

교량의 외관상태평가 기준 정립에 대한 연구

Condition Assessment Criteria for Bridges

오 병 환* 신 경 준** 이 상 철***
Oh, Byung Hwan Shin, Kyung Joon Lee, Sang Cheol

ABSTRACT

The inspection of bridge condition is of extreme importance. Current inspection codes for bridge inspection are vague and uncertain. So, the results are highly subjective and different from person to person and even day to day for a given person.

To circumvent possible inconsistencies in inspection and rating of bridge components, the revised inspection guidelines have been proposed.

1. 서 론

외관상태평가 결과는 구조물의 진단 및 유지관리에 있어서 가장 기본이 되는 자료이며 교량관리주체들의 의사 결정시 기초자료로 활용된다. 그러나, 현행 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 규정된 항목별 상태평가 기준이 포괄적이고 애매하여 기술자마다 다르게 판정하는 등 주관적이고, 일관되지 못한 판정을 야기하고 있다. 따라서, 이에 대한 개선의 필요성이 있다.

또한, 국회 등의 의사결정기구에서 전체교량에 대한 비교, 평가를 위한 교량등급을 요구하고 있으나 현재 기준은 교량전체에 대한 등급판정 방법이 없기 때문에 기술자의 주관적 판단에 의하여 교량등급이 판정되고 있어 교량점검 결과에 대한 통일된 평가기준이 요구되고 있다. 따라서 교량의 상태를 서로 비교할 수 있는 통일된 기준의 개념으로 대표등급의 개념을 설정하여 이에 대한 산정방안을 연구하고자 한다.

2. 상태평가 기준의 현황 및 문제점

2.1 상태평가 체계의 검토

현행 정기점검의 상태평가 분류기준은 부재의 손상 정도에 따른 노후화를 중심으로 상태등급을 설명하고 있으며 그 외에 보수·보강의 필요도와 구조물의 안전성에 대한 부가설명을 첨가하고 있어 사

* 정회원, 서울대 토목공학과, 교수

** 정회원, 서울대 토목공학과, 박사과정

*** 정회원, 시설안전기술공단 교량실 부장

용상 큰 문제점은 없으나, 항목별 세부기준은 교량의 노후도와 안전성을 별도의 구분 없이 동시에 고려하여 상태평가 기준이 포괄적이고 애매한 실정이다. 그러나 본 기준은 정기점검에 대한 상태평가 기준 뿐만 아니라 교량 대표등급에 대한 개념을 이해하는 기준으로도 활용되어야 함으로 항목별 세부기준의 객관화와 교량 대표등급의 산정개념에 균형을 맞추어 수정할 필요가 있다.

표 1. 현행 정기점검 상태평가 기준

판정등급	상태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	경미한 손상의 양호한 상태
C	보조부재에 손상이 있는 보통의 상태
D	주요부재에 전진된 노후화(강재의 피로균열, 콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수·보강이 필요한 상태로 사용제한 여부를 판단
E	주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용금지하고 개축이 필요한 상태

2.2 세부 항목별 상태평가 기준의 검토

2.2.1 용어

현재 기준의 경우 '교좌장치' 와 같이 도로교 표준시방서와 다른 용어를 사용하는 부분이 있다. 또한, 결함, 손상, 열화 등의 용어 사용에 있어서 명확한 기준과 구분이 없이 혼용되고 있다. 교면포장의 경우 '균열' 이라는 표현을 쓰고 있지만, 실제로 지침상에서 균열에 대한 계산방법을 언급하고 있지는 않다. 따라서, 이러한 교량점검과 관련된 용어의 명확한 정의 및 적절한 사용이 필요할 것이다.

2.2.2 정성적 표현

부재의 상태평가 기준에 대한 설명들이 전체적으로 '경미한', "부분적인", "전반적인" 등의 모호한 표현들을 사용하고 있다. 이러한 표현들은 어떤 면에서 보면 복잡한 수식적 표현보다 점검자들에게 개념적으로 손쉽게 이해될 수도 있지만, 같은 구조물에 대하여 점검자마다 다른 판단을 내리는 등의 주관적인 판정결과를 초래할 수 있다. 따라서, 이러한 정성적이고 모호한 표현들을 정량화하여 기준에 대한 일관성을 유지하는 것이 바람직 할 것이다.

2.2.3 점검항목의 분류

점검항목의 분류는 교량에 발생할 수 있는 모든 손상, 결함 등에 대한 분류라기 보다는 부재에 대하여 특징적으로 발생하는 손상임을 알 수 있다. 그러나, 부재의 종류에 따라서는 각각의 손상, 결함이 중요한 부재도 있지만, 부재의 전체적인 손상, 결함의 정도가 중요한 부재도 있다. 또한, 일상적인 유지관리로 조치를 취할 수 있는 부재인 배수구, 난간연석, 신축이음 후타재 등의 점검항목은 부재의 구조적 중요도에 비하여 항목이 다소 많음을 알 수 있다. 따라서, 부재의 종류 및 특징에 따라 점검항목의 단순화, 재분류 등이 필요할 것이다.

