



ASTM C 1260 실험에 의한 국내 골재의 알칼리-실리카 반응 팽창 특성

윤경구^{1)*} · 홍승호²⁾ · 한승환²⁾

¹⁾강원대학교 토목공학과 ²⁾한국도로공사 도로교통기술원 포장연구그룹

Expansion Behavior of Aggregate of Korea due to Alkali-Silica Reaction by ASTM C 1260 Method

Kyong-Ku Yun,^{1)*} Seung-Ho Hong,²⁾ and Seung-Hwan Han²⁾

¹⁾Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University, Cuncheon 200-701, Korea

²⁾Pavement Research Group, Korea Expressway Corporation, Hwaseong 445-812, Korea

ABSTRACT The concrete pavement at Seohae Expressway in Korea has suffered from serious distress, only after four to seven years of construction. The deterioration of ASR has seldom been reported per se in Korea, because the aggregate used for the cement concrete has been considered safe against alkali-silica reaction so far. The purpose of this study is to examine the expansion behavior of aggregates of Korea due to alkali-silica reaction by ASTM C 1260 standard method of the accelerated mortar bar test (AMBT), stereo microscopic analysis, scanning electronic microscope (SEM) analysis, and electron dispersive X-ray spectrometer (EDX) analysis. The results are presented as it follows. The accelerated mortar bar test (AMBT) showed that mica granite and felsite of igneous rocks, aroke, red sandstone and shale of sedimentary rocks, slate of metamorphic rock, and dendrite and quartz of mineral rock showed more expansion than 0.1% at 14 days. But, some sedimentary rocks and metamorphic rocks expanded more than 0.1 % at 28 days even though they were less than 0.1% at 14 days. The mortar bars, which showed more than occurred 0.1% expansion, resulted in cracking on surface. SEM and EDX analysis confirmed that the white gel was a typical reaction product of ASR. The ASR gel in Korea mainly consisted of Silicate (Si) and Potassium (K) from the cement. The crack in the concrete pavement was caused by ASR. It seems that Korea is no longer safe zone against alkali-silica reaction.

Keywords : ASR reaction, reaction product, cracks, spalling, cement concrete pavement

1. 서 론

알칼리-실리카 반응 (ASR : alkali silica reaction)은 시멘트에 존재하는 알칼리 성분인 Na^+ 와 K^+ 이온이 pH가 높은 환경에서 경화된 콘크리트구조물의 공극 용액 속에 존재하면서 골재의 반응성 실리카와 반응하여 팽창성 반응겔 (ASR gel)을 생성하는 현상이다. 이렇게 반응성 물질이 포함된 반응겔이 만들어 진 후, 내부 또는 외부로부터 수분이 공급될 때 팽창이 발생하게 된다. 일부 겔은 팽창이 거의 발생하지 않거나 매우 작게 발생하여 콘크리트구조물에 피해를 주지 않으나, 반응겔이 일정량 이상 생성되는 경우, 이 때 발생하는 팽창압이 콘크리트의 인장응력을 초과하게 되면 균열이 발생하게 된다.

국내에서는 그 동안 한국건설기술연구원,¹⁾ 대한주택공사 주택연구소,²⁾ 한국자원연구소³⁾ 등에서 화학법 (ASTM C 289)과 모르타르 봉 방법 (ASTM C 227)으로 알칼리-골재 반응에 대해 연구한 결과, 화학법에서 일부 골재가 반응성이 있는 것으로 보고되었고, 모르타르 봉 방법에서는 대상 골재에서 유해가능성이 낮은 것으로 보고하였다. 그 외에 국내에서는 그 동안 콘크리트구조물에서 알칼리-실리카 반응에 의한 피해 사례가 거의 보고된 바 없고, 골재의 품질도 양호한 것으로 알려져 왔다. 그러나 최근, 서해안 고속도로의 일부 시멘트 콘크리트포장에서 알칼리-실리카 반응에의해 포장 노면에 균열 및 스피링 등의 심각한 손상이 목격됨으로서 국내에서도 알칼리-실리카 반응 판정기준 및 대책수립이 절실히 필요한 시점에 와 있다.^{4,5)}

