보통강도 고유동 자기충전 콘크리트의 수화발열 특성

Hydration Heat Properties of High Flowing Self-Compacting Concrete with Normal Strength

최 연 왕* 김 병 권** 이 재 남*** 류 득 현**** 송 용 규***** 정 우 용******

Choi, Yun Wang Kim, Byoung Kwon Lee, Jae Nam Ruy, Deug hyun Song, Yong Kyu Jung, Woo Yong

ABSTRACT

This research carries out experiments for hydration exothermic rate and adiabatic temperature rise of concrete to examine the characteristics of the hydration heat of high flowing self-compacting concrete with a normal strength. As a result of the hydration exothermic rate experiment, the high flowing self-compacting concrete that used Lime stone powder and fly ash as polymers shows that its hydration heat amount reduces due to the reduction of unit cement. The result measured the adiabatic temperature rise of concrete presents that high flowing self-compacting concrete having lots of binder contents has a good performance in temperature reduction due to the effect of polymer and that triple adding high flowing self-compacting concrete has a similar temperature rise speed with conventional concrete. As a result of the research, high flowing self-compacting concrete shows a better temperature reduction performance for the binder content per unit than conventional concrete. In addition, it is judged that triple adding high flowing self-compacting concrete with a specified concrete strength 30 MPa is more beneficial in temperature reduction and early hydration heat than double adding high flowing self-compacting concrete.

요 약

본 연구에서는 보통강도 고유동 자기충전 콘크리트의 수화발열 특성을 알아보기 위하여 미소수화열 시험 및 간이 단열에 의한 콘크리트 온도 상승량 실험을 실시하였다. 미소수화열 시험을 실시한 결과 석회석미분말 및 플라이애시를 혼화재로 사용한 고유동 자기충전 콘크리트는 단위시멘트량 감소로 수화발열량이 감소하였다. 간이 단열에 의한 콘크리트 온도 상승량을 측정한 결과 분체량이 많은 고유동 자기충전 콘크리트가 혼화재의 영향으로 온도저감 성능이 우수 하며, 3성분계 고유동 자기충전 콘크리트의 경우 일반콘크리트와 유사한 온도상승속도를 나타내었다. 이러한 결과 고유동 자기충전 콘크리트가 일반콘크리트보다 상대적으로 높은 단위 분체량에 대한 온도저감 성능이 우수 하며, 설계기준 강도 30MPa의 3성분계가 2성분계 고유동 자기충전 콘크리트보다 온도저감 및 초기 수화발현에 유리할 것으로 판단된다.

* 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 세명대학교 토목공학과 강사

*** 정회원, 세명대학교 토목공학과 석사과정

**** 정회원, 유진기업기술연구소 소장

***** 정회원, 동부건설(주) 과장

****** 정회원, 한국건자재시험연구원 연구원

1. 서 론

최근 시공되는 건설 구조물은 대형화 및 장대화 됨에 따라 대단면 매스콘크리트의 적용이 증가되고 있으며, 이러한 구조물은 콘크리트의 온도상승에 따른 품질저하의 문제점을 가지고 있다. 국내의 경우 매스구조물의 수화열 저감 기술로 시공단계에서의 프리쿨링, 분할타설 및 파이프 쿨링 등의 방안을 적용하는 사례가 대부분 이지만 적용의 용이성 및 경제성 등을 고려하여 재료적 측면에서의 수화열 저감 방안이 필요하다. 특히, 분체량이 많은 고유동 자기충전 콘크리트(이하 HSCC로 약함)의 경우 보통 강도를 발현하기 위한 시멘트 대체 혼화재의 사용이 필요하며, 이에 따라 혼화재의 종류 및 치환율에 따른 온도저감 효과를 기대할 수 있다. HSCC의 경우 50MPa 이상의 고강도 영역의 수화발열 특성에 대한 많은 연구가 수행되고 있으나, 보통강도(30MPa) 영역에서의 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 설계기준강도 30MPa HSCC의 온도저감 성능 평가의 일환으로 2성분계 및 3성분계 HSCC를 제조하여 일반콘크리트(이하 CC로 약함)와 수화발열 특성을 분석 고찰 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

시멘트는 밀도 3.15의 보통포틀랜드 시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, HSCC용 혼화재로 사용된 분체는 석회석미분말(이하 LSP로 약함) 및 플라이애시(이하 FA로 약함)를 사용하였다. 잔골재는 밀도가 2.57g/㎤인 낙동강 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 밀도가 2.68g/㎤이고 최대치수(G_{max}) 20㎜인 부순골재를 사용하였다.

