

고속도로 교량구조물의 통행차량에 의한 충격계수 산정방법 개발

Development for Determining Impact Factor with Respect to Traffic Loads of Highway Bridges

구 봉 근^{*} 신 재 인^{**} 류 태 은^{***} 이 재 범^{***} 류 연 중^{****}
Koo, Bong Kuen Shin, Jae In Ryu, Taek Eun Lee, Jae Bum Ryu, Youn Jong

ABSTRACT

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

The method estimating the impact factor by the traffic loads can be efficiently concluded to the response of structure as reflecting the impact factor and saving the investigation cost. Also it is expected to use to maintenance of structures using the usual test of the bridge.

1. 서론

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 노면조도의 악화와 교량진입부나 신축이음의 단차 등으로 인해 설계시 고려한 충격하중보다 큰 하중효과가 빈번하게 작용하여 교량의 피로저항능력을 저하시키고 교량의 사용수명을 단축시키며, 안전성을 감소시키고 있다. 또한, 교량에 발생하

- * 정회원, 충북대학교 토목공학과 교수
- ** 정회원, 한국도로공사 구조물진단부
- *** 정회원, 충북대학교 토목공학과 박사과정 수료
- **** 정회원, 충북대학교 토목공학과 석사과정

는 과도한 진동은 이용자에게 심리적으로 불안감을 줄 수도 있다. 통행차량에 의한 영향은 초기에는 단순히 교량의 충격계수의 평가에 관한 것이 주류를 이루었으나 최근에는 통행차량에 의한 진동문제도 다양화되고, 또한, 일반 사용자의 사용성에 대한 요구도 증가하여 실무설계에서 진동문제가 보다 신중하게 다루어지고 있다.

교량의 실제거동을 보다 정확히 파악하기 위해서는 차량 통행시 발생하는 동적응답의 특성을 정확히 분석할 필요가 있다. 본 논문에서는 통행차량에 의해 발생하는 교량구조물의 동특성, 즉 충격계수를 합리적으로 산정하는 방법을 제시하였다. 아울러 본 논문에서는 기 시행된 정밀안전진단 보고서에서 충격계수를 얻어, 지간길이별, 교량종류별, 교량형식별 및 준공연도별로 분류한 후 충격계수결과를 통계기법을 도입하여 정리하고 문제점을 제시했다. 또한, 통행차량에 의한 충격계수 산정방법을 제안하고 이를 현장실험 결과에 적용함으로써 시방서규정과 비교 검토하여 교량구조물의 안전성 검토에 활용하고자 한다.

2. 기 시행된 재하시험에 의한 충격계수의 분석

2.1 실험 대상 교량

교량의 동적거동에 영향을 주는 요인으로는 교량의 종류, 구조형식, 차량의 속도, 지간길이, 노면조도 등이 있다. 본 연구에서는 지간길이, 교량의 종류, 구조형식과 준공연도에 따른 충격계수의 특성을 규명하기 위하여 133개 교량에 대한 동적재하시험 실측자료를 분석하였다.

본 연구를 위하여 1997년부터 2000년 사이에 한국도로공사에서 수행한 정밀안전진단 보고서 중에서 재하시험 부분과 내하력평가부분을 발췌하여 정리하였다.

