

메타카올린 치환에 따른 알칼리-실리카 반응 팽창 저감효과

The Effect of Meta-Kaolin Replacement on Alkali-Silica Reaction

전 쌍 순* 이 호 민** 진 치 섭*** 황 진 연****
Jun, Ssang Sun Lee, Hyomin Jin, Chi Sub Hwang, Jin Yeon

ABSTRACT

The effectiveness of Meta-Kaolin to prevent detrimental expansion due to alkali-silica reaction was investigated through the ASTM C 1260 method. Reactive aggregate used is a metamorphic rock. The replacement proportions of portland cement by Meta-Kaolin were 0, 5, 10, 15, 25 and 35 percent, respectively. The results indicate that 25 percent replacement of portland cement by Meta-Kaolin seems to be most effective to reduce alkali-silica reaction expansion under this experimental conditions.

1. 서 론

콘크리트는 골재, 시멘트 및 물이 주 구성성분이나 내구성 향상, 작업성 및 경제성 등을 개선 향상시키기 위하여 혼화재를 첨가하고 있다. 산업폐기물의 활용과 자원 보호 차원에서 플라야애쉬, 고로슬래그미분말, 실리카폼이 광물 혼화재로 널리 사용되고 있고, 최근 우수한 포졸란 반응특성으로 인해 그 활용이 연구되고 있는 혼화재로 메타카올린이 있다. 메타카올린은 고령석을 약 600~850℃로 소성시킨 후, 냉각하여 일정한 입도로 미분화 한 것으로 국내에서 제조하고 있다. 혼화재의 용도는 상당히 많지만 본 연구에서는 쇄석 골재 사용으로 문제되고 있는 알칼리-실리카 반응에 있어서 메타카올린을 혼화재료로 사용할 경우 알칼리-실리카 반응에 미치는 영향을 알아보려고 한다. 근래에 들어 화학적으로 안정한 골재가 고갈되어가고, 환경문제로 인한 제조 공정의 변화로 더욱 많은 알칼리가 시멘트에 포함됨에 따라 알칼리-실리카 반응의 문제가 더욱 심화될 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 메타카올린의 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창 억제효과를 알아보려고 시멘트에 대한 메타카올린의 치환율을 달리하여 반응성 골재에 대한 ASTM C 1260 시험법으로 팽창 저감효과를 평가하여 보았다.

2. 실험 개요

2.1 실험 재료

2.1.1 시멘트

* 정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정

** 정회원, 부산대학교 지질학과 강사, 환경문제연구소 전임연구원

*** 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수

**** 정회원, 부산대학교 지질학과 교수

사용한 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드 시멘트로서, 화학성분은 표 2.1과 같다. 알칼리-실리카 반응에 관련된 시멘트의 화학성분은 주로 K₂O와 Na₂O의 알칼리 성분이며, 본 실험에 사용된 시멘트의 K₂O량은 0.95%, Na₂O량은 0.12%로써 등가알칼리량(0.658 K₂O+Na₂O)으로 환산하면 0.75%이다.

표 2.1 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 혼화제

본 실험에 사용된 혼화제는 국내 A사의 메타카올린이며, 메타카올린의 물리·화학적 성질은 표 2.2와 같다.

표 2.2 메타카올린의 물리·화학적 성질

화학성분 (%)								Blaine (cm ² /g)	비중
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO		
52.0	40.0	3.0	0.4	0.6	0.4	1.2	0.5	10,000	2.53

2.1.3 골재

본 연구에서는 골재의 잠재적인 알칼리 반응성을 평가하는 모르타르 바(Mortar-Bar) 시험방법인 ASTM C 1260으로 여러 종류의 채석 골재의 반응성을 검토하여, 반응성이 나타난 변성암 골재를 사용하였다. 본 연구에서 적용한 ASTM C 1260은 16일 안에 반응성 골재를 판별하는 방법으로, 시험시편의 길이변화율이 시편 제작 후 16일(zero reading 후 14일)에 0.1% 미만의 팽창을 나타내면 골재는 유해성이 없는 것으로 간주하고, 시편이 0.1~0.2%의 팽창을 나타낸다면 골재는 잠재적인 반응성이 있는 것으로, 그리고 0.2% 이상의 팽창을 나타내는 골재는 반응성 골재로 간주하는 시험방법이다. 본 연구에 사용한 골재는 그림 2.1에서 보는 바와 같이 14일에 0.2% 이상의 팽창을 나타내어 ASTM C 1260 규정에 따라 반응성 골재로 판정하였다. 본 실험에 사용된 변성암 골재가 0.2% 정도의 팽창을 나타낸 것은 구성광물의 결정도와 연관이 있는 것으로 판단된다. 변성암 골재의 X선 회절분석(XRD) 시험결과 석영, 방해석, 장석, 점토광물인 녹니석, 운모 및 일라이트로 구성되어 있는 것으로 나타났다. 변성작용을 많이 받은 암석 중의 석영은 대부분 파동소광을 나타내는데, 이는 변성작용시 석영 결정이 변형을 받아 격자구조가 변형 또는 파괴되어 있음을 의미하는 것이다. 이는 열역학적으로 불안정한 상태이므로 콘크리트 세공용액 중의 Na⁺, K⁺ 등의 이온과 쉽게 반응하여 반응성을 나타낸 것으로 판단된다. 본 실험에 사용된 골재의 물리적 성질은 표 2.3과 같다.

