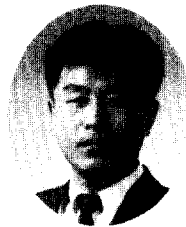


현장타설 철근콘크리트 교량바닥판의 손상과 대책

Deterioration and Remedial Works of Cast-in-Place RC Bridge Decks



김영진*



정철헌**



김철영***

1. 서 론

현재 청계고가도로교은 단계적인 바닥판교체공사가 시행되고 있고, 한강상 일부교량에 대해서도 바닥판 보수공사가 계획되고 있는 등 기존 교량바닥판에 대한 보수공사가 증가하는 추세에 있다. 도로교의 바닥판은 차량하중을 직접 지지하는 등 다른 구조부재보다도 가혹한 사용환경하에 있고, 차량의 대형화 및 통행량의 증가, 피로현상에 대한 사전조치미흡 및 재료의 열화 등이 복합적으로 작용하여 손상이 발생되는 것으로 판단된다. 또한 건설산업이 3D산업으로 인식되면서 숙련된 인력이 부족하고 고령화되어 산업생산성이 저하되는 실정이다. 따라서 거푸집제작, 철근배근, 콘크리트타설 등에 많은 인력이 요구되는 현장타설 RC바닥판은 공기지연이나 부실시공마저

도 우려된다.

바닥판 파손에 대한 사후대책으로는 강판접착, 탄소섬유슈트접착 및 세로보증설 등의 보수·보강방법이 있으나, 교량관리자의 입장에서는 구조적 성능의 확보는 물론이고 교통체증도 완화시킬 수 있는 공법이 더 절실한 형편이다. 더욱이 도심지, 고속도로 및 국도상 교량은 완공후 일단 사용하기 시작하면 교통체증, 우회도로건설 등의 제약으로 사용도중 보수공사가 어렵고 유지관리비가 초기 건설비보다 더 투입될 수 있기 때문에, 건설비와 유지관리비를 포함한 총경비 관점에서는 교통체증으로 인한 간접손실을 감소시킬 수 있도록 계획단계에서 부터 바닥판의 손상방지대책을 반영하는 것이 더 합리적이다.

따라서 본 고에서는 도로교 철근콘크리트 바닥판의 수명연장이 사회간접자본시설에 대한 추가소요비

* 정회원, 대우건설기술연구소 책임연구원

** 정회원, 대우건설기술연구소 선임연구원

*** 명지대학교 토목·환경공학과 교수

온의 절감 및 교통체증해소 등에 기여할 수 있다는 판단에서, 바닥판의 손상현황, 원인 및 파손방지에 대한 사전·사후대책을 모색해보고자 한다.

2. 현장타설 RC바닥판의 손상과 원인

도로교의 RC바닥판은 부재두께가 얇고 또한 환경 조건의 영향을 크게 받기 때문에 최근 국내에서도 교량바닥판의 손상사례가 자주 보고되고 있다. 바닥판 손상을 유형별로 분류하면 ① 격자형 균열의 발달로 인한 바닥판관통, ② 콘크리트의 박리 및 붕락, ③ 균열을 통한 누수, 백태 및 철근부식, ④ 알칼리골재반응에 의한 균열, 염해에 의한 철근부식 및 균열 등을 들 수 있다.

실제 일반 국도상에 가설된 RC바닥판의 손상의 분석결과에 의하면 ①과 ②항목이 바닥판손상의 주된 현상으로 나타나고 있다¹⁾.

바닥판 손상의 원인으로는 재료, 설계, 시공 및 교통하중을 포함하는 사용환경조건 등의 각종 요인이 복합적으로 작용할 수가 있다. 바닥판의 균열은 재료나 시공상태와 당연히 관련되지만 급격한 온도 및 습도의 변화에 의해서도 용이하게 발생될 수 있다. 바닥판손상원인을 규명하기 위하여 인위적으로 과도한 균열을 발생시킨 바닥판에 대한 정적 및 피로실험을 수행한 결과 RC바닥판의 손상에는 단면을 관통해서 발생한 균열이 중요한 영향을 미치는데, 교축직각방향으로 발생하는 관통균열은 비교적 짧은 간격으로 발달되어 바닥판의 연속성을 잃게하여 보가 나란히 배렬된 것과 같은 상태에 놓이게 되며, 이후 전단피로파괴되는 것이 RC바닥판의 파괴메카니즘이다. 결국 바닥판의 손상은 휨내력의 부족때문이 아니라 주로 관통균열의 발생, 균열면의 골재맞물림작용에 의한 전단저항력의 저하 등에 기인한다는 것이다²⁾. 바닥판에 발생하는 관통균열은 건조수축에 의한 바닥판콘크리트의 변형이 주형에 의해 구속을 받고, 비틀림모멘트에 의해 바닥판상면에 균열이 발생하며, 전단력에 의해 바닥판하면에 발생한 휨균열이 상면방향으로 발전되는 데다가 하중의 이동 및 반복작용에 의해 교축직각방향으로 관통균열이 발생된다. 또한 균열부에 수분이 침투하면 바닥판의 피로강도는 저속 저하되는 특징이 있다. 그림 1은 이러한 바닥판의

손상과정을 나타낸 것이다³⁾.

