

손상유형 분할에 의한 콘크리트 바닥판의 상태평가 개선

An Improvement of the State Assessment
for Concrete Floor Slab by Damage Type Breakdown

황진하* 안승수**

Hwang, Jin Ha An, Seung Su

Abstract

The direct inspection of the outward aspects by field engineers is the important and critical part for structural safety assessment according to the related reports. This study presents an improved method of the state assessment for concrete floor slab by separating and evaluating the individual damage types. First, the various types of damage symptoms are separated, which have been included and dealt in a group. Secondly, they are weighted and scored independently based on the present guide and references. Overall procedures other than the above are retained as same as possible to avoid the confusion. The proposed method is applied and tested to a performed assessment project for a bridge for validation. The result shows that it is reasonable and applicable in respect that it is able to make up for the controversial points of the present guide revealed in practices. Careful check of excessively deteriorated parts in addition to the reasonable assessment of system by this method grants the structural repair and reinforcement propriety and economy, and assures of more safety. Twofold appraisal of this approach expands the applicable areas of value engineering to the structural maintenance.

요 지

기 시행된 관련 보고서에 의하면 외관 상태에 대한 육안 점검은 구조적 안전성 평가를 위해 대단히 중요한 부분이다. 본 연구는 개별 손상유형의 분리 평가에 의한 콘크리트 바닥판에 대하여 개선된 상태평가 방법을 제안한다. 먼저, 한데 묶여서 다루어졌던 여러 유형의 손상들을 분리하고, 다음으로 현행 지침을 토대로 가중점수를 부여하였다. 그 밖의 전반적인 과정은 혼란을 피하기 위하여 가능한 한 그대로 유지하였다. 제안된 방법을 4개의 교량에 대해 기 수행된 진단프로젝트에 적용, 시험 결과는 본 방법이 실무에서 드러난 현행 지침의 논점을 보완할 수 있다는 점에서 합리성과 적용성을 보여준다. 상세 분할 및 가중평가에 근거한 합리적인 시스템 평가와 함께 과도 손상 부재의 특별 관리로 이원화함으로써 보수·보강에 대한 적정성과 경제성을 부여하고 안전성을 확보할 수 있다. 본 연구의 이원화된 평가방법은 가치공학의 적용 영역을 유지관리 단계로 확장한다.

Keywords : Concrete floor slab, Damage type breakdown, Safety assessment, Twofold appraisal, Value engineering, Weighted scores

핵심 용어 : 콘크리트 바닥판, 손상유형분할, 안전성평가, 이원 평가, 가치공학, 가중점수

* 정희원, 충북대학교 토목공학부 교수 공학박사

** 정희원, 충북대학교 구조시스템공학과 박사과정, 한국시설안전 기술공단

E-mail : ssan8036@naver.com 011-9995-8036

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2008년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

교량 구조물에 있어서 바닥판은 하중을 직접 받는 부재로 내하 성능에 상당한 비중을 차지하나, 시공 전 후에 손상 및 열화현상, 즉 균열, 박리, 박락, 철근노출, 백태, 탄산화 등이 발생하여 사용성은 물론 안전성에 심대한 영향을 받는다.⁽⁵⁾ 일반적으로 바닥판에 발생하는 손상은 복합요인에 의해 발생하므로 안전진단을 위해서는 시공당시부터의 이력과 공용중의 여러 조건 등에 대한 검토 및 원인 분석이 선행되어야 하나, 이력자료의 부재로 인하여 정확한 원인을 찾아내는 것은 어려운 실정이다.⁽⁶⁾⁽⁷⁾ 이러한 전체하에 안전진단은 1차 조사(육안조사) 및 2차 조사(물리적 또는 화학적 조사)로써 손상의 원인을 추정하고 구조해석과 재하시험을 통해 수행된다.⁽¹⁾

기 수행된 1, 2종 교량의 정밀안전진단 등의 많은 사례를 분석해 보면, 실제 많은 경우 외관상태가 교량의 대표등급 결정에 지배적 요인이 되는 것을 볼 수 있다. 현행 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 규정된 상태평가 기준은 구조물의 진단 및 유지관리에 있어 가장 기본이 되는 지표이며 교량 대표등급을 결정하기 위한 기준이다.⁽²⁾⁽³⁾ 부재별 상태평가 기준은 손상 및 열화 유형에 따라 세부적으로 구분되어 있다. 그러나 콘크리트 바닥판의 세부 등급평가에서 두 번째 그룹의 경우 보다 명시적인 등급산정지침이 정립되어 있지 않은 실정으로 관리자 및 점검자의 수준 및 경험 정도에 따른 주관적인 판단이 많이 작용하게 된다.

본 연구에서는 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침상의 상태평가 기준 및 기 수행된 점검 및 진단보고서의 문제점 분석을 통하여 기술자로 하여금 보다 효율적이고 일관된 평가를 유도할 수 있는 효과적인 개선 방안을 제시하였다. 수정 보완한 개선안을 현행 기준을 이용한 결과와 비교해 봄으로써, 이를 유지관리 및 향후 진단에 반영시킬 수 있도록 하였다.

