

연속 프리스트레스트 콘크리트 빔교의 내하력 평가 기법에 관한 연구

A Study on the Load Carrying Capacity Assessment Method of the Prestressed Concrete Beam Bridges

채 원 규*

Won-Kyu Chai

(1997년 12월 11일 접수, 1998년 8월 7일 채택)

ABSTRACT

In this paper, the field test by truck load and the structural analysis were performed on a prestressed concrete beam bridge to investigate the load carrying capacity of the prestressed concrete beam bridges. From the results of the field test and the structural analysis, CAF (composite action factor), TIF(transformed impact factor), and P_n (load carrying capacity) of the prestressed concrete beam bridges were studied, and the load carrying capacity assessment of the prestressed concrete beam bridges were carried out using these factors.

1. 서 론

교량 구조물은 결함이 한번 발생하면 즉각적인 보수나 교체가 어렵기 때문에 그 기능을 상실하여 효율적인 운송을 불가능하게 한다. 따라서 교량의 내하력을 평가하는 것은 대상 교량의 현 상태를 파악하고 적절한 유지관리를 위한 필수적 사항이다¹⁻³⁾. 현재 P.C(prestressed concrete) beam교는 대부분 지점부를 슬래브의 연속 또는 지점부 가로보 사이의 현장 콘크리트의 채움에 의한 연결에 의해 2연속 또는 3연속교로

시공되고 있으나, 이에 대한 설계 및 내하력 평가는 단순교로 해석되고 있다. 그러나 이러한 연속된 P.C beam교의 거동이 연속된 상태에 따라 단순교 또는 연속교로 해석해야 할지에 대한 명확한 규명이 없기 때문에, P.C beam교에 대한 내하력 평가가 문제시 되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 실동하중에 의한 연속된 P.C beam교의 합성작용계수, 환산충격계수 및 공용내하력을 단순교 및 연속교로 거동할 경우에 대해 각각 비교 검토하여, 앞으로 수행되는 P.C beam교의 내하력 평가에 대한 기초자료를

* 신구대학 토목과

제공하고자 한다.

2. 도로교의 내하력 평가 방법

구조물의 안전도란 구조물을 구성하고 있는 각 요소들의 다양한 특성과 외력으로 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 사용되고 있는 여러 종류의 세부지표들에 대한 검토로 정확한 판별을 피할 뿐이다. 현재 도로교에 사용되고 있는 안전도 평가계수는 다음과 같다^{4,5)}.

2.1 합성작용계수

합성작용계수는 1에서 응답비를 뺀 수치를 나타내며, 응답비와 마찬가지로 이론적인 거동과 실제거동과의 차이를 판별하는 지표가 된다. 합성작용계수가 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. 합성작용계수 CAF는 다음과 같은 식으로 산출된다.

$$CAF = 1 - \frac{\sigma_M}{\sigma_C} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, σ_M 은 정적 측정 응력 또는 처짐, σ_C 는 정적 계산 응력 또는 처짐이다.

2.2 환산충격계수

일반적으로 노후화된 교량에서는 합성작용의 저하, 표면의 요철 및 신축이음부의 파손에 의한 부가 충격효과 등으로 인하여 활하중의 응답이 증가하게 되며, 이를 환산충격계수로 나타내어 교량의 노후도를 판정하는 지표로서 사용한다. 환산충격계수 TIF는 다음과 같다.

$$TIF = \frac{\sigma_{MD}}{\sigma_{MS}} - 1 \dots\dots\dots (2)$$

여기서, σ_{MD} 는 측정에 의한 동적 최대 응력

또는 처짐, σ_{MS} 는 측정에 의한 정적 최대 응력 또는 처짐이다.