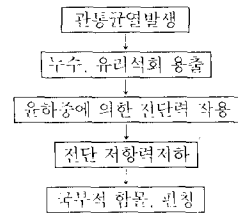
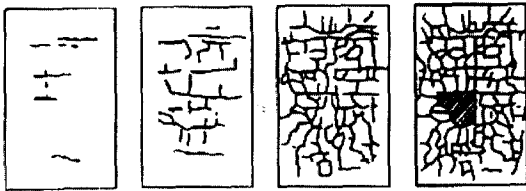


그림 1 RC바닥판의 피로손상과정

바닥판에서 손상이 발생하는 과정은 바닥판하면에 발생한 균열이 격자모양으로 진전하다가 누수나 유리석회의 침출이 일어나면서 결국에는 함몰이나 붕락에 이르게 된다. 그림 2는 바닥판의 균열진전도이다. 작용하중의 크기나 반복회수 등에 의하여 다소 차이는 있지만, 단계별 균열발전과정은 다음과 같다⁴⁾.

- 1) 일방향균열(주로 주철근방향)이 발생된다.
- 2) 주철근방향 균열에 추가하여, 배력철근방향으로도 균열이 발생된다(이방향균열).
- 3) 이방향균열이 바닥판 전면에 확대된다.
- 4) 모서리부서짐, 균열면간 마찰 등에 의해 균열폭과 깊이가 확대된다.
- 5) 균열은 확대되고, 바닥판 상하면의 균열이 관통되어, 누수·유리석회가 발생한다.
- 6) 20 - 30 cm간격의 격자모양의 균열이 되고 균열밀도도 일단 정지하지만, 균열폭이 확대되고 누수와 유리석회 등이 현저히 발생된다.
- 7) 철근과 분리된 콘크리트가 부분적으로 함몰되거나 붕락을 일으킨다.

바닥판의 손상부위가 격자균열상태에 도달되면, 누수에 의해 바닥판 하면에 유리석회, 콘크리트 미세분말 및 철근의 녹물이 용출된다. 균열밀도는 중차량의 통행빈도가 많을 수록 사용연수가 경과할 수록 커지며, 균열이 바닥판을 관통하는 경우가 많다. 또한 손상은 동일 교량내에서도 전면적이기 보다는 국부적으로 발생되며, 주형차선쪽 바닥판의 손상이 더 심한 편이다. 이러한 손상과정에 있어서, 관통균열, 누수 및 유리석회가 관찰되면, 바닥판 하면의 균열형상이 포장에도 발생하는 경우가 많다. 손상단계별 철근부식 및 균열상태는 표 1과 같다⁵⁾.



[상태 I] 일방향균열 [상태 II] 이방향균열 [상태 III] 이방향균열발달 [상태 IV] 바닥판함몰

그림 2 RC바닥판의 균열진전도

표 1 손상단계별 철근부식 및 균열현황

손상상태	상태 I	상태 II	상태 III	상태 IV
철근부식	부식 없음	- 철근표면에 침형의 부식이 보임 - 일부에 녹물 보임	- 철근이 부식되고 있지만, 단면손실은 없음 - 녹물이 많이 보임	- 철근부식이 현저하고, 단면손실 발생 - 녹물발생이 현저함
균열현황	부식에 의한 균열 없음	- 부식에 의한 균열이 거의 없음 - 일부에 들뜸 발생	- 부식에 의한 균열이 발생하고 있지만, 많지는 않음 - 일부에 박리, 박락이 보임	- 부식에 의한 균열이 많고, 폭이 수mm인 것도 있음 - 박리, 박락이 많음

철근콘크리트 바닥판의 건전도의 시간적 변화과정을 모형화하면 그림 3과 같다¹⁰⁾. 그림에 나타난 바와 같이, 상태 III을 지나서 바닥판의 건전도는 환경조건에 보다 크게 영향받는 것을 의미하고 있다.

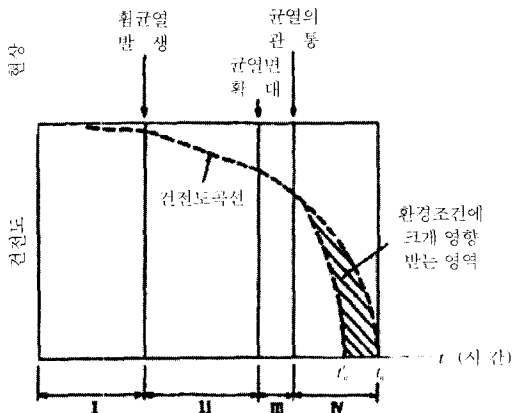


그림 3 RC바닥판의 건전도-시간과의 관계

3. 바닥판의 손상도 판정법

바닥판 손상의 평가법에는 여러 가지가 있으나, 주로 균열 및 백태를 기준으로 하는 것이 일반적이다. 한국의 시설안전기술공단 지침에서는 균열을 기준으로 평가하도록 되어 있고, 일본의 도로공단에서는 누수균열에 의한 평가를 하고 있다. 일본에서는 균열발도법을 당초 사용하였으나 균열현황의 스케치에 많은 수작업이 요구되며 근접조사시설 등이 없는 곳에서는 적용이 곤란한 문제 등이 있고 바닥판 손상메카니즘과 균열발도가 밀접한 관계가 없다는 실험적 연구에 근거하여 1988년부터는 검사시설이 없는 경우에도 육안으로 판정할 수 있는 누수균열에 의한 판정법을 사용하고 있다. 각 규정에서 사용하고 있는 손상도판정법을 간단히 소개하면 다음과 같다.

