

## 고속도로 교량의 손상 통계 분석

### Statistical Analysis of Damages in Expressway Bridges



이 일 근<sup>1)\*</sup>

Lee, Il Keun



문 명 국<sup>2)</sup>

Moon, Myung kuk



박 현 섭<sup>3)</sup>

Park, Hyeon Seob



전 준 창<sup>4)</sup>

Jeon, Jun Chang



이 희 현<sup>5)</sup>

Lee, Hee Hyun

#### 1. 머리말

교량 유지관리에 있어 관리대상은 교량에서 발생하는 ‘손상(결함, 손상 및 열화 통칭, 이하 손상으로 표기)’이다. 따라서 효율적인 유지관리를 위해서는 손상에 대한 정확한 정보가 중요할 것이다. 관리 주체에서는 유지관리 계획을 수립하는 경우, 점검 실무자는 손상을 점검하고 보수하는 경우 손상에 대한 정보는 유용할 것이다.

손상 분석을 위해 최근 15년간(1996~2010) 고속도로에서 실시된 1,000여 개소 교량의 정밀안전진단보고서 실시결과를 활용하였다. 정밀안전진단보고서는 상세점검으로 얻어진 기록으로 손상에 대해 비교적 정확한 데이터를 포함하고 있는 특징이 있다.

교량에서 발생하는 손상은 부재별로 나타나는 특성이 크기 때문에 우선 부재별로 구분하였다. 바닥판, 콘크리트 거더, 강재 거더, 교대, 교각, 받침, 신축이음장치, 교면포장, 배수시설 및 방호벽 등 10개 부재로 분류하였다. 상세 분석을 위해 각 부재별로 손상 원인에 따라 발생률을 산정하였다.

이를 통해 교량에서 발생하는 주요 손상은 무엇인지, 어떤 발생 특성을 가지는지를 분석하였다.

#### 2. 분석대상 및 손상 분류

##### 2.1 분석대상

국내 고속도로상의 교량은 2013년 12월 기준으로 총 8,267개다. 본 기사에서는 1996년부터 2010년까지 한국도로공사 주관 하에 실시된 정밀안전진단 교량에 대해 손상을 분석하였다. 정밀안전진단 교량의 개소 및 정밀안전진단보고서 보유 수량 등을 Table 1에 나타내었다. Table 1에 의하면 정밀안전진단이 실시된 고속도로 교량은 총 915개로서 고속도로 전체 교량 대비 약 11%에 해당한다.

대상 교량의 평균 공용연수는 16.4년으로 고속도로 전체 교량 평균 공용연수인 11.8년보다 4.6년 정도 길다.

Table 1 대상 교량 및 정밀안전진단보고서

고속도로의 전체교량 수 (2013. 12)	정밀안전진단 실적교량	정밀안전진단보고서 보유 수량 <sup>1)</sup>	대상 교량 <sup>2)</sup>
8,267개	915개	956개	1,049개

1) 한국도로공사에서 보유하고 있는 정밀안전진단보고서 보유 수량

2) 동일교량에 대해 2회 이상 진단을 실시한 경우 별개의 교량으로 취급하여 파악

1) 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원, 공학박사

2) 한국도로공사 구조물처 처장, 공학석사

3) 한국도로공사 구조물처 팀장, 공학석사

4) 씨티씨주식회사 전무이사, 공학박사

5) 씨티씨주식회사 대표이사, 공학박사

\* E-mail : lik@ex.co.kr

## 2.2 손상 분류

전술한 바와 같이 손상을 부재별-손상유형-세부손상유형-손상원인으로 분류하였다.

교량의 안전성, 사용성, 내구성 및 기능성에 악영향을 미치는 인자를 손상으로 하였다.

손상은 발생 시기 및 발생 원인에 따라 크게 결함, 손상, 열화로 구분할 수 있다. 초기하자에 의한 ‘결함(defect)’, 공용 중 물리적 외력에 의한 ‘손상(damage)’ 및 시간 경과에 따른 영향에 의한 ‘열화(deterioration)’가 이에 해당한다.

10개 부재, 58개 손상유형, 146개 세부유형, 345개 발생원인으로 구분하였다. Table 2에 바닥판의 손상 분류를 예로서 나타내었다.