2.2.4 상태등급 판정방법

한 개의 부재에 여러 가지 점검항목이 있을 경우 부재의 등급은 여러 점검항목 중 최저값을 사용한다. 최저등급을 이용하여 부재의 상태등급을 판정하는 경우에는 어느 한 항목이라도 등급이 낮으면 부재의 상태등급이 낮게 산정되는 경향이 있으며, 부재의 보수필요도 개념과 의미가 어느 정도 상통함을 알 수 있다. 그러나 신설구조물 혹은 노후화된 구조물의 경우 단순하게 최저등급인 1개 결함만으로 부재를 평가하므로 정확한 상태평가가 곤란하다. 예를 들면, 손상이 있으나 기능에는 이상이 없는 부재, 큰 손상은 없으나 전반적으로 노후화 된 부재 등의 등급산정시 보수적인 결과를 보일 수 있다.

또한, 실제 점검 보고서를 검토해 보거나, 참고문헌을 살펴보면, 상태등급 산정을 위하여 외관조사 총괄표를 이용하여 결함, 손상, 열화 등의 등급별 분포를 계산한 후 등급을 산정하는 방법을 쓰고 있음을 알 수 있다. 그러나, 등급산정 방법으로는 '최저등급', '하위 30%에 해당하는 등급', '분포가 많은 등급' 등 여러 가지 기준을 이용하여 점검자 임의로 등급을 산정하는 실정이다.

3. 외관 상태평가 분류 기준의 개선안

3.1 각국의 등급 구분의 개념

표.2 국내의 기관들의 상태등급 주요 분류기준 및 단계

현행 기준	A,B,C,D,E	구조물의 노후도와 안전성, 보수보강
FHWA	N,0~9	-
뉴욕시교통국	1~7	건설당시와 비교하여 손상정도와 설계기능의 발휘여부
프랑스교통국	A~F	구조물의 전체적인 성능저하 단계
일본건설성토목연구소	I, II, III, IV, OK	손상의 정도와 그에 따른 행동
일본阪神고속도로공단	Ⓐ, A, B, C, OK	손상의 정도와 그에 따르는 보수필요도
캐나다 - Ontario	1~6	재료와 성능에 대한 평가에 대하여 각각 6 단계로 분류
호주 - Vicroad	1 ~4	손상의 정도와 그에 따르는 보수필요도

국내외의 상태평가 기준을 분석한 결과, 상태등급의 주요분류기준으로 표.2 와 같은 항목을 사용하여 있음을 알 수 있다. 분류단계로는 4~10등급까지 다양한 단계를 사용하며, 그 분류기준으로는 크게 두 가지를 사용하고 있다.

- (1) 손상의 정도와 그에 따르는 보수필요도 (현행기준, 일본토목연구소, 일본한신도로공단, 호주)
- (2) 구조적 성능저하단계 (프랑스교통국, 뉴욕시교통국)

3.2 상태등급의 분류기준 개선안

분류단계를 세분화 할 경우 구조물 및 부재에 대한 정밀한 상태등급의 부여가 가능하지만 그에 따른 세부적인 판정기준의 마련이 어려우며 점검자의 판단도 어렵다. 반면에, 분류단계를 크게 할 경우 점검자의 판단은 쉽겠지만, 효과적으로 구조물의 상태를 분류하기가 곤란하다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 점검단계와 동일한 단계를 사용하여 현실적이면서도 정확성을 겸비하고, 또한 기술자들의 혼란을 최소화하는데 중점을 두고자 한다. 기존에 사용된 분류기준으로 노후도, 안전성, 보수·보강필요도의 개념이 혼재되어 사용되었다. 그러나, 기존의 개념만으로는 교량과 부재에 대한 정확하고 합리적인 상태등급의 구분이 모호하다.

외관조사에 의하여 평가할 수 있는 항목으로 교량의 외관상태와 노후도 등이 있다. 외관상태와 노후도 등은 내구성과 밀접하게 관련된 항목으로 사용자들에게 직접적으로 보여짐으로써 심리적 안정감 내지는 불안감을 야기시키는 중요한 항목이다. 그러나 교량에 대한 안전성(내하력 등)은 노후도와 직접적인 상관성이 떨어지며, 또한 외관조사만으로 평가하는데도 어려움이 있으므로 외관상태와 별도의 항목에서 다루어져야 할 것이다.