2. 현행 기준 및 산정방법

2.1 개요

현재 상태평가 기준은 구조물의 진단 및 유지관리에 있어 가장 기본이 되는 지표이며, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 규정된 상태평가 기준은 교량 대표등급을 결정하기 위한 기준이다. 한국시설안전기술공단에서 발간한 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량)⁽³⁾”에 따르면 상태평가란 「시설물의 외관을 조사하여 결함의 정도를 포함한 시설물에 대한 상태를 평가하는 행위」로 정의하고 있으며 시설물 주요 구조부에 대한 재료 및 육안검사에서 조사된 상태에 대한 평가를 포함하도록 하고 있다. 책임기술자는 점검·진단결과 각 부재로부터 발견된 결함을 근거로 하여 결함의 범위 및 정도에 따라 A, B, C, D, E의 5가지 단계로 상태등급을 매긴다. 정기점검은 현장조사결과를 토대로 주요 부재별, 시설물별로 상태를 개략적으로 평가함을 원칙으로 하며 상태평가등급은 매기지 않는다. 정밀점검과 정밀안전진단에서는 결함이 신규로 발생 또는 진전된 주요 부재에 대하여 외관조사방도를 작성하여 상태평가 기준에 의해 주요 부재별로 상태평가를 실시하고 이를 기초로 시설물 전체에 대한 상태평가등급을 부여한다.

2.2 교량 외관 상태평가 기준

상태평가등급 산정과정은 외관조사 결과 부재별로 상태등급을 매긴 후, 부재별 중요도를 고려한 가중치를 고려하여 전체 평가등급을 산정하는 과정으로 되어 있다. 이외에 내구성과 관련된 요소로서 중성화 및 염화물 함량에 대해서도 별개의 항목으로 등급을 구한 후 일반부재와 같이 가중치를 부여하여 교량 전체의 상태평가 항목으로 반영한다. 등급사용의 혼란을 방지하기 위하여 부재별 등급은 소문자(a~e)로 표시하고 전체 상태평가등급은 대문자(A~E)로 등급을 표기한다. 상태평가등급 기준은 Table 1을 따르는 것을 원칙으로 한다.

2.3 개별 부재등급 산정 방법

상태평가 기준에 따라 결함 그룹별로 등급을 매길 경우, 등급별로 결함 및 손상에 대한 내용이 2가지 이

Table 1 상태평가등급 기준

상태평가 등급	상태 및 안전성
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위협이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

상으로 구성된 경우 1개 항목이라도 해당되면(OR의 개념) 그 등급으로 정하는 것을 원칙으로 한다. 부재별 상태평가 기준은 정밀안전진단의 경우 부재 종류별로 10개의 평가항목에 중성화 및 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 총 12개 항목으로 구성되어 있다. 각 부재별로는 결함 및 손상 유형에 따라 세부적으로 구분되어 있다. 예를 들어, 콘크리트 바닥판의 상태평가 기준은 1방향균열과 2방향균열이 같은 그룹으로, 박락 및 층분리, 재료분리, 백태, 철근노출, 누수 등이 또 하나의 그룹으로 구분되어 있다. 결국, 콘크리트 바닥판의 상태평가등급은 해당 그룹의 등급을 각각 평균하여 결정한다. Table 2는 각 부재의 등급을 계산하는 과정에서 등급을 점수로 환산하거나 점수를 등급으로 환산하기 위한 하나의 수단이다.

2.4 교량 전체의 상태평가등급 산정방법

경간(지점)내의 전체 개별부재의 등급을 평균하여 경간/지점 단위로 부재의 등급을 구한다.

경간(지점)별 부재등급을 구하는 것과 마찬가지로 각 경간별 등급을 단순 산술평균하여 교량 전체의 평균등급을 구한다. 교량 전체의 상태평가등급을 산정하기 위한 부재별 가중치는 전체 100점을 기준으로 구조 형식별로 부재별 중요도를 달리하여 배분한다. 예

Table 2 결함도 지수 및 등급별 범위

등급	a	b	c	d	e
결함도 지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
등급 범위	$0 \leq x < 0.13$	$0.13 \leq x < 0.26$	$0.26 \leq x < 0.49$	$0.49 \leq x < 0.79$	$0.79 \leq x$

Table 3 결함도 점수 범위에 따른 등급

등급	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \leq x < 0.13$	$0.13 \leq x < 0.26$	$0.26 \leq x < 0.49$	$0.49 \leq x < 0.79$	$0.79 \leq x$

를 들어, 콘크리트 바닥판은 슬래브 교량 34, 일반 라멘교 복개구조물 34, 거더가 있는 라멘교 20, 일반 거더교 18, 강상판 교량 13점으로 되어 있다. 이러한 부재별 가중치를 경간별로 평가된 부재의 평균등급(결함도 지수)에 곱하여 경간별로 결함도 점수를 구한 뒤, 이 점수를 해당 경간별 가중치의 합으로 나누어 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수를 평균한 값이 시설물 전체의 상태평가등급을 산정하기 위한 기준값이 된다. 평균 환산 결함도 점수에 따른 대상교량의 상태평가등급 부여는 아래 Table 3의 등급범위에 의거한다.

