

## 기본내하력에 의한 도로교의 안전성 연구

### A Study on the Safety of Highway Bridges by the Primary Capacity of Load

채 원 규\*

Won-Kyu Chai

(1996년 9월 16일 접수, 1996년 12월 14일 채택)

#### ABSTRACT

In this thesis, the field test results of fifty-one highway bridges were analyzed in order to investigate the primary capacity of load of highway bridges.

From this study, it was known that primary capacity of load are decreased with the serviced years, and those are small in T-beam bridges rather than I-beam bridges. And the average primary capacity of load of highway bridges is seemed about 15.5ton in T-beam bridges and in I-beam bridges about 19.7ton.

#### 1. 서 론

최근 지역사회의 급속한 발전에 따라 도로의 활용도는 급증되어 도로구조물 즉 교량의 중요성은 더욱 강조되고 있다. 더우기 현재 공용중인 교량들에는 설계하중보다 높은 대형차량이 빠른 속도로 통과하고 있는 실정인어서, 이들 교량에 대한 안전성 확보가 강조되고 있다<sup>1)</sup>.

특히 국도 및 지방 간선도로상의 교량들은 고속도로의 통행하중 제한으로 인해 설계하중보다 무거운 차량들이 빈번하게 운행되는 실정이기 때문

에 이러한 교량들의 안전성 점검이 시급한 실정이며, 건설부와 한국도로공사에서는 이러한 교량들의 안전성을 점검하고 문제점 발생시 적절한 대책을 수립하기 위하여 노후화 되었다고 생각되는 교량들이나 중차량이 빈번히 통과하는 교량들에 대하여 교량 내하력 조사를 실시하여 왔다<sup>2~4)</sup>.

본 연구에서는 이를 토대로, 현재까지 교량 내하력 조사가 실시되었던 교량들 중 51개 교량들에 대한 내하력 조사 결과로 부터 얻어진 자료들을 교량의 구조형식별로 통계 정리하였으며, 도로교의 기본내하력이 교량의 사용년수와 어떠한 상관관계

\* 신구전문대학 토목과

를 갖고 있는지 고찰하여 도로교의 안전성에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구대상 교량

### 2.1 교량형식

현재 우리나라에 가설된 총 12,000여개 교량들의 1등교(DB-24), 2등교(DB-18), 3등교(DB-13.5) 교량의 구성률과 준공년도에 따른 구성률은 Fig. 1과 같다<sup>5)</sup>.

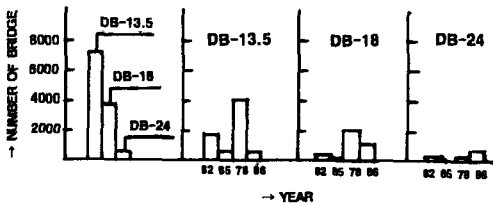


Fig. 1 The distribution of bridges

Fig. 1로 부터 1등교 교량은 전체 교량의 3.4%에 달한다는 것을 알 수 있으며, 이들 교량은 대부분 고속도로상에 가설되어 있기 때문에, 국도 및 지방 간선도로상의 교량은 대부분 DB-18 이하로 설계되어 있음을 알 수 있다. 즉 고속도로상의 통행하중 제한으로 인하여 이들 국도 및 지방 간선도로상의 교량들은 과대하중을 받음을 알 수 있으며, 급속한 경제발전애 따른 활하중의 증대로 교량의 내하력에 문제를 야기함을 짐작할 수 있다.

본 연구는 도로교의 내하력 조사자료를 정리한 것으로 각 연구대상 교량의 측정환경, 방법 및 해석방법이 달라 이로 인해 약간의 차이가 있을 수도 있으나, 본 연구에서는 이를 무시하고 현재 상태의 대상 교량의 기본내하력과 사용년수의 상관관계를 분석하여 도로교의 안전성에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

본 연구에서 연구 대상으로 선정한 교량들은 대부분 건설부와 한국도로공사에서 실측한 일반국도와 고속도로상의 교량들이며, 구조형식에 따라 T-beam 교량, I-beam 교량을 주 대상 교량으로 선정하였다.

