

PSC빔교의 중간가로보 개수 최적화 및 안정성 검토



김남석
STO엔지니어링 대표
kns8931@naver.com

1. 서론

PSC빔교는 철도교에서 소규모 지간에 많이 사용되는 교량형식으로, 통상 4~5개의 주형이 설치되고, 지간당 3개의 중간 가로보를 설치하는 것이 일반적이다. 가로보를 설치하는 이유는 열차하중을 직접받는 거더의 하중을 인접하는 주변거더로 분배(횡하중분배)하기 위한 것이다. 도로교에서는 가로보가 횡하중분배에 미치는 영향에 대한 많은 연구결과가 축적되어 소규모 지간의 PSC빔교의 경우 중간가로보를 1개소로 설계하는 경향이 많다. 그러나 철도교의 경우 가로보가 횡하중분배에 미치는 영향에 대한 연구성고가 부족한 실정이다. 특히, 철도교의 경우는 도로교에 비하여 도상, 레일등의 규모가 큰 고정하중이 재하되고 있고, 차량하중에 비해 규모가 큰 열차하중이 재하되고, 편측으로 재하되는 경우가 많으므로, 철도교의 PSC빔은 도로교의 PSC빔에 비해 큰강성의 빔을 사용하게 된다. 이런 철도하중의 특수성을 고려한 가로보가 횡하중분배에 미치는 영향을 정확히 계산하고, 이를 근거한 가로보 설계의 검증이 필요하다.

본 논문에서는 철도교의 25m PSC빔교를 대상으로 현행 중간가로보 개수 3개소를 1개소로 개선하였을 경우의 횡하중분배에 미치는 영향을 분석하고, 울산~포항 복선전철 제7공구(나원~부조) 나원교에 적용한 설계사례를 소개하고자 한다.

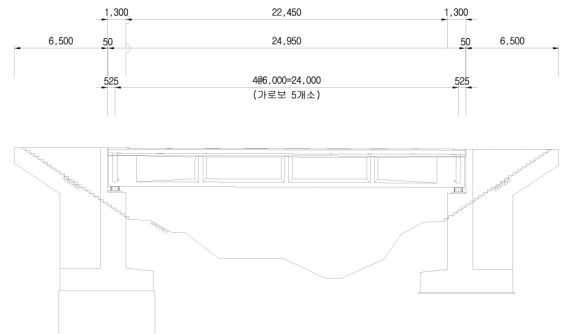
2. 중간가로보 개수에 따른 횡하중 분배 영향 검토

검토 대상 교량인 울산~포항 복선전철 제7공구(나원~부조)의 나원교는 표준 활하중 LS-22(복선), 25m PSC빔교이며, <그림 1>과 같이 중간가로보를 3개소 설치하여 철도하중을 인접거더로 횡분배하도록 설계되었다.

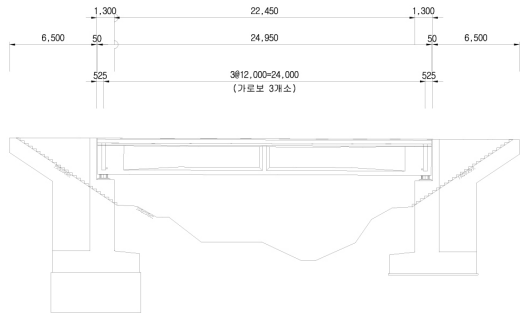
나원교의 중간가로보를 <그림 2>와 같이 1개소 설치하여 철도하중을 인접거더로 횡분배하였을 경우에 대해 횡분배계수 및 PSC빔에 작용하는 하중의 변화 및 PSC빔과 가로보의 구조안정성 확보 여부에 대한 검토를 수행하였다.

2.1 가로보 설계기준 검토

철도설계기준(철도교편) p.338, 9.2.7 다이어그램 편에



<그림 1> 나원교의 가로보 설계 현황



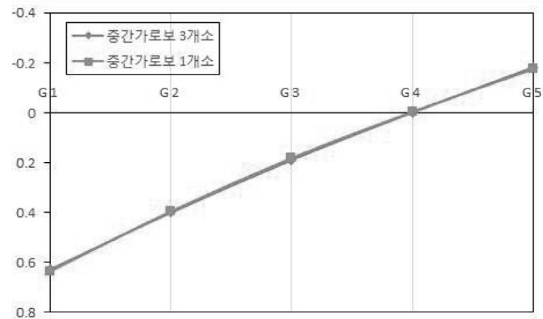
〈그림 2〉 나원교의 가로보 설계 개선 현황

“다이하프럼은 슬래브의 가장자리 자유단을 보강하고 횡방향력을 부구조물에 전달하기 위해서 지간의 끝부분에 설치한다. 지간이 12m를 넘는 경우에는 중간 다이하프럼을 최대모멘트가 발생하는 지점에 있는 보와 보 사이에 설치한다.” 이와같이 규정하고 있다. 이에 본 논문에서는 구조 검토를 통해 지간이 12m를 넘는 25m 지간의 PSC빔교의 중간 가로보 개수의 적정성을 확보하고자 하였다.