## 3. 고속도로 교량 손상 통계

### 3.1 손상발생빈도(유손상률)

손상의 발생빈도를 나타낼 수 있는 기준으로서 유손상률이라는 개념을 도입하였다. 유손상률은 Eq.(1)과 같이 전체 대상 교량 수에 대한 해당 손상이 발생한 교량 수의 비

율로서 정의되며, 의료계에서 사용되는 용어인 유병률과 유사한 개념이다. 유손상률이 크다는 것은 손상 발생 빈도가 높다는 것을 의미한다.

$$\text{유손상률}(\%) = \frac{\text{손상 발생 교량 수}}{\text{전체 대상 교량 수}} \times 100 \quad (1)$$

교량 구조부재 및 비구조부재에서 발생한 손상 중 발생 빈도가 높은 손상유형 및 유손상률을 Table 3에 정리하여 나타내었다.

콘크리트 부재(바닥판, 콘크리트 거더, 교대, 교각 및 방호벽)와 교면포장은 균열의 발생빈도가 가장 높으며, 강재 거더의 경우에는 부식, 도장손상, 용접결함 및 변형의 순으로 발생빈도가 높다는 것을 알 수 있다.

비구조부재인 교량받침은 본체의 손상이 많았으며, 신축이음장치는 본체와 후타콘크리트의 유손상률이 유사하게 나타났다. 배수시설의 주된 손상유형은 막힘으로 나타났다.

### 3.2 교량 손상 매트릭스

교량 구조부재 및 비구조부재의 손상을 발생 메커니즘에

Table 2 바닥판의 손상 분류

유형	세부유형	손상 발생 원인					
		결함	· 시공불량	· 설계강도부족			
균열	휨	결함	· 시공불량	· 설계강도부족			
	긴조수축	결함	· 시공불량				
	철근부식	열화	· 피복부족, 우수유입				
기타	기타	결함	· 시공불량	· 보수불량			
	박리	결함	· 시공불량	· 보수불량			
박리, 박락	박리	손상	· 외부충격				
		결함	· 시공불량	· 보수불량	· 신축이음 교체시		
	박락 (층분리, 철근노출)	손상	· 차량충돌	· 외부충격			
백태, 누수	백태	결함	· 물끊기홈 불량	· 배수관 누수	· 중분대측 누수	· 보수·보강부 누수	· 미세균열, 우수유입
		열화	· 신축이음부 누수				
	누수	결함	· 물끊기홈 불량	· 배수관 누수	· 중분대측 누수	· 보수·보강부 누수	· 미세균열, 우수유입
재료분리	재료분리(골재노출)	결함	· 시공불량				
	기타(표면불량)	결함	· 시공불량				
기타손상	변색(오염)	결함	· 시공불량				
		손상	· 매연				
		열화	· 우수유입				
	마감불량	결함	· 시공불량				
데크 플레이트 손상	결함	· 도장불량					
	열화	· 중분대측 누수	· 신축이음부 누수	· 우수유입	· 바닥판 상면 누수		

Table 3 교량 구조부재 및 부대시설의 손상유형 및 유손상률

구 분		손상유형 (유손상률, %)				
콘크리트 구조부재	바닥판	균열 (70.7%)	백태/누수 (65.6%)	박리/박락 (49.4%)	재료분리 (22.4%)	기타 (20.7%)
	콘크리트 거더	균열 (70.4%)	박리/박락 (64.2%)	재료분리 (44.3%)	백태/누수 (38.8%)	기타 (10.4%)
	교대	균열 (71.7%)	체수/백태/누수 (57.4%)	박리/박락 (38.4%)	재료분리 (19.7%)	기타 (19.8%)
	교각	균열 (77.5%)	박리/박락 (49.4%)	재료분리 (31.9%)	체수/백태/누수 (26.9%)	기타 (12.2%)
강재 구조부재	강재 거더	부식 (84.6%)	도장손상 (71.4%)	용접결함 (48.1%)	변형 (48.1%)	볼트결함 (33.3%)
비구조부재	교량받침	받침부손상 (66.6%)	받침con'c손상 (48.0%)	앵커볼트손상 (17.4%)	교량받침 부속물 (16.3%)	마감불량 (2.8%)
	신축이음장치	후타재손상 (73.8%)	본체손상 (72.2%)	마감불량 (3.8%)	-	-
	교면포장	균열 (53.7%)	단차/요철 (21.8%)	함몰 (21.5%)	파손 (21.4%)	마모 (18.7%)
	배수시설	막힘 (45.7%)	설치결함 (23.0%)	파손 (22.9%)	부식 (5.8%)	-
	방호벽	균열 (74.6%)	박리/박락 (56.0%)	백태 (17.1%)	강재손상 (15.4%)	재료분리 (7.4%)

따라 결함, 손상, 열화로 구분하고, 각각에 대해 발생빈도가 높은 손상유형을 매트릭스 형태로 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 괄호 안의 수치는 유손상률을 의미한다.

