

혼화재료의 조합사용에 따른 콘크리트의 기초물성 및 단열온도상승 특성

Fundamental Properties and Adiabatic Temperature Rise of Concrete with the Combination of Mineral and Chemical Admixture

전충근* 김종** 신동안*** 윤기원**** 한천구*****
Jeon, Chung Keun Kim, Jong Shin, Dong-An Yoon, Gi-Won Han, Cheon Goo

ABSTRACT

This paper presents the result of adiabatic temperature rise and fundamental properties of concrete combining admixtures. According to results, difference of setting time with 15.5hours is observed between S-P and R-F30 mixture. Based on the adiabatic temperature rise test, 8°C of heat produced occurs between E-P and R-F30 mixture. is applied to estimate the temperature rising under adiabatic curing condition, which exhibits closer consistency with tested value. The function mentioned above can account for the effect of dormant period in hydration process at early stage on hydration heat production. It reveals that the consideration of placing layer based on the mixture adjustment(E-P mixture at top layer and R-F30 mixture at bottom layer) in mass concreting will contribute to reduce hydration heat as well as alleviate tensile stress discrepancy between placing layer.

1. 서론

최근, 우리나라 건축공사는 초고층화, 대규모화 되어감에 따라 적재하중을 안전하게 지탱하기 위한 거대한 매트기초의 경우 매스콘크리트로의 시공이 불가피한 실정이다. 매스콘크리트의 경우는 시멘트의 수화발열로 인한 온도상승과 온도균열을 충분히 제어 할 수 있는 효율적인 공법이 요구되어지고 있는데, 본 연구팀에서는 선행연구로 응결시간차 공법을 개발하여 건설교통부 신기술로 지정받아 많은 보급을 이루고 있는 실정이다. 그런데, 기존의 공법인 경우는 품질 및 내구성은 양호하나 약간의 공사비용이 추가되고, 품질관리의 신중성이 존재하는 관계로 범용적인 보급에는 다소 어려움이 제기되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구팀에서는 매스콘크리트의 품질과 경제성을 확보하여 실제 건설현장에 널리 보급할 수 있는 매스콘크리트의 발열량차 공법을 개발중에 있다. 즉, 건물매트 기초 콘크리트에서 하층부 콘크리트는 플라이애시 등 수화발열량이 작은 혼화재와 AE감수제 지연형을 사용함으로써 수화열을 저감시킴과 동시에 전체적인 응결을 지연시키고, 상층부 콘크리트는 하층부콘크리트와 동시에 응결 및 발열하도록 킬른더스트 등 수화발열량이 큰 혼화재와 조기강도발현형 AE감수제를 사용한 콘크리트를 타설함으로써 상하부 콘크리트의 발열량차를 축소시켜 온도균열을 제어할 수

* 정회원, (주)선엔지니어링 건설기술연구소 책임연구원, 공학박사

** 정회원, (주)선엔지니어링 건설기술연구소 연구원, 청주대 석사과정

*** 정회원, (주)선엔지니어링 건설기술연구소 소장, 청주대 박사과정

**** 정회원, 주성대학 건축공학과 부교수, 공학박사

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

있는 새로운 공법을 검토 중에 있다.

그러므로, 본 연구에서는 전술한 공법의 적용가능성을 검토하기 위해 응결시간, 압축강도 등 기초물성과 단열온도상승 특성에 대하여 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다.

먼저, 배합사항으로 W/B는 45%의 1수준에 대하여 목표슬럼프 150±25mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 하였고, 혼화제와 혼화제를 조합한 총 5배치에 대하여 배합설계 하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량 및 응결시간을 측정하였고, 경화콘크리트에서는 단열온도상승시험과 압축강도를 측정하도록 실험계획하였다.

표 1. 실험계획

배합 사항	W/B(%)	1	45
	슬럼프(mm)	1	150±25
	공기량(%)	1	4.5±1.5
	혼화제	3	AE감수제 표준형, 지연형, 조기강도발현형
	혼화제	3	0, CKD20, FA30
실험 사항	굳지않은 콘크리트	5	슬럼프, 슬럼프플로우, 공기량, 단위용적질량, 응결시간
	경화 콘크리트	2	· 압축강도(3, 7, 14, 28일) · 단열온도상승시험(120시간)