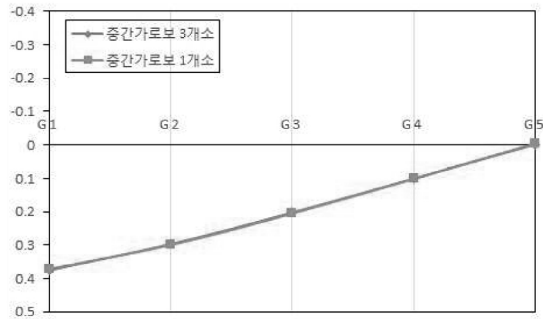
2.2 횡분배계수 분석 결과

중간가로보 3개소 설치시와 1개소 설치시의 횡분배 효과를 검토하기 위하여 Leonhardt-Homberg방법을 통해 횡분배계수를 산정하여 비교 분석한 결과는 <표 1>과 같다.

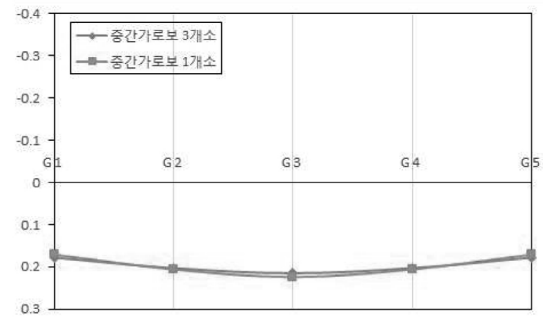
중간가로보 개수를 3개, 1개를 설치하였을 때의 각 거터의 횡분배계수의 추이는 <그림 3>~<그림 5>에서와 같이 중간가로보 1개를 설치한 경우가 3개를 설치한 경우보다 횡분배 효과는 떨어지는 것으로 평가되었지만, 그 비율은 0.1%~0.9%로 미미하다. 결국, 중간 가로보 개수가 많을수록 횡분배 효과는 향상되나, 중간가로보 1개 이상이면 그 차이는 매우 미미하다는 것을 알 수 있다.



〈그림 3〉 중간가로보 개수에 따른 G1의 횡분배계수 추이



〈그림 4〉 중간가로보 개수에 따른 G2의 횡분배계수 추이



〈그림 5〉 중간가로보 개수에 따른 G3의 횡분배계수 추이

〈표 1〉 중간가로보 개수 변화에 따른 횡분배계수 분석 결과

구분		G1	G2	G3	G4	G5
중간가로보 3개소 (원안)	G1	0.629	0.401	0.190	-0.001	-0.182
	G2	0.376	0.297	0.203	0.101	-0.001
	G3	0.178	0.203	0.215	0.203	0.178
중간가로보 1개소 (개선)	G1	0.637	0.396	0.182	-0.004	-0.175
	G2	0.372	0.300	0.206	0.102	-0.004
	G3	0.171	0.206	0.224	0.206	0.171

2.3 가로보 본체의 설계단면력 변동에 따른 가로보 재검토

가로보 간격이 6.0m에서 12.0m로 변경되어, 가로보 부담 단면력 증가에 따른 단면검토 결과 발생 휨모멘트에 대해서는 현재 배근상태(D25-2EA, 3단)으로 충분한 단면 성능을 가지는 것으로 검토되었으며, 발생 전단력에 대해 현재 배근상태(수직, 수평 D16)으로는 단면성능이 확보되지 않아 수직, 수평 전단철근을 D19로 변경하여야 전단에 대한 단면성능을 확보할 수 있는 것으로 검토되었다.

2.4 가로보 재배치에 따른 PSC빔 재검토

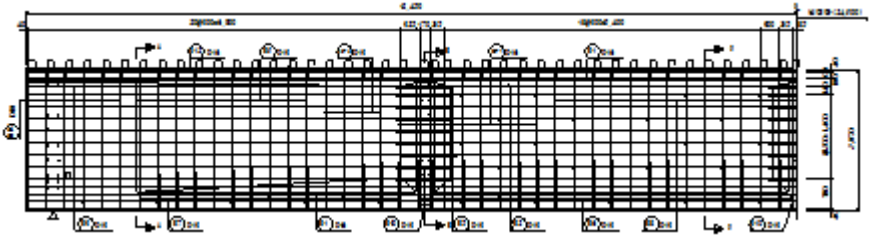
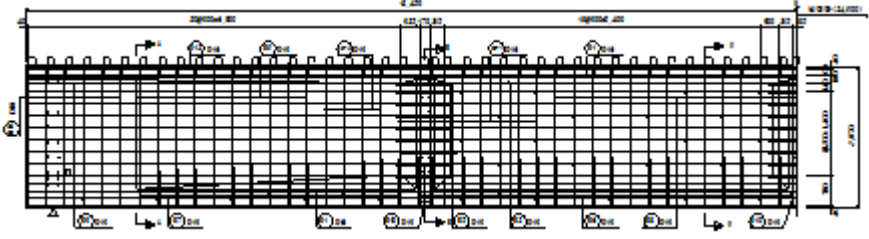
중간가로보 재배치(3개소→1개소)에 따라 PSC빔에 작용하는 하중 변화를 검토해본 결과 중간가로보 1개소 설치 시의 경우가 3개소 설치 시에 대비 하중 최대증가율 0.6%로 나타나, 중간가로보변경에 따른 PSC빔에 작용되는 하중 상태의 변화는 거의 없는 것으로 평가되었다.

