

연속 프리스트레스트 콘크리트 빔교의 안전성 평가에 관한 연구

A Study on the Safety Assessment of the Continuous Prestressed Concrete Beam Bridge

채 원 규

Won-Kyu Chai
신구전문대학 토목과

ABSTRACT

In this thesis, the safety assessment method of the continuous prestressed beam bridge using the service load were studied. From the field test results of the continuous prestressed beam bridge, CAF(composite action factor) and P_n (capacity load of bridge) were assessed, and these factors were applied to safety assessment of the continuous prestressed beam bridge.

1. 서론

교량 구조물은 결함이 한번 발생하면 즉각적인 보수나 교체가 어렵기 때문에 그 기능을 상실하여 효율적인 운송을 불가능하게 한다. 따라서 교량의 안전성을 평가하는 것은 대상 교량의 현 상태를 파악하고 적절한 유지관리를 위한 필수적 사항이다. 현재 P. C beam교는 대부분 지점부를 슬래브의 연속 또는 가로보에 의한 연결에 의해 2연속 또는 3연속교로 시공되고 있으나, 이에 대한 설계 및 안전성 평가는 단순교로 해석되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 연속 P. C beam교의 거동이 연속된 상태에 따라 단순교로 해석해야 할지 또는 연속교로 해석해야 할지에 대한 명확한 규명이 없어서, 연속 P. C beam교에 대한 안전성 평가가 문제시 되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실동하중에 의한 연속 P. C beam교의 합성작용계수 및 내하력을 단순교 및 연속교로 거동할 경우에 대해 비교 검토하여, 앞으로 수행되는 연속 P. C beam교의 안전성 평가에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실동하중에 의한 안전도 평가 방법

구조물의 안전도란 구조물을 구성하고 있는 각 요소들의 다양한 특성과 외력

으로 작용하고 있는 외부하중의 규모 및 발생빈도 등에 의해 복잡한 상관관계를 이루고 있어, 한두가지 방법의 간단한 접근방법에 의해 명확히 판별하기는 불가능하다. 다만 경험적 분석을 통한 현 상태의 제반결함에 대한 신중한 검토와 안전도 판별의 지표로서 보편적으로 사용되는 여러 종류의 세부지표들에 대한 검토로 정확한 판별을 피할 뿐이다. 현재 도로교에 사용되고 있는 실동하중에 의한 안전도 평가계수는 다음과 같다.

2.1 합성작용계수 (CAF : Composite Action Factor)

합성작용계수는 1에서 응답비를 뺀 수치를 나타내며 응답비와 마찬가지로 이론적인 거동과 실제거동과의 차이를 판별하는 지표가 된다.

이 계수가 클수록 구조물 주부재의 합성작용 및 횡빔에 대한 격자거동으로 인한 구조강성이 크다고 유추할 수 있으며, 노후화된 구조물의 경우 부재 상호간의 합성거동이 소멸되어 합성작용계수는 상대적으로 작게 된다.

$$CAF = 1 - \frac{\sigma_M}{\sigma_C}$$

여기서, σ_M 은 정적 측정응력 또는 처짐, σ_C 는 정적 계산응력 또는 처짐 이다.

2.2 허용응력법에 의한 내하력 평가

손상된 구조물의 실제 저항강도와 관련된 손상계수(D_F) 및 재하시험에 의한 실 응답비(K)를 명확하게 포함시킨 개선된 방법에 의한 내하력 평가는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_n = P_L \times RF$$

$$RF = \frac{P_n}{P_L} = \frac{\sigma_a D_F - \sigma_d}{\sigma_l} \times \frac{1}{K}$$

여기서, P_n 은 공용내하력, RF 는 내하률, P_L 은 설계활하중, σ_l 은 설계활하중에 의한 응력, σ_a 는 재료의 허용응력, σ_d 는 사하중 응력, D_F 는 손상계수, K 는 내하력 보정계수 이다.

또한 내하력 보정계수인 K 는 다음과 같다.

$$K = K_S (1 + i_M)$$

여기서 K_S 는 응답비(실측응력 또는 처짐 / 계산응력 또는 처짐), i_M 은 실측 충격계수 이다.