3.1 한국 시설안전기술공단 지침⁶⁾

바닥판의 점검은 일반적으로 육안조사로 시행하나, 상세한 조사가 필요한 경우에는 공사용 비계나 점검차를 이용하여 철근노출, 공동, 곰보 및 균열발도·폭·길이 등을 조사하며 필요한 경우에는 슈미트램머 등에 의한 콘크리트의 강도측정을 병행하도록 하고 있다. 점검시 바닥판의 균열폭은 0.1mm를 기준하여 판정토록 하며, 균열의 진행성 여부 등에 중점을 둘 것을 강조하고 있다. 바닥판 상면은 균열, 박리(scaling), 포트홀(pot-hole), 박락, 층분리(delamination) 등을, 바닥판 하면은 균열, 박락, 철근노출과 부식, 백화현상, 변색, 골재분리, 누수 등을 그리고 포장면은 균열 등을 중심으로 관찰하도록 하고 있다. 바닥판의 상면은 차량통행과 포장 등으로

표 2 균열 및 탈락에 의한 바닥판상태평가

등급	균열		박리	파손	철근노출
	일방향균열	이방향균열			
A	없음, 0.1mm이하, 부분적	없음	없음	없음	없음
B	0.1-0.2mm, 간헐적 (30cm이하)	없음	없음	없음	없음
C	0.1-0.2mm, 길이50cm 이상(20cm이하 간격)	0.1-0.2mm 부분적	없음	국부적	없음
D	0.1-0.2mm, 길이50cm 이상(20cm이하 간격)	0.2-0.3mm 망상균열	국부적	국부적	부분적, 부식동반
E	0.4mm이상 균열로 발견	0.2-0.3mm, 망상균열	전반적	전반적	다수발생, 부식심화

표 3 백태 및 누수에 의한 바닥판상태평가

등급	백 태	누 수
A	없음, 보수후 원상회복 상태포함	없음
B	국부적 발생, 초기상태	없음
C	표면적전반에 얇은 백태	균열사이로 누수
D	균열주변에 심한 백태	균열주변으로 누수약화, 콘크리트표면부식
E	균열주변에 심한 백태	균열사이로 녹물이나 니토발생, 부식에 의한 타락

직접적인 관찰이 곤란하므로 주로 바닥판 하면의 상태를 중심으로 판단하도록 하고 있다. 균열 및 탈락에 의한 바닥판의 평가는 표 2와 같고, 백태 및 누수에 의한 평가는 표 3과 같다.

3.2 일본 도로공단 규정³⁾

3.2.1 균열밀도에 의한 평가(균열밀도법)

교량 바닥판에서 관측된 균열도로 부터 단위면적당의 균열길이를 구하여 이를 기준 균열밀도로 나누어서 노후도를 평가하는 방법이다. 그림 4와 같은 균열이 발생한 바닥판의 경우 교축방향 및 교축직각방향으로 일정한 간격으로 격자선을 긋고 각 균열과 격자선과의 교점수를 구하여, 각각을 교축 및 교축직각방향의 총연장으로 나눈 값의 합계로서 식 (1)의 균열밀도 D_c 를 구한다.

$$\begin{aligned} \Sigma N_x &= 22 & \Sigma L_x &= 2 \cdot 9 = 18m \\ A &= \Sigma N_x / \Sigma L_x = 22/18 = 1.2 \text{ m/m}^2 \\ \Sigma N_y &= 23 & \Sigma L_y &= 3 \cdot 7 = 21m \\ B &= \Sigma N_y / \Sigma L_y = 23/21 = 1.1 \text{ m/m}^2 \\ D_c &= A+B = 1.2+1.1 = 2.3 \text{ m/m}^2 & (1) \\ D &= D_c/D_o = 2.3/10 = 0.23 \text{ m/m}^2 & (2) \end{aligned}$$

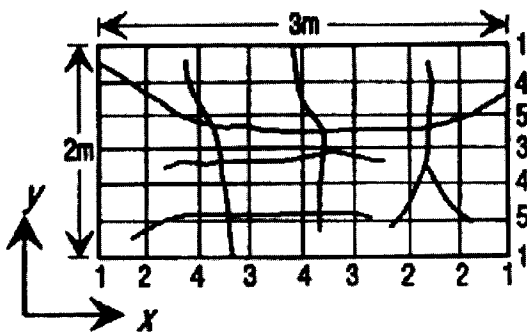


그림 4 균열밀도계산에

여기서 D : 노후도 (사용한계 = 1)