전체적으로 결함에 해당하는 손상유형의 종류가 많고, 유손상률도 높다는 것을 알 수 있다. 반면 공용 중 물리적 외력에 의한 손상은 손상빈도가 크지 않은 것으로 나타났다.

구조부재에 나타난 주요 손상 특성은 다음과 같다.

바닥판에서의 휨균열은 대부분 시공 시 동바리 변형이나 설계하중 DB24 미만 교량에서 하중이 균열강도를 초과할 경우 발생하게 되는데 대부분 초기에 나타나는 균열이다. 박락은 신축이음, 난간 및 중분대를 통해 우수가 유입되는 부위 중 피복두께가 부족한 곳에서 먼저 나타났다.

콘크리트 거더에서의 휨 및 전단균열은 동바리 변형, 리프팅(lifting)이나 런칭(launching) 등 시공과정에서 균열강도를 초과하는 경우 발생하였다. PSC 박스거더교에서 발생하는 종방향균열은 상부플랜지 하면에서 발생하고 콘크리트 다짐부족 및 피복두께 부족, 부등건조수축과 온도구배 등에 의해 발생하였다.

강재 거더에서의 부식은 주로 신축이음부나 스플라이스를 통한 우수유입에 의해 발생한다. 그리고 피로균열은 응력집중부 및 용접결함부 등에서 손상이 누적되어 균열로 발전하거나 면외 변형 및 2차 응력에 의해서 발생하게 된다.

교대는 건조수축 균열이 비교적 많이 발생하고 신축이음부를 통한 누수 영향을 많이 받는 부재이다. 최근에는 교

대 배면 성토체에 의한 교축방향 변위 발생 빈도가 높게 나타났다.

교각 코핑부에서는 철근량 부족으로 휨 및 전단에 의해 균열이 발생하는 경우가 있으며, 신축이음부에 위치한 교각의 경우 누수로 인해 콘크리트 박락이나 백태 현상이 많이 나타나는 특징이 있다.

### 3.3 주요 손상 통계

고속도로 교량에서 발생하는 주요 손상을 분류하기 위해 전체 손상 중 특정 손상이 차지하는 비율을 분석하였다. 분석결과로부터 선정된 고속도로 교량의 10대 손상유형(결함 및 열화 포함), 10대 결함, 5대 손상 및 5대 열화를 Fig. 1에 나타내었다.

전체 손상 중 특정 손상이 차지하는 비율은 Eq.(2)와 같이 손상차지비율로서 정의하였다. 손상차지비율이 높다는 것은 해당 손상이 전체 손상에서 차지하는 비율이 높다는 것을 의미한다.

$$\text{손상차지비율}(\%) = \frac{\text{특정손상 발생 건수}}{\text{손상 발생 전체 건수}} \times 100 \quad (2)$$

