

# 통행차량에 의한 충격계수 산정방법 개선

An Improvement for Impact Factor Determination to Traffic Loads

구 봉 근\* 류 택 은\*\* 이 재 범\*\* 류 연 중\*\*  
Koo, Bong-Kuen Ryu, Taek-Eun Lee, Jae-Bum Ryu, Youn-Jong

## Abstract

This paper is proposed a reasonable method for determining the dynamic properties, the impact factors caused by traffic loads on highway bridges. In addition, the impact factors obtained in previous inspection reports were classified by the span length of the bridge, kind of bridge and type of bridge and the result of the impact factor was adjusted by a statistical method and presented problems. Also, the method for determining the impact factor using traffic load is proposed and the proposed method is compared with the specification code.

The method estimating the impact factors due to the traffic loads can efficiently recognize the response of the structure by providing the impact factors and help to save the investigation cost, and also it can be used for the maintenance of structures using the usual test of bridges.

**keywords** : Impact Factor, Traffic Load, Highway Bridge

## 1. 서 론

최근에는 교통량의 비약적인 증가, 차량의 중량화·고속화, 재료의 고강도화, 컴퓨터 최적설계개념에 따른 단면의 감소 등 여러 가지 요인으로 인해 교량부재에 작용하는 작용응력이 설계응력에 접근하고 있다.

차량 주행시에는 교량바닥판 포장의 노후로 인한 노면 조도의 악화와 교량진입부나 신축이음의 단차 등으로 인해 설계시 고려한 충격하중보다 큰 하중효과가 빈번하게 작용하여 교량의 피로저항능력을 저하시키고 교량의 사용수명을 단축시키며, 안전성을 감소시키고 있다.

\* 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수, 공학박사  
\*\* 정회원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

E-mail : bkkoo@trut.chungbuk.ac.kr 043-261-2378  
• 본 논문에 대한 토의를 2002년 6월 30일까지 학회로 보내 주시면 2002년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

또한, 교량에 발생하는 과도한 진동은 이용자에게 심리적 불안감을 줄 수도 있다. 통행차량에 의한 영향은 초기에는 단순히 교량의 충격계수의 평가에 관한 것이 주류를 이루었으나 최근에는 통행차량에 의한 진동문제도 다양화되고, 또한, 일반사용자의 사용성에 대한 요구도 증가하여 실무설계에서 진동문제가 보다 신중하게 다루어지고 있다. 교량의 설계거동을 보다 정확히 파악하기 위해서는 차량 통행시 발생하는 동적 응답의 특성을 정확히 분석할 필요가 있다.<sup>1)</sup> 본 연구에서는 통행차량에 의해 발생하는 교량구조물의 동특성, 즉 충격계수를 합리적으로 산정하는 방법을 제시하였다. 그리고, 기 시행된 정밀안전진단 보고서에서 충격계수를 얻어, 지간길이별, 교량종류 및 형식별로 분류한 후 충격계수를 비교 검토하였다. 또한, 통행차량에 의한 충격계수 산정방법을 제안하고 이를 현장실험 결과에 적용함으로써 시방서 규정과 비교·검토하고자 한다.

## 2. 기존의 충격계수의 분석

### 2.1 기존의 동적재하시험에 의한 충격계수

교량의 동적거동에 영향을 주는 요인으로는 교량의 종류, 구조형식, 차량의 속도, 지간길이, 노면조도 등이 있다. 133개 교량에 대한 동적재하시험 실측자료를 분석하여, 지간길이, 교량의 종류 및 형식에 따른 충격계수를 분석하여 Fig.1 ~ Fig.3에 나타내었다.

### 2.2 충격계수 산정에 따른 문제점

Fig.1에서 알 수 있듯이 실험으로부터 얻은 충격계수는 현재 지간의 함수로 되어 있는 기존의 충격계수의 이론값과 상관성을 찾아보기가 어렵다.

즉, 현재의 지간의 함수로 되어 있는 도로교 시방서의 기존의 충격계수 산정식은 문제가 있는 것으로 사료되며, 실험방법에 있어서도 정적 재하시험과 주행시험을 분리하여 속도별 주행시험의 최대값과 정적재하시험을 비교하는 것은 문제점이 있는 것으로 판단된다.

