

결합재 조건에 따른 콘크리트의 수화발열특성에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on the Heat Hydration Properties of Concrete According to Binder Conditions

조현태*
Jo, Hyun Tae

최용현*
Choi, Yong Hyun

김성*
Kim, Sung

류득현**
Ryu, Deuk Hyun

ABSTRACT

Recently, owing to the development of industry and the improvement of building techniques, the concrete structure is becoming larger and higher. In hardening these large concrete, the heat of hydration gives rise to considerable thermal stress depending on the size and environmental condition of concrete, which might cause thermal cracking. Especially, the crack may cause severe damage to the safety and the durability of concrete structure.

This study is investigated the thermal properties of concrete according to several binder conditions, such as OPC, Belite rich cement(BRC), slag cement(SC), blast furnace slag(BFS) added cement, fly ash added cement and BFS-fly ash added cement.

As a result of this study, the concrete made with BRC, fly ash(25%) added cement and BFS(35%)-fly ash(15%) added cement gets superior effect in the control of heat hydration.

1. 서론

최근 급속한 산업의 발달과 더불어 토목 건축기술의 발달로 콘크리트 구조물의 초고층화·대형화가 이루어지고 있으며, 이러한 대형 구조물의 시공에 있어서 콘크리트의 온도상승은 부재의 내·외부 온도차이로 인한 온도응력에 의하여 균열을 발생시켜 구조물의 내하력 및 내구성에 심각한 손상을 가져올 수 있다. 수화발열에 의한 콘크리트 온도 증가를 억제시키는 방법은 현재 다양하게 모색되어지고 있으며 보편적으로 이러한 방법으로는 재료의 사전 냉각에 의해 콘크리트 자체의 타설 온도를 낮추는 방법, Pipe Cooling 방법 등의 시공적인 접근 방법과 수화열의 발생이 적은 결합재 및 그 조합에 의해 온도를 저감시키는 재료적인 접근방법으로 나눌 수 있다.

본 연구에서는 보통포틀랜드 시멘트, 슬래그 시멘트, Belite rich 시멘트 및 혼화재의 다양한 대체율 조건에 의한 재료적인 접근방법에서 콘크리트 수화발열 특성을 검토하고자 하였으며, 이를 토대로 효과적인 수화발열관리를 위한 콘크리트 배합설계의 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

* 정희원, 유진종합개발(주) 기술연구소

** 정희원, 유진종합개발(주) 기술연구소 소장

표 1. 실험계획 및 콘크리트 배합

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위질량 (kg/m ³)								시험항목
			W	OPC	SC* ¹	BRC* ²	FA* ³	BFS* ⁴	G	S	
OPC	41.9	46.0	157	375	-	-	-	-	967	819	1. 굳지않은 콘크리트 특성 : 슬럼프, 공기량
SC				-	375	-	-	-	959	811	
BRC				-	-	375	-	-	970	820	2. 경화 콘크리트 특성 : 1, 3, 7, 28일 압축강도
F25				281	-	-	94	-	949	803	
S50				188	-	-	-	187	960	812	3. 미소수화열량 분석 4. 간이단열온도 상승시험
S35F15				188	-	-	56	131	952	805	

주 1) SC : Slag Cement 2) BRC : Belite Rich Cement 3) FA : Fly Ash 4) BFS : Blast Furnace Slag

2. 실험

2.1 실험계획 및 사용배합

본 실험의 실험 계획 및 콘크리트 배합을 표 1에 나타내었다. 결합재 조건에 따른 수화열 거동 특성을 검토하기 위하여 물-결합재비는 41.9%, 단위수량은 157kg/m³로 설정하였으며, 목표슬럼프 18±1cm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족한 콘크리트를 얻기 위하여 고성능 감수제의 사용량을 조정하여 시험을 수행하였다. 결합재 조건은 OPC, SC, BRC의 경우 단독 적용을 하였으며, 혼화재 대체율의 조건은 시멘트 중량에 대해 플라이 애시 25%, 고로슬래그 미분말 50%, 고로슬래그 미분말 35%-플라이 애시 15%의 3수준으로 설정하였다.

측정 항목으로는 굳지 않은 콘크리트의 경우 믹싱 직후의 슬럼프 및 공기량을 측정하였으며, 결합재 조건에 따른 수화발열 특성을 고찰하기 위하여 미소 수화열 분석과 간이단열온도 상승시험을 실시하였다. 또한, 경화 콘크리트의 성상을 알아보기 위하여 재령 1, 3, 7, 28일에 압축강도 측정을 수행하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료의 기초물성은 표 2에 나타내었다. 시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(S사), 슬래그 시멘트(K사), Belite Rich 시멘트(S사)를 사용하였으며, 혼화재는 4429cm²/g의 고로슬래그 미분말(K사)과 3507cm²/g의 플라이애시(Y산)를 사용하였다. 또한 고성능 감수제는 카르본산계 고성능 감수제(I사)를 사용하였으며, 사용 골재의 조립률은 잔골재와 굵은골재가 각각 2.94, 6.60으로 측정되었다.

