

고속도로 시멘트 콘크리트 포장에서의 재료 원인 파손

Distresses caused by Material on Cement Concrete Pavement in Highways

유태석*, 홍승호**, 김홍기***, 한승환****

Yoo, Tae Seok, Hong, Seung Ho, Kim, Hong Gi, Han, Seung Hwan

1. 서 론

일반적으로 적절한 설계와 시공에 의해 건설된 고속도로 시멘트 콘크리트 포장은 설계수명 기간 동안에 충분한 구조적 성능과 내구성능을 발휘하게 된다. 그러나 일부 고속도로 시멘트 콘크리트 포장이 수명기간 동안에 예기치 않은 파손을 일으켜 유지관리 비용을 증가시키는 사례가 가끔 발생되어지고 있다. 이들 중의 대부분은 환경의 영향에 의해 콘크리트 재료 불성에 원인이 기인하는 경우이며, 공학 기술자들이 알고 있는 일반적인 통념과는 달리 콘크리트 재료가 상당히 복잡한 화학적 물리적 특성을 갖고 있기 때문이다. 따라서 시멘트 콘크리트 포장의 재료적 특성을 충분히 이해하고, 재료적 원인에 의한 파손(MRD, Material Related Distress)의 직접적 원인을 규명하여 보수 및 보강 대책을 수립하는 것이 합리적인 유지관리에 매우 필요한 것으로 판단되며, 국내외적으로 이에 대한 중요성이 점차 부각되어 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 국내 고속도로 현장의 일부 개소에서 발생되어진 손상에 대한 원인 분석을 수행하여, 재료 원인 손상의 몇가지 유형을 분리하여 검토하였으며, 그 현황을 분석하였다. 이러한 연구결과는 단순히 손상의 원인 규명과 대책 수립을 뛰어넘어 보다 내구적인 고성능 시멘트 콘크리트 포장의 고속도로 적용을 위한 전 단계 연구로 유용할 것으로 판단된다.

2. 파손 현황 및 원인 분석

2.1 줄눈부 파손 구간

공용년수가 7년 정도 경과된 일부 콘크리트 포장 구간의 가로줄눈부와 세로 줄눈부에 많은 줄눈부 파손이 발생되어 손상 원인에 대한 조사 분석이 수행되었다. 본 조사는 이러한 현장 구간에 대한 시공자료분석, 현장조사, 및 결과분석을 통해 해당구간의 스펙링 발생 원인과 포장의 구조적 안전성, 그리고 포장의 기능 유지를 위한 보수, 보강 방안의 필요성 및 시행방법 등을 검토하는 것을 목적으로 하여 수행되었다.

2.1.1 줄눈부 파손 현황

줄눈부 파손구간에 대한 원인분석 및 대책 수립을 위한 조사는 육안조사, 평탄성조사, 지지력조사, 강도조사 그리고 기타 물성조사 등에 대한 전반적인 조사를 병행하여 실시하였다. 파손 형태를 수치화하기 위하여 미국 오하이오 도로국에서 줄눈 콘크리트포장의 프로젝트 레벨에서 수행하고 있는 PCR 방법을 사용하여 파손 형태를 슬래브별로 상·중·하 등급으로 구분하여 표현하였다. 줄눈 콘크리트포장에서는 다양한 형태(표면 파손, 스펙링,팝아웃, 팻칭, 펄핑, 침하 및 중·횡방향 균열 등)의 파손이 발생할 수 있으나, 본 조사 대상

* 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 콘크리트포장연구실 · 공학석사 · 031-371-3366(E-mail : Taeseok@freeway.co.kr)

** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 콘크리트포장연구실 · 공학석사 · 031-371-3364(E-mail : HSH373@freeway.co.kr)

*** 정회원 · 한국도로공사 도로처 포장부 · 공학사 · 02-2230-4474(E-mail : hkkim@freeway.co.kr)

**** 정회원 · 한국도로공사 도로연구소 콘크리트포장연구실 · 공학박사 · 031-371-3365(E-mail : hansu@freeway.co.kr)



구간의 경우는 줄눈부에 발생된 스폴링이 대부분으로 이 파손 형태만으로 파손 상태를 지수화하였다. 파손 상태 지수는 줄눈부에 전혀 파손이 없는 경우 "0" 이며 지수가 커질수록 안 좋은 포장 상태를 나타낸다.

표 1. 슬래브 구간별 누계 파손 상태 지수

슬래브 파손수	1-100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601-630
파손 누계	535	1143	1069	1058	544	1047	293

2.12 원인분석결과

여러 가지 조사 항목 중 주요한 파손 원인으로 결과가 도출된 것은 포장 콘크리트 내부의 공기량 미흡으로 파악되었으며, 이러한 내구성 확보인자의 미흡함이 다른 부차적인 원인과 결합되어 국부적인 파손의 집중을 유발한 것으로 판단되었다. 포장 콘크리트의 공기량 조사는 현장에서 채취한 $\phi 10\text{cm}$ 코아를 두께 3~5cm의 디스크 형태로 절단하여 표면에 분포된 공극의 형상과 크기를 ASTM C 457-98에 규정된 "현미경을 이용한 굳은 콘크리트의 공극구조 결정" 시험법에 근거하여 실시하였다.(ASTM C 457-98, Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete) 이 때 채취시편은 코아강도 결과를 위해 절단된 20cm를 제외한 나머지 부분에서 추출하여 시험을 수행하였다.