2.3 허용응력설계법에 의한 내하력 평가

허용응력설계법에 의한 도로교의 공용내하력 P_n 은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_n = P \times (K_s \times K_t \times K_r \times K_o) \dots\dots\dots (3)$$

$$P = \frac{\sigma_a - \sigma_d}{\sigma_{DB}} \times P_{DB} \dots\dots\dots (4)$$

여기서, P는 허용응력설계법에 의한 기본내하력, σ_a 는 재료의 허용응력, σ_d 는 사하중에 의한 응력, σ_{DB} 는 활하중에 의한 응력, P_{DB} 는 설계 활하중이다. 또한 K_s 는 실측 보정계수, K_t 는 교통상태에 따른 보정계수, K_r 은 노면상태에 따른 보정계수, K_o 는 기타 조건에 따른 보정계수이다. 한편 실측보정계수 K_s 는 다음과 같다.

$$K_s = \frac{\sigma_C}{\sigma_M} \times \frac{1 + i_C}{1 + i_M} \dots\dots\dots (5)$$

여기서, σ_C 는 계산 응력 또는 처짐, σ_M 은 실측 응력 또는 처짐, i_C 는 계산 충격계수, i_M 은 실측 충격계수이다.

본 연구에서는 연속교와 단순교에 대한 연속 프리스트레스트 빔교의 내하력 평가의 비교에 주안점을 두기 위하여 대상구조물에 대한 교통상태에 따른 보정계수 K_t , 노면상태에 따른 보정계수 K_r , 기타 조건에 따른 보정계수 K_o 의 값은 모두 1.0으로 하였다.

2.4 강도설계법에 의한 내하력 평가

강도설계법에 의한 도로교의 공용내하력 P_n 은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_n = P \times (K_s \times K_t \times K_r \times K_o) \dots\dots\dots (6)$$

$$P = \frac{\psi \times R_n - \gamma_D \times D_n}{\gamma_L \times L_n} \times P_{DB} \dots\dots (7)$$

여기서, P는 강도설계법에 의한 기본내하력, ψ 는 강도 감소계수, R_n 은 부재의 공칭강도, γ_D 는 사하중에 대한 하중조합계수, D_n 는 사하중에 의한 강도, γ_L 은 활하중에 대한 하중조합계수, L_n 은 활하중에 의한 강도, P_{DB} 는 설계 활하중이다. 또한 ψ , γ_D , γ_L 등은 저항 및 하중관련 안

전계수로서 도로교시방서의 안전규정에 따라 $\phi = 0.85$, $\gamma_D = 1.3$, $\gamma_L = 2.15$ 를 사용하고 있다⁶⁾. 한편 실측보정계수 K_s 는 허용응력설계법과 동일하다.

3. 실험하중에 의한 재하시험

3.1 대상 구조물

본 연구의 대상구조물은 총 연장 240 m (8@30m=240m)인 8경간 단순합성 P.C beam교로서 2경간 연속 슬래브 형태의 구조로 되어 있으며, 폭은 19m(1.1m+7@2.4m+1.1m=19m)로서 8개의 P.C beam이 2.4m의 간격으로 설치되어 있다. 대상구조물의 설계하중은 DB-24(1등교)이며, P.C beam의 설계기준 강도는 350kg/cm², 슬래브 콘크리트의 설계기준 강도는 270kg/cm², P.C beam과 슬래브에 사용된 철근의 항복강도는 각각 2400kg/cm²(SD-24), 4000kg/cm²(SD-40)이다. 한편 P.C beam 1개에 사용된 강선은 모두 9개로서 직경 8mm의 연선 12개로 만들어져 있으며, 강선에 작용된 유효 프리스트레스 힘은 68.7kg/mm²이다. 사용된 콘크리트와 강선의 강도 및 허용응력은 Table 1과 같다.

Table 1 Strength and allowable stress of P.C beam

Item		Quantity	
Concrete	Compressive strength at 28 days	350.0 kg/cm ²	
	Initial stage	Strength	280.0 kg/cm ²
		Compressive stress	168.0 kg/cm ²
		Tensile stress	-13.4 kg/cm ²
	Service stage	Compressive stress	140.0 kg/cm ²
Tensile stress		-8.0 kg/cm ²	
Tendon	Ultimate strength	150.0 kg/mm ²	
	Allowable tensile stress	110.0 kg/mm ²	
	Yield point stress	130.0 kg/mm ²	
	Effective prestress	68.7 kg/mm ²	

한편 본 연구의 대상구조물은 2경간 연속 슬래브 형태의 구조로서, 중간지점부에는 양방향 P.C beam을 지지하는 지점부가 각각 존재하여 단순보의 형태를 유지하고 있으나 P.C beam 상부의 슬래브는 연속으로 되어 있는 상부구조,

즉 상부 슬래브만 연속으로 되어 있는 구조이다.