표 2. 사용 재료의 기초물성

시멘트	OPC	밀도: 3.15 분말도: 3494cm ² /g
	SC	밀도: 2.99 분말도: 4116cm ² /g
	BRC	밀도: 3.20 분말도: 3505cm ² /g
혼화재	FA	밀도: 2.20 분말도: 3507cm ² /g
	BFS	밀도: 2.91 분말도: 4429cm ² /g
잔골재	바다모래	밀도 2.60, 조립률 2.94 흡수율 : 0.64
굵은골재	부순골재	최대치수 25 mm, 밀도 2.62 조립률 6.60, 흡수율 0.68

2.3 실험방법

본 연구에서는 각각의 결합재 조건에 따른 목표 유동성을 확보하기 위해 혼화재 사용량을 조정하여 콘크리트 수화열 거동 분석을 실시하였으며, 그 시험방법은 다음과 같다.

2.3.1 미소수화열 측정

결합재 조건에 따른 수화발열 거동을 파악하기 위하여 물결합재비 50%인 페이스트를 전도형 열량계(Twin Conduction Micro Calorimeter, TCC 26)를 사용하여 7일 동안 수화열을 측정하였다.

2.3.2 간이단열온도 상승시험

콘크리트 온도상승을 측정하기 위하여 내측길이가 60×60cm인 정방형 거푸집에 두께 10cm의 단열재로 단열장치를 만들고 중심부에 열전대(Thermocouple)를 설치하였으며, 64ℓ (40×40×40cm)의 콘크리트 내부 온도변화를 7일간 수화열 측정기(KR-100N)로써 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트 특성 검토

결합재 조건에 따른 콘크리트 제조 직후의 슬럼프 및 공기량과 혼화제 사용량을 그림 1, 2에 나타내었다.

목표 유동 특성을 만족하기 위한 혼화제 사용량은 OPC, SC, F25의 순으로 크게 나타났으며, BRC, S50, S35F15의 결합재 조건은 가장 적은 혼화제 사용량으로 동일 유동성의 확보가 가능한 것으로 나타났다. 또한, AE제 사용량은 플라이애시 사용량이 증가할수록 큰 값을 보여주고 있다.

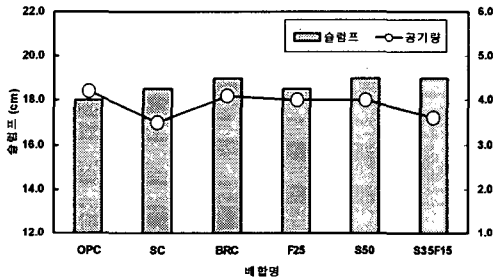


그림 1. 결합재 조건에 따른 콘크리트 초기성상

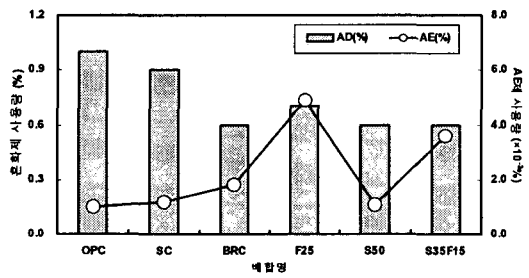


그림 2. 결합재 조건에 따른 혼화제 및 AE제 사용량

3.2 온도상승시험 결과 및 분석

3.2.1 미소수화열량

시간의 경과에 따른 미소수화열량 측정결과를 그림 3과 표 3에 나타내었다. 수주 직후 약 3시간 이후부터 본격적인 수화 반응이 시작되었으며, 약 19시간 이내에 가장 높은 수화열량이 나타내고 있다. 7일간의 미소수화발열량은 OPC가 281.82J/g로 가장 높았으며, BRC, F25, S35F15순으로 수화열 저감효과를 나타내고 있다. 고로슬래그 미분말을 첨가한 결합재 조건에서는 높은 발열 곡선은 나타나지 않았지만, 고로슬래그 미분말의 수화에 의한 수화발열 곡선이 지속적으로 시간경과에 따라 넓게 분포하고 있는 것으로 나타났다.