D_c : 균열밀도(m/m^2)

D_o : 기준치(10 m/m^2)

3.2.2 유리석회에 의한 평가(누수균열법)

유리석회는 백태라고도 하는데 이에 의한 손상도 판정은 유리석회를 동반한 누수균열에 의한 것과 표면박리, 철근노출 등의 현상을 기준으로 하는 것으로 먼저 주형과 가로보로 둘러싸인 각 패널마다 판정을 하게 된다. 손상이 발생한 패널이 있는 경우에는, (지간 x 폭원)내에서 손상 패널수 및 그 정도에 의해 손상이 교량전체에 미치고 있는가 아니면 부분적인가를 판단한다. 전체적인 경우에는 (지간 x 폭원)의 범위에 대해, 국부적 손상인 경우에는 부분적으로 보수한다.

이 방법에서는 먼저 패널별로 손상도를 평가하게 되는데, 패널별 손상도 판정기준은 표 4와 같다. 손상도는 유리석회의 종류와 형상에 따라, 손상도를 A에서 E의 5단계로 분류한다.

표 4, 5는 패널별 손상 판정에 관한것이지만, 이러한 부분적인 손상이 교량전체 또는 한 경간내에 발생하고 있다면, 시공된 바닥판 전체가 구조적인 문제를 갖고 있는 것으로 판단되고 이에 대응되는 보수·보

표 4 패널별 바닥판(주형x가로보)의 손상도 판정기준(유리석회)

손상도	바닥판의 상황		판정기준
A	일반부	유리석회가 2방향으로 발생하고, 양방향 모두 간격이 50cm이하이며, 유리석회가 흙탕물이나 녹물로 변색되며 "B"로의 빠른 진행이 있음	손상이 현저하고, 긴급보수가 필요
	이음부	시공이음부에서 유리석회가 흙탕물이나 녹물로 변색	
B	일반부	유리석회가 2방향으로 발생되고 있고, 양방향 모두 그 간격이 50cm이하이며, 백색임. 또한 "C"로의 빠른 진행이 있음	손상이 크고, 조기에 보수가 필요
	이음부	시공이음부에서 백색의 유리석회가 발생됨	
C	유리석회가 2방향으로 발생되고 있고 간격이 50cm이상이며 격자균열은 아니지만 간격이 넓은. 또한 "D"로 손상이 진이		손상이 발전하고 있고, 적시에 보수가 필요
D	유리석회가 1방향으로 발생됨		손상이 작고, 정기점검이 필요
E	유리석회가 확인되지 않음		-

표 5 패널별 바닥판의 손상도 판정기준(유리석회이외)

손상도	바닥판의 상황	판정기준
a	박 리 : 직경 50 cm이상의 범위로 발생	손상이 현저하 고, 긴급한 보수 가 필요
	철근노출 : 주철근이 50 cm이상 노출	
b	박 리 : 직경 10~50 cm의 범위로 발생	손상이 크고, 조 기에 보수가 필요.
	철근노출 : 주철근이 50 cm이하 노출	
c	박 리 : 직경 10 cm이하의 범위로 발생	손상이 작고, 적 시에 보수가 필요
	공 동 : 직경 10 cm이하의 범위로 발생	

강공법을 선정하여야 한다. 패널별 손상도조사후(지간x폭원)으로 구성되는 각 경간내에서 손상발생빈도를 평가하도록 하고 있다. 표 6은 경간별 손상도 판정기준이다. 손상도는 등급 I~V로 분류하며, 판정기준은 표와 같다.

표 6 경간별 바닥판(지간x폭원) 손상도 판정기준

손상도	바닥판의 상황	판정기준
I	바닥판별의 40%이상이 B등급	손상이 현저, 긴급보수필요
II	바닥판별의 30%이상이 B등급	손상이 크고, 신속보수필요
III	바닥판별의 40%이상이 D등급	손상이 커지고 있고, 적기에 보수
IV	바닥판별의 30%이상이 D등급	손상이 작고, 적기에 보수
V	바닥판별의 30%미만이 D등급	손상이 작고, 부분적인 보수필요

4. 바닥판손상에 대한 사후대책

바닥판손상에 대한 사후대책으로는 보수·보강공법이 대표적이다. 바닥판의 손상도에 따라 적절한 보수·보강공법을 선정함으로써 바닥판의 내하력을 유지 또는 향상시키고, 바닥판콘크리트의 붕락 등을 미연에 방지하여 교통소통을 원활히 유지하도록 하는