2.2 교량의 지간길이, 교량의 종류, 구조형식과 준공연도에 따른 충격계수 분포

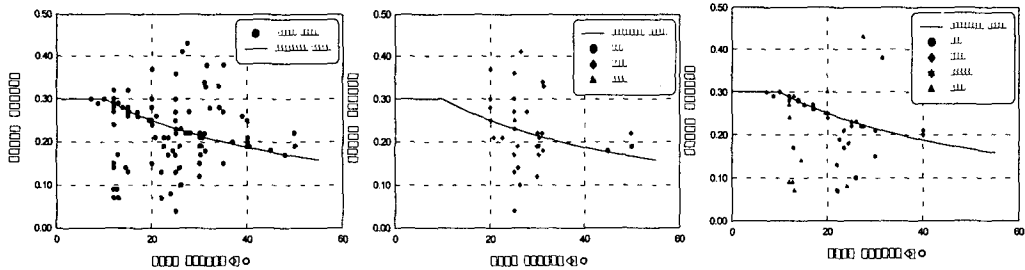


그림 1 지간길이별 충격계수 분포

그림 2 PC교량 충격계수 분포

그림 3 RC교량 충격계수 분포

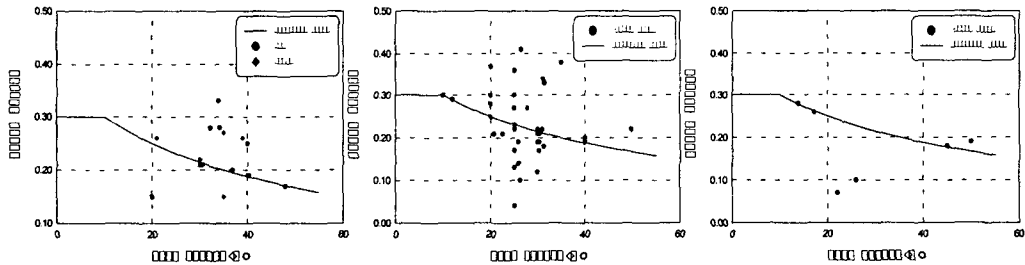


그림 4 Steel교량 충격계수 분포

그림 5 Beam교량 충격계수 분포

그림 6 Box교량 충격계수 분포

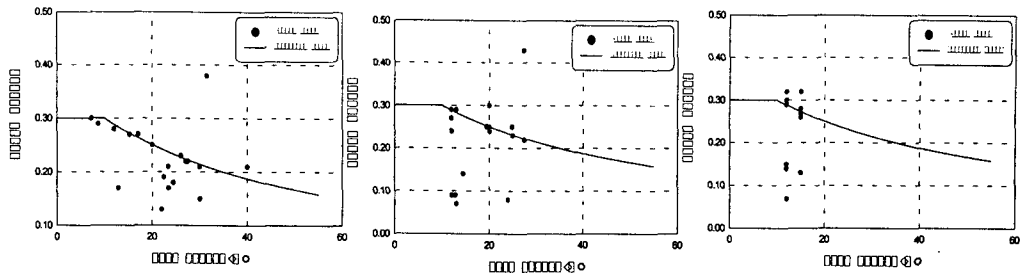


그림 7 Rahmen교량 충격계수 분포

그림 8 Slab교량 충격계수 분포

그림 9 I-beam교량 충격계수 분포

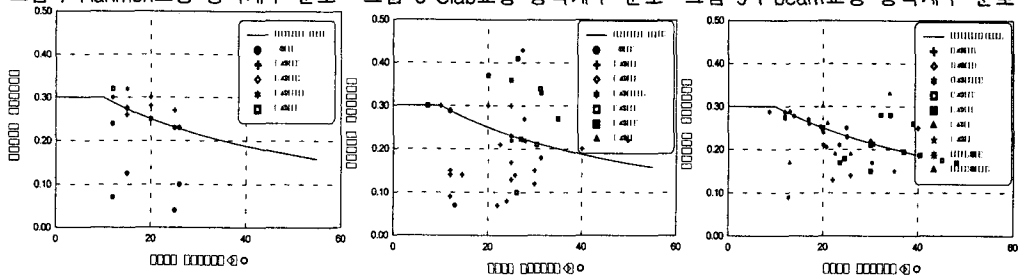


그림 10 1960년대 교량 충격계수 분포

그림 11 1970년대 교량 충격계수 분포

그림 12 1980년대 교량 충격계수 분포

2.3 충격계수 산정에 따른 문제점

기 시행된 정밀안전진단 평가 보고서에서 133개의 교량을 대상으로 교량형식별, 종류별, 년도별로 시간에 따른 충격계수 값을 통계적으로 분석하였다. 분석결과 PSC-beam 교량과 I-beam 교량의 63%가 도로교표준시방서의 기준을 상회하였고, RC-rahmen 및 slab 교량은 약 60%가 도로교표준시방서의 기준을 상회하였다. 또한, 준공년도별 충격계수는 1960년대 교량의 70%가 시방서값을 상회하였고, 1970~90년대 교량은 약 40%가 시방서 값을 상회하였다. 따라서, 현재의 지간의 함수로 되어 있는 도로교시방서의 기준은 문제가 있으며, 실험방법에 있어서도 정적 재하시험과 주행시험을 분리하여 속도별 주행시험의 최대값과 정적재하시험을 비교하는 것은 문제점이 있다.

최근의 유럽의 공동시방서는 유럽내 통행량이 가장 많은 곳에 WIM(운행중하중측정장치)를 설치하여 얻은 결과로부터 하중모델을 유도했는데, 이 규정에서는 충격계수의 개념이 없다. 즉, 차량하중에 포함되어 있다. 따라서, 충격계수 산정시 주행 경우 별로 차량통행위치의 변경, 측정결과의 차이 등에 의한 오차를 배제하기 위하여 실제 통행차량에 의한 동적측정 시간이력곡선과 그 측정결과에서 고주파성분이 제거된 시간이력곡선의 최대값의 비를 사용함이 적절할 것이다.

