

수화발열량이 다른 콘크리트조합 모의부재 매스콘크리트의 온도이력 특성

Temperature History of Mock-up Mass Concrete Considering Different Heat Generation Due to Mixture Adjustment

김 종* 전 충근** 신 동 안*** 윤 기 원**** 오 선 교***** 한 천 구*****
Kim, Jong Jeon, Chung-Keun Shin, Dong-An Yoon, Gi-Won Oh, Seon-Kyo Han, Cheon-Goo

Abstract

This paper investigated the temperature history of mass concrete mock up structure considering different heat generation by varying with mixture proportion. Setting time difference between high early strength mixture (E-P) and retarding mixture (R-F30) was 14.5hours. Incorporation of 30% of fly ash contributed to 10℃ of hydration heat reduction. In generally used C and D combination, bottom concrete shows earlier hydration, while E-J combination showed reverse tendency and thus, this method can reduce the crack occurrence. Therefore, heat generation difference method has beneficial effect on reducing crack induced by hydration heat resulting from heat generation difference between surface and center section.

키 워 드 : 혼화재료, 플라이애시, 응결시간, 온도이력
Keywords : Mineral Admixture, Fly Ash, Setting Time, Adiabatic Temperature History

1. 서 론

최근 건축공사는 초고층화, 대규모화 및 고심도화로 말미암아 건물 기초매트콘크리트의 경우 매스콘크리트로의 시공이 불가피한 상황으로, 수화열 저감 및 온도균열을 방지할 수 있는 효율적인 공법이 요구되고 있다. 이러한 매스콘크리트의 수화열 저감과 관련하여 본 연구팀에서는 선행연구로 초지연제를 이용한 응결시간차 공법을 개발하여 건설교통부 신기술로 지정받아 많은 보급을 이루고 있는 실정이다.

그런데, 기존에 개발된 매스콘크리트의 수화열 저감 공법인 경우는 품질 및 내구성은 양호하나 약간의 공사비용이 추가되고, 또한 초지연제 사용에 따른 품질관리의 신중성이 존재하는 관계로 범용적인 보급에는 다소 어려움이 제기되고 있다.

따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구팀에서는 매스 콘크리트 상하부층간의 발열량에 차이를 두어 온도균열을 제어하는 수화발열량차 공법을 개발 중에 있다. 즉, 건물 매트 기초콘크리트에서 하층부 콘크리트는 플라이애시 및

AE감수제 지연형 등을 사용함으로써 응결지연시킴과 동시에 전체적인 수화열을 저감시키고, 상층부 콘크리트는 조기강도 발현형 AE감수제 등을 사용한 콘크리트를 타설함으로써 상하부 콘크리트가 동시에 수화발열할 수 있도록 하여 궁극적으로는 상하부 콘크리트 사이의 발열량차를 축소시켜 온도균열을 제어할 수 있는 공법이다.

그러므로, 본 연구에서는 전술한 공법을 입증하기 위한 모의부재 온도이력 특성에 대하여 검토해 보고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 배합사항으로 먼저 W/B는 45% 1수준에 대하여 목표슬럼프 150±25mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 하였고, 혼화제와 혼화제를 조합한 총 5배치를 배합설계 하였다.

모의부재는 300×300×400mm, 300×300×600mm 크기의 2수준에 대하여 총 10개의 모의부재를 제작하였다. 타설방법은 2단타설(A~I)과 3단타설(J) 2수준으로 하였고, 모의부재 A, B는 상하부 일체타설을 하였으며, 모의부재 C~J는 실무조건을 고려하여 4시간의 상하부 타설시간차를 두는 것으로 계획하였다.

