

상변화 물질을 이용한 저발열 콘크리트 개발에 관한 연구

A Study of the Phase Change Material for Reducing Hydration Heat of Mass Concrete

손 명 수*
Shon, Myung-Soo

이 완 조**
Lee, Wan-Jo

정 윤 중***
Chung, Yun-Joong

김 진 근****
Kim, Jin-Keun

황 인 동*****
Hwang, In-Dong

ABSTRACT

The unique technology was developed to control the hydration heat of mass concrete by adding the Phase Change Material(PCM) to concrete. The PCM was designed to liquefy at 60 degrees and its size was limited under 10~30 micro meters to be put in pores and to have no effect on compressive strength. In the hydration heat test, center temperature of the PCM specimen was reduced by 10 degrees without any difference in the strength. Even in the adiabatic temperature rise test, the final adiabatic temperature rise amount was reduced as much as 25% in comparison with the standard value in Korean Concrete Standard Specification.

1. 서 론

현재 매스 콘크리트의 수화열 저감을 위해서는 저발열 시멘트나 플라이애시를 사용하여 발생하는 열을 근본적으로 줄이는 방법과 파이프쿨링과 같이 강제적으로 열을 빼앗는 방법을 주로 사용하고 있다. 이러한 방법들은 온도저감 성능이 뛰어나지만 낮은 초기강도 발현율, 포졸란 물질에 의한 중성화 문제나 시공성 등에 있어 여러 가지 단점을 가지고 있다. 그래서 콘크리트의 제 성능은 유지시키면서 기존 공법의 단점을 개선할 수 있는 방법으로 본 연구에서는 상변화(phase transition)에 따른 잠열(latent heat)을 이용하여 콘크리트의 수화열을 제어하는 새로운 접근을 시도하였다.

잠열 기술은 고체 상태와 액체 상태 사이의 상변화 과정을 통하여 열을 흡수하였다가 온도가 내려가면 열을 방출시키는 원리로 태양열저장시스템 등에 적용되고 있다. 이 기술을 응용하면, 수화열에 의해 상승하는 콘크리트의 온도를 콘크리트 내부에 혼입시킨 상변화 물질(PCM, 잠열재)의 상변화에 에너지로 흡수시켜 우리가 원하는 특정한 온도로 제어할 수 있게 되는 것이다.

본 연구에서는 콘크리트에 적합한 상변화 물질을 개발하고 이를 혼입한 콘크리트의 온도 저감 및 강도 특성을 분석하였다.

*정회원, GS건설 기술연구소 선임연구원

**정회원, 명지대학교 세라믹공학과 박사과정

***정회원, 명지대학교 세라믹공학과 교수

****정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 교수

*****정회원, 세일콘(주) 기술연구소장

2. 상변화 물질의 개발

2.1 상변화 물질의 제조

상변화 물질이 적용되는 콘크리트는 물을 포함하는 수경성 재료이므로 상변화 물질을 분말 형태로 제조하는 것 보다 액상의 형태로 제조하여 사용하므로써 조직 내에 골고루 분포시키고자 하였다. 또한 콘크리트의 압축강도 등의 제 물성에 영향을 미치지 않도록 입자의 크기를 공극 내에 포함될 수 있도록 10~30 μm 정도로 제조하였다. 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 생성된 상변화 물질의 입자는 구형의 형태를 가지고 있고 그 크기는 대체로 10~30 μm 의 사이의 값으로 확인됨을 알 수 있다.

상변화 물질이 콘크리트 내부에서 상변화 과정을 통해 수화열을 흡수할 기준온도를 어떤 값으로 설정해야 하는가는 매우 중요하다. 상온에서 타설된 매스 콘크리트 중심부 최고온도는 대체로 65~85 $^{\circ}\text{C}$ 정도로 나타나고 있으므로, 상변화 물질의 녹는점도 60 $^{\circ}\text{C}$ 전후가 적절할 것으로 판단되어 해당 온도를 기준으로 상변화 물질을 제조하였다.



