

도로교 내하급수 판정시스템 개발

Development of Rating System for Highway Bridges

조효남* · 장동일* · 이희현**

Cho, Hyo Nam · Chang Dong Il · Lee, Hee Hyun

Abstract

This study is directed for the development of rational rating models for realistic safety assessment and the computer rating system for highway bridges.

For this purpose, the conventional rating system is considerably improved in appropriate way, and a rational rating system based on the reliability method is proposed to estimate safety of deteriorated bridges by using only the visual inspection data or the statistical data available. In addition, the rating system which can assess the realistic allowable passing tonnage of military vehicles in case of the military operations is also presented.

From this study, it is known that the presented rating system and the computer program BRS(Bridge Rating System) provide an effective tool which can handle the degree of deterioration and various uncertainties of the bridge systematically, so it can be used widely for assessment of safety and load carrying capacity of existing deteriorated or damaged bridges.

요 지

본 연구는 도로교량들의 효율적인 안전도 평가 및 내하급수 판정 전산화 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 현행 도로교 내하급수 체계를 합리적으로 개선한 후 외관조사 또는 가용 통계자료 만으로 안전성 평가를 실시할 수 있는 신뢰성 방법에 기초한 합리적인 내하력 평가방법을 제시하고 비상작전시 군용차량의 실제적인 허용통과 급수 판정시스템을 개발하였다.

연구결과 본 연구에서 제시된 내하력 및 내하급수 판정시스템, 그리고 내하력 평가 프로그램 BRS(Bridge Rating System)은 교량의 노후도와 각종 불확실량을 체계적으로 반영한 실 내하력 평가수단으로서 장차 교량의 안전성 및 내하력 평가에 널리 활용될 수 있다고 사료되었다.

1. 서 론

현재, 우리나라 국도나 고속도로상의 도로교량의 약 40% 정도는 과적 차량의 통과와 적절한 유지보

수의 부재로 인하여 노후손상되어 있고, 매년 그 비율과 정도가 심화되고 있다. 이와 같은 실정에도 전국적으로 12000개에 개소⁽¹⁾에 달하는 방대한 교량의 유지, 보수 개축 예산의 막대함을 고려해 볼때, 국도상의 교통소통과 교량 안전확보 그리고 예산 절감이 가능한 효율적인 교량유지 관리 시스템의

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 교수
** 정회원 · 한양대학교 공과대학 강사

개발이 시급하다고 본다. 그러나 종래에 사용해 오던 재래적인 내하급수 판정방법은^(2,3) 지극히 단순하고 형식적인 것에 지나지 않으며, 현장 측정자료가 없이는 차량의 실제 통과를 제한할 수 있는 내하급수 판정에는 전혀 사용할 수 없을뿐 아니라 교량의 실제적인 노후 손상도를 체계적으로 추정 반영할 수 있는 방법적 고려가 전혀 되어 있지 않다.

본 논문은 효율적인 교량유지, 내하력 조사, 대상교량 선정기준 설정과 보수, 개축 우선순위 의사결정에 지침이 되는 교량 안전진단, 안전도 평가 및 내하급수 판정 전산화 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다. 이와 더불어, 현행 도로교 내하급수 체계를 합리적으로 개선하고, 외관조사 또는 가용 통계자료 만으로 안전성 평가를 실시할 수 있는 신뢰성 방법에 기초한 합리적인 내하력 평가방법을 제시하며, 비상작전시의 군전차, 중차량의 실제적인 허용 통과 급수 판정시스템을 개발하는 데도 그 목적을 두고 있다.

2. 교량 내하력 평가 및 내하급수 판정시스템

본 논문을 통하여 제시하고자 하는 내하급수 판정시스템은 교량의 실제 노후 손상도를 고려한 허용능력 내하력 판정(WSR), 구조신뢰성지수 β 및 하중 저항계수법에 의한 내하력 평가(LRFR)의 크게 3부분으로 나누어 진다. 본 논문에서는 세 가지 방법에 대한 개략적인 것만 언급하고 상세한 것은 문헌(4)를 참조하기 바란다.

