

상태평가 결과를 이용한 교량의 대표등급 산정방법

Representative Rating of Bridges using Condition Assessment Data

오 별 환* 김 광 수** 신 결 준*** 이 상 철****

Oh, Byung-Hwan Kim, Kwang-Soo Shin, Kyung-Joon Lee, Sang-Cheol

Abstract

Currently, the inspection of bridges is conducted for the parts or elements of a bridge and the results of inspection are depicted for those local elements. Therefore, the representative rating of a bridge as a whole bridge system is not presented. The purpose of the present study is to propose a reasonable method which can yield realistic representative rating for an actual bridge. The proposed method consists of two steps, i.e., visual inspection step and safety assessment step. The importance of members is considered by introducing the weighting factors and the number of spans is also considered to obtain the representative rating of a whole bridge system. The proposed method may be efficiently used to calculate the realistic representative rating of bridge structures.

keywords : Condition Assessment, Bridge, Representative Rating, Visual Inspection

1. 서 론

최근 들어 국가기관 시설로서 선제 교량에 대한 비교 평가가 위하여 교량등급을 요구하고 있다. 그러나 현재 기준은 각 부재별에만 상태등급을 매기고 교량 전체에 대한 등급판정 방법은 없는 실정으로, 교량 대표등급은 기술자의 주관적 판단에 의존하기 때문에 신

당기준과 편리주체가 매긴 등급이 서로 다른 경우도 발생되는 등 문제점이 발견되어 따라 교량점진 점수에 대한 통일된 평가기준이 요구되고 있다.

따라서 세부 항목별로만 부여되고 있는 현행 상태평가 등급기준을 개선하여 교량의 상태를 서로 비교할 수 있는 통일된 기준의 개념으로서 대표등급의 개념을 설정하여 이에 대한 산정방안을 연구 제시하고자 한다.

* 철학원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 철학원, 서울대학교 공학연구소 특별연구원

*** 철학원, 서울대학교 토목공학과 대학원

**** 철학원, 시정당전기술공단 교량실 부장

E-mail : civilcon@gong.snu.ac.kr (02-880-7350)

*본 논문에 대한 토의권 2002년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2002년 7월호에 토의권자를 게재하겠습니다.

2. 교량의 대표등급의 개요

현재 세무 항목별로만 부여되고 있는 상태평가 등급 기준에 무차별 가중치와 내하력 개념을 도입하여 교량 대표등급을 산정하고자 한다. 기본 대표등급 하나만으로 교량의 전체 상태를 완벽하게 나타내는 데 어려움은 있으나, 교량을 서로 비교할 수 있는 통일된 상태의 개념으로 하의 이항은 『상대평가 대표등급』으로 명명하고, 교량 종합평가의 개념보다는 외관상태와 안전성 개념을 고려한 대표등급으로서와 차이를 부여하고자 한다.

2.1 외관상태 대표등급

내구성 확보를 위한 보수 필요도 개념으로, 무차별 외관상태 평가결과를 기본으로 하여 무재해 중요도에 따라 가중치를 부여하여 그 합을 산정하는 방법으로 외관상태 대표등급을 산정한다. 단, 주요부재 및 붕괴 유발부재의 외관상태평가 결과, 균열, 세균 등 교량 안전에 직접적으로 영향을 미치는 항목에서 D급 이하 판정시 혹은 선분가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 이에 대한 원인분석 및 보수·보강공법 결정을 위하여 안전성평가를 실시한다.

2.2 구조검토에 의한 안전성 측면에서 대표등급

정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단사에는 내하력 평가 결과에 의하여 안전성 대표등급을 산정하며, 정기점검 등 기타의 경우에는 외관상태평가 결과, 교량 안전에 직접 관련된 주요 구조부재와 손상항목이 D급 이하로 평가되거나 혹은 선분가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 원인분석을 위한 구조검토(내하력평가) 결과에 따라 안전성 대표등급을 산정할 수 있다.

