

혼화재를 다량 사용한 저발열 콘크리트의 모의부재실험

Mock-up Test of Low Heat Concrete Using High Volume Mineral Admixture

김 용 로* 송 영 찬* 김 호 락* 박 종 호** 유 정 훈** 정 용**
 Kim, Yong-Ro Song, Young-Chan Kim, Hyo-Rak Park, Jong-Ho Yoo, Jung-Hoon Jeong, Yong

Abstract

In this study, for the evaluation of field application of low heat concrete using high volume mineral admixture, the characteristics of hydration heat generation and engineering properties of low heat concrete was investigated by mock-up test according to the replacement ratio of mineral admixture. Also, it was evaluated the compressive strength of low heat concrete with curing temperatures and ages for effective concrete mix design considering seasonal change.

키 워 드 : 혼화재, 저발열 콘크리트, 모의부재실험, 수화열, 양생온도
 Keywords : Mineral Admixture, Low Heat Concrete, Mock-up Test, Hydration Heat, Curing Temperature

1. 서 론

본 연구진서는 지금까지 적용되고 있는 혼화재를 치환한 저발열 콘크리트의 수화열 저감 성능을 더욱 향상시키고, 경제성 확보 및 탄소배출 저감 효과의 극대화를 위해 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 다량으로 치환할 수 있는 기술을 개발하여 보고한 바 있다.¹⁾

실내 실험 결과 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 시멘트 중량 대비 70~90% 치환한 콘크리트에서도 목표로 하는 성능을 확보할 수 있는 것이 확인되었으며, 수화열 저감 성능도 상당히 향상되는 초저발열 콘크리트 배합 수준을 도출하게 되었다.

이에 본 연구에서는 실내 실험을 통해 도출된 혼화재를 다량 치환한 초저발열 콘크리트의 성능 검증을 위해 대형 매스콘크리트 부재를 가정한 모의부재 시험체 제작에 의해 개발된 기술의 실제 적용시 성능을 파악함으로써, 향후 본 연구를 통해 개발된 매스콘크리트 수화열 저감 기술의 현장 적용을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

혼화재를 다량 치환한 콘크리트의 모의부재 실험계획은 표 1에서 보는 바와 같이 실내 실험을 통해 도출된 초저발열 콘크리트

트의 성능 검토를 위해 설계기준강도 24MPa를 대상으로 하여 혼화재 치환율을 80, 85, 90%의 3수준, 단위결합재량을 330, 340, 350kg/m³의 3수준으로 설정하였다.

또한, 양생온도에 따른 강도발현 특성을 검토하기 위하여 양생온도를 외기, 10, 20, 30, 40℃의 5수준으로 설정하였다.

2.2 사용재료 및 콘크리트 배합

모의부재 시험에 사용된 재료는 표 2에서 보는 바와 같이 시멘트는 국내 L사의 1종 보통포틀랜드시멘트가 적용되었으며, 혼화제로서 고로슬래그 미분말은 3종, 플라이애시는 2종을 적용하였고, 골재로서 잔골재는 바다모래, 굵은 골재는 부순자갈을 사용하였다.

또한, 혼화제는 본 연구진에서 개발한 초저발열 콘크리트용 폴리카르본산계 고성능감수제를 사용하였다.

표 1. 실험계획

단위 결합재량 (kg/m ³)	단위수량 (kg/m ³)	치환율(%)		양생 온도 (℃)	평가항목
		FA	BFS		
342	184	25	15	외기 10 20 30 40	<ul style="list-style-type: none"> ■ 슬럼프(mm) ■ 공기량(%) ■ 압축강도(MPa) ■ 수화온도(℃)
310	140	40	40		
330			45		
350			50		

