

반응성 골재의 혼입량이 모르타르의 알칼리-실리카 반응 팽창에 미치는 영향

Effects of Content of Reactive Aggregate on Alkali-Silica Reaction Expansion

이주현* 전쌍순** 서기영*** 진치섭****
Lee, Ju Hyun Jun, Ssang Sun Seo, Ki Young Jin, Chi Sub

ABSTRACT

The effect of content of reactive aggregate on alkali-silica reaction was investigated through the ASTM C 1260 method. The replacement proportions of fine aggregate by reactive aggregate were 25, 50, 75 and 100%, respectively. Reactive aggregate and fine aggregate(non-reactive aggregate) used are a metamorphic rock and andesite rock, respectively. The results indicate that the mortar-bar containing 25% replacement of fine aggregate by reactive aggregate shows the lowest expansion but expansion in excess of 0.1% at 16 days, which can distinguished between deleterious and potentially reactive. Although content of reactive aggregate is a small amount, it can cause detrimental expansion due to alkali-silica reaction.

1. 서론

알칼리-실리카 반응(Alkali-Silica Reaction, ASR)은 콘크리트 구조물에 균열을 발생시켜 위험을 초래한다. 이에 대해 콘크리트에 사용되는 골재의 반응성 여부를 단시간에 정확히 판단하는 것이 중요하다. 하지만, 알칼리-실리카 반응이 천천히 진행되기 때문에 단시간에 반응성 여부를 평가하기 위해서는 적절한 방법으로 반응이 촉진되어야 한다. 알칼리-실리카 반응은 콘크리트의 제조에 사용하는 재료와 그 배합, 환경조건 등에 의해 영향을 받는다. 따라서 알칼리-실리카 반응에 영향을 준다고 생각되는 모든 원인에 관련해, 그것이 알칼리-실리카 반응에 어떤 영향을 미치는 것인가를 파악하는 것이 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 반응성 골재를 포함하는 모르타르 바(Mortar-Bar)를 NaOH 용액에 담구어 ASTM C 1260의 촉진시험법을 이용, 이 방법에 의해 생긴 모르타르 바의 알칼리-실리카 반응에 미치는 반응성 골재의 혼입량의 영향에 관하여 검토하였다.

2. 시험개요

2.1 시험재료

2.1.1 시멘트

*정회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정

**정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정

***정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정

****정회원, 부산대학교 토목공학과 교수

사용한 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트로서, 화학성분은 Table 1과 같다. 알칼리-실리카 반응에 관련된 시멘트의 화학성분은 K_2O 와 Na_2O 이며, 본 시험에 사용된 시멘트의 K_2O 량은 0.95%, Na_2O 량은 0.12%로써 등가알칼리량($0.658 K_2O + Na_2O$)으로 환산하면 0.75%이다.

Table 1 시멘트의 화학성분 (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
20.5	6.0	3.1	61.6	3.2	2.1	0.95	0.12

2.1.2 골재

본 연구에서는 골재의 잠재적인 알칼리 반응성을 평가하는 모르타르 바(Mortar-Bar) 시험방법인 ASTM C 1260으로 시편 제작 후 16일(영점읽기 후 14일)에 0.1% 미만의 팽창을 나타내어 무해하다고 판정된 골재 1(안산암)과 16일에 0.2% 이상의 팽창을 나타내어 반응성 골재로 판정된 골재 2(변성암)를 사용하였다(Fig. 1 참조).

본 연구에서는 시험에 사용된 골재의 물리적 성질을 파악하기 위해 골재의 밀도 및 흡수율 시험(KS F 2504), 단위용적질량 시험(KS F 2505), 골재에 포함된 잔입자 시험(KS F 2511) 및 콘크리트용 모래에 포함되어 있는 유기불순물 시험(KS F 2510)을 행하였다. 그 결과 Table 2와 같다.

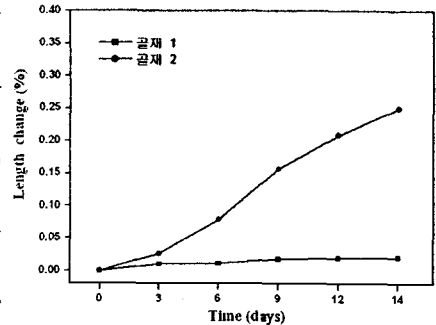


Fig. 1 모르타르 바의 길이변화.

Table 2 시험에 사용한 골재의 물리적 성질

	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m ³)	잔입자량 (%)
골재 1	2.43	6.81	1,733	10.86
골재 2	2.64	2.08	1,557	5.16

2.2 시험방법

본 연구에서는 모르타르 바 시험법인 ASTM C 1260¹¹⁾으로 모르타르의 알칼리-실리카 반응을 촉진하여 길이변화를 측정하였다.

(1) Mortar-Bar 제작

모르타르 시편은 물·시멘트 비(W/C) 0.47로 배합을 하고, 2.5×2.5×30cm 치수의 붓을 사용하여 각 3개씩의 길이변화 시편을 제작하였다.

