Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 35, No. 1: 31-38/ February, 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.1.0031

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Structural Engineering **구조공학**

실측자료에 기초한 공용년수 증가에 따른 교량 내하력 분석

경갑수* · 이영일** · 이성진***
Kyung, Kab Soo*, Lee, Yeong Il**, Lee, Sung Jin***

Analysis of Load Carrying Capacity of Bridges Based on Field Data with Serviced Time

ABSTRACT

In this paper, change of load carrying capacity of bridges with time was analyzed referring to the safety inspect data stored in the KISTEC. From this study, it was known that the capacity is rated differently by various parameters such as inspector's subjective. Accordingly, an improved method, in this paper, is suggested which can correct deviation due to several uncertainties involved in rating process. The suggested method can be utilized for efficient maintenance of bridges such as cycles and determination of priority of retrofit, and estimation of service life etc..

Key words : Bridge, Load carrying capacity, Service life, Rating factor, Response modification factor

초 록

본 논문에서는 한국시설안전공단에서 수행한 정밀안전진단자료를 수집·분석하여 공용년수의 증가에 따른 내하력 변화 양상을 조사하였다. 연구결과, 공용내하율이 평가자의 주관 등 여러 가지 조건으로 공용기간에 따라 큰 편차를 보이는 것을 알 수 있었다. 따라서, 기존의 내하력 평가에 관한 다양한 문제점을 분석하여 편차를 보정할 수 있는 개선된 방안을 제시하였으며, 이 방법은 공용중인 교량의 보강 주기와 우선순위의 결정, 공용수명의 추정 등 효율적인 유지관리에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 교량, 내하력, 공용년수, 내하율, 응답보정계수

1. 서 론

국내의 교량은 1994년 성수대교 붕괴 이후, 구조물 유지관리에 대한 중요성을 고려하여 제정된 "시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)"에 근거하여 정기적으로 실시되는 안전점검 및 정밀안전진단을 통해 관리되고 있다. 시특법 대상이 되는 교량은 8,979개소로 1종구조물이 3,585개, 2종구조물이 5,394개소이며(KISTEC, 2012), 이들 교량 가운데 96개소(도로 82개, 철도 14개)는 관련 규정에 의하여 한국시설안전공단에서 전담하여 5년 주기로 정밀안전진단을 실시하고 있다. 따라서 이들 교량에 대한 정밀안전진단결과를 조사하면, 공용년수에 따른 교량의 내하력 특성 및 개선사항 등을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

시설물의 내하력 평가방법에 관해서는 다수의 연구가 보고된 바 있으나(Chang et al., 1988; Lee et al., 2002; Cho, et al., 2007), 본 연구와 같이 실측자료에 근거하여 내하력의 평가 및 개선방향에 대해 검토한 연구는 다음과 같다.

* 정회원 · 한국해양대학교 건설공학과 정교수 (**Corresponding Author** · Korea Maritime & Ocean University · kyungks@kmou.ac.kr)
** 정회원 · 씨티씨주식회사 상무이사 (Construction Technology Consultant · lyi201@ctceng.co.kr)
*** 한국해양대학교 건설공학과 박사과정 (Korea Maritime & Ocean University · lsj_1983@naver.com)

Received August 29, 2014/ **revised** November 21, 2014/ **accepted** December 23, 2014

Copyright ⓒ 2015 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Lee et al. (2009) 등은 공용중인 고속도로교량의 실측자료를 이용하여 합리적인 교량 안전성 평가방안을 제시하기 위해 다양한 문제점과 개선방안에 대해 고찰하였다. 이로부터 실측충격계수는 교량의 노후화보다 하중재하방법, 교량형식 및 지간, 노면상태 등에 큰 영향을 받아 이론값과의 편차가 크고, 응답비는 교량형식별로 다양하게 분석되어 충격계수 및 응답비 평가방안에 보완이 필요하며, 상태등급과 공용내하력은 상호 일치하지 않는 경우가 있으므로 공용내하력 평가식을 구성하는 각각의 실측인자에 대해 현장상태 및 시공환경 등이 적절히 반영되는 것이 필요한 것으로 분석하였다.

Kim et al. (1999) 등은 현행 내하력 평가방법의 문제점을 개선하고, 보다 객관적이며 일관성 있는 내하력 평가방법을 제시하고자 하였다. 이를 위하여 기존의 도로교 내하력 평가자료에 대한 통계분석을 통해 교량의 구조거동상태를 충분히 반영할 수 있는 응답비 및 충격계수의 선정기준을 제안하였으며, 추가하중에 의한 영향을 정량적으로 검토하였다. 그 결과로는 내하력 평가시 사용되는 응력보정계수 계산에 적용되는 응답비와 충격계수는 현장재하시험방법, 현장조건, 구조해석방법 등의 차이에 따라 편차가 상당히 크며, 이로 인해 내하력 평가결과는 평가자에 따라 상당히 큰 편차가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 응답비가 충격계수에 비하여 응력보정계수에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

그러나, 이러한 실측자료를 이용한 기존의 내하력에 대한 연구는 다수의 불특정 교량들에 대한 일정시점에서의 내하력 관련 인자의 추세를 분석하였기 때문에 공용년수에 따른 내하력의 변동 특성을 분석하는 데는 한계가 있다.