2.1 허용능력 설계법에 의한 내하력 평가

허용능력법에 의한 내하력 평가는 3가지 평가계수, 즉 합성작용계수, 환산충격계수 및 공용하중을 사용한다. 이중 합성작용계수와 환산충격계수는 기존의 방식^(2,3)에 따라 구하고 공용하중 P는 교량의 손상도를 고려하여 다음과 같이 구한다.

$$P = 24 \times \frac{\text{허용능력} \times D_f - \text{사하중능력}}{\text{DB-24에 의한 최대계산능력}} \times K \quad (1)$$

여기서 D_f 와 K는 손상계수(damage factor)와 실용담비로 각각 식 (2) 및 (3)으로부터 구한다.

$$D_f = \frac{\text{손상부재의 강성도}}{\text{무손상 부재의 강성도}}$$

$$= \frac{(\text{손상 부재의 기본 고유 진동수})^2}{(\text{무손상 부재의 기본 고유 진동수})^2} \quad (2)$$

$$K = \frac{\text{계산능력}}{\text{측정능력}} \times \frac{1 + \text{계산충격계수}}{1 + \text{측정충격계수}} \quad (3)$$

식 (1)에서 허용능력에 D_f 를 곱해야 하는 근거는⁽⁶⁾ 교량이 노후화됨에 따라 강성이 저하되는데 허용저항은 실강도에 따른 허용능력과 실제 노후 손상부재의 강성의 곱으로 되기 때문이다. 한편 기존의 보고서^(2,3)에서 사용하는 K는 현재 일본에서 단순강교량에 적용하는 방식⁽⁵⁾을 그대로 이용하는 실정 이어서 비현실적인 경우가 왕왕 있었으므로 본 논문에서는 식 (3)을 이용하여 응답비를 산출하였으며, 손상계수의 상한치는 1로 하였다.

2.2 신뢰성 및 하중 저항 계수법에 의한 내하력 평가

구조 신뢰성 지수 β 및 하중저항계수법에 의한 내하력 평가는 본 논문을 통하여 중점적으로 연구코자 하는 부분으로서 이들은 종래의 허용능력법에 의한 내하력 평가에 각종 문제점을 극복하기 위한 확률 통계적 내하력 평가기법으로서 구조물의 저항 및 하중 효과에 내포되어 있는 각종 불확실성과 시설 교량의 노후 손상도 및 실용담비가 내하력 평가를 위한 한계상태 모형에 합리적으로 반영된다. 그러나 이 평가방법들은 제한된 통계자료에 근거한 잠정적인 제안 기준이므로 현대계로서는 종래의 허용능력법에 의한 내하력 판정기준의 문제점을 보완하고 그 차이를 고찰토록 한 것이며, 또한 우리나라 도로교의 트럭하중에 대한 광범위한 실측자료를 통하여 확률 모형의 개발 및 통계적 불확실량에 대한 자료가 축적되면서 지속적인 수정 및 보완이 이루어질 수 있을 것이다.

본 논문에서 신뢰성 지수 β 는 Rackwitz-Fiessler⁽⁷⁾의 알고리즘을 이용하여, AFOSM법을 이용하여 구하고, LRFR에 의한 내하율 RF는 식 (4)를 이용하여 구한다.⁽⁸⁾

$$RF = \frac{\phi'D_f R_n - \gamma_D' C_D D_n}{\gamma_L' C_L K' P_r} \quad (4)$$

여기서 γ_D' 와 γ_L' 는 사하중 및 활하중 계수, C_D 및 C_L 은 사하중 및 활하중 영향계수, R_n , D_n 및 P_r 은

각각 공칭저항, 공칭사하중 및 표준 트럭하중, 그리고 ϕ' 와 K' 는 각각 저항계수 및 식 (3)의 역수이다.

한편 본 논문에서 군용차량 또는 탱크하중에 대한 교량의 내하력 평가는 본 절에서 언급한 방법외에 NATO 표준 급수 계산방법⁽⁹⁾도 병행하여 실시한다.

