

광물질 혼화재 혼합 고강도콘크리트의 제성질 개선에 대한 연구

A Study on the Improvement of Properties of High Strength Concrete Using Mineral Admixtures

문한영* 문대중** 하상욱***
Moon, Han Young Moon, Dae Joong Ha, Sang Wook

Abstract

The mineral admixtures, ground granulated blast furnace slag (GBS) and fly ash (FA), were mixed with ordinary portland cement (OPC) in order to reduce temperature rise and slump loss in concrete.

In according to concrete replaced with 30% of GBS, the compressive strength of that developed to 574 kg/cm^2 at age of 28days and maximum temperature decreased to the extent of 5°C . When GBS and FA are mixed with concrete, it can be estimated that mix proportions of them have to be taken into consideration.

1. 서 론

최근 토목, 건축기술이 발전함에 따라 서해대교, 고속철도 및 신공항 고속도로 등의 신설 콘크리트 구조물이 대형화, 장대화 및 경량화 추세에 있어 이에 부응하기 위한 고강도 및 고내구성 콘크리트의 개발이 필수적인 과제로 대두되었다.

주지하는 바와 같이 고강도콘크리트는 1960년대 이후 일명 고유동화제라고 불리는 고성능감수제의 개발과 더불어 연구가 진행되었으며, 국내 현장에서도 적지않은 적용사례가 있을 정도로 현재 실용화 단계에 있다. 고강도콘크리트는 단위시멘트량이 많고 물-시멘트비가 작으므로 시멘트의 수화열에

* 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 정희원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

의한 온도상승으로 콘크리트의 온도균열이 발생하는 경우 콘크리트의 강도 및 내구성이 크게 저하되는 문제점이 있으며 유동성 손실로 콘크리트 시공이 어려움을 겪는 경우가 종종 발생하게 된다. 이를 해결하기 위한 방안으로 고로슬래그 미분말, 플라이애쉬, 실리카흙 등을 혼화재로 활용하는 방안, 고성능감수제의 첨가 또는 지연제와의 병용방법 및 시멘트 조성광물을 조정한 벨라이트계 시멘트 등을 사용하는 방안들에 대한 연구가 보고되고 있다. 본 연구에서는 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실을 줄이고 온도상승을 억제하기 위한 목적으로 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 적정량을 조합하여 사용한 고강도용 콘크리트의 온도특성, 슬럼프 손실 및 압축강도에 대하여 검토하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 광물질 혼화재

시멘트는 비중 3.15, 비표면적 $3.112\text{cm}^2/\text{g}$, CaO, SiO₂ 성분이 각각 60.12 및 21.95%인 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 광물질 혼화재는 비중 2.80, 비표면적 $4.580\text{cm}^2/\text{g}$, CaO, SiO₂ 성분이 각각 44.1 및 32.3%인 고로슬래그 미분말(이하 GBS라 약함)과 비중 2.15, 비표면적 $3.274\text{cm}^2/\text{g}$, CaO, SiO₂ 및 AlO₃ 성분이 각각 2.0, 68.0 및 25.0%인 플라이애쉬(이하 FA라 약함)를 사용하였다.

(2) 화학 혼화제

혼화제는 AE감수제(이하 A라 약함)와 고성능감수제 2종류(이하 K 및 M라 약함)를 사용하였으며, 그 화학성분 및 물리적성질은 표 1과 같다.

표 1 화학 혼화제의 화학성분 및 물리적 성질

Items Type	Component	Specific gravity	Characteristic	pH
A	Lignin sulfonate composites	1.245±0.005	Dark brown	-
K	Naphthalene sulfonate composites	1.185±0.005	Dark brown	8±1
M	Naphthalene sulfonate composites	1.185±0.01	Dark brown	9±1

(3) 골재

잔골재는 비중이 2.61인 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수가 20mm로서 비중이 2.65인 한강산 강자갈을 사용하였다.

2.2 실험 방법

(1) 콘크리트 제조 방법

용량 50 l의 강제식 믹서에 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬, 잔골재를 투입하여 30초 동안 건식 혼합한 후, 혼합수와 AE감수제를 섞어서 30초간 믹싱한 후, 굵은골재와 고성능감수제를 투입하여 1분 30초 동안 혼합하여 콘크리트를 제조하였다.

(2) 강도시험

φ10×20cm 원주형공시체를 제작하여 20±1℃에서 수중양생하고 각 재령별로 KS F 2405에 의거하여 압축강도를 측정하였다.