국내산 암석 종류별 ASTM C 1260 촉진 모르타르 봉 실험으로 알칼리-실리카 반응 실험을 실시하여 반응 특

*Corresponding author E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr

Received September 7, 2007, Revised March 6, 2008, Accepted May 23, 2008

©2008 by Korea Concrete Institute

Table 1 Chemical compositions of cement used in test

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O _{eq}		Loss on ignition
							K ₂ O	Na ₂ O	
Percent (%)	21.0	4.29	3.35	62.1	2.27	2.35	0.98		2.73
							0.99	0.33	

성을 비교 분석하였으며, 위상차 현미경을 사용하여 알칼리-실리카 반응에 의한 시편 내부의 변화에 대하여 분석하였다. ASTM C 1260 촉진 모르타르 봉 실험을 통해 알칼리-실리카 반응에 의해 팽창이 크게 발생한 점판암 골재 시편 내부에 발생한 반응 생성물을 SEM으로 관찰하고 EDX를 사용하여 알칼리-실리카 반응에 의한 반응 겔의 스펙트럼을 분석하였다.⁴⁾

2. 팽창 실험 및 반응생성물 분석

2.1 실험 재료

2.1.1 시멘트

본 연구에서는 한국 A사의 1종 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 시멘트의 화학 성분은 Table 1과 같다. 시험에 사용된 시멘트의 등가 알칼리 함량은 0.98%로서 고알칼리 시멘트이다.

2.1.2 골재

본 연구에 사용된 골재는 화성암 10종, 퇴적암 5종, 변성암 11종 및 광물 3종이다. 본 연구에서 사용된 골재의 분류는 Table 2와 같다.

2.2. 팽창 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.⁶⁾ 본 시험 방법에서 골재를 Table 3과 같이 분쇄하여 사용하였다.

시험에 사용되는 모르타르 봉 배합은 시멘트 440g, 혼합 골재 990g 및 물 206.8g이다. 배합에 사용된 물-시멘트 비는 47%이다. 모르타르 봉은 25.4 mm × 25.4 mm × 295 mm 규격으로 3개/조로 제작하였다. 모르타르 봉의 양 끝단에는 길이 변화 측정을 위한 스티드를 설치하였다. 모르타르 봉 제작은 몰드에 모르타르를 타설한 후 23°C가 유지되는 항온항습기에서 몰드 상태로 24시간 동안 양생하였다. 1일 양생된 모르타르는 몰드에서 시편을 분리하여 모르타르의 길이를 버어니어 캘리퍼스 0.001 mm까지 측정하였다. 모르타르 봉의 양 끝단에 설치된 스티드까지의 길이를 다이얼게이지가 설치된 길이 변화 측정기

로 습윤양생 전 길이를 측정하였다. 초기 측정이 완료된 시편은 폴리프로필렌 밀폐 용기에 시편이 완전히 잠기도록 물을 채운 후 밀폐 시킨 후 80°C가 유지되는 항온기에서 24시간 수중양생을 하였다. 24시간 경과 후 수중양생된 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 1 N NaOH 용액이 담겨 있는 밀폐 용기에 넣어 80°C가 유지되는 항온기에서 길이 변화를 유도하였다. 영점 길이 변화 측정

Table 2 Type of rocks used in test

	Igneous rocks (화성암)	Sedimentary rocks (퇴적암)	Metamorphic rocks (변성암)
1	Rhyolite (유문암)	Red Siltstone (적색미시암)	Slate 1 (점판암 1)
2	Andesite (안산암)	Arkose (장석사암)	Slate 2 (점판암 1)
3	Diabase (휘록암)	Red Sandstone (적색사암)	Phyllite (천매암)
4	Granite Porphyry (화강반암)	Shale (셰일)	leucocratic Gneiss (우백질편마암)
5	Diorite Porphyry (서목암)	Mudstone (이암)	Augen Gneiss (안구상편마암)
6	Biotite Granite (흑운모회장암)		Schist (편암)
7	Two Mica Granite (복운모회강암)		Granite Gneiss (화강편마암)
8	Muscovite Granite (백운모화강암)		Quartzite (규암)
9	Diorite (섬록암)		Hornfels (호른펠스)
10	Felsite (규장암)		Feldspar Quartzite (장석규암)
			Amphibolite (각석암)

Table 3 Requirement of aggregate for ASTM C 1260 test

Sieve size		Mass (%)
Passing	Retained on	
4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No.8)	10
2.36 mm (No.8)	1.18 mm (No.16)	25
1.18 mm (No.16)	600 μm (No.30)	25
600 μm (No.30)	300 μm (No.50)	25
300 μm (No.50)	150 μm (No.100)	15

후 시편의 길이 변화는 7일, 14일, 21일 및 28일까지 측정하였고, 측정일 별로 모르타르의 변화 상태 및 균열 발생 여부를 육안으로 확인하였다.