3.2 측정 시스템

본 연구에서는 대상 구조물의 거동특성을 파악하고 안전도 평가를 위한 휨변형을 및 처짐을 구하기 위하여 재하시험을 실시하였다. 재하시험에 대한 실측치의 측정은 차량하중을 사용하여 통행이 통제된 상태에서 휨변형을 및 처짐이 최대가 되는 주형의 중앙부에 변형을 게이지와 처짐측정기를 설치하여, 여러가지 경우의 차량하중을 이동시켜가면서 실시하였다. 재하시험에 대한 측정 시스템은 Fig. 1과 같다.

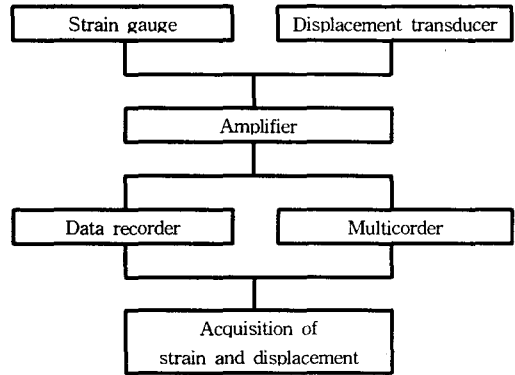


Fig. 1 Measuring system

3.3 하중 재하위치 및 게이지 설치 위치

재하시험시 재하차량은 부재의 중앙부에 뒷바퀴가 오도록 재하하였으며, 횡단면상으로 좌, 우측 바퀴의 재하 위치는 Figs. 2~5와 같다. 한편 변형을 게이지 부착 위치 및 처짐측정기의 설치위치는 각 하중 경우마다 최대 단면력이 발생할 수 있는 위치, 즉 재하차량의 뒷바퀴가 위치하는 보의 하단에 설치하였다. 변형을 게이지 부착 위치 및 처짐측정기의 설치위치는 Fig. 6과 같다.

