

분말형 수화열저감제를 사용한 저발열 콘크리트의 수화발열 특성

The Characteristics of Hydration Heat Generation of Low Heat Concrete using Hydration Heat Reducing Admixtures

김 용 로^{*} 정 양 희^{**} 이 상 호^{***} 김 도 수^{****} 길 배 수^{*****} 김 원 기^{*****}
Kim, Yong-Ro Jung, Yang-Hee Lee, Sang-Ho Kim, Do-Su Khil, Bae-Su Kim, Won-Ki

ABSTRACT

It is necessary to develop a new technology for controlling thermal cracking by hydration heat according to the increase construction of massive concrete structures, high strength concrete and early strength concrete.

Therefore, it was investigated the characteristics of hydration heat generation of low heat concrete using hydration heat reducing admixtures in this study.

To investigate the performance of hydration heat reducing admixtures, it was evaluated hydration heat according to the kind and replacement ratio of phase change material series I, II and the way of using hydration heat reducing admixtures in series III.

1. 서 론

최근 건축, 토목 및 플랜트 공사에 적용되는 콘크리트구조물의 대형화 및 장대화 등에 기인한 대단면 매스콘크리트의 적용이 증가함에 따라 콘크리트의 수화열에 의한 온도균열 문제를 해결하기 위한 다양한 수화열 저감 기술이 개발되어 적용되고 있다.¹⁾

이러한 수화열 저감 기술로서는 설계, 재료 및 시공 측면에서 다양한 기법이 제시되고 있지만, 국내의 경우 적용의 용이성 및 경제성 등을 고려하여 플라이애시 및 고로슬래그 미분말 등의 혼화재 치환, 저열시멘트, 저발열시멘트, 수화지연제 등의 재료적인 기법이 주로 활용되고 있다.²⁾

그러나 이와 같은 재료적인 수화열 저감 기법의 경우 온도균열 문제를 해결하기에는 수화열 저감

* 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 주임연구원, 공학박사

** 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 주임연구원

*** 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 선임연구원

**** 정회원, (주)트라이포드 기술경영이사, 공학박사

***** 정회원, (주)트라이포드 대표이사, 공학박사

***** 정회원, 기초소재(주) 기술연구소장, 공학박사

표 1. 실험 계획

시리즈	실험요인	실험수준	측정항목
I	잠열성 수화열저감재 종류	3C, 3C+Ca, 3C+Ca+Na, 3C+Na	• 간이 단열온도상승시험(℃)
II	수화열저감재 대체율	1.0, 3.0, 5.0, 10.0 %	
III	수화열저감재 적용 방법	Plain, 프리믹스형, 혼화재형	• 슬럼프(cm), 공기량(%) • 압축강도(MPa) • 간이 단열온도상승시험(℃)

효과가 다소 미미한 수준인 것으로 지적되고 있어, 온도균열 저감을 위해 콘크리트의 수화열을 효과적으로 제어할 수 있는 보다 성능 향상된 기법의 개발이 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 기존 연구³⁾를 통해 설정된 3성분계 결합재를 적용한 저발열 콘크리트 배합에 일정 온도에서 상변화를 일으키는 잠열물질을 활용한 분말형 수화열저감재를 혼화재 형태로 대체한 후, 수화온도를 평가함으로써 향후 콘크리트 구조물의 효과적인 온도균열 저감 기술 구축을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

표 2. 콘크리트 배합 (III시리즈)

배합명	W/B (%)	s/a (%)	단위 수량 (kg/m ³)	단위 중량 (kg/m ³)			
				3C	HR	S	G
Plain	39.0	47.0	162	415	-	787	932
프리믹스				415	-	787	932
혼화재				373	42	787	932

* 3C : 3성분계 시멘트, HR : 분말형 수화열저감재
S : 잔골재, G : 굵은 골재

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 수화열 저감 효과가 우수한 분말형 수화열저감재 설정을 위한 I, II시리즈의 시멘트페이스트 시험과 설정된 분말형 수화열저감재의 콘크리트 혼화재로 적용시 기초물성 및 수화발열 특성을 평가하기 위한 III시리즈로 구성하였다.

I 시리즈의 경우 분말형 수화열저감재 종류 설정을 위해 기존 연구자료를 참고로 하여 Ca계 및 Na계의 수화온도를 비교·평가하고자 하였고, II 시리즈에서는 I 시리즈에서 설정된 분말형 수화열저감재의 적정 대체율을 검토하기 위하여 수화열저감재 대체율에 따른 수화온도를 평가하였으며, III 시리즈

의 경우 I, II시리즈를 통해 설정된 분말형 수화열저감재를 혼화재 및 시멘트 제조시 프리믹스한 형태로 적용시 콘크리트의 수화발열 특성을 검토함으로써 본 연구에서 설정한 수화열저감재의 성능 검증 및 실용화를 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2.2 콘크리트 배합 및 사용재료

본 연구의 III 시리즈에서 적용한 콘크리트의 배합은 표 2에서 보는 바와 같이 물결합재비 39.0% 수준에서 분말형 수화열저감재의 사용 방법에 따라 결합재를 Plain, 프리믹스형 및 혼화재형의 3수준으로 설정하였다. 또한, 사용재료는 표 3에 나타난 바와 같이 시멘트는 3성분계 시멘트, 혼화재로서는 분말형 수화열저감재, 골재로서 잔골재는 밀도 2.59g/cm³의 바다모래, 굵은 골재는 밀도 2.72g/cm³의 부순자갈을 사용하였다.