안전성 대표등급은 교량 안전성의 중요 요소인 내하력 개념을 도입하여 산정한다. 기본내하력과 교량의 사용조건(전체내하력)의 비교를 통하여 안전성 등급을 평가하며, 반일 공용 내하력을 평가한 경우에는 기본내하력 대신 공용내하력을 사용조건과 비교한다.

3. 외관상태 대표등급

현재 국내의 경우 전교부속 도로공사의 교량관리체계에서 외관상태평가 결과와 그 밖의 여러 가지 항목들을 이용하여 의사결정을 위한 교량지수들을 운용하고 있다. 또한, 캐나다와 경우 무차의 성능평가를 이용하여 구조부재에 대한 성능을 평가하며, 미국의 경우 상태등급을 바탕으로 여러 항목별 평가를 통하여 교량전체의 상태등급을 계산한다.

교량관리체계의 수목적인 각 관리수체별로 교량의 유지관리와 관련된 자료들을 정리하고 점검 및 상태평가를 통해 수집된 자료관 지장 분석하며, 이를 바탕으로 보수·보강 우선순위를 결정하여 효율적인 예산집행을 수행하는 것이다. 또한, 관리수체별로 교량관리 시스템의 용도나 관리하는 교량의 특성에 맞춰 점검 항목과 각 항목별 가중치 등이 상이함을 알 수 있다.

반면, 교량대표등급의 경우 등급지체로써 교량의 상태를 완벽하게 나타내기는 어려움이 있으나, 국외 등의 의사결정기구에서 교량들에 대한 비교, 평가와 요구함에 따라 교량 점검결과에 대한 통일된 평가기준이 필요하며, 이에 따라 교량을 서로 비교할 수 있는 통일된 상태의 개념으로 대표등급에 대한 산정방안을 연구하였다.

3.1 교량 외관상태 대표점수(등급)의 결정 방안

외관상태 대표등급 산정시 교량 관리수체들이 구축한 기존시스템과 혼란을 최소화 하기 위해서는 기존의 BMS체계와의 호환성 등을 고려해야 한다. 따라서 현재 외관상태평가기준을 근간으로 구축된 국내 BMS의 외관상태평가항목을 외관상태 대표등급 산정시 기본 골격으로 채택하였다.

아래의 Fig. 1에 전교부속 KOBMS의 기술순위 의사결정에 쓰이는 결합점수 산정과정후 도로공사 HBMS의 교량관리지수 산정과정은 나타내었으며, 본 연구의 외관상태 대표등급 산정과정도 함께 나타내었다.

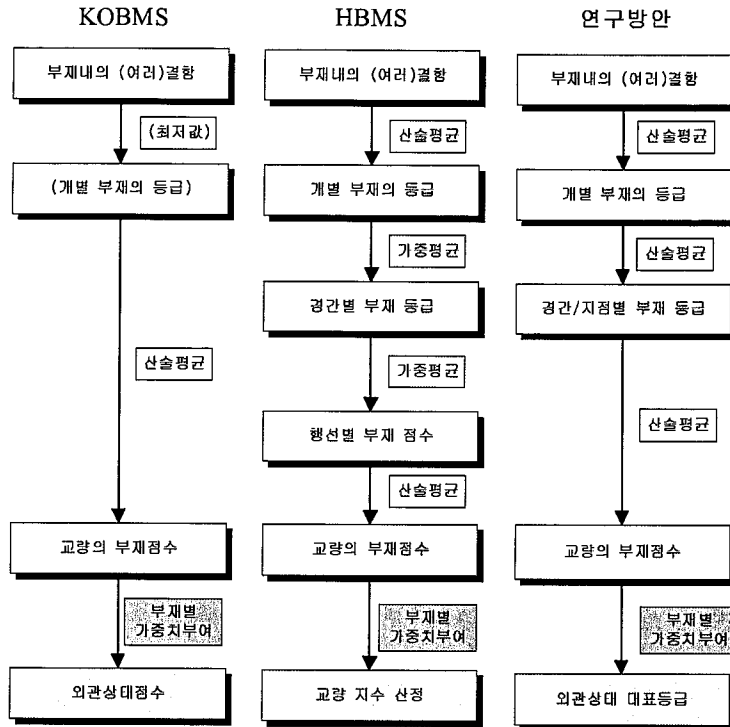


Fig. 1 외관상의 대표등급 산정 흐름도

대표등급 산정과정은 기본적으로 외관상평가에 의하여 조사된 상대등급에 점수를 부여하고, 부제별 중요도한 고려한 가중치를 고려하여 선의 점수를 합하는 과정으로 되어 있다.

