

줄눈 콘크리트포장의 알칼리-골재 반응 피해 연구

Deterioration by Alkali Aggregate Reactivity on the Jointed Concrete Pavement

홍승호* · 한승환** · 박상욱*** · 박경원****

Hong, Seung ho · Han, Seung Hwan · Park, Sang Wook · Park, Kyoung Won

1. 서 론

콘크리트 구조물은 알칼리-골재(Alkali-Aggregate Reaction : AAR) 반응이 발생시 구조적으로 치명적인 손상이 발생하는 경우가 대부분이다. 콘크리트 포장의 경우 대기환경 및 교통하중에 직접 노출되는 구조로서 알칼리-골재 반응이 발생하는 경우 동결-융해 현상 및 교통 하중과 같은 다른 영향들이 복합적으로 작용될 수 있어 파손의 진전속도 및 규모가 크게 발생된다. 이런 파손의 진전속도 때문에 AAR이 발생된 콘크리트 구조물은 건설 당시의 내구성을 확보하기가 매우 어렵다. 콘크리트 구조물에 대한 알칼리-골재 반응에 대하여 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). 본 연구에서는 알칼리-골재 반응에 의해 영향을 받은 줄눈 콘크리트포장에서 균열 및 파손 원인을 분석하기 위하여 전자현미경분석(SEM) 방법을 사용하였다. 이 분석 방법으로 줄눈 콘크리트포장에 발생한 망상균열 및 내부균열의 발생 원인이 알칼리-골재 반응에 의한 것으로 규명되었다.

2. 줄눈 콘크리트포장 건설현황

알칼리-골재 반응에 의해 피해가 발생한 고속도로는 1996년 6m 간격의 줄눈 콘크리트포장으로 건설되어 공용 수명이 7년 경과된 포장이다. 콘크리트 포장의 배합 기준은 표 1과 같이 28일 휨 강도가 45kg/cm²이며, 콘크리트포장의 배합 설계는 표 2와 같다. 줄눈 콘크리트 포장 배합에 사용된 골재의 품질 시험결과는 표 3과 같다. 본 구간은 왕복 6차선 줄눈 콘크리트포장으로 1, 2차로가 먼저 시공된 후 28일 양생 후에 3차로가 건설되었다.

* 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 박사과정 · E-Mail : HSH373@freeway.co.kr
** 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 박사 · E-Mail : hansu@freeway.co.kr
*** 한국도로공사 도로처 부장 · E-Mail :psw@freeway.co.kr
**** 한국도로공사 도로처 과장 · E-Mail : pkw@freeway.co.kr

표 1 줄눈 콘크리트포장 배합 기준

구분	기준강도 (σ_{bk})	증가계수 (%)	배합강도	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	쇄석 골재 구분	조골재 크기
기준	45 kg/cm ²	15	51.75 kg/cm ²	4	4	32~19m/m 19~5m/m	Gmax=32m/m

표 2 줄눈 콘크리트포장 배합설계

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	
4이하	3~6	157	341	46	40.5	748	219	878	0.0682

표 3 골재 품질 시험 결과

굵은 골재					잔골재				골재원
표건비중	흡수율 (%)	단위중량 (t/m ³)	마모율 (%)	조립율 (%)	표건비중	흡수율 (%)	단위중량 (t/m ³)	조립율 (%)	
2.720	0.8	1.586	17.4	6.57	2.640	1.04	1.537	2.66	잔골재 : 경기 평택 굵은골재 : 충남 아산

3. 파손 발생 형태

본 조사 대상 구간의 줄눈 콘크리트 포장에 발생된 파손 유형은 차로와 포설 시점에 따라 파손의 정도와 범위가 다양하게 나타났다(그림1, 사진2). 전형적인 파손 유형은 포장 표면에 종방향으로 불규칙적인 균열이 발생되어 있으며, 일부 포장 단면에서는 횡방향 균열이 발생되어 있다. 파손이 심한 포장 단면에서는 포장체 일부에서 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. 파손이 심하지 않은 포장의 경우 횡방향과 종방향 줄눈 인접부에 균열이 발생되어 있으며, 파손이 심한 단면은 6m 줄눈 간격의 포장체 전체에 균열이 발생되어 있다.

