PSC BEAM교 중간부 DIAPHRAGM 설치기준

제공처 : 한국도로공사 설계처

출처 : 2004년도 고속도로 설계 실무자료집(2005, 한국도로공사)

1. 일반현황

25m 및 30m PSC BEAM교의 경우 Diaphragm 3개(중간부 1개)를 설치하고 있으나 35m PSC BEAM교는 모두 7개의 Diaphragm(중간부 5개)을 설치하고 있어 시공성 및 경제성이 불리하므로 35m PSC BEAM교에 대한 Diaphragm 설치개수의 적정성을 검토하여 개선하고자 함

2. 현황 및 문제점

2.1 추진경위

(1) 도로교통기술원의 연구

(1.1) 제목 : “PSC BEAM교량 중간격벽의 최적 설계에 관한 연구”

(1.2) 연구기간 : 2000.1 ~ 2000.12

(1.3) 연구결과

(1.3.1) 지간 25m와 30m 모두 Diaphragm을 중앙부 한 곳에만 설치하여도 처짐, 하중분배의 영향 및 진동에 있어서 구조적 거동이 유사함

(2) 설계기준 변경

(2.1) 제목 : “PSC BEAM교 가로보 간격 검토”

(2.2) 관련문서 : 설계이 13202-621(2000. 12)

(2.3) 변경내용

(2.3.1) 25m 표준빔 Diaphragm 5개소에서 3개소로 개선

(2.3.2) 30m 표준빔 Diaphragm 7개소에서 3개소로 개선

(2.3.3) 경간장 35m PSC BEAM의 Diaphragm 간격은 추가 검토 예정

2.2 현황 및 문제점

2.2.1 관련기준

(1) 도로교 설계기준

(1.1) 4.2.2.8 격벽

(1.1.1) T형 거더에는 중간격벽을 1경간에 1개소 이상 또 15m 이하의 간격으로 설치하는 것을 원칙으로 한다.

(1.1.2) 그러나 격벽은 실험이나 구조해석에 의해 충분한 강도가 있다고 확인될 경우에는 두지 않아도 좋다.

(2) 도로설계요령

(2.1) 4.8.6 가로보의 구조세목

(2.1.1) 주형의 지점에는 반드시 가로보를 설치하여야 한다. 특히 하나의 지간당 한 곳 이상 중간 가로보를 설치하며, 그 간격은 15m이하로 한다.

(3) 도로교 표준시방서('96)

(3.1) 6.2.7 격벽(가로보)

(3.1.1) 지간이 12m를 넘는 경우에는 중간 격벽을 최대모멘트가 발생하는 지점에 있는 보와 보 사이에 설치한다.

(4) AASHTO (2000 Interim Revisions)

(4.1) 9.10 DIAPHRAGMS

(4.1.1) 9.10.2 T-Beams : Diaphragms or other means shall be used at span ends to strengthen the free edge of the slab and to transmit lateral forces to the substructure. Intermediate diaphragms shall be placed between the beams at the points of maximum moment for spans over 40 feet

(5) 미국의 주별 적용기준

(5.1) 미국 전체의 통일된 규정은 없으며 각 주별로 달리 적용하고 있음(붙임#2 참조)

(6) 도로교시방서 · 동해설('02, 일본도로협회) p243 : 붙임#3 참조

(6.1) 한 경간에 1개소 이상 15m이하 간격으로 중간 Diaphragm를 설치하는 것으로 한다.

(6.1.1) 중간 Diaphragm은 한 지간마다 1개소 이상 15m이하의 간격으로 설치하는 것으로 한다. 여기서 충분한 구조해석에 기초하여 중간 Diaphragm의 기능을 바닥판으로 대용 가능한지를 고려한 경우에는 프리스트레스 콘크리트 바닥판을 갖는 사각 70° 이상의 T형 거더교에 대해서 중간 Diaphragm을 30m이하 간격으로 설치할 수 있다.

(7) 설계요령('98, 일본도로공단) p 8-52 : 붙임#4 참조

(7.1) 중간Diaphragm는 적절한 간격으로 설치하는 것으로 한다.

(7.1.1) 중간Diaphragm은 지간 중앙에 오도록 배치하는 것이 바람직하다.