(3) 슬럼프 손실 시험

굳지않은 콘크리트를 제조한 후 수분 손실을 방지할 수 있는 용기에 옮겨 교반을 하지 않은 상태에서 믹싱 후 15분 간격으로 KS F 2042에 의해 슬럼프 값을 측정하여 경과시간에 슬럼프 손실을 구하였다.

(4) 콘크리트 온도 시험

30×30×30cm의 스티로폼 용기를 제작하고 내부에 콘크리트를 채운 후 비닐로 수분 손실을 방지하고 우레탄으로 미세한 이음부를 마감하여 열방출을 줄였으며, 온도센서를 시험체의 중앙부에 묻어 경과시간에 따른 콘크리트의 온도를 측정하였다.

2.3 콘크리트의 배합

고로슬래그 미분말, 플라이애쉬의 혼합률을 2단계 및 3단계로 변화시키고 고성능감수제 2종류를 사용하여 혼합한 12배합의 2성분계 콘크리트와 콘크리트의 슬럼프 손실, 온도상승을 저감하기 위하여 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 동시에 혼합하는 3배합의 3성분계 콘크리트를 제조하였다. 이 때 단위시멘트량 500kg/m³, 물-결합재비 32%, 잔골재율 42%, 공기량은 4±0.5%로 정하였다.

3. 실험결과

고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 혼합률을 변화시키고 고성능감수제 2종류를 사용하여 제조한

표 2 고강도용 콘크리트의 슬럼프, 최대온도, 최대온도 도달시간 및 압축강도 실험결과

Title Type	Slump value at elapsed time (cm)				Maximum temperature (℃)	Time to max. temperature (hour)	Compressive strength (kg/cm ²)		
	0 min	15 min	30 min	60 min			3days	7days	28days
OPC-K	20.0	9.0	5.5	2.5	71	36	278	406	452
GBS30-K	22.0	7.5	3.5	2.0	66	69	115	249	489
GBS50-K	23.0	16.0	13.0	7.0	56	205	6	175	423
FA10-K	20.0	5.5	5.0	2.5	65	58	268	335	402
FA20-K	21.0	6.0	3.0	2.0	59	84	226	320	389
FA30-K	20.5	6.0	5.0	3.0	39	84	9	226	363
OPC-M	20.5	9.0	5.5	3.0	71	30	300	448	555
GBS30-M	21.5	13.6	11.3	7.0	66	64	236	320	574
GBS50-M	23.0	16.0	12.0	7.8	66	76	42	264	443
FA10-M	23.0	14.0	9.0	5.0	66	38	277	415	446
FA20-M	23.0	17.5	11.0	6.5	63	47	254	353	417
FA30-M	24.0	18.0	12.5	8.0	59	61	122	268	397
GBS10-FA20-M	23.0	21.0	16.0	13.5	61	55	160	274	408
GBS10-FA30-M	23.8	18.0	14.5	10.0	55	65	112	199	352
GBS20-FA20-M	23.5	14.0	10.0	6.0	57	65	144	273	387

고강도용 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프, 최대온도, 최대온도 도달시간 및 압축강도를 측정하여 정리한 것이 표 2이다.

4. 실험결과에 대한 고찰

4.1 고강도용 콘크리트의 온도에 대한 고찰

단위시멘트량이 큰 고강도콘크리트 제조시, 시멘트 수화열이 콘크리트 구조물의 온도균열을 초래하여 콘크리트의 내구성을 크게 저하시키는 문제점이 있다.

따라서 고강도용 콘크리트의 온도상승을 억제하기 위한 연구의 일환으로 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 적정량 사용에 대하여 검토한 결과를 정리한 것이 표 2이다. 표 2의 15 배합으로 제조한 콘크리트의 경과시간에 따른 온도이력을 정리한 것이 그림 1이다. 먼저 표 2에서와 같이 보통콘크리트의 최대온도가 71℃, 최대온도 도달시간이 30시간 정도임에 비해 광물질 혼화재를 혼합한 10배합 콘크리트의 경우 혼화재의 혼합비율에 따라 최대온도가 39℃까지 떨어졌으며 최대온도 도달시간도 크게 지연됨을 알 수 있다.

