

# 고강도용 콘크리트의 온도상승 저감대책

## The Reduction of Temperature Rise in High Strength Concrete

문한영\*  
Moon, Han Young

문대중\*\*  
Moon, Dae Joong

하상욱\*\*  
Ha, Sang Wook

서정우\*\*\*  
Seo, Jong Woo

---

### Abstract

As construction technology advances, most of civil engineering structures are becoming larger and taller. Therefore, high strength concrete is necessary for them. For high strength concrete, it needs a large amount of unit cement content and low water-cement ratio inevitably, so that a large amount of heat occurs in concrete.

The thermal cracks make the durability and quality of concrete structures become worse, result from temperature rise and thermal stress due to heat of hydration.

In this study, the proposal of using ground granulated blast furnace slag, fly ash and chemical admixtures was investigated to decrease the temperature rise of concrete.

---

### 1. 서 론

최근 콘크리트 구조물의 대형화, 고층화 및 경량화 추세에 따라 사용재료, 배합 및 시공방법도 크게 달라지고 있으며, 점차 고강도, 고성능콘크리트가 실용화되고 있는 실정이다.

주지하는 바와 같이 콘크리트가 고강도화하게 되면 단위시멘트량이 커지고, 물-시멘트비가 대폭 낮아지므로 시멘트의 수화열로 인한 콘크리트의 온도가 크게 상승하기 때문에 온도응력에 의한 균열이 발생하게 되어 콘크리트 구조물의 품질, 내구성 및 수밀성을 크게 저하시키는 요인이 된다.

본 연구에서는 고강도용 콘크리트의 온도상승을 억제하기 위한 목적으로 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬와 고성능감수제 2종류를 활용하여 고강도용 콘크리트의 온도상승에 대하여 검토하였으며, 아울러 경화한 콘크리트의 강도에 대하여도 실험을 실시하여 고찰하였다.

---

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과

\*\*\* 정회원, 광주대학교 공과대학 토목공학과 부교수

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트 및 광물질 혼화제

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 혼화제는 고로슬래그 미분말(이하 SG라 약함)과 플라이애쉬(이하 FA라 약함)로서, 그 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 광물질 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

Items Type	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	lg. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
SG	32.3	14.8	0.4	44.1	5.5	1.0	1.1	2.80	4,580
FA	68.0	25.0	2.85	2.00	0.90	-	3.47	2.15	3,274

#### 2.1.2 화학 혼화제

혼화제는 K사의 AE감수지연제(이하 A라 약함), K사의 고성능감수지연제(이하 K라 약함), W사의 고성능감수제(이하 W라 약함) 3종류를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 화학 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

Items Type	Component	Specific gravity	Characteristic	pH	Dosage (C×%)
A	Lignin sulfonate composites	1.245±0.005	Dark brown	-	0.2~0.5
K	Naphthalene sulfonate composites	1.185±0.005	Dark brown	8±1	0.3~2.0
W	Naphthalene sulfonate composites	1.185±0.01	Dark brown	9±1	0.6~2.4

#### 2.1.3 골재

잔골재는 비중이 2.61이며, F.M.이 2.66인 해사를 세척하여 염분을 완전히 제거한 후 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수가 20mm이며, 비중이 2.65인 강자갈을 사용하였다.

## 2.2 시험 방법

### 2.2.1 온도측정시험

30×30×30cm 스티로폴 용기로 단열장치를 만들어 콘크리트를 채운 다음 콘크리트 중심부에 온도 센서(thermocouples)를 묻고 경과시간에 따른 콘크리트의 온도를 측정하였다.

### 2.2.2 강도 시험

φ10×20cm 원주형 공시체를 제조하여 20±1℃의 수중에서 양생하여 재령별 압축강도를 KS F 2505에 의하여 측정하였다.

### 2.3 콘크리트의 배합

단위시멘트량 500kg/m<sup>3</sup>, 물-결합재비 32%로 정하였으며, 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬의 혼합률을 2단계 및 3단계로 각각 변화시켜 15배합을 정하였다. 이 때 잔골재율 42%, 공기량 4±0.5%, 슬럼프값은 18±1.5cm였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 광물질 혼화재를 사용한 고강도용 콘크리트의 온도변화

단위시멘트량이 커짐에 따라 시멘트의 수화열로 인한 콘크리트의 온도가 크게 상승하게 되어 응력이 생기며, 이때 콘크리트의 내부온도응력의 차가 커지면 균열이 발생되어 콘크리트의 내구성이 저하되는 경우가 종종 발생하게 되므로 이에 대한 대책을 강구해야 한다.

콘크리트의 재령 28일 압축강도가 500kg/cm<sup>2</sup>이 되도록 목표로 하여, K사의 고성능감수지연제를 사용하고 고로슬래그 미분말을 30 및 50% 두 단계로 변화시켜 제조한 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화를 측정하여 정리한 것이 그림 1이다.

