

# 교면 포장 및 바닥판 손상 방지를 위한 내부 침투수 처리시스템 개발

## A Development of the Trapped Water Drainage System to Prevent the Deterioration of Deck Slab and Pavement.

조서연\*    한범성\*\*    이상달\*\*\*    이성수\*\*\*\*    이상순\*\*\*\*\*    이일용\*\*\*\*\*  
Cho, Seo Yeon    Han, Bum Sung    Lee, Sang Dal    Lee, Sung Soo    Lee, Sang Soon    Lee, Il Yong

### ABSTRACT

Reinforced concrete deck slabs are directly affected by traffic loads and they are also susceptible to weather-related problems, such as cracking, reinforcement corrosion, spalling, scaling, delamination, leakage, efflorescence and so on. Some of these defects are caused by water which seeps through pavements and trapped between pavements and deck slabs. For durability of reinforced concrete deck slabs and pavements, it is very important to protect deck slabs and drain the trapped water out. To develop the trapped water drainage system, the following studies have been performed in Korea Highway Cooperation: related researches are reviewed; for six bridges, deck slabs are thoroughly investigated; new system to effectively drain the trapped water out is proposed; the proposed system is installed and evaluated. The proposed system is proved to be effective to drain the trapped water out and is expected to increase the durability of reinforced concrete deck slabs.

### 1. 서론

철근콘크리트 바닥판은 반복되는 차량하중에 직접 노출되고 동결융해, 부식, 콘크리트 열화 등의 손상이 발생되기 쉬운 부재이다. 교면포장과 바닥판의 내구성 확보를 위해서는 무엇보다도 배수 및 방수가 중요하다. 바닥판의 손상은 교면수보다는 내부침투수와 보다 밀접한 관계가 있다. 바닥판 슬래브는 차로부는 텍크피니셔(deck finisher)로 면마무리를 하여 요철이 작으나 갓길 부분은 인력마무리를 하고 있어 요철이 발생되기 쉬우며, 이러한 요철부위에 물이 고여 콘크리트의 열화 및 철근 부식을 촉진시키는 사례가 많다.

본 연구의 목적은 교면포장 및 바닥판 손상을 방지하기 위한 보다 효과적인 내부침투수 처리시스템을 개발하는 것이다. 이를 위해서 수행한 주요 연구내용을 기술하면 다음과 같다. 1999년도에 폐교, 노후교량 조사 등을 통하여 물에 의한 바닥판 손상상태를 조사하고 문헌연구를 통하여 바닥판 열화기구 및 원인을 정리하였다. 2000년도에는 국내외 교면수 및 내부침투수 처리 방안을 비교·검토하고, 적용사례 분석 등을 통하여 기존 시스템의 문제점을 도출하였다.

- \* 정회원, 한국도로공사 도로본부장
- \*\* 정회원, 한국도로공사 구조물실 실장
- \*\*\* 정회원, 한국도로공사 구조물실 부장
- \*\*\*\* 정회원, 한국도로공사 구조물실 과장
- \*\*\*\*\* 정회원, 한국도로공사 구조물실 대리

또한 내부침투수 처리시스템 개선 안을 도출하고 시험시공을 시행하였다. 그리고 2001년도에는 제안된 내부침투수 처리시스템의 효과를 파악하기 위하여 추적조사를 실시하였다.

## 2. 철근콘크리트 바닥판의 주요 열화 원인

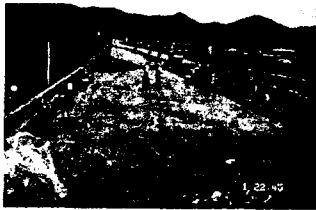
### 2.1 염화물에 의한 철근 부식

강알칼리성인 건전한 콘크리트 속에 묻힌 철근의 표면에는 치밀한 부동태막(두께 200~600nm)이 형성되기 때문에 일반적으로 부식되지 않는다. 콘크리트 속에 염화물이온이 일정량 이상 존재하면 부동태막이 파괴되고 철근이 부식되기 쉬운 상태가 된다. 부동태막이 파괴되면 염분이나 알칼리 농도차 등에 의하여 강제표면의 전위가 불균일하게 되어 아노드부(anode, 양극)와 캐소드부(cathode, 음극)가 생겨 전류가 흘러 부식이 발생한다. 국내 고속도로의 경우에 제설재로 염화물이 주로 사용되고 있으며, 제설작업을 위하여 투입된 평균염화물 사용량은 2차로 기준으로 최근 5년 평균 2,200kg/km이다[1]. 철근부식이 바닥판의 강도 및 내구성에 미치는 영향은 다음과 같다.

