

# 강철도교에 대한 외부 후긴장 보강공법의 적용에 관한 연구

## A study on the Steel Plate Girder Railway bridge in the applying External Post-tensioning Method

최정열\*  
Choi, Jung-Youl

박용건\*\*  
Park, Yong-Gul

변종건\*\*\*  
Byun, Jong Gul

### ABSTRACT

The major objective of this study is to investigate the effects and application of reinforcement for steel plate girder railway bridge by the external prestressing method. It analyzed the mechanical behaviors of non-ballasted railway bridge with ballast reinforced and external post-tensioning reinforced on the finite element analysis for the static and dynamic behavior. As a result, the reinforcement of ballasted railway bridge the external prestressing method are obviously effective for the additional dead force which is ballast. The analytical study are carried out to investigate the post-tension force decrease bending behavior and deflection in composite bridge for serviceability. To develop two type FEM model which reflect well the post-tension force transverse distribution behavior of servicing bridge.

With the comparing the results of railway bridge with ballast which carried out before the post-tensioning with the results of railway bridge with ballast which carried out after post-tensioning. It is investigated that the additional dead load decrease effect and bending behavior of servicing bridge is effect by the post-tensioning. The reinforcement by using the external tendon can be reducing that structure of a degradation phenomenon by unusual stresses due to additional dead load and other problems.

### 1. 서 론

공용중인 무도상 편형교의 진동을 저감하고 이에 따른 내하력 저하 방지 및 보강을 위해 최근 진동저감을 위한 유도상화 연구가 진행 중에 있다. 그 과정에서 대두된 추가 사하중의 증가 및 장기적인 사용성과 내구성 측면에서 노후된 교량에 대한 효과적인 보강대책으로서 외부 후긴장 보강공법의 적용이 가능할 것이라 생각된다.

이에 본 연구에서는 외부 후긴장 공법의 보강효과를 입증하고자, 강철도교 중 무도상 편형교를 연구대상교량으로 선정하여 기존의 도로교에 적용하고 있는 외부 후긴장 보강공법을 강관형 철도교에 적용함으로써 보강효과 및 적용가능성을 알아보고자 하였다. 이에 적용된 편형교에 대하여 실험차 하중하에서의 보강 전, 후의 정, 동적기동을 분석하였으며 유도상화에 따라 증가된 사하중에 의해 발생하는 고유진동수 변화와 이에 따른 교량의 진동감쇄 효과를 분석하고, 유한요소해석을 통하여 외부 후긴장 보강공법의 적용 가능여부를 검증하고자 하였다.

\* 서울산업대학교 석사과정, 학생회원

\*\* 서울산업대학교 철도전문대학원 교수, 정회원

\*\*\* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 인문건설 이사, 정회원

## 2. 유한요소해석

구조해석을 위한 유한요소해석 모델은 아래의 그림 1과 같이 3차원 선요소로 이용하였으며, 가로로와 세로로 및 브레이싱과 같은 부부재는 활하중 횡방향 및 2차부재의 영향을 고려하여 모델링 하였다. 또한 해석 시 고려할 시하중은 표 1과 같으며 활하중은 LS-25하중을 고려하였다.

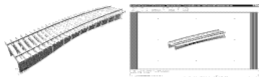


그림 1. 구조해석 모델링 - 무도상 및 유도상 관형교

표 1. 사하중의 산정

구분	슬래브	차상	원목	레일	좌부 추진장	비고
무도상	-	-	특정목	60kg/m	-	LC1
유도상	Precast Con'c Slab	O	PC 원목	60kg/m	-	LC2
무도상+보강	-	-	특정목	60kg/m	PC 강연선 (7연선/3중/SWC7B)	LC3
유도상+보강	Precast Con'c Slab	O	PC 원목	60kg/m	PC 강연선 (7연선/3중/SWC7B)	LC4

## 3. 해석결과

### 3.1 도상의 유무 및 보강에 따른 관형교의 고유진동수 및 정적변위 분석 결과

고유진동수 분석결과 유도상하에 따른 고유진동수의 감쇄량은 약 18~20%정도로 나타났으며, 실측 고유진동수와 비교하였을 때 약 3%정도의 오차량 보이는 것으로 나타나 해석모델의 적당성을 검증하였으며 사하중만을 고려한 정적변위 비교시 유도상화 후, 무도상 상태에서의 발생 최대 처짐(4.3mm)이 약 58%증가(6.8mm)하였어도 허용치침기준( $\delta_s = L/1,100 = 13.4/1,100 = 0.012m$ )에는 미치지 못하나 이는 교량설계시 차다설계의 영향으로 보이며, 추가하중에 의한 처짐을 방지해 두었을 경우 장기적으로 교량의 내하력 저하를 유발할 것으로 판단되는 바 이에 대한 적절한 보강이 필요할 것으로 판단된다.