4. 재하시험 측정 결과 분석 및 내하력 평가

4.1 정적 재하시험 결과

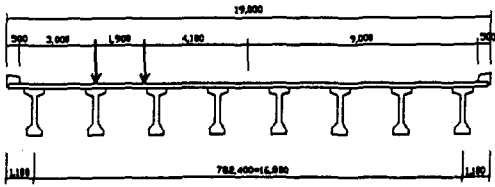


Fig. 2 Load case 1 of truck load

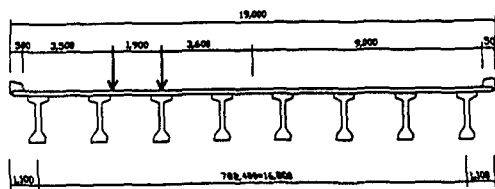


Fig. 3 Load case 2 of truck load

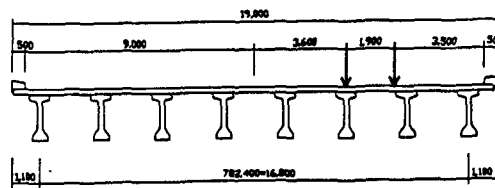


Fig. 4 Load case 3 of truck load

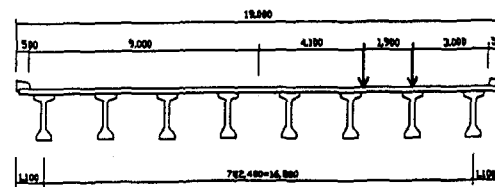


Fig. 5 Load case 4 of truck load

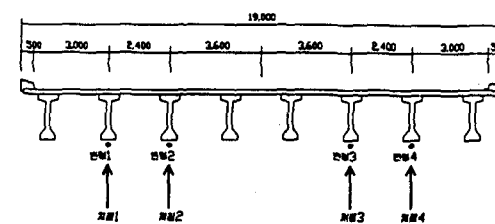


Fig. 6 Strain gauges and displacement transducers arrangement

정적 재하시험시 총중량이 31.26 ton인 덤프트럭을 재하차량으로 사용하였으며, Fig. 6에 나타낸 변형률 게이지와 처짐 측정기가 최대값을 얻을 수 있도록 각 하중경우에 대하여 재하차량을

재하하였다. 정적 재하시험 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Results of static test

Load case	Gauge No.	Bending strain	Bending stress (kg/cm ²)	Gauge 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

Table 2의 정적 재하시험 결과에서, 각 하중경우에 대한 휨 변형률값은 약 $36.0 \times 10^{-6} \sim 42.0 \times 10^{-6}$, 처짐값은 1.56~1.76mm로서 안정된 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 각 하중경우에 대한 대상 P.C beam이 각기 다른 점을 감안할 때, 각기 다른 P.C beam에 대한 정적 응답이 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

4.2 동적 주행시험 결과

동적 주행시험시의 재하차량은 정적 재하시험과 동일한 것으로 사용하였으며, 재하차량의 주행속도는 10, 20, 30, 40km/hr로 변화시켜가면서 시험을 수행하였다. 동적 주행시험으로 측정된 각 속도별 처짐 이력곡선은 Figs. 7~10에 나타내었으며, 각 속도별 최대 처짐값과 환산충격계수 TIF는 Table 3과 같다.

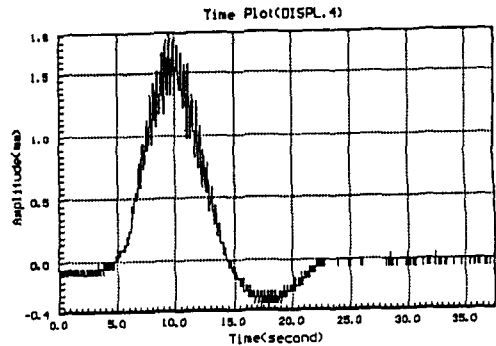


Fig. 7 The relationships between time and displacement (V=10 km/hr)

Table 3의 동적 주행시험 결과에서, 재하차량이 10 km/hr의 속도로 주행할 시, 처짐값이 1.81

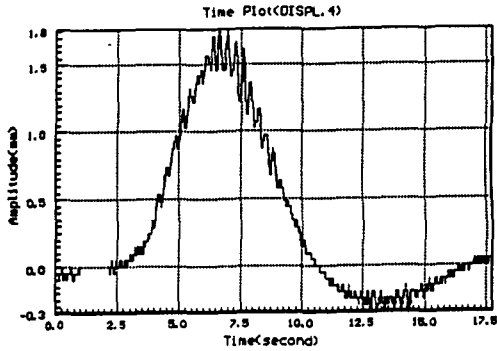


Fig. 8 The relationships between time and displacement (V=20 km/hr)

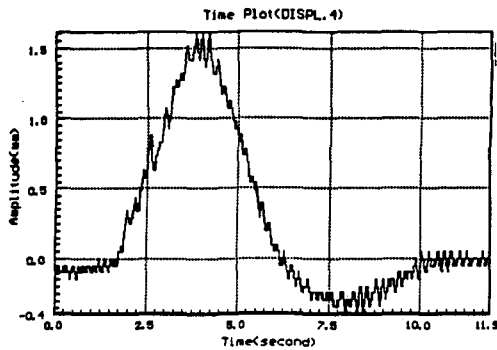


Fig. 9 The relationships between time and displacement (V=30 km/hr)