이 그림에서 알수 있듯이 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 최대온도는 믹싱후 36시간에서 71℃으로 크게 나타났으며, 고로슬래그 미분말을 30 및 50% 혼합하므로써 경과시간 69시간 및 205시간에서 각각 66 및 56℃로 콘크리트의 온도상승을 줄이는 효과가 있었으며, 특히 고로슬래그 미분말 50% 혼합 콘크리트의 경우 최대온도에 도달하는 시간이 현저히 지연됨을 알 수 있다.

이번에는 W사의 고성능감수제와 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화를 측정하여 정리한 것이 그림 2로서, 플라이애쉬 혼합률이 증가함에 따라 콘크리트의 최대온도

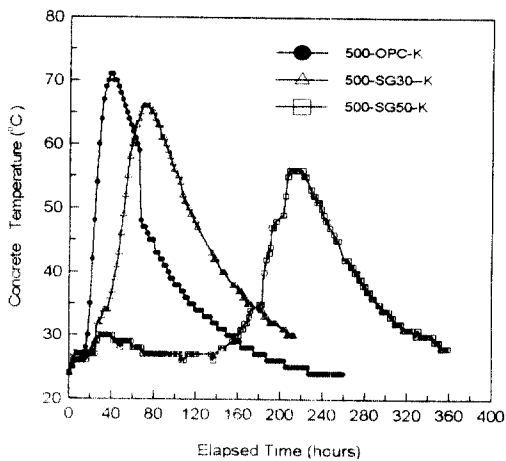


그림 1 고로슬래그 미분말 혼합 콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화

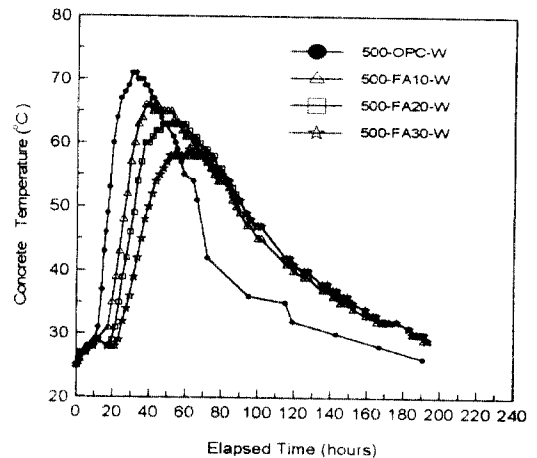


그림 2 플라이애쉬 혼합 고강도콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화

가 약간 감소되고 있으며, 플라이애쉬 30% 혼합 콘크리트의 경우 최대온도가 59℃로 약 12℃ 정도 감소하였다.

이번에는 고성능감수제 2종류와 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 최대온도와 최대온도 상승속도를 정리한 것이 그림 3 및 그림 4로서, 콘크리트의 최대온도는 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 경우, 고성능감수제 종류에 관계없이 동일하였으나, 고로슬래그 미분말 50% 혼합 콘크리트의 경우, 5℃ 및 15℃ 정도로 감소됨을 알 수 있다. 플라이애쉬 30% 혼합 콘크리트의 경우 고성능감수제를 사용하므로써 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 최대온도보다 12℃ 및 32℃로 감소되는 효과가 있었다. 또한 콘크리트의 최대온도 상승속도는 온도그래프에서 직선적으로 상승하는 부분으로서 콘크리트의 발열이 급격히 증가하는 시점에서 최대온도까지의 온도차를 시간의 관계로 나타낸 값으로 K사 고성능감수제를 사용한 경우에 최대온도 상승속도가 작게 나타나고 있으며, 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 경우, 콘크리트의 최대온도 상승속도는 2.28℃/h인데 반하여, 고로슬래그 미분말 50% 및 플라이애쉬 30%를 각각 혼합한 콘크리트는 0.54 및 0.45℃/h로 훨씬 작게 나타나고 있다.