2.3 반응생성물 분석

2.3.1 분석시편

ASTM C 1260 촉진 모르타르 실험에서 알칼리-실리카 반응에 의해 팽창이 크게 발생한 충남 보령 점판암 골재로 제작된 시편의 반응 생성물을 분석하였다. 본 골재로 제작된 시편으로 촉진 모르타르 붕 실험을 수행한 결과 14일에 0.303%의 팽창이 발생하였으며, 28일에는 0.416%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있다. 이와 같이 알칼리-실리카 반응에 의해 팽창이 크게 발생한 시편을 선정하여 분석하였다.

2.3.2 분석장비 및 방법

본 시편에서 반응생성물을 분석하기 위하여 SEM과 EDX 장치를 사용하였다. EDX 장치에서 분석 소프트웨어는 미국 I사의 EDS 2004를 사용하였다. 반응 생성물을 분석하기 위하여 시편은 다이아몬드 절단기를 이용하여 10 mm 두께로 절단 한 후 분석 대상면은 덴마크 S사의 120 SiC 연마기로 거친면을 절삭하였다. 시편의 거친면을 연마한 후 S사의 MD-Piano 220의 다이아몬드 연마기로 연마한 후, MD-Piano 600의 다이아몬드 연마기로 절삭하였다. 이 때 연마의 효율성을 높이기 위하여 비수용성 에틸 알콜 함유 연마제를 사용하여 연마 시 발생될 수 있는 반응 생성물의 이탈과 물의 작용을 최소화하였다.⁴⁾

3. 실험 결과 및 분석

3.1 길이팽창 결과

3.1.1 화성암

ASTM C 1260에 의한 화성암에 대한 모든 팽창 실험 결과를 Table 4에 나타냈으며, 이중 팽창이 작은 암석에

대해 Fig. 1에 나타냈고, 반응성이 큰 암석에 대해 Fig. 2에 나타냈다. 화성암 중 화산암인 유문암의 알칼리-실리카 반응 실험 결과는 14일에 0.023% 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 안산암의 실험 결과도 14일에 0.005%가 팽창하여 반응성이 없는 것으로 나타났다.

화성암 중 반심성암인 휘록암은 14일에 0.027%의 팽창이 발생하여 반응성이 없으며, 화강 반암은 14일에 0.005%로 팽창이 거의 발생하지 않아 반응성이 없는 것으로 나타났다. 섬록 반암은 0.021%, 심성암인 흑운모 화강암은 0.031%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다.

복운모화강암은 14일에 0.133%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났다. 복운모 화강암 시편은 시간 경과에 따라 팽창이 증가되는 것을 볼 수 있으며, 재령 24일에 0.197%까지 팽창이 발생하는 것으로 실험되었다. 백운모화강암은 14일에 -0.001%의 수축이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다. 섬록암은 14일에 0.017%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다. 화성암 중 비현정질인 규장암은 14일에 0.163%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.237%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다.

화성암 골재 10 종류에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽

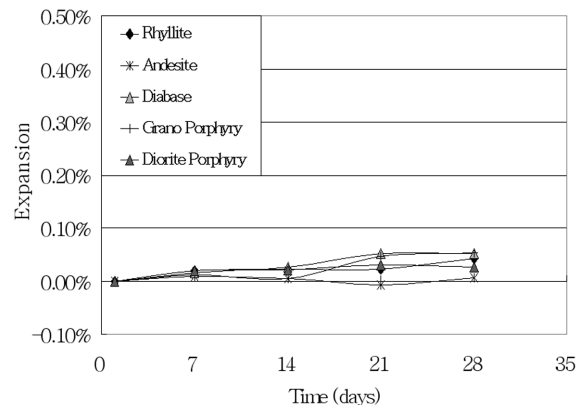


Fig. 1 Expansion results of igneous rocks (1)