그림 1. 광학 현미경으로 관찰한 상변화 물질(PCMs)

2.2 상변화 물질의 흡열량

제조된 상변화 물질을 흡열량을 분석하기 위해 40 $^{\circ}\text{C}$ 의 건조기에서 72시간 동안 건조시킨 후 사차 주사 열분석기(Differential Scanning Calorimetry: DSC)로 측정하였다. 상변화 물질의 녹는점은 64 $^{\circ}\text{C}$ 로 측정 되었으며 최대 흡열량은 249J/g(\approx 60cal/g)으로 나타났다. 시멘트의 이론적인 수화발열량인 120cal/g의 50%에 해당하는 값으로 매스 콘크리트에 사용시 온도저감 효과가 클 것으로 예상되었다.

3. 콘크리트 실험 및 분석

3.1 수화발열 실험 및 분석

상변화 물질을 사용한 콘크리트의 수화발열 특성을 분석하기 위해 상변화 물질 사용 유무에 따른 두가지 콘크리트 배합에 대하여, 그림 2와 같이 크기 1.0 \times 1.0 \times 1.0m의 수화발열 시험체를 제작하여 콘크리트 중심부의 온도상승량을 측정하였다. 실험에 사용한 배합은 표 3에 나타낸 것과 같이 상변화 물질을 사용하지 않은 보통 콘크리트와 동일한 배합에 상변화 물질을 추가한 배합의 두가지 이다. 온도 상승량을 크게 하기 위하여 단위시멘트량이 높은 고강도 콘크리트 배합을 사용하였고, 상변화 물질의 사용량은 단위시멘트량의 중량비로 3%이다.

콘크리트의 중심부의 온도 측정 결과를 그림 3에 나타내었다. 상변화 물질을 사용하지 않은 일반 콘크리트의 중심부 최고온도는 재령 24시간에 72 $^{\circ}\text{C}$ (42 $^{\circ}\text{C}$ 증가)를 나타내었고, 상변화 물질을 사용한

배합의 중심부 최고온도는 재령 40시간에 62°C(32°C 증가)를 나타내어 최고온도가 약 10°C 정도 낮아진 것으로 나타났다. 또한 상변화 물질을 사용한 경우는 최고온도 도달 전후의 온도 상승 및 하강 속도가 늦게 나타났다.

상변화 물질 사용 유무에 따른 굳지 않은 콘크리트 물성 시험 결과 및 압축강도 시험 결과를 표 2에 나타내었다. 슬럼프 플로우 및 공기량은 유사한 값으로 나타났고, 압축강도 측정결과에서도 상변화 물질을 사용한 것에 관계없이 재령 3, 7 및 28일에서 거의 동등한 결과를 나타내었다.

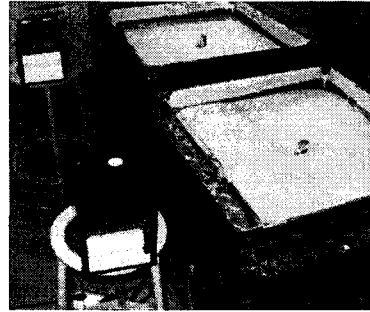
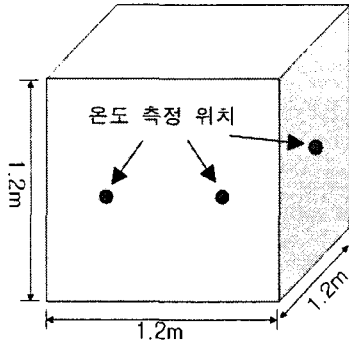


그림 2. 콘크리트 수화발열 시험체의 모식도 및 거푸집

표 1. 수화발열 시험용 콘크리트 배합설계

Type	W/C	S/a	W	C	S	G	SP*	PCM
PCM-0%	33	41	178	539	628	986	6.5	0
PCM-3%	33	41	178	539	628	986	0	16.7

* SP: 폴리카르본산계 고성능감수제 (20% solution)