2.3 강도설계법에 의한 내하력 평가

강도설계법에 의한 내하력 평가는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_n = P_L \times RF$$

$$RF = \frac{P_n}{P_L} = \frac{\psi D_F R_n - \gamma_D D_n}{\gamma_L L_n} \times \frac{1}{K}$$

여기서, P_n 은 공용내하력, RF 는 내하률, R_n 은 무손상단면의 실강도에 의한 추정 공칭강도, D_n 은 사하중 모멘트, L_n 은 설계활하중 모멘트, D_F 는 손상계수, K 는 내하력 보정계수 이다. 또한 내하력 보정계수인 K 는 허용응력법과 동일하다.

한편 ψ , γ_D , γ_L 등은 저항 및 하중관련 안전모수로서 도로교시방서의 안전규정에 따라 $\psi = 0.85$, $\gamma_D = 1.3$, $\gamma_L = 2.15$ 를 사용하고 있다.

2.4 내하력 평가 등급

앞에서 언급된 내하력 평가 계수들을 요약 정리하여 이에 따른 내하력 평가 등급을 나타내면 Table 1과 같다.

Table 1. Graded list of capacity load of bridge.

	RF	P_n	Counterplan
Good	$RF \geq 1.0$	$P_n \geq 24$	Periodical observation
Common	$0.75 \leq RF < 1.0$	$18 \leq P_n < 24$	Repair
Poor	$0.57 \leq RF < 0.75$	$13.5 \leq P_n < 18$	Repair, reinforcement
Very poor	$RF < 0.57$	$P_n < 13.5$	Reconstruction

3. 실동하중에 의한 재하시험

3.1 측정 시스템

재하시험은 작용외력에 대한 대상 구조물의 거동특성을 파악하고 안전도 평가를 위한 휨 변형률 및 처짐을 구하기 위하여 실시하였다. 재하시험에 대한 실측치의 측정은 차량하중을 사용하여 통행이 통제된 상태에서 휨 변형률 및 처짐이 최대가 되는 주형의 중앙부에 변형률 게이지와 처짐측정기를 설치하여, 여러가지 경우의 차량하중을 이동시켜가면서 실시하였다.

3.2 하중재하 위치 및 게이지 설치 위치

재하시험시 재하차량은 부재의 중앙부에 뒷바퀴가 오도록 재하하였으며, 횡단면상으로 좌,우측 바퀴의 재하 위치는 Table 2와 같다. 또한 변형률 게이지 부착 위치 및 처짐측정기의 설치위치는 각 하중 경우에 최대 단면력이 발생할수 있는 재하차량의 뒷바퀴 위치에 있는 빔 하단에 설치하였다.

Table 2. Load case of service load.

Load Case	Location of left wheel	Location of right wheel
1	center of beam 2	1.9 m from beam 2
2	0.5 m from beam 2	center of beam 3
3	center of beam 6	1.9 m from beam 6
4	0.5 m from beam 6	center of beam 7

4. 재하시험 측정 결과 분석 및 안전도 평가

4.1 정적 재하시험 결과

정적 재하시험 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Results of static test.

Load case	Gage No.	Bending strain	Bending stress (kg/cm ²)	Gage No.	Displacement (mm)
1	Strain-1	40.0×10^{-6}	11.2	Displacement-1	1.76
2	Strain-2	42.0×10^{-6}	11.8	Displacement-2	1.66
3	Strain-3	36.0×10^{-6}	10.1	Displacement-3	1.56
4	Strain-4	38.0×10^{-6}	10.7	Displacement-4	1.61

4.2 동적 주행시험 결과

동적주행시험으로 측정된 처짐 이력곡선의 각 속도별 최대치를 정리하면 다음과 같다. 또한 정적 주행시의 측정값과 동적 주행시의 측정값과의 비로서 환산충격계수(T. I. F)를 구하여 나타내었다. 동적 재하시험 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Displacement result of dynamic test (Displacement-4).