고속도로 교량의 10대 손상유형을 나타낸 Fig. 1(a)에 의하면 상위 5개의 손상유형은 콘크리트 부재에서 일반적

Table 4 고속도로 교량 손상 매트릭스

구분	결함	열화	손상
바닥판	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조수축균열(67.5%)</li> <li>· 미세균열을 통한 누수 및 백태(43.8%)</li> <li>· 다짐부족에 의한 재료분리(20.5%)</li> <li>· 중분대 및 난간부를 통한 누수 및 백태(9.1%)</li> <li>· 휨균열(3.6%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철근부식에 의한 박락(32.7%)</li> <li>· 신축이음부를 통한 누수 및 백태(10.0%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차량 충돌에 의한 박리 또는 박락(4.5%)</li> </ul>
콘크리트 거더	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조수축균열(65.2%)</li> <li>· 다짐부족에 의한 재료분리(43.3%)</li> <li>· 미세균열을 통한 누수 및 백태(27.9%)</li> <li>· 휨·전단균열(12.4%)</li> <li>· 마감불량(5.5%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철근부식에 의한 박락(40.8%)</li> <li>· 받침작동불량에 의한 균열 및 박락(1.7%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차량 충돌에 의한 박리 또는 박락(3.8%)</li> </ul>
강재 거더	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 용접 시공결함(48.1%)</li> <li>· 도장불량에 의한 박리 또는 변색(45.9%)</li> <li>· 시공불량에 의한 모재 또는 보강재 변형(44.1%)</li> <li>· 볼트 체결력 부족(18.8%)</li> <li>· 볼트 누락(10.2%)</li> <li>· 천공 불량(7.6%)</li> <li>· 용접·재료불량에 의한 균열(2.4%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신축이음, 스플라이스, 중분대 또는 난간부의 누수로 인한 강재부식(66.9%)</li> <li>· 누수로 인한 볼트부식(30.5%)</li> <li>· 도장열화(12.8%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차량충돌에 의한 모재 및 보강재 변형 또는 도장박리(5.0%)</li> <li>· 공용하중에 의한 피로균열(0.4%)</li> </ul>
교대	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조수축균열(70.2%)</li> <li>· 재료분리(18.3%)</li> <li>· 교대 변위(2.6%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신축이음부를 통한 누수 및 백태(37.8%)</li> <li>· 철근부식에 의한 박락(18.9%)</li> <li>· 청소불량에 의한 이물질 퇴적(8.9%)</li> </ul>	-
교각	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조수축균열(70.6%)</li> <li>· 재료분리(29.0%)</li> <li>· 교평부 휨·전단균열(4.2%)</li> <li>· 교각 수평균열(4.2%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 철근부식에 의한 박락(19.6%)</li> <li>· 신축이음부를 통한 누수 및 백태(14.9%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외부충격(차량충돌 등)에 의한 박락(14.6%)</li> </ul>
교량받침	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 받침물갈 및 받침콘크리트 건조수축(29.2%)</li> <li>· 교대 변위 및 프리세팅 오류에 의한 이동량 부족(16.4%)</li> <li>· 부속물(전단키 등) 부식(14.8%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신축이음부 누수에 의한 강재부식(37.6%)</li> <li>· 앵커볼트 부식(7.7%)</li> <li>· 시공불량 또는 열화로 인한 도장박리(5.1%)</li> <li>· 고무받침 부풀음, 갈라짐, 변형(4.4%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 받침작동불량에 의한 균열 또는 박락(6.3%)</li> </ul>
신축이음장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조수축에 의한 후타재 균열(51.7%)</li> <li>· 시공불량, 접속부 침하, 포장불량에 의한 단차(12.8%)</li> <li>· 교대 변위 또는 시공불량에 의한 유간 부족(12.8%)</li> <li>· 시공불량에 의한 누수(8.1%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이물질 퇴적(39.1%)</li> <li>· 고무재, 충전재의 파손 또는 탈락(22.7%)</li> <li>· 강재 신축이음장치 부식(18.9%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 반복공용하중에 의한 후타재의 균열, 파손, 마모(37.4%)</li> <li>· 반복공용하중에 의한 강재 파손, 볼트 파단, 고무재 마모(18.7%)</li> </ul>
교면포장	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 다짐불량, 혼합불량, 반복차량하중에 의한 균열(53.7%)</li> <li>· 다짐불량, 혼합불량, 반복차량하중에 의한 포트홀(21.5%)</li> <li>· 다짐불량, 혼합불량, 반복차량하중에 의한 폐임(21.4%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 반복차량하중에 의한 단차 또는 요철(18.7%)</li> </ul>	-
배수시설	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 배수구 및 배수관 설치결함(23.0%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 이물질 퇴적에 의한 배수구 막힘(45.7%)</li> <li>· 배수구 및 배수관 부식(5.8%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외부충격에 의한 배수구 파손(11.1%)</li> </ul>
방호벽	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조수축균열(73.4%)</li> <li>· 미세균열, 우수유입에 의한 백태(17.1%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 피복부족, 철근부식에 의한 균열, 박리, 박락(27.5%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차량충돌에 의한 박리 또는 박락(20.1%)</li> <li>· 차량충돌에 의한 강재 레일변형(11.1%)</li> </ul>

으로 발생하는 손상에 해당하고, 그 외 5개의 손상유형은 주로 부대시설과 관련된 것으로서 2%대의 비율을 나타내고 있다.

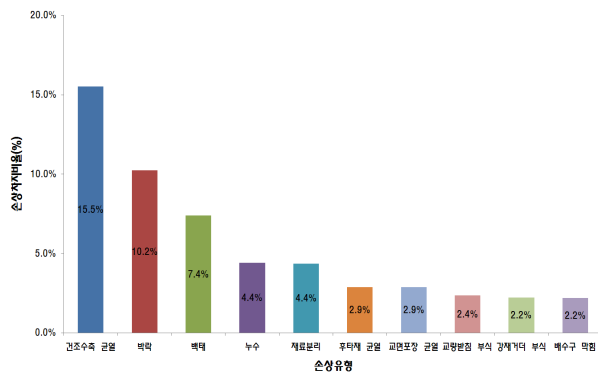
주요 5대 손상 및 5대 열화의 경우에는 박락을 제외하면 대부분 부대시설의 손상이다.