* 대림산업(주) 기술개발원 건축연구지원팀

** (주)삼표 기술연구소

표 2. 사용재료의 물리적 성질

종 류	물리적 성질	
시멘트	<ul style="list-style-type: none"> ■ 1종 보통포틀랜드시멘트 ■ 밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,200cm²/g 	
혼 화 재	플라이애시	<ul style="list-style-type: none"> ■ 플라이애시 2종 ■ 밀도 2.23g/cm³, 분말도 3,420cm²/g
	고로슬래그 미분말	<ul style="list-style-type: none"> ■ 고로슬래그 미분말 3종 ■ 밀도 2.91g/cm³, 분말도 4,379cm²/g
골 재	굵은골재	<ul style="list-style-type: none"> ■ 부순자갈, 최대치수 25mm ■ 밀도 2.60g/cm³, 조립율 6.79, 실적률 58%
	잔골재	<ul style="list-style-type: none"> ■ 바다모래 ■ 밀도 2.60g/cm³, 조립율 2.76, 실적률 56%
혼화제	<ul style="list-style-type: none"> ■ 초저발열 콘크리트용 폴리카보본산계 고성능감수제 	

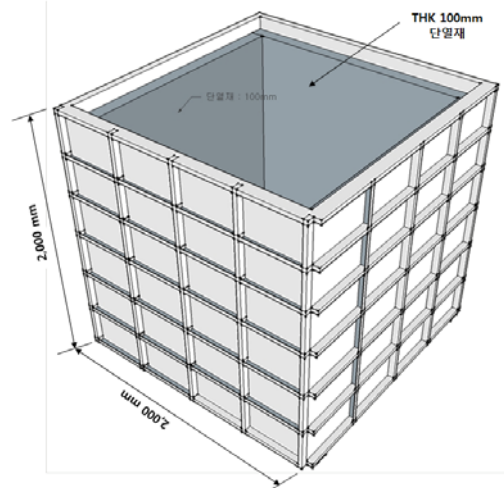


그림 1. 모의부재 시험체 개요

표 3. 콘크리트 배합

구 분	W/B (%)	S/a (%)	단위 결합재량 (kg/m ³)	단위질량 (kg/m ³)					
				W	C	FA	BFS	S	G
Plain	53.8	48.0	342	184	205	86	51	817	885
330-140(80%)	42.4		330	140	66	132	132	867	939
340-140(85%)	41.2		340		51	136	153	861	933
350-140(90%)	40.0		350	35	140	175	856	927	

표 3은 모의부재 시험에 적용된 콘크리트 배합을 나타낸 것으로서 Plain을 FA 25%, BFS 15%를 사용하는 저발열 콘크리트로 설정하고, 혼화제 치환율을 80~90%로 변경하여 혼화제 다량 치환에 따른 실제 구조체에서의 콘크리트 성능을 검토하고자 하였다.

2.3 시험방법

모의부재 시험은 그림 1에서 보는 바와 같이 2,000×2,000×2,000mm 크기로 외부 거푸집을 제작하고, 내부에는 온도손실을 최소화하기 위하여 두께 100×100×100 mm의 단열재를 설치하여 거푸집을 완성하였으며, 외기, 시험체 표면 및 중심부에 수화열 측정 센서를 설치하여 수화온도를 측정하고자 하였다.

모의부재는 시험계획에 따라 레미콘을 공장에서 생산한 후, 모의부재 제작 현장으로 이동하여 펌프카에 의해 타설하는 과정으로, 실제 건설현장에서 콘크리트가 시공되는 조건에 따라 시험체를 제작하였다.

시험체 제작시 콘크리트 샘플을 채취하여 콘크리트의 기초물성 및 양생온도에 따른 압축강도 평가를 위한 공시체를 제작하였다.

모의부재 시험체는 제작 완료 후, 재령7일까지 수화열을 측정하고, 탈형 후 코어를 채취하여 실제 부재에서의 강도발현 특성을 평가하고자 하였다.

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 굳지 않은 콘크리트 물성

표 4는 굳지 않은 콘크리트의 평가결과를 나타낸 것으로서, 모의부재 시험시 목표 슬럼프는 현장 도착을 기준으로 하여 210±25mm, 목표 공기량은 4.5±1.5%로 설정하였다.