표 7 손상원인별 바닥판의 보수대책

바닥판의 손상원인	보수대책
① 과대한 윤하중의 작용	① 바닥판의 보강, 하중제한
② 과대한 충격의 작용	② 과대한 충격의 작용
③ 윤하중통행위치에 의한 과대 모멘트의 작용	③ 차량통행대의 조정, 바닥판모강(대형차통행위치 지점)
④ 설계내하력의 부족	④ 바닥판의 보강, 교체
⑤ 콘크리트 품질 및 시공부량	⑤ 바닥판의 교체
⑥ 배력철근량의 부족	⑥ 바닥판의 보강
⑦ 바닥판상부부족	⑦ 바닥판상부부족, 지간단축
⑧ 주형의 작용에 의한 부모멘트 또는 인장력의 작용	⑧ 바닥판의 보강
⑨ 자유단에 과대모멘트 작용	⑨ 가로보의 설치, 바닥판의 보강
⑩ 지지형의 부등침하에 의한 부가모멘트 작용	⑩ 가로보의 설치, 바닥판의 보강

표 8 시급성에 따른 보수·보강공법의 선정

대책	공법	개요
응급	복공판	바닥판에 구멍이 생기는 경우 등의 응급처리
	패킹	
	지보공	
보수	모르티뽀어붙이기	균열이외의 손상이 관찰되는 경우
	FRP 접착	
보강	수직주입	응급처리로써, 다른 공법과 병용
	강관압착	배력철근이 부족한 경우
	단면증가	바닥판 두께의 부족
교체	주형의 추가설치	바닥판의 강성이 부족한 경우
	부분교체	바닥판이 불량상태에 근접한 경우
	전면교체	

것을 목적으로 한다. 일반적으로 바닥판의 손상요인에 따라 표 7과 같은 대책을 수립할 수 있으며, 손상 보수에 대한 시급성을 기준으로 한다면 표 8과 같이 분류할 수 있다. 바닥판은 그 손상형태가 다양하기 때문에 보수·보강공법도 다양하지만, 크게는 결손 단면의 복구나 균열의 보수와 같은 보조적인 방법과 바닥판내하력의 회복 또는 증가를 위한 공법으로 분류할 수 있다. 후자인 보강공법은 다시 ① 바닥판 상면 또는 하면에 콘크리트나 보강재를 추가하는 방법과 ② 열화된 RC 바닥판을 철거하고 바닥판을 신설하는 방법으로 대별된다¹³⁾.

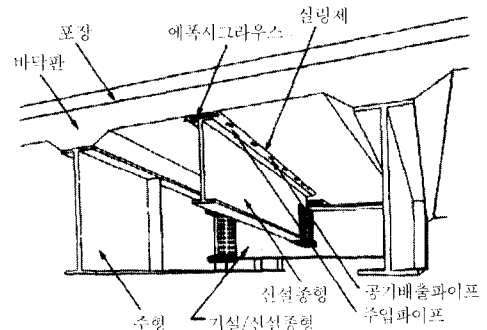


그림 5 세로보증설보강공법

그림 5는 세로보증설공법이다. 세로보의 위치가 차량통행위치와 거의 일치하는 경우에는 하중의 일부가 직접 세로보로 전달되어 바닥판에 작용하는 전단력이 감소하기 때문에 충분한 강성을 갖는 세로보를 설치해야만 보강효과가 있다. 만일 그렇지 않을 경우에는 세로보의 추가설치로 바닥판지간이 감소하나, 편칭전단력의 증가에 크게 기여하지는 않게 된

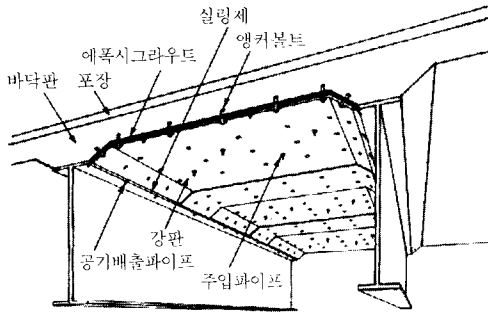


그림 6 강판접착 보강공법

다. 한편 그림 6은 강판접착공법으로서, 현재 국내에서 바닥판의 보강에 가장 많이 사용하는 공법이다. 보통 두께 5mm 정도의 강판을 바닥판 하면 전체 또는 좁은 폭의 긴 강판을 교축방향으로 병렬로 배치하여 에폭시수지로 접착시키기 때문에 격자균열이 발달된 RC바닥판의 박리, 붕락 등을 방지할 수 있다. 게다가 강판접착된 바닥판의 전단내하력은 강판과 동일한 철근량을 배근한 RC바닥판의 내하력과 유사

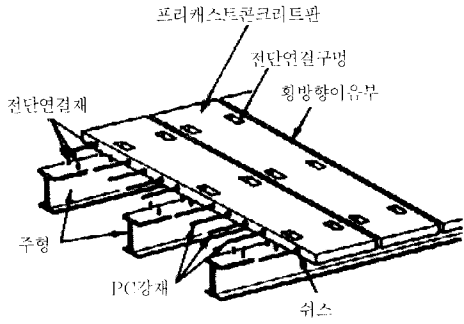


그림 7 프리캐스트 콘크리트 바닥판

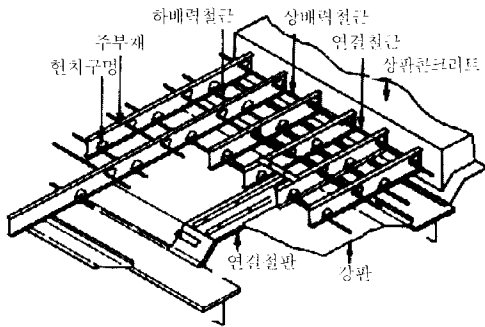


그림 8 강격자바닥판

한 것으로 평가되고 있다²³⁾.