1) 개별부제의 산정방안

한 부제내의 여러 결함, 손상을 각각 평가하여 각각의 항목에 대한 등급을 결정한다. 조사된 등급에 따라 부제의 등급을 산정한다. 부제등급 산정방법으로 최저등급의 개념을 사용하거나 평균등급의 개념을 사용할 수 있으며, 본 연구에서는 결함도 점수를 부여하고, 각 항목에 대한 값들을 평균하여 값의 범위에 따라 부제의 등급을 구하는 평균등급의 개념을 사용하였다.

2) 경간(지점)별 부제등급의 결정방안

한 경간내에서 여러 개로 이루어진 부제의 등급을

산정하기 위하여 각 부제들의 결함도 점수를 평균하여 그 값의 범위에 따라 등급을 산정한다.

3) 교량 외관상대 대표점수(등급)의 결정방안

경간별 부제등급을 평균하여 교량 섹션에서의 부제별 점수(등급)를 계산한 후 부제에 따른 가중치를 부여하여 그 평균으로 경간의 외관상대대표점수(등급)를 구한다.

3.1.1 등급의 평가 방법

한 부제에 여러 종류의 결함, 손상이 있을 경우 개별 부제의 상대등급을 결정하는 방법으로 최저등급을 이용하는 방법과 평균을 이용하는 방법이 있다.

(1) 최저등급

여러 결함, 손상 항목 중 최저등급을 부제의 등급으로

로 결정하는 방법이다. 이 방법은 현장에서 육안 점검 후 가장 하위 등급의 결함, 손상만을 평가하게 되므로 비교적 간단하게 사용할 수 있다. 그러나, 손상이 있으나 기능에는 이상이 없는 부재, 큰 손상은 없으나 전반적으로 노후화된 부재 등의 등급 산정시 부재의 등급이 보수적인 결과를 보일 수 있다.

(2) 평균등급

이러 결함, 손상 항목에 대하여 평가한 후 전체의 평균치로써 부재의 등급을 결정하는 방법이다. 현장에서 육안 점검시 결함, 손상에 대하여 유형별로 분리 기록해야 하므로 다소 번거로움이 있다. 그러나, 결함, 손상 총합으로 평가하여 평균을 취함으로써 여러 손상이 동시에 존재하거나 결함이 한 가지만 있는 경우 의사등급 개념에 비하여 효과적인 평가가 가능하다.

본 연구에서는 손상이 있으나 기능에는 이상이 없는 부재, 큰 손상은 없으나 전반적으로 노후화된 부재 등의 등급 산정시 부재의 등급을 효과적으로 산정할 수 있는 평균등급의 개념을 사용하기로 한다. 또한, 등급을 평균하기 위하여 부재의 여러 결함, 손상 항목에 대하여 점수를 부여하여 그 값들을 평균하는 방법을 사용하기로 한다.

등급별로 점수를 부여하여 평균등급을 산정하기 위해서는 등급을 점수로 바꿀 때의 값과, 점수를 등급으로 바꿀 때의 범위를 정의하여야 하며 다음 Table 1의 값을 사용한다.

3.1.2 경간별 부재등급의 결정방안

계열부재의 등급을 이용하여 경간/지점별로 부재의 등급을 구한다. 예를 들면 수형의 경우 한 경간에 여러 개가 있으므로, 여러 수형의 당대등급을 이용하여 경간을 대표하는 수형등급을 산정하게 되며, 경간 부재등급이라 명칭한다.

경간 부재등급을 산정하는 방법으로는 부재의 길이

등을 고려하여 값들을 평균하는 '가중산술평균'과 부재의 길이와 고려하지 않는 '단순산술평균'의 두가지 방법이 사용되고 있다.