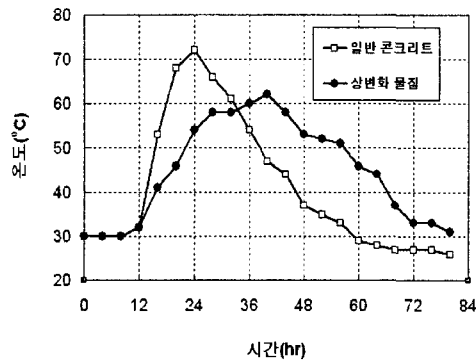


그림 3. 콘크리트 단일시험체 중심부의 온도이력

표 2. 콘크리트 압축강도 시험결과

Type	Initial Temp. of Concrete(°C)	slump flow at initial(cm)	Air (%)	Compressive Strength (kgf/cm ²)		
				3 days	7 days	28 days
PCM-0%	30	49/50	1.8	374	452	537
PCM-3%	30	48/49	1.9	402	479	551

3.2 단열온도상승 실험 및 분석

상변화물질을 사용한 콘크리트의 온도저감 성능을 보다 정량적으로 평가하기 위하여 콘크리트 단열온도상승 시험을 수행하였다. 일반적으로 현장에서 많이 사용되어 지는 25-35-15로 설계하였고 배합설계는 표 3에 나타내었다. 단열온도상승 시험에서는 상변화 물질의 사용량을 단위시멘트량의 중량비로 5%를 사용하였다.

그림 4에 나타낸 것과 같이 20℃로 타설된 상변화 물질 콘크리트의 최종단열온도상승량은 46℃로 나타나 콘크리트표준시방서의 표준값(62℃) 보다 약 25% 감소하였다. 비슷한 단위시멘트량(430kg/m³)을 사용한 기존 실험값(60℃)과 비교하여 보아도 알 수 있듯이 상변화 물질 사용에 따른 단열온도상승량의 감소를 확인할 수 있었다.

표 3. 수화발열 시험용 콘크리트 배합설계

Type	W/C	S/a	W	C	S	G	SP*	PCM
PCM-5%	40	46.4	177	443	807	932	0	22.15

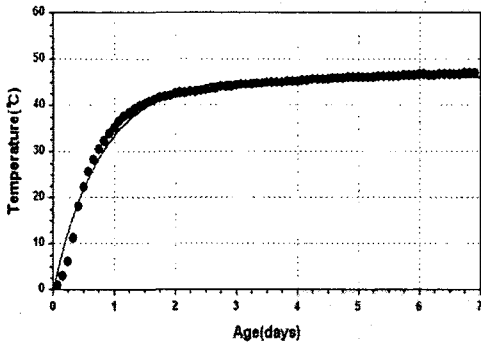


그림 4. 상변화 물질을 사용한 콘크리트의 단열온도상승

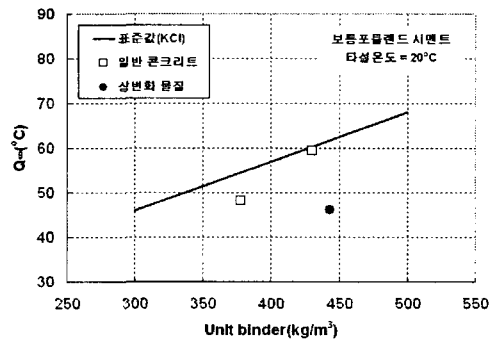


그림 5. 시방서 및 기존 실험결과와의 비교

4. 결 론

본 연구에서는 상변화 물질을 사용한 콘크리트의 수화발열 특성에 대하여 실험 및 분석하였는데, 그 결과를 요약하여 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수화열에 의해 상승하는 콘크리트의 온도를 콘크리트 내부에 혼입시킨 상변화 물질의 상변화 에너지로 흡수시켜 특정한 온도로 제어하는 새로운 기술을 개발하였다.
- 2) 상변화 물질은 약 60℃에서 상변화를 일으키도록 설계되었으며, 압축강도에 영향을 미치지 않도록 콘크리트 공극 내에 분포할 수 있는 10~30μm의 크기로 제조하였다.
- 3) 상변화 물질 사용 유무에 따른 콘크리트 수화발열 시험을 실시한 결과, 상변화 물질을 사용한 경우 압축강도에 변화를 일으키지 않고 중심부 최고온도를 10℃ 감소시켰다.
- 4) 상변화 물질의 정량적인 온도저감 성능을 검증하기 위해 단열온도상승 시험을 실시한 결과, 최종단열온도상승량이 콘크리트표준시방서의 표준값보다 25% 감소하는 것으로 나타났다.