3. 동행차량에 의한 충격계수 산정방법 제안

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 동적측정변환기(dynamic strain amp.)와 풀 브릿지 박스를 이용하여 회로를 구성하고 전압을 걸어주며 전기신호를 정류 및 증폭한 결과를 tape recorder에 기록하게 된다. 그림 13은 이러한 현장계측시스템을 보여준다. 본 논문에서는 그림 13의 계측시스템이 통합된 EDX-1500A를 사용하여 현장계측을 하였다. 그림 14는 현장계측 후 실험실의 자료분석과정을 나타낸다.

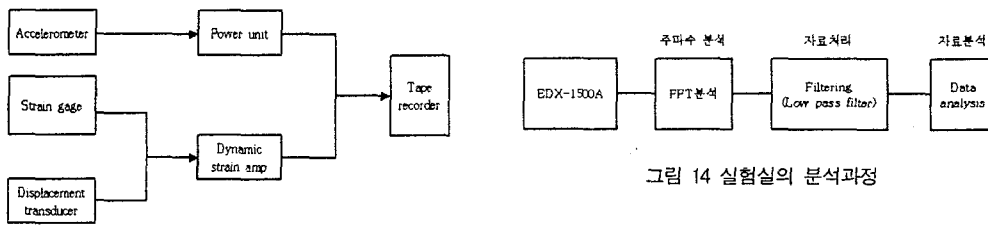


그림 13 현장 계측 시스템

그림 14 실험실의 분석과정

동적시험을 행하는 가장 큰 이유는 충격계수(동적증가계수)를 내하력에 반영하기 위해서이다. 설계시방서의 충격계수가 동적증가계수와 반드시 일치하는 것은 아니다. 현재의 건설교통부세부지침에 의한 내하력산정에는 허용응력법과 강도설계법에 실측 충격계수를 이용한 보정계수를 고려하게 되어 있다. 우리나라의 시방서의 충격계수는 최대값이 0.3으로 시간간격에 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 명확하다. 그러나, 대부분의 재하시험 결과는 실측충격계수가 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 따라서, 충격계수를 산정하는 방법이 문제가 있는 것으로 판단되며 새로운 기법제시가 필요하다.

3.2 통행차량에 의한 충격계수산정을 위한 프로그램 개발

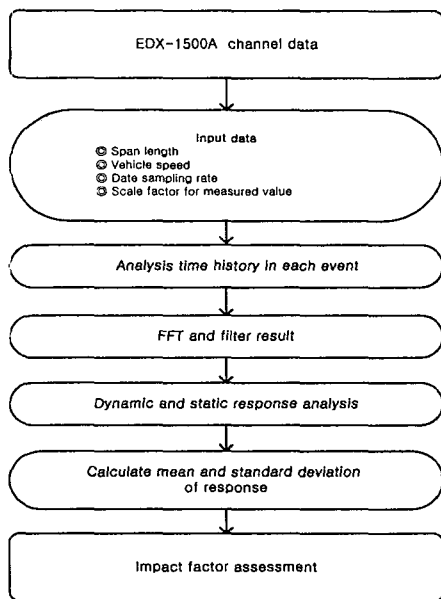


그림 15 충격계수 분석 프로그램 흐름도

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. 그림 15는 개발된 프로그램의 흐름도를 나타낸다. 개발된 프로그램은 EDX-1500A에서 저장된 데이터를 각각의 채널별로 데이터를 분류한다. 두 번째로 각각의 하중사건(load event)에 따른 차량별 응답의 측정값을 분류하고, FFT와 filtering하여 충격계수를 산정하고 마지막으로 평균과 분산을 계산한다.

본 연구는 통행량이 많은 고속도로 교량에 대해서 적용하였는데, 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. 따라서, 고속도로를 실제통행하는 차량에 의하여 계측된 시간이력곡선을 필터링하여 구하는 것이 가장 합리적인 방법이라고 할 수 있으며, 장기간에 계측된 자료라도 각각의 통과차량

에 대해서 별도로 분석하는 번거로움과 불편을 해소하기 위해 EDX-1500A에서 계측한 데이터를 프로그램이 읽어 분석하여 충격계수를 구하는 프로그램을 개발하였다

3.3 통행차량에 의한 충격계수의 산정

이동차량이 교량을 통과할 때 교량의 지간 중앙점에서의 정적 및 동적처짐 이력곡선은 그림 16과 같다. 교량의 최대정적처짐은 이동차량이 교량의 지간 중앙점 부근에 재하되었을 때 발생 하지만 최대 동적처짐은 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)이라 부른다.