굳지 않은 콘크리트의 물성 중 슬럼프 및 단위수량은 당초 설정된 목표를 대부분 만족하였으나, 공기량의 경우 Plain을 제외한 초저발열 콘크리트 배합의 경우 현장 도착 후 오히려 공기량이 상승하여 목표 공기량을 만족하지 못하였다.

표 4. 굳지 않은 콘크리트 시험 결과

구 분	측정 단위수량 (kg/m ³)	슬럼프 (mm)		공기량 (%)	
		init.	90m	init.	90m
Plain	193	230	200	7.8	4.5
330-140(80%)	134	230	205	6.4	7.0
340-140(85%)	138	240	235	7.4	7.8
350-140(90%)	141	240	225	7.2	9.0

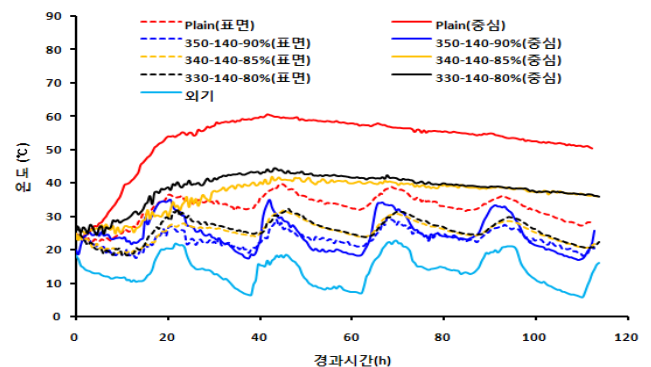


그림 2. 모의부재 수화열 측정 결과

이는 플라이애시가 다량으로 사용되는 초저발열 콘크리트에서 경과시간에 따른 공기량 감소를 우려하여 AE제의 사용량이 과도하였기 때문인 것으로 판단되며, 향후 실제 현장 적용시 이에 대한 재검토가 필요한 사항으로 제기되었다.

3.2 수화발열 특성

그림 2는 각 배합별 경과시간에 따른 수화열 변화를 나타낸 것으로서 중심부 최고온도의 경우 Plain이 60.6℃, 330-140(80%)이 44.6℃, 340-140(85%)이 41.9℃, 350-140(90%)이 34.9℃의 수준으로 나타나, 본 연구에서 도출된 혼화재를 다량 사용하는 초저발열 콘크리트의 우수한 수화열 저감 성능을 확인할 수 있었다.

한편, 모의부재 시험체 표면부와 중심부의 온도차이의 경우 Plain이 23.2℃, 330-140(80%)이 14.4℃, 340-140(85%)이 11.7℃, 350-140(90%)이 8.6℃의 수준으로서 초저발열 콘크리트의 경우 온도차도 감소되는 것으로 나타나, 매스콘크리트 부재의 온도균열 제어에 효과적인 것이 확인되었다.

3.3 압축강도

그림 3은 양생온도 및 배합별 재령에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것으로서, 양생온도가 높아질수록 초기 재령의 강도 발현은 빠른 것으로 나타났으나, 양생온도가 과도하게 높아질 경우 장기 재령에서의 강도 증진이 거의 없는 것으로 나타났다.

이는 초기에 고온의 양생조건에서 시멘트의 수화가 빠르게 진행되어 초기 강도는 상승하지만, 지속적인 고온에 노출되어 급격한 수화에 따른 미수화 시멘트가 상대적으로 증가되기 때문인 것으로 판단된다.