한편 이방향으로 다수의 관통균열이 발생되어 있고, 균열면의 마모가 진행되고 있으며 콘크리트가 블록화되고 있는 등 바닥판의 손상정도가 큰 경우에는 기존 노후 바닥판을 제거하고 바닥판을 신설하는 것이 더욱 경제적이다. 현재 교량에 사용되고 있는 바닥판은, ① 중소 기간용의 현장타설 RC바닥판, ② 장대교 등을 대상으로 한 강바닥판, ③ 품질향상과 공사의 신속화를 위한 RC 또는 PC 프리캐스트 바닥판 및 ④ 합성바닥판 등으로 구별될 수 있다²⁴⁾. 그림 7, 8, 9 및 10은 각 바닥판을 나타낸 것이며, 공법의 특징은 표 9에 간단히 비교되어 있다.

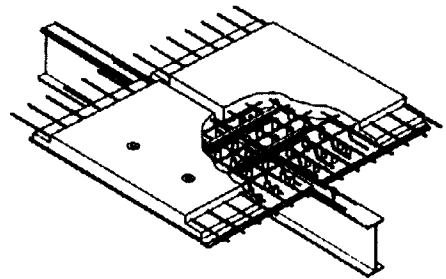


그림 9 프리캐스트 합성바닥판

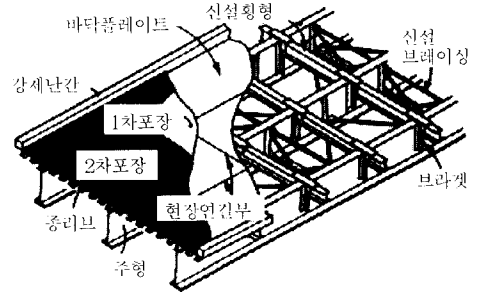


그림 10 강바닥판

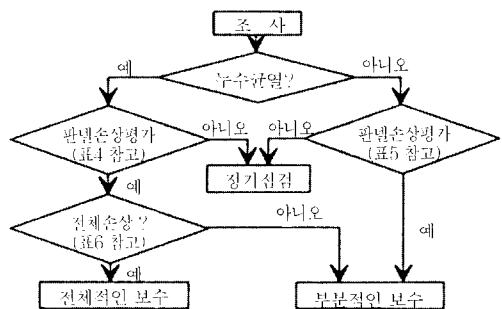


그림 11 보수·보강공법 선정흐름도

한편 바닥판의 보수 및 보강공법의 선정흐름도는 그림 11과 같고, 각 공법별 보수효과 및 문제점은 표 9와 같다^(9,11).

표 9 각 공법별 특징비교

공법	보강공법				교체공법			
	상면 증가	하면 증가	중형 중형	강관 접착	현장타설 RC바닥판	강거자 바닥판	프리캐스트 트바닥판	상 바닥판
교통규제	필요	필요	필요	필요	필요	필요	필요	필요
국부적인 보수보강	가능				곤란			
분할시공	가능				가능			
본체구조 의 개조	없음	있음	없음	없음	없음	없음	없음	있음
침하 불 안	없음	있음	없음	없음	없음	없음	없음	있음
사하중증 감 정도	증가 (大)	증가 (中)	증가 (小)	증가	감소 (小)	감소 (小)	감소 (大)	감소 (大)
노면고변 경가능성	있음	없음	없음	있음	없음	없음	없음	있음

5. 바닥판손상에 대한 사전대책

바닥판손상에 대한 사전대책으로는 ① 바닥판의 피로설계와 ② 아치현상(arching action)을 고려한 바닥판의 설계 등을 들 수 있으나, 여기서는 전자를 중심으로 소개하고자 한다. 교량바닥판의 피로설계를 위해서는 우선 바닥판에 대한 S-N 곡선이 확보되어야 한다. 바닥판의 S-N 곡선을 구하기 위한 피로 시험에는 ① 일점반복재하실험, ② 다점이동반복재하실험 및 ③ 이동하중반복재하실험 등이 있으나, 실제 실험에 의하면 바닥판의 피로수명은 ①에서, ② 및 ③으로 갈수록 짧아지는 경향을 보이며 이동하중반복재하실험의 결과가 실제 바닥판의 피로수명을 비교적 정확하게 평가하고 있다고 보고되고 있다. 그림 12는 RC바닥판의 피로설계 흐름도이다.