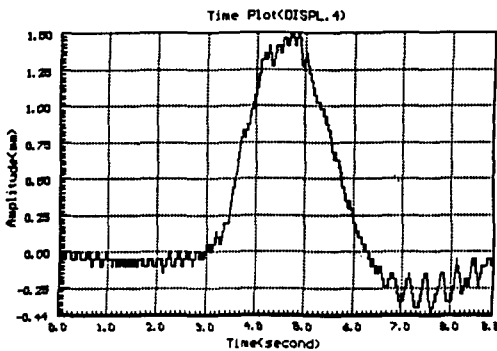


Fig. 10 The relationships between time and displacement (V=40 km/hr)

mm로서 가장 큰 동적응답을 나타내고 있음을 알 수 있으며, 이 값을 정적 응답과 비교한 환산충격계수는 0.124로서 이론적인 충격계수인 0.241보다 작음을 알 수 있다.

Table 3 Maximum displacement and TIF (Displacement -4)

Velocity (km/hr)	Displacement (mm)	TIF
Static test	1.61	-
10	1.81	0.124
20	1.76	0.093
30	1.61	0.000
40	1.50	0.000

4.3 구조해석

본 연구에서는 재하시험 결과에 의한 실측치와 비교하기 위한 이론치를 구하기 위하여, 대상 구조물을 모델링하여 재하시험과 동일한 하중상태로 하중을 재하하여 구조해석을 수행하였다. 구조해석시 분석하고자 하는 구조물의 역학적 거동을 정확히 나타내며 상대적으로 해석에 필요한 노력을 줄일 수 있도록 격자해석에 기초하여 모델링 하였다⁷⁾.

한편 본 연구에서는 구조해석 및 이에 따른 응력계산을 두가지 경우에 대하여 수행하였다. 첫번째 경우로는 연속 P.C beam교가 중간 지점부에서 슬래브의 접합에 의해 2경간 연속교로 거동할 경우에 대해 검토하였으며, 두번째 경우로는 중간지점부의 2경간을 연속시켜주고 있는 가로보가 P.C Beam과 일체로 시공되지 않은 점을 감안하여 구조물이 단순교로 거동할 경우에 대하여 검토하였다. 이 두가지 경우의 구조해석에 의한 각 하중경우에 대한 휨모멘트도는 Figs. 11~18과 같다.