2.3 내하력 평가 및 내하급수 판정시스템

앞에서 설명한 내하력 평가계수들에 대한 고찰을 한 후 표 1 및 2와 같은 트럭하중 및 군용차량에 대한 내하력 평가 및 내하급수 판정시스템을 제시할 수 있다. 표 1 및 2작성시 공용하중 P와 Pn은 현 도로교 시방서의 DB 설계하중을 기준으로 하여 트럭하중인 경우 DB 하중으로 군용차량인 경우 총중량으로 표시하였다. CAF의 기준은 Miki의 연구⁽¹⁰⁾에 따라 응답비 50%를 기준으로, TIF의 기준은 AA-SHTO 시방서⁽¹¹⁾의 최대 충격계수를 기준으로 표시하였다. 표 1 및 2의 판정시스템과 외관 조사 및 비파괴 시험결과를 이용하여 대상 교량의 최종 판정은 경험이 풍부한 기술자가 내려야 할 것이다. 한편 표에서 Pn은 RF에 표준 트럭 하중을 곱하여 구한다.

3. 교량의 내하력 판정지침

대상 교량의 내하력 평가 및 내하급수의 엄밀한 판정은 현장 측정자료가 있을 때 가능하다. 그러나 전국적으로 12,000여 개소에 달하는 교량들에 대해 모두 현장측정을 실시한다는 것은 현실적으로 불가능하며, 비경제적이며 소모적인 일임에 틀림없다. 따라서 본 논문에서는 현장 측정자료가 있는 경우 뿐만 아니라 간단한 외관조사 자료만으로 기존의 축적된 통계자료에 의거하여 그 내하력을 평가할 수 있는 내하력 판정 지침을 제시한다.

3.1 외관조사에 의한 교량의 내하력 평가

교량의 최종내하력은 기존의 연구결과⁽⁴⁾에 의하면 활하중 변동계수 보다 손상계수와 응답비에 좌우된다. 따라서 외관조사에 의해 교량의 내하력을 평가하는 경우 이러한 계수들은 추정해야 할 것이다. 그림 1 및 2는 우리나라 도로상에 가설된 103개 교량들에 대한 현장측정 자료들로부터 합성작용계수와 환산충격계수를 교량의 공용년수와 차량속도에 따라 통계 정리한 것이고⁽¹²⁾ 그림 3은 Cantien⁽¹³⁾가 226개 교량들에 대한 측정 고유 진동수를 교량지간 길이 별로 정리한 것이다.

대상 교량의 응답비는 합성작용계수와 환산충격계수로부터 계산할 수 있고, 손상계수는 교량의 현재

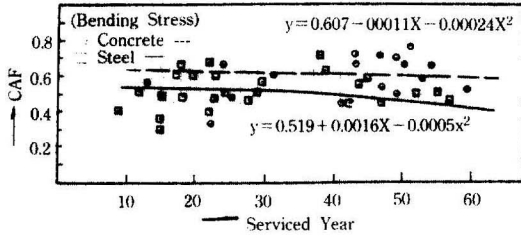
표 1. 트럭하중 통과에 대한 내하력 평가 및 내하급수 판정시스템

| | WSR | | | LRFR | | 신뢰성이론 | 비 고 |
|------|--------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------|
| | P(DB) | CAF | TIF | RF | Pn(DB) | β | |
| 양호 | $P \geq 24$ | $CAF \geq 0.5$ | $TIF \leq 0.2$ | $RF \geq 1$ | $Pn \geq 24$ | $\beta \geq 3.0$ | 정기적육안조사 |
| 보통 | $18 \leq P < 24$ | $0.3 \leq CAF < 0.5$ | $0.2 < TIF \leq 0.3$ | $0.75 \leq RF < 1$ | $18 \leq Pn < 24$ | $2.0 \leq \beta < 3.0$ | 유지보수 |
| 불량 | $13.5 \leq P < 18$ | $0.1 \leq CAF < 0.3$ | $0.3 < TIF \leq 0.4$ | $0.57 \leq RF < 0.75$ | $13.5 \leq Pn < 18$ | $1.0 \leq \beta < 2.0$ | 보수, 보강 |
| 매우불량 | $P < 13.5$ | $CAF < 0.1$ | $TIF > 0.4$ | $RF < 0.57$ | $Pn < 13.5$ | $\beta < 1.0$ | 주요부분 복구 또는 대체 |