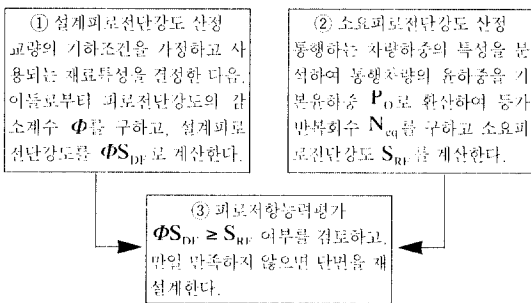


그림 12 RC바닥판의 피로설계과정

①은 바닥판의 피로하중에 대한 저항능력을 의미

하는 것으로서, 먼저 바닥판의 정적전단강도를 구한 다음 재료특성을 고려한 피로전단강도감소계수 Φ 를 곱하여 설계피로전단강도 ΦS_{DF} 를 구한다. 바닥판의 정적전단강도를 구하기 위한 여러 연구자의 연구결과가 있으며, 그 중 한 예를 들면 식 (3)과 같다⁽¹⁰⁾.

$$S_{DF} = 2B(\tau_{s,max} \cdot X_m + \sigma_{t,max} \cdot C_m) \quad (3)$$

여기서, S_{DF} : 보지동을 하는 RC바닥판의 주철근 단면의 전단강도 (kg)

B: 배력철근방향으로 불연속화된 보의 폭 (cm) (= b + 2 d_l)

b: 배력철근방향의 재하면적의 폭 (cm)

d_l: 배력철근의 유효깊이 (cm)

$\tau_{s,max}$: 콘크리트의 최대전단응력(kg/cm²)

$\sigma_{t,max}$: 콘크리트의 최대인장응력(kg/cm²)

X_m : 주철근단면에 대한 중립축 (cm)

C_m : 주철근의 피복두께 (cm)

②는 랜덤트럭유효하중이 임의의 위치를 주행하는 상태를 기본주행상태로 환산해서 등가의 반복회수 N_{eq} 를 구한 다음, 바닥판에 대한 피로실험에서 구한 S-N 곡선에서 등가반복회수 N_{eq} 에 대응하는 소요피로전단강도 S_{RF} 를 구한다. 여기서 임의로 통행하는 트럭유효하중에 의한 전단력과 반복회수를 식 (4)와 같이 기본주행위치에서의 등가반복회수 N_{eq} 로 환산하고, 등가반복회수에 대응되는 피로전단강도 S_{RF} 는 식 (5)의 S-N곡선식에서 구한다.

$$N_{eq} = (1 + i)^m \cdot N_T \cdot \int_a^b (S_x / S_o)^m \cdot p(x) dx \cdot \int_0^{P_{max}} (P / P_a)^m \cdot f(p) dp \quad (4)$$

$$\text{Log}(P / S_{RF}) = m \cdot \text{log} N_{eq} + \text{log} c \quad (5)$$

여기서,

N_{eq} : 기본주행위치에 기본유효하중이 작용하는 경우
우로 환산한 1년간의 차량통행회수

i: 충격계수

m: S-N 곡선기울기의 절대값의 역수

N_T : 1년간의 차량통행회수

α, β : 통행의 한계위치

S_x : 임의위치에 기본유효하중이 작용하는 경우 위험 단면의 전단력

S_o : 기본통행위치에 기본윤하중이 작용하는 경우
위험단면의 전단력

$p(x)$: 윤하중통행위치에 관한 확률밀도함수

P_{max} : 윤하중의 최대값

P : 임의의 윤하중

P_o : 기본윤하중

$f(p)$: 윤하중의 크기에 관한 확률밀도함수

$\log c$: S-N곡선의 종축절편

③은 피로저항능력을 평가하는 것으로, 평가는 식 (6)과 같이 할 수 있다. 만일 식 (6)를 만족하지 않으면 단계 ①로 가서 단면을 재설계하고 전단저항능력을 재평가한다.

$$\Phi S_{DF} \geq S_{RF} \quad (6)$$

여기서, Φ : 피로-강도감소계수

S_{DF} : 정적전단강도

S_{RF} : 소요피로전단강도

이와 같이 바닥판의 피로수명은 편칭전단강도와 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 결국 바닥판의 피로수명증가를 위해서는 바닥판의 편칭전단강도를 향상시킬 필요가 있다. 이를 위해서 바닥판 두께, 철근량 및 콘크리트의 압축강도를 증가시키는 방법이 있으나, 철근량의 증가는 공사비의 증가 및 과소철근상태를 유지하는데 불리하고 콘크리트 강도의 증가로 얻어지는 편칭전단강도의 증가는 크게 기대하기가 곤란하므로 바닥판의 두께를 증가하는 것이 합리적인 방법으로 지적되고 있다. 이러한 관점에서 1996년에 개정된 도로교표준시방서에서도 바닥판의 두께를 증가시키고 있다. 표 10은 1등급의 차량직각방향에 대한 차도부분 바닥판의 최소두께규정이다. 표와 같이 1996년 개정시 바닥판 최소두께를 18 cm에서 22cm로 상향조정하였는데 이는 바닥판의 피로손상을 방지하고 시공의 불안정성을 보완하기 위한 것이다^[11,12].