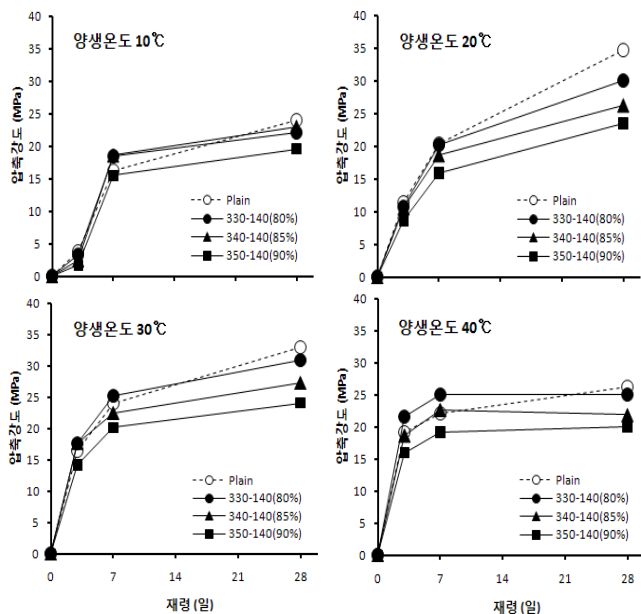


그림 3. 양생온도별 재령에 따른 압축강도 변화

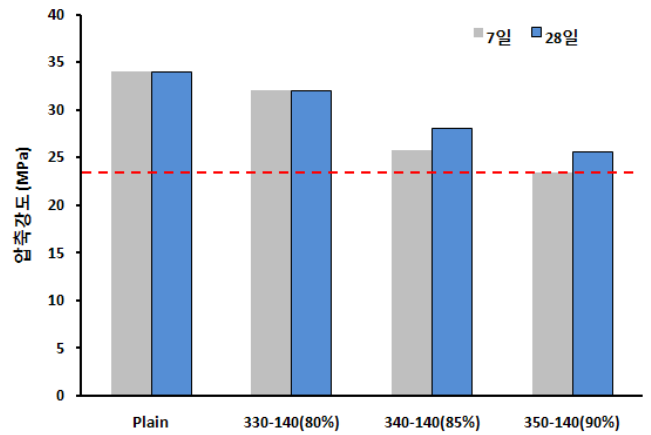


그림 4. 코어 시험체의 재령에 따른 압축강도 변화

재령 28일 압축강도가 가장 높은 양생온도는 Plain의 경우 20℃로 나타났지만, 혼화재를 다량으로 사용한 초저발열 콘크리트의 경우 양생온도 30℃에서 가장 높은 강도를 발현하는 것으로 나타났다.

한편, 그림 4는 모의부재에서 채취한 코어 시험체의 재령별 압축강도를 나타낸 것으로서, Plain 및 혼화재를 80% 치환한 330-140(80%)의 경우 재령 7일에서 강도발현 후 재령 28일에서는 동일한 수준의 강도를 보이고 있으며, 혼화재를 85~90% 치환한 경우에는 재령 28일에서도 압축강도가 다소 증진되는 것으로 나타났다.

또한, 모의부재에서 채취한 코어 시험체의 경우 재령 28일에서는 모든 배합에서 목표 강도인 24MPa 이상을 만족하는 것으로 나타나 혼화재 치환율 85% 이하에서는 실제 부재 적용시 안정적인 적용이 가능할 것으로 판단된다.

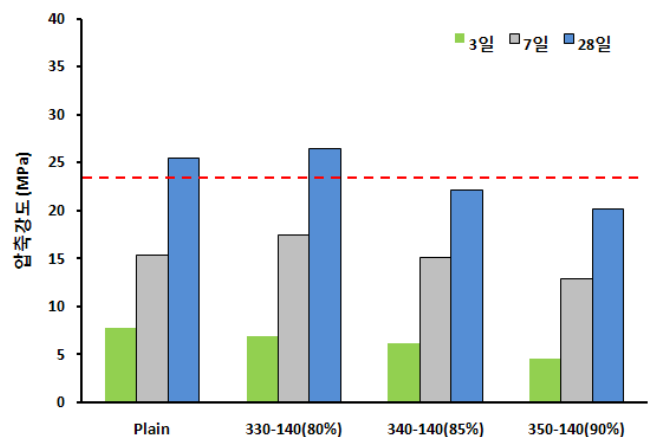


그림 5. 대기양생 시험체의 재령에 따른 압축강도 변화

한편, 그림 5는 모의부재 시험시 대기에 양생한 공시체의 재령에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것으로서, 일 평균 대기온도가 약 13℃(최고 22℃, 최저 6℃) 조건에서 양생한 공시체의 경우 혼화재 사용량 85~90%에서는 재령 28일에 설계기준강도

확보가 다소 곤란한 것으로 나타나, 수화열에 의해 재령 초기에 고온 양생조건에 있었던 실제 부재와는 강도 발현에 차이가 있는 것을 알 수 있었다.