본 연구에서는 기존에 보고된 동일교량에 대한 2회 이상의 정밀안전진단자료를 수집 및 분석하여 공용년수 증가에 따른 교량의 내하력 변동 특성을 조사하고, 현재 실시되고 있는 내하력 평가방법의 개선사항을 검토하였다.

2. 내하력 평가방법

한국시설안전공단에서는 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(이하 세부지침)"에 따라 강교는 허용응력설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 내하력을 평가하고 있으며(KISTEC, MLTM, 2009), Table 1에 나타낸 것과 같이 교량의 공용내하력(P)은 상세 구조해석을 통해 산정한 기본내하율(RF) (Korea Institute of Construction Technology, 2002)에 응답보정계수 K_s 및 설계하중을 곱하여 계산하고 있다. 한편, 미국 AASHTO에서의 기본내하율(RF)계산은 Table 1의 Eq. (2)와 같이 LRFD방법에 기초하여 계산하는데 국내의 강도설계법과 유사한 수식의 형태를 적용하고 있으나, 하중의 종류와 저감계수 및 하중계수의 종류를 보다 세분화하여 사용하고 있다(AASHTO, 2005).

Table 1. Estimation Method of RF (Rating Factor)

Korea	
Allowable Stress Design Method	Strength Design Method
$RF=\frac{\sigma_a-\sigma_d}{\sigma_l(1+i)}$	$RF=\frac{\phi M_n-\gamma_d M_d}{\gamma_l M_l(1+i)}$
Service Rating Factor $SRF=K_s\times RF$ Load Carrying Capacity $P=K_s\times RF\times P_r$	
RF : Basic Rating Factor σ_a : Allowable Stress σ_d : Stress by Dead Load σ_l : Stress by Live Load	M_n : Nominal Moment ϕ : Reduction Factor M_d : Moment by Dead Load M_l : Moment by Live Load
i : Impact Factor K_s : Response Modification Factor $K_S=\frac{\delta_{cal}(\epsilon_{cal})}{\delta_{mea}(\epsilon_{mea})}\times\frac{1+i_{cal}}{1+i_{mea}}$ (1) P_r : Design Load	
America	
$RF=\frac{\phi_c\phi_s\phi R_n-(\gamma_{DC})(DC)-(\gamma_{DW})(DW)\pm(\gamma_P)(P)}{(\gamma_L)(LL+IM)}$ (2)	
R_n : Nominal Member Resistance(as Inspected) ϕ_c : Condition Factor ϕ_s : System Factor ϕ : LRFD Resistance Factor DC : Dead-load Effect due to Structural Components and Attachments DW : Dead-load Effect due to Wearing Surface and Utilities P : Permanent Loads other than Dead Loads LL : Live-load Effect of the Rating Vehicle IM : Dynamic Load Allowance γ_{DC} : LRFD Load Factor for Structural Components and Attachments γ_{DW} : LRFD Load Factor for Wearing Surface and Utilities γ_P : LRFD Load Factor for Permanent Loads other than Dead Loads γ_L : Evaluation Live Load Factor for the Rating Vehicle	

3. 기존 정밀안전진단자료에 대한 분석

3.1 분석대상교량 현황

공용년수 증가에 따른 내하력 변동 특성을 정밀하게 분석하기 위해서는 유사한 조건에서 2회 이상 수행된 동일 교량의 실측자료를 이용하여야 한다. 한국시설안전공단에서는 전담시설물에 대하여, 안전진단결과의 일관성을 위해 전차와 동일한 조건 및 방법으로 안전진단을 수행하고 그 결과를 비교·분석하도록 제시하고 있는 세부지침에 따라 안전진단을 수행하고 있으나, 대부분의 안전진단 전문기관들은 현장여건이나 기타 여러 가지 사유로 인해 이러한 전제 없이 진단결과만을 단순비교하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 한국시설안전공단에서 수행한 정밀안전진단 중 안전진단의 조건 및 방법면에서 일관성이 다소 떨어지는 2000년도 이전의

자료는 제외하고, 2000년도 이후에 2회 이상 수행된 정밀안전진단 자료를 수집하여 분석하였다. 분석대상교량의 일반현황은 Table 2와 같다.