3. 문제점 보완 및 개선

현행 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 규정된 상태평가 기준은 구조물의 진단 및 유지관리에 있어 가장 기본이 되는 지표이며 교량 대표등급을 결정하기 위한 기준이다. 부재별 상태평가 기준은 부위 및 유형에 따라 구분되어 있다. 콘크리트 바닥판에 대한 상태평가 기준은 Table 4의 평가항목 1과 평가항목 2를 평가하고 평균을 구하여 경간 부재등급을 산정한다. 그러나 두 번째 그룹의 경우 백태, 박락 및 층분리, 재료분리, 철근노출, 누수 등 여러 유형의 손상 항목이 구분되지 않은 채 한데 뒤섞여 있고 개별 항목이 구체적으로 반영되지 않아 관리자 및 점검자의 수준 및 경험 정도에 따른 주관적인 판단이 많이 작용하게 된다. 또한 이러한 것들 중에 최악의 경우로 등급을 부여하므로 각 유형의 손상이 반영되고 있지 않는 상태이다.

Table 4a 현행 철근콘크리트 바닥판 상태평가 기준

등급	균열	
	1방향균열	2방향균열
a	· 없음 · 0.1mm 미만 균열	· 없음
b	· 0.2mm 이하 균열	· 없음
c	· 0.3~0.4mm의 균열 · 균열율 10%미만	· 균열율 2%미만
d	· 0.4~0.5mm의 균열 · 균열율 10~20%	· 균열율 2~10%
e	· 0.5mm 이상의 균열 · 균열율 20%이상	· 균열율 10%이상

Table 4b 현행 철근콘크리트 바닥판 상태평가 기준

등급	열화 및 손상, 철근노출
a	· 없음
b	· 박락 및 층분리, 재료분리, 백태 등 표면손상 면적이 2% 미만
c	· 박락 및 층분리, 재료분리, 백태 등 표면손상 면적이 10% 미만 · 균열사이로 물 비침
d	· 박락 및 층분리, 재료분리, 백태 등 표면손상 면적이 10% 이상 · 철근노출 면적율 5% 미만 · 균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면부식
e	· 받침부 주변의 콘크리트가 파손으로 탈락 · 철근노출 면적율 5% 이상 · 노출된 철근의 단면감소로 안전성 저하 우려 · 균열 사이로 녹물이나 니토 발생 혹은 부식에 의한 콘크리트 탈락

그러나 콘크리트는 결함, 손상 및 열화로 인하여 다양한 형태로 구조물에 성능저하가 발생하고 있으므로 상태평가는 각각의 결함, 손상 및 열화 유형을 세분함으로써 보다 정밀한 평가를 유도하고 사후 유지관리에 도움이 될 수 있다. 본 연구에서는 현 세부지침을 기준으로 결함, 손상 및 열화 등의 유형을 세분하고 가중치를 부여함으로써 세부 항목을 모두 포괄 고려하고 각 부재에서 전체 교량에 이르기까지 전반적 평가뿐만 아니라 개별 부재에 대한 세부 이력으로 관리되어 보수·보강 등 사후 유지관리에 근거가 되도록 하였다.

현행 철근콘크리트 바닥판 상태평가 기준의 두 번째 그룹인 열화 및 손상, 철근노출을 개별항목으로 분리

Table 5a 백태에 대한 상태평가 기준

등급	내용
a	· 없음
b	· 백태 면적이 2% 미만
c	· 백태 면적이 10% 미만
d	· 백태 면적이 10% 이상
e	-

Table 5b 박락 및 층분리에 대한 상태평가 기준

등급	내용
a	· 없음
b	· 박락 및 층분리 면적이 2% 미만
c	· 박락 및 층분리 면적이 10% 미만
d	· 박락 및 층분리 면적이 10% 이상
e	-

Table 5c 재료분리에 대한 상태평가 기준

등급	내용
a	· 없음
b	· 재료분리 면적이 2% 미만
c	· 재료분리 면적이 10% 미만
d	· 재료분리 면적이 10% 이상
e	-

Table 5d 철근노출에 대한 상태평가 기준

등급	내용
a	· 없음
b	· 철근노출 면적율 1% 미만
c	· 철근노출 면적율 1-3% 미만
d	· 철근노출 면적율 3-5% 미만
e	· 철근노출 면적율 5% 이상

Table 5e 누수에 대한 상태평가 기준

등급	내용
a	· 없음
b	-
c	· 균열사이로 물 비침
d	· 균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면부식
e	· 균열사이로 녹물이나 니토 발생 혹은 부식에 의한 콘크리트 탈락

한 후 각 유형별 상태평가등급으로 나타내면 Table 5a~5e와 같고 각 유형별 등급기준이 없는 경우는 공란(-)으로 표기하였다.