본 연구의 대상 교량의 구조형식별 구성률은 Table 1과 같으며, 구조형식별 대상 교량의 단면

도는 Fig. 2~3과 같다.

Table 1 Classification of bridges

Bridge Type	Number of bridges	Span(m)			Widge(m)		
		Maximum	Minimum	Average	Maximum	Minimum	Average
T-beam bridge	35	16.7	5.0	10.8	9.5	4.2	7.0
I-beam bridge	16	20.6	7.0	11.72	10.8	3.1	7.2

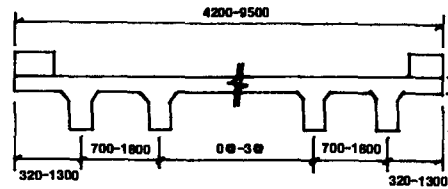


Fig. 2 The general view of T-beam bridges

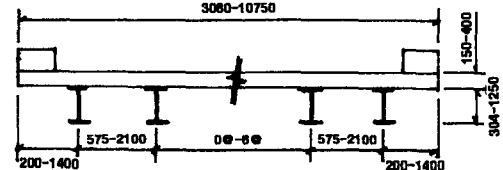


Fig. 3 The general view of I-beam bridges

### 2.2 기본내하력

현재까지 우리나라에서의 교량의 내하력 조사는 주로 외관조사, 이력조사, 정적 재하시험, 동적 주행시험 및 자유통행 상태하의 시험 등으로 나누어지는 일련의 시험으로 이루어지며, 이들 시험에 의해 대상 교량의 변형률, 처짐, 가속도 등을 측정하였다. 또한 측정된 결과를 이론적인 구조해석에 의한 계산값과 비교하여 교량의 내하력 평가를 실시하여 왔다.

본 연구에서는 교량의 사용년수에 따른 교량의 기본내하력의 비교가 주 목적이기 때문에, 교량의 내하력 조사 결과중 기본내하력의 결과들만을 조사하였다.

본 연구에서 조사된 교량의 내하력 평가계수인 기본내하력(P. C. L : Primary Capacity Load)은 대상 교량의 내하능력을 검토하기 위하여 활하중에 의해 작용할 수 있는 응력 즉, 허용 응력과 사

하중 응력의 차와 현 시방서 규정에 의한 하중에 의한 응력의 비로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

2.2.1 허용응력 설계법

허용응력법에 의한 교량의 내하력 평가는 손상된 구조물의 실저항강도와 관련된 손상계수(DF) 및 재하시험에 의한 실 응답비(K)를 포함시킨 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\cdot \text{내하력} : RF = \frac{P_n}{P_L} = \frac{\sigma_a D_F - \sigma_d}{\sigma_t} \times \frac{1}{K}$$

$$\cdot \text{공용내하력} : P_n = P_L \times RF$$

여기서,  $P_L$ =설계활하중,  $\sigma_t$ =설계활하중에 의한 응력,  $\sigma_a$ =재료의 허용응력,  $\sigma_d$ =사하중 응력,  $K$ =내하력 보정계수(= $K_S(1+i_M)$ ),  $K_S$ =응답비(실측응력 또는 처짐/계산응력 또는 처짐),  $i_M$ =실측 충격계수,  $D_F$ =손상계수 이다.

2.2.2 하중계수법

하중계수법에 의한 교량의 내하력 평가는 손상계수와 실응답비 K를 포함시킨 다음과 같은 식으로 표현된다.