- 강제부식으로 생긴 녹의 체적은 원래의 강제 체적보다 크기 때문에 부식압에 의하여 균열이 발생되고 철근피복이 박리 또는 박락된다.
- 철근과 콘크리트의 단면감소 및 콘크리트의 열화는 철근콘크리트 바닥판의 휨 및 전단내하력을 감소시킨다.

### 2.2 동결융해에 의한 열화

콘크리트 속에 함유되어 있는 수분이 동결되면 9%의 체적팽창이 발생하여 콘크리트 조직의 파괴를 유발한다. 경화된 콘크리트의 동결융해 저항성은 한계포수도(限界飽水度)이하에서는 높으며, 건조상태의 콘크리트는 동해에 의한 영향을 거의 받지 않는다. 그러나 내부침투수에 의하여 콘크리트가 한계수포도 이상의 수분을 함유하게 되면 동결융해저항성이 급격히 감소된다.



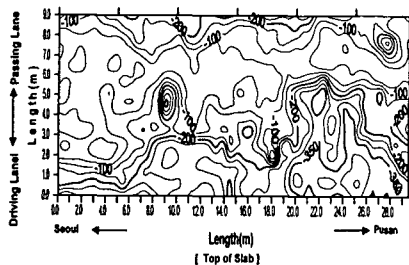
(a) 바닥판 표면열화



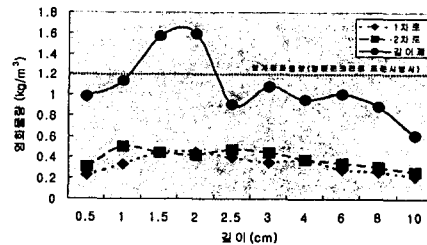
(b) 콘크리트 열화



(c) 철근부식



(d) 전위차 측정결과

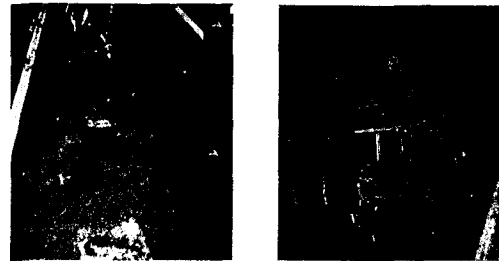


(e) 차로별 염화물량

그림 1 공용년수 30년인 슬래브교 열화상태

### 2.3 차량하중 반복작용에 의한 피로

철근콘크리트 바닥판은 두께가 얇은 판구조이고 휨모멘트가 거동에 지배적이므로 탄성박판휨 이론에 의하여 설계가 이루어지나 기존의 파손사례를 살펴보면 콘크리트의 압괴 및 철근의 인장 파단에 의한 파괴는 관찰되지 않았으며, 대부분 바닥판 하단에 발생된 균열이 시간이 진행됨에 따라 점진적으로 발달하여 이른바 거북등 형상의 균열망이 형성되어 부분적으로 콘크리트가 함몰되어 떨어져 나가는 형상을 갖는다.



(a) 상면

(b) 하면

그림 2 철근콘크리트 바닥판의 편칭피로파괴

바닥판의 피로수명(파괴될 때까지 반복재하횟수)은 가해진 하중의 크기와 밀접한 관련이 있다. 松井은 많은 피로시험을 통하여 바닥판에 작용하는 윤하중의 크기와 피로수명의 관계를 도출하였으며,

다음 식을 제안하였다[2]. 아래 식에서  $P$ 와  $P_{sx}$ 는 각각 바닥판에 가해지는 윤하중의 크기와 편칭전단내력을 의미하며  $N$ 은 바닥판이 파괴될 때의 반복재하횟수이다.

$$\log(P/P_{sx}) = 0.208 - 0.08 \log N$$

위 식은 콘크리트가 건조상태이고 윤하중을 제외한 환경적 영향을 받지 않는 조건에서 윤하중 크기와 피로수명과의 관계이다. 일반적으로 방수층이 취약하거나 손상된 경우 침투수에 의하여 바닥판이 습윤상태로 놓이게 되며, 이러한 상태에서의 바닥판의 수명은 건조상태에만 있는 바닥판과는 피로수명이 상당한 차이를 보일 수 있다. 松井의 실험결과에 의하면 습윤상태(바닥판 상면에 물을 준 실험)에서의 바닥판의 피로편칭전단강도는 건조상태의 약 50%정도이다[2].