Table 2. General Status of Target Bridges

Division	Structural Type	Completion Year	Design Load	Inspection Year	Main Material
C1	RA	1987	DB24	03,08,14	Concrete
C2	PSCB	1987	DB24	03,08,14	Concrete
C3	RA	1993	DB24	03,08,14	Concrete
C4	PSCB	1993	DB24	03,08,14	Concrete
C5	PSCB	1987	DB18	03,08,14	Concrete
C6	AR	1988	DB24	03,08	Concrete
C7	STB	1993	DB24	04,09	Steel
C8	STB	1985	DB24	03,08,13	Steel
C9	STB	1985	DB24	97,03,13	Steel
C10	STB	1979	DB18	02,06	Steel
C11	STB	1979	DB18	02,06	Steel
C12	AR	1984	DB24	02,06,11	Steel
C13	SPG	1984	DB24	02,06,11	Steel
C14	STB	1986	DB24	02,05,10	Steel
C15	AR	1980	DB18	02,06,11	Steel
C16	STB	1980	DB18	02,06,11	Steel
C17	STB	1993	DB24	97,03,09	Steel

RA : Rahmen, PSCB : Prestressed Concrete Box Girder
AR : Arch, STB : Steel Box Girder, SPG : Steel Plate Girder

3.2 상태등급

세부지침에서 상태등급은 외관조사 및 재료시험에 의해 교량 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 A~E의 5가지 단계로 평가하며, A등급은 문제점이 없는 최상의 상태, B등급은 보조부재의 경미한 결함, C등급은 주요부재의 경미한 결함이나 보조부재의 광범위한 결함, D등급은 주요부재의 결함으로 사용제한 여부 판단, E등급은 주요부재의 심각한 결함으로 즉각적인 사용 금지가 필요한 상태를 의미한다.

Fig. 1은 상태등급과 공용내하율간의 상관성을 조사하기 위하여 분석대상교량의 전체 진단연도에 걸쳐 평가된 상태등급별 공용내하율을 나타낸 것이다. 분석결과, Lee et al. (2009) 등의 연구에서 보고된 바와 같이 상태등급은 주로 외관상의 손상정도에 따라 평가되기 때문에 유지보수 등을 통해 내하력의 변동없이 평가등급의 상향이 가능하여 상태등급별 공용내하율은 편차가 크게 나타나는 등 직접적인 상관성이 낮다는 것을 알 수 있다.

그러나, Fig. 2의 공용년수에 따른 결함지수(세부지침에서 제시

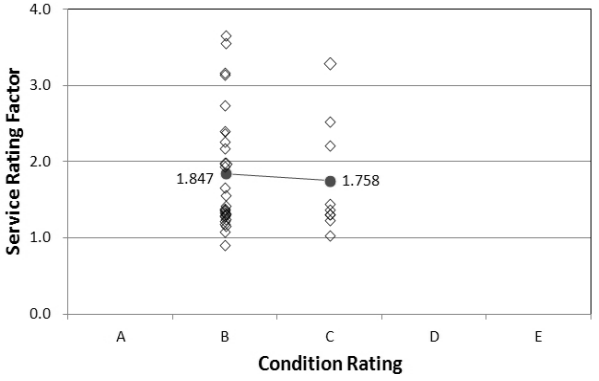

Fig. 1. Correlation between Condition Rating and Service Rating Factor

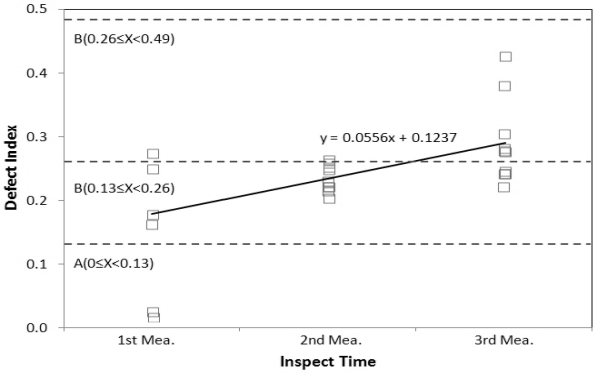

Fig. 2. Defect Index Trend with Inspection Time

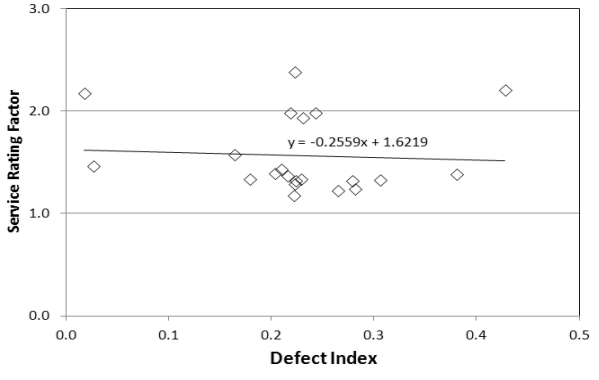

Fig. 3. Correlation between Defect Index and Service Rating Factor

한 상태등급별 지수로 산출한 교량 전체의 결함 및 손상 정도를 나타내는 지수)의 추세는 공용년수가 증가함에 따른 노후화나 열화의 증가로 결함지수도 증가하는 보편적인 추세를 보이는 것으로 나타났다(2차 또는 3차의 결함지수가 수록되지 않은 교량(C6~C7, C9~C11, C16~C17)은 분석에서 제외, 책임기술자의 주관적인 판단에 따라 상태등급을 평가하던 2004년 이전에 수행되어 1차의

결함지수가 없는 경우는 2차 및 3차의 결함지수로부터 선형으로 추정). 또한, Fig. 3의 결함지수별 공용내하율에서도 편차는 다소 크지만 결함지수가 증가함에 따라 공용내하율이 감소하는 보편적인 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