Table 6 평가항목의 가중치 산정

구분		배점	백분율 (%)	환산 가중치
평가항목 1	1방향 균열	29	50.00	9.00
	2방향 균열			
평가항목 2	백 태	3	5.17	0.93
	박락 및 층분리	3	5.17	0.93
	재료분리	3	5.17	0.93
	철근노출	10	17.24	3.10
	누수	10	17.24	3.10
합계		58	100	18.0

콘크리트 바닥판에서 철근노출에 대한 상태평가 기준은 Table 4b에 제시된 바와 같이 철근노출 면적을 5%를 기준으로 d등급과 e등급으로만 평가하도록 되어 있어 이 기준을 적용시 평가등급이 하향 평가되므로 본 연구에서는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널)⁽⁴⁾”의 기준을 인용하였다(Table 5d).

분리된 각각의 유형에 대한 가중치는 상기 등급표로부터 역산 유추할 수 있다. 즉 동일한 등급 부여 기준을 주는 발생 면적을 비교하면 백태, 박락 및 층분리, 재료분리의 경우는 비교 가능한 등급인 c등급과 d등급이 10% 기준으로 구분되고, 철근노출은 3%기준으로 구분된다. 이로부터 전자와 후자에 3:10의 상대적 가중값을 부여하였으며, 정량적 구분이 미흡한 누수에 대해서는 진단사례와 경험적으로 철근노출과 비슷한 영향을 주는 것으로 가정, 동일한 가중치를 부여하였다. 그 결과 평가항목 2에 대한 가중치의 합은 29가 되며, 지침에 근거하여 평가항목 1 또한 같은 값을 준다. 이렇게 할당된 배점을 바닥판 전체 손상 항목에 대한 총 가중치(거더교의 경우 18)에 맞춰 환산 배분한 각 항목의 개별 가중치를 구하면 Table 6과 같다.

4. 적용 및 분석

4.1 대상 교량 및 외관 조사

평가 대상교량은 각각 1979, 1982, 1979, 1988년에 준공되었으며, 외관조사 결과 공용기간의 증가로

Table 7 평가교량 제원

구분	BR 1	BR 2	BR 3	BR 4
형식	강관형교	PSC I + 아치	강박스 거더교	강관형교
교폭(m)	15.4	22.5	4.4	10.0
연장(m)	615	360	1200	325
경간수	15	11	25	6
설계하중	DB-18	DB-24	DB-18	DB-18
준공년도	1979	1982	1979	1988

인해 주요 부재에서 열화와 손상이 진행되고 있다. 각 교량의 구조 형식은 각각 강관형, PSC I + 아치, 강상자형이고 제원은 Table 7과 같다. 각 교량의 대표적 1개 경간에 대한 육안점검에 의한 외관조사망도를 Fig. 1~4에 나타내었고, 바닥판 점검 자료 중 첫 번째 교량(BR 1)에 대한 외관조사 결과를 Table 8에 나타내었다.

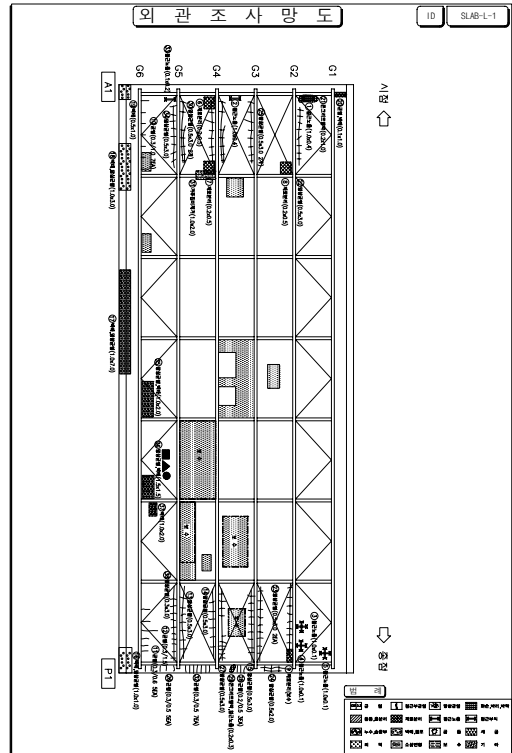


Fig. 1 육안조사 점검결과(BR 1)

