

ASTM C 1260 시험 콘크리트 시편의 알칼리-실리카 반응 생성물 특징

Characteristics of Alkali-Silica Reaction Product of Mortar Bar by ASTM C 1260 Test

홍 승 호* 윤 경 구**
Hong, Seung Ho Yun, Kyong Ku

ABSTRACT

This study was performed to proof expansion effect of the mortar bar due to Alkali-silica Reaction (ASR) by ASTM C 1260 test. Recently, the failure case of cement concrete pavement by ASR was reported in Korea. Cement concrete structures are caused crack by ASR. The service life of cracked cement concrete structures by ASR will be shorted. In this study, crushed the slate rock produced Chungcheongnamdo Boryeong was caused 0.3% expansion at 14 days due to ASR by ASTM C 1260 test. The particular spectrum showed that the ASR gel was analyzed contents included Si, Na, K, and Ca by EDX (electron dispersive X-ray spectrometer). It was verified that the crushed aggregate was caused expansion by ASR in Korea.

1. 서론

국내 시멘트 콘크리트 구조물용 골재는 하천 골재의 고갈 및 환경적인 문제 유발로 대부분 쇄석골재가 사용되고 있다. 최근, 쇄석 골재가 사용된 국내 일부 고속도로 시멘트 콘크리트포장에서 알칼리-실리카 반응에 의한 피해 사례가 학계에 보고되었다¹⁾. 본 연구에서는 국내에서 생산된 쇄석골재에 대하여 ASTM C 1260 촉진 모르타르봉 실험을 통하여 알칼리-실리카 반응 특성을 분석하기 위해 수행되었다²⁾. 콘크리트 구조물에서 알칼리-실리카 반응에 의해 팽창 현상이 발생하면 균열이 유발될 수 있으며, 콘크리트 구조물의 사용 수명을 단축시킬 수 있다. ASTM C 1260 알칼리-실리카 반응 실험을 통하여 팽창 현상과 반응 생성물 발생 유무를 확인 할 수 있으며, Larrañaga [2004]의 연구에서 ASR gel은 EDX 분석에서 Si, Ca, Na 성분이 높게 나타나고, Carles-Gibergues 등 [2002]의 연구에서 ASR gel은 EDX 분석에서 Si, Ca, K 성분이 높게 나타나는 것으로 분석되었다^{3) 4)}. 본 연구를 통하여 충남 보령 점판암 골재의 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 특성과 반응생성물이 분석되었으며, 이를 통해 국내산 쇄석 골재도 알칼리-실리카 반응을 크게 일으킬 수 있음을 확인하였다.

*정희원, 한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹 전임연구원

**정희원, 강원대학교 토목공학과 교수

2. 실험개요

2.1 시멘트

본 연구에서는 국내 A사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 시멘트의 화학 성분은 표 1과 같다. 시험에 사용된 시멘트의 등가 알칼리 함량은 0.98%로서 고알칼리 시멘트이다.

표 1 시멘트의 화학성분

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O _{eq}		TiO ₂	Loss on Ignition
							K ₂ O	Na ₂ O		
A	21.0	4.29	3.35	62.1	2.27	2.35	0.98		0.21	2.73
							0.99	0.33		

2.2 골재

본 연구에 사용된 골재는 충남 보령지역에서 산출되는 변성암 점판암으로 실험되었다.

2.3 축진모르타르 실험 방법

시험 대상 골재의 알칼리-실리카 반응에 의한 길이 변화 특성을 확인하기 위하여 ASTM C 1260 모르타르 봉 시험법을 적용하였다. ASTM C 1260 시험 방법은 시편 제작 후 16일 후 길이 변화를 측정하여 0.1~0.2%이면 알칼리-실리카 반응의 잠재성이 있는 것으로 판정하고, 0.2% 이상이면 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 판정하고 있다. 본 시험 방법은 골재를 ASTM C 1260에서 규정하는 크기로 분쇄하여 사용한다. 시험에 사용되는 모르타르바의 배합은 시멘트 440g, 혼합 골재 990g 및 물 206.8g이다. 배합에 사용된 물-시멘트비는 47%이다. 모르타르 봉는 25.4mm × 25.4mm × 295mm 규격으로 3개/조로 제작하였다. 모르타르 봉의 양 끝단에는 길이 변화 측정을 위한 스테르드를 설치하였다.