표 2. 군용차량 통과에 대한 내하력 평가 및 내하급수 판정시스템

| | WSR | NATO | LRFR | | 신뢰성이론 | 비 고 |
|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------|
| | P(t) | Pn(t) | RF | Pn(t) | β | |
| 양호 | $P \geq 43.2$ | $Pn \geq 43.2$ | $RF \geq 1$ | $Pn \geq 43.2$ | $\beta \geq 2.5$ | 정기적육안조사 |
| 보통 | $32.4 \leq P < 43.2$ | $32.4 \leq Pn < 43.2$ | $0.75 \leq RF < 1$ | $32.4 \leq Pn < 43.2$ | $1.5 \leq \beta < 2.5$ | 유지보수 |
| 불량 | $24.3 \leq P < 32.4$ | $24.3 \leq Pn < 32.4$ | $0.57 \leq RF < 0.75$ | $24.3 \leq Pn < 32.4$ | $1.0 \leq \beta < 1.5$ | 보수, 보강 |
| 매우불량 | $P < 24.3$ | $Pn < 24.3$ | $RF < 0.57$ | $Pn < 24.3$ | $\beta < 1.0$ | 주요부분 복구 또는 대체 |

(a) 휨응력



(b) 처짐

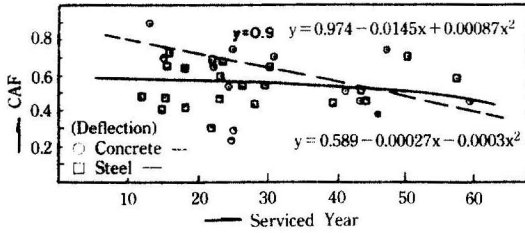


그림 1. 교량의 공용년수에 따른 합성작용계수

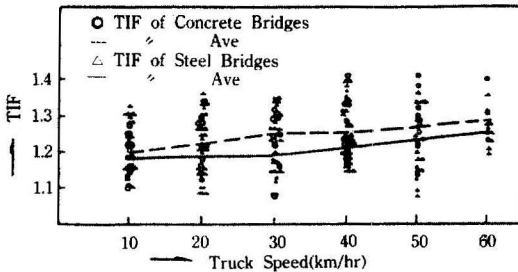


그림 2. 차량속도별 환산충격계수

상태의 고유진동수를 알면 구할 수 있으므로 그림 1~3을 이용하면 현장측정을 실시하지 않고서도 개략적으로 내하력 평가를 실시할 수 있을 것이다.

3.2 현장 측정자료에 의한 내하력 평가

현장 측정자료를 이용하여 내하력 평가를 실시하고자 하는 경우 현장 측정시 획득해야 될 항목은 앞서와 같이 합성작용계수, 환산충격계수 및 고유진동수이다. 현장에서 이러한 자료를 얻는 방법은 크게 3가지로 구분하여 생각할 수 있다. 첫번째는 기존의 방식과 같이 차량을 완전히 통제 한 후 변형계이지와 처짐측정기를 부착하여 필요한 정보를 얻는 것이고, 둘째는 첫번째 방법보다는 측정이 간편한 처짐측정기와 가속도계를 이용하여 필요한 정

