

수화열 저감제를 이용한 콘크리트 수화열 저감법 개발

Thermal heat reduction of concrete using LHT

이 상 호* 김 용 로** 정 양 회*** 김 도 수****

Lee, Sang-Ho, Kim, Yong-Ro, Jung, Yang-Hee, Kim, Do-Su

ABSTRACT

Recently, the attention is paid to the problem of thermal crack by hydration heat according to the increase of high strength and mass concrete structures. At this point, various research has been carried out for the control of hydration heat in high strength and mass concrete.

As a part of the research, the application of Low Heat Technology (LHT) for the control of thermal crack by hydration heat was investigated in this study.

To investigate the application, it was selected LHT which can reduce hydration heat of concrete with effect in series I and II. Also, it was investigated the characteristics of hydration heat generation of low heat concrete using LHT with binder types in series III.

1. 서론

최근 콘크리트구조물의 초고층화, 대형화 및 장대화에 따라 대단면 매스콘크리트의 적용이 빈번히 이루어지고 있으며, 콘크리트의 고강도화 및 조기 강도 요구의 증가에 따른 단위시멘트량의 상승에 의해 비교적 단면이 크지 않은 콘크리트구조물에서도 초기 재령에서 무시할 수 없는 수화열이 발생하여 온도균열을 야기 시키는 사례가 발생하고 있다.

이에 따라 국내·외에서 재료, 시공, 설계 및 구조 측면에서 다양한 수화열 및 온도균열 제어 기법이 개발되어 적용되고 있으며, 국내 건설생산현장에서는 경제성 및 적용 용이성 등의 관점에서 저발열 콘크리트 등 재료적 측면에서의 온도균열 제어 기법이 주로 적용되고 있는 실정이다. 그러나 기존의 재료적 온도균열 저감 기법의 경우 수화열 저감 효과가 다소 미미한 수준이며, 고성능 감수제 첨가율 증가, 공기 지연과 강도 저하 등의 문제점이 제기되고 있어, 콘크리트의 수화열 및 온도균열을 제어할 수 있는 보다 성능 향상된 기법의 개발이 시급히 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 기존 재료적 측면의 온도균열 제어 기법에 액상형 수화열 저감제를 혼입한 저발열 콘크리트의 적용성을 검토하기 위하여 결합재 종류에 따른 저발열 모르타르 및 콘크리트의 수화열 특성 및 응결시간, 압축강도를 평가함으로써 향후 건설현장에서 보다 성능 향상된 고강도 및 매스콘크리트의 온도균열 제어 기법 구축을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

* 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 선임연구원, 공학박사수료

** 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 주임연구원, 공학박사

*** 정회원, 대림산업(주) 기술연구소 주임연구원, 공학석사

**** 정회원, (주)트라이포드 기술경영이사, 공학박사

표 1. 실험 계획

시리즈	실험요인	실험 수준	측정 항목
I	분말형 수화열 저감제 종류	LHT-1 ~ LHT-7	• 미소수화열(cal/g)
II	수화열 저감제/용매 혼합비	5%(HR-1), 10%(HR-2), 20%(HR-3)	
III	결합제 종류	OPC, HBC, FA20, FA30, BFS50, BFS70, 3C	• 플로우(mm), 압축강도(MPa) • 응결시간(hr) • 간이 단열온도(℃)

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 적정 액상형 수화열 저감제 선정을 위한 I, II시리즈와 결합제 종류에 따른 저발열 콘크리트의 수화발열 특성을 검토하기 위한 III시리즈로 구성하였다.

I 시리즈의 경우 분말형 수화열 저감제 종류를 7수준으로 설정하여 적정 수화열 저감제 소재를 선정하고, II 시리즈에서는 분말형 수화열 저감제를 액상화 시키기 위한 적정 혼합조성을 설정하였으며, III 시리즈의 경우 선정된 액상형 수화열 저감제를 첨가한 모르타르 및 콘크리트에 있어서 결합제 종류에 따른 수화발열 특성을 검토함으로써 온도균열 제어형 배합 설정을 위한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

2.2 모르타르/콘크리트 배합 및 사용재료

본 연구에서 적용한 모르타르 및 콘크리트의 배합은 표 2에 나타난 바와 같이 결합제 종류를 7수준, 액상형 수화열 저감제 종류를 2수준으로 설정한 후, 각각의 배합을 적용하였다. 또한, 사용재료의 물리적 성질은 표 3에서 보는 바와 같이 시멘트는 1종 및 4종 포틀랜드시멘트, 골재로서 잔골재는 밀도 2.57g/cm³의 바다모래, 굵은골재는 밀도 2.60g/cm³의 쇄석, 혼화제는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 각 배합에서 설정한 대체율로 사용하였다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 (밀도: 3.15g/cm ³)
	4종 포틀랜드시멘트 (밀도: 3.22g/cm ³)
잔골재	바다모래 (밀도: 2.57g/cm ³ , 흡수율: 0.81%)
굵은골재	쇄석(밀도도: 2.60g/cm ³ , 흡수율: 0.70%)
혼화제	플라이애시 (밀도: 2.20g/cm ³)
	고로슬래그미분말 (밀도: 2.90g/cm ³)

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 수화열 저감제 종류에 따른 미소수화발열 특성 (시리즈 I, II) - 모르타르

그림 1은 분말형 수화열 저감제 종류에 따른 미소수화열 측정 결과를 나타낸 것으로서 시멘트량에 대한 중량비로 수화열 저감제를 0.5% 첨가한 결과, LHT-1 및 4를 제외하면 수화열 저감제의 첨가에 의해 OPC에 비해 수화열이 저감되는 것으로 나타났다.