따라서, 상태등급과 공용내하율 사이의 직접적인 상관성을 추정하기는 어렵지만 결함지수와 공용내하율은 공용년수에 따라 일정한 경향을 보이는 것으로 분석되어, 미국 AASHTO의 Condition factor와 같이 내하력 평가시 외관상태를 고려할 수 있는 적정 지수의 선정이 가능할 수 있을 것으로 판단되는 바 향후 보다 많은 데이터의 분석을 통해 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.3 고유진동수

Fig. 4는 1차부터 3차까지 진단회차별 고유진동수의 실측값과 이론값을 나타낸 것으로서, 실측값이 대부분 이론값을 상회하는 것을 알 수 있다. 이는 교량의 실제 강성이 이론적 강성보다 큰 것에 따른 것으로 고유치해석의 해석모델이 교량의 실제 강성을 모두 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

Figs. 5 and 6은 공용년수에 따른 고유진동수의 추세와 경과시간에 따른 변화율을 보여준다. 고유진동수는 공용년수가 증가함에

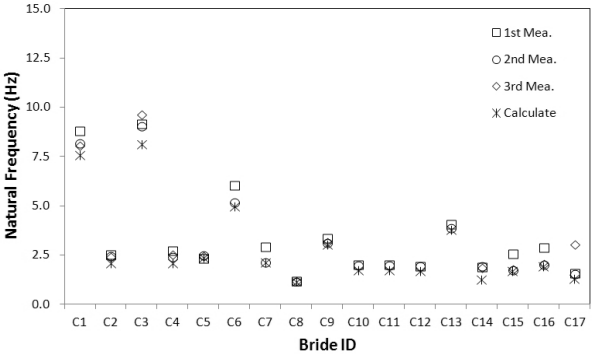

Fig. 4. Natural Frequency Distribution of Target Br.

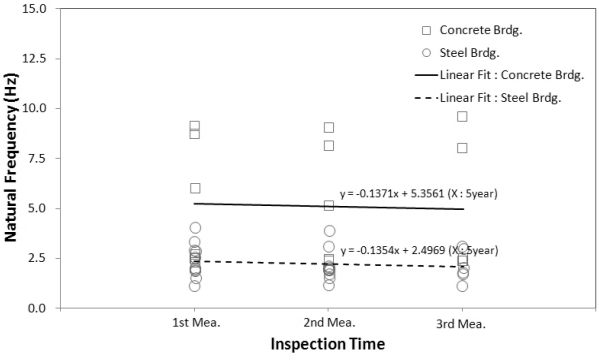

Fig. 5. Natural Frequency Trend with Inspection Time

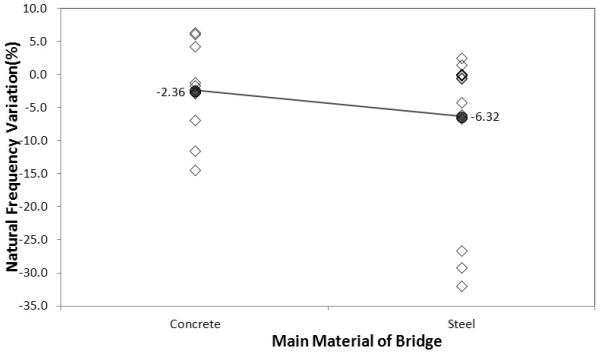

Fig. 6. Distribution of Natural Frequency Variation

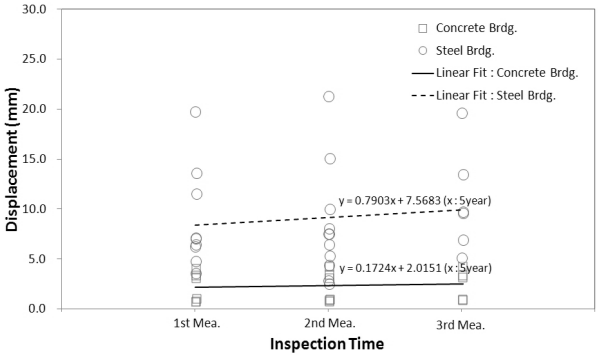

Fig. 7. Displacement Trend with Inspection Time

따라 감소하는 경향을 보이는데, 콘크리트교량은 5년마다 평균적으로 2.36%, 강교는 6.32% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 노후화나 열화의 증가에 따른 강성저하에 기인하는 것으로 것으로서, Fig. 7에 나타낸 공용년수에 따른 처짐이 증가 추세를 보이는 것으로 부터도 이러한 사실을 확인할 수 있으며, 결함지수가 증가하고 공용내하율이 감소하는 경향과도 대체로 일치한다.