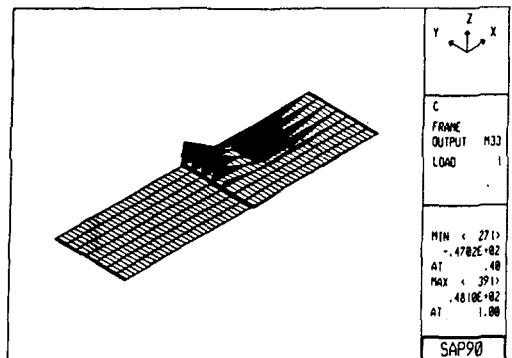


Fig. 11 Bending moment of continuous P.C beam bridge by load csae 1

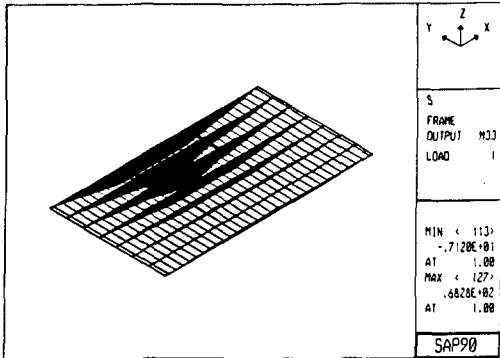


Fig. 12 Bending moment of simple P.C beam bridge by load csae 1

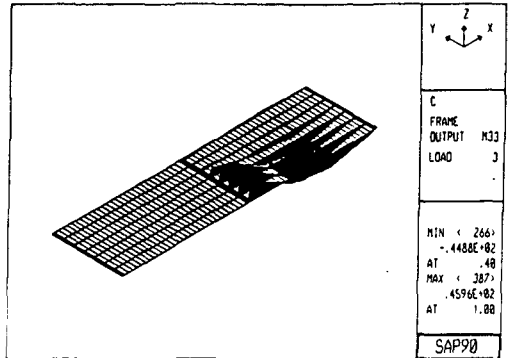


Fig. 15 Bending moment of continuous P.C beam bridge by load csae 3

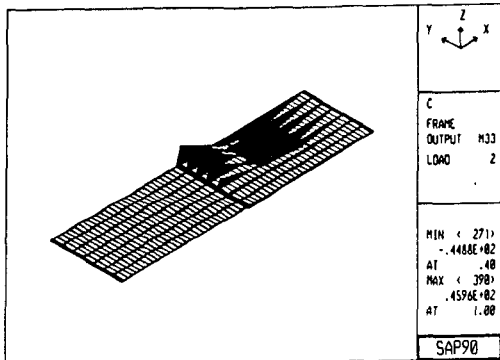


Fig. 13 Bending moment of continuous P.C beam bridge by load csae 2

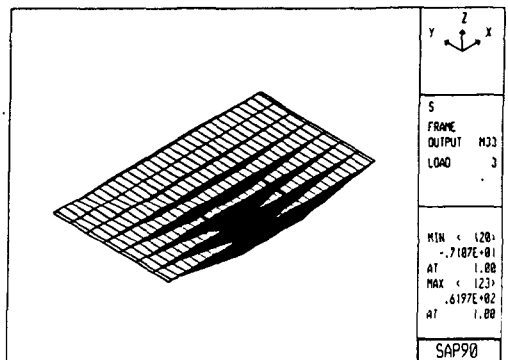


Fig. 16 Bending moment of simple P.C beam bridge by load csae 3

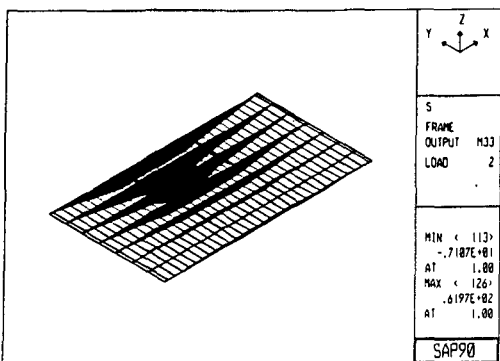


Fig. 14 Bending moment of simple P.C beam bridge by load csae 2

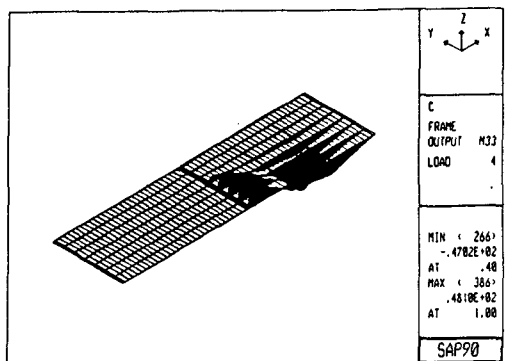


Fig. 17 Bending moment of continuous P.C beam bridge by load csae 4

한편 Figs. 11~18의 구조해석 결과에서 단순 교로 거동할 경우와 연속교로 거동할 경우 모두 최대 휨모멘트 및 최대 처짐은, 각 하중 경우에

서 게이지를 설치한 위치 즉 차량하중의 뒷바퀴가 재하된 위치인 시간의 중앙부에서 발생되었다. 한편 이들 그림들에서 최대 휨모멘트 값이 작

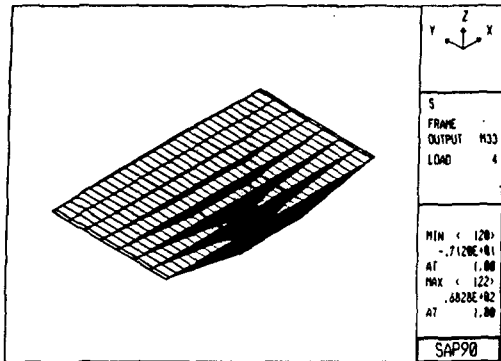


Fig. 18 Bending moment of simple P.C beam bridge by load case 4

용되는 부재의 번호가 단순교로 해석할 경우와 연속교로 해석할 경우에서 서로 상이한 것은 단순교와 연속교의 모델링시 부재번호의 차이에 의한 것이다. 이들 최대 단면력값을 Table 4에 정리하여 나타내었다.