표 2. 콘크리트의 배합사항

배 합	혼화제		W/B (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	혼화제 치환	AEW R/C (%)	질량배합(kg/m ³)			
								시멘 트	혼합 재	잔골 재	굵은 골재
S-P	A E 감 수 계	표준형	45	175	43	0	0.75	389	-	717	999
S-C20						CKD20	0.85	311	77.8	712	992
S-F30		FA30				0.55	272	117	700	976	
E-P		조강형				0	0.80	389	-	717	999
R-F30		지연형				FA30	0.70	272	117	700	976

* S : AE감수제 표준형 R : 지연형 E : 조강형 P : Plain F30 : 플라이애시 30%치환

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 A사의 보통포틀랜드시멘트(밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,265cm²/g)를 사용하였고, 잔골재(표건밀도 2.58g/cm³, FM 2.89)는 인천 중구 항동산 세척사를 사용하였으며, 굵은골재(표건밀도 2.58g/cm³, FM 6.75)는 경기도 광주산 25mm 부순굵은골재를 사용하였다. 또한, 혼화제로 킬너더스트는 A사의 시멘트 제조과정 중 발생하는 것을 백필터로 포집한것(밀도 2.67g/cm³, 분말도 8,200cm²/g)과 플라이애쉬는 분급 정제된 보령화력산(밀도 2.22g/cm³, 분말도 3,850cm²/g)을 사용하였으며, 혼화제로 AE감수제 표준형, 지연형 및 조기강도발현형은 국내산 D사의 나프탈렌계를 사용하였다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 먼저, 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입믹서를 사용하여 실시하였다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 따라 실시하였으며, 응결시간은 KS F 2436의 프록터 관입저항 시험방법으로 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 규정에 의거 측정하였고, 단열온도상승시험은 국내 D사 소유의 단열온도상승시험기를 사용하여 측정하였다.

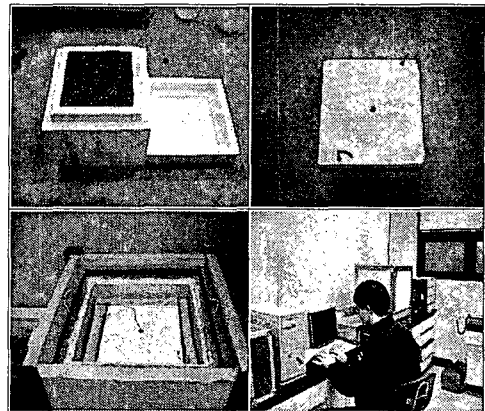


사진 1. 단열온도상승시험 측정 사진

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

표 3은 혼화재료간의 조합사용에 따른 슬럼프, 슬럼프 플로우, 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

혼화재료의 조합사용 변화에 따른 슬럼프 및 공기량은 배합설계를 실시하였음에 따라 모두 목표 슬럼프 150±25mm 및 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났다.

그림 1은 혼화재료의 조합사용별 경과시간에 따른 관입저항을 나타낸 것이다. 먼저, S-P배합의 경우 종결은 9시간으로 S-C20, E-P배합과 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 단, S-F30배합의 종결은 11시간, R-F30배합의 종결은 24.5시간으로 나타났다. 그러므로, S-P, S-C20, E-P배합과 R-F30배합 간에는 약 15.5시간의 응결시간차를 나타내었다.

3.2 경화콘크리트의 특성

그림 2는 혼화재료 조합사용별 경화콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다.

먼저, E-P콘크리트의 압축강도는 S-P콘크리트 보다 1일에서 약 2MPa 높게 나타났으며, 28일에서 약 3MPa 높게 나타났다. S-C20콘크리트의 압축강도는 초기에 S-P콘크리트보다 약간 높게 나타났으나, 28일에서 거의 비슷하게 나타났다. S-F30, R-F30콘크리트의 압축강도는 플라이애시 치환시 낮은 반응속도에 의한 영향으로 S-P콘크리트와 비교하였을 때 초기 재령에서 저하하는 것으로 나타났으나, 28일에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.3 단열온도상승 특성

그림 3과 4는 혼화재료의 조합사용에 따른 단열온도상승 특성을 나타낸 것이고, 표 4는 근사식에 의한 단열온도상승 특성을 나타낸 것이다. 타설온도는 각 배합 공히 20℃로 하여 단열온도상승시험을 수행하였으며, 단열온도상승 특성 분석 및 평가를 위하여 기존에 사용되고 있는 식 $Q = k(1 - e^{-at})$ (이하 식 1이라 칭함)과 근사식 $Q = k(1 - e^{-at^b})$ (이하 식 2라 칭함)를 사용하였다. 식 1과 식 2에 의한 결정계수(R^2)는 식 1의 경우 $R^2 = 0.96$ 이상의 값으로 나타났고, 식 2의 경우 $R^2 = 0.98$ 이상의 양호한 값으로 나타났는데, 본 시험의 시험치와 해석치를 비교하였을 때 콘크리트의 초기 수화휴지기를 고려한 식 2에 더 근접한 것으로 나타났다.

