

# 시멘트 종류에 따른 저발열 콘크리트의 품질특성에 관한 연구

## A Study on the Quality Properties of Low Heat Concrete according to Kinds of Cement

김 성\*      최 성 우\*      조 현 태\*      전 준 영\*      류 득 현\*\*  
Kim, Sung      Choi, Sung Woo      Jo, Hyun Tae      Jun, Joun Young      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), Low-Heat-Mixed Cement(LHC), Fly ash added cement.

As a result of this study, the Flowability of concrete was better with BRC and LHC than FA(25) and OPC. On the other hand, LHC gets superior effect in the control of heat hydration, it's caused by the volume of OPC

---

### 1. 서론

최근 급속한 산업의 발달과 더불어 토목 건축기술의 발달로 콘크리트 구조물의 초 고층화, 대형화가 이루어지고 있으며, 이러한 대형 구조물의 시공에 있어서 온도응력에 의한 균열발생을 제어시키기 위해 콘크리트의 수화열을 저감시킨 저발열콘크리트가 사용되고 있다. 저발열 콘크리트는 시멘트의 특성중 수화열을 제어하기 위하여, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말과 같은 혼화재를 사용하여 제조하거나, 4종 저열 포틀랜드시멘트, 또는 3성분계 저발열 혼합시멘트 등을 사용하여 제조되고 있다.

본 연구의 목적은 시멘트의 종류에 따른 저발열콘크리트의 품질 특성을 검토하기 위하여, 현재 일반적으로 제조되고 있는 플라이애시를 사용한 배합 및 4종 저열 포틀랜드 시멘트, 3성분계 저발열 혼합시멘트를 사용한 경우에 있어서, 콘크리트의 기초물성 및 수화특성 등을 검토한 후 저발열 콘크리트의 현장 적용 및 실용화를 위한 기초자료로 제시하고자 한다.

---

\* 정회원, 유진기업(주) 기술연구소

\*\* 정회원, 유진기업(주) 기술연구소 소장

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획 및 사용배합

본 연구의 실험계획을 표 1, 콘크리트의 배합을 표 2에 나타내었다.

결합재 요인에 따른 콘크리트 특성을 평가 하기 위하여 물-결합재비는 39.0%, 단위수량은 162kg/m<sup>3</sup>로 설정하였으며, 목표 슬럼프 21±1cm, 목표 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 콘크리트를 제조 하고자 한다. 또한 결합재 배합요인은 OPC, LHC, BRC는 시멘트 제조사에서 생산되는 완제품을 사용하였으며, OPC + FA25%는 당 연구소에서 제조하여 총 4개 수준의 시멘트를 선정하여 실험하고자 한다.

시험항목으로는 굳지않은 콘크리트성상을 평가하기 위하여 믹싱직후의 슬럼프 및 공기량을 측정하고 60분, 90분 경과후의 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 측정하였다. 또한 결합재별 배합요인에 따른 수화발열 특성을 고찰하기 위하여 간이 단열온도 상승시험을 실시하였으며, 경화 콘크리트의 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 측정 하였다.

### 2.2 사용재료

본 연구에 사용된 재료로서 시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트(D사), FA는 2종(Y산), 3성분계 저발열 혼합시멘트(K사), 4종 저열 포틀랜드 시멘트(S사)를 사용하였다. 사용골재중 잔골재는 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 부순자갈을 사용하였다. 혼화제는 고성능 감수제(카르본산계)를 사용하였다. 사용된 골재의 조립율은 잔골재는 2.64 굵은골재는 6.55 이다.

### 2.3 실험방법

본 연구에서는 각각의 결합재 조건에 따른 목표 유동성을 확보하기 위해 혼화제 사용량을 달리하여(각 결합재별 성분이 다르기 때문) 실험을 실시 하였다.

굳지않은 콘크리트의 성상은 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 90분까지 측정하였고 경화된 콘크리트에서는 재령 3, 7, 28일의 압축강도를 측정하였다. 콘크리트 단열온도 상승시험은 수화열을 상대 비교하기 위하여 10.5cm × 10.5cm × 10.0cm(T: 4.5cm)의 단열용기에 동일용량의 모르타르를 적용하였으며, 단열 효능을 높이기 위하여 2중 단열을 하여 Thermocouple로 콘크리트의 단열온도 시험을 수행하였다.