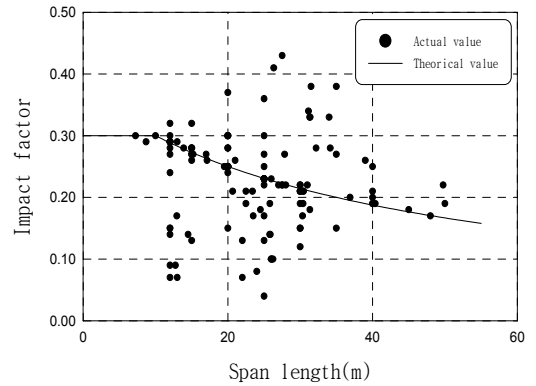


Fig. 1 Impact factor distribution of span length

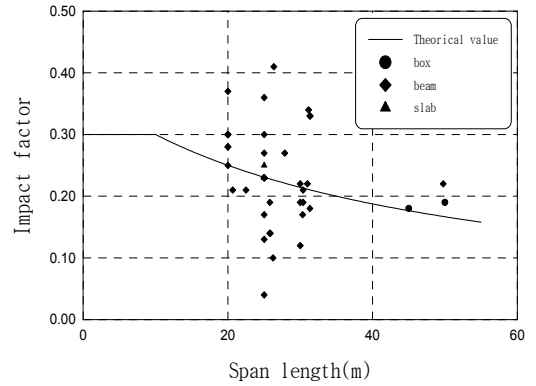


Fig. 2 Impact factor distribution of PC-bridge

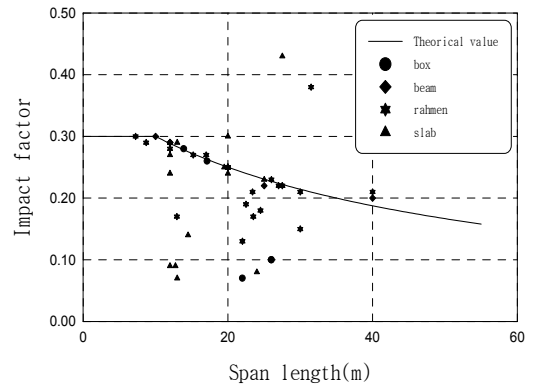


Fig. 3 Impact factor distribution of RC-bridge

또한, Fig.2와 Fig.3에서 알 수 있듯이 교량의 종류 및 형식에 따른 충격계수는 RC교량에 대하여 모든 형식의 교량에 있어서 실험값이 대부분 이론값 이하로 나타나고 있어 기존의 실험 방법이 비교적 적절한 것으로 판단된다.

그러나, PC교량에 대해서는 이론값과 실험값이 상이하고 60%정도가 이론값을 상회하는 것으로 나타나 기존의 충격계수 이론식 및 충격계수 실험방법의 개선 및 검토가 필요한 것으로 사료된다.

최근의 유럽의 공동시방서는 유럽내 통행량이 가장 많은 곳에 WIM(운행중하중측정장치)을 설치하여 얻은 결과로부터 하중모형을 유도했는데, 이 규정에서는 충격계수의 개념이 없고, 차량하중에 포함되어 있다.

따라서, 충격계수 산정시 주행 경우 별로 차량통행 위치의 변경, 계측결과의 차이 등에 의한 오차를 배제하기 위하여 실제 통행차량에 의한 동적측정 시간이력 곡선과 그 계측결과에서 고주파성분이 제거된 시간이력곡선의 최대값의 비를 사용함이 적절할 것으로 사료된다.

### 3. 통행차량에 의한 충격계수

#### 3.1 개요

교량의 동적거동은 변위, 변형률 그리고 가속도 성분을 측정함으로써 교량의 특성치들을 구할 수 있다. 동적 변위나 변형률을 측정하기 위해서는 측정위치에 스트레인게이지를 부착한 후 동적측정변환기와 풀 브릿지박스를 이용하여 회로를 구성하고 전압을 걸어주며 전기신호를 정류 및 증폭한 결과를 tape recorder에 기록하여 실험값을 측정한다. Fig. 4는 현장계측시스템을 나타내었고, Fig. 5는 현장계측 후 실험실의 자료분석과정을 나타낸 것이다.