2.2.2 현 설계

(1) BEAM단부 : 2개소, BEAM중앙부 : 5개소

(2) Diaphragm 간격 : 5.7m

2.2.3 문제점

(1) 시공성 불량

(1.1) 빔 제작시 Diaphragm 연결철근으로 인해 거푸집 탈형 작업 불량

(2) 시공여건이 불량한 고공작업이 많아 낙하사고 발생 우려

(3) Diaphragm 설치 위치의 빔 단면의 변화에 따른 미관불량

(4) 공사비 고가

3. 개선내용

3.1 검토방향

(1) 도로교 설계기준에 의하면 격벽은 실험이나 구조해석에 의해 충분한 강도가 있다고 확인될 경우에는 두지 않아도 좋다 라고 명시되어 있고,

(2) 도로교통기술원에서 수행한 “PSC BEAM교량 중간격벽의 최적 설계에 관한 연구”에서 수직하중의 분배는 바닥판 슬래브가 대부분 담당하며 중간격벽의 하중분배효과는 미미한 것으로 언급되어 있으며,

(3) 외국의 관련 논문에서도 Diaphragm의 하중분배효과는 크지 않은 것으로 나타나고 있음(붙임#9 참조)

(4) 따라서, 구조해석을 통해 Diaphragm을 줄일 경우의 영향을 검토하고 그 결과에 따라 Diaphragm의 수를 축소조정하는 것이 바람직할 것으로 판단됨

3.2 구조해석

(1) 해석대상 및 방법

지간 (m)	폭원 (m)	사각 및 곡선	Diaphragm	해 석 방 법	비 고
35	12.6	90°	7EA	관용해석 및 격자+판해석	
			5EA		
			4EA		
			3EA		
		30°	5EA		
			3EA		
		R=500	5EA		
			3EA		

(1.1) 관용해석법 : 1-0 하중횡분배법과 정역학적 평형방정식을 이용한 단면력 산출 방법

(1.2) 격자+판해석 방법 : 유한요소법을 이용한 정밀해석법

(1.2.1) PSC BEAM → FRAME 요소, 바닥판 → 판요소를 적용 실제모델의 횡분배를 반영하여 BEAM에 발생하는 단면력 산출

(1.3) 사교는 평면선형에서 발생빈도가 높은 사각(30°)의 구조적 거동특성 비교

(1.4) 곡선교에서의 곡선반경은 휨모멘트를 결정할때 곡률을 무시할 수 있는 한계중심각의 규정에 따라 단일지간인 경우의 중심각 4° 를 적용(R=500) 구조적 거동특성 비교

(도로교 설계기준 · 해설, 대한토목학회, 2003, P.27 표 2.1.1 참조)

(2) 해석결과

(2.1) 외측빔 발생응력

(단위 : kgf/cm^2)

교량구분 (Diaphragm 설치수량)		프리스트레스 도입 직후				설계하중 작용시			
		프리스트레스	빔자중	계		프리스트레스	총하중 (고정+활하중)	계	
				관용해석	격자+판해석			관용해석	격자+판해석
직교 (7개)	상연	-62.09	78.14	16.05	5.85	-55.18	171.12	115.95	94.303
	하연	209.44	-75.00	134.45	134.63	186.13	-198.85	-12.72	30.125
직교 (5개)	상연	-62.05	75.95	13.90	14.07	-54.93	166.27	111.34	90.751
	하연	209.30	-72.90	136.40	136.25	185.29	-194.41	-9.120	32.353
곡선교 (5개)	상연	-62.05	75.951	13.902	14.07	-54.986	166.919	111.933	95.096
	하연	209.301	-72.900	136.401	136.25	185.475	-195.917	-10.442	28.582
사교 (5개)	상연	-62.05	75.951	13.902	14.07	-54.955	167.090	112.135	87.862
	하연	209.301	-72.900	136.401	136.25	185.372	-195.128	-9.755	36.978
직교 (4개)	상연	-62.02	74.50	12.48	12.55	-54.77	163.07	108.30	85.735
	하연	209.21	-71.51	137.70	137.63	184.73	-191.48	-6.75	36.626
직교 (3개)	상연	-62.01	73.77	11.76	11.98	-54.68	161.43	106.75	83.735
	하연	209.16	-70.81	138.35	138.16	184.45	-189.98	-5.53	37.679
곡선교 (3개)	상연	-62.052	76.123	14.071	11.980	-53.900	141.762	87.862	86.383
	하연	209.312	-73.065	136.247	138.155	181.812	-144.834	36.978	35.304
사교 (3개)	상연	-62.007	73.770	4.763	11.980	-54.694	161.844	107.150	81.192
	하연	209.159	-70.806	138.353	138.155	184.491	-190.340	-5.849	42.057
허용응력		-14.31 < 계 < 176.00				-32.00 < 계 < 160.00			