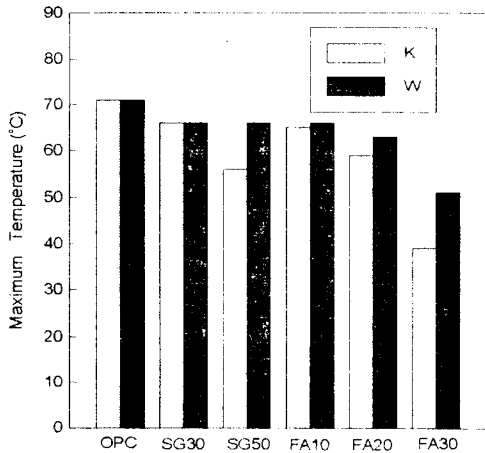


그림 3 고성능감수제 종류에 따른 고강도용 콘크리트의 최대온도

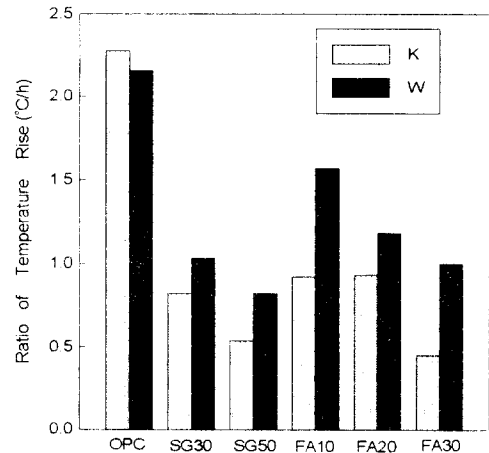


그림 4 고성능감수제 종류에 따른 고강도용 콘크리트의 최대온도 상승속도

다음은 이상의 온도변화를 측정된 실험결과를 정리한 것이 표 3으로 광물질 혼화재 및 화학혼화제의 종류에 따라 콘크리트의 최대온도는 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트와 비교하여 5~32℃로 감소

표 3 광물질 혼화재 혼합 콘크리트의 온도 특성

Items \ Type	K						W					
	OPC	SG30	SG50	FA10	FA20	FA30	OPC	SG30	SG50	FA10	FA20	FA30
Initial temperature(°C)	24	24	24	26	27	27	22	22	22	25	25	25
Maximum temperature(°C)	71	66	56	65	59	39	71	66	66	66	63	59
Time of max. temperature(h)	36	69	205	58	84	84	30	64	76	38	47	61
Ratio of temperature rise(°C/h)	2.28	0.82	0.54	0.92	0.93	0.45	2.16	1.03	0.82	1.57	1.18	1.00

되는 효과를 얻을 수 있었으며, 한편 콘크리트의 최대온도 상승속도는 약 1.4~4.2배 정도로 작게 나타났다.

### 3.2 3성분계 고강도용 콘크리트의 온도특성

고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼합한 콘크리트의 온도측정 실험결과를 토대로 하여 고강도용 콘크리트의 온도상승을 줄이는데 효과가 있는 2종류 광물질 혼화재를 조합비율을 달리하여 3성분계 콘크리트를 제조한 후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화특성을 나타낸 것이 그림 5이다.

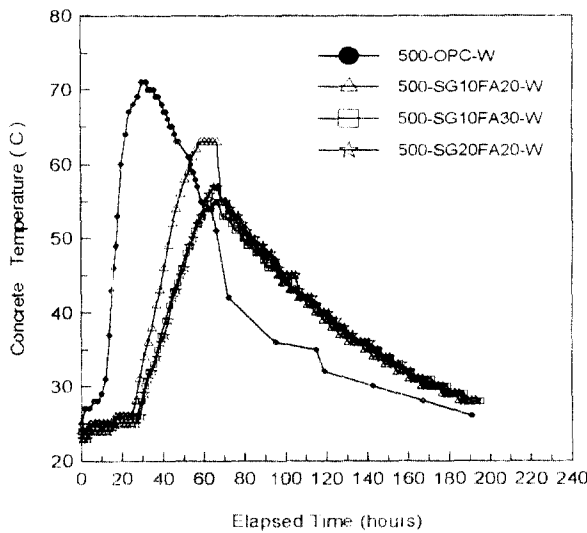


그림 5 3성분계 콘크리트의 리칭후 경과시간에 따른 온도변화특성

이 그림에서 알 수 있듯이 고로슬래그 미분말 20%와 플라이애쉬 20% 혼합 콘크리트의 최대온도는 경과시간 57시간에서 약 58°C로 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트보다 약 13°C 정도 감소되었으며, 고로슬래그 미분말 10%와 플라이애쉬 30% 혼합 3성분계 콘크리트의 최대온도는 경과시간 65시간에서 약 55°C로 약 16°C 감소되는 효과가 있었다.

그림 5의 3성분계 혼합 콘크리트의 온도를 측정하는 것이 표 4로서 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 비율이 각각 10%, 30% 및 20, 20%인 콘크리트는 최대온도 23%, 20% 감소되는 효과가 있었으며, 최대온도 상승속도는 각각 0.74, 0.79 °C/h로 약 67%, 64% 정도 작게 나타났다.