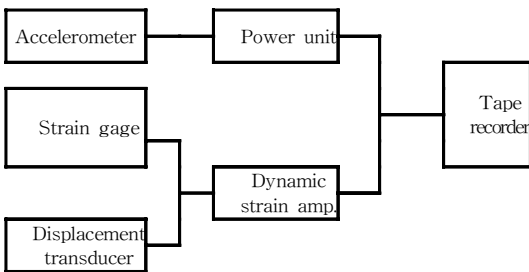


Fig. 4 Field measuring system<sup>2)</sup>

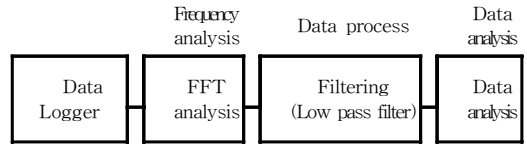


Fig. 5 Analyzing process in laboratory

동적시험을 행하는 가장 큰 이유는 충격계수(동적중가계수)를 내하력에 반영하기 위한 것이다. 현재의 건설교통부세부지침에 의한 내하력산정에는 허용응력법과 강도설계법에 실측 충격계수를 이용한 보정계수를 고려하게 되어 있다. 우리나라의 시방서의 충격계수는 최대값이 0.3으로 지간길이에 따라 다른 값을 갖는다. 건설교통부의 내하력조사에 의한 교량의 충격계수는 그 실측에 대한 계산충격계수의 비가 최소 0.26에서 최대 5.32로 다양하다. 매우 큰 값인 경우는 이음부의 파손, 노면상태의 불량 등 그 원인이 다양하다. 그러나, 대부분의 재하시험 결과는 이론치 충격계수보다 실측 충격계수가 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 또한, 충격계수는 내하력 산정에 직접적으로 영향을 미치므로 교량의 상태를 잘 나타낼 수 있는 정확한 값을 측정할 수 있어야 한다. 따라서, 기존의 충격계수 산정방법을 보완하여, 교량의 상태를 잘 나타낼 수 있는 새로운 기법제시가 필요하다.

통행차량에 의한 충격계수를 산정하기 위해 계측시간 동안에 발생하는 응답을 측정하여 시간이력곡선에서 고주파성분이 제거된 시간이력곡선과의 최대값의 비를 사용한 충격계수를 산정하기 위해 프로그램(Impact Factor Analysis Program)을 개발하였다. Fig. 6은 개발된 프로그램의 흐름도를 나타낸다. 개발된 프로그램은 데이터 로거(Data Logger)에 저장된 데이터를 각각의 채널별로 데이터를 분류하고, 각각의 재하경우(load case)에 따른 차량별 응답의 측정값을 분류하고, FFT와 filtering하여 충격계수를 산정하고 평균과 분산을 계산한다. 기존의 방법은 재하차량에 의하여 정적인 처짐과 동적인 처짐을 구하여 충격계수를 구하였다. 이와 같이 현장 재하시험을 통하여 얻은 측정자료로부터 최대 정적값을 구하는 것은 최대 정적값의 크기에 따라 충격계수의 값이 다르게 나타나므로 매우 민감한 문제가 발생한다.

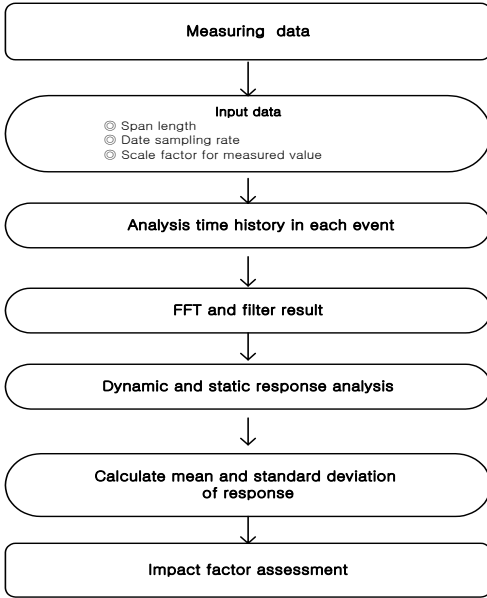


Fig. 6 Flow chart of impact factor analysis program

따라서, 고속도로를 실제통행하는 차량에 의하여 계측된 시간이력곡선을 필터링하여 구하는 것이 가장 합리적인 방법이라고 할 수 있다.