* 정희원, (주)선 ENG 연구원, 청주대 석사과정
** 정희원, (주)선 ENG 책임연구원, 공학박사
*** 정희원, (주)선 ENG 연구소장, 청주대 박사과정
**** 정희원, 주성대 건축공학부 부교수, 공학박사
***** 정희원, (주)선 ENG 대표이사, 공학박사
***** 정희원, 청주대 건축공학부 교수, 공학박사

표 1. 실험계획

배합 사항	W/B(%)	3	45				
	슬럼프(mm)	1	150±25				
	공기량(%)	1	4.5±1.5				
	혼화재(%)	2	0, FA30				
	혼화제	3	·AE감수제 표준형, 지연형, 조강형				
모의 부재	크기(mm)	2	300×300×400(2단 타설) 300×300×600(3단 타설)				
			2단 타설	상부층 (200mm)	하부층 (200mm)		
	타설방법	10	A	OPC (S-P)			
			B	FA30% (S-F30)			
			C	OPC (S-P)			
			D	FA30% (S-F30)			
			E	조강형 (E-P)	FA30% (S-F30)		
			F	OPC (S-P)	FA30% (S-F30)		
			G	조강형 (E-P)	FA30%+지연형 (R-F30)		
			H	OPC (S-P)	FA30%+지연형 (R-F30)		
			I	CKD20% (S-C20)	FA30%+지연형 (R-F30)		
			3단 타설	J	상부	중양부	하부
					조강형 (E-P)	FA30% (S-F30)	FA30%+지연형 (R-F30)
실험 사항	굳지않은 콘크리트	5	·슬럼프, 슬럼프플로우 ·공기량, 단위용적질량 ·응결시간				
	경화 콘크리트	1	·모의부재 수화열 온도 이력 (상부중앙, 하부중앙, 외기온도) *J의 경우 중앙부 중앙온도 추가측정				

*A,B모의부재는 상하부일체타설,
그 외의 모의부재는 각층 타설시간차 : 4시간
S : AE감수제 표준형 R : 지연형 E : 조강형
P : Plain F30 : 플라이애시 30%치환 C20 : 킬른더스트 20%치환

표 2. 콘크리트의 배합사항

배합	W/B (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	혼화제	혼합재 (%)	AE WR /C (%)	질량배합 (kg/m ³)			
							C1	C2	S	G
S-P	45	175	43	표준형	0	0.40	389	0	708	984
S-C20				표준형	CKD20	0.50	311	78	704	978
E-P				조강형	0	0.75	389	0	708	984
S-F30				표준형	FA30	0.55	272	117	692	961
R-F30				지연형		0.70	272	117	692	961

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량, 응결시간을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 모의부재 수화열 온도이력을 측정하도록 계획하였다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트 (밀도 3.15 g/cm³, 분말도 3,265 cm²/g)를 사용하였고, 잔골재 (표건밀도 2.51 g/cm³, FM 2.90)는 충북 청원군 옥산산 강모래, 굵은골재(표건밀도 2.63 g/cm³, FM 7.04)는 충북 청원군 옥산산 25mm부순 굵은골재를 사용하였다. 혼화제로 플라이애시는 국내산 H사에서 생산된 것(밀도 2.21 g/cm³, 분말도 3,368 cm²/g)과 킬른더스트는 A사의 시멘트 제조과정 중 발생하는 것 백필터로 포집한것(밀도 2.67 g/cm³, 분말도 8,200 cm²/g)을 사용하였으며, 혼화제로 감수제는 나프탈렌계, AE제는 빈졸계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였다. 공기량 및 단위용적질량은 KS F 2421 및 2409의 규정에 따라 실시하였고, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 판입저항 시험방법에 의거 측정하였다.

모의 부재는 건축기초 매스 콘크리트로 가정하여, 주변부분을 모두 스티로폼 200mm로 단열하여 300×300×400mm, 300×300×600mm의 크기로 제작하였다. 모의부재 실험 모습은 사진 1, 2와 같다. 타설방법은 표 1과 같이 하부 콘크리트부터 상부콘크리트까지 순서대로 타설하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 모의 부재의 수화열 온도 이력은 상부중앙, 하부중앙 및 외기온도를 측정하였다.