3.4 충격계수

Fig. 8은 지간길이에 따른 실측충격계수를 분석한 것이다. 충격계수는 지간길이에 대해 일정한 경향 없이 편차도 큰 것으로 나타났으며, 설계충격계수를 초과하는 경우도 다수 확인되었다. 또한, 공용년수에 따른 실측충격계수의 추세를 나타낸 Fig. 9로부터 이론적으로는 공용년수가 증가함에 따라 강성저하로 인해 충격계수가 증가하여야 하지만 실제로는 감소하는 추세를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 정밀안전진단보고서에 분석된 바와 같이 실측충격계수가 교량의 노후화에 의한 강성변화 이외에도 재하시험시 하중재하방법, 단차 등과 같은 교량의 노면상태 등에도 민감하기 때문인 것으로 판단되며, Kim et al. (1999) 등과 Lee et al. (2009) 등의 기존 연구를 통해서도 보고된 바 있다.

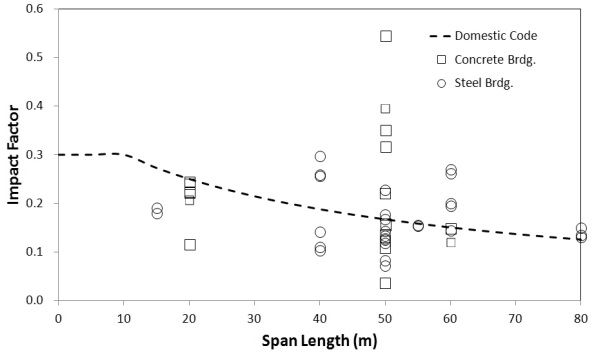

Fig. 8. Impact Factor Distribution with Span Length

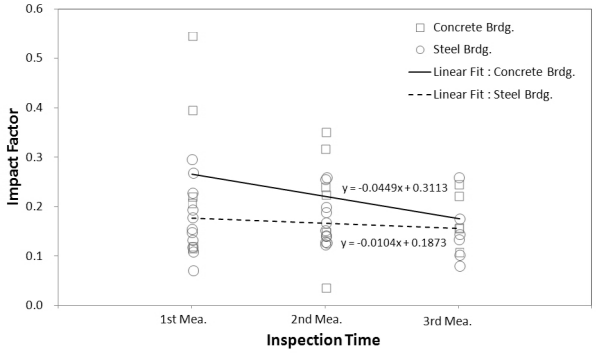

Fig. 9. Impact Factor Trend with Inspection Time

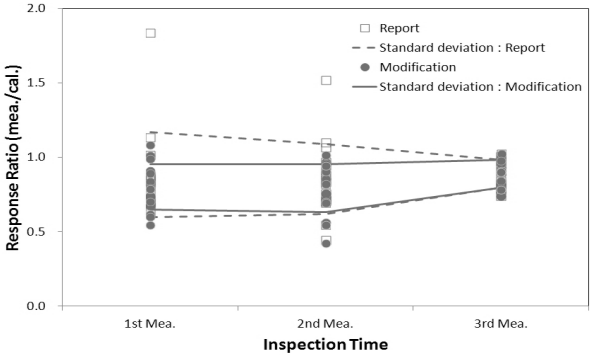

Fig. 10. Response Ratio of Report and Modification Trend with Inspection Time

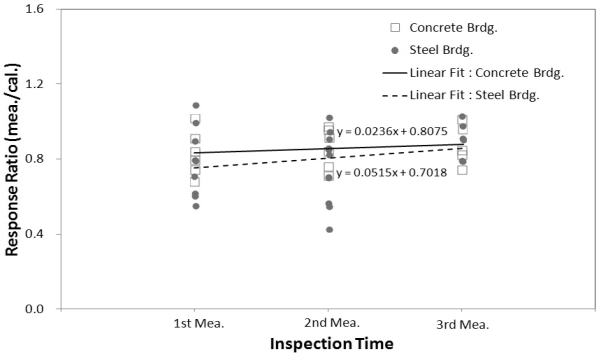

Fig. 11. Response Ratio Trend with Inspection Time

3.5 응답비

응답비(측정치/해석치)는 공용내하력에 직접적인 영향을 미치는 중요한 인자이지만, Kim et al. (1999) 등의 연구결과에 따르면 평가자의 데이터 선정방법에 따라서 최대 3배 정도의 편차를 보이므로 공용년수에 따른 응답비의 추세를 면밀히 분석하기 위해서는 일관성을 유지하는 것이 매우 중요한 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 공용년수에 따른 내하력의 변동 특성 분석시 일관성을 확보할 수 있도록 진단이력별로 시험차량의 재하위치 및 방법이 유사한 경우를 선정하였고, 실측치는 중량비 보정(가장 최근의 안전진단에서 사용한 시험차량의 중량에 대한 비율로 보정)을 하였으며, 해석치는 보다 정밀하고 교량의 실제 거동과도 잘 부합하도록 다양한 모델링요소와 기법을 사용한 가장 최근 회차의 값을 사용하였다.

Fig. 10은 교량의 전반적인 거동을 나타내는 정적 처짐에 대해 정밀안전진단보고서의 응답비와 중량비 보정을 실시한 응답비의 추세를 비교한 것으로서, 본 연구의 중량비 보정을 통한 응답비가 공용년수에 따라 증가하는 등 구조적인 거동과도 잘 부합되고 편차도 크지 않은 것으로 나타나 공용년수에 따른 내하력 변동 특성 분석에 보다 합리적인 것으로 판단된다.