LHT-1과 LHT-4의 경우 화학성분 중 SO₄²⁻ 및 S₂O₃의 작용에 의해 시멘트 수화반응이 촉진되어 수화열 저감효과가 나타나지 않은 것으로 판단되며, LHT-3의 경우 OPC에 비해 약 80% 정도의 수화열 저감 효과가 있는 것으로 나타나 LHT-3을 수화열 저감제의 소재로 선정하였다.

또한, 그림 2는 I 시리즈에서 선정된 수화열 저감소재의 액상화를 위하여 수용성 용매에 대한 수화열 저감제의 혼합비에 따른 미소수화열 측정 결과를 나타낸 것으로서, 수용성 용매에 수화열 저감제

를 5% 혼합한 경우 OPC에 비해 수화열 저감효과가 나타나지 않았으며, 10% 및 20%의 경우 유사한 수화열 저감효과가 나타나고 있어 수화열 저감소재의 액상화를 위한 혼합비는 10%(HR-2)로 설정하였다.

3.2 결합재 종류에 따른 모르타르의 수화발열 특성 (시리즈 III) - 모르타르

그림 3은 III 시리즈에 있어서 결합재 종류에 따른 플로우를 나타낸 것으로서 결합재 종류에 관계없이 수화열 저감제의 혼입에 따른 플로우는 유사한 수준을 보이고 있어, 수화열 저감제 혼입에 따른 유동성으로의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

또한, 그림 4는 결합재 종류에 따른 간이 단열 온도 측정 결과를 나타낸 것으로서 수화열 저감제 단독 사용의 경우 OPC에 비해 약 2~3°C 정도의 수화열 저감 효과가 나타났으며, 이러한 온도 저감 효과는 혼화재의 대체율이 증가할수록 상승되는 것으로 나타났다.

이는 본 연구에 적용한 수화열 저감제의 경우 시멘트의 수화열을 흡수하여 수화발열을 저감시키는 메커니즘을 가지고 있어, 상대적으로 단위시멘트량이 감소할수록 반응할 수 있는 수화열 저감제의 절대량이 증가함으로써 이와 같은 효과가 발현된 것으로 판단된다.

또한, 결합재 종류에 따른 수화열 저감효과에 있어서는 4종 시멘트 및 3성분계 시멘트를 적용한 배합에 있어서 수화열 저감효과가 양호하게 나타나고 있어 향후 온도균열 제어형 배합 도출시 결합재로서의 적용이 유효할 것으로 판단된다.

3.3 결합재 종류에 따른 콘크리트의 응결 및 압축강도 특성

그림 5는 W/B 및 수화열저감제 사용유무의 경우에 대한 응결시간을 나타낸 그래프이다.

그림 6은 압축강도 시험결과를 나타낸 그림이다.

대체적으로, 수화열 저감제를 사용하였을 경우 동일 W/B의 경우 3일 압축강도는 적게 발현되지만, 7일 압축강도는 수화열 저감제를 사용하지 않았을 경우에 비해 더 뛰어난 강도발현효과를 보여 준다.