4.4 응답비 및 합성작용계수 산출

본 연구에서는 교량의 결합상태를 포함한 현상태에서의 안전도 판별을 위하여 Table 5에 휨응력 및 처짐에 대한 각각의 실측치와 이론치의 응답비 및 합성작용계수를 산출하였다. 여기서 실측치는 재하시험에 의해 측정된 결과를 나타낸 것이며, 이론치는 재하시험과 동일한 하중상태에서의 구조해석 결과에 의해 계산된 값을 말한다.

Table 5의 실동하중에 의한 정적 재하시험 결

Table 5 Response ratio and CAF

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

Note: C means results of continuous P.C beam bridge, S means results of simple P.C beam bridge.

Table 4 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	-20.67		323.80		85.8		
Prestressed force	.2623		-325.50		-145.9		
Live load	Design load	-5.07	-10.02	123.70	178.60	32.8	47.3
	Truck load (LC 1)	-1.50	-3.08	48.11	68.28	12.7	18.1
	Truck load (LC 2)	-1.40	-2.86	45.96	61.96	12.2	16.4
	Truck load (LC 3)	-1.40	-2.86	45.96	61.96	12.2	16.4
	Truck load (LC 4)	-1.50	-3.08	48.11	68.28	12.7	18.1

Note: C means structural analysis results of continuous P.C beam bridge, S means structural analysis results of simple P.C beam bridge.

과, 대상 구조물이 연속교로 거동할 경우에는 휨응력 및 처짐에 대한 응답비가 약 0.8~1.2로서 실측치가 이론치에 근접하고 있었으며, 대상 구조물이 단순교로 거동할 경우에는 약 0.5~0.7의 적은 응답비를 나타내고 있었다.

4.5 내하력 평가

앞 절의 정적 재하시험과 동적 주행시험 결과 및 구조해석에 의한 응력계산 결과를 토대로, 연속된 P.C beam교의 내하력을 연속교로 거동할 경우와 단순교로 거동할 경우에 대해 각각 처짐과 휨응력에 대해 평가하면 Table 6과 같다.

Table 6의 결과에서, 연속된 P.C beam교의 허

Table 6 Load carrying capacity assessment of the P.C beam bridges

P.C beam		Continuous P.C beam				Simple P.C beam			
Target gauge		Displ.-2		Strain-2		Displ.-2		Strain-2	
Method		WSD	USD	WSD	USD	WSD	USD	WSD	USD
$\delta_C (\sigma_C)$		1.400 mm		16.4 kg/cm ²		2.860 mm		12.2 kg/cm ²	
$\delta_M (\sigma_M)$		1.660 mm		11.8 kg/cm ²		1.660 mm		11.8 kg/cm ²	
ic		0.214		0.214		0.214		0.214	
iM		0.124		0.124		0.124		0.124	
K _S		0.911		1.501		1.861		1.117	
σ_a [kg/cm ²]	R _n [T · m]	7.9	1401.4	7.9	1401.4	7.9	1401.4	7.9	1401.4
σ_d [kg/cm ²]	D _n [T · m]	-60.1	323.8	-60.1	323.8	-60.1	323.8	-60.1	323.8
σ_{DB} [kg/cm ²]	L _n [T · m]	39.8	150.2	39.8	150.2	57.4	216.8	57.4	216.8
P _n [DB]		37.4	52.2	61.5	85.9	52.9	73.8	31.8	44.3

Note: δ_C =calculated displacement, σ_C =calculated bending stress, δ_M =measured displacement, σ_M =measured bending stress, ic=calculated impact factor, iM=measured impact factor, K_S=corrective factor, σ_a =allowable stress, σ_d =bending stress by dead load and prestressed force, σ_{DB} =bending stress by live load, R_n=nominal strength, D_n=bending moment by dead load, L_n=bending moment by live load, P_n=load carrying capacity.