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

$$\cdot \text{공용내하력} : P_n = P_L \times RF$$

여기서,  $R_n$ =무손상단면의 실강도에 의한 추정 공칭강도,  $D_n$ =사하중 모멘트,  $L_n$ =설계활하중 모멘트,  $K$ =내하력 보정계수(= $K_S(1+i_M)$ ),  $K_S$ =응답비(실측응력 또는 처짐/계산응력 또는 처짐),  $i_M$ =실측 충격계수,  $D_F$ =손상계수이다.

한편  $\psi$ ,  $\gamma_D$ ,  $\gamma_L$  등은 저항 및 하중관련 안전모수로서 최근에 도로교시방서에서 강도설계법을 채택하고 있으므로, 하중저항계수법의 형태로서 실용성을 고려하여 도로교표준시방서의 안전규정에 따라  $\psi=0.85$ ,  $\gamma_D=1.3$ ,  $\gamma_L=2.15$ 가 일반적으로 사용된다<sup>6)</sup>.

2.2.3 고유진동수 및 손상계수

교량의 기본 고유진동수 및 감쇠비는 응답이력 곡선으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$f = \frac{n}{t}$$

$$\rho = \frac{1}{2\pi n} \ln\left(\frac{A_0}{A_n}\right) \times 100$$

여기서,  $f$ =교량의 기본고유진동수,  $\rho$ =감쇠비,  $n$ =시간  $t$  동안에 일어나는 진동사이클수,  $A_0$

=기준진폭,  $A_n$ = $n$ 번째 진동의 진폭이다.

한편 가속도계를 이용하여 측정된 자료는 노후 손상교량의 응답모수를 추정하기 위해 사용한다. 일반적으로 가속도는 처짐보다 높은 모드에 민감하므로 처짐 또는 변형률 신호에 의해서는 교량의 기본진동수만을 측정할 수 있으나 가속도 신호를 이용하면 높은 모드의 진동수 및 진동모드를 구할 수 있는 장점이 있다. 이때 측정된 아나로그신호를 디지털신호로 변환하기 위해서는 AD변환기(Analog-Digital Converter)와 소형컴퓨터를 이용한다.

구조물의 손상도는 구조물의 종류, 내하특성, 손상원인, 손상형태 및 종류 등에 따라 달라지고 내구성이나 내하력 측면에서 손상도를 평가하는 일은 전문가에게도 매우 어려운 문제이다. 따라서 설계 및 시공자료, 손상현황의 조사자료, 각종 비파괴검사, 현장재하시험, 실험실 시험결과 등 광범위한 자료를 바탕으로 평가해야 할 뿐 아니라 합리적이고도 통계적인 방법에 기초하여 가능한 한 주관적인 평가를 배제할 수 있는 방법에 따라 평가되어야 한다. 그러나 단일부재로 구성된 구조나 단일부재적 거동이 지배하는 구조물의 경우에는 근사적인 방법으로 측정 가속도 응답파에 대한 FFT(Fast Fourier Transformation) 분석방법에 의해 쉽게 기본 고유진동수를 추정할 수 있다.

따라서 강성도가 고유진동수의 자승에 비례한다는 점을 유의하면 측정 고유진동수에 의해 손상계수를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$D_F = \frac{\omega_D^2}{\omega_1^2}$$

여기서,  $\omega_D$ =손상부재의 기본 고유진동수,  $\omega_1$ =원래의 무손상부재의 기본 고유진동수이다.

3. 결과분석 및 고찰

본 연구에서는 대상 교량들의 내하력을 검토하기 위하여, 활하중에 의해 작용하는 응력과 사하중에 의한 응력의 차와 최대 DB하중에 의한 계산 응력의 비로부터 구한 기본내하력을 교량의 사용연수에 따라 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4로부터 대상 교량의 평균 기본내하력은 약 16.9ton임을 알 수 있다. 또한 대상 교량의 사용연수와 기본내하력과의 관계를 회귀분석하여 나

타내면 다음과 같다.

$$P.C.L(H) = -0.222 \times N + 26.604$$

여기서, P.C.L(H)는 도로교의 기본내하력, N은 교량의 사용년수를 나타낸다.