이는 상대적으로 시험체 크기가 작은 공시체의 경우 초기부터 외기의 영향을 그대로 받게 되어 시멘트의 수화가 상대적으로 지연되고, 재령 28일까지도 양생온도가 크게 변화되지 않는 저온조건에서 콘크리트의 강도발현도 지연되었기 때문으로 사료된다.

그림 6은 330-140(80%) 배합에서 양생온도에 따른 압축강도 발현 경향을 나타낸 것으로서, 현장 시험적용을 계획하는 330-140(80%) 배합의 양생온도에 따른 강도발현 수준을 파악함으로써 향후 현장적용시 온도별 관리기준을 검토하고자 한 것이다.

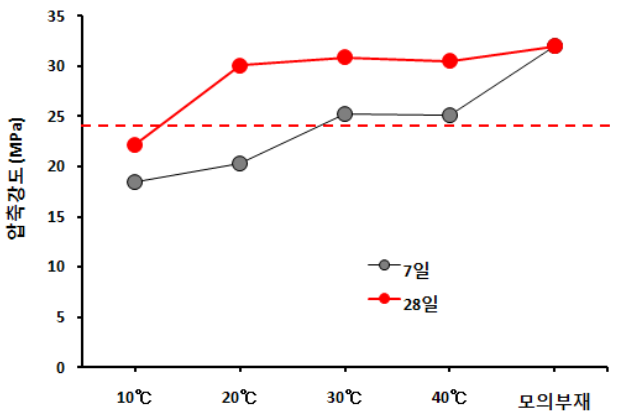


그림 6. 양생온도에 따른 압축강도 (330-140(80%))

공시체의 경우 평균온도 약 13°C 이상의 조건에서 재령 28일 설계기준강도 확보가 가능한 것으로 나타났으며, 30°C 이상에서는 재령 7일에서 설계기준강도 확보가 가능한 것으로 나타났다.

또한, 대기온도 평균 13°C 조건에서 모의부재의 경우 재령 7일에서 이미 설계기준강도의 약 130%를 발현하고 있어 대기온도가 낮은 조건에서도 실제 부재의 경우 안정적인 강도 확보가 가능한 것으로 나타났다.

4. 결 론

혼화재를 다량 사용한 저발열 콘크리트의 모의부재실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 모의부재 시험에 의해 혼화재를 다량 사용한 저발열콘크리트의 수화발열 특성 검토 결과 기존 저발열형 배합에 비해 수화온도가 약 9~22°C 정도 저하되고, 내외부 온도 차이도 크게 감소하는 것으로 나타났다.

- 2) 모의부재 시험시 압축강도 평가 결과 대기온도 평균 약 13°C 이상에서는 시험용 공시체에서도 재령 28일의 설계기준강도 확보가 가능한 것으로 나타났으며, 특히 모의부재의 경우 재령 7일에서 이미 설계기준강도의 약 130%를 발현하고 있어 대기온도가 낮은 조건에서도 실제 부재의 경우 안정적인 강도 확보가 가능한 것으로 확인되었다.
- 3) 본 연구를 통해 도출된 혼화재를 다량 사용한 초저발열 콘크리트의 경우 실제 현장 적용시 성능 확보에 문제가 없을 것으로 판단되며, 기초부재용 경제적이고 친환경적인 수화열 저감 기술로서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김성수 외, 고로슬래그 미분말 치환율에 따른 초저발열 콘크리트의 기초 물성 및 수화열 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, pp.83~84, 2010.11
2. 김용로 외, 혼화재를 다량 사용한 저발열 콘크리트의 기초 물성 검토, 한국건축시공학회 가을학술발표회 논문집, pp.65~68, 2010.11