Velocity (km/hr)	Displacement (mm)	T. I. F
5	1.61	0.000
10	1.81	0.124
20	1.76	0.093
30	1.61	0.000
40	1.50	0.000

4.3 이론치 계산

재하시험 결과에 의한 실측치와 비교하기 위한 이론치를 구하기 위한 구조해석은 대상 구조물을 모델링 하여 재하시험시과 동일한 하중상태로 재하하여 구조해석 하였다. 한편 본 연구에서는 구조해석 및 이에 따른 응력계산을 두가지 경우에 대하여 수행하였다. 첫번째 경우에는 연속 P. C beam교가 중간 지점부에

서 슬래브 또는 가로보의 접합에 의해 2경간 연속교로 거동할 경우에 대해 검토하였으며, 두번째 경우에는 중간지점부의 2경간을 연속시켜주고 있는 가로보가 P.C Beam과 일체로 시공되지 않은 점을 감안하여 구조물이 단순교로 거동할 경우에 대하여 검토하였다. 이에 대한 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Structural analysis results of P. C beam bridge.

Load case		Displacement (mm)		Bending Moment (T · m)		Bending stress (kg/cm ²)	
		C	S	C	S	C	S
Dead load		-8.96	-20.67	186.20	323.80	49.3	85.8
Prestressed force		11.23	26.23	-236.70	-325.50	-115.2	-145.9
Live Load	Design Load	-5.07	-10.02	123.70	178.60	32.8	47.3
	Truck load (L.C 1)	-1.50	-3.08	48.11	68.28	12.7	18.1
	Truck load (L.C 2)	-1.40	-2.86	45.96	61.96	12.2	16.4
	Truck load (L.C 3)	-1.40	-2.86	45.96	61.96	12.2	16.4
	Truck load (L.C 4)	-1.50	-3.08	48.11	68.28	12.7	18.1

[Note : C is structural analysis results of continuous P. C beam bridge, S is structural analysis results of simple P. C beam bridge.]

4.4 응답비 및 합성작용계수 산출

교량의 결합상태를 포함한 현상상태에서의 안전도 판별을 위하여 다음과 같이 휨응력 및 처짐에 대하여 각각 실측치와 이론치의 응답비 및 합성작용계수를 산출하였다. 여기서 실측치는 재하시험에 의해 측정된 결과를 나타낸 것이며, 이론치는 재하시험과 동일한 하중상태에서의 구조해석 결과에 의해 계산된 값을 말한다. 이들 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Response result of P. C beam bridge.

Gage No.	Measured value	Calculated value		Response ratio		C. A. F	
		C	S	C	S	C	S
Strain-1	11.2	12.7	18.1	0.882	0.619	0.118	0.381
Strain-2	11.8	12.2	16.4	0.967	0.720	0.033	0.280
Strain-3	10.1	12.2	16.4	0.828	0.616	0.172	0.384
Strain-4	10.7	12.7	18.1	0.843	0.591	0.157	0.409
Displacement-1	1.76	1.50	3.08	1.173	0.571	-0.173	0.429
Displacement-2	1.66	1.40	2.86	1.186	0.580	-1.186	0.420
Displacement-3	1.56	1.40	2.86	1.114	0.545	-1.114	0.455
Displacement-4	1.61	1.50	3.08	1.073	0.523	-0.073	0.477

[Note : C is response results of continuous P. C beam bridge, S is response results of simple P. C beam bridge.]

실동하중에 의한 정적 재하시험 결과, 대상 구조물이 연속교로 거동할 경우에는 휨응력 및 처짐에 대한 응답비가 약 0.8~1.2로서 실측치가 이론치에 근접하고 있었으나, 대상 구조물이 단순교로 거동할 경우에는 약 0.5~0.7의 안정된 응답비를 나타내고 있었다.

4.5 안전도 평가

앞절의 정·동적 재하시험 결과와 구조해석에 의한 응력계산 결과를 이용하여, 연속 P. C beam교의 내하력을 평가하면 Table 7과 같다.

Table 7. Safety assessment of the P. C beam bridge.