#### 4. 주요 손상 발생 특성

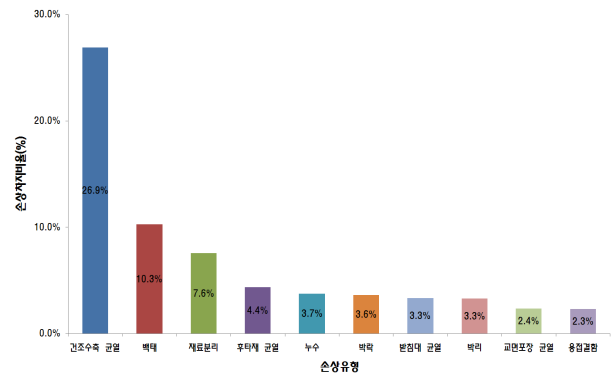
##### 4.1 결함, 손상 및 열화 비율

전절에서 분석된 자료를 기초로 하여 분석 대상 교량의 결함, 손상 및 열화 차지비율을 Table 5에 정리하였다.

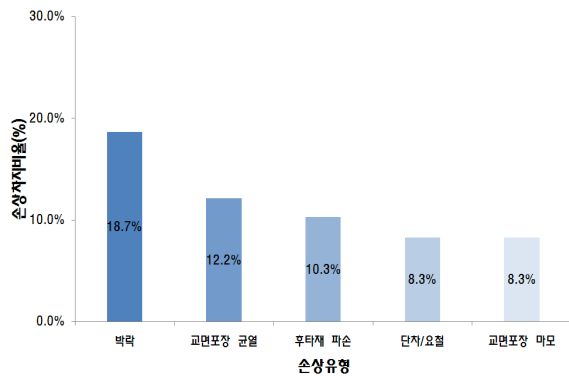
전체 대상 교량의 손상 중 결함이 차지하는 비율이 57.7%로 가장 높게 나타났는데, 이는 현재 고속도로 교량 손상의 대부분이 설계 및 시공 불량에 의한 결함으로 발생한 것이



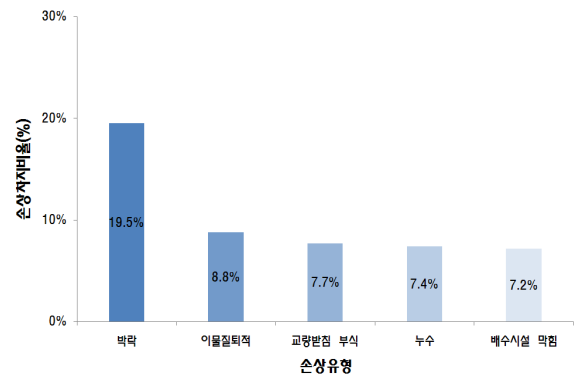
(a) 10대 손상(통칭) 유형



(b) 10대 결함 유형



(c) 5대 손상 유형



(d) 5대 열화 유형

Fig. 1 고속도로 교량 주요 손상 유형

Table 5 결함, 손상 및 열화 차지비율

구분	구분	결함	손상	열화
콘크리트 구조부재	바닥판	74.0%	1.7%	24.3%
	콘크리트 거더	77.1%	1.6%	21.2%
	교대	60.0%	3.2%	36.8%
	교각	69.8%	8.4%	21.9%
강재 구조부재	강재 거더	55.0%	1.4%	43.6%
비구조부재	교량받침	56.2%	1.0%	42.8%
	신축이음장치	38.8%	27.0%	34.2%
	교면포장	43.2%	56.3%	0.5%
	배수시설	28.8%	11.8%	59.4%
	방호벽	60.9%	20.6%	18.5%
전체 대상 교량		57.7%	12.1%	30.2%

며 공용 초기에 발견할 수 있는 손상임을 알 수 있다. 따라서 초기에 손상 보수가 이루어진다면 내구수명을 연장하는데 도움이 될 것이다.

부재별로 살펴보면 콘크리트 구조부재는 결함이 평균적으로 약 70%로서 가장 높은 비율을 차지하는데 반해 비구조부재는 열화 및 손상의 비중이 상대적으로 커지는 것을 알 수 있다. 교면포장은 통행차량의 윤하중을 직접 받아

여타 부재와는 달리 손상의 비율이 큰 것으로 나타났다.

교대의 열화 비율이 바닥판, 콘크리트 거더 및 교각에 비해 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 신축이음부를 통한 누수의 영향이 크기 때문이다.

한편 신축이음부 누수로 인한 열화(바닥판, 거더, 교대, 교각 등 영향)는 전체 열화 중 40% 정도를 차지함을 알 수 있었다. 따라서 설계 시 신축이음장치를 없애거나 가능한 줄이는 교량 구조형식이 유리하고, 유지관리차원에서는 주기적인 청소 및 교체 등 적절한 유지관리가 필요함을 알 수 있었다.