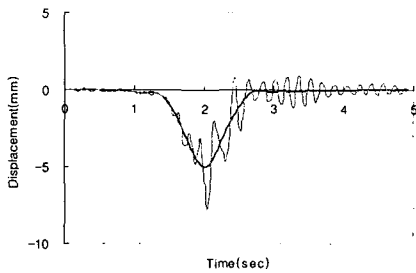


그림 16 지간 중앙점에서의 시간-이력곡선

동적증폭은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

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

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 다음 식을 이용하여 통행차량에 의한 충격계수를 산정하였다.

$$DAF = \frac{R_{dyn}}{R_{fil}} \quad (2)$$

여기서, R_{fil} : 최대동적응답이 발생할 때 최대동적응답을 필터링하여 구한 정적응답

3.4 현장실험 및 분석

3.4.1 PSC빔 교량의 현장실험 및 분석

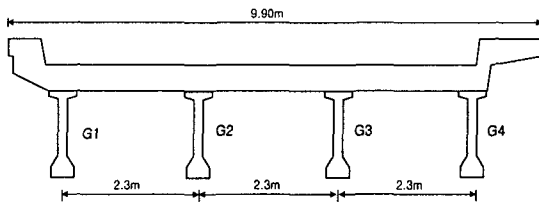


그림 17 PSC빔 교량 제원

표 1 충격계수의 평가

| 주형번호 | 재하시험에 의한 충격계수 | 이론충격계수 | 통행차량에 의한 충격계수 |
|------|---------------|--------|---------------|
| 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 |

3.4.2 PF빔 교량의 현장실험 및 분석

표 2 충격계수의 평가

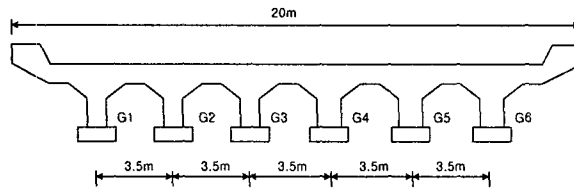


그림 18 PF빔 교량 제원

| 주형번호 | 재하시험에 의한 충격계수 | 이론충격계수 | 통행차량에 의한 충격계수 |
|------|---------------|--------|---------------|
| 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 |

3.4.3 I빔 교량의 현장실험 및 분석

표 3 충격계수의 평가

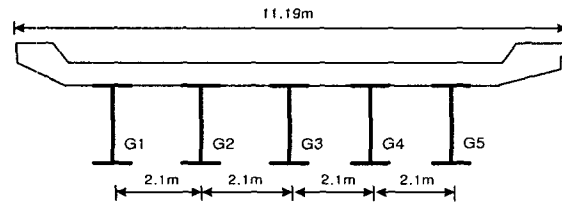


그림 19 I빔 교량 제원

| 주형번호 | 재하시험에 의한 충격계수 | 이론충격계수 | 통행차량에 의한 충격계수 |
|------|---------------|--------|---------------|
| 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 |

4. 결론

1. 시간장과 실측 충격계수와와의 관계는 도로교 표준시방서의 계산충격계수와 비교하면 뚜렷한 상관관계가 없음을 알 수 있다.
2. 기존의 재하시험에 의한 충격계수는 차량의 시스템, 차축, 질량분포, 현가장치와 같은 차량의 고유특성과 도로의 노면조건, 신축이음장치 등의 기하학적인 조건 등에 의하여 영향을 받는다. 기존 보고서의 통계적 분석에서 나타난바와 같이 실험방법에 있어서 정적재하 시험과 주행시험을 분리하여 속도별 주행시험의 최대값과 정적재하시험을 비교하는 기존의 방법은 문제가 있는 것으로 판단된다.
3. 통행차량에 의한 충격계수를 산정하는 프로그램을 개발하고, 이를 이용하여 실제 교량에 적용하였다. 통행차량에 의한 충격계수 산정방법이 기존의 재하시험에 의한 충격계수 보다 일관성 있는 값을 얻었으며, 더 합리적인 방법인 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

1. Paz, M., "Structural Dynamics Theory and Computation(3rd Ed.)", Von Nostrand Reinhold, 1991, pp. 95~112.
2. 한국도로공사, "교량의 충격계수에 관한 연구(Ⅲ)", 1997, pp. 67~192.
3. 이원태, 박영석, 정태주, "고속도로 교량의 충격계수에 관한 실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제 20권, 제3-A호, 2000년 5월, pp. 395~406.
4. 구봉근, 한상훈, 신재인, 이상순, "통행차량에 의한 내하력 평가기법 연구", 한국구조물진단학회지, Vol. 5, No. 3, 2001. 7, pp. 115~122.
5. Cesar, C.M., and Casas, J. R., "A Comprehensive Traffic Load Model for Bridge Safety Checking", Structural Safety, Vol. 19, No. 4, 1997, pp. 339~359.