모르타르 봉 제작은 몰드에 모르타르를 타설한 후 23℃가 유지되는 항온항습기에서 몰드 상태로 24시간 동안 양생하였다. 1일 양생된 모르타르는 몰드에서 시편을 분리하여 모르타르의 길이를 디지털 버니어 캘리퍼스로 0.001mm까지 측정하였다. 모르타르 봉의 양 끝단에 설치된 스테르드까지의 길이를 다이얼게이지가 설치된 길이 변화 측정기로 습윤 양생 전 길이를 측정하였다. 초기 측정이 완료된 시편은 폴리프로필렌 밀폐 용기에 시편이 완전히 잠기도록 물을 채운 후 밀폐 시킨 후 80℃가 유지되는 항온기에서 24시간 수중 양생을 하였다. 24시간 경과 후 수중 양생된 시편은 영점 길이 변화 측정을 위하여 밀폐 용기에서 꺼낸 후 즉시 (15초 내 측정 완료) 물기를 제거하고 초기 길이 변화를 측정하였다. 초기 길이 변화가 측정된 모르타르 시편은 1N NaOH 용액이 담겨 있는 밀폐 용기에 넣어 80℃가 유지되는 항온기에서 길이 변화를 유도하였다. 영점 길이 변화 측정 후 시편의 길이 변화는 7일, 14일, 21일 및 28일까지 측정하였고, 측정일 별로 모르타르의 변화 상태 및 균열 발생 여부를 육안으로 확인하였다.

3. 실험결과

3.1 길이변화 실험결과

충남 보령의 점판암의 알칼리-실리카 반응 실험 결과 그림 1에서 보는 것과 같이 14일에 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에서는 0.417%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다.

3.2 모르타르 외관 변화

충남 보령의 점판암은 그림 2에서 보는 것과 같이 표면 공극에서 바깥 방향으로 4개의 균열이 발생되어 있는 볼 수 있으며, 균열은 5시와 11시 방향은 크고 넓게 발생하였고, 1시 방향과 7시 방향의 균열은 앞에서 설명한 균열보다 작게 발생한 것으로 관찰되었다. 또한, 공극 주위에 백색의 용출물이 관찰되었다.

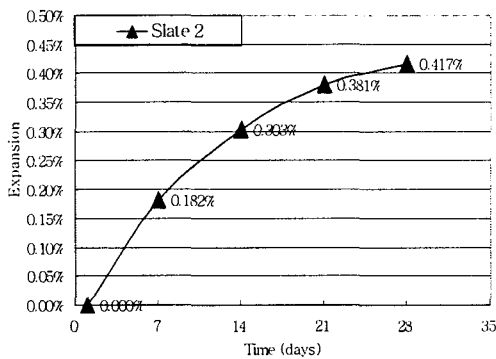


그림 1 팽창실험 결과



그림 2 시편 균열 발생

3.3 반응 생성물 분석

본 시편에서 반응 생성물의 분석하기 위하여 SEM과 EDX 장치를 사용하였다. EDX 장치에서 사용된 분석 소프트웨어는 미국 IXRF사의 EDS 2004를 사용하였다. 축진 모르타르 봉 실험이 완료된 시편의 내부 공극에서 백색의 반응 생성물이 관찰되었다. 반응 생성물은 그림 3에서 보는 바와 같이 공극 속에서 균열이 발생한 상태로 관찰되었다. 모르타르 시편의 공극부 1 인접 시멘트 페이스트에서는 $Ca > Al > Si > K > Na$ 순으로 분석되었다. 골재부에서는 $Si > O > Al > K > Ca > Na$ 순으로 분석되었다. 공극부 1 내에 있는 반응 생성물은 그림 4에서 보는 바와 같이 $Si > O > Na > K > Ca$ 순으로 분석되었다. 이와 같이 본 시편 내부 공극부에는 Si, Na, K 성분이 많이 포함된 알칼리-실리카 반응 생성물이 있는 것으로 분석되었다. 반응 생성물에는 Na 성분이 많이 포함되어 있는 것으로 분석되어 축진 모르타르 봉 실험에서 실험 기간 동안 시편을 1N NaOH 용액에 침전으로 인하여 외부로부터 Na 가 작용한 것으로 판단된다.