S-P, S-C20콘크리트의 경우는 거의 흡사한 발열량과 발열속도를 나타내었는데, E-P콘크리트의 경우 S-P콘크리트보다 발열량이 약 5℃정도 높게 나타났으며, 발열속도 또한 빠른 것으로 나타났다. 플라이애시를 치환한 S-F30, R-F30콘크리트의 경우는 S-P콘크리트와 비교하였을 때 초기수화반응이

표 3 굳지않은 콘크리트의 특성

항목	혼화계		슬럼프 (mm)	슬럼프 플로우 (mm)	공기량 (%)	단위용적질량 (kg/m^3)
배합	A E 감 수 계	표준형	145	255	6.0	2,281
		S-C20	130	250	5.8	2,283
		S-F30	130	230	5.8	2,283
E-P	조강형	145	220	4.5	2,341	
		R-F30	150	236	5.5	2,318

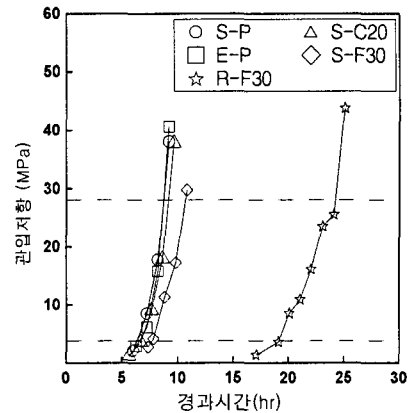


그림 1. 혼화재료의 조합사용별 경과시간에 따른 관입저항

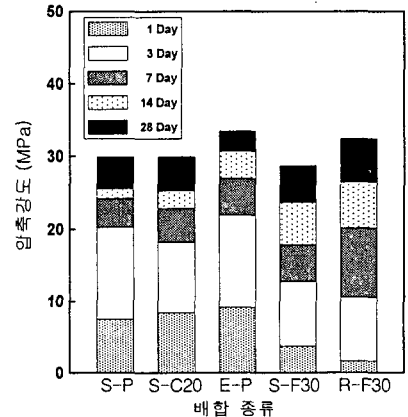


그림 2. 혼화재료의 조합사용별 경화콘크리트의 압축강도

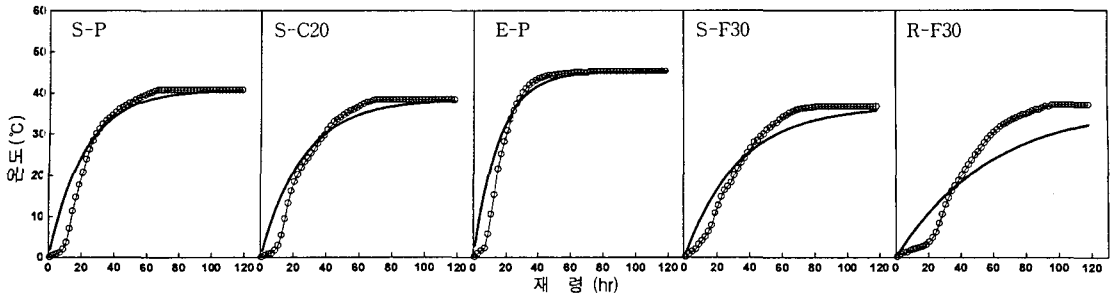


그림 3. 혼화재료 조합사용에 따른 식 1의 단열온도상승 특성

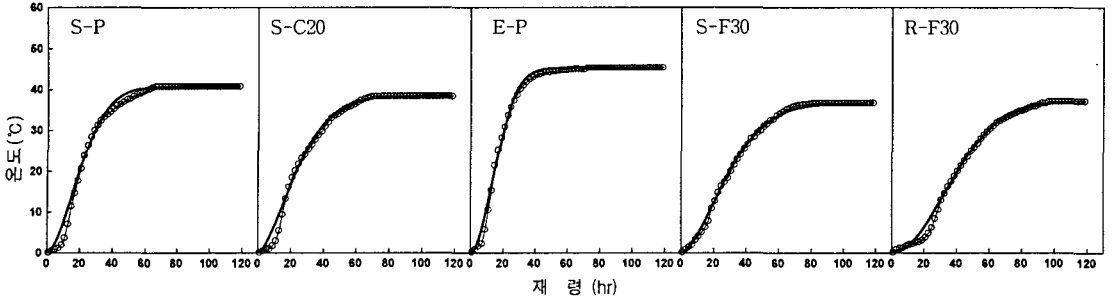


그림 4. 혼화재료 조합사용에 따른 식 2의 단열온도상승 특성

지연되며 발열량이 적고, 발열속도가 늦은 것을 알 수 있었다. 특히, R-F30의 경우는 20시간 이후에 온도가 상승하는 것으로 나타났고, E-P콘크리트와 R-F30콘크리트 간에는 약 8°C 정도의 발열량차가 발생한 것으로 나타났다. 따라서, 발열량차를 활용하여 매스콘크리트의 온도균열을 저감시키기 위한 방법으로 구조체 상부에는 발열량이 가장 높게 나타난 E-P배합으로 콘크리트를 타설하고, 하부에는 발열량이 낮으면서 발열시간을 충분히 지연시키는 R-F30배합의 콘크리트를 타설하는 것이 효과적인 것으로 사료되어진다. 또한 혼화재료의 조합사용에 따라 나타난 단열온도상승식은 매스콘크리트의 부재 중앙부와 표면부와의 발열량차에서 발생하는 인장응력을 합리적으로 분석, 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

표 4. 근사식에 따른 단열온도상승 특성

배합	$Q = k(1 - e^{-at})$			$Q = k(1 - e^{-at^\beta})$			