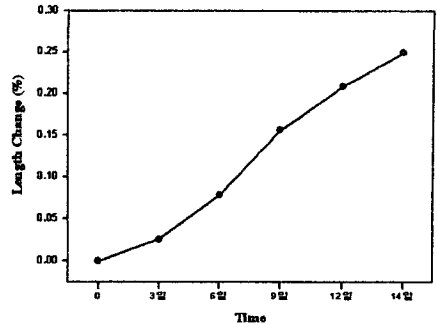


그림 2.1 모르타르 바의 길이변화

표 2.3 실험에 사용한 골재의 물리적 성질

비중	흡수율 (%)	단위중량 (kg/m ³)	잔입자량 (%)
2.64	2.08	1,557	5.16

2.2 실험 방법 및 계획

2.2.1 Mortar-Bar Method

메타카올린의 치환율에 의한 알칼리-실리카 반응의 저감효과는 메타카올린을 시멘트 중량에 대하여 0, 5, 10, 15, 25, 35%로 치환하여 ASTM C 1260 시험법으로 공시체를 제작한 후, 모르타르 길이변화율로 비교하였다.

(1) Mortar-Bar 제작

시험 모르타르는 시멘트와 골재를 무게비

표 2.4 모르타르 배합

메타카올린 치환율(%)	W/C	단위량 (g)			
		물	시멘트	메타카올린	잔골재
0	0.47	206.8	440	-	990
5	0.47	206.8	418	22	990
10	0.47	206.8	396	44	990
15	0.47	206.8	374	66	990
25	0.47	206.8	330	110	990
35	0.47	206.8	286	154	990

가 1 : 2.25가 되도록 하고, 물·시멘트 비(W/C)는 0.47로 배합을 하였다. 공시체는 2.5×2.5×30cm 치수의 봉을 사용하여 각 골재 당 3개의 길이변화 시편을 제작하였다. 모르타르 배합은 표 2.4와 같다.

(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, 시편이 물에 충분히 잠길 수 있도록 용기에 넣고 80±2℃의 온도로 유지시켰다. 24시간 후에 길이변화를 측정하였는데 이것이 zero reading이다. zero reading이 끝난 후 시험 시편은 1N NaOH 용액에 담구고 80±2℃의 온도로 유지시켰다. NaOH 용액이 들어있는 용기는 polypropylene으로 밀봉이 가능하도록 제작하였다. Mortar-Bar의 길이변화는 zero reading 후 3, 6, 9, 12, 14일에 대해 매번 같은 시간에 측정하였다.

2.2.2 모르타르 유동성 시험

메타카올린 치환에 따른 모르타르의 유동성을 파악하기 위하여 모르타르 길이변화 공시체 제작시 플로우 시험(flow test)을 실시하였다. 플로우치(flow value)는 흐름시험기를 6초 동안 13mm로 10회 낙하하여 모르타르가 흘러 퍼진 증가된 평균지름을 원래의 지름에 대한 백분율로 나타내었다.

2.2.3 모르타르 압축강도 시험

메타카올린을 혼입한 모르타르의 압축강도 시험은 KS L 5105 “시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법”에 준하여 수행하였다. 공시체는 모르타르 길이변화 시험과 같은 배합으로 제작하였으며, 양생은 23±2℃, 습도는 90% 이상을 유지하여 재령 7일과 28일에 모르타르의 압축강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Mortar-Bar 시험결과

ASTM C 1260에 준하여 측정된 메타카올린 치환율에 따른 모르타르 길이변화율은 그림 3.1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 메타카올린 치환율이 5%인 경우는 기존 모르타르보다 더 큰 팽창을 나타내고 있으며, 치환율이 10%인 경우는 기존 모르타르보다 길이변화는 감소하였지만 14일의 길이변화가 ASTM C 1260에서 규정하고 있는 0.1% 팽창률을 넘는 것으로 나타났다. 메타카올린 치환율이 15% 이상부터 길이변화가 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 본 연구에 있어서 치환율이 5%의 모르타르에서 유해한 팽창을 억제할 수 없었던 것은 이들의 치환량으로는 모르타르 조직의 치밀화로 인한 알칼리 용액의 침투에 메타카올린의 물리적 효과가 불충분했던 것으로 생각된다. 그림 3.1에서 알수 있듯이 재령이 증가함에 따라 메타카올린 치환율에 관계없이 길이변화는 약간씩 증가하는 경향을 나타냈으며, 치환율이 25%인 경우는 재령에 따른 길이변화 증가량이 거의 줄어들는 것을 알 수 있다. 그리고 메타카올린을 혼합한 경우보다 혼합하지 않은 경우, 재령에 따른 길이변화 증가량이 더 커지는 경향을 알 수 있다. 본 연구에 사용된 반응성 골재는 메타카올린 치환율이 15% 이상일 때 모르타르 길이변화율이 감소하는 것으로 나타났으나 재령에 따른 길이변화 증가율도 고려한다면 치환율이 25%일 때 알칼리-실리카 반응에 대한 팽창 저감에 효과적인 것으로 판단된다. 메타카올린의 알칼리-실리카 반응에 의한 팽창억제는 모르타르의 수밀성 증가로 인한 알칼리 침투억제 효과와 모르타르내 가용 포틀랜드이트 양이 줄어 유해성이 높은 Ca-함유젤

