

다성분계 초유동 콘크리트의 수화열에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Hydration Heat of Self-Compacting Concrete

정 원 섭* 권 기 주** 나 환 선*** 오 병 철**** 노 재 명****
Joung, Won Seoup Kwon, Ki Joo Nah, Hwan Seon Oh, Byoung Cheol Noh, Jea Myoung

ABSTRACT

Recently constructions of large scale infrastructures have been tending upwards, due to continuous growth of economy and increase of demands. In addition, hydration heat occurs rapidly in early age just after casting of concrete owing to higher strength and massive structure of concrete. Consequently, cracks and residual stress are developed in accordance to field condition. Moreover, These have harmful influences on safety, durability, watertight, waterproof, and shape of concrete structure. In this study, hydration heat tests were conducted on three of self-compacting concrete and one of high strength concrete. Heat generation and temperature are compared and evaluated based on the test results.

1. 서론

최근 지속적인 경제 성장과 함께 건설수요의 급증에 따라 대규모 건설사업이 계속 증가 추세에 있다. 이와 함께 구조물에 사용되는 콘크리트가 점점 고강도화 및 대형화 되면서 단위 시멘트량의 증가 등으로 인하여 콘크리트 타설 직후 초기재령에서 수화열이 급격히 발생하고 있다. 이는 콘크리트 구조물의 시공 환경조건에 따라 균열을 발생시키거나 잔류응력으로 존재함으로써 안전성, 내구성, 수밀성, 방수성 및 미관에 악영향을 미치게 된다. 이에 본 논문에서는 다성분계 초유동 시멘트 콘크리트 내부의 수화온도 및 상승속도를 측정하기 위하여 콘크리트 재료 및 혼화재 종류에 따른 다성분계 초유동 콘크리트 배합 3종류 및 일반 콘크리트 배합 1종류에 대하여 수화열 상승 시험을 수행하였으며, 본 시험 결과를 바탕으로 개선된 각 배합의 수화열 상승 온도 및 속도를 비교 평가하였다.

* 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임보 연구원

** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

*** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

**** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 연구원

***** 정회원, 한국전력공사 전력연구원 연구원

2. 사용 재료의 물성과 시험 계획

2.1 사용재료의 물성

다성분계 초유동 콘크리트 및 일반배합 콘크리트의 수화열 특성 구명을 위해 선정된 콘크리트 혼화 재료는 잔 골재, 굵은 골재(쇄석), 플라이 애시, 고로슬래그, 석회석 미분말, 1종 포틀랜드 시멘트이며, 혼화제는 폴리카본산계 및 멜라민계 유동화제, 증점제, AE제를 사용하였다. 이의 물성은 아래 표 1과 같다.

표 1. 물성시험 결과표

구 분	잔골재	굵은골재 (쇄석)	플라이 애시	고로 슬래그	석회석 미분말	시멘트	혼화제				비 고
							폴리카본산계	멜라민계	증점제	AE제	
비표면적(cm ² /g)	-	-	3,210	5,510	10.37 (μm)	3,700	-	-	-	-	
대 입 경(mm)	5	19	-	-	-	-	-	-	-	-	
조 립 율	3.16	6.75	-	-	-	-	-	-	-	-	
비 중	2.57	2.75	1.06	-	-	3.15	1.07	1.26	-	1.03	
흡 수 율(%)	1.69	1.05	-	-	-	-	-	-	-	-	
점 도(CPS)	-	-	-	-	-	-	-	-	7,900	-	

2.2 시험 계획

2.2.1 콘크리트 배합설계 시험변수

본 연구는 다성분계 초유동 콘크리트 및 일반배합 콘크리트의 수화열을 측정하기 위한 시험으로 배합설계의 물시멘트비는 37 % ~ 39.4 % 범위로서 단위 시멘트량이 다성분계 초유동 콘크리트는 200 kg/m³, 일반배합은 376 kg/m³으로 배합설계 되었다. 시멘트량을 대체한 플라이 애시, 고로슬래그 및 석회석 미분말은 94 kg/m³~200 kg/m³ 정도이며, 혼화제는 폴리카본산계 및 멜라민계 유동화제, 표준형 AE제를 적정량 첨가하였다. 위의 시험변수들을 정리하면 표 2 와 같다.