#### 4.2 열화 발생 시기 추정

결함은 공용 초기에 대부분 발견되며, 물리적인 힘에 의해 발생하는 손상은 대부분 시기를 예측할 수 없는 것들이다. 본 절에서는 경시적 변화에 의한 열화를 대상으로 발생 시기를 분석하였다.

정밀안전진단보고서 상에서 정확한 손상 발생 시기를 파악하는 것은 어렵기 때문에 진단년도에서 준공년도를 뺀

값을 발생시기로 보고 분석하였다. 따라서 실제 열화 발생 시기는 분석 결과 보다 짧다고 보아야 할 것이다.

발생률 및 평균 발생 시기는 다음 Eq.(3)을 이용하였다.

$$\text{발생률}(\%) = \frac{\text{손상 발생 교량수}}{\text{공용연수별 대상 교량수}} \times 100 \quad (3a)$$

$$\text{평균 발생 시기} = \frac{\sum(\text{발생률} \times \text{공용연수})}{\sum \text{발생률}} \quad (3b)$$

Fig. 2는 교대의 박락에 대한 결과를 예시하였으며, 열화 발생 시기는 Table 6과 같다.

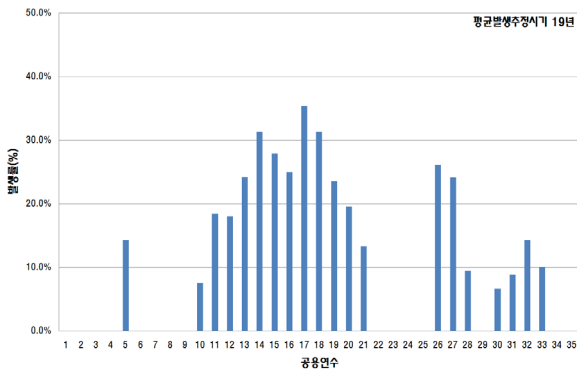


Fig. 2 공용연수별 교대 박락 발생률

Table 6 부재별 열화 발생 시기 분석

구 분		손상유형 (평균발생시기/손상수량)
콘크리트 구조부재	바닥판	박락(23년/312)
	콘크리트 거더	박락(18년/145)
	교대	박락(19년/184)
	교각	박락(19년/152)
강재 구조부재	강재 거더	강재부식(13년/345), 도장손상(13년/133)
비구조부재	교량받침	본체부식(17년/253)
	신축이음장치	본체부식(15년/117), 고무재 손상(16년/58)
	방호벽	박락(18년/265)

Table 7 정밀안전진단 중복 실시 교량 및 취약부재 현황

구 분	바닥판	콘크리트 거더	강재 거더	교 대	교 각	교량받침	신축이음 장치	교면포장	배수시설	방호벽
전체 진단 실적	1046	402	538	1028	813	939	951	1042	939	1023
실적 2회 이상 (비율)	141 (13.5)	61 (15.2)	77 (14.3)	141 (13.7)	127 (15.6)	133 (14.2)	133 (14.0)	137 (13.1)	128 (13.6)	139 (13.6)
취약부재 (비율)	33 (3.2)	6 (1.5)	2 (0.4)	19 (1.8)	12 (1.5)	35 (3.7)	52 (5.5)	39 (3.7)	34 (3.6)	25 (2.4)

콘크리트 부재(바닥판, 콘크리트 거더, 교대, 교각, 방호벽) 박락 발생 시기는 약 18~23년, 강재 구조부재의 부식 및 도장 열화의 발생 시기는 약 13년이다. 한편, 부대시설의 열화 발생 시기는 약 15~17년으로 추정되었다.

#### 4.3 정밀안전진단 중복 실시 교량의 상태등급 변화

정밀안전진단을 2회 이상 실시한 교량을 대상으로 구조부재 및 비구조부재의 상태등급(결함도 지수) 변화를 분석하였다. 결함도 지수는 상태등급을 정량화한 수치로 A등급 0.1, B등급 0.2, C등급 0.4, D등급 0.7, E등급 1.0으로 안전점검 및 정밀안전진단세부지침(한국시설안전공단)에서 구분하고 있다.

Table 7에 정밀안전진단 실적이 2회 이상인 교량의 부재별 진단실적 현황을 나타내었다. 부재별로 약 13~16%가 2회 이상 실시된 것으로 나타났으며, 첫 번째 진단시기와 두 번째 진단시기의 차이는 약 5.6년으로서 정밀안전진단 주기와 유사하였다.

부재별 상태등급 변화를 Table 8에 나타내었다. 보수·보강에 의한 효과를 파악하기 위해 첫 번째 진단 후 보수된 경우와 미보수된 경우로 구분하였다.