(2.1.1) 허용응력 산출 : 도로설계기준 p307, 4.6.3.3 허용응력 적용

(2.1.2) 프리스트레스 도입직후 : 바닥판 자중 및 2차 고정하중이 작용하기 전 빔만을 거치한 상태

(2.1.3) 설계하중 작용시 : 바닥판 자중 및 2차 고정하중, 활하중이 작용하는 상태

(2.2) 내측빔 발생응력

(단위 : kgf/㎠)

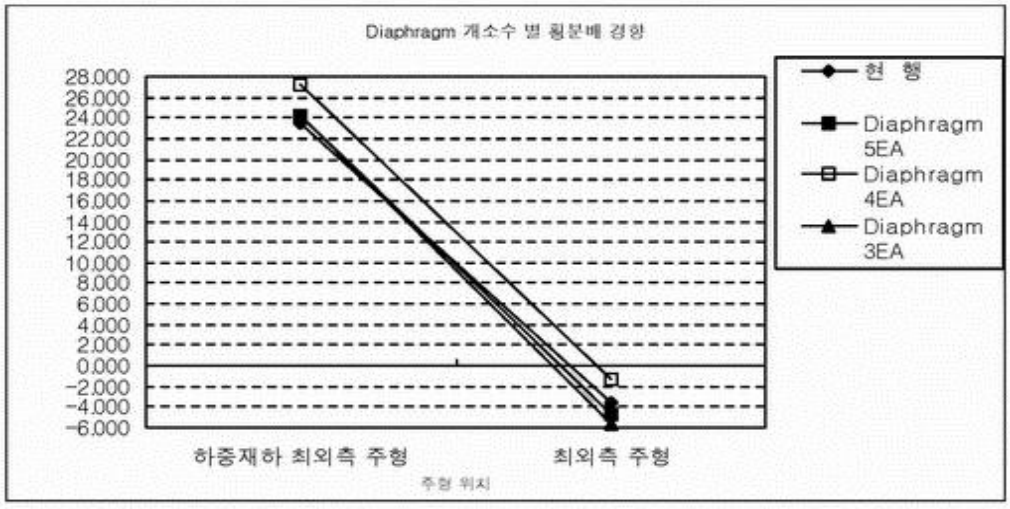
교량구분 (Diaphragm 설치수량)		프리스트레스 도입 직후				설계하중 작용시			
		프리스트레스	빔자중	계		프리스트레스	총하중 (고정+활하중)	계	
				관용해석	격자+판해석			관용해석	격자+판해석
직교 (7개)	상연	-62.09	78.14	16.05	14.07	-54.45	167.19	112.74	93.117
	하연	209.44	-74.99	134.45	136.25	183.68	-184.00	-0.32	32.551
직교 (5개)	상연	-62.05	75.95	13.90	14.07	-54.121	159.665	105.543	89.226
	하연	209.30	-72.90	136.40	136.25	183.56	-177.209	5.351	35.771
곡선교 (5개)	상연	-62.05	76.951	13.902	14.07	-54.121	159.664	105.543	94.621
	하연	209.301	-72.900	136.401	136.25	182.560	-177.208	5.351	31.360
사교 (5개)	상연	-62.05	76.951	13.902	14.07	-54.173	161.311	107.138	90.106
	하연	209.301	-72.900	136.401	136.25	182.733	-178.655	4.077	36.835
직교 (4개)	상연	-62.02	74.50	12.48	12.55	-53.90	154.72	100.82	84.099
	하연	209.21	-71.51	137.70	137.63	181.82	-172.74	9.08	40.151
직교 (3개)	상연	-62.00	73.77	11.76	11.98	-53.79	152.18	98.386	82.481
	하연	209.16	-70.81	138.35	138.16	181.44	-170.45	10.99	40.670
곡선교 (3개)	상연	-62.052	76.123	14.071	11.980	-54.008	144.114	90.106	85.800
	하연	209.312	-73.065	136.247	138.155	182.176	-145.341	36.836	37.922
사교 (3개)	상연	-62.007	73.770	11.763	11.980	-53.816	152.999	99.183	82.216
	하연	209.159	-70.806	138.353	138.155	181.529	-171.173	10.356	42.537
허용응력		-14.31 < 계 < 176.00				-32.00 < 계 < 160.00			