표 2 콘크리트 배합설계 시험변수

구 분	설계 기준 강도 (kg/cm ²)	W/C (%)	s/a (%)	Slump Flow (cm)	공기 량 (%)	단위재료량(kg/m ³)										비 고
						시멘 트	물	모래	쇄 석	플라이 애시	고로 슬래그	석회석 미분말	S.P 제	AE 제	증점 제	
A Type (다성분계초유동)	400	37.0	53	55	4.5	200	185	810	772	100	200	-	6.50	0.04	0.245	폴리 카본산계
B Type (다성분계초유동)	400	37.0	53	55	4.5	200	185	810	772	100	100	100	6.50	-	-	폴리 카본산계
C Type (다성분계초유동)	400	38.0	53	55	4.5	200	190	824	785	100	200	-	12.0	-	0.256	멜라민계
D Type (일반 배합)	400	39.4	43	12 (Slump)	4.5	376	185	674	959	94	-	-	2.82	0.05	-	폴리 카본산계

2.2.2 시험 내용

콘크리트 수화열 상승식은 시멘트 종류, 단위 시멘트량, 타설 콘크리트 온도의 영향 등을 고려한 식을 선정하여야 하며, 타설 후의 콘크리트 온도 상승을 해석하기 위해 필요한 가장 기본적인 요인이므로 현장에 사용되는 동일한 재료와 배합 및 타설 온도에 대한 수화열상승 실험을 실시하여 실험 상수를 구하는 것을 원칙으로 하였다.

2.2.3 시험기기

본 시험에 사용된 수화열 상승 시험기는 일본 MARUI & Co. LTD에서 제작한 시험기로서 시험체

주위의 실내 온도를 공기 순환식으로 단열상태를 유지하며 수화열을 측정하는 신뢰성이 인정된 기기이다. 이 기기는 수화 반응에 의한 경과 시간별 온도 상승량 측정, 최대 수화열 상승 값과 반응속도 계산이 가능하다. 또한 측정된 데이터는 콘크리트 구조물에서의 온도 응력 해석 및 수화열에 의한 균열 발생 가능성 분석 등에도 활용되며 정확도는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이내이다. 수화열 측정 순서는 콘크리트를 배합하여 원통형 용기에 타설 한 후 용기를 수화열 상승 시험기에 넣고 온도 측정용 센서를 부착하여 PC로부터 온도 상승량을 계측 함. 수화열 측정 범위는 $+10^{\circ}\text{C} \sim +90^{\circ}\text{C}$ 이며, 시험용기는 원통형이며 규격은 $\phi 400\text{mm} \times \text{H}400\text{mm}$ 의 철재로 제작되었다.

2.3 시험방법

콘크리트 타설 후의 수화열에 의한 온도상승을 계산할 경우 널리 사용되는 수화열상승 곡선은 계산결과에 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이다. 임의의 배합에서 수화열상승 곡선을 결정하는 방법은 시험적으로 구하는 방법이 널리 사용되고 있으나, 아직까지 규격이 정하여져 있지 않으므로 각종의 시험방법이 제안되어 사용되고 있다. 그 결과, 동일 배합이라 하더라도 시험방법에 따라 시험 결과가 달라서, 각종 발표된 자료를 동일 선상에서 비교하는 것이 곤란하다.

현재 사용되고 있는 시험방법은 시험체를 단열상태로 유지하는 방법이 공기순환식과 물순환식 2가지 방법이 있으며, 본 시험에서 사용한 방법은 공기순환식으로 작동되는 시험기기를 사용하여 시험을 수행하였다.

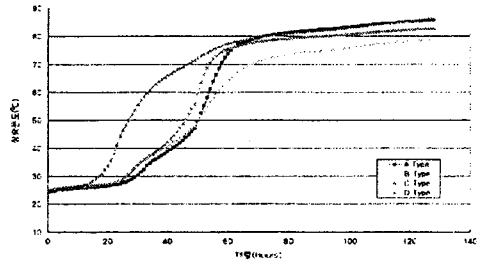


그림 1 대상 콘크리트의 최대 수화열

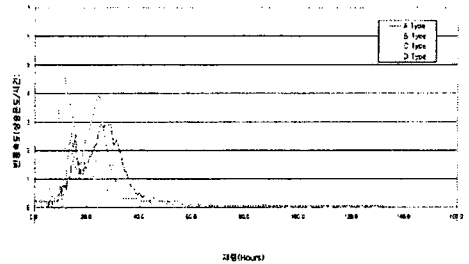


그림 2 대상 콘크리트의 최대 반응속도

3. 결과 및 고찰

3.1 수화열 상승시험

대성분계 초유동 콘크리트 배합 3종류 및 일반배합 콘크리트 1종류에 대해 수화열 상승 시험을 수행하고 시험기기에서 실시간으로 측정된 수화열 상승온도 및 반응속도를 그림 1, 2로 나타내었으며, 표 3의 최대 수화열(K) 및 반응속도(a)는 일본 쓰까야마가 제시한 아래 식 (1)에 의해 기기에서 자동으로 회귀 분석된 결과이다.