표 1. 실험계획

배합요인	1. OPC 2. OPC + FA 25% 3. 3성분계 저발열 혼합시멘트 4. Belite계 시멘트 (4종 저열포틀랜드 시멘트)
시험항목	1. 굳지않은콘크리트 특성 - 슬럼프, 공기량 90분 경시변화 2. 경화 콘크리트 특성 - 3, 7, 28일 압축강도 3. 간이 단열온도 상승 시험

주) FA : Fly Ash

표 2. 콘크리트 기본배합

구 분	W/B (%)	S/a (%)	단위 질량 (kg/m <sup>3</sup> )				
			Binder	W	S	G	AD
OPC	39.0	47.0	415	162	814	953	1.7
FA25					797	933	1.3
LHC					794	930	0.7
BRC					817	956	0.7

주) LHC : Low-Heat-Mixed Cement(3성분계 저발열 혼합 시멘트)

BRC : Belite Rich Cement(4종 저열 포틀랜드 시멘트)

표 3. 시멘트 및 혼화제 종류별 화학성분

	화 학 성 분 (%)					Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	비중
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>		
OPC	21.00	5.90	3.20	62.50	2.10	3,620	3.15
LHC	35.67	12.38	3.31	39.77	2.41	4,080	2.77
BRC	25.30	3.10	3.60	62.50	2.30	3,500	3.22
FA	62.40	26.30	6.10	3.90	0.40	3,248	2.20

표 4. 골재의 물리적 특성

	밀도	흡수율 (%)	단위용 적질량 <sub>3</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	0.08mm 체 통과 량(%)	조립율	비고
잔골재	2.61	0.64	1631	0.89	2.64	세척사
굵은 골재	2.62	0.65	1585	0.68	6.55	부순 자갈

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지않은 콘크리트의 물성 검토

##### (1) 슬럼프 및 공기량

표 5에 굳지않은 콘크리트의 물성 측정 결과를 나타내었다.

결합재 요인에 따른 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 경시변화를 보면 60분에서는 슬럼프 로스율이 BRC가 가장 크고 FA25가 가장 작게 나타났다. 그러나 90분에서는 BRC, LHC가 가장 작은 경시변화를 보였다. 이러한 이유는 초기 60분의 경우는 각 시멘트의 화학성분 및 석고의 형태, 불순물 등에 따라서 시멘트와 혼화제의 상호작용에 의해 슬럼프의 특성이 확연히 나타나지 않았지만 90분에서는 시멘트의 성분중 C<sub>3</sub>A성분이 적은 BRC, LHC가 상대적으로 슬럼프 로스율이 적음을 알 수 있었다.

결합재별 동일한 유동성을 얻기위한 혼화제 사용율을 보면 LHC와 BRC가 가장 적은 양을 사용하였고 OPC는 가장 많은 양을 사용하여야만 동일한 유동성을 확보할 수가 있었다.

공기량의 경시변화 60분에서는 FA25와 LHC에서 가장 크게 감소 하였고 60분에서 90분 사이에는 0.1~0.2%로 약간의 경시 변화만 보이고 있다. 이는 FA25와 LHC는 결합재 내에 FA가 함유되어 상대적으로 공기량의 로스율이 증가되는 것으로 판단 된다.

표 5 굳지않은 콘크리트의 물성 측정 결과

구분		OPC	LHC	FA25	BRC
Slump (cm)	직후	21.0	21.5	22.0	22.0
	60분	19.5	20.5	21.5	20.0
	90분	18.5	20.0	20.0	19.5
Air (%)	직후	5.3	5.8	5.9	5.8
	60분	4.7	4.3	4.2	5.1
	90분	4.5	4.1	4.0	5.0
AD (%)		1.7	0.7	1.3	0.7

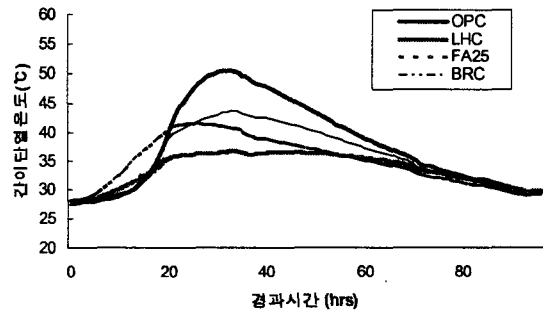


그림 1. 결합재 조건에 따른 단열온도 시험결과

#### 3.2 간이 단열 온도 상승 시험

그림 1에 결합재 조건에 따른 간이 단열온도 상승 시험체의 특성을 나타내었다.

OPC의 경우 최고온도 및 최고 온도 도달시간이 50.3°C, 24.5h로 수화열 저감효과가 가장 열악하게 나타났으며, LHC가 36.8°C, 26h로 가장 우수한 값을 보여주고 있다. FA25의 경우 최고 온도는 41.4°C로 낮은 경향을 보이고 있으나 도달시간이 23.1h로 빠르게 나타났으며, BRC의 경우 FA25보다 최고 온도가 약간 높게 측정되었으나 최고 온도 도달 시간은 2시간30분 정도 지연됨을 알수가 있었다.