단순산술평균 방법은 KOBMS의 계속교량 의사결정체계상에서 사용되는 방법으로 여러부재 등급의 평균값을 사용한다. 이 방법은 간편하게 계산이 가능한 장점이 있으나 부재의 길이가 불린 경우라도 동일한 중요도로 결합도가 계산된다. 반면 가중산술평균 방법은 HBMS에서 사용되는 방법으로 여러부재의 등급을 부재의 길이(면적)에 따라 가중치한 부여하여 평균하여 계산과정이 복잡하다.

실제로 동일 경간내의 부재의 길이는 같은 것이 대부분이고, 부재의 길이가 다르다고 길이(면적)에 비례하여 중요도를 부여하는 것도 개념성이 부족하다. 따라서, 본 연구에서는 계산의 효율성과 사용상의 편의를 고려하여 '단순산술평균' 방법을 채택한다.

3.1.3 교량 부재점수(등급)

3.1.2절에서 산정한 경간/지점별 부재의 등급을 이용하여 교량 전체에 대한 한 부재의 결합도점수(등급)를 구한다. 예를 들면 수형의 경우 각 경간 별로 산정된 등급을 전부 취합하여 전체 수형의 대표등급을 산정하게 되며, 교량 부재등급이라 명칭한다.

교량 부재등급을 산정하는 방법으로는 각 경간의 길이에 대한 고려를 하여 값들을 평균하는 '가중산술평균'과 경간의 길이에 대한 고려가 없는 '단순산술평균'의 두가지 방법이 사용될 수 있으나, 앞에서 서술한 바와 같이 계산의 효율성과 사용상의 편의를 고려하여 '단순산술평균' 방법을 채택한다.

3.1.4 부재별 가중치의 결정방안

교량의 대표등급을 구하기 위해서는 부재의 구조의 중요도, 유지보수 비용 등 여러 가지의 고려하여 부재별 가중치한 결정해야 한다.

Table 1 등급과 결함도 점수의 관계

등급	A	B	C	D	E
결함도	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
등급범위	$0 \leq x < 0.15$	$0.15 \leq x < 0.3$	$0.3 \leq x < 0.55$	$0.55 \leq x < 0.75$	$0.75 \leq x$

무제별 가중치의 경우 KOBMS, HBMS 등의 기존 교량관리체계에서 연구가 많이 실시되어 있으므로 두 경우를 비교·분석하여 본 연구의 방향을 설정하도록 한다.

KOBMS의 경우 구조물의 형식에 관계없이 한가지의 가중치를 적용하고 있다. 구조물의 종류에 따라 무제별이 분리된 경우는 생략된 무제로 인해 가장 근접한 영향을 받는 다른 무제에 결합 배점을 추가하는 방법을 사용한다.

HBMS의 경우 구조물의 형식에 따라 가중치를 달리하여 계산한다. 일반 거더교의 경우 무제가 없는 경우 해당 배점을 관련 무제에 부여한다는 개념은 비슷하다. 그러나, 구조물별로 총 배점이 틀리는 등 차이가 있으며, 구조물에 형식에 따른 무제별 중요도를 효과적으로 고려하고 있음을 알 수 있다. HBMS의 경우 KOBMS의 경우에 비하여 기초의 비중이 낮아졌다. 그리고, 사용성 측면에서 중요한 요소인 교면포장, 신축이음 등의 비중이 높아졌다. 기초와 경우 현실적으로 외관·상태조사가 불가능한 경우가 대부분이기 때문에 비중의 비중을 낮추는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 기초에 대한 점수와 비중이 낮아지고, 사용성 관련 항목의 비중을 높이고 또한 구조물의 형식별로 중요도에 따른 무제별 가중치를 설정하는 등 합리적인 방안으로 사료되는 HBMS의 체계를 바탕으로 보완하여 사용하기로 하며 Table 2에 나타내었다.