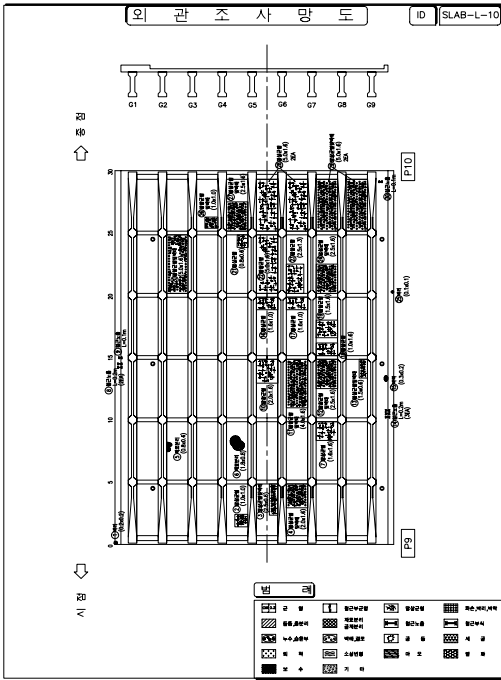


Fig. 2 육안조사 점검결과(BR 2)

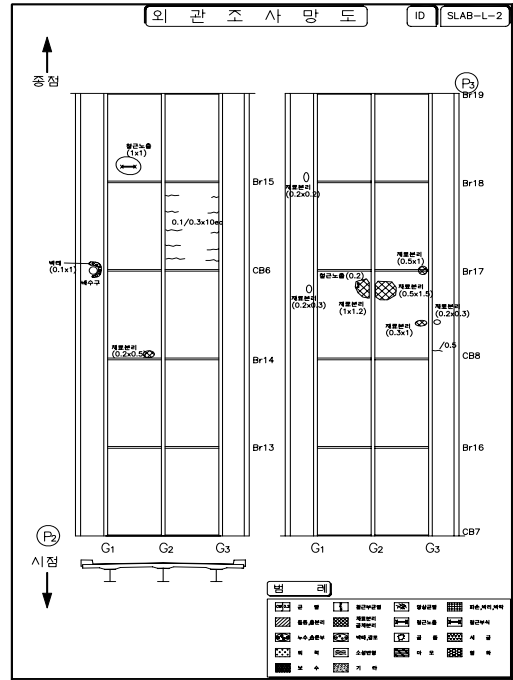


Fig. 4 육안조사 점검결과(BR 4)

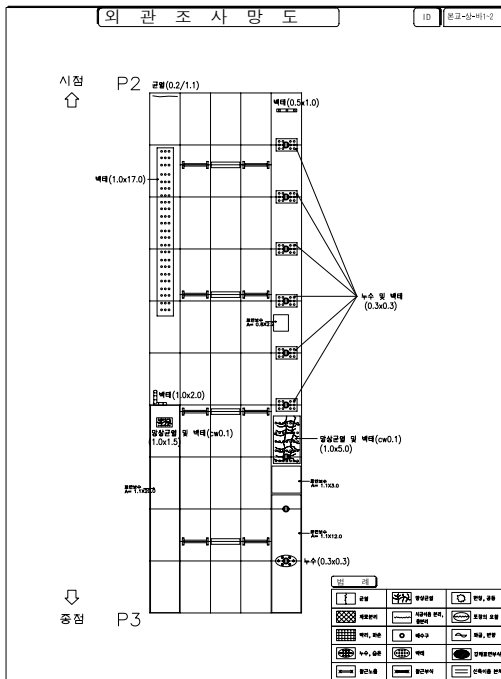


Fig. 3 육안조사 점검결과(BR 3)

4.2 비교 평가 기준

상태평가 방법은 아래와 같이 현행 지침을 따른 경우(case 1), 열화 및 손상, 철근노출의 두 번째 그룹을 세분한 후 산술평균한 경우(case 2)와 이것을 가중평균한 경우(case 3)의 세 가지 기준에 따라 대상 교량을 평가하여 상태평가에 대한 비교 근거를 마련하였다.

- case 1 : 현행지침에 의한 평가
- case 2 : 제 2그룹의 세분 후 산술평균
- case 3 : 제 2그룹의 세분 후 가중평균

Table 9~12는 각 교량의 경간별 바닥판 평가에 대한 결함도 점수와 해당 등급을 나타낸 것이고, Table 13~16은 각 교량의 경간별 및 전체 상태평가를 요약하여 나타낸 것이다.

4.3 분석 및 제언

Fig. 5는 BR 1의 평가항목 2에 대한 기준별 평균 결함도 점수를 나타낸 것이다.