### 3.2 통행 차량에 의한 충격계수의 산정

이동차량이 교량을 통과할 때 교량의 지간 중앙점에서의 정적 및 동적처짐 이력곡선은 Fig. 7과 같다. 교량의 최대정적처짐은 이동차량이 교량의 지간 중앙점 부근에 재하되었을 때 발생 하지만 최대동적처짐은 교량의 노면조도와 고유주기 및 차량의 특성 등에 의해 이동차량이 지간 중앙점 부근에 위치할 때 발생하는 것은 아니다. 도로교에는 차량의 동적하중으로 인하여 차량하중이 정적으로 작용할 때 보다 더 큰 처짐 및 응력이 발생한다. 일반적으로 이것을 동적증폭(dynamic amplification)라 부른다.

동적증폭은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$DA = \frac{R_{dyn} - R_{sta}}{R_{sta}} \quad (1)$$

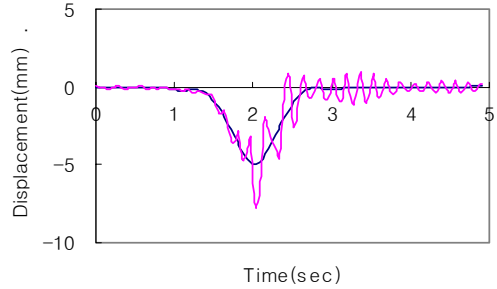


Fig. 7 Time-history curve in mid-span

여기서,  $R_{dyn}$ 은 최대동적응답이고,  $R_{sta}$ 는 최대정적응답을 나타낸다. 그러므로,  $R_{dyn}$ 은 다음 식과 같다.

$$R_{dyn} = R_{sta}(1 + DA) \quad (2)$$

여기서,  $(1+DA)$ 를 동적증폭계수(dynamic amplification factor : DAF)라 부른다. 우리나라 도로교 설계기준에서는 동적증폭 DA의 값을 충격계수(impact factor)로 나타내고 있다.<sup>3)</sup> 교량에 발생하는 동적증폭계수는 첫 번째로 다음 식으로 정의 할 수 있다.

$$DAF = \frac{R_{dyn}}{R_{fil}^{dyn}} \quad (3)$$

여기서,  $R_{dyn}$ 은 최대동적응답을 나타내고,  $R_{fil}^{dyn}$ 은 최대동적응답이 발생할 때 최대동적응답을 필터링하여 구한 정적응답으로 나타낸다.

$$DAF = \frac{R_{dyn}}{R_{sta}^{dyn}} \quad (4)$$

여기서,  $R_{sta}^{dyn}$ 은 동적실험시 차량을 매우 느리게 주행시켜 얻은 정적응답을 나타낸다.

$$DAF = \frac{R_{dyn}}{R_{fil}} \quad (5)$$

여기서,  $R_{fil}$ 은 동적응답을 필터링하여 얻은 최대정적응답을 나타낸다.

$$DAF = \frac{R_{dyn}}{R_{sta}} \quad (6)$$

여기서,  $R_{sta}$ 는 동적실험시 차량을 매우 느리게 주행시켜 얻은 최대정적응답을 나타낸다.

동적응답을 필터링하여 구한 응답이 차량을 매우 느리게 주행시켜 얻은 정적응답과 일치할 때 위의 식(3)~식(6)으로 구한 값은 모두 같게 된다. 최대동적응답인  $R_{dyn}$ 은 현장에서 측정된 자료의 최대값을 취하므로서 직접 구할 수가 있으나, 현장재하시험을 통하여 얻은 측정자료로부터 최대 정적값인  $R_{sta}$ 의 값을 구하는 것은 최대 정적값의 크기에 따라 충격계수의 값이 다르게 나타나므로 매우 민감한 문제가 발생한다. 일반적으로  $R_{sta}$ 를 구하는 방법은 4가지가 있다.