대부분 보수·보강된 경우의 결함도 지수 차이가 보수·보강되지 않은 경우에 비해 작게 나타났는데, 이는 보수·보강에 의한 효과에 기인하는 것으로 판단된다. Fig. 3은 바닥판의 보수·보강 효과에 대한 그림으로서 23년 즈음 C등급에서 보수가 이루어져 보수에 의해 B등급으로 상향(결함도 지수 0.16 감소)이 발생하였고 내구수명이 증진됨을 보여주고 있다.

결함도 지수 차이가 큰 부재, 즉 열화속도가 다소 빠른 부재로는 구조부재 중에는 교대, 교각, 바닥판으로 나타났고, 비구조부재로는 신축이음장치, 방호벽, 포장순으로 나타났다.

Table 8 정밀안전진단 중복 실시 교량의 상태등급 변화

부재	구분	결함도 지수		결함도 지수 차이
		첫 번째 진단	두 번째 진단	
바닥판	전체	0.257	0.282	0.024
	보수	0.318	0.306	-0.012
	미보수	0.216	0.257	0.041
콘크리트 거더	전체	0.234	0.254	0.020
	보수	0.239	0.273	0.033
	미보수	0.235	0.235	0.000
강재 거더	전체	0.252	0.268	0.016
	보수	0.269	0.263	-0.006
	미보수	0.239	0.267	0.028
교대	전체	0.250	0.297	0.047
	보수	0.242	0.284	0.042
	미보수	0.245	0.306	0.062
교각	전체	0.243	0.279	0.035
	보수	0.253	0.258	0.005
	미보수	0.225	0.286	0.061
교량받침	전체	0.245	0.242	-0.003
	보수	0.270	0.236	-0.034
	미보수	0.202	0.228	0.026
신축이음장치	전체	0.294	0.349	0.055
	보수	0.308	0.336	0.028
	미보수	0.273	0.355	0.082
교면포장	전체	0.226	0.260	0.034
	보수	0.215	0.242	0.027
	미보수	0.205	0.261	0.055
배수시설	전체	0.263	0.252	-0.012
	보수	0.293	0.211	-0.081
	미보수	0.251	0.257	0.006
방호벽	전체	0.267	0.318	0.051
	보수	0.259	0.263	0.003
	미보수	0.258	0.331	0.073

4.4 취약부재 손상 특성

상태등급 'D' 이하 부재는 구조부재의 경우 보강, 그 외 부재의 경우 교체가 필요한 상태에서 '취약부재'로 구분하여 분석하였다. 현황은 Table 7에 나타내었다.

즉각적인 교체나 보수가 필요한 부재, 즉 취약성이 높은 부재로는 신축이음장치, 포장, 받침 및 배수시설로 나타났고, 콘크리트 거더, 강재 거더, 교대 및 교각 등 구조부재의 경우 보강이 필요할 정도의 손상 발생빈도는 낮은 것으로 나타났다.

바닥판의 경우 층분리에 의한 콘크리트 박락, 상면에서 침투한 우수에 의한 열화, 단면 보강을 위한 압착 강판이나 에폭시페넬 보강부 누수, 백태, 부식 및 들뜸이 심한 경우가 이에 해당한다.

PSC-I 거더교 빔 중간 하부플랜지 횡방향 균열로 D등급 판정된 교량도 존재하는데 이는 과거 시공 교량에서 발견된 것으로 시공 시 긴장력 부족이나 긴장력 손실에 의해 발생한 것이다.

강재 거더에서는 신축이음부를 통한 누수로 격벽이 부식된 경우, 시공 당시 많은 결함(기공, 변형, 비드불량, 언더컷 등)으로 D등급 판정을 받은 것으로 나타났다.

교대는 배면 성토체 토압에 의해 교축 변위가 발생한 경우, 신축이음장치 손상으로 인한 누수로 박리 및 박락, 백태, 건조수축으로 인한 수직균열 등이 심한 경우 이에 해당한다.

교각 코핑부 수직균열 발생 교량은 휨과 전단이 복합적으로 작용하는 구간에 철근이 충분히 배근하지 않았던 과거 설계 교량에서 주로 발생하였다. 신축이음부를 통한 누수로 박리 및 박락, 백태가 심할 경우에도 D등급으로 분류되었다.

받침의 경우 신축이음부 누수로 본체 부식 및 작동불량, 고무계열 받침은 과다변형, 압착, 열화로 신축기능을 상실하는 경우가 많은 것으로 나타났고 시공 시 볼트 미체결, 용접누락, 프리세팅 오류 등도 주요 원인으로 나타났다.