Table 8a 외관상태 주요 내용(BR 1)

경간	평가항목 1	
	1방향균열	2방향균열
1	0.3mm	2-10%
2	0.3mm	2-10%
3	0.3mm	2-10%
4	0.3mm	2%미만
5	0.3mm	2%미만
6	0.3mm	2-10%
7	0.4mm	2%미만
8	0.3mm	2%미만
9	0.3mm	2%미만
10	0.3mm	없음
11	0.2mm	없음
12	없음	2%미만
13	0.3mm	2%미만
14	0.2mm	2%미만
15	0.3mm	2%미만

Table 8.b 외관상태 주요 내용(BR 1)

	평가항목 2				
	백태	박락 및 층분리	재료분리	철근노출	누수
1	2-10%	2%미만	2%미만	1%미만	없음
2	2-10%	2%미만	2%미만	1%미만	없음
3	2-10%	2%미만	2%미만	1%미만	없음
4	2%미만	2%미만	2%미만	1%미만	없음
5	2%미만	없음	없음	1%미만	없음
6	10%이상	2%미만	2%미만	1-3%미만	물비침
7	2-10%	없음	없음	없음	없음
8	2-10%	2%미만	없음	1%미만	없음
9	2%미만	없음	2%미만	없음	물비침
10	2-10%	2-10%	2%미만	1%미만	없음
11	2%미만	2%미만	2%미만	1%미만	없음
12	2%미만	2%미만	없음	1%미만	물비침
13	2-10%	2%미만	없음	1%미만	없음
14	2-10%	2%미만	2%미만	1%미만	물비침
15	2-10%	2%미만	2%미만	1%미만	주변누수

콘크리트 바닥판 15개 경간 중 6, 14, 15경간은 백태, 철근노출, 누수가 타 경간에 비해 다소 크게 발생하여 b등급과 c등급의 범위 기준인 0.26을 넘고, 특히 그 정도가 심한 6경간과 15경간의 평균 결함도 점수가 0.4에 근접한 것을 보여준다. 기본 기준 1(case 1)과 제안된 기준 3(case 3)을 비교하면, 전

Table 9 BR 1 콘크리트 바닥판 평가

경간	case 1		case 2		case 3	
	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급
1	0.550	d	0.460	c	0.443	c
2	0.550	d	0.460	c	0.443	c
3	0.550	d	0.460	c	0.443	c
4	0.300	c	0.290	c	0.283	c
5	0.300	c	0.270	c	0.272	c
6	0.700	d	0.540	d	0.545	d
7	0.550	d	0.430	c	0.416	c
8	0.400	c	0.300	c	0.288	c
9	0.400	c	0.300	c	0.312	c
10	0.400	c	0.330	c	0.303	c
11	0.200	b	0.190	b	0.183	b
12	0.400	c	0.310	c	0.329	c
13	0.400	c	0.300	c	0.288	c
14	0.400	c	0.340	c	0.345	c
15	0.400	c	0.370	c	0.397	c
평균	0.430	c	0.357	c	0.353	c

Table 10 BR 2 콘크리트 바닥판 평가

경간	case 1		case 2		case 3	
	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급
1	0.55	d	0.440	c	0.421	c
2	0.85	e	0.640	d	0.609	d
3	0.85	e	0.670	d	0.660	d
4	0.70	d	0.630	d	0.640	d
5	0.55	d	0.480	c	0.490	d
6	0.85	e	0.620	d	0.586	d
7	0.85	e	0.620	d	0.586	d
8	0.85	e	0.660	d	0.655	d
9	0.55	d	0.450	c	0.438	c
10	0.85	e	0.640	d	0.609	d
11	0.55	d	0.450	c	0.438	c
평균	0.727	d	0.573	d	0.557	d

자의 경우 전반적으로 손상이 과대 하향 평가되어 있을 뿐만 아니라 대부분 결함도 점수가 0.4로 일률적으로 평가되어 세부 손상을 반영하지 못하고 있다.

이에 비해 후자의 경우 세부 평가항목이 상세히 반영된 결과, 각 경간별 지수가 다르게 평가되어 있음을 볼 수 있다. 기준 3을 보조 설명하기 위한 기준 2(case 2)와 비교하면, 개선된 기준안(case 3)은 각 항목을 단순 산술평균하는 기준 2에 비해 가중치를 통

Table 11 BR 3 콘크리트 바닥판 평가

경간	case 1		case 2		case 3	
	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급
1	0.70	d	0.510	d	0.541	d
2	0.70	d	0.530	d	0.540	d
3	0.45	c	0.280	c	0.290	c
4	0.40	c	0.210	b	0.241	b
5	0.25	b	0.150	b	0.162	b
6	0.25	b	0.150	b	0.162	b
7	0.25	b	0.160	b	0.179	b
8	0.25	b	0.150	b	0.162	b
9	0.25	b	0.140	b	0.157	b
10	0.25	b	0.150	b	0.162	b
11	0.30	c	0.190	b	0.207	b
12	0.25	b	0.160	b	0.179	b
13	0.40	c	0.310	c	0.317	c
14	0.40	c	0.310	c	0.317	c
15	0.40	c	0.310	c	0.317	c
16	0.40	c	0.330	c	0.364	c
17	0.55	d	0.300	c	0.312	c
18	0.40	c	0.290	c	0.307	c
19	0.25	b	0.140	b	0.157	b
20	0.25	b	0.200	b	0.224	b
21	0.40	c	0.140	b	0.157	b
22	0.25	b	0.150	b	0.174	b
23	0.25	b	0.150	b	0.162	b
24	0.25	b	0.150	b	0.162	b
25	0.30	c	0.260	c	0.291	c
평균	0.352	c	0.233	b	0.250	b

