

알칼리-골재 반응에 의한 무근콘크리트 포장의 파손 고찰

An Investigation of AAR Distress in the Plain Concrete Pavement

홍 승 호^{*}, 한 승 환^{**}, 안 성 순^{***}, 장 태 순^{****}
Hong, Seung Ho Han, Seung Hwan Ahn, Seong Sun Chang, Tae Sun

ABSTRACT

The Alkali-Aggregate Reaction (AAR) may cause a serious failure in the concrete structures. Several researchers in some nations have performed the continuous studies to prevent failure of a concrete structures by the AAR distress as well as the studies to manifest the mechanism. The ASTM Standards to prevent failure by potential AAR aggregates were established in 1950. The KS F2545 and KS F 2546 were established to test the susceptibility of aggregate to potential AAR in 1982. But the researches on the AAR have not been performed affluently in Korea because the distress due to AAR has seldom been reported officially.

In this study, the Chemical Method and Scanning Electron Microscopy (SEM) were used to verifying the cause of the pattern crack on the surface and internal crack in the plain concrete pavement. It can be concluded that the distress of a specific site in plain concrete pavement was mainly due to AAR, and the chemical method and SEM may be the effective tools for verifying the cause of AAR distresses.

1. 서론

알칼리-골재(Alkali-Aggregate Reaction : AAR) 반응은 발생시 일반적으로 콘크리트 구조물에 치명적인 손상을 일으키는 경우가 대부분이다. 따라서 미국 등지에서는 지속적인 연구가 이루어져오고 있으며, 이에 대한 예방을 위해 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법에 대한 ASTM 규정을 제정하는 등의 노력을 기울이고 있다^(1,2,3). 그러나 국내에서 1982년부터 KS에 화학적인 방법(KS F2545), 모르타르봉 시험방법(KS F 2546)과 같은 규정이 제정되었으나, 실제 구조물에서 알칼리-골재 반응에 의한 피해사례가 거의 보고되지 않아 연구가 활발하게 이루어지고 있지 않은 실정이다^(4,5,6,7). 본 연구에서는 화학적 분석 및 전자현미경분석 등의 다양한 방법을 사용하여 무근콘크리트포장에 발생한 망상균열 및 내부균열의 발생원인을 분석하여, 알칼리-골재 반응의 현상을 규명하였다.

1.1 연구배경 및 목적

본 연구는 우리나라 고속도로의 일부 무근 콘크리트포장에 발생된 망상균열의 발생 원인을 규명하기 위하여 시행되었다. 일부 구간의 무근 콘크리트포장에 발생된 파손 형태는 표면의 망상균열과 포장

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 연구원

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 책임연구원 · 공학박사

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 원장

**** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 재료환경그룹 연구원

깊이에 따른 불규칙적인 내부 수평균열이 발생되어 있다. 일부 파손이 심한 포장에서는 스폴링이 크게 발생한 상태이며, 시간 경과에 따라 파손이 확대되는 현상이 관찰되었다.

본 연구의 목적은 콘크리트포장에서 발생한 균열의 원인 규명을 위하여 수행된 실험결과로서 알칼리-골재 반응의 화학적인 검증 방법인 AASHTO T299-2000⁽⁸⁾과 전자현미경(SEM)을 이용한 분석을 수행하여 무근 콘크리트 포장에서 발생한 균열의 원인을 규명하고자 하였다.

1.2 무근 콘크리트포장 건설현황

조사 대상 현장은 1996년 6m 간격의 줄눈 무근 콘크리트포장으로 건설되어 공용 수명이 7년 경과된 포장이다. 콘크리트포장의 배합 기준은 표 1과 같다. 본 구간은 왕복 6차선 줄눈 콘크리트포장으로 1, 2차로가 먼저 시공된 후 28일 양생 후에 3차로가 건설되었다.

표 1 콘크리트포장 배합설계

| 설계 기준강도 (kg/cm ²) | 골재 최대치수 (mm) | 슬럼프 (cm) | 공기량 (%) | 단위수량 (kg/m ³) | 단위 시멘트량 (kg/m ³) | W/C (%) | S/A (%) | 잔골재 (kg/m ³) | 굵은골재 (kg/m ³) | | AE감수제 (%) |
|-------------------------------------|--------------------|-------------|------------|------------------------------|------------------------------------|------------|------------|-----------------------------|------------------------------|-----|--------------|
| | | | | | | | | | 19 | 32 | |
| 45 | 32 | 4이하 | 3~6 | 157 | 341 | 46 | 40.5 | 748 | 219 | 878 | 0.0682 |

1.3 파손 발생 형태

본 조사 대상 구간의 무근 콘크리트 포장에 발생한 파손 유형은 차로와 포설 시점에 따라 파손의 정도와 범위가 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 발생한 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 발생한 수직 방향 균열과 연결되어 있는 것으로 관찰되었다. 파손이 심하지 않은 포장의 경우 횡방향과 종방향 줄눈 인접부에 균열이 발생되어 있으며, 파손이 심한 단면은 6m 줄눈 간격의 포장체 전체에 균열이 발생되어 있다.