표 3. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	3성분계 시멘트 (OPC : FA : BFS = 35 : 20 : 45, 밀도 : 2.83g/cm ³)
혼화재	분말형 수화열저감재 (밀도 : 2.83g/cm ³)
잔골재	바다모래 (밀도 : 2.59/cm ³ , 흡수율 : 1.16%)
굵은 골재	부순자갈 (밀도 : 2.72/cm ³ , 흡수율 : 1.73%)

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 분말형 잠열재 종류 및 대체율에 따른 수화발열 특성 (I, II 시리즈)

그림 1은 분말형 잠열재 종류에 따른 간이 단열온도시험 결과를 나타낸 것으로서 3성분계 시멘트(3C)의 중량에 대하여 분말형 잠열재를 1.0% 첨가한 결과 잠열재 첨가에 의한 수화열 저감 효과를 확인할 수 있었으며, 잠열재 종류별로는 Ca계에 비하여 Na계 잠열재의 수화열 저감 성능이 양호한 것으로 나타났다.

한편, 그림 2는 I 시리즈에서 수화열 저감 성능이 양호하였던 Na계 분말형 잠열재의 시멘트 중량에 대한 대체율에 따른 간이 단열온도시험 결과를 나타낸 것으로서 잠열재의 대체율이 증가할수록 수화온도는 저감되는 경향이 나타났다.

그러나, 본 연구에서 설정한 분말형 잠열재의 경우 최고 수화온도는 대체율이 증가함에 따라 감소하지만, 최고 수화온도 도달시간은 다소 촉진되는 것으로 나타나 기존 수화열 저감 기법에 비해 공기 지연 등의 문제는 없을 것으로 기대된다.

또한, 분말형 저감재를 대체하지 않은 3C에 비해 수화온도를 10℃ 이상 저감시키기 위해서는 대체율 5.0% 이상을 적용해야 하는 것으로 나타났다.

이는 본 연구에서 적용한 수화열저감재의 경우 잠열물질을 활용한 것으로서 각 잠열물질이 가지고 있는 상변화온도에서의 축열량이 다르며, 축열에 의한 수화열 저감효과를 발휘하기 위한 적정 소요량이 있기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 분말형 수화열저감재 적용 방법에 따른 콘크리트 물성 및 수화발열 특성 (III 시리즈)

표 3은 분말형 수화열저감재의 적용 방법에 따른 콘크리트의 기초 물성 평가 결과를 나타낸 것으로서 굳지 않은 콘크리트에 있어서 슬럼프의 경우 혼화재형으로 적용한 수화열저감재는 Plain과 비교하여 유사한 수준을 보이고 있으나, 프리믹스형을 적용한 경우에는 슬럼프가 저하되는 것으로 나타났다. 또한, 공기량의 경우에도 슬럼프와 유사한 경향을 보이고 있다.