Table 4 Expansion results of igneous rocks by ASTM C 1260 test

Type of rock	Expansion percent (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Rhyolite (유문암)	0.019	0.023	0.022	0.043
Andesite (안산암)	0.009	0.005	-0.008	0.006
Diabase (휘록암)	0.015	0.027	0.052	0.052
Granite porphyry (화강반암)	0.012	0.005	0.047	0.054
Diorite porphyry (서목암)	0.020	0.021	0.031	0.026
Biotite granite (흑운모화강암)	0.010	0.031	0.049	0.046
Two mica granite (복운모화강암)	0.066	0.133	0.197	0.195
Muscovite granite (백운모화강암)	-0.002	-0.001	0.017	0.011
Diorite (섬록암)	0.023	0.017	0.033	0.029
Felsite (규장암)	0.040	0.163	0.200	0.237

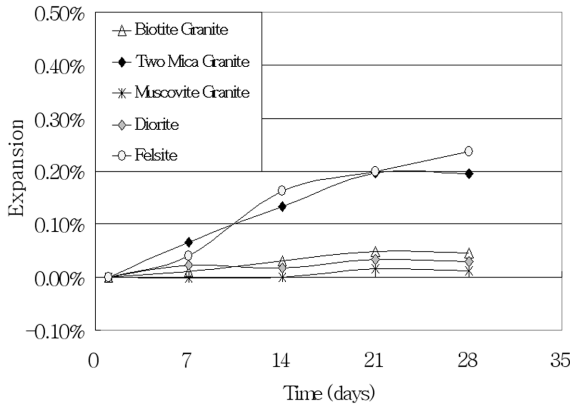


Fig. 2 Expansion results of igneous rocks (2)

창이 발생한 골재는 Table 4 및 Fig. 2와 같이 복운모화강암, 규장암이 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 다른 8종의 골재는 28일 재령에 0.05% 이하의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응이 발생하지 않은 것으로 판단할 수 있다.

3.1.2 퇴적암

퇴적암에 대한 모든 팽창 실험 결과를 Table 5와 Fig. 3에 나타냈다. 적색실트스톤은 14일에 0.06%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.169%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 장석사암은 14일에 0.117%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.247%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 적색사암은 14일에 0.115%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.223%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 셰일은 14일에 0.15%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.27%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 이암은 14일에 0.011%로 팽창이 거의 발생하지 않아 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 수축하는 현상이 관찰되었다.

5종의 퇴적암 중에서는 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 장석사암, 적색사암, 셰일로서 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 퇴적암 중 셰일의 경우 14일에 0.15% 그리고 28일에 0.27%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응성이 큰 골

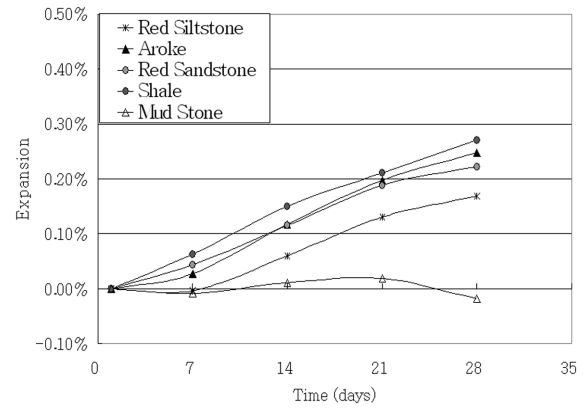


Fig. 3 Expansion results of sedimentary rocks

재임을 알 수 있다. 퇴적암 중 28일 재령에서 이암을 제외하고 4종 모두 0.1% 이상의 팽창이 발생되었다. 이와 같이 일부 퇴적암 골재는 14일 재령 이후에 팽창이 증가되는 현상이 관찰되었다.