1. 실험차량을 매우 느리게 주행시키는 의사정적실험을 통하여 구하는 방법
2. 실험차량을 교량의 여러 위치에 정지시킨 후 그 값을 각각 측정하는 방법
3. 동적 측정자료를 필터링하여 구하는 방법
4. 실험차량을 하중으로 재하하여 수치해석에 의하여 구하는 방법

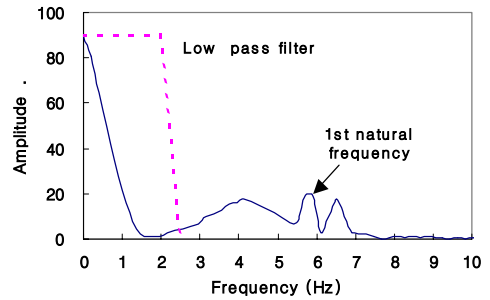
이 4가지 방법 중에서  $R_{sta}$ 를 정확하게 구하는 방법은 2의 방법이 가장 좋으나, 실제로 현장에서는 동적 자료를 측정하기 때문에 이 방법은 사용할 수가 없다. 따라서, 방법 3과 같이 식(3)을 이용하여 통행차량에 의한 충격계수를 산정하였다.

#### 4. 현장실험 및 분석

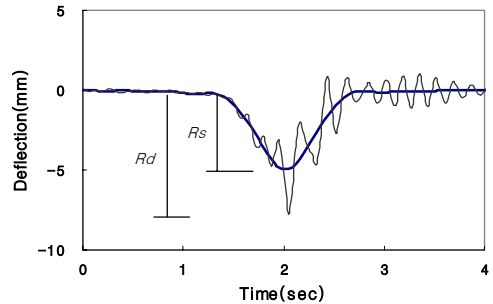
충격계수는 식(7)과 같이 동적최대응답과 정적최대응답의 비로부터 구할 수 있다.<sup>4)~8)</sup>

$$i = \frac{R_d - R_s}{R_s} \quad (7)$$

여기서,  $R_d$ 와  $R_s$ 는 각각 하나의 재하경우에 대한 최대동적응답과 최대정적응답이다. 일반적으로, Fig. 8(a)는 측정응답에 대한 FFT<sup>9),10)</sup>결과와 필터링, 0~2Hz의 고유진동수만이 통과할 수 있는 저주파 통과 필터(low pass filter)를 사용하여 정적응답을 구한다. 또한, Fig. 8(b)는 측정된 동적응답 및 필터링을 통하여 구한 정적응답을 나타낸 것이다.



(a) FFT and filter result



(b) Dynamic and static response

Fig. 8 Impact factor assessment by filtering

#### 4.1 PSC빔 교량의 현장실험 및 분석

설계하중 DB-18인 30m의 단순 PSC빔으로서, Fig. 9는 대상교량의 제원을 나타낸다. Fig. 10은 통행차량에 의한 12시간 계측 데이터를 개발한 프로그램에 의해서 분석한 결과를 나타내고 있다. Table 1과 Fig. 10에서 알 수 있듯이 재하시험에 의한 충격계수는 각 주형별로 편차가 심한 것을 알 수 있다.

그러나, 통행차량에 의한 충격계수는 재하시험에 의한 값 보다 일관성 있는 값을 알 수 있다. 또한 이론값에 비해 재하시험이나 통행차량에 의한 충격계수가 크게 나타나고 있으나 본 연구에 의한 방법이 비교적 적게 나타남을 알 수 있다.

#### 4.2 PF빔 교량의 현장실험 및 분석

실험교량의 제원은 Fig. 11과 같은 설계하중이 DB-24인 단순 PF빔 이며, 교폭은 20m이고, 지간은 40m이다. Fig. 12에서 통행차량에 의한 충격계수를 나타냈다. Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 재하시험에 의한 충격계수 값은 각 주형별로 편차가 크게 나타나는 것을 수 있다.