2. 원인 분석 및 결과

본 조사 대상 구간의 배합에 사용된 골재는 잔골재의 경우 해사를 세척하여 사용하였으며, 굵은 골재는 석산에서 생산된 쇄석 골재로 콘크리트 포장 사용기준인 최대 골재 크기로 32mm 이하가 사용되었다. 현장에서 균열이 있는 코어 시편을 채취하여 이 시편에 포함되어 있는 굵은 골재를 대상으로 편광현미경을 이용한 암석화학적 분석을 수행하였다. 15종의 굵은 골재를 분석했는데 8종이 변성암 종류인 편마암이었고, 5종은 각섬암이 분석되었다. 편마암 골재의 주성분으로는 석영, 사장석, 흑운모, 방해석 등이었으며, 이중 석영은 파동소광 현상을 보이며 이와 같은 석영이 시멘트 성분과 반응성이 있는 것으로 보고된 광물이다. 현장에서 채취된 코어 시편의 균열 절단면에서 편암과 편마암 골재 주위로 알칼리-골재 반응이 발생하여 백색으로 변색된 물질을 관찰할 수 있었다.

2.1 화학적인 방법을 이용한 실험 및 결과

본 연구에서는 미국에서 최근에 현장 구조물의 알칼리 골재 반응 확인을 위해 적용하고 있는 "AASHTO T299-2000 Standard Method of Test for Rapid Identification of Alkali-Silica Reaction Products in Concrete"⁽⁹⁾ 방법을 적용하여 실험을 수행하였다. 이 실험법은 알칼리-골재 반응이 발생된 콘크리트 시편에 반응성 물질과 반응하는 형광 시약을 살포한 후 특정한 강도의 자외선을 비추게

되면 반응성 물질이 발생된 지점에서 형광 시약이 발광하는 현상의 관찰을 통하여 알칼리-골재 반응을 확인할 수 있다. 본 실험에서 일반 광선에서는 그림 1과 같이 알칼리-골재 반응을 확인할 수 없는 반면에, 이 시험 방법으로는 채취된 시편에 형광 시약을 처리한 후 자외선 광선을 비추게 되면 그림 2와 같이 시약과 알칼리-골재 반응부에 화학반응에 의하여 노란색 형광 빛을 나타내는 것을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 실험을 통하여 본 조사 대상 구간의 콘크리트포장은 알칼리-골재 반응에 의한 파손으로 잠정적인 결론을 얻을 수 있었다.



그림 4 일반광선 상태

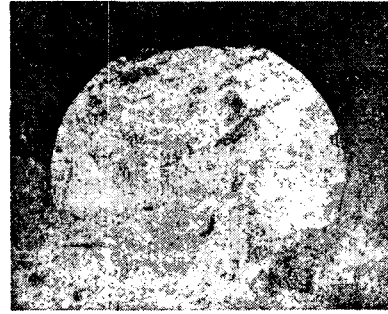


그림 5 자외선광선 시편

2.2 전자현미경 분석 및 결과

본 연구에서는 광학 현미경을 통하여 그림 3에서 보는 바와 같이 균열이 있는 골재로부터 ASR 반응 물질이 시멘트 페이스트의 균열에 충전된 것을 볼 수 있었고, SEM 분석에서 시멘트 페이스트 균열부에서 ASR겔을 관찰할 수 있었다. 전자현미경의 X-ray 분석 시스템을 이용하여 그림 5의 원안의 콘크리트 시편 내에 있는 생성물을 분리하여 건조한 후 SEM의 X-ray 분석 시스템으로 분석하였다. 콘크리트 시편 내에 포함되어 있는 이 생성물은 균열을 따라 외부로 유출되어 경화하며 수분과 접촉하는 경우 쉽게 부서지는 현상을 보였다. SEM 분석에서 시멘트 페이스트에 대한 X-ray 스펙트럼은 그림 5에서 보는 바와 같이 Si, Ca, Al 순으로 피크값을 관찰할 수 있었다. AAR겔에 대한 X-ray 스펙트럼은 그림 6에서 보는 바와 같이 Si, Al, K 순으로 피크값이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. Si 성분은 골재의 주요 구성분이며, K 성분은 알칼리-골재 반응을 일으키는 주요 알칼리 이온으로 이 시편의 생성물에서는 K의 알칼리 이온이 매우 많이 포함되어 있는 것을 확인할 수 있었다. SEM X-ray 분석을 통하여 콘크리트 시편 내에 존재하는 생성물은 알칼리-골재 반응에 의한 생성물로 판정되었다. 이와 같은 분석 결과를 바탕으로 본 조사 대상 구간의 콘크리트포장의 파손 원인은 알칼리-골재 반응에 의한 파손으로 잠정적으로 결론을 도출하였다.