한편, 응답비는 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 공용년수에 따른 노후화 및 열화의 증가로 인한 측정응답이 증가하면서 전반적으로 증가 추세를 보이는 것으로 분석되었다.

3.6 응답보정계수

응답보정계수는 Table 1의 Eq. (1)에 나타낸 바와 같이 응답비(Response Ratio; R.R)와 충격계수비(Impact Factor Ratio; I.F.R)로 산출되므로, 응력보정계수와 응답비 및 충격계수비와의 상관성을 분석하여 Figs. 12 and 13에 나타내었다. 분석결과, 응답비는 회귀곡선과 (1/R.R)곡선이 거의 일치하며 높은 상관성을 보여주는 데 반해, 충격계수비는 회귀곡선과 (1/I.F.R)곡선의 편차도 크고 상관성도 낮은 것으로 분석되었다. 따라서, 합리적인 응답보정계수를 산정하기 위해서는 응답보정계수에 미치는 영향이 큰 응답비의 선정에 보다 신중을 기하여야 한다. 또한 충격계수비는 응답비에 비해 상대적으로 응답보정계수에 미치는 영향이 크지 않고 교량의 강성보다 재하시험 방법이나 노면상태 등에 민감하여 내하력을 왜곡시킬 가능성도 배제할 수 없으므로 적용에 유의하여야 할 것으로 판단된다.

이 연구에서는 이러한 분석결과를 토대로 공용년수에 따른 내하력 변동 특성 분석을 위한 응답보정계수 산정시 중량비를 보정한

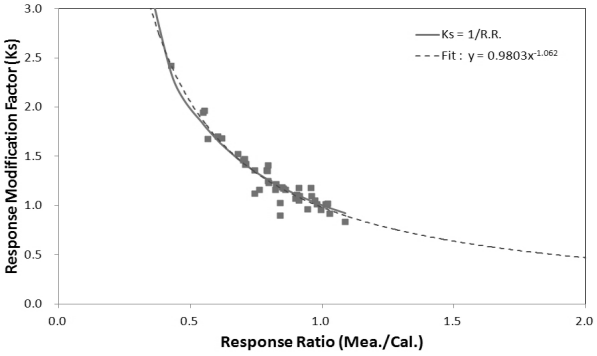

Fig. 12. Correlation between Response Ratio and Response Modification Factor

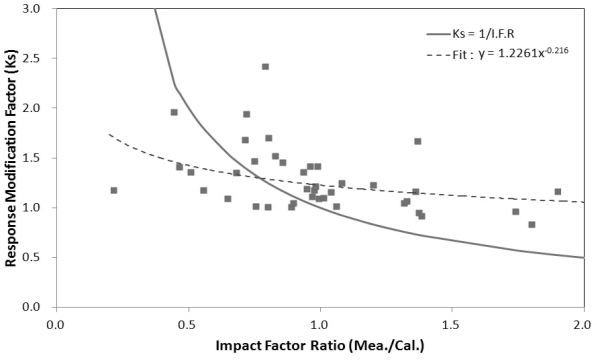

Fig. 13. Correlation between Impact Factor Ratio and Response Modification Factor

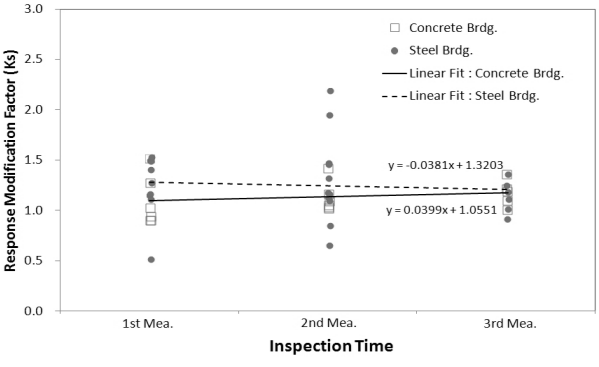

Fig. 14. Response Modification Factor(Report) Trend with Inspection Time

응답비와 설계충격계수를 사용하였다. 정밀안전진단보고서의 응답보정계수를 보여주는 Fig. 14는 공용년수의 증가에 따라 콘크리트교는 감소하지만 강교는 오히려 증가하는 경향을 보이는 반면, 이 연구에서 산정한 보정된 응답보정계수를 보여주는 Fig. 15는 콘크리트교와 강교 모두 공용년수에 따라 감소하는 정상적인 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

