

C-S-H계 조강제 첨가에 따른 혼합시멘트의 초기 강도 발현 특성

Characteristics of early strength development of blended cement according to the addition of C-S-H based Hardening acceleration

안태윤¹ · 라정민² · 박준형³ · 김진만^{4*}

An, Tae-Yun¹ · Ra, Jeong-Min² · Park, Jun-Hyung³ · Kim, Jin-Man⁴.*

Abstract : In order to realize carbon neutrality in the international society, research on supplementary cementitious materials(SCMs) has been actively conducted as a way to reduce carbon dioxide emissions in the cement industry. However, the use of SCMs causes problems of initial hydration delay and strength reduction due to the reduction of tricalcium silicate(C3S) in the cement clinker. Therefore, in this study, the initial hydration and basic characteristics of cement mortar were confirmed by adding a C-S-H based hardening acceleration to blended cement mixed with Portland cement, blast furnace slag, fly ash, and limestone power. As a result of the heat of hydration and compressive strength test, it was confirmed that when hardening acceleration was added, the initial reactivity was high, so the heat of hydration was promoted, and the initial strength was increased. It is considered to be due to C-S-H seeding effect. Therefore, it is judged that the use of C-S-H based hardening acceleration can supplement the problem of initial hydration delay of blended cement in Korea.

키워드 : C-S-H, 혼합시멘트, 시멘트 대체 재료, 수화 촉진

Keywords : calcium silicate hydrate, blended cement, supplementary cementitious materials, hydration acceleration

1. 서론

전 세계적으로 2050 탄소 중립을 선언하면서 시멘트 산업에서도 CO₂ 배출을 감소하기 위한 노력이 지속되고 있다. 온실가스 감소를 위한 시멘트 대체 재료 (Supplementary Cementitious Materials, SCMs)의 사용은 시멘트 사용량이 줄어들어 클링커의 규산삼칼슘 (C₃S) 감소로 초기 수화 지연 및 강도 저하라는 문제가 발생한다. 이에 대한 방안으로 수화 촉진제를 사용하지만, 장기 강도가 더디어지는 경우가 생긴다[1]. 이에 본 연구에서는 C-S-H계 조강제 첨가에 따른 C-S-H seeding 효과로 인한 혼합시멘트의 초기 수화 특성을 검토하고자 한다.

2. 실험 계획

본 연구의 실험 계획은 표 1과 같다. 시멘트 대비 혼합재를 사용할 경우에 따른 초기 미소수화열을 분석하기 위해 TA사 TAM 장비를 사용했다. 미소수화열 측정은 ASTM C 1702에 준하여 온도 20℃ 조건에서 페이스트 제조 후 약 72시간 동안 60초 간격으로 측정하였다. 압축강도는 KS L ISO 679에 준하여 시멘트-잔골재 비 1:3인 모르타르를 제조 후 1, 3, 7일 재령별로 측정하였다.

표 1. Overview of blended cement paste, mortar experiments

Experimental factor	Experimental level		Test item
	Cement	FA	
Type of Binder	GGBS	LSP	미소수화열
	C-S-H based hardening acceleration (%) (Solid content 12.8%)		
		0, 3	

FA= Fly ash, GGBS= Ground granulated blast-furnace slag, LSP= Limestone powder

1) 공주대학교, 학사과정
 2) 공주대학교, 친환경 콘크리트 연구소 선임 연구원
 3) 공주대학교, 학·석사 연계과정
 4) 공주대학교, 그린스마트 건축공학과 교수, 교신저자(jmkim@kongju.ac.kr)

3. 실험 결과

3.1 미소수화열

그림 1은 시멘트와 SCMs를 사용한 페이스트의 C-S-H계 조강제 첨가에 따른 미소수화열 실험결과를 나타내고 있다, C-S-H계 조강제를 첨가했을 경우, 첨가하지 않은 바인더 대비 두 번째 피크의 Heat flow가 0.6~1.5cal/(g·h) 높은 값이 나타났다. 특히 LSP10-CSH3의 Heat flow가 4.2cal/(g·h)로 Plain 대비 약 50% 높은 값을 보였다. 두 번째 피크 발생 시간의 경우, C-S-H계 조강제를 첨가하지 않은 바인더는 전체적으로 약 14~18시간 후 발생한 것에 비해 첨가했을 경우 약 6~8시간 정도로 Plain 대비 2배 정도 촉진된 결과가 나타났다.