용응력설계법(WSD)과 강도설계법(USD)에 의한 공용내하력은 연속교로 거동할 경우, 처짐에 대해서는 각각 약 DB-37.4, 약 DB-52.2로, 휨응력에 대해서는 각각 약 DB-61.5, 약 DB-85.9로 나타났고, 단순교로 거동할 경우, 처짐에 대해서는 각각 약 DB-52.9, 약 DB-73.8로, 휨응력에 대해서는 각각 약 DB-31.8, 약 DB-44.3으로 나타났다.

이상의 내하력 평가 결과에서, 도로교의 내하력 평가가 대상구조물의 최소값의 내하력을 알기 위한 것임을 감안할 때, 연속된 P.C beam교의 내하력 평가는 허용응력설계법에 의한 단순교로 거동할 경우로 평가함이 타당할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 연속된 P.C beam교의 내하력 평가에 기초자료를 제공하기 위하여, 연속된 P.C beam교에 대하여 설계하중과 실행하중에 대한 구조해석 및 실행하중에 의한 재하시험을 수행하였으며, 이들 결과에 의해 연속된 P.C beam교의 합성작용계수, 환산충격계수 및 내하력을 단순교 및 연속교로 거동할 경우에 대해 각

각 산출하여 일련의 내하력 검토를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 정적 재하시험 결과, 각 하중경우에 대한 P.C beam에 대한 정적 응답은 P.C beam의 위치에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.
- 2) 동적 주행시험 결과, 재하차량이 10 km/hr의 속도로 주행할 시 가장 큰 동적응답을 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 이에 대한 환산 충격계수는 0.124로서 이론적인 충격계수인 0.241 보다 작게 나타남을 알 수 있었다.
- 3) 합성작용계수의 검토 결과에서, 연속된 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 적은 응답비를 나타내고 있었다.
- 4) 연속된 P.C beam교의 허용응력설계법(WSD)과 강도설계법(USD)에 의한 공용내하력은 연속교로 거동할 경우, 처짐에 대해서는 각각 약 DB-37.4, 약 DB-52.2로, 휨응력에 대해서는 각각 약 DB-61.5, 약 DB-85.9로 나타났고, 단순교로 거동할 경우, 처짐에 대해서는 각각 약 DB-52.9, 약 DB-73.8로, 휨응력에 대해서는 각각 약 DB-31.8, 약 DB-44.3으로

나타났다.

이상의 내하력 평가 결과에서, 도로교의 내하력 평가가 대상구조물의 최소값의 내하력을 알기 위한 것임을 감안할 때, 연속된 P.C beam교의 내하력 평가는 허용응력설계법에 의한 단순교로 거동할 경우로 평가함이 타당할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 채원규, "기본내하력에 의한 도로교의 안전성 연구", 한국산업안전학회 논문집, Vol. 11, No. 4, pp. 122~126, December, 1996.
- 2) 채원규, "철근콘크리트 T형교의 안전진단에 관한 연구", 한국산업안전학회 논문집, Vol. 10, No. 1, pp. 50~55, March, 1995.
- 3) 채원규, "콘크리트 교량의 안전 진단에 관한 연구", 1994년도 한국산업안전학회 추계학술연구발표회 논문 초록집, pp. 191~198, November, 1994.
- 4) "교량관리체계개선", 건설교통부, pp. 501~510, May, 1995.
- 5) "콘크리트 표준시방서", 사단법인 대한토목학회, pp. 326~332, June, 1996.
- 6) "도로교 표준시방서", 사단법인 대한토목학회, pp. 73~82, May, 1996.
- 7) Hambly, E.C., "Bridge Deck Behavior", E & FN SPON, pp. 82~105, 1991.