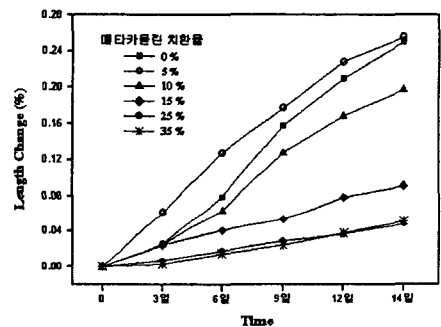


그림 3.1 메타카올린 치환에 따른 모르타르 길이변화

의 형성을 감소시킴에 따라 팽창률이 저하되는 것으로 판단된다.

3.2 모르타르 유동성

메타카올린 치환율을 증가시키면서 flow test에 의해 모르타르 유동성을 측정된 결과, 치환율이 증가할수록 유동성이 저하하는 것으로 나타났다. 그림 3.2에서 보는 바와 같이 치환율이 5%인 경우에는 플로우치의 변화가 거의 없는 것을 알 수 있는데, 이는 본 연구에서 사용한 반응성 골재에 시멘트 중량에 대한 메타카올린의 5% 치환은 모르타르 유동성에 미치는 영향이 아주 작은 것으로 판단된다. 따라서 모르타르 유동성 측면에서 메타카올린의 적절한 치환율은 5%인 것으로 판단된다.

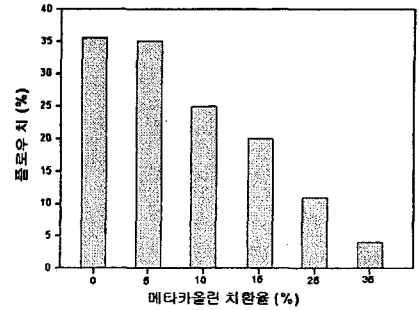


그림 3.2 메타카올린 치환에 따른 모르타르의 플로우치

3.3 모르타르 압축강도

그림 3.3은 메타카올린을 시멘트 중량에 대하여 0, 5, 10, 15, 25, 35%로 대체하여 제조한 모르타르의 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 본 연구에 사용된 반응성 골재는 메타카올린 치환율을 5, 10%로 할 경우 7일 강도는 기존 모르타르보다 작은 것으로 나타났다. 그리고 치환율이 25, 35%인 경우는 기존 모르타르보다 7일 강도는 증가하였지만 재령 28일에서는 강도가 작은 것으로 나타났다. 이 그림에서 알 수 있듯이 메타카올린 치환율 15%인 경우가 재령 7일, 28일에서 가장 우수한 강도발현을 보이고 있어 강도측면만 고려한 메타카올린의 치환율은 15%가 최적인 것으로 판단된다.

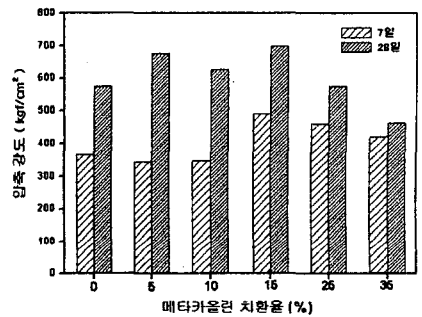


그림 3.3 메타카올린 치환에 따른 모르타르 압축강도

4. 결론

- 1) 메타카올린 치환율을 증가시키면서 반응성 골재의 모르타르 유동성을 측정된 결과, 치환율이 증가할수록 유동성이 저하하므로 다른 혼화재료를 병용하여 유동성을 향상시키는 방법을 검토할 필요성이 있는 것으로 판단된다.
- 2) 모르타르 압축강도 시험결과, 시멘트 중량에 대한 메타카올린 치환율 15%에서 가장 우수한 강도발현을 나타내 강도측면만 고려한다면 치환율 15%가 최적인 것으로 판단된다.
- 3) 메타카올린으로 시멘트를 15% 이상 치환을 하면 ASTM C 1260에 의해 14일에 0.2% 이상의 팽창을 나타낸 반응성 골재의 경우, 알칼리-실리카 반응에 대한 팽창 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 재령에 따른 팽창률을 고려한다면 메타카올린 치환율 25%가 알칼리-실리카 반응 팽창 저감에 가장 효과적인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-00064) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김용태, 안태호, 강범구, 이정율, 김병기, "콘크리트 혼화재료로서의 메타카올린의 기초적인 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제13권, 2호, pp.281~286, 2001.
2. 김진만, 이상수, 김동석, "메타카올린을 사용한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집, 제15권, 1호, pp.47~52, 2003.