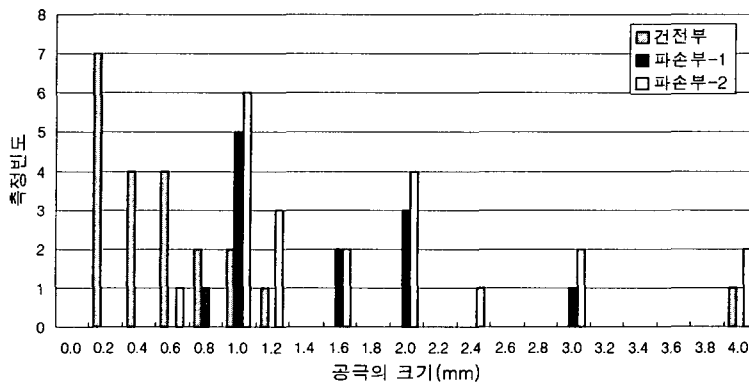


그림 1. 파손부의 공극구조 분포

검토구간이 갖는 공극의 분포가 그림 1에서와 같이 비교적 공극의 직경이 큰 1.0~3.0mm 사이에 많이 존재함을 알 수 있었는데, 이는 중부고속도로 채취 시편의 공극분포 특성과는 상당한 차이점이 존재하는 것으로 나타났다. 일반적으로 연행공기에 의한 기포는 작게 그리고 고르게 많이 분포하는 것이 내구성 향상에 많은 기여를 하는 것으로 알려져 있으며, 자연발생적인 기포는 이러한 조건을 만족시키지 못하는 경우가 많다.

따라서 이러한 공기량의 작음과 내구 공극조직의 양호하지 못함이 콘크리트의 내구특성을 저하시킬 수 있으며, 이러한 원인에 의해 다른 구간보다 더 재설제에 의한 열충격이나 동상을 더욱 많이 받아 줄눈부 파손이 심각하게 진행된 것으로 판단된다.

2.2 표면 마모 파손 구간

공용년수가 1년 정도 경과된 콘크리트 포장의 표면에 과도한 표면마모 및 국부적인 스폴링이 많이 발생하였다. 이러한 조기 파손이 발생한 구간에 대한 원인분석 및 대책수립을 위한 조사를 시행하였으며, 이에 대



한 분석의 결과 재료 원인 파손으로 결론지워졌던 한 사례이다.

2.2.1 표면 마모 파손 현황

공용 년수가 얼마 지나지 않은 콘크리트 포장 표면의 콘크리트가 뜯겨 나가는 형상의 과도한 스케일링 및 스폴링이 발생하였으며, 그러나 일반적인 취약부인 줄눈부의 파손집중이나 균열의 발생은 적고 포장 슬래브 중앙부, 줄눈부 등에 산재하여 있는 파손의 형태를 띠고 있었다. 그리고 타이바 삽입위치의 콘크리트 충전 이상으로 인한 표면흔적의 발생하였으며, 포장 표면의 미끄럼 저항 증진을 위해 설치된 타이닝이 차륜 궤적을 중심으로 해서 마모가 심하게 발생되어져 있었다. 이에 대한 파손 원인 분석을 위하여 강도, 사용골재, 공기량 등과 같은 재료특성 및 지지력, 하중전달계수 ed 과 구조특성, 그리고 시공 특성에 대한 광범위한 조사를 실시하였다.

2.2.2 원인분석결과

본 연구에서 수행된 광범위한 조사결과 중에 특이할 만한 사항 몇 가지를 파손의 주요 원인으로 판단하고 기술하기로 한다. 특히 이번 조사에서는 현미경을 이용한 광물학적인 분석을 사용한 것이 특이사항으로서 본 조사를 통해 본 파손구간의 주요파손 원인을 규명할 수 있었다.

파손구간의 콘크리트 포장의 건전부와 파손부로부터 현장 채취한 코아의 상단을 두께 방향의 관찰이 가능하도록 절단하여, 표면에서부터 깊이별로 Video Microscope를 통해 확대하여 얻어진 영상을 관찰하는 방법으로 시험이 수행되었다.