2.2 실험방법

혼화재의 사용에 따른 페이스트의 수화발열 특성을 알아보기 위하여 W/C 50%의 페이스트를 Plain으로 하여 OPC에 대하여 LSP 및 FA를 각각 30% 부피비로 치환(이하 L30 및 F30로 약함)하였으며, LSP 20% 및 FA 20%를 혼합한 페이스트(이하 L20F20로 약함)의 경과시간에 따른 수화발열량을 미소수화열량계를 이용하여 측정하였다. 또한, HSCC의 수화발열 특성을 알아보기 위하여 정육면체의 단열상자(300×300×300㎜)를 제작하여 CC 및 HSCC를 타설하였으며, 중심부에 온도 센서를 설치하여 데이터로거(TDS-303)에 의해 1시간 간격으로 온도이력을 측정 하였다. 그림 1은 간이단열온도상승실험 사진이다.

그림 1. 간이단열온도상승실험

2.3 콘크리트 배합

CC 및 HSCC의 콘크리트 배합은 표 2와 같다. 보통강도 HSCC의 수화발열 특성을 알아보기 위하여 설계기준강도 30MPa CC인 OPC2를 기준으로 HSCC인 LSP 30 및 LSP20-FA20은 단위수량을 178㎏으로 고정 하였으며, OPC1의 경우 단위분체량에 따른 콘크리트의 수화발열 특성을 알아보기 위하여 단위시멘트 492㎏으로 제조하였다. 또한, CC 배합은 현장에서 주로 사용되는 콘크리트 배합을 고려하여 슬럼프 170±20㎜ 배합을 기준으로 하였으며, HSCC 배합은 골재 채움율(PF)을 이용한 2성분계 및 3성분계 분체계 배합으로 제조하였다.

표 2. 콘크리트 배합표

Item \ Type		PF	Air (%)	S/a (%)	W/C (%)	W/P (%)	Unit mass(kg/㎥)					
							W	P			S	G
								C	LSP	FA		
CC	OPC1	-	-	45	35	35	172	492	-	-	717	931
	OPC2	-	4.5±1.5	45	50	50	178	356	-	-	768	979
HSCC	LSP 30	1.1	4.5±1.5	51	47	35	178	378	138	-	786	802
	LSP20-FA20	1.1	4.5±1.5	51	55	36	178	324	92	75	786	802

* LSP 30 : LSP를 OPC에 대하여 30% 부피비로 치환　　* LSP20-FA20 : LSP 및 FA를 각각 20% 부피비로 치환

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼화재에 따른 미소수화열

그림 2는 시간 경과에 따른 페이스트의 미소수화열을 나타낸 것이다. 그림 2의 결과 최초 미소수화열 발생 4시간 이후 수화발열속도가 급격히 증가하였으며, 14시간 전후로 최고 발열피크가 발생하였다. 최고 발열피크 도달시간은 OPC의 경우 14시간 이며, L30 및 L20F20은 13시간, F30은 15시간으로 나타났다. L30의 경우 OPC보다 최고 발열피크 도달시간이 단축된 것은 C_aCO_3 함량이 많은 LSP가 C_3S의 초기 수화를 촉진시킨 것으로 판단된다. 또한, 72시간에서 누적수화발열량은 L30 및 F30의 경우 OPC 보다 19% 및 17% 저감 되었으며, 3성분계 배합인 L20F20의 경우 30%이상 저감되었다. 이러한 결과는 시멘트용 혼화재로 LSP 및 FA를 사용할 경우 혼화재의 치환에 따른 단위시멘트량 감소로 수화발열량이 감소된 것으로 판단된다. L20F20의 경우 수화발열속도 및 최고발열피크 도달시간이 OPC와 가장 유사하게 나타났으며, 누적수화발열량은 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과 콘크리트 배합 설계시 LSP 및 FA의 혼합 치환으로 콘크리트 온도저감 효과를 기대할 수 있으며, 2성분계 보다 3성분계 HSCC 배합이 온도 저감에 유리할 것으로 판단된다.