3.1.5 외관상에 대표등급과 점정

이러 결합에 대하여 결합도 점수를 부여한 후 평균하여 한 무제에 대한 개별 무제의 등급을 구한다. 그리고, 개별 무제들의 결합도 점수의 평균으로 한 구간 무제등급을 산정하며, 구간 무제등급의 평균으로 교량무제등급을 구한다. 무제별로 구한 교량무제점수가 무제별 가중치를 부여하여 가중 산술평균하여 교량의 외관상태에 대한 결합도점수를 구한다. 계산과정은 다음과 같다.

- (1) 상태등급에 입력된 등급에 맞는 결합도점수가 부여된다.
- (2) 교량의 형식과 무제의 유무에 따라 무제별 가중치가 결정된다.
- (3) 각 구간의 무제별 결합도점수를 평균하여 교량 전체를 대표하는 교량무제등급을 산정한다.
- (4) 교량무제등급에 따라 결합도점수를 구현후 무제별 가중치를 고려하여 가중 산술평균하여 교량결합도 점수를 구한다.

$$\text{즉, } \frac{Q}{\sum Q} (\text{무제별가중치} \times \text{무제별결합도점수}) \\ + \frac{X}{\sum X} (\text{무제별가중치})$$

- (5) 교량결합도 점수값의 범위에 따라 등급을 부여한다. 결합도값의 범위에 따른 등급부여방법은 Table 1에서의 방법을 따른다.
- (6) Q 또는 X 에 해당하는 무제의 경우, 기초는 하부구조에 가중치점수를 가산하여주고, 설명은 수형의 제정에 추가하도록 한다. 그러나, 신축이음, 배수시설, 난간, 받침 등의 무제들이 X, Q 일 경우 가중치를 0으로 하여 계산한다.

Table 2 구조물 형식에 따른 비율지(%)

결합도 평가항목	승리교 교량	일반 라멘교	주철이 있는 라멘교	일반 거더교		강철관 교량
				2차무제가 없는 경우	2차무제가 있는 경우	
바닥판	36	36	21	20	20	14
주철	0	0	22	27	20	27
2차부재	0	0	7	0	7	0
교면포장	7	7	7	7	7	7
배수시설	4	4	4	3	3	3
난간·연석	2	2	2	2	2	2
하부구조	22	36	22	14	14	20
기초	7	7	7	7	7	7
교량받침	11	4	4	10	10	10
신축이음	11	4	4	10	10	10

3.1.6 대표등급 산정프로그램

부재의 등급 및 대표등급의 계산을 위해서는 부재별로 결함도 계산과 그에 따른 등급계산을 해야하는 등 상당의 많은 계산 과정이 필요하다. 따라서, 계산과 관리의 편의성을 위하여 엑셀 매크로를 이용한 프로그램을 작성하였다.

- ① 경간수 및 부재별 부재별 점검단위수 등의 교량 정보를 입력하면 그에 따라서 부재별 점검위트와 대표등급산정위트를 생성해야 한다.
- ② 엑셀위트에 경간별로 부재번호에 맞게 결합, 손상, 일화의 항목별로 등급을 입력한다. 항목별 등급입력에 따라 자동적으로 부재등급, 경간등급, 외관상대표등급 위트와 산정예를 나타내었다.
- ③ 엑셀등의 작업에 익숙하지 않은 사람들을 위하여 대화형 형식으로 항목별 등급을 입력할 수 있다.

3.2 안전성 대표등급

3.2.1 개요

외관상대평가법에 의하여 교량의 대표등급을 산정하는 경우, 구조물의 실제 안전성에 대한 효과적인 고려가 어렵다. 따라서, 정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단시에는 내하력 평가 결과에 의하여 안전성 대표등급

을 산정하며, 평가점령 중 기타의 경우에는 외관상대평가시 교량안전에 직접 관련된 주요 구조부재의 손상 양상이 D급 이하로 판정되거나 혹은 선문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 만일 분석을 위한 구조점토(내하력평가) 결과에 따라 안전성 대표등급을 산정한다.

교량의 대표등급으로는 외관상대평가와 안전성 평가의 결과중 최저등급을 교량 대표등급으로 산정한다.