Table 12 BR 4 콘크리트 바닥판 평가

경간	case 1		case 2		case 3	
	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급	결함도 점수	평가 등급
1	0.15	b	0.110	a	0.105	a
2	0.15	b	0.110	a	0.105	a
3	0.15	b	0.130	b	0.128	a
4	0.4	c	0.310	c	0.329	c
5	0.45	c	0.250	b	0.286	c
6	0.25	b	0.160	b	0.179	b
평균	0.258	b	0.178	b	0.189	b

해 세부 항목의 중요도가 보다 상세히 반영되어 있다. 현행 기준에서는 상태평가가 교량 전체의 대표등급에만 집중되어 국부적 요소가 전체 상태평가 속에 병합되고 단지 그것을 위한 과정에 불과하다. 그러나 구

조물의 전 수명기간에 걸쳐 유지관리 및 그에 관련된 이력관리가 필요하다는 관점에서, 세부요소 및 항목에 대한 평가를 결코 소홀히 할 수 없다.

Table 9~12에서 보는 바와 같이 바닥판 상태평가 결과에서 개별결함에 대한 등급은 동일하게 평가되나 정량적 결함도 점수는 다르게 나타난다. 부재요소 평가에서는 소문자로 표기되는 등급은 편의상 부여하는 참고사항으로 정량적 지표인 결함도 점수가 보다 의미가 있다.

Table 13 BR 1 전체 상태평가등급

경간	결함도 점수		
	case 1	case 2	case 3
A1	0.347	0.293	0.293
P1	0.352	0.298	0.298
P2	0.392	0.338	0.338
P3	0.343	0.343	0.343
P4	0.356	0.356	0.356
P5	0.370	0.370	0.370
P6	0.473	0.419	0.419
P7	0.400	0.400	0.400
P8	0.474	0.474	0.474
P9	0.437	0.437	0.437
P10	0.368	0.368	0.368
P11	0.427	0.427	0.427
P12	0.477	0.477	0.477
P13	0.427	0.427	0.427
P14	0.427	0.427	0.427
A2	0.447	0.447	0.447
평균점수	0.407	0.394	0.394
평가등급	C	C	C

Table 14 BR 2 전체 상태평가등급

경간	결함도 점수		
	case 1	case 2	case 3
A1	0.369	0.310	0.310
P1	0.416	0.362	0.362
P2	0.437	0.378	0.378
P3	0.399	0.399	0.399
P4	0.398	0.344	0.398
P5	0.369	0.315	0.315
P6	0.418	0.358	0.358
P7	0.416	0.362	0.362
P8	0.347	0.288	0.288
P9	0.403	0.349	0.349
P10	0.314	0.255	0.255
A2	0.304	0.250	0.250
평균점수	0.390	0.338	0.343
평가등급	C	C	C

Table 15 BR 3 전체 상태평가등급

경간	결함도 점수		
	case 1	case 2	case 3
A1	0.303	0.303	0.303
P1	0.346	0.346	0.346
P2	0.260	0.260	0.260
P3	0.255	0.219	0.219
P4	0.247	0.247	0.247
P5	0.231	0.231	0.231
P6	0.234	0.234	0.234
P7	0.247	0.247	0.247
P8	0.237	0.237	0.237
P9	0.210	0.210	0.210
P10	0.264	0.224	0.224
P11	0.221	0.221	0.221
P12	0.258	0.258	0.258
P13	0.287	0.287	0.287
P14	0.287	0.287	0.287
P15	0.279	0.279	0.279
P16	0.333	0.274	0.274
P17	0.274	0.274	0.274
P18	0.234	0.234	0.234
P19	0.211	0.211	0.211
P20	0.277	0.237	0.237
P21	0.231	0.231	0.231
P22	0.264	0.264	0.264
P23	0.237	0.237	0.237
P24	0.261	0.261	0.261
A2	0.270	0.270	0.270
평균점수	0.260	0.253	0.253
평가등급	C	B	B

Table 16 BR 4 전체 상태평가등급

경간	결함도 점수		
	case 1	case 2	case 3
A1	0.223	0.205	0.205
P1	0.262	0.242	0.242
P2	0.247	0.247	0.227
P3	0.345	0.345	0.345
P4	0.279	0.240	0.279
P5	0.209	0.209	0.209
A2	0.209	0.209	0.209
평균점수	0.253	0.242	0.245
평가등급	B	B	B

전체 상태평가등급은 현행 세부지침과 비교해 별반 차이를 보이지 않으나 일부 상향 평가되는 것을 볼 수 있다(BR 3). 이는 현행 지침의 경우, 평가항목 2를