## 3. 내부침투수 처리시스템 개발

### 3.1 집수구 개선

기존 집수구가 안고 있는 문제점을 살펴보면 다음과 같다.

- 1) 기존 집수구는 배수관과 일체로 되어 있으며 집수구 측면에 배수구멍이 없기 때문에 내부침투수를 배수시키지 못하여 내부침투수가 집수구 주위에 고여 바닥판 하면에 누수 및 백태를 야기시킨다.
- 2) 집수구 상단이 바닥판의 상면보다 높게 설치될 경우에 난간시공 장비에 의해 손상되기 쉽다. 또한, 재포장시에 포장절삭작업에 장애가 되고 절삭장비에 의해 집수구가 손상될 수 있다.
- 3) 집수구 상단이 바닥판 상면 높이에 맞추어 설치될 경우에는 집수구 주변 포장은 충분한 다짐이 이루어지기 어렵고, 오물 및 이토에 의하여 집수구가 막히기 쉽다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 집수구와 배수관이 분리되고 집수구 측면에 침투수 배수용 구멍이 있는 개선된 집수구를 개발하였다. 개선된 집수구의 특징을 간략하게 기술하면 다음과 같다.

- 1) 집수구 측면에 배수구멍을 설치하여 집수구 주위에 고이는 내부침투수를 배수처리하였다.
- 2) 집수구와 배수관을 결합하여 설치하고 바닥판 콘크리트를 타설·양생한 이후에 집수구를 분리시킨

- 다음 난간이나 중앙분리대를 시공함으로써 장비에 의한 집수구가 손상되는 것을 방지하였다.
- 3) 집수구가 손상되거나 포장두께가 바뀌는 경우와 같이 집수구의 교체가 필요한 경우에 교체가 쉽다.
  - 4) 집수구를 바닥판보다 약 4.5cm높게 설치하여 오물에 의하여 집수구가 막히는 것을 줄여주었다.

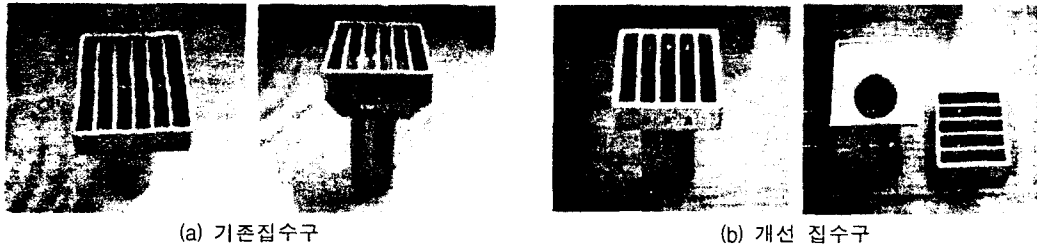


그림 3 기존 및 개선 집수구

### 3.2 내부침투수 처리시스템 개발

그림 4와 그림 5는 1994년 일본도로공단 시험연구소에서 제안한 내부침투수 처리시스템을 도식화한 것이다[3,4]. 내부침투수가 고이기 쉬운 부분에 그림 4와 같이 배수파이프를 설치하고, 배수파이프를 설치하기 어려운 경우에는 그림 5와 같이 스프링 매쉬나 도수 테이프를 설치한다. 그림 6과 그림 7은 미국의 내부침투수 처리시스템을 도식화한 것이다[5,6]. 미네소타주에서는 그림 6과 같이 2인치 직경의 PVC파이프를 길어깨에 6피트 간격으로 설치하고 있으며, 콘네티컷주에서는 그림 7과 같이 1.5인치 PVC파이프를 20피트 간격으로 설치하고 있다. 물고임이 예상되는 신축이음과 집수구 주위에는 추가로 PVC파이프를 설치하고 내부침투수 배수파이프가 막히지 않도록 아연도금 철망을 설치하고 있다.