$$T = K [1 - e^{-at}] \text{-----}(1)$$

T = 시간 t에서의 수화열 상승 값($^{\circ}\text{C}$), K = 최대 수화열 상승 값, a = 반응속도, t = 재령(일)

표 3. 최대 수화열 및 반응속도 시험 결과

배합명	혼화제 종류	굵은골재 최대치수 (mm)	물/시멘트비 (%)	시멘트 (kg)	설계기준 강도 (kg/cm^2)	초기 타설온도 ($^{\circ}\text{C}$)	$T = K [1 - e^{-at}]$		비고
							최대 단열 온도 상승 값 K ($^{\circ}\text{C}$)	반응 속도 a ($^{\circ}\text{C}/\text{Hr}$)	
A Type	폴리카보산계	19	37.0	200	400	24.5	66.25	0.60	
B Type	폴리카보산계	"	37.0	200	"	24.7	58.17	0.60	
C Type	멜라민계	"	38.0	200	"	25.0	63.51	0.65	
D Type	폴리카보산계	"	39.4	376	"	24.5	62.01	1.09	

3.2 타설 온도에 따른 보정

콘크리트의 타설 온도가 높아질수록 초기의 콘크리트 상승 온도는 커지게 되며 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 대하여 타설 온도를 변화시켜 가며 측정된 수화열 상승 결과에 따르면 최대 수화열 상승 값(K)은 타설 온도가 높아지면 오히려 감소하지만 반응속도(a)는 온도에 비례하여 증가한다.(그림 3참조) 따라서 여러 가지 배합에 대한 보다 정확한 상대 비교를 위해서 일본 콘크리트 공학협회 온도 응력 연구위원회에서 제시한 아래와 같은 타설 온도에 따른 보정 식(2, 3)을 사용하여 보정된 최대 수화열 상승 값과 반응속도를 비교하였다.

$$m_K = 0.931 e^{1.49/T} \text{ -----(2)}$$

$$m_a = 0.05 T \text{ -----(3)}$$

따라서 보정된 최대 수화열 상승 값(K)과 반응속도(a)는 아래 표 4 와 같다.

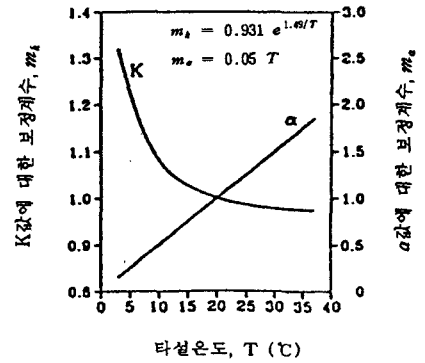


그림 3. 타설 온도에 따른 K, a 값의 변화

표 4. 최대 수화열 상승 값과 반응속도

구분	혼화제 종류	최대 수화열 상승 값 K (°C)	반응속도 a (°C/Hr)	비고
A Type	폴리카본산계	64.24	0.73	
B Type	폴리카본산계	57.52	0.74	
C Type	멜라민계	62.75	0.81	
D Type	폴리카본산계	60.13	1.33	

4. 결론

본 연구에서는 혼화제 종류에 따른 다성분계 초유동 콘크리트 및 일반배합 콘크리트의 수화열 상승 온도 및 속도를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 다성분계 초유동 콘크리트의 수화열 상승 온도 및 속도를 분석한 결과 혼화제 사용 종류에 따른 수화열 상승 온도 및 속도 변화는 없는 것으로 판단된다.
- 2) 다성분계 초유동 콘크리트의 배합 중에서 석회석 미분말을 사용한 배합이 수화열 발생을 억제하는데 유리한 것으로 나타났다.
- 3) 대상 콘크리트의 수화열 상승 온도와 속도를 상대 비교한 결과, 상승 온도는 유사하였으나 상승속도는 일반배합 콘크리트가 매우 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 전력산업 연구개발사업의 지원 하에 이루어진 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국전력공사 전력연구원 '콘크리트 구조물에서의 수화열 저감 방연 연구' 최종보고서, 1998. 8
2. ACI Committee 207, 'Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete', (ACI 207.4R-93), ACI, Detroit, 22pp, 1993
3. ACI Committee 207, 'Mass Concrete', ACI Manual of Concrete Practice, part 1, 207.1, pp. 21, 1994
4. 최계식, '토목재료 시험법과 해설 및 응용', 형설출판사, 1990
5. 한국콘크리트학회, '최신 콘크리트 공학', 1994
6. 건설교통부, '콘크리트 표준시방서', 1996