3.2 압축강도

그림 2는 시멘트와 SCMs를 사용한 모르타르의 1, 3, 7일 압축강도 측정 결과를 나타낸 것이다. C-S-H계 조강제를 첨가한 GGBS, LSP의 경우 3일 강도가 21, 35Mpa로 각 Plain 대비 약 53, 30%의 높은 강도 발현율을 보였다. 하지만 FA의 경우 3일 강도가 Plain과 비슷한 강도 결과를 보였다.

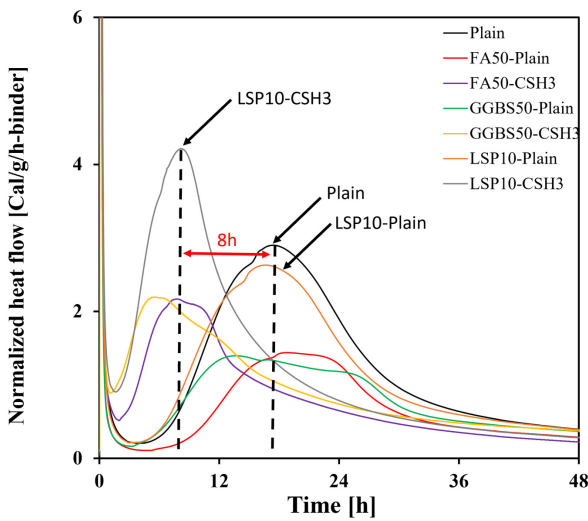


그림 1. 미소수화열

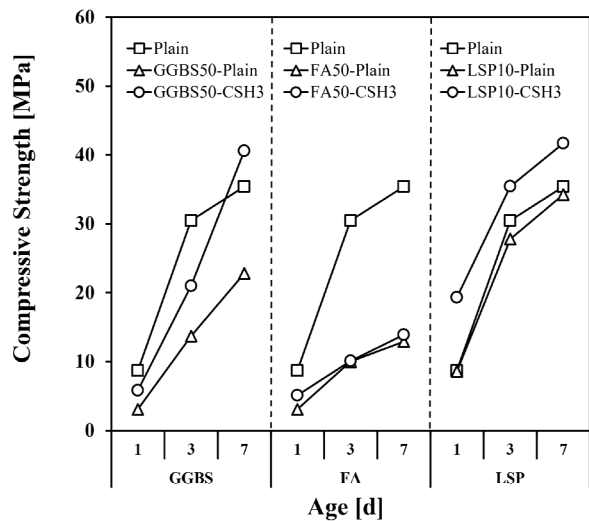


그림 2. 압축강도

4. 결론

본 연구에서는 C-S-H계 조강제를 사용해 혼합시멘트의 초기 수화 특성을 개선하기 위한 미소수화열 및 압축강도 실험을 진행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다. 미소수화열 측정 결과 C-S-H계 조강제를 사용한 경우 두 번째 피크의 Heat flow가 사용하지 않은 바인더 대비 0.6~1.5cal/(g·h) 높은 값을 보였으며, 피크 발생이 8~10시간 빠른 값을 보였다. 이는 초기 유도 기간 동안 형성된 안정한 C-S-H의 핵이 시멘트 입자 표면에서 핵으로 작용하여 수화반응을 촉진시키는 것으로 판단된다. 압축강도 측정 결과 C-S-H계 조강제를 사용한 경우 사용하지 않은 모르타르 대비 전체적으로 초기 강도가 증가함을 보였다. 하지만 FA를 사용한 경우 초기 강도 증진 효과가 미미했는데, 이는 수화 반응열이 낮고, 반응속도가 느린 FA의 재료적 특성에 의한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구를 통해 C-S-H계 조강제를 사용할 경우 우리나라 혼합시멘트의 초기 수화 지연 문제점을 보완할 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 이공분야기초연구사업중 중견연구자지원사업의 지원(과제번호 2020R1A2C2013161)을 받아 수행한 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- 정용. C-S-H계 나노입자 함유 조강제의 시멘트 수화 반응 특성. 군산대학교 신소재공학과. 2019.