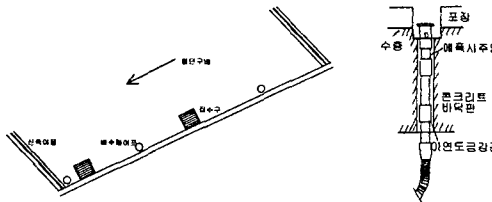


그림 4 배수파이프에 의한 배수처리(일본)

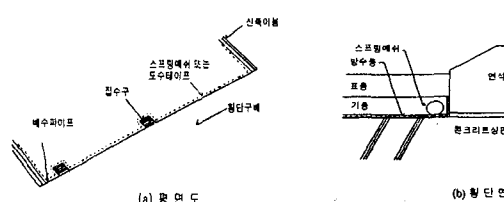


그림 5 스프링 매쉬에 의한 배수처리(일본)

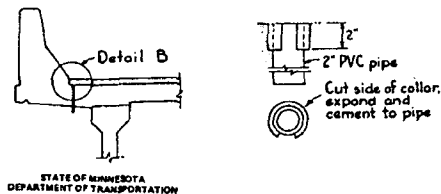


그림 6 미네소타주 내부침투수 처리시스템

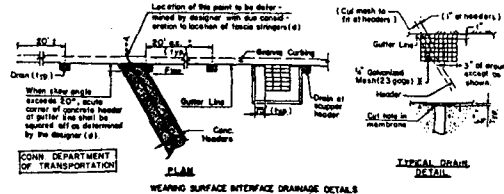


그림 7 콘네티컷주 내부침투수 처리시스템

국내·외에서 적용된 내부침투수 배수처리시스템의 문제점을 기술하면 다음과 같다.

- 1) 기존의 내부침투수 배수시스템에서는 유공관을 바닥판 상면에 설치함으로써 내부침투수가 배수되지 못하고 요철부에 고일 수 있다.
  - 2) 아스팔트 포장시 유공관이 변형되거나 막힐 가능성이 있다.
  - 3) 유공관과 내부침투수 배수관이 별개로 설치되므로 효율성이 떨어진다.
  - 4) 포장절삭 작업도중에 유공관이 손상될 수 있으므로 재포장시 유공관을 다시 설치하여야 한다.
- 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 개선된 내부침투수 처리시스템을 제안하였다. 제안된 시스템의 특징을 기술하면 다음과 같다.

- 1) 바닥판 상면의 요철에 관계없이 유공관에 모인 물이 집수구나 내부침투수 배수관으로 흘러갈 수 있도록 바닥판에 U형 홈을 파거나 U형 성형재를 설치한다.
- 2) U형 홈 내부에 유공관을 삽입하여 설치하고 아연도금 철망으로 보호함으로써 아스팔트 포장작업으로 인하여 유공관의 변형 또는 막히는 것을 미연에 방지하였다.
- 3) 침투수 배수관을 약 5m간격으로 설치하므로써 침투수 배수거리를 줄여 주었다.
- 4) 유공관과 내부침투수 배수관을 상호 연결하여 시공함으로써 내부침투수 배수효과를 증대시켰다.

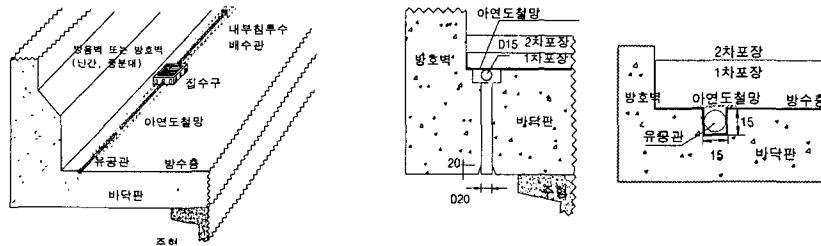


그림 8 제안된 내부침투수 처리시스템

#### 4. 시험시공 및 효과분석

제안된 내부침투수 배수처리시스템의 효과를 검증하기 위하여 6개의 교량에 시험시공을 실시하였다. 그림 9(a)는 내부침투수 배수시스템 설치 전에 물이 고이는 정도와 위치를 파악하기 위하여 콘크리트 바닥판 상면에 물을 살포하고 일정시간이 경과된 이후의 교면 상태이다. 집수구와 집수구 사이의 인력으로 바닥판 면마무리가 이루어진 요철부에 물고임 현상이 관찰되었다. 그림 9(b)는 유공관, 내부침투수 배수관을 설치한 이후에 살수차를 투입하여 다시 물을 살포한 후의 배수상태 사진이다. 요철부에 물고임 현상은 나타나지 않았으며, 콘크리트 바닥판 위에 살수된 물은 집수구 및 내부침투수 배수관을 통하여 조기에 배수되었다.