그림 2. 파손구간의 다공성 구조



그림 3. 일반 건전부의 밀실 구조

앞서의 그림 2는 콘크리트 포장 파손구간의 코아에서 얻어진 깊이별 현미경 사진으로 표면의 일부 콘크리트가 흰색을 띠며, 다공성을 가지고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 성긴 조직은 하부 콘크리트의 상대적으로 밀실한 조직과 구분이 되며, 수화물의 상대적인 부족과 공극이 많이 존재함을 알 수 있다. 이러한 콘크리트의 조직상에 나타나는 표면과 내부의 차이점들이 콘크리트 포장의 표면박리를 일으키는데 기여한 것으로 판단된다.

2.3 망상 균열 파손 구간

공용년수가 약 7년 정도 경과된 콘크리트 포장에 과도한 표면의 망상 균열과 내부 균열이 전 깊이에 발생하여 이에 대한 원인 분석과 대책수립을 위한 연구 검토가 수행되었다.

2.3.1 망상 균열 파손 현황

본 검토 대상 구간의 줄눈 콘크리트에 발생된 파손 유형은 차선과 포설 시점에 따라 파손의 정도와 범위

가 다양하게 나타났다. 전형적인 파손 유형은 포장 표면에 종방향으로 불규칙적인 균열이 발생되어 있으며, 일부 포장 단면에서는 횡방향 균열이 발생되어 있다. 파손이 심한 포장 단면에서는 포장체 일부 탈리가 심하게 발생되고 있다. 표면에서 발생된 종방향 균열은 불규칙한 깊이로 포장체 하부로 균열이 진전되고 있는 것이 관찰되었다. 또한, 포장의 깊이별로 포장체 내부에 불규칙적으로 수평한 방향으로 균열이 발생된 것이 관찰되었으며, 이 균열의 일부는 상부 및 하부 표면에서 발생된 수직 방향 균열과 연결되어 있는 것으로 관찰되었다.

2.3.2 원인분석결과

본 검토 구간에 대해서도 다양한 원인 분석을 위한 실험과 조사가 수행되었으며, 그 중에 균열이 있는 콘크리트에서 채취된 시편에 형광 시약을 처리한 후 자외선 광선을 비추게 되면 시약과 알칼리-골재 반응부에 화학반응에 의하여 노란색 형광 빛을 나타내는 것을 관찰할 수 있었다. 그리고 SEM X-ray 분석을 통하여 콘크리트 시편 내에 존재하는 생성물은 알칼리-골재 반응에 의한 생성물을 판별할 수 있었다. 이와 같은 분석 결과를 바탕으로 본 조사 대상 구간의 콘크리트포장의 파손 원인은 알칼리-골재 반응에 의한 파손으로 잠정적으로 결론을 도출하였다.

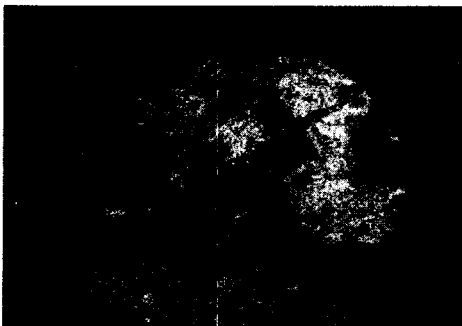


그림 4. 화학적 방법에 의한 ASR 분석

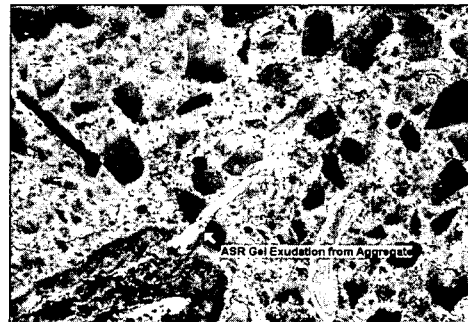


그림 4. SEM을 이용한 ASR 분석

3. 결론

앞서 기술한 바와 같은 일부 콘크리트 포장 구간의 파손 원인 분석을 통해 재료 원인 파손(MRD)에 대한 검토를 수행하였다. 이러한 MRD의 체계적 분석과 대책 수립을 통해 적절한 두께 설계를 통해 시공되는 콘크리트 포장의 공용수명이 확보될 수 있을 것이다. 다양한 시험 방법의 적용과 경험이 현장에 존재하는 다양한 문제 해결에 많은 도움이 될 것으로 기대하며, 아울러 고성능 콘크리트 포장의 달성을 위한 선결 사항으로 대두되는 MRD에 대한 체계적인 분석을 통해 고속도로 콘크리트포장의 고성능화가 달성될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Scott Schlorholtz, Determine Initial Cause for Current Premature Portland Cement Concrete Pavement Deterioration, Iowa DOT., TR-406, CTRE 97-13, 2000.
2. Hiller, J E., Neeraj Buch, and Thomas J. V., A Study of Materials-Related Distress in Michigan's PCC Pavement, MSU Pavement Research Center of Excellence, 1999.
3. S. DIAMOND, A review of alkali-silicate reaction and expansion mechanism. 2. Reactive aggregates, Cement and Concrete Research, 6, No.4, pp.549-60(July 1976)