표 10 시방서상의 최소두께규정

구분	1992년 시방서	1996년 시방서
단순판	4L+11	4L+13
연속판	3L+11	3L+13
최소값	18cm	22cm

단, L은 바닥판의 지간(m)


6. 맺음말

본 고에서는 도로교 철근콘크리트 바닥판의 열화현상과 원인, 손상대책에 대하여 간단히 고찰하였다. 주형-바닥판 구조시스템에 있어서 바닥판의 손상은 중차량의 빈번한 통행에 의한 피로손상에 우수, 제설제 등의 침투가 부가되어 가속화되며, 파괴모드는 편칭전단파괴 양상을 나타내는 것이 일반적인 현상이다. 이러한 바닥판은 시공이나 설계가 비교적 단순한 부재이나 안전성이나 내구성의 저하가 발생했을 경우에는 교통의 원활한 소통에 지장을 초래하여 사용상에 큰 문제가 야기될 수 있기 때문에, 시공중 품질관리 및 사후 유지관리 등 적절한 대책이 고려되어야 한다.

지금까지 교량바닥판은 대부분 강판직접이나 콘크리트 부분타설 등으로 보수되었으나, 최근에는 청계고가도로교 등과 같이 전면교체단계에 이른 교량이 점차로 증가하는 추세에 있다. 따라서 바닥판에 손상이 발생한 후에 시행하는 각종 보수 및 보강공법에 의한 바닥판의 성능개선 단계에서 벗어나, 사전에 바닥판의 피로설계, 아치현상을 고려한 설계 등을 고려할 필요가 대두되고 있다. 최근에는 피로, 균열 등에 대한 저항성의 개선에 추가하여 기계화시공이 가능한 프리캐스트 콘크리트 바닥판에 대한 관심이 집중되고 있다. 이는 현장타설 바닥판을 프리캐스트화함으로써 품질관리가 확실하고, 현장공정의 생략으로 공기단축 및 인력절감이 가능하며 특히 차선별 교차시공으로 공사중에도 교통통제없이 계속 시공할 수 있다는 점이 그 배경인 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 건설부, 노후교량조사 및 보수공법개발, 1988, pp. 108~112.
2. Higai Takeshi, "An Outline of Repairing and Strengthening of RC Deck Slabs," Bridge and Foundation Engineering, Vol. 26, No. 8, 1994, pp. 105~108.
3. 望月秀次, 床版の損傷事例と補修方法, 全國建設補修センター, 1995, pp. 10~26.
4. 小松秀樹, 飯東義夫, "道路橋床版の變狀と補修·補強工法," 콘크리트工學, Vol.31, No.7, 1993, pp. 43~47.
5. 關博, "콘크리트構造物-維持管理の考え方", セメン

- ト・コンクリート, No. 591, 1996, pp. 51~60.
6. 시설안전기술공단, 안전진단 및 정밀안전진단 세부지침 (교량편), 1996, pp. 59~61.
 7. 高島春生, 道路橋と實用診断學(上卷), 現代理工學出版, 1988, pp. 70~88.
 8. 김영진, 정철현, 박칠림, "급속시공을 위한 프리캐스트 콘크리트 교량바닥판의 활용", 콘크리트 학회지, 제9권, 제1호, 1997, pp. 68~75.
 9. 장승필, 김영진, 김종희, 심창수, "프리캐스트 콘크리트 바닥판의 구조특성에 관한 사례 연구," 대한토목학회 학술발표논문집(1), 1996, pp. 169~172.
 10. 松井繁之, 武藤和好, 竹内修治, "重交通路線におけるRC床版損傷に對する疲勞壽命評價と耐久性向上の一考察," 橋梁と基礎, Vol. 24, No.11, 1992, pp. 14~18.
 11. 건설부, 도로교표준시방서, 1992, pp. 253~254.
 12. 건설교통부, 도로교표준시방서, 1996, pp. 5-191~5-193. 

콘크리트학회 전문서적보급안내

시멘트·콘크리트의 품질시험 및 품질관리 - 제3회 기술강좌 교재 -

- 집필진 : 최광규, 임창덕, 김무한, 한친구, 오병환, 윤재환, 정 란, 박승범, 최계석
- A4/ 정가 22,000원 (회원 20,000원)

철근콘크리트 건물의 배근설계 - 제6회 기술강좌 교재 -

- 집필진 : 김상식, 최기봉, 김중구, 윤호기, 김광환, 이동우, 윤영호, 양지수, 류영섭
- A4, 436면/ 정가 22,000원 (회원 20,000원), 우송시 송료 2,100원 별도부담

철근 콘크리트 구조설계메뉴얼

- 본서는 극한강도 설계공식에 근거하여 도표와 설계예제를 작성하였으며, 그림을 이용하여 설계를 쉽고 빠르게 할 수 있고, 또 설계과정에서 반복되는 계산을 합축하여 계산과정을 단축시켜 설계실무에 편리하도록 집필되어 있다.
- 제1권 : 보·브라켓·기초의 설계 · 제2권 : 기둥·벽체의 설계 · 제3권 : 슬래브의 설계
- A4, 3권/ 정가 37,000원 (회원 10% 할인), 우송시 송료 2,700원 부담