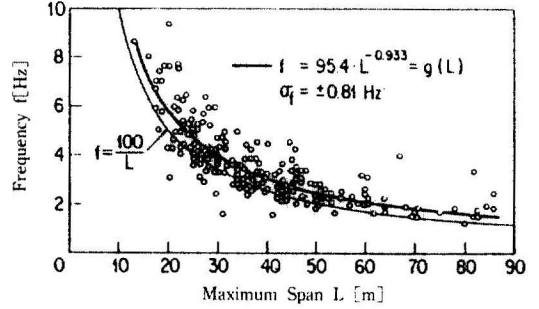


그림 3. 지간 길이별 고유진동수

보를 얻는 것이다. 그러나 고가교나 하천을 통과하는 교하공간이 높은 교량과 같은 경우 교량하부에 변형계이지와 처짐측정기를 부착할 수 없어 현재는 세번째 방법으로 가속도계만을 이용하여 내하력 평가에 필요한 제반정보를 얻는 방법을 시도하고 있다. (14) 세번째 방법은 앞의 두 방법에 비해 측정이 매우 간편하다는 장점이 있으나 가속도계 만에 의해 교량의 내하력 평가를 위한 정보를 얻기 위해서는 전문가 만이 수행할 수 있는 많은 신호처리 기술이 필요하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 첫번째 방법에 비해 측정이 간편하고 세번째 방법에 비해 측정자료 해석이 간편한 두번째 방법을 사용하여 현장 측정을 실시할 것을 권장한다.

3.3 BRS 프로그램 흐름도

본 과업에서 개발된 BRS 프로그램의 내하력 평가 과정은 크게 두 부분, 즉 외관조사 자료를 이용하는 경우와 현장 측정자료를 이용하는 경우로 나뉘어져 있다. 현장 측정자료를 이용하여 내하력 평가를 실시하는 경우 측정에 관련된 제반사항 즉, 측정횟수, 측정위치, 변형율, 처짐, 시험차량의 제원 등을 입력하면 측정횟수 만큼 프로그램은 같은 위치에서의 응력 및 처짐을 계산하고 측정치와 비교한 후 허용응력 설계법에 의한 합성작용계수, 공용 내하력 및 충격계수 등을 계산하고, 이 값들을 서로 비교하여 최악치를 산출하게 된다. 그러나 만일 외관조사에 의한 내하력평가를 실시하고자 하는 경우는 측정에 관련된 사항들 대신 고유진동수, 합성작용계수 및 환산충격계수를 통계자료로부터 산출하여 입력하면 된다. 그러면 프로그램은 교량의 노후손상도를 고려한 실저항을 계산한 후 NATO 급수계