Table 1 Impact factor of PSC-beam bridge

No. of girder	The loading test	The theory	The traffic loads
G1	0.35	0.21	0.30
G2	0.28	0.21	0.23
G3	0.36	0.21	0.28
G4	2.56	0.21	0.37

Table 2 Impact factor of PF-beam bridge

No. of girder	The loading test	The theory	The traffic loads
G1	0.18	0.19	0.149
G2	0.06	0.19	0.078
G3	0.08	0.19	0.078
G4	0.11	0.19	0.076
G5	0.13	0.19	0.073
G6	0.24	0.19	0.127

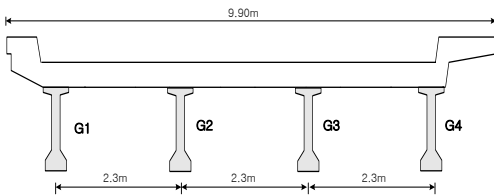


Fig. 9 Dimension of PSC-beam bridge

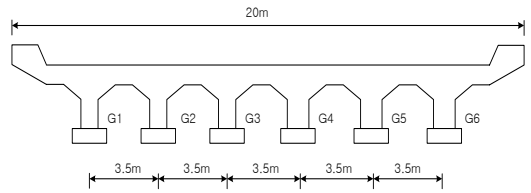


Fig. 11 Dimension of PF-beam bridge

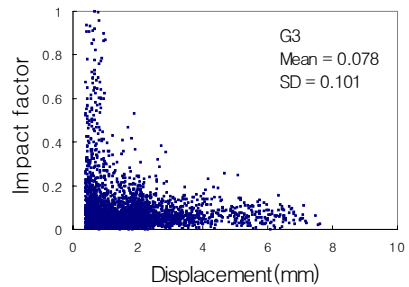
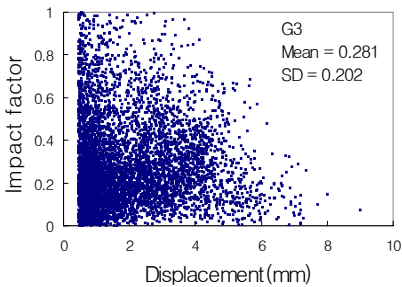
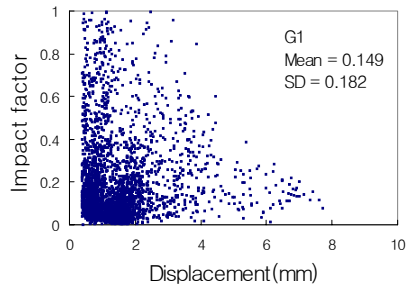
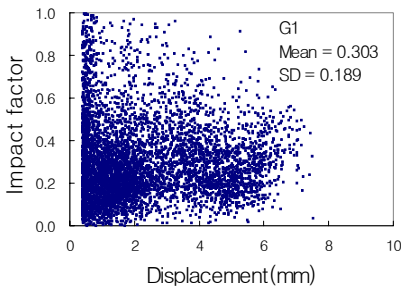


Fig. 10 Impact factor to girder displacement

Fig. 12 Impact factor to girder displacement

그러나, 통행차량에 의한 충격계수 값은 일관성 있는 값을 가지고 있으며, 재하시험에 의한 충격계수가 통행 차량에 의한 실험 값보다 크게 나타남을 알 수 있다.

### 4.3 I빔 교량의 현장실험 및 분석

대상교량의 제원은 Fig. 13과 같은 설계하중이 DB-18인 4지간 단순 I빔이고 사각은 30°이며, 교폭이 11.19m인 2차선 교량이다. Table 3에서 알 수 있는 바와 같이, 재하시험에 의한 방법은 각 주형별로 충격계수의 값의 차이가 크게 나타나므로 일괄성이 적고 충격계수를 크게 평가하는 것으로 나타났다. 그러나, 통행차량에 의한 방법은 일괄성 있고, 이론값보다는 크게 나타났으나 재하시험에 의한 방법보다 안전하게 평가 되는 것으로 사료 된다. Fig. 14에서 통행차량에 의한 충격계수를 나타내었다.