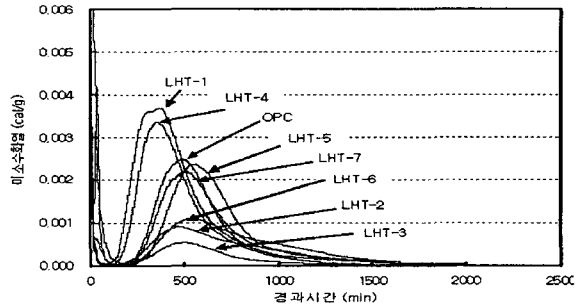


그림 1. 수화열저감제 종류에 따른 미소수화열

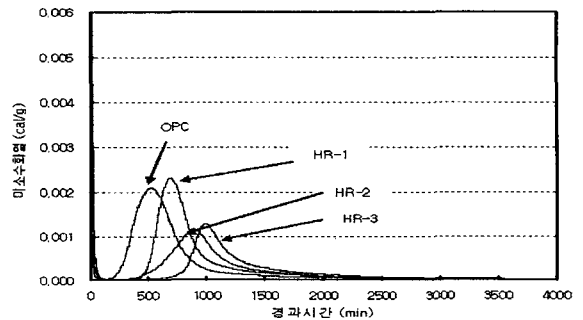


그림 2. 수화열 저감제/용매비에 따른 미소수화열

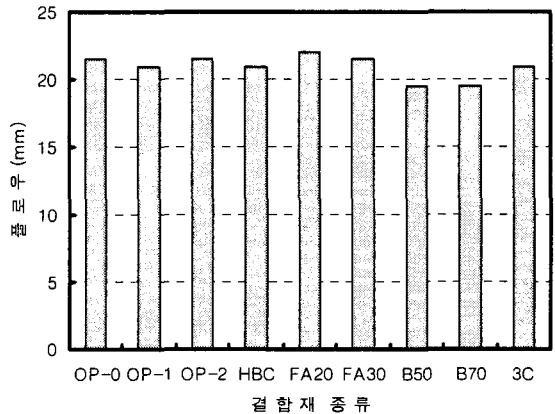


그림 3. 결합재 종류에 따른 모르타르 플로우 변화

지연에 따른 강도발현 손실은 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

수화열 저감제를 혼입한 저발열 콘크리트에 있어서 결합재 종류에 따른 수화발열 특성을 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 결합재 종류에 따른 모르타르 플로우 검토 결과 수화열 저감제 혼입이 유동성에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.
- 2) 결합재 종류에 따른 수화발열 특성 평가 결과 수화열 저감제 단독 혼입의 경우 OPC에 비해 약 2~3°C 정도의 수화열 저감 효과가 나타났으며, 혼화재 대체율이 증가할수록 수화열 저감 효과는 상승하는 것으로 나타났다.
- 3) 콘크리트에 대한 응결시간 및 압축강도 시험을 실시해본 결과 약 8시간의 응결 지연효과 및 재령 7일 이후에서의 강도 회복에 의한 강도손실이 없는 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. 東 邦和ほか : 水和発熱抑制剤の部分使用による温度応力抑制効果に関する研究, 日本コンクリート工学協会年次論文集, Vol.17, No.1, 1995. 6, pp.381~386
3. 松永篤ほか : 温度ひび割れ抵抗性に及ぼす低熱セメントおよび混和材料の影響, 日本コンクリート工学協会年次論文集, Vol.17, No.1, 1995. 6, pp.1145~1150

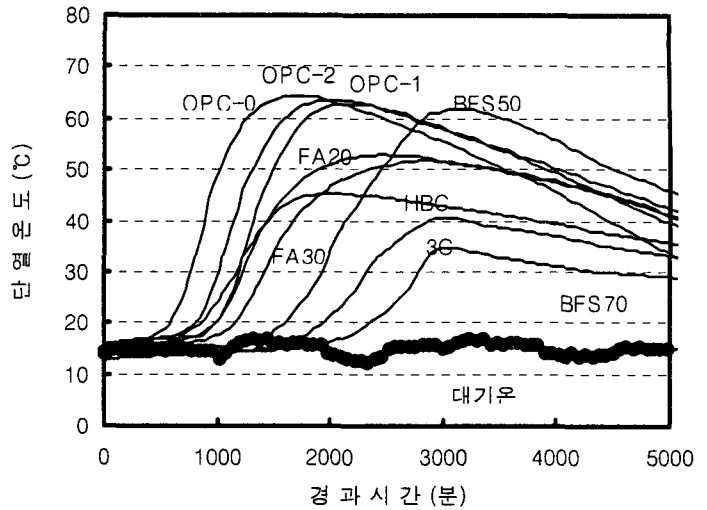


그림 4. 결합재 종류에 따른 모르타르 간이 단열온도 측정 결과

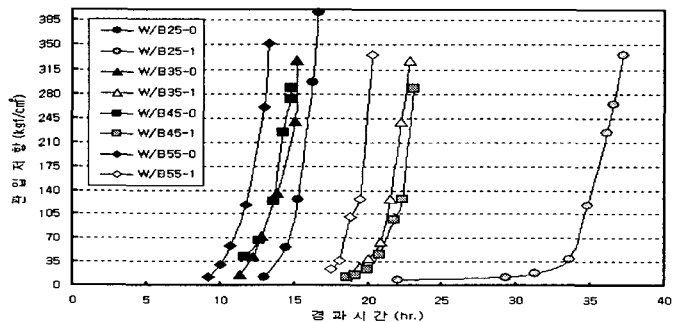


그림 5. W/B 및 수화열저감제 사용유무에 따른 콘크리트 응결시간 측정 결과(-1:수화열저감제 wt1%/B 사용)

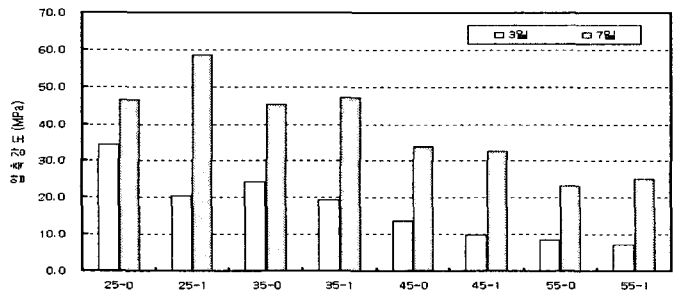


그림 6. W/B 및 수화열저감제 사용유무에 따른 콘크리트 압축강도