#### 3.3 경화 콘크리트의 강도발현특성

그림 2에 경화 콘크리트의 강도발현 특성을 나타내었다.

OPC를 제외한 초기 재령 28일에서는 FA25가 우수한 발현특성을 보이는 반면 LHC는 낮은 강도 발현을 보였으며, 28일 재령 28일에서는 FA25와 LHC, BRC 모두 유사한 압축강도 발현율을 보이고 있다. 이는 앞서 언급한 단열온도 상승 곡선과 일치됨을 알 수가 있으며, LHC 및 BRC는 초기에 수화열이 저감되어 초기 재령에서는 압축강도가 저하되나 재령 28일에서 강도가 증진되는 이유는 LHC의 포졸란반응과 BRC의 (칼슘실리케이트 광물:C<sub>2</sub>C)의 수화에 의한 칼슘실리케이트(C-S-H Gel)겔이 많이 생

성 되었기 때문이다.

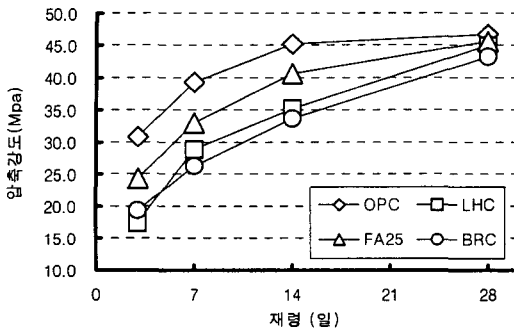


그림 2. 굳지않은 콘크리트의 물성 측정 결과

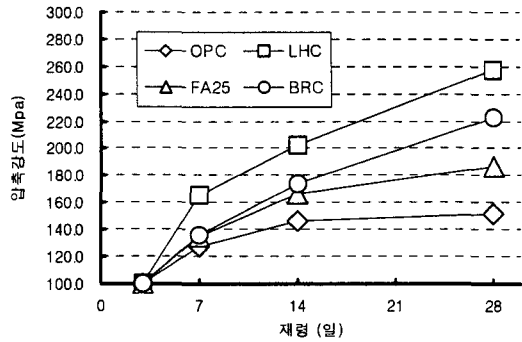


그림 3. 재령 3일 대비 강도 증진율

그림 3에 재령 3일 강도 대비 재령별 강도증진율을 나타내었다. OPC의 경우 초기 재령에서 빠른 수화반응으로 인해 강도가 높게 측정되었으나, 재령의 경과에 따른 강도 증진율은 다른 시멘트에 비해 낮으며 재령 3일 대비 재령 28일 강도증진비가 150% 내외로 나타나고 있다. 특히 BRC, LHC의 경우 재령 28일에서의 강도 증진율이 220%, 260%로 발현되어 저발열 콘크리트로서의 특성을 만족하는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 시멘트 종류별 콘크리트의 굳지않은 성상 및 경화된 콘크리트의 압축강도 발현 성과 콘크리트 수화발열 특성을 검토 한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 동일 유동특성을 확보하기 위한 혼화제 사용량은 LHC, BRE는 동일하게 적용되었고 OPC, FA25는 다소 많은 혼화제 량이 요구되었다.
- 2) 수화열 저감효과는 OPC에 비하여 모든 다른 시멘트에서 높은 저감 효과를 얻을 수 있었다. 특히 LHC, BRC의 경우 수화열 저감 효과가 우수하였다.
- 3) 초기재령의 압축강도 발현율은 OPC를 제외한 FA25가 우수한 값을 보였으나 재령 28일에서는 BRC, LHC와 거의 유사한 압축강도를 나타내었다. 이러한 이유는 포졸란 반응과 시멘트 성분중 칼슘실리케이트광물(C<sub>2</sub>S)의 수화반응에 의한 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김무한 외 “고강도 콘크리트의 수화열 저감에 미치는 혼화제 종류 및 대체율의 영향에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집 Vol.2, No.2, 2002, pp.145-150.
2. 강석화 외 “저발열 시멘트 및 콘크리트의 특성” 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집 : Vol.8 No.2, pp.345-351.
3. 류득현 외, “결합재 조건에 따른 콘크리트의 수화발열 특성에 관한 연구” 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집 Vol.17, No.2, 2005.11, pp.595-598.
4. 하재담 외, “저열 포틀랜드 시멘트를 사용한 댐 콘크리트의 특성에 관한 연구” 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, Vol.18, No.1, 2006.5 pp.445-448.