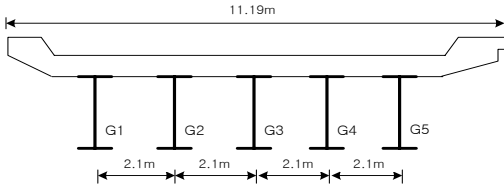


Fig. 13 Dimension of I-beam bridge

Table 3 Impact factor of I-beam bridge

No. of girder	The loading test	The theory	The traffic loads
G1	0.45	0.27	0.293
G2	0.30	0.27	0.225
G3	0.28	0.27	0.192
G4	1.25	0.27	0.214
G5	2.10	0.27	0.276

## 5. 결 론

기존의 재하시험에 의한 충격계수를 분석한 결과 충격계수의 편차가 크게 나타났고, 지간의 함수로 되어 있는 충격계수 산정식은 교량의 종류 및 형식에 대하여 세분화할 필요가 있는 것으로 사료된다. 재하시험에 의한 충격계수는 실험방법에 있어서 정적재하시험

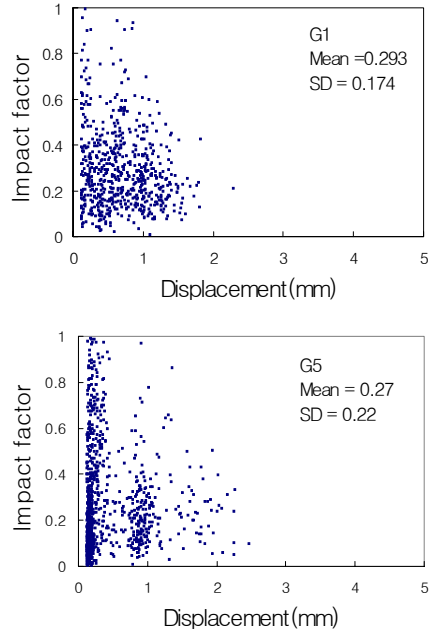


Fig. 14 Impact factor to girder displacement

과 주행시험을 분리하여 속도별 주행시험의 최대값과 정적재하시험을 비교하는 기존의 방법은 신뢰성이 낮고 충격계수의 측정값이 일괄성이 적은 것으로 나타났다. 또한, 충격계수값을 크게 측정하므로써 교량을 과소 평가하는 것으로 사료된다. 통행차량에 의한 충격계수를 산정하여 실제 교량에 적용한 결과, 통행차량에 의한 충격계수 산정방법이 기존의 재하시험에 의한 충격계수 보다 일관성 있는 값을 얻었으며, 더 합리적인 방법인 것으로 사료된다. 또한, 충격계수 산정방법에 있어서 통행차량에 의한 방법이 기존의 재하시험에 비하여 충격계수를 작게 측정하므로 교량을 비교적 안정하게 평가하는 것으로 사료된다. 본 연구에서는 주변환경(온도, 습도)등에 의한 영향은 고려하지 않았으나, 이러한 문제점에 대해서는 추후 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 김방래, "주행차량에 의한 강교량의 동적거동 및 충격

- 
- 계수에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 토목공학과, 석사학위논문, 1995년 12월, pp. 1~77.
2. 한국도로공사, “교량의 충격계수에 관한 연구(III)”, 1997, pp. 67~192.
  3. 한국도로교통협회, “도로교 설계기준”, 건설교통부, 2000, pp. 5~12.
  4. Ricciardi, G., “Random Vibration of Beam under Moving Loads”, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 120, No. 11, Nov., 1994, pp. 2361~2380.
  5. Nowak, A. S., “Live Load Model for Highway Bridges”, Structural Safety, Vol. 13, 1993, pp. 53~66.
  6. Stallings, J. M., and Yoo, C. H., “Tests and Rating of Short-Span Steel Bridges”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 7, July, 1993, pp. 2150~2167.
  7. Huang, D., Wang, T. L., and Shahawy, M., “Impact Studies of Multigirder Concrete Bridges”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 8, Aug., 1993, pp. 2387~2402.
  8. Schelling, D.R., Galdos, N. H., and Sahin, M. A., “Evaluation of Impact Factors for Horizontally Curved Steel Box Bridges”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 11, Nov., 1992, pp. 3203~3221.
  9. Crespo-Minguillon, C., and Casas, J. R., “A Comprehensive Traffic Load Model for Bridge Safety Checking”, Structural Safety, Vol. 19, No. 4, 1997, pp. 339~359.
  10. Paz, M., “Structural Dynamics Theory and Computation(3rd Ed.)”, Von Nostrand Reinhold, 1991, pp. 95~112.

(접수일자 : 2002년 2월 25일)