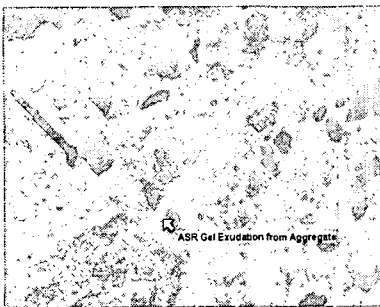


그림 6 시편내 알칼리-골재 반응 물질

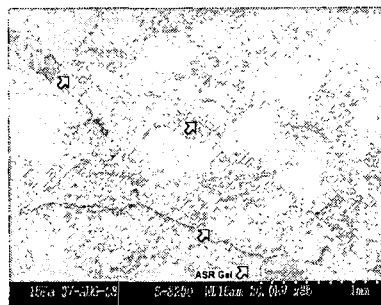


그림 7 알칼리-골재 반응 겔(SEM)

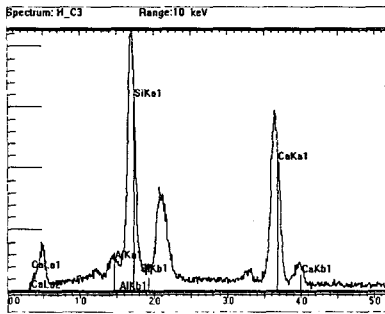


그림 8 시멘트 X-ray 스펙트럼

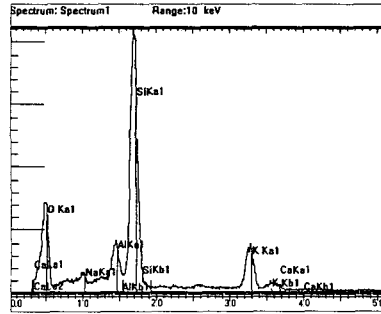


그림 9 AAR 겔 X-ray 스펙트럼

3. 결론

본 연구에서는 현장 자료와 실내 실험 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 균열이 있는 콘크리트에서 채취된 시편에 형광 시약을 처리한 후 자외선 광선을 비추게 되면 시약과 알칼리-골재 반응부에 화학반응에 의하여 노란색 형광 빛을 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 실험을 통하여 본 조사 대상 구간의 콘크리트포장은 알칼리-골재 반응에 의한 파손으로 잠정적인 결론을 얻을 수 있었다.
- (2) SEM 분석에서 시멘트 페이스트에 대한 X-ray 스펙트럼은 Si, Ca, Al 순으로 피크값을 관찰할 수 있었다. AAR겔에 대한 X-ray 스펙트럼은 Si, Al, K 순으로 피크값이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다. SEM X-ray 분석을 통하여 콘크리트 시편 내에 존재하는 생성물은 알칼리-골재 반응에 의한 생성물로 판정되었다. 이와 같은 분석 결과를 바탕으로 본 조사 대상 구간의 콘크리트포장의 파손 원인은 알칼리-골재 반응에 의한 파손으로 잠정적으로 결론을 도출하였다.

참 고 문 헌

1. STANTON, T. E. Eng. News Rec., 124, 171-3(1940).
2. 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).
3. KS, 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(화학적인 방법), KS F 2545, 1997 개정.
4. KS, 시멘트와 골재의 배합에 따른 알칼리 잠재 반응 시험 방법(모르타르봉 시험방법), KS F 2546, 1997 개정.
5. 한국건설기술연구원, 국내 채석 골재의 화학반응성 연구, 건기연 93-SE-112-2, 1993.12.
6. 최형식, 알칼리 골재반응으로 인한 수공구조물의 손상과 보수기법, 대한토목학회지, Vol.48 No.2 [2000], 대한토목학회, 25-31, 2000.
7. 윤재환, 이도현, 콘크리트용 부순모래의 알칼리·골재 반응성에 관한 연구, 大韓建築學會論文集, Vol.17 No.5 [2001], 대한건축학회, 103-108 (6쪽), 2001.
8. AASHTO, Rapid Identification of Alkali-Silica Reaction Products in Concrete, AASHTO T299-93(2000), 2002.