중간가로보 재배치(3개소→1개소)에 따라 변경된 하중 조건을 적용하여 PSC빔의 구조안전성 검토를 시행한 결과 구조안전성이 확보되는 것을 아래와 같이 확인할 수 있었다.

〈표 2〉 중간가로보 재검토 결과

구분		현재설계 (원안)	변경설계 (개선)	비고
PSC BEAM 연장		25 m	25 m	
중간가로보 개수		3 ea	1 ea	
중간가로보 설계단면력	설계모멘트(Mu)	394,337	536,762	
	단면저항모멘트 (∅Mn)	1,344,103 (D25-2EA 3단)	1,344,103 (D25-2EA 3단)	
	안전율	3,409	2,504	
	설계전단력(Vu)	876,304	1,184,756	
	단면저항전단력 (∅Vn)	1,118,938 (수직, 수평D16)	1,443,992 (수직, 수평D19)	전단철근 변경
	안전율	1,357	1,219	

〈표 3〉

구분	PSC BEAM 수직철근 배근현황
현재설계 (원안)	
변경설계 (변경)	

〈표 4〉 PSC빔에 작용하는 하중 변화

중간가로보 3개소 (원안)			중간가로보 1개소 (개선)		
PSC 빔 번호	합성후 고정하중	등분포활하중	거더번호	합성후 고정하중	등분포활하중
G1	49.68	3,081	G1	50.02	3,074
G2	45.48	2,429	G2	45.30	2,436
G3	45.04	2,082	G3	44.68	2,085
G4	45.48	1,777	G4	45.30	1,780
G5	49.68	1,755	G5	50.02	1,755
단위	kN/m	분배계수	단위	kN/m	분배계수

〈표 5〉 PSC빔 재검토 결과

구 분		중간가로보 3개소 (원안)	중간가로보 1개소 (개선)	비 고
PSC BEAM 연장		25 m	25 m	
중간가로보 개수		3 ea	1 ea	
PSC 주빔 안전도 검토	항복하중에 대한 검토	fcyu : 14.0 < fck • 3/5(24) fcyb : -8.8 < -fcu(16) fpyb : 1,147.1 < fpy(1,600)	fcyu : 14.6 < fck • 3/5(24) fcyb : -9.5 < -fcu(16) fpyb : 1,157.0 < fpy(1,600)	PSC거더 상연 PSC거더 하연 PS 강선케이블
	처짐에 대한 검토	1/4,650 < 1/800	1/4,704 < 1/800	

3. 가로보 재배치에 따른 경제성 검토

중간가로보 재배치(3개소→1개소)에 따라 콘크리트 물량은 약 430m³ 감소, 거푸집 물량은 2,872m² 감소, 철근 물량은 31tonf 감소하는 것으로 검토되었고, 가로보 2개소 삭제로 인한 경제적 효과는 교량 개소당 6,000만원에 이르는 것으로 검토되었다.

4. 결론

본 논문에서는 철도 PSC빔교의 중간가로보 설치 개소에 따른 횡분배 효과와 하중 상태 변화를 검토하고, 중간가로보 1개소 설치하는 것으로 PSC빔교를 설계하여 기존의 중간가로보 3개소 설치시의 설계와 비교 검토하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 중간가로보 3개소 설치시와 1개소 설치시의 횡분배 계수를 비교 검토한 결과, 중간가로보 1개소를 설치한 경우가 3개소 설치한 경우보다 횡분배 효과가 떨어지지만

그 수준은 0.1%~0.9%로 중간가로보 1개소 설치할 경우도 기존의 3개소 설치한 경우와 동일한 성능으로 철도하중을 횡방향으로 분배할 수 있는 것으로 평가되었다.

2) 중간가로보 3개소 설치하던 것을 1개소 설치하는 것으로 변경하여도, 각 거더에 작용하는 하중은 최대 0.9%의 미미한 수준으로 증가하는 것으로 평가되었다.

3) 중간가로보가 3개소에서 1개소로 변경됨에 따라, 중간가로보가 부담하여야 하는 전단력이 876.304kN에서 1,184.756kN으로 증가하여, 중간가로보의 규모 변경없이 전단철근을 D16에서 D19로 변경 적용하여야 하는 것으로 평가되었다.

4) 본 논문의 사례를 바탕으로 장지간의 PSC빔교의 중간가로보 횡분배 영향 평가를 추후 시행하고, 보다 많은 설계 사례들이 축적되면, 시공성과 경제성 측면에서 보다 합리적인 중간가로보 설치방안이 확보될 수 있을 것으로 판단된다. ☺