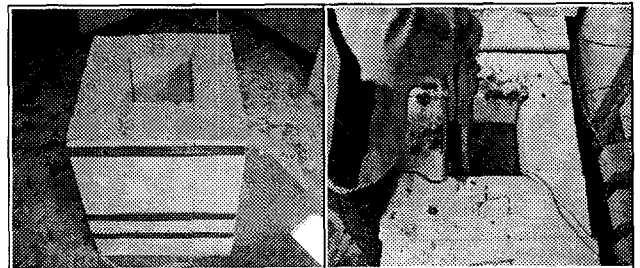


사진 1. 모의부재 시험체 제작

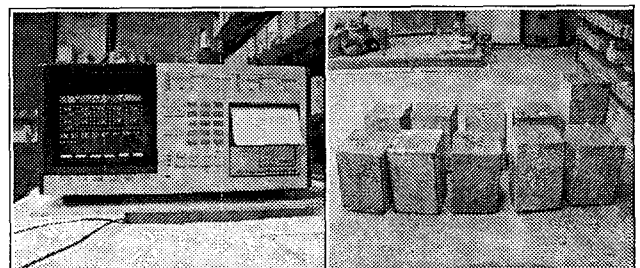


사진 2. 모의부재 온도측정, 타설

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 배합의 종류별 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

전반적으로 배합설계에 의하여 목표 슬럼프 150±15mm 및 공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 감수제 및 AE제 사용량을 결정하였다. 플라이애시 사용한 배합의 경우 플라이애시 중 미연소탄분의 AE제 흡착작용으로 AE제의 사용량을 훨씬 증가시켜 주어야 함을 알 수 있었다.

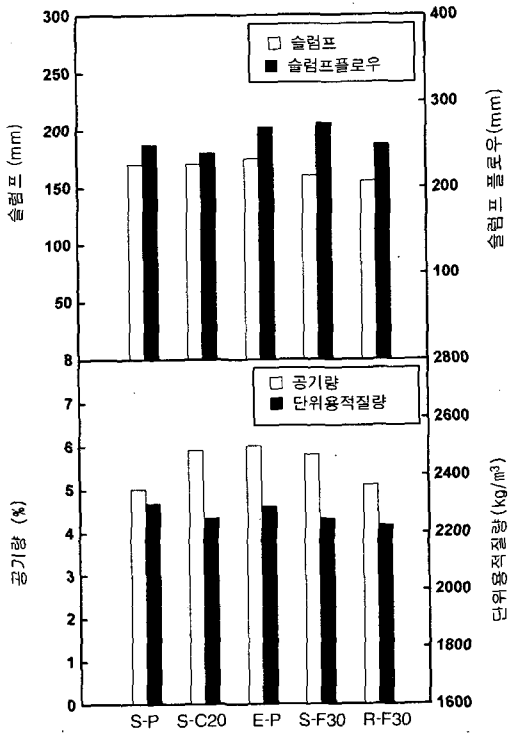


그림 1. 배합의 종류에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량 및 단위용적질량

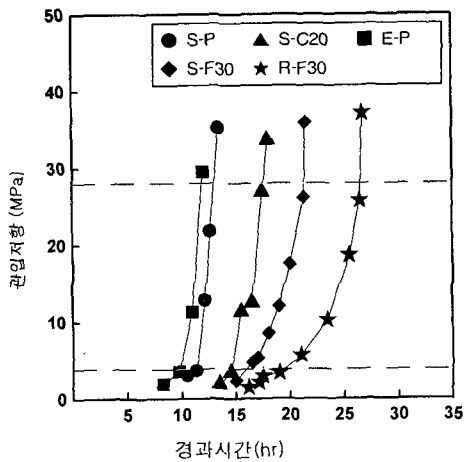


그림 2. 배합종류별 경과시간에 따른 관입저항

그림 2는 배합 종류별 경과시간에 따른 관입저항을 나타낸 것이다. 먼저, S-P배합의 종결은 13시간, E-P배합의 경우는 12시간으로 나타났는데, 이것은 조기강도발현형 AE감수제의 효과로 E-P배합 종결시간을 약 1시간 정도 단축시킨 것으로 분석된다. 또한 S-C20배합의 종결은 17.5 시간, S-F30배합의 경우는 21.5시간, R-F30배합의 경우는 26.5시간으로 나타났다. 따라서, 응결시간이 가장 빠른 E-P배합과 가장 늦은 R-F30배합간에는 약 14.5시간의 응결시간차를 나타내었다.