그림 2. 무도상 관형교의 모드별 고유주기

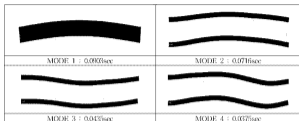


그림 3. 유도상 관형교의 모드별 고유주기

표 1. 도상의 유무 및 보강에 따른 고유주기와 고유진동수 변화비교

구분	Mode1		Mode2		Mode3		Mode4	
	Period (sec)	Frequency (Hz)	Period (sec)	Frequency (Hz)	Period (sec)	Frequency (Hz)	Period (sec)	Frequency (Hz)
무도상	0.0733	85.68	0.0574	109.41	0.0324	158.83	0.0305	265.90
무도상+보강	0.0731	85.91	0.0568	110.56	0.0320	196.25	0.0302	267.95
일측(무도상)	0.0705	89.08	0.0562	111.74	0.0321	195.64	0.0302	269.28
유도상	0.0903	60.55	0.0716	87.71	0.0435	144.37	0.0395	167.47
유도상+보강	0.0892	70.40	0.0712	88.90	0.0428	146.73	0.0382	173.48
Reduction Ratio (%) : 무도상의 경우와 비교								
유도상	-	18.8	-	19.8	-	25.5	-	18.7
무도상+보강	-	(+30.3	-	(+9.1	-	(+11.3	-	(+11.9
유도상+보강	-	17.8	-	19.4	-	24.9	-	15.7



그림 4. 도상 유무에 따른 관형교의 정식 변위분석(사하중만 고려)

### 3.2 도상의 유무에 따른 관형교의 시간이력해석결과

지진 13.4m의 강원도 관형교에 선행형 연차하중으로서 지진 1말/제와 4말의 연차하중을 적용하여 20~200km/hr의 주행속도를 가지는 연차하중의 영향이 모델링의 각 전침에 짧은 시간동안 가해지고 사라지는 충격하중으로 작용하도록 시간이력하중을 정의하였으며 하중의 지속시간은 요소의 길항길이와 속도의 관계에 있으므로 본 논문의 모델링은 차량선행방향으로 요소길이를 0.4m의 등간격으로 분할하여 각각의 속도에 따라 요소길이를 거치는 연차하중의 이동시간에 따른 하중을 적용하였다. 각각의 속도별 시간이변함수에 의한 시물데이터 모델의 시간이력 해석결과 대체적으로 시간-변위 및 가속도가 각각 최대 40%와 76%정도 감소한 것으로 나타나 유도상화를 통해 진동에 대한 안전율을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다.

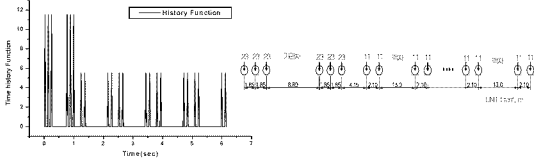


그림 5. 시간이력함수(100km/hr) 및 디젤 축중 배치도

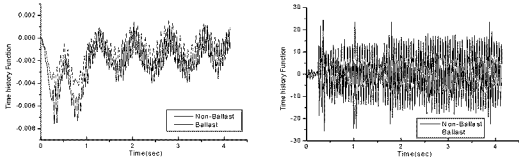


그림 6. 도상유무에 따른 시간이력해석 (시간-변위, 시간-가속도) : 100km/hr

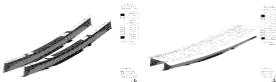
표 2. 대표 속도별 시간이력해석 결과(시간-변위 및 가속도)

속도	구분	최대변위(mm)		가속도(m/sec <sup>2</sup> )	
		무도상	유도상	무도상	유도상
20km/hr		6.58	4.26	12.84	3.06
60km/hr		8.29	4.99	17.88	6.39
100km/hr		7.57	5.98	25.68	18.96
180km/hr		7.35	4.37	18.23	4.78
200km/hr		6.59	4.63	29.02	10.04

### 3.3 도상의 유무에 따른 관형교의 응력검토결과

활하중 재하시의 도상 유무에 따른 응력검토 결과 추가사하중에 따라 대략 3배<sup>1)</sup>의 응력이 증가하였으며 사하중만을 고려하였을 경우 추가사하중에 의해 발생한 주형의 부담하는 응력증가분이 약 667kg/cm<sup>2</sup> 정도로 분석되어 공용기간 중 추가응력에 의한 주형의 손상 및 이에 따른 내하력 저하를 유발할 가능성이 있음을 나타내었다.

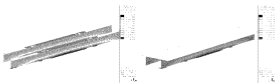
따라서 긴장력 산정 시 주형 모재의 긴장력에 대한 부담을 최소화하기 위해 추가사하중에 의한 응력증가분의 50%정도를 부담할 수 있는 70tonf을 도입긴장력으로 산정하였고 긴장재배치형태는 주형모재손상을 최소화할 수 있는 하부력선보강으로 선정하였다. 이와 같은 긴장재 보강 후 경간 중앙 주형 하부플랜지의 응력이 50%정도 감소한 것으로 나타났다. 따라서 보강시 추가하중 부담이 비교적 작은 외부 후긴장 보강공법에 따른 추가사하중을 부담하게끔 함으로써 내하력 상승효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