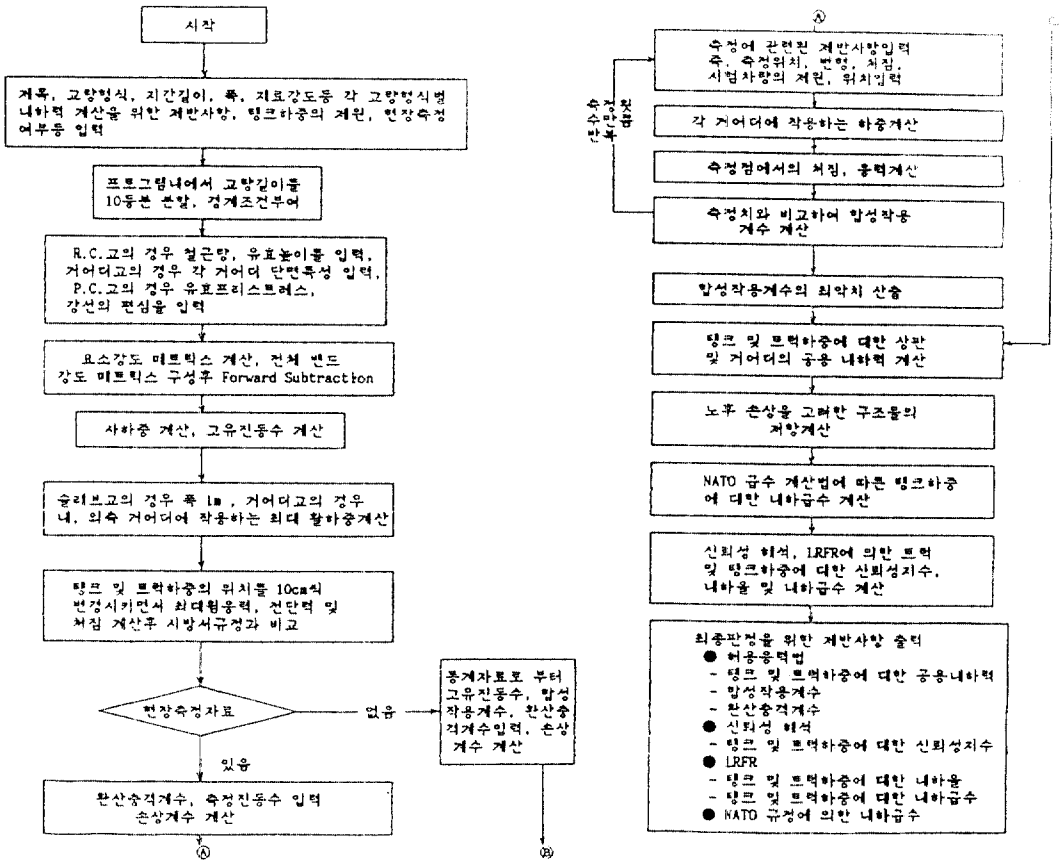


그림 4. BRS 프로그램 흐름도

산법에 따라 탱크하중에 대한 내하급수를 계산하고, 트럭하중 및 탱크하중을 이용하여 신뢰성 지수, LRFR에 의한 안전율 및 공용하중을 계산하게 된다. 그리고 교량의 최종 판정에 필요한 계관계수들을 일목요연하게 출력으로 제시한다. 앞에서 설명한 계산과정을 개략적인 흐름도로 나타내면 그림 4와 같다.

4. 적용 예

본 논문에서는 개발된 시스템의 시설교량에의 적용을 위하여 각기 다른 구조 형식의 교량 3개를 선정하여 현장측정을 실시하였다.⁽⁴⁾ 현장 측정은 외관 조사 및 정·동적 측정의 크게 3부분으로 나누어 실시하였다. 대상교량의 개략적인 각종 제원은 표

3과 같다.

표 4는 앞에서 언급한 외관조사 자료를 이용하여 3개 교량들에 대한 내하력 평가를 실시한 결과이고, 표 5는 현장측정자료를 이용한 결과이다. 표 4와 5를 비교해 볼때 통계자료를 이용하는 경우 손상계수는 실제 경우보다 0.86~0.89배 낮게 평가되는 경향이 있으나, 합성작용계수는 실제의 경우보다 0.86~3.34 배 높게 추정되어 음성교와 산정교의 경우와 같이 설계도면이 없는 경우 교량의 개략적인 외관조사 자료만을 이용하면 교량의 실제 내하력을 높이 평가함을 알 수 있다. 그러나 실제 현장 측정자료를 이용하여 내하력 평가를 실시하면 본 연구에서 제시한 내하력 및 내하급수 판정시스템은 세 교량에서 일정한 신뢰도를 갖는 내하력 평가 결과를 준다는 것이 표 5에서 확인되었다. 두 교량, 산정교와 음

표 3. 대상교량

| | 위 치 | 형 식 | 총연장 | 교폭(m) | 설계하중 | 준공년도 |
|-----|------|--------------|-----|-------|-------|------|
| 신대교 | 충북청원 | Plate-Girder | 285 | 17.5 | DB-24 | 1987 |
| 산정교 | 충남공주 | PC Beam | 82 | 10.0 | DB-18 | 1981 |
| 음성교 | 충북음성 | RC T-Beam | 33 | 6.1 | DB-18 | 1967 |