3.2 모의 부재 온도이력 특성

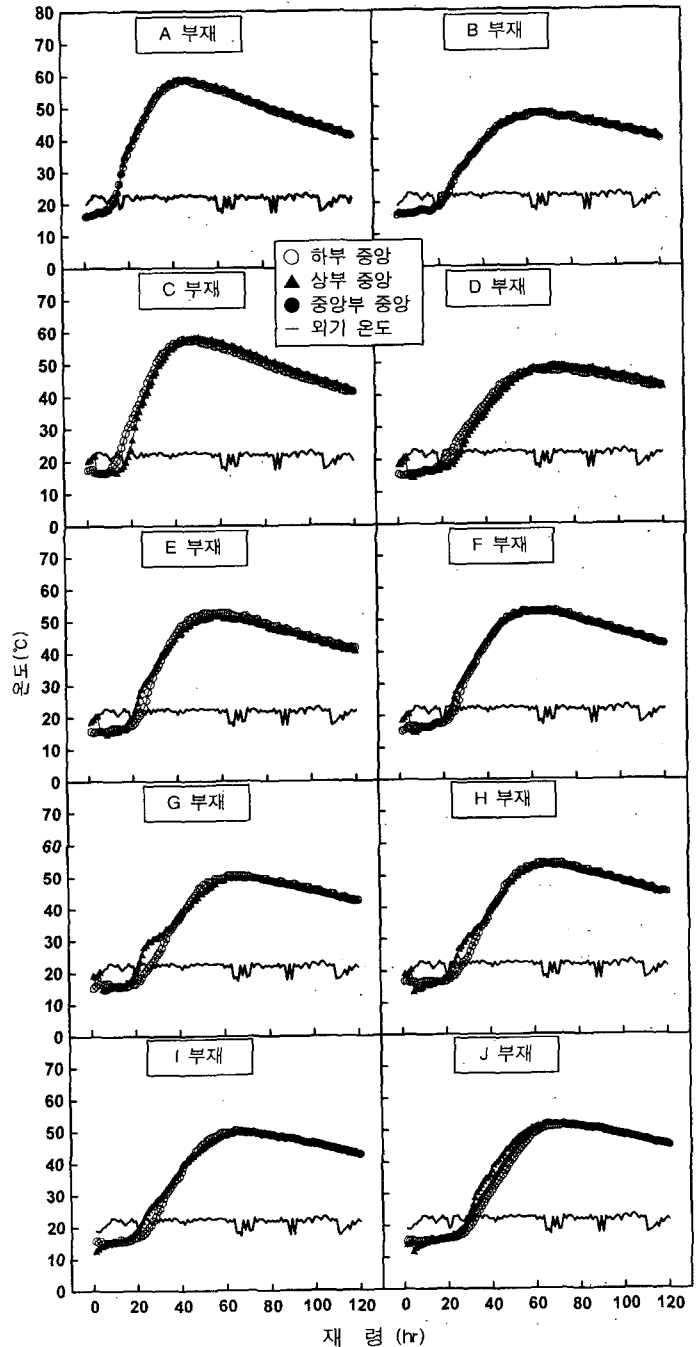


그림 3 모의 부재 온도이력

표 3. 모의부재별 수화 최고온도 및 도달시간

부재종류	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
최고온도 (°C)	58.6	47.6	58.1	48.5	52.6	52.6	50.6	53.6	50.3	51.9
도달시간 (hr)	41	61	51	72	52	56	64	63	64	68

그림 3은 배합 변화에 따른 모의부재의 온도이력을 나타낸 것이고, 표 3은 모의부재별 수화 최고온도 및 도달시간을 나타낸 것이다.

먼저, A와 B부재는 상부콘크리트를 일체타설 한 것으로 상부콘크리트 간의 온도차가 발생하지 않았고, B의 경우는 A에 비해 약 10°C의 수화열저감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 플라이애시를 시멘트량에 치환하여 사용함으로써 수화열 발생을 저감시킨 것으로 사료된다. C~J부재는 층별로 4시간의 타설시간차를 두었는데, 그중 C와 D의 경우는 A와 B의 경우와 비교하였을 때 수화열의 의한 최고온도는 큰 차이가 없지만, 최고온도 도달시간은 약 10시간 정도의 늦어지는 것으로 나타났다. 또한, 하부콘크리트는 상부콘크리트 보다 먼저 수화발열함으로서 상하부의 타설시간차에 의한 온도차가 발생하는데, 이것은 매스콘크리트에서 중심부 온도의 증가로 부피가 팽창된 콘크리트의 압력이 상부표면부의 인장응력을 발생시키는 원인이 될 것으로 사료된다.