따라서, 외관상태평가 기준은 내구성 확보 측면에서 '보수·보강필요도'의 개념을 중심으로 표.3의 개선안을 제시하였으며, 안전성 확보에 대한 보완책으로서 외관상태평가 결과 주요/취약 부재가 D등급 이하로 판정되거나 안전성 검토에 대한 전문가의 지적이 있을 경우 안전성 검토를 별도로 시행한다는 조항을 명기하였다.

표.3 정기점검 상태평가 기준 개선안

A	문제점이 없는 건전하고 양호한 상태.
B	경미한 손상, 결함, 열화가 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없는 상태로서 적은 양의 보수가 필요할 수 있음
C	보통의 손상, 결함, 열화가 발생하였으나 구조적으로는 안전하며 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요한 상태
D	주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 내하성능에 지장을 초래할 우려가 있어 통과하중 제한을 검토해야 하며, 시급한 보수·보강이 필요한 상태
E	주요부재에 발생한 손상, 결함, 열화로 인하여 안전성에 위협이 있어 통과하중 제한이 시급한 상태로써, 임시조치 후 사용하거나 즉각 시설물의 부분 사용금지 또는 보강·개축이 필요한 상태

이러한 보수·보강필요도에 의한 등급 분류가 점검자의 명확한 판단을 유도할 수 있고 구조물의 유지관리측면에서도 바람직한 기준으로 판단된다. 또한 용어의 적절한 선택과 일관성을 유지하였다.

4. 세부 항목별 외관상태평가 기준의 개선안

정기점검의 상태평가기준 개선안에 따라 세부항목별 외관상태평가 기준은 표.3을 기본개념으로 하였으며, 이외에도 아래 사항들을 고려하였다.

- 점검자에 관계없이 일관된 판정을 유도하기 위하여 가능한 한 명확한 표현을 사용하고 부재별 점검항목을 합리적으로 지정하였다. 또한 항목별로 적용부재, 범위 및 점검단위 등을 명시하였다.
- 내구성을 확보하기 위한 보수필요도의 개념으로 부재별 상태평가 기준의 등급을 구분하였다. 보수·보강은 C등급 이하부터 이루어지는 것을 원칙으로 하여 부재별 세부기준을 정하고, B등급에서도 경미한 보수는 이루어질 수 있는 것으로 하였다.
- 단, 주요부재의 균열, 침하, 세굴 등 교량 안전성과 직접적으로 관련된 항목에서 D급 이하로 평가되거나 혹은 전문가의 지적이 있을 경우 안전성에 대한 검토를 별도로 시행한다.

4.1 일상적인 유지관리부재의 평가항목 및 기준 단순화

신축이음 후타재, 배수시설, 난간연석 등의 일상적인 유지관리로 조치를 취할 수 있는 부재는 점검항목을 단순화하였다.

신축이음후타재(2항목→1항목), 배수시설(3항목→1항목), 난간/연석(3,4항목→2항목)

4.2 안전성 검토가 필요한 손상 및 결함 항목의 명기

콘크리트 주형의 휨, 전단균열, 강교의 주부재균열, 교량받침부의 연단부균열, 기초의 손상항목 등이 D등급 이하의 판정을 받으면 안전성검토를 추가로 시행하도록 하였다.

4.3 RC주형의 평가기준

4.3.1 균열

균열폭에 따른 보수필요도에 따라 상태등급을 분류하였다. 휨균열은 0.1mm미만의 미세균열의 경우 A등급, 0.1~0.3mm 균열의 경우 B등급, 0.3~0.4mm 균열의 경우 C등급, 0.4~0.5mm의 경우 D등급, 0.5mm이상의 경우 E등급으로 판정하는 것을 기본으로 하였다. 전단균열의 경우 취성파괴를 유발할 수 있으므로 휨균열 보다 한단계 엄격하게 평가한다.

4.3.2 박리, 파손

손상깊이(25mm이상/미만)와 손상면적(10,20%이상/미만)의 두 가지를 기준으로 등급을 분류하였다.

4.3.3 철근노출

외관조사에 의하여 부식정도(깊이)의 측정이 어렵고 철근의 경우 노출 즉시 부식되기 시작하는 것이 일반적이므로 노출된 철근은 부식된 것으로 보고 노출면적에 의하여 등급을 구분하였다. 철근노출면적은 「철근노출길이×철근간격×철근갯수」로 계산하고, 철근이 한 개소만 노출된 경우는 「철근노출길이×0.25m」로 가정하여 면적을 구한다.

4.4 바닥판의 평가기준

균열은 1방향/2방향, 균열폭, 균열울에 의하여 평가를 한다. 그외의 항목들은 RC주형의 항목과 동일하다. 균열울에 대한 평가 방법은 일방향균열의 경우 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 계산하며, 이방향균열의 경우 균열의 외측을 경계로 하여 (가로길이+0.25m)×(세로길이+0.25m)로 계산한다.