표 4. 현장측정자료가 없는 교량의 내하력 평가

| | 일반트럭 하중 | | | | | | | 탱크 하중 | | | | | 손상계수 |
|-----|--------------|------|-------|-------|------|------|-----------|----------|------|------|------|-----------|------|
| | 허 용 용 력 법 | | | | LRFR | | 신뢰성 지수 | NATO, Pn | | LRFR | | 신뢰성 지수 | |
| | RF | Pn | CAF | TIF | RF | Pn | β | 1방향 | 2방향 | RF | Pn | β | |
| 신대교 | 1.48 | 35.4 | 0.517 | 0.250 | 2.53 | 60.7 | 5.4 | 89.3 | 89.3 | 1.04 | 53.0 | 2.80 | 1.0 |
| 산정교 | 1.60 | 38.3 | 0.594 | 0.250 | 0.84 | 20.1 | 2.09 | 20.05 | 18.4 | 0.84 | 42.8 | 1.71 | 0.91 |
| 음성교 | 1.80 | 43.3 | 0.495 | 0.250 | 1.26 | 30.2 | 3.46 | 47.7 | 31.5 | 1.41 | 71.8 | 3.82 | 0.83 |

표 5. 현장측정자료에 의한 교량의 내하력 평가

| | 일반트럭 하중 | | | | | | | 탱크 하중 | | | | | 손상계수 |
|-----|--------------|------|-------|-------|------|------|-----------|----------|------|------|------|-----------|-------|
| | 허 용 용 력 법 | | | | LRFR | | 신뢰성 지수 | NATO, Pn | | LRFR | | 신뢰성 지수 | |
| | RF | Pn | CAF | TIF | RF | Pn | β | 1방향 | 2방향 | RF | Pn | β | |
| 신대교 | 1.86 | 44.7 | 0.600 | 0.200 | 2.18 | 52.3 | 4.7 | 55.8 | 55.8 | 0.91 | 46.6 | 2.30 | 1.0 |
| 산정교 | 1.08 | 25.9 | 0.320 | 0.200 | 0.64 | 15.4 | 1.54 | 26.20 | 24.1 | 0.62 | 31.7 | 0.93 | 0.997 |
| 음성교 | 0.60 | 14.5 | 0.148 | 0.235 | 0.89 | 21.4 | 2.46 | 47.7 | 31.5 | 0.99 | 50.6 | 2.70 | 0.932 |

성교의 경우 설계도면이 없어 철근량과 유효프리스트레스를 표준단면으로부터 추정하여 신대교에 비해 내하력 평가결과의 신뢰도가 상당히 떨어지지만, 반면에 설계도면이 있는 신대교의 경우 외관조사만에 의한 내하력 판정결과는 측정결과를 이용한 판정결과와 유사함을 알 수 있다. 한편, 산정교와 음성교의 경우 합성작용계수가 실제보다 높게 추정되는 원인은 노후된 교량일수록 가용자료만으로는 정확하게 추정하기 어렵기 때문이며, 어느 정도 정확하게 추정하기 위해서는 과거에 내하력조사를 실시한 유사상태 교량의 자료를 이용하여 합성작용계수를 추정할 수 있어야 다소 신뢰도 높은 합리적인 내하력 평가가 가능할 것이다.

결론적으로 외관조사만에 의한 내하력 평가를 보다 엄밀하게 실시하기 위해서는 공용년수별, 기간 길이별, 교량형식별, 합성작용계수, 고유진동수 및

환산충격계수에 대한 보다 상세한 자료를 확보해야 하며, 정확한 설계도면을 확보해야 할 것으로 판단 된다.

그러나 본 논문에서 적용한 3개 교량의 경우 두 가지 방법에 의한 최종 판정결과는 음성교의 경우를 제외하고 큰 차이가 없으므로 본 논문에서 제시한 외관조사만에 의한 내하력 판정방법의 유용성을 확인할 수 있다. 그러나 음성교의 경우도 정확한 설계도면이 존재했다면 보다 나은 결과를 얻을 수 있었을 것이다. 따라서 장차 모든 교량들에 대한 정확한 설계도면을 확보하고 앞에서 언급한 3가지 계수들에 대한 통계적 연구가 수행되어 본 과업에서 제시한 통계자료를 보완하면 외관조사만에 의한 내하력 평가의 신뢰도를 훨씬 높일 수 있을 것이다.