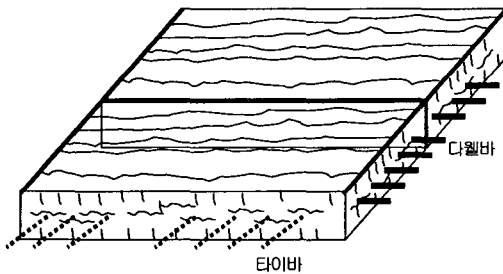


그림 1 전형적인 파손 형태

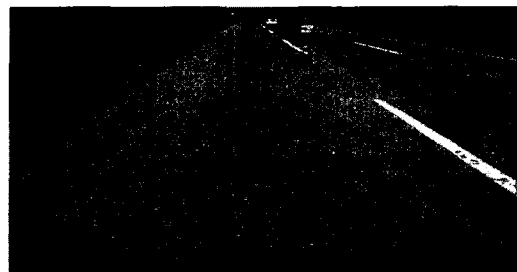


사진 2 알칼리-골재 반응 손상구간



4. 원인 분석 및 결과

현장에서 균열이 발생된 포장체에서 코어 시편을 채취하여 이 시편에 포함되어 있는 굵은 골재를 대상으로 편광현미경을 이용한 암석학적인 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 골재 주위로 알칼리-골재 반응이 발생하여 백색으로 변색된 물질을 관찰할 수 있었다(그림3). 콘크리트 코어 시편은 사진 4에서 보는 바와 같이 내부 균열과 균열면에서 알칼리-골재 반응에 의한 백색 생성물을 관찰할 수 있다.



사진 3 콘크리트 시편내 반응환



사진 4 콘크리트 코어 시편 균열

본 연구에서는 광학 현미경을 통하여 그림 5에서 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. SEM의 X-ray 분석 시스템을 이용하여 콘크리트 시편 내에 있는 생성물을 분리하여 건조한 후 SEM의 X-ray 분석 시스템으로 분석하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 시멘트 페이스트의 X-ray 스펙트럼에서는 Ca, Si, Al 순으로 높은 피크값을 분석되었으며, AAR겔에서는 그림 8에서 보는 바와 같이 Si, K, Ca, Al 순으로 높은 피크값이 분석되었다. Si 성분은 골재의 주요 구성분이며, K 성분은 알칼리-골재 반응을 일으키는 주요 알칼리 이온으로 반응이 발생된 시편의 생성물에서는 K의 알칼리 이온이 매우 많이 포함되어 있는 것을 확인할 수 있었다. SEM X-ray 분석을 통하여 본 조사 대상 구간의 콘크리트 포장의 파손 원인은 알칼리-골재 반응에 의한 파손으로 잠정적으로 결론을 도출하였다.

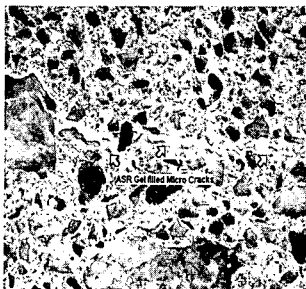


사진 5 AAR 겔 응축



사진 6 AAR 겔(SEM)

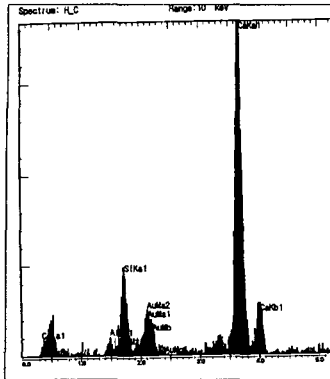


그림 7 시멘트 페이스트
X-ray 스펙트럼

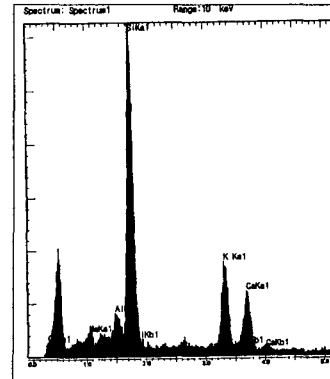


그림 8 AAR 겔
X-ray 스펙트럼

5. 결론

본 연구에서는 현장 자료와 SEM 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 포장의 깊이별로 포장체 내부에 불규칙적으로 수평한 방향으로 균열이 발생된 것이 관찰되었고, 균열의 일부는 상부 및 하부 표면에서 발생된 수직 방향 균열과 연결되어 있는 것으로 관찰되었다.
- (2) 콘크리트 코어 시편은 내부 균열과 균열면에서 알칼리-골재 반응에 의한 백색 생성물을 관찰할 수 있다.
- (3) AAR겔에서는 Si, K, Ca, Al 순으로 높은 피크 값이 분석되었다. SEM X-ray 분석을 통하여 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 쇄석 골재의 화학반응성 연구, 건기연 93-SE-112-2, 1993.12
6. 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.