(2) 시편의 보관 및 길이변화의 측정

시험 시편은 제작 후에 24시간 동안 23℃의 온도로 유지시키고 시험 시편을 탈형한 다음, 초기길이(initial reading)를 측정하였다. 초기길이(initial reading)를 측정한 후, 시편은 80±2℃의 온도로 유지시킨 물에 넣고 24시간 후에 길이변화를 측정하였는데 이것이 영점읽기이다. 영점읽기 후 시편은 1N NaOH 용액에 담그고 80±2℃의 온도로 유지시켰다. NaOH 용액이 들어있는 용기는 폴리프로필렌으로 밀봉이 가능하도록 제작하였다. 모르타르 바의 길이변화는 영점읽기 후 3, 6, 9, 12, 14일에 대해 매번 같은 시간에 측정하였다.

2.3 시험조건

Table 3 S/C = 0.5에 대한 모르타르 배합

반응성 골재 혼합율 (%)	물(W), g	시멘트(C), g	잔골재(S), g	
			반응성 골재	비반응성 골재
25	930.6	1,980	247.5	742.5
50	930.6	1,980	495	495
75	930.6	1,980	742.5	247.5
100	930.6	1,980	990	0

Table 4 S/C = 0.8에 대한 모르타르 배합

반응성 골재 혼합율 (%)	물(W), g	시멘트(C), g	잔골재(S), g	
			반응성 골재	비반응성 골재
25	581.6	1,237.5	247.5	742.5
50	581.6	1,237.5	495	495
75	581.6	1,237.5	742.5	247.5
100	581.6	1,237.5	990	0

Table 5 S/C = 1.5에 대한 모르타르 배합

반응성 골재 혼합율 (%)	물(W), g	시멘트(C), g	잔골재(S), g	
			반응성 골재	비반응성 골재
25	310.2	660	247.5	742.5
50	310.2	660	495	495
75	310.2	660	742.5	247.5
100	310.2	660	990	0

Table 6 S/C = 2.25에 대한 모르타르 배합

반응성 골재 혼합율 (%)	물(W), g	시멘트(C), g	잔골재(S), g	
			반응성 골재	비반응성 골재
25	206.8	440	247.5	742.5
50	206.8	440	495	495
75	206.8	440	742.5	247.5
100	206.8	440	990	0

모르타르 바의 잔골재·시멘트 비(S/C)를 0.5, 0.8, 1.5 및 2.25로 하고 이에 대한 반응성 골재의 혼합 비율을 각각 25, 50, 75 및 100%로 하여 공시체를 제작하였다. 모르타르 배합은 Table 3~6과 같다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 반응성 골재의 혼입량이 알칼리-실리카 반응에 미치는 영향

S/C를 0.5, 0.8, 1.5 및 2.25로 하고 각각의 경우에 대해 반응성 골재의 혼합율을 25, 50, 75 및 100%로 하여 모르타르를 제작한 후, 팽창률과 반응성 골재 혼합 비율과의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 보는 바와 같이, S/C=0.5 및 0.8의 모르타르에 대해서는 반응성 골재 혼합율 50%까지는 혼합율 증가에 따라 팽창률이 증가하다가 혼합율 75%에서는 팽창률이 감소하고 혼합율 100%에서 팽창률이 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 반응성 골재 혼합율 100%에 대한 모르타르의 팽창률은 혼합율 50%보다 팽창률이 낮은 것으로 나타났다. 또한, S/C=1.5인 경우는 반응성 골재 혼합 비율의 증가와 함께 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창도 커지는 것으로 나타났다. S/C=2.25의 모르타르에 대해서는 반응성 골재 혼합율 50%에서 가장 큰 팽창률을 나타냈으며 혼합율 75%부터는 혼합율 증가에 따라 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창이 작아지는 것으로 나타났다. 어느 일정량의 알칼리 존재하에 있어서 반응성 골재 양이 증가할수록 알칼리-실리카 반응에 의해 생성되는 알칼리-실리카 겔의 양은 증가하기 때문에 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창은 증가하지만 어느 일정한 알칼리에 대해서 반응성 골재 양이 과도하게 증가하게 증가하면 Na⁺ 및 OH⁻ 이온이 분산되어져 알칼리-실리카 겔의 양은 감소하는데 이러한 이유로 S/C=2.25의 모르타르에 대해서는 반응성 골재의 혼합율 증가에 따라 팽창률이 감소한 것으로 판단된다.