구분		Stress (kgf/cm <sup>2</sup> )	Stress Range (kgf/cm <sup>2</sup> )
부도상	MAX	71	106.8
	MIN	-38.8	
유도상	MAX	721.7	774.42
	MIN	-49.72	

추가사하중에 의해 발생한 수직의 응력차 : 657.62kgf/cm<sup>2</sup>

그림 7. 도상의 윗면에 따른 응력검토(사하중계하)



구분		Stress (kgf/cm <sup>2</sup> )	Stress Range (kgf/cm <sup>2</sup> )
부도상	MAX	343	350
	MIN	-307	
유도상	MAX	1,595	1,595
	MIN	-500	

그림 8. 도상의 윗면에 따른 응력검토(사하중+활하중계하)<sup>1)</sup>



그림 9. 적선보강 긴장제재치 제작도(정착단 상서)

표 3. 긴장력 도입에 따른 유도상 관형료의 응력과 변위 비교

도입긴장력	주형체부용면적 응력(kgf/cm <sup>2</sup> )	응력감소율(%)	취타변위(mm)	비 고
무보강	753	-	8.2	사하중+추가사하중
60tonf	426	43.4	6.4	사하중+추가사하중+긴장력
70tonf	396	50.1	5.5	사하중+추가사하중+긴장력
80tonf	319	57.6	5.1	사하중+추가사하중+긴장력
90tonf	264	64.9	4.7	사하중+추가사하중+긴장력
100tonf	200	72.2	4.4	사하중+추가사하중+긴장력

#### 4. 결 론

강철도관형교의 유도상화에 따른 동적특성 및 추가사하중에 의한 내하력저하 방지를 위한 외부 후긴장 공법의 보강효과 및 적용가능성을 살펴보고자 해석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 철도교와 도로교는 이동차량과 단면치수의 차이에 따른 구조적 거동의 상이함이 있으나 시뮬레이션해석 결과, 철도교에서도 횡거동에 대해 보강효과가 있다고 판단되며, 강철도교의 구조적 특성상 동적 거동에 의한 영향이 크게 작용하는바 보강 전, 후 및 도상 유, 무에 따른 고유치 해석과 시간이력해석을 실시하여 비교, 분석함으로써 도상에 의한 시간-변위 및 가속도의 감소 및 이에 따른 진동감쇄효과를 입증하며, 도상으로 인해 발생하게 되는 추가사하중에 대한 보강방안으로 외부 후긴장 공법의 적용가능성을 타진하였으며 적절한 보강수준(적정긴장력)을 산정하였다.

2) 도상의 유무 및 외부 후 직선 긴장보강에 따른 교량의 고유진동수의 변화를 분석한 결과, 유도상화 됨으로서 구조물 전체적으로 진동에 대한 안전율(23%감소)을 확보 할 수 있었으며, 또한 외부 후긴장 직선보강 적용에 따라 고유진동수가 다소 증가되는 것으로 나타났으나 강선에 의한 질량의 증가가 거의 없는 것으로 볼 때 무도상 보강의 경우 고유진동수의 증가는 보강에 의한 휨강성의 증가에 의한 것으로 볼 수 있다. 따라서 외부 후 직선 긴장 보강이 고유진동수의 변화에 미치는 영향이 매우 낮은 것으로 나타났다.

3) 유도상화에 의해 발생된 추가 사하중에 의한 주형 허부플랜지의 응력증가(+667.62kgf/cm<sup>2</sup>)를 초래하여 상당기적으로 구조물의 내하력 저하를 유발 할 것으로 판단된다. 따라서 보강시 추가 하중에 대한 부담이 비교적 작은 외부 후 긴장 공법으로 보강하여 충분한 내하력을 확보(유도상 응력의 약 50.1%감소)하여 구조물의 내하수명을 증대시킬 수 있으며 종방향 선형을 보완하여 주형 안전성 및 승차감 저하 방지를 위한 보강 방안으로 제시될 수 있음을 해석적으로 증명하였다.

#### 5. 참고문헌

1. 박용걸 "외부 후긴장 공법의 적용에 따른 공용적인 관형교 거동의 실험적 연구", 토목학회 학술집 2000
2. 박용걸, 박영훈, 강덕만 (2002) 합성형교의 외부 후 긴장력 횡분배 거동에 대한 실험 및 해석적 연구, 대한토목학회논문집, 제 22권, 6-A호, pp 1469~1479.
3. 백범원 "외부 후긴장에 따른 합성교 거동에 대한 실험적 연구", 2001
4. 박영훈, 박용걸, 전준장 "외부 후 직선긴장 보강공법적용에 따른 합성형의 동적거동" 대한토목학회논문집, 2003
5. M.S. Troitsky, D. De, "Prestressed Steel Bridge Theory and Design" VNR, 1990
6. Szilard, R. "Design of prestressed Composite Steel Structures" J. Struct. Div., ASCE, 1959
7. 건설교통부 "문막교 보강 공사에 따른 보강효과 및 내하력 조사 보고서", 1996.
8. 최일윤 "국내 강철도교의 열화손상 사례분석", 한국강구조학회 춘계학술발표회, 2002