3.2.2 안전성 대표등급의 결정방법

교량의 안전성의 가장 중요한 요소인 내하력을 중심으로 안전성 대표등급을 산정한다. 내하력평가와 관련한 기본내하력과 교량의 사용조건(일기내하력)과의 비교를 통하여 아래의 Table 3과 같이 안전성 평가가 되며, 등급평가 기준은 외관상대등급과 균형이 맞도록 정의하였다. 주요구조부재, 붕괴유발부재, 취약부재 등의 구조적인 결함 및 손상에 대한 만일 분석을 시행한다.

Table 3 안전성에 대한 평가 기준

안전성 등급	상 태
A	내하력이 설계하중의 110% 이상인 경우
B	내하력이 설계하중의 100%이상 110% 미만인 경우
C	내하력이 설계하중의 90%이상 100% 미만인 경우
D	내하력이 설계하중의 75%이상 90% 미만인 경우
E	내하력이 설계하중의 75% 미만인 경우

교량명	대표교량
경간수	3

경간	형식	포장	바닥판	주형	횡형	난간	배수	지점	신속	받침	하부	기초	경간대표등급
1	RC거터	A	B	C	D	B	A	1	C	D	B	Q	C
2	강거터	B	A	B	A	E	A	2	A	D	C	Q	B
3	주형라멘	C	A	E	A	E	B	3	E	D	E	Q	D
								4	B	C	E	Q	E
		B	A	C	C	D	A		C	D	D	Q	D

대표등급	D
대표점수	0.528

Fig. 2 외관상대 대표등급 산정 예

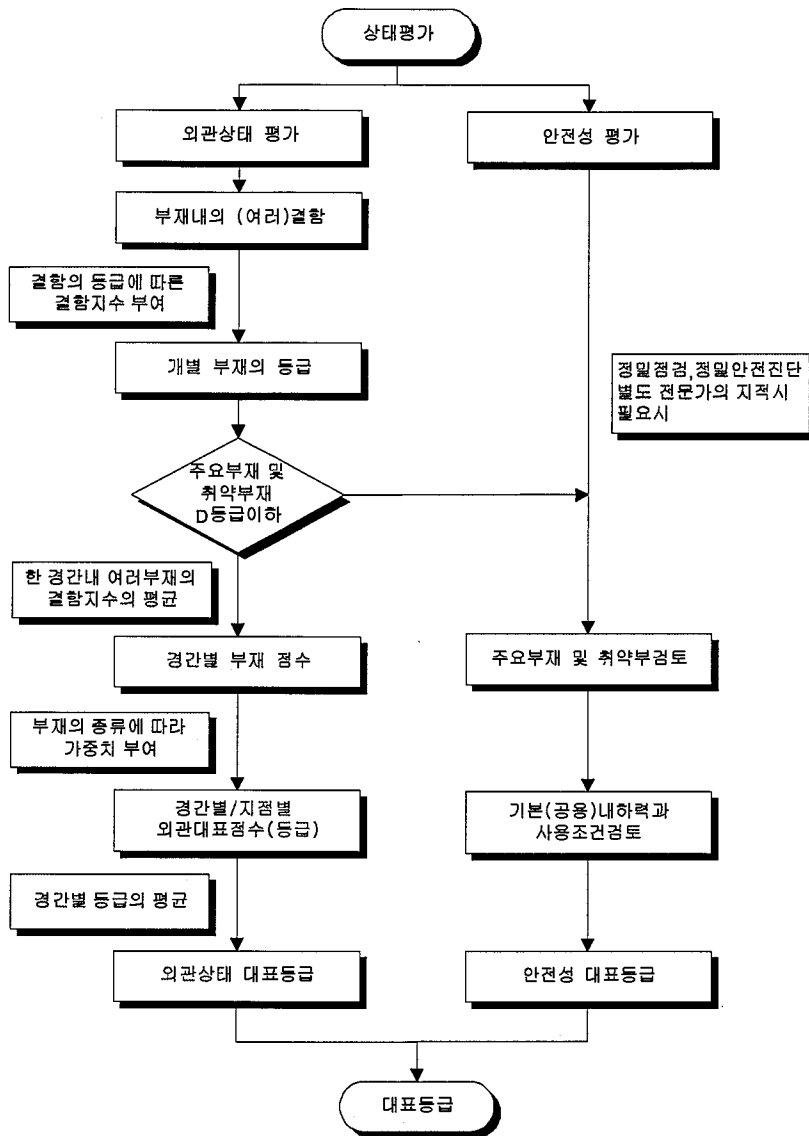


Fig. 3 대표등급 산정 과정

• 안전성평가시 내하력은 기본내하력을 의미하나, 공중내하력을 평가한 경우에는 공중내하력으로 안전성을 평가한다.