표 4 3성분계 콘크리트의 온도특성

Items	Type	OPC	SG10-FA20	SG10-FA30	SG20-FA20
	Initial temperature(°C)		25	24	24
Maximum temperature(°C)		71	63	55	57
Time of max. temperature(h)		30	55	65	65
Ratio of temperature rise(°C/h)		2.16	1.08	0.74	0.79

### 3.3 광물질 혼화재 혼합 고강도용 콘크리트의 강도

고로슬래그 미분말을 2단계, 플라이애쉬를 3단계로 혼합한 콘크리트의 재령 28일까지의 압축강도를 알아보기 위하여 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 재령 28일의 압축강도를 100으로 기준, 강도비를 환산한 것이 표 5이다.

이 표에서 광물질 혼화재를 혼합하므로써 재령 7일까지의 압축강도는 작게 나타나고 있으나, 고로슬래그 미분말 30% 혼합 콘크리트는 재령 28일 압축강도비가 108 및 103로 혼화재를 사용하지 않은

콘크리트보다 크게 나타나고 있다.

표 5 광물질 혼화재 혼합 콘크리트의 재령별 압축강도비

Type Age	K						W					
	OPC	SG30	SG50	FA10	FA20	FA30	OPC	SG30	SG50	FA10	FA20	FA30
3	61.5	25.4	1.3	59.3	50.0	2.0	54.12	42.5	7.6	49.9	45.8	22.0
7	89.8	55.1	38.7	74.1	70.8	50.0	80.7	57.7	47.6	74.8	63.6	48.3
14	92.7	86.9	80.8	85.6	82.3	71.7	94.6	93.5	69.5	76.9	70.6	64.5
28	100	108.2	93.6	88.9	86.1	80.3	100	103.4	79.8	80.4	75.1	71.5

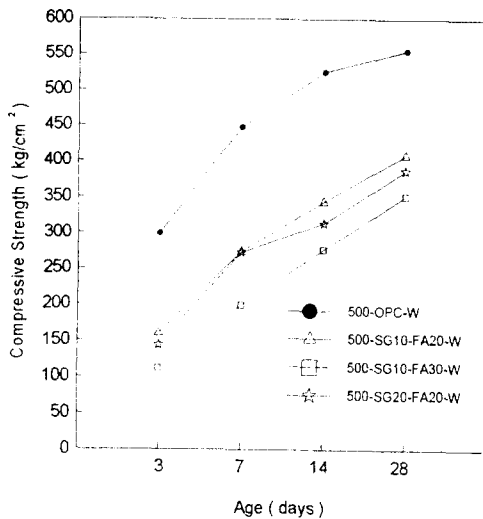


그림 6 3성분계 콘크리트의 압축강도

고강도용 콘크리트의 온도상승을 억제하기 위한 방안으로 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 적절히 조합하여 제조한 3성분계 콘크리트의 강도발현 정도를 알아보기 위하여 재령별 압축강도를 정리한 것이 그림 6이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 재령에 관계없이 3성분계 고강도용 콘크리트의 압축강도가 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트보다 매우 작은 값들을 나타내고 있으며, 고로슬래그 미분말 10%와 플라이애쉬 20% 혼합 콘크리트의 경우 재령 28일 압축강도비는 73.5%로 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 압축강도에 크게 못 미치는 작은 값을 알

수 있다.

다시 말해서 고로슬래그 미분말이나 플라이애쉬를 각각 혼합하므로써 콘크리트의 온도상승을 억제하는데 유효할뿐 아니라 혼합비율에 따라 강도발현에 크게 나쁜 영향을 미치지 않는 결과를 얻었다. 반면 광물질 혼화재 2종류를 조합한 3성분계 콘크리트의 경우 콘크리트의 온도상승을 억제하는데는 유효하였으나, 재령 28일에서의 강도발현이 지연되는 문제점이 있으므로 3성분계 콘크리트의 경우, 광물질 혼화재의 조합비율 선정시 신중한 검토가 요망된다.

#### 4. 결 론

- (1) 고로슬래그 미분말 2단계, 플라이애쉬 3단계로 변화시켜 제조한 고강도용 콘크리트의 온도 변화를 측정된 결과, 고로슬래그 미분말 50% 및 플라이애쉬 30%를 각각 혼합하므로써 콘크리트의 최대온도가 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트보다 각각 21%, 45% 정도 감소되는 효과를 얻을 수 있었다.
- (2) 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 혼합률을 적절히 조합하여 제조한 3성분계 콘크리트의 온도

변화를 측정된 결과, 조합비율을 각각 20%와 20% 및 10%와 30%로 제조한 콘크리트의 최대온도가 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트보다 약 14℃ 및 16℃ 정도 억제되는 효과를 얻을 수 있었다.

- (3) 고로슬래그 미분말 30% 혼합 콘크리트 경우 재령 28일 압축강도는 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트보다 약간 증가하였으나, 3성분계 콘크리트는 혼화재를 사용하지 않은 콘크리트의 재령 28일 압축강도에 크게 못미치는 작은 값을 나타내는 문제점이 있었다.