표 1은 동계제설작업 기간동안 C교와 D교에 대한 침투수 배수구를 통하여 배수되는 물의 양을 측정한 결과이다. 2001년 2월 15일에 약 30cm의 눈이 내렸으며, 현장조사는 2월 20일에 실시하였다. 제설작업 이후에 약 5일이 경과되었는데도 불구하고 길어깨에는 상당량의 눈이 쌓여 있는 상태였다. 측정 당시 외기온도는 약 2℃이고 침



(a) 설치전



(b) 설치후

그림 9 내부침투수 배수시스템의 배수효과(E교)

투수 배수구를 통하여 배수되는 물의 양은 C교의 경우에는 분당 0.5 l 이고 D교의 경우에는 0.7~1.0 l 이었다. 상당히 많은 양의 물이 포장면을 통하여 침투되며, 본 연구에서 개발한 내부침투수 처리시스템이 효과적으로 이러한 포장체로 침투한 물을 배수시키는 것을 알 수 있었다.

건전한 콘크리트의 상대유전율은 4~10이고 물의 상대유전율은 약 80이다. 내부침투수가 배수되지 못하고 교면포장과 바닥판사이에 물이 고여 있으면 건전한 부위에 비하여 상대유전율이 크다. 이러한 원리를 이용하여 상판누후도 측정장비(BDIS)로 D교에 대하여 상대유전율을 측정하여 배수효과를 검토하였다. 내부침투수 배수시스템 설치된 이후에 상대유전율이 약 20%정도 감소하였다.

표 1 침투수 배출량 측정 결과

구분		C교	D교
적설량 및 기온	일 자	2001. 2. 15	2001. 2. 15
	적설량	30cm	30cm
	온 도	-7~1℃	-7~1℃
침투수 배출량	일 자	2001. 2. 20	2001. 2. 20
	온 도	2℃	2℃
	배출량	0.5 l /분	0.7~1.0 l /분

표 2 D교 상대유전율 측정결과

구 분	상대유전율		증(△)감
	시스템 설치전	시스템 설치후	
평 균	12.74	10.41	△18.3%
3차로	12.39	10.43	△15.8%
4차로	11.4	9.47	△16.9%
길어깨	14.43	11.32	△21.6%
조사시기	'99. 9. 7	'01. 4. 4	

## 5. 결론

교면포장 및 바닥판 손상방지를 위한 내부침투수 처리방안에 대한 연구로부터 도출한 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 기존의 집수구 및 내부침투수 처리 시스템의 문제점을 파악하고 개선방안을 도출하였다.
- 2) 시험시공 대상교량에 대하여 육안관찰과 상판누후도 측정장비(BDIS)를 통하여 내부침투수 처리효과를 검토한 결과, 본 연구에서 개발한 시스템이 내부침투수를 효과적으로 배수시키는 것으로 평가되었다.
- 3) 본 연구에서 제안한 내부침투수 배수시스템은 교면포장과 바닥판의 내구성 확보에 상당히 효과적일 것으로 기대된다.
- 4) 신설교량에 본 연구에서 제안한 내부침투수 배수시스템을 도입하는데 소요되는 비용은 기존집수구만 설치하는 경우에 비하여 약 5배가 소요된다. 그러나, 보수비용을 고려할 때 본 연구에서 제안한 내부침투수 배수시스템이 경제성이 있는 것으로 평가되었다.

## 참고문헌

1. 한국도로공사, 고속도로 제설대책 및 실적 분석, 2000.
2. 阪神高速道路公團, 道路橋RC床版のひびわれ損傷と耐久性.
3. 민경건설(주), 교면포장물빼기 공법(Slab Drain), 1998.
4. 일본도로공단 시험연구소, 재료시공자료(제4호) 콘크리트 상판방수공, 1994.
5. Park, S. H., Bridge Rehabilitation and Replacement(Bridge Repair Practice), 1984.
6. Park, S. H., Bridge Inspection and Structural Analysis (Handbook of Bridge Inspection), Second Edition, 2000.