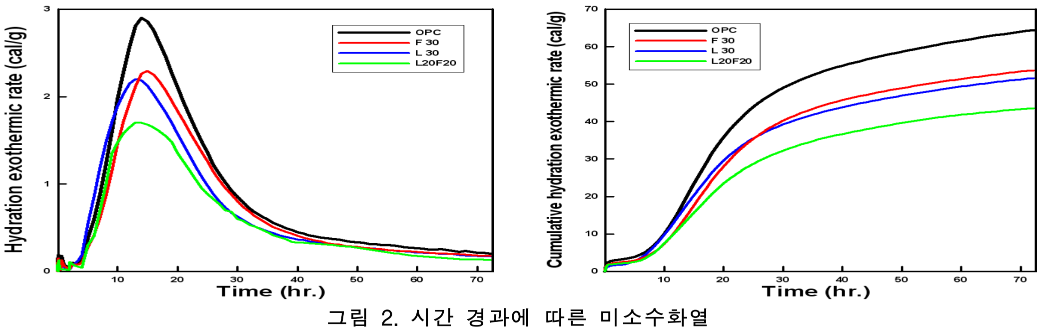

그림 2. 시간 경과에 따른 미소수화열

3.2 간이 단열에 의한 온도상승량

그림 3은 CC 및 HSCC의 시간 경과에 따른 간이 단열 시험체의 중심온도이력을 나타낸 것이다. 그림 3의 결과 콘크리트 온도는 20~29시간에 최대 온도로 나타난 이후 점차 감소하는 경향이 나타났다. OPC1 보다 LSP 30 및 LSP20-FA20에서 각각 15% 및 21%의 온도 저감 효과가 나타났으며, 최대 상승 온도 도달시간은 각각 3시간 및 9시간 지연 되었다. 이러한 결과는 그림 2의 미소수화열 측정 결과와 같이 혼화재의 치환에 따른 단위시멘트량 감소로 수화발열량이 감소된 원인으로 판단된다. 또한, OPC2 보다 LSP30 및 LSP20-FA20에서 최대 상승 온도는 각각 13%

및 4% 상승 하였다. 특히, 최대 상승 온도 도달시간은 LSP30의 경우 2시간 단축 되었으며, LSP20-FA20의 경우 4시간 지연되었다. 이러한 결과는 CC보다 HSCC가 분체량이 많아 최대 상승 온도가 상승 한 것으로 판단되며, LSP30의 경우 LSP가 C_3S의 활성화에 기인함에 따라 초기 수화의 촉진으로 최대 상승 온도 도달시간이 단축된 것으로 판단된다. 콘크리트의 온도이력 곡선에서 발열이 급격히 직선적으로 상승하는 시점에서 최대 상승 온도까지의 온도차를 시간으로 나눈 값인 온도상승속도의 경우 OPC1 및 OPC2는 각각 2.64℃/h 및 1.42℃/h로 나타났으며, LSP30 및 LSP20-FA20은 1.89℃/h 및 1.40℃/h로 단위시멘트량이 적을수록 온도상승속도도 지연되는 것으로 나타났다. 특히, 분체량이 많은 LSP20-FA20의 경우 OPC2와 유사한 온도상승속도를 나타내었다. 이러한 결과를 통하여 보통강도(30MPa) 수준의 HSCC는 동일한 분체량을 사용한 CC보다는 최대 상승 온도가 저감되지만 30MPa 수준 CC의 분체량 보다는 분체량이 증가하기 때문에 최대 상승 온도가 증가하는 것을 알 수 있다.

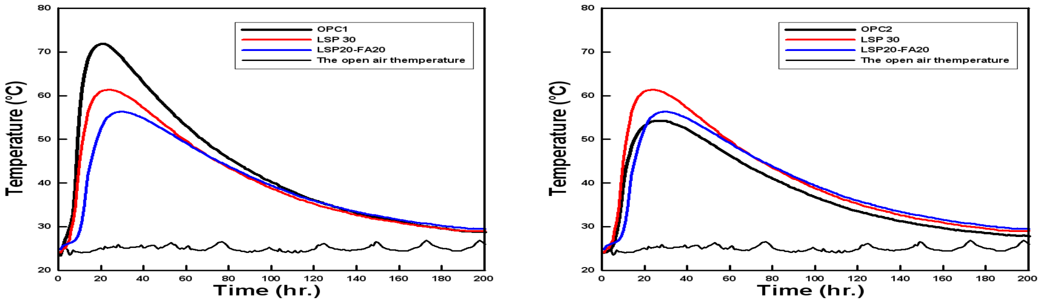

그림 3. 시간경과에 따른 시험체의 중심온도이력

4. 결　론

1) 페이스트의 누적 수화발열량 측정 결과 L30 및 F30의 경우 OPC 보다 19% 및 17% 저감 되었으며, 3성분계 배합인 L20F20의 경우 30%이상 저감 되어 LSP 및 FA의 혼합 치환이 수화발열량 저감 효과가 큰 것으로 나타났다.
2) 보통강도 수준(30MPa)의 HSCC 및 CC의 간이 단열온도 측정 결과 HSCC인 LSP30 및 LSP20-FA20의 경우가 CC보다 13% 및 4% 상승되어 최대 상승 온도가 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 설계기준강도 30MPa의 3성분계가 2성분계 HSCC보다 온도저감 및 초기 수화발현에 유리할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술 (05 건설핵심 D11-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 콘크리트 구조물에서의 수화열 저감 방안 연구, 한국전력공사 전력연구원 연구보고서, 1998
2. CONCRETE, P.Kumar Mehta, Paulo J.M.Monteiro, 2004
3. セメントの材料化學, Arai, Yasuo, 1993