그러나, E~I부재는 층별 타설시간차가 있음에도 불구하고 하부콘크리트 보다 상부콘크리트가 먼저 수화발열 하였는데, 이는 각 배합특성에 따른 수화발열량차를 활용한 것에 기인하여, 중심부와 표면간 온도차에 의한 온도균열을 방지할 수 있을 것으로 사료된다. 수화열에 의한 최고온도 값은 각 부재별 큰 차이 없이 50.3~53.6°C로 나타났으나, 수화열 최고온도 도달시간은 하부콘크리트의 배합 중 지연형 AE감수제의 영향으로 G, H, I가 E, F보다 7~12시간정도 지연되는 것으로 나타났다. I부재는 수화열 최고온도값이 비교적 낮게 나타났는데 이는 상부콘크리트에 치환사용된 킬른더스트가 전체적인 수화발열량을 줄이는데 효과적인 영향을 준 것으로 판단된다.

또한 J부재는 매스콘크리트의 높이가 약 1.6m~2.4m 정도일 경우 적용하기 위해 3층으로 구분하여 콘크리트를 타설하는 것을 모의한 실험으로, 상부콘크리트부터 하부콘크리트까지 점층적으로 수화발열이 발생하는 것으로 나타났고, 수화열에 의한 최고온도 값은 약 52°C, 도달시간은 68시간으로 나타났다. 따라서 매트콘크리트의 두께가 매우 두꺼운 경우에도 본 발열량차 공법의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

수화발열량차를 이용한 매스콘크리트 모의 부재의 온도이력 특성을 검토한 실험결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 배합종류별 콘크리트의 응결특성으로 조강형(E-P)배합과

지연형(R-F30)배합간에는 약 14.5시간의 응결시간차가 있는 것으로 나타났는데 이것은 매스콘크리트 타설시 타설시간차에 의하여 발생하는 결함을 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

- 2) 모의부재의 수화열 온도이력 특성으로 플라이애시를 30%치환에 따라 약 10°C의 수화열 저감효과가 있는 것으로 나타났다.
- 3) 일반적으로 실무에서 활용되는 C와 D의 경우는 하부콘크리트가 먼저 수화 발열하였지만, 개선안인 E~J는 상부콘크리트부터 하부콘크리트로 점층적으로 수화발열하여 균열발생 확률을 저감할 수 있었다.

그러므로, 수화발열량차 공법은 매스콘크리트에서 중심부와 상부표면부간의 발열량차에서 발생하는 온도균열을 효과적으로 제어할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 한국콘크리트학회 ; 콘크리트 혼화재료, 1997. 3
2. 한국콘크리트학회 ; 최신콘크리트공학, 2004. 12
3. 김종, 송승현, 전충근, 신동안, 한민철, 한천구 ; 혼화재 종류 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 응결 및 강도발현 특성, 대한건축학회 학술발표논문집 제24권 2호, pp. 499-502, 2004. 10
4. 김종, 송승현, 전충근, 한민철, 오선교, 한천구 ; 광물질 혼화재와 화학혼화제의 조합사용에 따른 콘크리트의 응결특성, 한국콘크리트학회 학술발표논문집 제16권 1호 pp. 505-508, 2004. 11
5. 김종, 송승현, 전충근, 한민철, 신동안, 한천구 ; 혼화재와 혼화제의 조합에 따른 콘크리트의 응결 및 압축강도 특성, 한국구조물진단학회 학술발표논문집 제8권 2호, pp. 425-428, 2004. 11
6. 주은희, 전현규, 조규일, 차천수, 김성수, 한천구 ; 혼화재 치환 콘크리트의 압축강도 및 내동해성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집 제24권 2호, pp. 543-546, 2004. 10
7. 김종, 전충근, 신동안, 오선교, 한천구 ; 발열량차를 활용한 매스콘크리트의 수화열 저감에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 중복지회 학술발표 논문집 제5권 1호, pp. 117-120, 2005. 3
8. A. K. Schindler, K. J. Folliard ; Heat of Hydration Models for Cementitious Materials, ACI MATERIALS JOURNAL VOL.102, NO.1, pp. 24-33, 2005, 1-2