신축이음장치는 반복 차량하중에 의해 본체 파손, 고무재 마모, 후타콘크리트 균열 및 파손, 포장 경계부 파손이 심한 경우 교체가 필요한 상태가 되는 것으로 나타났다.

교면 포장은 배합, 다짐불량 및 반복하중으로 포트홀, 패임, 소성변형, 요철, 망상균열, 종방향 균열 등이 발생할 경우 취약하게 되는 것으로 나타났다.

배수시설은 이물질 퇴적으로 인한 배수구 막힘, 배수관

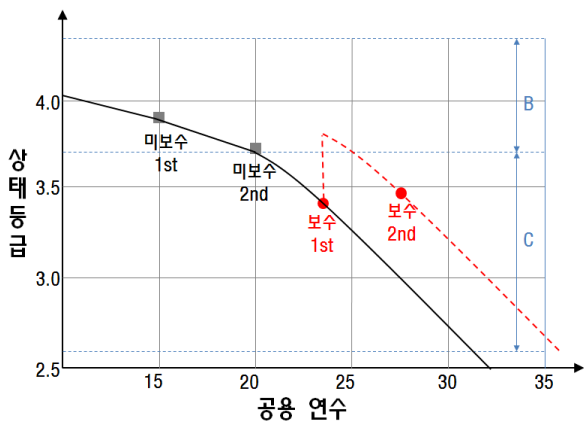


Fig. 3 바닥판의 보수보강에 의한 상태등급 변화

연결 불량, 길이부족, 파손, 부식 등이 심한 경우 취약부재로 분류되었다.

난간방호벽은 건조수축으로 인한 수직균열이 가장 많이 발견되는 손상이다. 피복두께 부족으로 인한 철근노출, 동결융해 및 제설제 살포로 인한 박리 및 박락이 심한 경우 D등급으로 판정되는 것으로 나타났다.

### 5. 맺음말

교량의 효율적인 유지관리를 위한 기초자료를 제시하고자 고속도로 교량의 손상을 통계적으로 분석하였으며, 주요 손상 발생 특성을 도출하였다. 이를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 손상을 초기하자에 의한 결함, 물리적 외력에 의한 손상, 경시적 영향에 의한 열화로 구분하고 부재별로 발생빈도가 높은 주요 손상을 매트릭스 형태로 정리하여 제시하였다. 결함에 해당하는 손상유형의 종류가 가장 많았고, 유손상률도 높게 나타났다. 반면 공용 중 물리적 외력에 의한 손상은 많지 않은 것으로 나타났다.
- (2) 고속도로 교량 10대 손상 유형 중 상위 5개의 손상은 콘크리트 부재에서 일반적으로 발견되는 건조수축균열, 박락, 백태, 누수, 재료분리이며, 그 외 5개 손상은 주로 비구조부재에서 나타나는 신축이음부 후타콘크리트 균열, 교면포장 균열, 받침 부식, 배수구 막힘 등이 이에 해당한다.
- (3) 결함, 손상, 열화 중 결함 차지비율이 전체의 58% 정도로서 다수를 차지하였으며, 열화 중에서는 신

축이음누수가 원인이 되어 발생하는 경우가 전체 열화의 40% 정도를 차지하였다.

- (4) 콘크리트 부재의 박락 발생 시기는 약 18~23년, 강재 구조부재의 부식 및 도장 열화의 발생 시기는 약 13년이다. 한편, 부대시설의 열화 발생 시기는 약 15~17년으로 추정되었다.
- (5) 즉각적인 교체나 보수가 필요한 부재, 즉 취약성이 비교적 높은 부재(D등급 이하 부재)로는 신축이음장치, 포장, 받침 및 배수시설로 나타났고, 콘크리트 거더, 강재 거더, 교대 및 교각 등 구조부재의 경우 보강이 필요할 정도의 손상 발생빈도는 낮은 것으로 나타났다.

본 기사의 손상 통계 분석 자료는 한국도로공사의 유지관리 수준에서 평균 공용연수 16년 정도의 고속도로 교량에서 나타나는 특성이다. 관리주체의 유지관리수준(점검 및 보수 체계), 평균 공용연수(열화도), 고속도로 교량이 아닌 경우(시공 품질 등) 손상 통계치는 차이가 있을 수 있으므로 별도의 연구가 필요할 것이다.

### 참고문헌

1. 이일근, 박창호, 이수현, "교량 손상 분석을 통한 점검 효율화 방안 연구", 도로교통연구원 연구보고서, 2013.

담당 편집위원: 이병주  
(한국도로공사, 도로교통연구원 책임연구원)  
vante@ex.co.kr