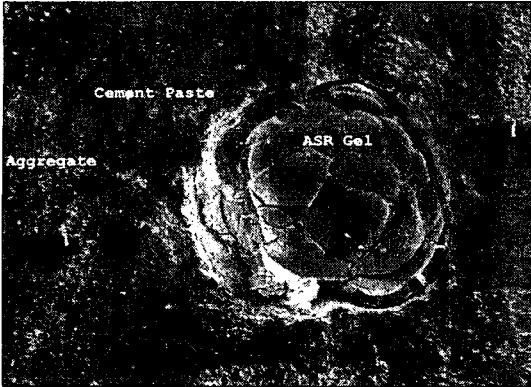


그림 3 공극부 반응생성물

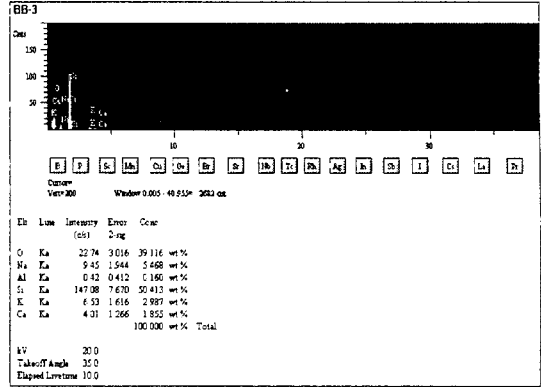


그림 4 반응생성물 분석결과

4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 충남 보령의 점판암의 알칼리-실리카 반응 실험 결과 14일에 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 것으로 나타났다.
- 2) 충남 보령의 점판암은 표면 공극에서 바깥 방향으로 4개의 균열이 발생되어 있는 볼 수 있으며, 공극 주위에 백색의 용출물이 관찰되었다.
- 3) 공극부 내에 있는 반응 생성물은 Si > O > Na > K > Ca 순으로 분석되었고, 이와 같이 본 시편 내부 공극부에는 Si, Na, K 성분이 많이 포함된 알칼리-실리카 반응 생성물이 있는 것으로 분석되었다. 반응 생성물에는 Na 성분이 많이 포함되어 있는 것으로 분석되어 축진 모르타르 봉 실험에서 실험 기간 동안 시편을 1N NaOH 용액에 침전으로 인하여 외부로부터 Na 가 작용한 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 국내산 골재에서도 알칼리-실리카 반응성에 의해 팽창이 매우 크게 발생할 수 있는 골재가 있음을 알 수 있었으며, 이를 통하여 국내 콘크리트 구조물에서의 알칼리-실리카 반응에 의한 피해가 발생할 가능성이 있을 것으로 사료되어 이를 억제하기 위한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 홍승호, 한승환, 윤경구 [2006], 알칼리-실리카 반응에 의한 시멘트 콘크리트포장 파손 사례, 한국콘크리트학회 논문집 제18권3호(통권 93호) 2006년 6월, pp.355-360.
2. ASTM C 1260 [1994], Standard Test Method for Potentially Alkali Reactivity of Aggregates [Mortar-Bar Method], American Society for Testing and Materials.
3. Larrañaga, Miren Etxebarria, [2004], Experimental study on microstructure and structural behaviour of recycled aggregate concrete, Doctoral Thesis, Barcelona, March 2004, pp. 138-139.
4. Carles-Gibergues, André, Martin Cyr [2002], Interpretation of expansion curves of concrete subjected to accelerated alkali-aggregate reaction (AAR) tests, Cement and Concrete Research 32 (2002) 691-700.