3.1.3 변성암

변성암에 대한 모든 팽창 실험 결과를 Table 6과 Figs. 4와 5에 나타냈다. 충북 옥천의 점판암은 14일에 0.059%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으나, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.194%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 충남 보령의 점판암은 14일에 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에서는 0.417%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 충북 단양의 천매암은 14일에 -0.003%로 팽창이 거의 발생하지 않았으나, 21일 재령에서는 0.064%의 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 우백질편마암은 14일에 0.079%의 팽창이 발생하여 반응성이 있는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 28일 재령에 0.167%까지 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 안구편마암은 14일에 0.042%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 팽창이 크게 증가되지 않는 것으로 나타났다. 편암은 14일에 0.041%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 21일 재령에서 0.116%의 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 화강편마암은 14일에 0.041%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 시간 경과에 따라 21일 재령에서 0.112%의 팽창이 발생하는 것으로 나타났다. 규암은 14일에 -0.003%

Table 5 Expansion results of sedimentary rocks by ASTM C 1260 test

Type of rock	Expansion percent (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Red siltstone (적색미사암)	-0.003	0.060	0.130	0.169
Arkose (장석사암)	0.027	0.117	0.198	0.247
Red sandstone (적색사암)	0.044	0.115	0.188	0.223
Shale (셰일)	0.063	0.150	0.211	0.270
Mudstone (이암)	-0.008	0.011	0.019	-0.018

Table 6 Expansion results of metamorphic rocks by ASTM C 1260 test

Type of rock	Expansion percent (%)			
	7 days	14 days	21 days	28 days
Slate 1 (점판암 1)	-0.007	-0.003	0.073	0.064
Slate 2 (점판암 1)	0.182	0.303	0.381	0.417
Phyllite (천매암)	0.037	0.059	0.136	0.194
leucocratic gneiss (우백질편마암)	0.033	0.079	0.165	0.167
Augen gneiss (안구상편마암)	0.002	0.042	0.053	0.048
Schist (편암)	0.014	0.041	0.102	0.116
Granite gneiss (화강편마암)	0.006	0.041	0.097	0.116
Quartzite (규암)	0.003	-0.003	0.014	-0.001
Homfels (호른펠스)	0.003	0.028	0.095	0.114
Feldspar quartzite (장석규암)	-0.010	-0.006	0.016	0.027
Amphibolite (각석암)	0.021	0.086	0.147	0.178

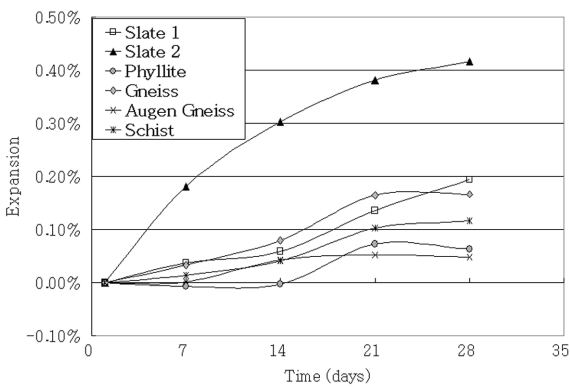


Fig. 4 Expansion results of metamorphic rocks (1)

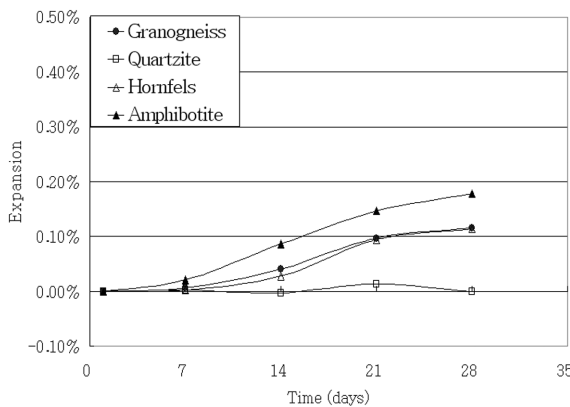


Fig. 5 Expansion results of metamorphic rocks (2)

의 수축이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으며, 28일 재령에서 -0.001%로 팽창성은 없는 것으로 나타났다. 호른펠스는 14일 재령에서 0.028%의 팽창이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났으나, 21일 재령에서는 0.114%까지 팽창이 발생하여 시간 경과에 따라 반응성이 나타나는 것으로 사료된다. 장석규암은 14일에 -0.006%의 수축이 발생하여 반응성이 없는 것으로 나타났다. 각섬암은 14일에 0.086% 팽창이 발생하였으며, 시간경과에 따라 팽창이 증가하였으며 28일 재령에 0.178%까지 팽

창이 발생하는 것으로 나타났다.