골재 양이 적고, 즉 S/C가 작고 또 반응성 골재의 혼합 비율이 작은 공시체에서는 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창은 작은 것으로 나타났다(Fig. 3~6 참조). 공시체를 포함하는 반응성 골재의 체적이 작은 경우(S/C가 작다)라도 NaOH 용액에 의해 반응성 골재 중의 실리카 용해는 촉진되지만, 생성되어지는 알칼리-실리카 겔의 점성이 작기 때문에 모르타르의 알칼리-실리카 겔이 생기는 팽창압이 작은 것으로 판단된다. S/C가 0.5, 0.8, 1.5 및 2.25인 각각의 경우에 대해 반응성 골재 혼합율 25%에서 팽창률이 가장 작았지만 ASTM C 1260에서 규정하고 있는 영점읽기 후 14일의 팽창률 0.1%를 넘는 것으로 나타나 적은 양이라 할지라도 반응성 골재가 일부 포함되는 것도 유해한 것으로 판단된다.

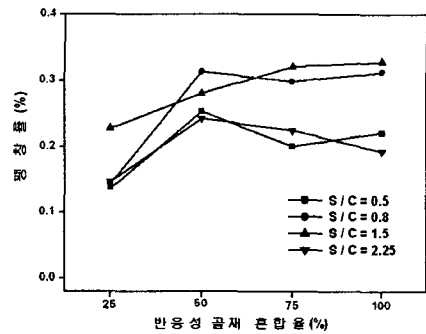


Fig. 2 반응성 골재 혼합 비율과 팽창률과의 관계.

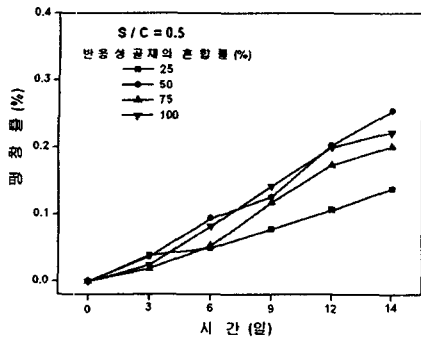


Fig. 3 S/C=0.5에 대한 모르타르 길이변화.

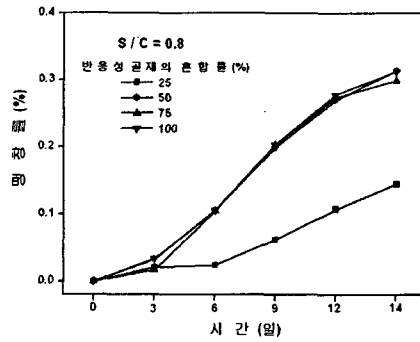


Fig. 4 S/C=0.8에 대한 모르타르 길이변화.

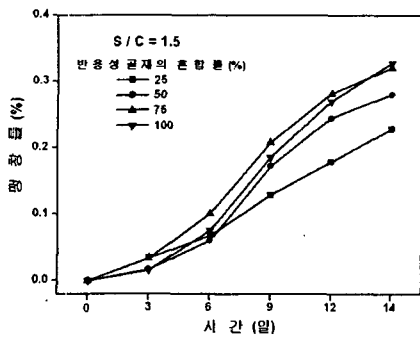


Fig. 5 S/C=1.5에 대한 모르타르 길이변화.

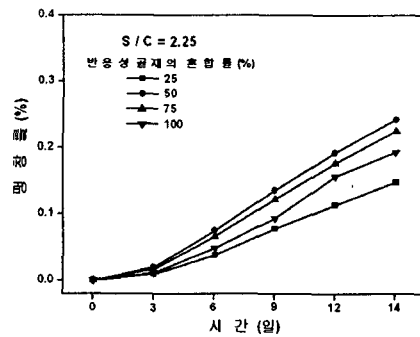


Fig. 6 S/C=2.25에 대한 모르타르 길이변화.

4. 결론

- 1) 골재 양이 적고, 즉 S/C가 작고 또 반응성 골재의 혼합 비율이 작은 모르타르에서는 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창률은 작은 것으로 나타났다.
- 2) S/C=2.25의 모르타르에 대해서는 반응성 골재 혼합을 50%에서 가장 큰 팽창률을 나타냈으며 혼합을 75%부터는 혼합을 증가에 따라 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창이 작아지는 것으로 나타났다. 어느 일정한 알칼리에 대해서 반응성 골재 양이 과도하게 증가하게 증가하면 Na^+ 및 OH^- 이온이 분산되어져 알칼리-실리카 겔의 양은 감소하는데 이러한 이유로 S/C=2.25의 모르타르에 대해서는 반응성 골재의 혼합을 증가에 따라 팽창률이 감소한 것으로 판단된다.
- 3) S/C가 0.5, 0.8, 1.5 및 2.25인 각각의 경우에 대해 반응성 골재 혼합을 25%에서 팽창률이 가장 작았지만 ASTM C 1260에서 규정하고 있는 영점읽기 후 14일의 팽창률 0.1%를 넘는 것으로 나타나 적은 양이라 할지라도 반응성 골재가 일부 포함되는 것도 유해한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. ASTM C 1260-01, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates(Mortar-Bar Method).
2. 전쌍순, 이효민, 진치섭, 황진연, 이진성, "ASTM C 227과 ASTM C 1260에 따른 세석 골재의 알칼리-골재 반응성", 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 제15권, 1호, pp.13~18, 2003.