Behavior Method	Continuous P. C beam		Simple P. C beam	
	W. S. D	U. S. D	W. S. D	U. S. D
Target gage	Displacement-2		Strain-2	
$\sigma_M (\delta_M)$	1.660		11.8	
$\sigma_c (\delta_c)$	1.400		16.4	
i_M	0.124		0.124	
K	1.333		0.809	
W_D	3.300		3.300	
W_I	3.989		3.989	
D_F	0.684		0.684	
σ_a	7.9	-	7.9	-
$\sigma_d + \sigma_p$	-65.9	-	-60.1	-
σ_l	39.8	-	57.4	-
R_n	-	1401.4	-	1401.4
D_n	-	186.2	-	323.8
L_n	-	150.2	-	216.8
RF	1.344	1.330	1.411	1.044
P_n	DB-32.3	DB-31.9	DB-33.9	DB-25.1

Table 7의 결과에서 연속된 P. C beam교가 연속교로 거동할 경우의 내하력은 허용응력법과 강도설계법의 해석에서 거의 일치하게 나타났으며, 이들 결과는 연속된 P. C beam교가 단순교로 거동할 경우의 내하력 결과중 허용응력법으로 해석된 결과와 일치하였다.

5. 결론

본 연구에서는 대부분 지점부를 슬래브의 연속 또는 가로보에 의한 연결에 의해 2연속 또는 3연속교로 시공되어 있는 연속 P. C beam교의 안전성을 평가하기 위하여 실동하중에 의한 연속 P. C beam교의 합성작용계수 및 내하력을 단순교 및 연속교로 거동할 경우에 대해 각각 산출하여 비교 검토하였다.

이들 결과 연속 P. C beam교가 연속교로 거동할 경우에는 휨 응력 및 처짐에 대한 응답비가 약 0.8~1.2로서 실측치가 이론치에 근접하고 있었으며, 단순교로 거동할 경우에는 약 0.5~0.7의 안정된 응답비를 나타내고 있었다. 또한 내하력 평가의 결과에서 연속교로 거동할 경우의 내하력은 허용응력법과 강도설계법의 해석에서 거의 일치하게 나타났으며, 이들 결과는 단순교로 거동할 경우의 내하력 결과중 허용응력법의 해석에 의한 결과와 일치함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 채 원규, "철근콘크리트 T형교의 안전진단에 관한 연구," 한국산업안전학회 논문집 제 10권 제 1호, 1995년 3월, pp. 50~55.
2. 채 원규, "콘크리트 교량의 안전 진단에 관한 연구," 1994년도 한국산업안전학회 추계 학술 연구 발표회 논문 초록집, 1994년 11월, pp. 191~198.

제2발표장 (화공안전 · 전기안전분야)

(A)

좌장 : 이내우, 우인성

14:30 나트륨어지드와 금속산화물과의 혼합물에 대한 열분해 특성

박광수 (선경인더스트리), 이내우, 최재욱 (부경대 안전공학과),
설수덕 (동아대 화학공학과)

14:50 LPG 방출실험

이창수, 이장우, 박찬욱, 김선혁, 임지환 (한국가스안전공사)

15:10 방독마스크 정화통의 샘플관을 이용한 수명 예측

김기환, 신창섭 (충북대 안전공학과)

15:50 방전플라즈마 화학반응을 이용한 질소산화물의 분해제거

우인성 (인천대 산업안전공학과), 황명환 (국립품질기술원),
강현춘 (제주전문대 환경공학과)

16:10 졸-겔 공정에 의해 Polymethylmethacrylate위에 실리카 코팅

이상근 (대명케미칼(주)), 양천희 (대전산업대 화학공학과)

(B)

좌장 : 김두현, 김응식

16:30 정전기 방전시의 분체류의 최소착화에너지 측정에 관한 연구

이동훈, 목연수, 최재욱, 신중현, 류상민, 조일건 (부경대 안전공학과),
정준채 (대한산업안전협회 울산지회)

16:50 Two-body 모델을 이용한 대전 인체의 방전위험성 예측에 관한 연구

고은영, 김두현 (충북대 안전공학과), 김상철 (세명대 산업안전공학과)