5. 결 론

1) 본 연구에서 제시된 내하력 및 내하급수 판정시스템, 그리고 내하력 평가 프로그램은 교량의 노후도와 각종 불확실량을 체계적으로 반영한 실내하력 평가 수단으로서 일반트럭하중 및 군용 차량에 대한 내하력 판정시스템으로 장차 교량의 안전성 및 내하력 평가에 널리 활용될 수 있을 것이다.

2) 본 연구에서는 확률론적 신뢰성모형을 토대로 각종 통계적 불확실량을 합리적으로 반영하고, 적절한 목표신뢰성지수와 보정기법을 사용하여 하중저항계수 판정규준(LRFR)을 제시하였으며, 이 방법은 고려하는 모든 하중조건에 대해서 거의 일정한 신뢰도를 갖는 합리적인 방법이라고 사료된다.

3) 본 연구에서 제시된 내하력 실측자료가 없이 교량의 노후도 및 응답특성에 관한 통계자료를 이용하는 신뢰성 이론에 기초한 교량의 내하력 평가 방법은 실측자료에 의한 내하력과 유사한 판정결과를 주므로 앞으로 보다 광범위한 통계자료에 의해 합성작용계수, 환산충격계수, 고유진동수 등의 보다 엄밀한 통계적 추정이 가능하게 되면 교량의 실제 내하력을 합리적으로 추정하는데 널리 사용될 수 있을 것이다.

4) 팀 스피리트와 같은 비상 군작전시 본 논문에서 제시한 군용차량 통과급수 판정결과를 이용하면 과적 군용 차량의 통행제한을 실시하여 교량의 손상을 방지할 수 있을 것이다.

5) 현장시험 측정이 없이 외관조사에 의해서만 내하력 평가를 해야하는 경우에는 외관조사시 가능하면 변위측정기와 가속도계를 이용하는 간편한 측정을 병행 실시하면 보다 정확한 내하력 평가결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 건설부, "교량현황도서", 1987
2. 한국도로공사, "고속도로 교량내하력 평가시스템 개발 제 1, 2단계 연구용역 종합보고서", 1987-1988.
3. 건설부, "건설연구자료(교량내하력조사)", 1968-1989.
4. 건설부, "교량 안전도 평가 및 내하급수 판정시스템 개발", 1990.
5. 高島春生, "道路橋 實用診斷學" 現代理工學社, 1988.
6. Cho, H.N., A.H-S. Ang, "Reliability Assessment and Reliability-Based Rating of Existing Road Bridges", *5th Int. Conf. on Structural Safety and Reliability(ICOSSAR '89)*, USA, 1989
7. Rackwitz, R. and Fiessler, B., "Structural Reliability Under Combined Random Load Sequences", *Computers & Structures*, Vol.9, 1978, pp.489-494.
8. Shin, J.C., Cho, H.N. and Chang, D.I., "A Practical Reliability-Based Capacity Rating of Existing Road Bridges", *JSCE*, No.389/I-10, 1988, pp.41-50.
9. "Military Fixed Bridge", TM 5-312. U.S. Army, 1968.
10. Miki, C. and Yoshida, M., "Computer Simulation Studies on the Fatigue Design of Highway Bridges", *Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng.*, Vol.2, No.1, 1985.
11. American Association of State Highway Officials, "Standard Specifications for Highway Bridges", 10th ed., AASHTO.
12. Chang, D.I. and Lee, H.H. et al., "A Statistical Analysis on Evaluation Parameters of Load Carrying Capacity of Highway Bridges in Korea", *Proc. of 11th IRF World Meeting* Vol.2, Korea.
13. Cantieni, R., "Dynamic Load Testing of Highway Bridge", *IABSE, Proc.* p75/84, Switzerland, 1984.
14. 장동일, 최계식, "가속도 신호를 이용한 교량의 동적응답추정에 관한 연구(I)", 강구조학회 논문집, 제 2권, 제 1호, 1990.

(접수 : 1991. 1. 8)