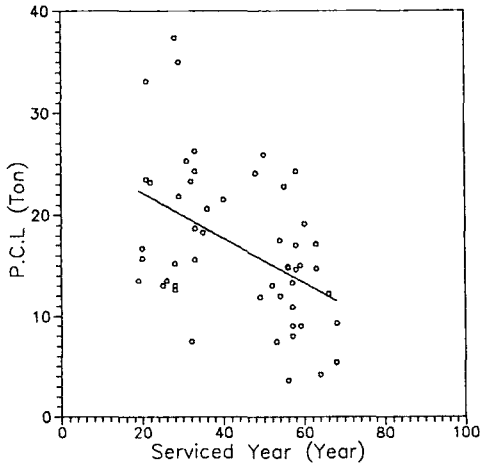


Fig. 4 The relationship between the serviced year and the primary capacity of load (highway bridges)

이 회귀분석식의 기본내하력과 사용년수에 대한 상관계수는 약 0.47이었으며, 이 식으로부터 사용년수가 1년 증가함에 따라 도로교의 기본내하력이 약 0.22ton씩 낮아 짐을 알 수 있다. 연구 결과, 도로교의 평균 기본내하력은 약 16.9ton으로 낮게 나타났는데 이러한 결과는 내하력 측정이 수행된 대상 교량의 대부분이 노후 손상되어 있는 교량들이기 때문이다.

### 3.1 T-beam 교량

본 연구에서는 대상 교량들 중 T-beam 교량의 사용년수와 기본내하력의 상관관계를 정리하여 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5로부터 대상 교량들 중 T-beam 교량의 평균 기본내하력은 약 15.5ton임을 알 수 있다. 또한 T-beam 교량의 사용년수와 기본내하력과의 관계를 회귀분석하여 나타내면 다음과 같다.

$$P.C.L(T) = -0.216 \times N + 25.628$$

여기서, P.C.L(T)는 T-beam 교량의 기본내하력, N은 교량의 사용년수를 나타낸다.

이 회귀분석식의 기본내하력과 사용년수에 대한

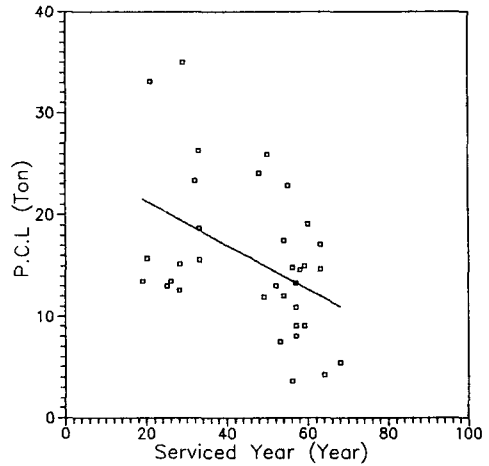


Fig. 5 The relationship between the serviced year and the primary capacity of load. (T-beam bridges)

상관계수는 약 0.45이었으며, 이 식으로부터 T-beam 교량의 경우, 사용년수가 1년 증가함에 따라 기본내하력이 약 0.21ton씩 낮아 짐을 알 수 있다.

### 3.2 I-beam 교량

대상 교량들중 I-beam 교량의 사용년수와 기본내하력의 상관관계는 Fig. 6과 같다.