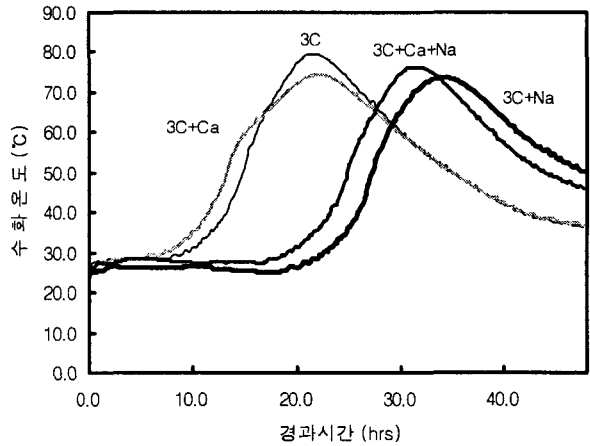


그림 1. 분말형 잠열재 종류에 따른 간이 단열온도 측정 결과

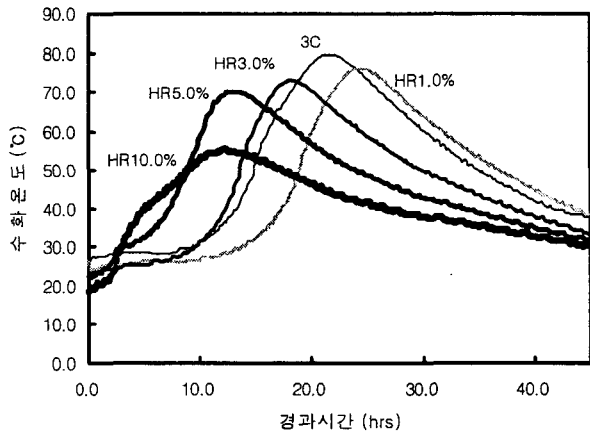


그림 2. 분말형 잠열재 대체율에 따른 간이 단열온도 측정 결과

표 4. 분말형 수화열저감재 적용 방법에 따른 콘크리트 물성

배합명	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도 (MPa)		
			3일	7일	28일
Plain	21.0	3.7	17.3	33.1	49.5
프리믹스	11.5	2.7	9.9	18.3	27.7
혼화재	20.0	4.0	12.3	19.9	28.0

이는 본 연구에서 적용한 수화열저감제는 온도에 의해 상변화가 이루어지는 물질로서 프리믹스 형태로 적용시 제조과정에서 1차적인 반응이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 경화콘크리트 압축강도의 경우 혼화재 및 프리믹스형 모두 Plain에 비해 압축강도가 낮게 발현되는 것으로 나타났다. 이는 수화열저감제로 적용한 잠열제의 반응에 의해 수화물의 생성이 방해되었기 때문인 것으로 판단되며, 향후 실제 건설현장에 적용시 압축강도 저하를 고려한 콘크리트 배합설계의 적용이 필요할 것으로 사료된다.

한편, 그림 3은 분말형 수화열저감제의 적용 방법에 따른 간이 단열온도 측정 결과

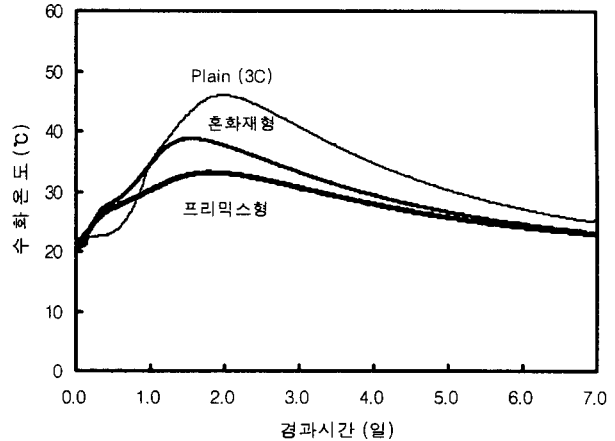


그림 3. 분말형 수화열저감제 적용 방법에 따른 간이 단열온도 측정 결과

과를 나타낸 것으로서 Plain에 비해 혼화재형의 경우 6.1°C, 프리믹스형의 경우 12.5°C 낮은 수화온도를 보이고 있어 본 연구에서 적용한 분말형 수화열저감제의 우수한 수화열저감 효과를 확인할 수 있었다. 또한, 시멘트페이스트 시험결과와 동일하게 콘크리트 시험에 있어서도 분말형 수화열저감제의 적용에 의해 최고 수화온도 도달시간은 다소 촉진되는 것으로 나타났다.

4. 결 론

잠열물질을 활용한 분말형 수화열저감제를 사용한 저발열 콘크리트의 수화발열 특성에 관한 실험적 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 잠열제 종류 및 대체율에 따른 수화발열 특성 검토 결과 잠열제 종류별로는 Ca계에 비하여 Na계 잠열제의 수화열 저감 성능이 양호하며, 잠열제 대체율은 5.0% 이상이 유효한 것으로 나타났다.
- 2) 분말형 수화열저감제 적용 방법에 따른 콘크리트의 물성 평가 결과 굳지 않은 콘크리트의 시공성 확보 측면에서는 혼화재 형태로의 적용이 유리한 것으로 나타났으며, 압축강도 평가 결과 수화열저감제 적용에 의해 강도저하 현상이 발생하고 있어 분말형 수화열저감제 적용 시 이를 고려한 배합설계가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 분말형 수화열저감제를 적용한 저발열 콘크리트의 수화발열 특성 검토 결과 혼화재형 및 프리믹스형 모두 3성분계 시멘트를 사용한 저발열 콘크리트에 비해서도 수화열을 효과적으로 저감시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 日本建築学会 : マスコンクリートにおける技術の現状, 2001. 6
2. 건설교통부, 초저발열콘크리트의 개발 및 대형매스콘크리트 구조물의 수화열제어 시공기술 개발, 건설기술연구개발사업 최종보고서, 1998. 12
3. 김용로, 정양희, 이상호, 김도수, 길배수, 한승구 : 결합제 종류에 따른 저발열 콘크리트의 수화발열 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 2006. 5