4.5 교면포장의 평가기준

균열, 포트홀, 함몰 등의 개개항목에 대한 평가 외에 균열발생면적, 보수면적, 파손면적 등 손상면적의 합에 의한 노면상태에 대한 항목을 추가하였다.

5 교량의 대표등급

외관상태평가만에 의하여 교량대표등급을 산정하는 경우, 구조물의 실제 안전성에 대한 효과적인 고려가 어렵다. 따라서, 외관조사에 의한 외관상태 대표등급과 안전성평가(내하력 등)를 통한 안전성 대표등급을 이용하여 교량의 대표등급을 산정한다.

5.1 외관상태 대표등급

내구성 확보를 위한 보수 필요도 개념으로 부재별로 세부등급을 정한 외관상태 평가결과를 기본으로 하여 부재의 중요도에 따라 가중치를 부여하고 그 합을 산정하여 외관상태 대표등급을 산정한다. 단, 주요부재 및 붕괴유발부재의 외관상태평가 결과 균열, 세굴 등 교량 안전에 직접적으로 영향을 미치는 항목에서 D급 이하 판정시 혹은 전문가에 의해 안전성평가 요구가 있을 경우 이에 대한 원인분석 및 보수·보강공법 결정을 위하여 안전성평가를 실시한다.

5.2 안전성 대표등급

정밀점검(필요시)이나 정밀안전진단시에는 내하력 평가 결과에 의하여 안전성 대표등급을 산정하며, 정기점검 등 기타의 경우에는 외관상태평가 결과 교량안전에 직접 관련된 주요 구조부재의 손상항목이 D급 이하로 평가되거나 혹은 전문가에 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(설계내하력)의 비교를 통하여 안전성 등급을 평가하며, 만일 공용 내하력을 평가한 경우에는 기본 내하력 대신 공용내하력을 사용조건과 비교한다.

5.3 교량의 대표등급

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

4. 결 론

따라서, 본 연구에서는 국·내외의 상태평가 기준의 현황 및 문제점을 분석하여 세부 항목별 외관상태평가 기준을 정량화 하였으며, 이에 대하여 수행된 세부 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 외관상태평가의 기준정립

- ① 현행 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침상의 상태평가 기준 검토와 기수행된 점검·진단보고서의 상태평가 자료 분석을 통하여 현행 상태평가 기준의 현황 및 문제점을 분석하였다.
- ② 상태평가 분류기준은 내구성을 확보하기 위한 보수필요도의 개념을 중심으로 정의하였으며, 이에 따라 부재별 외관상태평가 기준을 제시하였고, 개선안의 기본 개념은 다음과 같다.
 - 점검자의 일관된 판정을 유도하기 위하여 가능한 한 명확한 표현을 사용하였으며, 부재별 점검항목을 합리적으로 지정하였다. 또한 항목별로 적용부재, 범위 및 점검단위를 명시하였다.
 - 내구성을 확보하기 위한 보수필요도의 개념으로 부재별 상태평가 기준의 등급을 구분하였다. 보수·보강은 C등급 이하부터 이루어지는 것을 원칙으로 하여 부재별 세부기준을 정하고, B등급에서도 경미한 보수는 이루어질 수 있는 것으로 하였다.
 - 기본 항목 및 체계는 유지하되 등급별 세부내용을 개선함으로써 기 개발된 교량관리시스템(BMS)과 연계적용이 가능하도록 하여 이에 대한 파급효과를 최소화하였다.
- ③ 주요 구조부재의 손상항목이 D급 이하로 평가되거나 혹은 전문가에 의해 안전성평가가 요구가 있을 경우 원인분석을 위하여 별도로 안전성 검토를 시행하도록 하였으며, 안전성 검토가 필요한 결함 및 손상항목에 대해서도 단서조항을 명기하였다.

(2) 교량의 대표등급

- ① 개별부재에 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 상태를 완벽하게 나타내기에는 어려움이 있으므로, 교량을 종합적으로 평가한다는 의미보다는 교량을 서로 비교하는 통일된 잣대의 개념으로 대표등급 산정방안을 제안하였다.

참 고 문 헌

1. “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”, 건설교통부, 1996.3
2. “교량점검요령(안)”, 일본 건설성토목연구소, 1998.7
3. “도로구조물의 점검요령(토목구조물편)”, 일본 阪神고속도로공단, 1985.4
4. “Bridge inspection manual”, Kansas DOT,
5. “Ontario Structure Inspection Manual”, Ontario Ministry of Transportation, 1991
6. “Pontis Bridge Inspectin Coding Guide”, Colorado DOT, 1998
7. “Vicroads bridge inspection manual, Part2, Part4”, Roads Corporatin(Vic), 1995