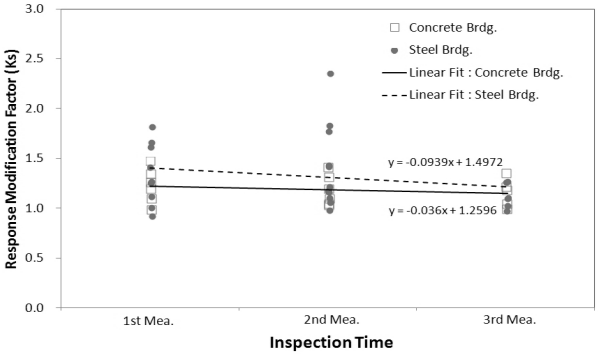

Fig. 15. Response Modification Factor(This Study) Trend with Inspection Time

3.7 기본내하율

기본내하율은 Table 1에 나타낸 바와 같이 설계하중에 대한 내하율이므로 진단회차에 관계없이 동일한 값이어야 한다. 그러나, 모델링 요소나 기법, 하중재하방법, 경계조건 등 구조해석시의 다양한 차이로 인해 Fig. 16 정밀안전진단보고서의 기본내하율에 대한 표준편차의 오차막대에 나타낸 바와 같이 진단회차별로 큰 편차를 보이는 것을 알 수 있다. 이에 이 연구에서는 진단회차별 기본내하율의 편차로 인해 공용년수에 따른 내하력 변동 특성이 왜곡되는 것을 방지하고, 보다 다양한 모델링 요소와 기법을 통한 정밀구조해석을 수행하여 구조물의 실제 거동에도 가장 잘 부합할 것으로 판단되는 최신 회차의 기본내하력을 사용하였다.

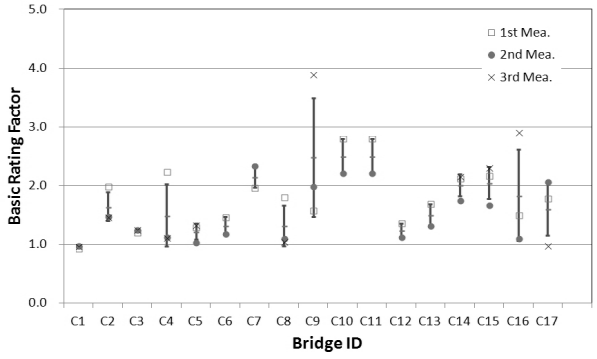

Fig. 16. Basic Rating Factor Distribution of Target Br.

3.8 공용내하율

정밀안전진단보고서의 공용내하율을 보여주는 Fig. 17은 진단회차별로 편차가 큰 데 반해, 본 연구의 중량비를 보정한 응답비와 설계충격계수를 사용한 응답보정계수로 산정한 공용내하율은 Fig. 18에 나타낸 바와 같이 편차가 작은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 전술한 바와 같이 공용내하율 분석시 일관성을 유지할 수 있도록 보정된 응답보정계수를 사용하고 단일 기본내하율을

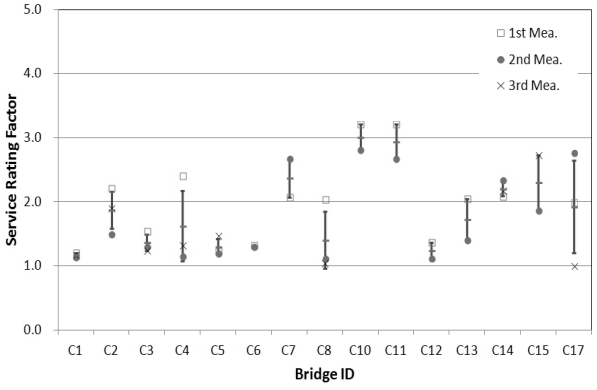

Fig. 17. Service Rating Factor Distribution(Report)

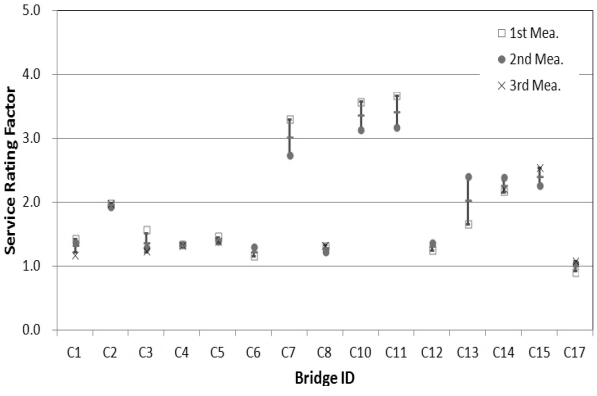

Fig. 18. Service Rating Factor Distribution(This Study)

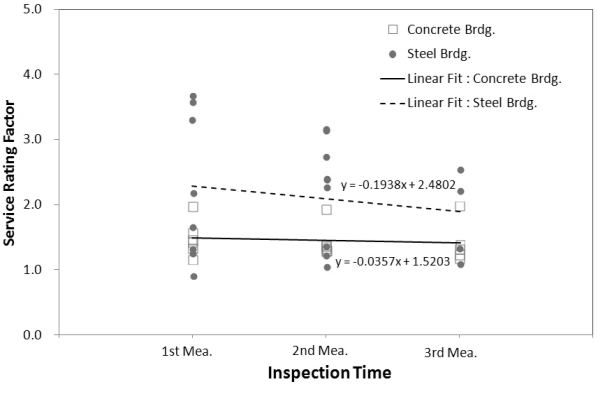

Fig. 19. Service Rating Factor Trend with Inspection Time and

적용한 것에 기인하는 것으로서, 교량의 노후화 및 열화 등에 따른 내하성능의 저하 정도를 감안하면 합리적인 것으로 판단된다.