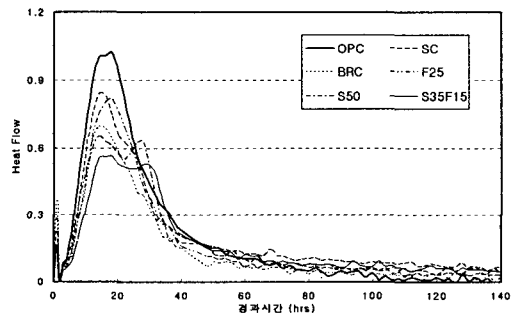


그림 3. 결합재 조건에 따른 미소수화열량 곡선

표 3. 결합재 조건에 따른 미소수화열량 측정결과 (7일간)

	OPC	SC	BRC	F25	S50	S35F15
발열량(J/g)	281.82	260.69	194.59	238.15	270.07	241.90

3.2.2 간이단열온도 상승시험

그림 4는 결합재의 조건에 따른 간이 단열 시험체의 내부온도 변화를 나타내고 있다.

OPC의 경우 최고온도 및 최고 온도 도달시간이 각각 67.7°C, 25h로 수화발열 특성이 가장 높게 나타났으며, BRC가 54.1°C, 43.3h로 수화열 저감효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. F25의 경우 최고온도는 59.7°C로 낮게 나타나고 있으나, 최고점 도달시간이 37.5h로 빠르게 나타났으며, S50의 경우는 61.8°C, 40h으로 F25와 반대의 경향을 보이고 있다. S35F15는 최고온도 및 도달시간이 BRC보다는 크지만, 59.9°C, 40.5h로써 수화열 저감효과가 다른 결합재 조건에 비하여 양호한 것으로 나타났다.

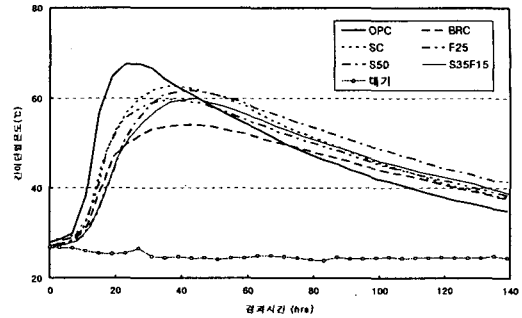


그림 4. 결합재 조건에 따른 간이단열온도 곡선

3.2 경화 콘크리트의 특성 검토

그림 5는 결합재 조건에 따른 콘크리트의 압축강도 발현특성을 나타내고 있다.

초기재령은 OPC, F25, SC의 순으로 압축강도 발현 특성이 양호한 것으로 나타났으며, BRC, S35F15, S50은 상대적으로 낮은 강도발현 특성을 보이고 있다. 28일 재령에서는 고로슬래그를 함유하고 있는 SC, S50, S35F15의 경우, OPC를 상회하는 장기 강도특성을 보이고 있으며, BRC와 F25 또한 OPC의 압축강도와 거의 근사한 압축강도 수치를 보여주고 있다.

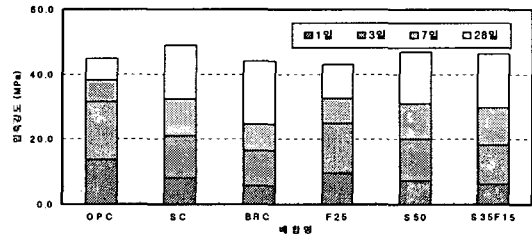


그림 5. 결합재 조건에 따른 콘크리트 압축강도

4. 결론

시멘트 종류 및 다양한 혼화재 대체율 조건에 따른 콘크리트 수화발열 특성을 검토·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동일 유동 특성을 확보하기 위한 혼화제 사용량은 BRC, F25, S50, S35F15의 결합재 조건에서는 거의 유사하였으나, 상대적으로 OPC, SC의 경우 많은 혼화제 량이 요구되어 졌다.
- 2) 모든 결합재 조건에 있어서 OPC와 비교하여 수화열 저감 효과를 얻을 수 있었으며, 특히 BRC, F25, S35F15의 경우 우수한 수화열 저감 효과를 가져올 수 있었다.
- 3) 초기 재령에서 압축강도 발현율은 SC, F25가 우수한 결과를 보이고 있었으며, 상대적으로 낮은 압축강도를 보이는 SC, S50, S35F15, BRC는 28일 재령에서 OPC를 상회하거나 동등수준의 압축강도를 나타내고 있다.

참고문헌

1. 김무한 외 “고강도 콘크리트의 수화열 저감에 미치는 혼화제 종류 및 대체율의 영향에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 제2권 2호, 2002, pp. 145-150.
2. 김진근 외 “시멘트 및 콘크리트의 수화발열특성에 관한 연구” 콘크리트학회 논문집 제7권 3호, 1995. 6, pp. 211-219.