11종의 변성암 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 충남 보령 점판암으로서 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있었다. 28일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 점판암, 우백질편마암, 편암, 화강편마암, 호른펠스 및 각섬암으로 나타났다. 변성암 골재는 14일 이후 시간 경과에 따라 팽창이 급격하게 증가되는 것으로 나타났다. 이와 같이 본 연구에서 실험된 점판암의 경우 지역에 따라 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 현상이 매우 다르게 나타나는 것을 알 수 있어 지역에 따라 잠재적인 알칼리-실리카 반응성을 판정하는데 있어 신중함을 기해야 할 것으로 판단된다.

3.2 반응 생성물 분석

축진 모르타르 봉 실험이 완료된 시편의 내부 공극에서 백색의 반응 생성물이 관찰되었다. 반응 생성물은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 공극 속에서 균열이 발생한 상태로 관찰되었다. Fig. 6의 공극부 인접 골재에서는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 $O > Si > Al > K > Na > Ca$ 순으로 분석되었다. 인접 시멘트페이스트에선 Fig. 8에서 보는

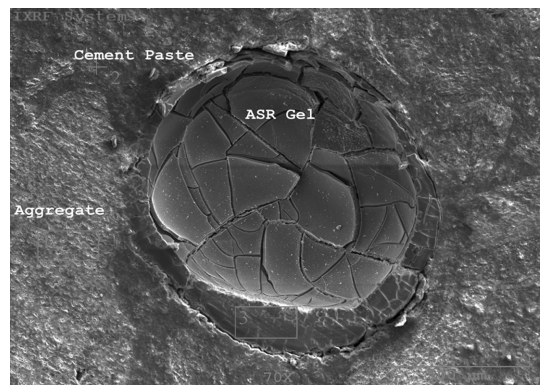


Fig. 6 ASR gel in air void taken by SEM

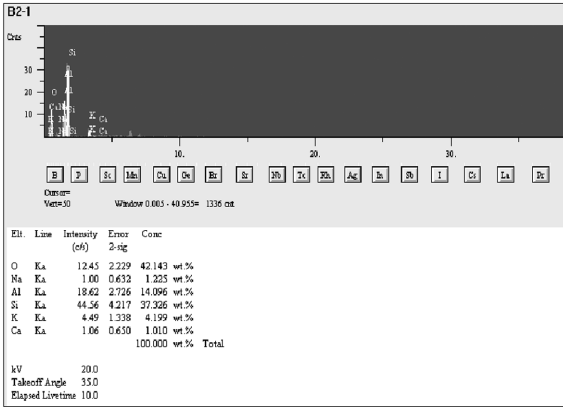


Fig. 7 EDX analysis results of aggregate (SEM 1)

바와 같이 Ca > O > Si > Al > K 순으로 분석되었다. 공극 부 내에 있는 반응 생성물에서는 Fig. 9에서 보는 바와 같이 Si > O > Na > Al > K 순으로 분석되었다.

이와 같이 본 시편 내부 공극부에는 Si, Na, K 성분이 많이 포함된 반응 생성물이 있는 것으로 분석되었다. 반응 생성물에는 Na 성분이 많이 포함되어 있는 것으로 분석되어 축진 모르타르 봉 실험에서 실험 기간 동안 시편을 1 N NaOH 용액에 침전으로 인하여 외부로부터 Na이 작용한 것으로 판단된다.