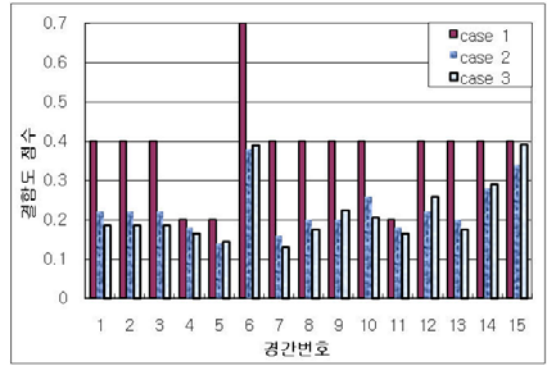


Fig. 5 평가항목 2의 결함도 점수(BR 1)

적용시 최악의 단일 손상으로부터 도출되나, case 2와 case 3의 경우 다양한 손상을 독립적으로 다루어 두루 반영하였기 때문이다. 중요한 점은 이를 통해 일부 특정항목으로 인한 과대평가가 완화됨으로써 불필요한 보수비용을 최소화할 수 있는 경제적 효과를 얻을 수 있다는 점이다. 이와 관련하여 구조물에 대한 상태평가는 전체 시스템과 국부 요소로 이원화할 필요가 있다. 즉 구조물 전체에 대한 상태평가는 전체등급으로 다루되, 국부적 손상은 결함도 점수를 통해 그 위치와 종류 및 정도를 상세화하여 수명주기에 걸친 이력을 관리할 수 있도록 한다. 특히 d나 e등급의 요소는 별도의 색상이나 표시로서 전체등급에 부기하여 유의토록 한다.

이와 같이 평가항목의 상세 분할 및 가중평가에 근거한 전체등급의 도출과 함께 특별한 개별 항목 및 요소의 별도 관리로 이원화함으로써 보수·보강에 대한 적정성과 경제성을 확보하고 안전성 유지에도 대비할 수 있도록 한다. 이 점은 그간 설계 및 시공 단계에서 적용되었던 가치공학을 유지관리 단계로 확장하는 것을 의미한다. 즉 기획에서 설계, 시공 및 유지관리까지 전수명주기에 가치공학적 접근이 이루어진다.

5. 결 론

현행 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에서 규정된 상태평가 기준은 구조물의 진단 및 유지관리에 있어 가장 기본이 되는 지표이며 교량 대표등급을 결정

하기 위한 기준이다. 세부지침의 기준에 따라 기 수행된 1, 2종 교량의 정밀안전진단 등의 많은 사례를 분석해 보면, 실제 많은 경우 외관상태가 교량의 대표등급 결정에 지배적 요인이 되는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 오랜 현장 경험과 기 수행된 점검 및 진단 보고서에 바탕을 두고, 안전점검 및 정밀안전진단시 기본이 되는 부재별 평가기준에 관련된 현행 평가지침의 개선 및 보완 요소를 도출하고 그에 대한 개선안을 제시하였다. 구체적으로 도로교의 콘크리트 바닥판에 대한 현장 외관 점검에 의한 상태평가에서 기본 결합 유형을 세분화하고 그에 대한 가중치를 고려함으로써 개별결함에 대한 보다 합리적인 평가와 함께 그것이 간과되지 않고 전체 평가에 반영될 수 있도록 하였다.

수정 보완한 개선안을 서로 다른 구조형식의 4개 교량에 적용하여 타당성 및 유용성을 검토하고 현재 사용 중인 기준을 이용한 결과와 비교해 봄으로써, 이를 유지관리 및 향후 진단에 반영시킬 수 있도록 하였다.

이러한 과정은 관리자 또는 점검자로 하여금 개별결함에 대한 일관된 상태평가를 통해 보수의 적정성을 확보하고, 결함이력의 지속적인 관리를 유도할 수 있도록 함으로써 유지관리의 효율성을 제고할 수 있다.

평가항목의 상세 분할 및 가중평가에 근거한 전체등급 도출과 함께 개별항목 및 요소의 특별 관리로 이원화함으로써 보수·보강에 대한 적정성과 경제성을 확

보하고 안전성 유지에도 충분히 대비할 수 있다. 이 점은 그간 설계 및 시공 단계에서 적용되었던 가치공학을 유지관리 단계로 확장하는 것을 의미한다.

감사의 글

이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 한국시설안전기술공단, "시설물 보수·보강 및 진단기술", 2006.
2. 한국시설안전기술공단, "시설물의 상태평가 기준 정립(교량)", 2000.
3. 한국시설안전기술공단, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량)", 2003.
4. 한국시설안전기술공단, "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널)", 2003.
5. 한국시설안전기술공단, "콘크리트 균열진단 및 보수평가 기술개발", 2006.
6. 일본토목학회, "콘크리트구조물의 유지관리지침(안)", 1994.
7. "Evaluation and Repair of Concrete Structures", U.S. Army Corps of Engineers, 1995.

(접수일자 : 2007년 7월 2일)