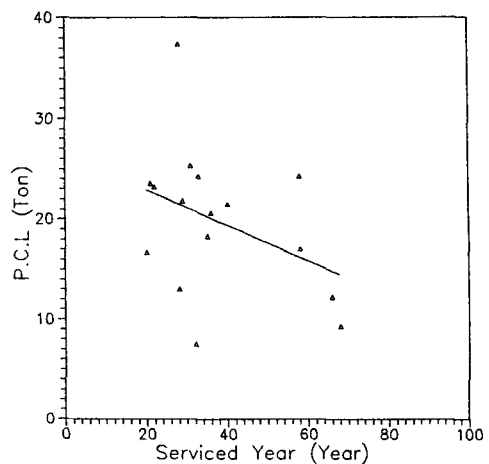


Fig. 6 The relationship between the serviced year and the primary capacity of load(I-beam bridges)

Fig. 6으로 부터 대상 교량들 중 I-beam 교량의 평균 기본내하력은 약 19.7ton으로 T-beam 교량보다 높은 값을 갖고 있음을 알 수 있다. 이들 I-beam 교량의 사용년수와 기본내하력과의 관계를 회귀분석하여 나타내면 다음과 같다.

$$P.C.L(I) = -0.176 \times N + 26.404$$

여기서, P.C.L(I)는 I-beam 교량의 기본내하력, N은 교량의 사용년수를 나타낸다.

이 회귀분석식의 기본내하력과 사용년수에 대한 상관계수는 약 0.38이었으며, 이 식으로 부터 I-beam 교량의 경우, 사용년수가 1년 증가함에 따라 기본내하력이 약 0.18ton씩 낮아 짐을 알 수 있다.

이상의 결과에서 I-beam 교량의 기본내하력은 T-beam 교량의 기본내하력보다 상대적으로 다소 높게 나타나 사용년수가 증가함에 따라 I-beam 교량의 안전성이 T-beam 교량 보다 좋은 것으로 추정되었다. 또한 교량의 기본내하력과 사용년수의 회귀분석 결과로 부터, 사용년수의 증가에 따른 I-beam 교량의 기본내하력의 감소량이 T-beam 교량보다 작게 나타나 사용년수에 따른 도로교의 노후손상이 I-beam 교량에 비해 T-beam 교량에서 상대적으로 크게 일어남을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 우리나라 도로교의 안전성을 파악하기 위하여 국도 및 고속도로상의 51개 교량들에 대한 기본내하력의 조사 자료들을 교량의 사용년수에 따라 각 교량 형태별로 통계 정리하여 도로교의 안전성에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

연구 결과, 대상 교량의 평균 기본내하력은 약

16.9ton으로 낮게 나타났는데 이러한 결과는 내하력 측정이 수행된 대상 교량의 대부분이 노후 손상되어 있는 교량들이기 때문이며, I-beam 교량의 기본내하력은 약 19.7ton으로서 T-beam 교량의 기본내하력인 약 15.5ton보다 상대적으로 다소 높게 나타나 사용년수가 증가함에 따라 I-beam 교량의 안전성이 T-beam 교량 보다 좋은 것으로 추정되었다. 또한 교량의 기본내하력과 사용년수의 회귀분석 결과로 부터 사용년수의 증가에 따른 I-beam 교량의 기본내하력의 감소량이 T-beam 교량보다 작게 나타나 사용년수에 따른 도로교의 노후손상이 I-beam 교량에 비해 T-beam 교량에서 상대적으로 크게 일어남을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 장동일, 장석윤, “강교량의 안정성과 신뢰성에 관한 연구 (실동응력의 등가피로피해)”, 대한토목학회 논문집, Vol. 27, No. 4, pp. 85~98, 1979.
- 2) 건설부 국립건설연구소, “건설연구자료(교량 내하력 조사)”, 1968~1989.
- 3) 한국도로공사, “고속도로 교량 내하력 평가 시스템 개발 연구 제1단계 용역 종합 보고서”, 1986.
- 4) 한국도로공사, “고속도로 교량 내하력 평가 시스템 개발 연구 제2단계 용역 종합 보고서”, 1987.
- 5) 한국도로공사, “고속도로 구조물 안전진단 용역 종합보고서”, 1987.
- 6) 건설부, “도로교표준시방서”, pp. 78~82, 1996.