한편, Fig. 19의 진단회차별 공용내하율로부터 공용년수에 따라 공용내하율은 감소하며, 강교의 저하속도가 콘크리트교 보다 빠른 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 한국시설안전공단에서 2회 이상 수행한 정밀안전진단자료를 수집하여 공용년수의 증가에 따른 내하력 변동 특성을 분석하였으며, 본 연구를 통하여 도출된 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 일반적으로 상태등급은 유지보수 등을 통해 내하력의 변동 없이 등급 상향이 가능하므로 공용내하율과의 직접적인 상관성을 추정하기는 어렵지만, 결함지수와 공용내하율은 공용년수에 따라 일정한 경향을 보이는 것으로 분석되어, 미국 AASHTO의 Condition factor와 같이 내하력 평가시 외관상태를 고려할 수 있는 적정 지수의 선정이 가능할 수 있을 것으로 판단되는 바, 향후 보다 많은 데이터의 분석을 통해 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

(2) 기본내하력은 물론 응답보정계수의 산정에 사용되는 응답비와 실측충격계수도 재하시험방법, 구조해석방법 등의 차이로 인해 진단회차별로 편차가 크며, 이로 인해 공용년수에 따른 내하력의 변동 특성도 평가자에 따라 상당히 큰 편차가 발생할 수 있다.

(3) 공용년수 증가에 따른 내하력의 변동 추세를 분석하기 위해서는 응답보정계수 산정시 최근 진단회차를 기준으로 중량비를 보정하고 시간에 따른 강성변화 보다 시험방법이나 노면상태 등에 민감한 실측충격계수 대신 설계충격계수를 적용하는 방안이 재하시험에서 발생할 수 있는 다양한 오차를 배제할 수 있어 보다 합리적인 것으로 판단된다.

(4) 공용중인 기존 교량의 효율적인 유지관리를 위해서는 공용년수 증가에 따른 상태등급 및 내하성능의 변동 특성에 대해 일관된 합리적 방법을 통한 추적조사가 필요한데, 현재는 평가자의 주관에 따라 분석의 편차가 크게 발생하는 측면이 있으므로 본 연구에서 제시한 방법을 통해 편차를 배제하고 공용년수 증가에 따른 내하력의 변동 특성을 보다 합리적으로 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

References

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (2005). *Manual for condition evaluation and load and resistance factor rating(LRFR) of highway bridges*.

Chang, D. I., Lee, H. H. and Eum, Y. H. (1988). "A study on statistical analysis of load carrying capacity of steel bridges." *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 8, No. 1, pp. 41-48 (in Korean).

Cho, S. J., Yi, J. H, Lee, C. G. and Yun, J. B. (2007). “Evaluation of load carrying capacity of bridges using ambient vibration tests.” *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 27, No. 1A, pp. 79-89 (in Korean).

Hwang, E. S. and Nowak, A. S. (1991). “Simulation of dynamic load for bridges.” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 5, pp. 1413-1434.

Kim, D. Y., Kyung, K. S., Jeon, J. C., Lee, H. H. and Chang, D. I. (1999). “A reformed rating method for highway bridges based on statistical analysis of existing data.” *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 19, No. I-6, pp. 847-857 (in Korean).

Koo, B. K., Shin, J. I. and Lee, S. S. (2001). “An improvement for determining response modification factor in bridge load rating.” *Journal of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, KSMI, Vol. 5, No. 1, pp. 169-175 (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (1997, 2003, 2009). *L Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (1997, 2003, 2013). *G Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2002, 2005, 2010). *J Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2002, 2006). *H Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2002, 2006, 2011). *I Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2002, 2006, 2011). *K Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2003, 2008). *D Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2003, 2008, 2013). *F Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2003, 2008, 2014). *A Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2003, 2008, 2014). *B Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2003, 2008, 2014). *C Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2004, 2009). *E Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2004, 2009). *M Bridge In-depth safety inspection report* (in Korean).

Korea Infrastructure Safety and Technology Corporation (KISTEC) (2010). *Detailed guidance of safety inspection and in-depth safety inspection in Korea* (in Korean).

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT) (2002). *Manual for load carrying capacity of highway bridgess* (in Korean).

Lee, C. S. and Yoon, I. S. (2002). “Investigation and evaluation on performance of durability for freeway concrete viaducts in seoul metropolitan area.” *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, KOSHAM, Vol. 2, No. 1, pp. 143-152 (in Korean).

Lee, J. H., Han, S. H. and Shin, J. C. (2009). “The examination of load carrying capacity based on existing data for improved safety assessment method of expressway bridges.” *Journal of Korea Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 29, No. 6A, pp. 597-605 (in Korean).

O’Conner, C. and Prichard, R. W. (1985). “Impact studies on small composite girder bridge.” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. 3, pp. 641-653.