(2.2.1) 허용응력 산출 : 도로설계기준 p307, 4.6.3.3 허용응력 적용

(2.2.2) 프리스트레스 도입직후 : 바닥판 자중 및 2차 고정하중이 작용하기 전 빔만을 거치한 상태

(2.2.3) 설계하중 작용시 : 바닥판 자중 및 2차 고정하중, 활하중이 작용하는 상태

(2.3) Diaphragm에 따른 횡분배 영향

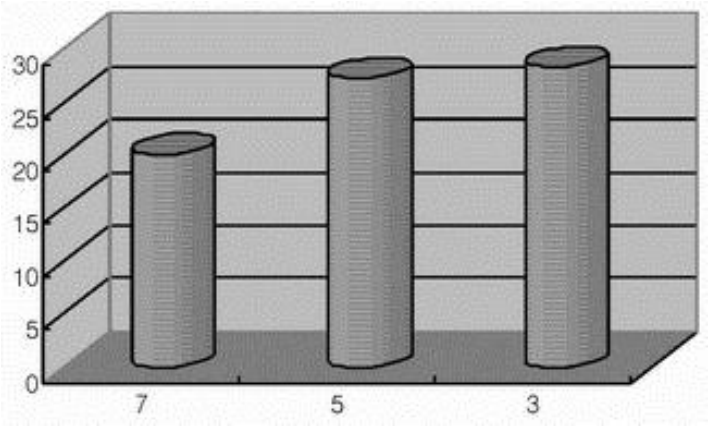


(2.3.1) 활하중 재하시의 횡분배 경향을 확인하기 위하여 외측 거더 중앙에 10tonf를 재하하여 반대편 외측거더에 발생하는 응력을 확인

(2.3.2) 그래프의 기울기는 횡분배 능력을 표현하며 기울기가 완만할수록 횡분배 성능이 큰 것임

(2.3.3) 중앙부에 Diaphragm이 없는 경우(4EA) 빔의 중앙부에 하중재하시 다소 불리한 것으로 나타났으며 Diaphragm이 3개, 5개, 7개인 경우는 미소한 차이로 비슷한 경향을 보이고 있음

(2.4) Diaphragm 발생단면력 비교



〈Diaphragm 개소수〉

(단위:tf·m)

구 분	현행(7EA)	5EA	4EA	3EA
설계모멘트(Mu)	20.143	27.394	28.018	28.403
단면저항모멘트(øMn)	48.529	48.529	48.529	48.529

(3) 해석결과에 대한 평가

(3.1) 해석방법에 따른 차이점

(3.1.1) 바닥판의 횡분배 성능을 고려한 격자+판해석 결과가 관용해석에 비하여 빔의 단면력과 변위가 작은 것으로 나타났으며

(3.1.2) 전반적으로 빔 상연의 압축응력은 격자+판해석이 최대 약20%정도 작게 산출되었음

(3.2) 빔에 발생하는 응력

(3.2.1) Diaphragm 개수에 따른 자중의 영향으로 Diaphragm 7개(현행)인 경우에서 가장 크고 Diaphragm 3개일 때 가장 작은 것으로 나타났으나 그 차이는 8% 정도로 미미하며 허용치 이내임

(3.3) 횡분배 성능

(3.3.1) Diaphragm의 개수를 현행 7개에서 3개로 축소하여도 슬래브가 횡분배 효과를 충분히 발휘하기 때문에 횡분배 효과의 감소는 9.6%로 미소함

(3.4) Diaphragm의 설계 단면력

(3.4.1) Diaphragm을 3개로 축소할 경우 Diaphragm 자체의 설계 단면력은 다소 증가하나 충분한 안정성이 확보됨

(M_u=28.403, ϕM_n=48.529)

3.3 경제성 분석

(1) 4차로 35m 단경간 교량(BEAM 갯수 10)에 대한 Diaphragm 공사비

설치수량(개소)	7	5	4	3	비 고
공사비(백만원)	44.59	31.85 (감 12.74)	25.48 (감 19.11)	19.11 (감 25.48)	제잡비포함

4. 결론

(1) 도로교통기술원의 연구보고서와 외국의 논문 등을 검토한 결과 중간 Diaphragm의 하중분배효과는 미미한 것으로 판단되고,

(2) 구조해석결과 격벽의 설치 개수에 의한 구조적인 영향은 미미한 것으로 나타났으므로 시공성과 안전성 측면에서 불리하고 공사비 증가의 요인인 Diaphragm의 설치수량은 일반적인 PSC BEAM교의 경우 단부 포함 3개소(중간부 1개소)를 적용

(3) 적용방안

(3.1) 설계중인 구간 : 2004년 설계완료예정 노선부터 적용

(3.2) 공사중인 구간 : 공사주관부서에서 결정

(4) 특기사항

(4.1) 기 설계된 교량의 경우에도 Diaphragm 축소로 인한 영향이 미미하므로 별도의 구조검토 없이 Diaphragm 축소조정 가능

(4.2) 연장 35m 초과, 곡선반경 500m 미만, 사각 60° 미만, 빔간격이 2.55m를 초과하는 경우, 기타 표준빔을 사용하지 않는 경우 등은 별도 검토후 적용