 인해 주형과 주형사이 그리고 주형과 교대사이의 변위가 구속되어 지진격리효과를 발휘할 수 없는 경우가 발생하게 된다. 따라서 2)항에서 언급한 모델을 사용하여 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.
- 5) 공용중 및 중·소규모의 지진발생시에 열차주행성을 확보하기 위하여 받침부에는 교축직각방향으로 이동제한장치의 설치가 필수적이며, 대규모 지진 발생시에는 이동제한장치가 파괴되면서 교량 상부구조의 변위를 허용하는 지진격리구조화 형태가 됨으로써 하부구조의 손상을 줄이는 구조가 되도록 계획하여야 한다. 이때 이동제한장치는 대규모 지진 발생에 의해 확실하게 파괴되는 것도 중요하다고 할 수 있겠으나 이동제한장치의 파손에 이어 교량의 상부구조가 급격하게 지진격리화됨으로써 큰 변위가 발생하지 않도록 이동제한장치의 소성화가 서서히 진행되도록 조절하는 것도 교량 상부구조의 안전성 확보에 매우 중요하다.

6. 맺음말

본 고에서는 내진성능 확보를 위해 기존 철도교량을 지진격리구조화하는 경우 어떤 사항이 문제가 되므로 무엇을 검토해야 하는지 등에 대하여 살펴보았다.

결론적으로 말하자면 철도교를 지진격리구조화 할 수 없는 것은 아니므로 적용에 앞서 공용중인 대상 구조물의 특성을 고려한 충분한 검토와 함께 적용시에 수반되는 다양한 문제점들에 대한 해결책을 강구해야 한다는 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 현재 국내에서 철도교에 지진격리구조를 적용하기에는 대상시설물과 지진격리구조간의 거동 특성 등에 대한 기반 연구가 충분치 않고, 공용중인

대상구조물에 적용하는 방법 및 공사중 운행선의 안전성 확보방안 등에 대한 기준이 미흡한 상황이므로 향후 공용 중인 기존 철도교량에 지진격리받침을 사용하여 내진보강을 실시하는 경우에 대한 많은 연구와 사례분석 등이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

최근 국내외적으로 지진발생에 따른 국민적 관심이 고조되고 있는 상황에서 공용중인 사회기반시설의 내진성능 확보를 위한 다양한 노력은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 하지만 무엇보다도 중요한 것은 현재 공용중인 상태에서의 대상구조물의 안전성이 전제되어야 한다는 사실과, 많은 적용 사례를 통한 결과의 신뢰도를 담보할 수 있는 경제적인 방안의 적용이라 할 수 있으므로 이에 대한 기술자들의 관심과 아울러 많은 연구를 기대하는 바이다. ☺

♣ 참고 문헌

- [1] 한국철도시설공단(2011), 철도설계기준(노반편)
- [2] 고속전철사업기획단(1991), 고속철도 콘크리트구조물(RC 및 PC) 설계표준시방서
- [3] 한국철도시설공단(2013), 고속철도 기존시설물 내진성능평가 및 보강방안 수립용역
- [4] 한국철도시설공단(2011), 철도설계지침(노반편)
- [5] Del Principe Balduino et. al.(2010), Seismic Performance of Base Isolated Railway Bridges, ECEE 14
- [6] 高橋良和(2012), “地震被害からの教訓と免震・制震構造に関する研究動向”, 發表資料
- [7] 家村浩和(2008), “鐵道施設の高耐震性能化と走行性向上のための免震・制震システムの開發”, 成果報告會資料(鐵道・運送機構)
- [8] 경인일보 2012. 12. 5.
- [9] 충청일보 2012. 1. 8.