외관상태평가와 안전성평가 결과 2개 등급 중 최저등급을 교량 대표등급으로 산정하며, 내하력평가 결과가 없을 경우 외관상태평가등급이 교량 대표등급이 된다.

3.3 교량의 대표등급의 결정방안

Fig. 3 에 등급산정순서를 나타내었다.

4. 결 론

교량의 상태를 종합적으로 판단하는 것은 안전성률 보수 등 효율적인 유지관리 측면에서 매우 중요한 문제로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 교량의 외관상태 및 안전성 측면을 고려한 교량대표등급의 산정방안을 제시하였다. 이에 대하여 수행된 세부 연구내용 및 결과값 요약하면 다음과 같다.

- ① 개별문제에 대하여만 상태평가 등급을 부여하고 교량 전체에 대한 등급 판정기준이 없어 교량 대표등급 산정 시 기술자의 주관적 판단에 의존하고 있는 현 실정을 국내·외의 유사 사례 등을 비교·분석하여 대표등급 산정방안을 제시하였다.
- ② 대표등급 하나만으로 교량의 전체 상태관 영역까지 나타내기에는 어려움이 있으므로, 교량을 종합적으로 평가한다는 의미 이외에 교량을 서로 비교하는 통일된 잣대의 개념으로 대표등급 산정방안을 제안하였다.
- ③ 각 문제의 외관상태평가 결과를 이용하여, 문제의 중요도에 따른 가중치를 부여한 후 그 합으로 외관상태대표등급을 산정한다.
- ④ 외관상태평가만에 의하여 교량대표등급을 산정하는 경우, 구조물의 실제 안전성에 대한 효율적인 고려가 어렵다. 따라서, 정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단시 내하력 평가 결과에 의하여 안전성 대표등급을 산정하며, 평가정점 등의 경우에는 교량안전에 직접 관련된 주요부재의 손상항목이 D급이하로 평가되거나 혹은 전문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 별도 구조검토(내하력 평가) 결과에 따라 안전성 대표등급을 산정한다.

- ⑤ 안전성 대표등급은 교량 안전성의 중요 요소인 내하력율 중심으로 산정한다. 기본 내하력율과 교량의 사용조건(원계내하력)의 비교를 통하여 안전성 등급을 평가하며, 만일 공용내하력율 평가한 경우에는 가분내하력 대상 공용내하력율 사용조건후 비교한다.
- ⑥ 최종적으로 교량의 대표등급은 외관상태 대표등급과 안전성 대표등급중 최상값을 사용한다.
- ⑦ 본 연구에서 제시된 교량대표등급 결정방안은 교량의 상태를 종합적으로 평가하는데 유 더 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」, 건설교통부, 1996.3.
2. 「교량관리체계개선」, 건설교통부, 1995.5.
3. 「96 교량관리체계개선」, 건설교통부, 1997.10.
4. 「98 교량관리체계개선」, 건설교통부, 1999.11.
5. 「교량유지관리 시스템의 개발 및 운용」, 한국도로공사, 1999.
6. 「교량 유지관리 및 점검」, 서울대학교출판부 기술지원단.
7. 「Condition Surveys of Concrete bridge components : user's manual」, TRB, 1996.
8. 「Manual for condition evaluation of bridges」, AASHTO, 1991.
9. 「Ontario Structure Inspection Manual」, Ontario Ministry of Transportation, 1991.
10. 「Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridge」, FHWA, 1995.

(접수일자 : 2001년 4월 10일)