3.3 실험 결과에 대한 고찰

본 연구의 ASTM C 1260 시험법에서 국내산 골재의 다양한 골재에서 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 나타났다. ASTM C 1260 축진모르타르 봉 실험 결과 10종의 화성암 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 복운모 화강암, 규장암이 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 5종의 퇴적암 중에서는 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 장석사암, 적색사암, 세일로서 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 퇴적암 중 28일 재령에서 0.1%의 이상의 팽창이 발생한 골재에는 적색 실트스톤으로 나타났다. 일부 퇴적암 골재는 14일 재령 이후에 팽창이 증가되는 현상이 관찰되었다. 11종의 변성암 중에서 14일 재령에

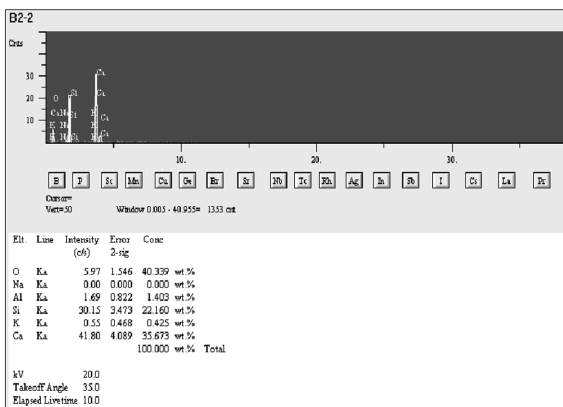


Fig. 8 EDX analysis results of aggregate (SEM 1)

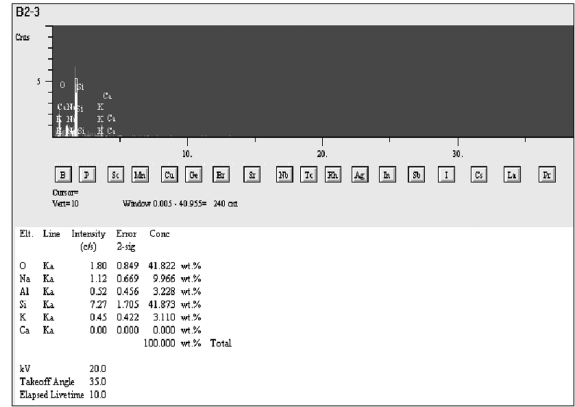


Fig. 9 EDX analysis results of ASR gel (SEM 3)

0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 충남 보령 골재로서 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있었다. 28일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 우백질편마암, 편암, 화강편마암, 호른펠스 및 각섬암으로 나타났다. 변성암 골재는 14일 이후 시간 경과에 따라 팽창이 급격하게 증가되는 것으로 나타났다. 퇴적암 및 변성암 골재의 이와 같은 팽창 특성을 감안하여 ASTM C 1260 시험 방법에서는 변성암 골재의 팽창 실험을 21일 또는 28일까지 측정하여 반응성을 판정할 필요성이 있다.

본 연구의 ASTM C 1260 시험에서 14일에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 모르타르 봉 시편에서는 위상차 현미경으로 관찰할 수 있는 균열이 많이 발생되어 있어 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창량과 균열 발생 유·무를 확인할 수 있었다. Larranaga⁷⁾의 연구에서 ASR gel은 EDX 분석에서 Si, Ca, Na 성분이 높게 나타나는 것으로 분석되었다.³⁾ Carles-Gibergues 등⁸⁾의 연구에서 ASR gel은 EDX 분석에서 Si, Ca, K 성분이 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 본 연구의 축진 모르타르 봉 실험을 통해 팽창이 크게 발생한 시편 EDX 분석에서도 공극부 1 내의 반응 생성물은 Si, O, Na, K, Ca 성분 순으로 분석되어 Larranaga⁷⁾의 분석 결과와 동일한 결과를 보임을 알 수 있다. 본 시편의 내부 공극부에는 Si, Na, K 성분이 많이 포함된 반응 생성물이 있는 것으로 분석되었다. 반응 생성물에는 Na 성분이 많이 포함되어 있는 것으로 분석되어 축진 모르타르 봉 실험에서 실험 기간 동안 시편을 1 N NaOH 용액에 침전으로 인하여 외부로부터 Na이 작용한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 국내산 암석에 대해 ASTM C 1260 축진 모르타르 봉 실험으로 알칼리-실리카 반응 실험을 실시하여 반응 특성을 비교 분석하였으며, 알칼리-실리카 반응에 의해 팽창이 크게 발생한 점판암 골재 시편 내부에 발생한 반응 생성물을 SEM으로 관찰하고 EDX를 사용하여 알칼리-실리카 반응에 의한 반응겔의 스펙트럼