	K	a	R ²	K	a	β	R ²
S-P	40.73	1.11	0.9740	40.73	0.95	1.74	0.9944
S-C20	38.36	0.94	0.9808	38.36	0.77	1.58	0.9871
E-P	45.30	1.54	0.9732	45.30	1.49	1.88	0.9968
S-F30	36.68	0.72	0.9794	36.68	0.55	1.66	0.9981
R-F30	37.06	0.41	0.9663	37.06	0.28	2.01	0.9966

지연되며 발열량이 적고, 발열속도가 늦은 것을 알 수 있었다. 특히, R-F30의 경우는 20시간 이후에 온도가 상승하는 것으로 나타났고, E-P콘크리트와 R-F30콘크리트 간에는 약 8°C 정도의 발열량차가 발생한 것으로 나타났다. 따라서, 발열량차를 활용하여 매스콘크리트의 온도균열을 저감시키기 위한 방법으로 구조체 상부에는 발열량이 가장 높게 나타난 E-P배합으로 콘크리트를 타설하고, 하부에는 발열량이 낮으면서 발열시간을 충분히 지연시키는 R-F30배합의 콘크리트를 타설하는 것이 효과적인 것으로 사료되어진다. 또한 혼화재료의 조합사용에 따라 나타난 단열온도상승식은 매스콘크리트의 부재 중앙부와 표면부와의 발열량차에서 발생하는 인장응력을 합리적으로 분석, 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

혼화재료의 조합사용에 따른 콘크리트의 기초물성과 단열온도상승특성에 대하여 검토한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 응결특성으로 S-P, S-C20, E-P배합의 종결은 약 9시간으로 나타났고, S-F30배합의 경우 종결은 약 11시간, R-F30배합의 종결은 약 24.5시간으로 매우 늦게 나타나, S-P, R-F30배합간에는 약 15시간의 응결시간차가 있음을 알 수 있었다.

2) 단열온도상승 특성으로 혼화재료의 조합사용에 따른 단열온도상승식 $Q = k(1 - e^{-at^\beta})$ 은 시험치와 해석치를 비교하였을 때 콘크리트의 초기 휴지기를 고려함에 따라 더 근접한 것으로 나타났다. 본 시험을 통해 각 배합에 따라 최고 온도상승량과 수화반응에 의한 발열시점을 보다 정확히 확인 할 수 있었고, E-P콘크리트와 R-F30콘크리트간에는 약 8°C의 발열량차가 발생함을 확인할 수 있었다.