을 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 화성암 골재 10종 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 복운모 화강암, 규장암이 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 다른 8종의 골재는 28일 재령에 0.05% 이하의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응이 발생하지 않은 것으로 판단할 수 있다.
- 2) 퇴적암 골재 5종 중에서는 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 장석사암, 적색사암, 셰일로서 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 퇴적암 중 셰일의 경우 14일에 0.15% 그리고 28일에 0.27%의 팽창이 발생하여 알칼리-실리카 반응성이 큰 골재임을 알 수 있다. 퇴적암 중 28일 재령에서 이암을 제외하고 4종 모두 0.1% 이상의 팽창이 발생되었다. 이와 같이 일부 퇴적암 골재는 14일 재령 이후에 팽창이 증가되는 현상이 관찰되었다.
- 3) 변성암 골재 11종중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 충남 보령 점판암으로서 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있었다. 28일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 점판암, 우백질편마암, 편암, 화강편마암, 호른펠스 및 각섬암으로 나타났다. 변성암 골재는 14일 이후 시간 경과에 따라 팽창이 급격하게 증가되는 것으로 나타났다.
- 4) 본 시편 내부 공극부에는 Si, Na, K 성분이 많이 포함된 반응 생성물이 있는 것으로 분석되었다. 반응

생성물에는 Na 성분이 많이 포함되어 있는 것으로 분석되어 축진 모르타르 봉 실험에서 실험 기간 동안 시편을 1 N NaOH 용액에 침전으로 인하여 외부로부터 Na이 작용한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 국내 쇄석골재의 화학반응성 연구, 한국건설기술연구원, 1993, 93-SE-112-2.
2. 이도현, 김병환 외 8인, 콘크리트용 부순 모래의 실용화 연구, 대한주택공사 주택연구소 및 삼표산업 주식회사, 1997.
3. 한공창 외 8, 채석 기술 개발 연구, 산업자원부 한국자원연구소, 2000, 1999-R-T108-P-27.
4. 홍승호, 국내 콘크리트의 알칼리-실리카 반응에 대한 조사 및 억제방안, 2006, 박사학위논문, 강원대학교 대학원.
5. 홍승호, 한승환, 안성순, 장태순, “알칼리-실리카 반응에 의한 무근콘크리트포장의 파손 고찰,” 한국콘크리트학회, 가을 학술발표회 논문집, 15권, 2호, 2003, pp. 99~101.
6. ASTM C 1260, *Standard Test Method for Potentially Alkali Reactivity of Aggregates [Mortar-Bar Method]*, American Society for Testing and Materials, 1994.
7. Larranaga, Miren Etxeberria, *Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete*, Doctoral Thesis, Barcelona, 2004, pp. 138~139.7.
8. Carles-Gibergues and André, Martin Cyr, “Interpretation of Expansion Curves of Concrete Subjected to Accelerated Alkali-Aggregate Reaction (AAR) Tests,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, 2002, pp. 691~700.

요 약 한국에서는 그동안 콘크리트구조물에서 알칼리-실리카 반응에 의한 피해 사례가 학계에 보고된 바가 거의 없는 상태이다. 최근 일부 고속도로 콘크리트 포장에서 알칼리-실리카 반응에 의한 균열과 스피링 발생하였다. 본 연구에서는 최근 몇몇 국가에서 콘크리트용 골재의 알칼리-실리카 반응성을 조기에 판정하는데 효과가 있는 ASTM C 1260 축진 모르타르 봉 방법으로 한국산 암석에 대하여 재령별 팽창 특성을 분석하고자 하였다. 실험 결과 한국산 골재 중 화성암 골재 10종 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재는 복운모 화강암, 규장암이 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 퇴적암 골재 5종 중에서는 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 장석사암, 적색사암, 셰일로서 잠재적인 알칼리-실리카 반응성이 있는 것으로 실험되었다. 변성암 골재 11종 중에서 14일 재령에 0.1% 이상의 팽창이 발생한 골재에는 충남 보령 점판암으로서 0.303%의 팽창이 발생하여 반응성이 매우 큰 골재임을 알 수 있었다. 이와 같이 한국산 골재에서도 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 현상이 크게 발생함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 알칼리-실리카 반응, 반응 생성물, 불규칙균열, 스피링, 시멘트 콘크리트 포장