한편 그림 1에서 M사 고성능감수제를 사용하여 제조한 2성분계 콘크리트 6배합의 최대온도 상승속도를 비교해 본 결과 혼화재를 혼합한 콘크리트의 경우 M사 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 최대

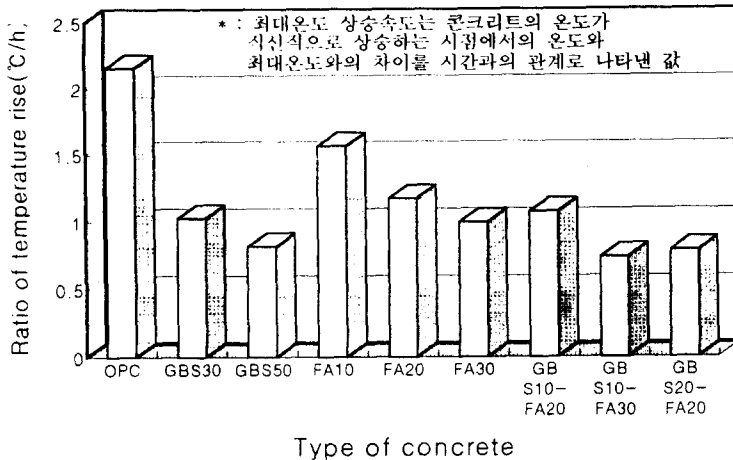


그림 1 고강도용 콘크리트의 최대온도 상승속도

온도 상승속도는 고로슬래그 미분말이나 플라이애쉬의 혼합률이 클수록 작게 나타났으며 보통콘크리트의 2.3℃/h보다는 월등히 작은 값을 알 수 있다. 또한 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 3성분계로 혼합한 콘크리트의 경우 혼합률에 따라 약간 상이하나 최대온도 상승속도가 2성분계와 유사한 온도상승 억제효과를 나타내었다.

4.2 굳지않은 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실에 대한 고찰

고로슬래그 미분말 2단계 및 플라이애쉬 3단계로 변화시키고 2종류의 고성능감수제를 사용하여 제조한 굳지않은 고강도용 콘크리트의 믹싱 후 경과시간에 따른 슬럼프 손실율을 나타낸 것이 표 2이며, M사 고성능감수제를 사용한 고강도용 콘크리트의 경과시간별 슬럼프 손실율을 정리한 것이 그림 2이다.

이 그림에서 경과시간 60분에서 고로슬래그 미분말 30% 및 50% 혼합 콘크리트의 슬럼프 손실율은 보통콘크리트와 비교해서 20% 정도 크게 저감되었으며, 플라이애쉬를 혼합하므로써 약 8~13% 정도의 슬럼프 손실이 저감되는 효과를 얻을 수 있었다.

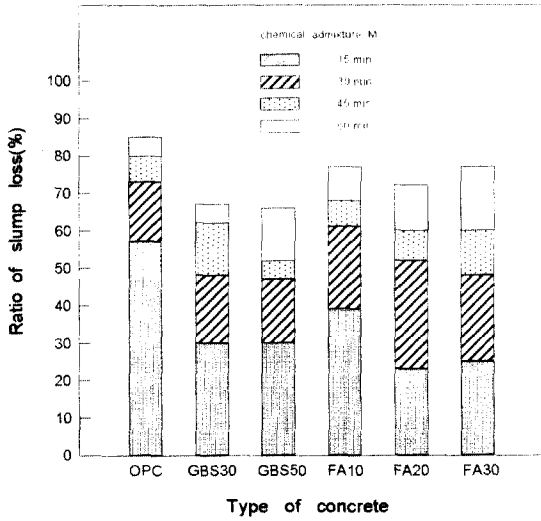


그림 2 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실율

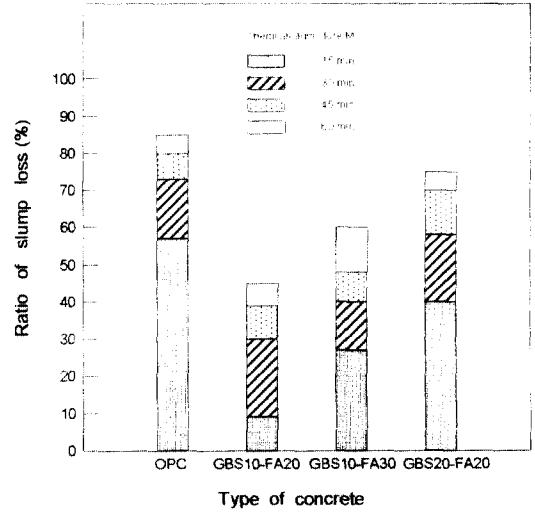


그림 3 3성분계 콘크리트의 슬럼프 손실율

그림 3은 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 적절히 혼합하고 M사 고성능감수제를 사용하여 제조한 3성분계 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 손실율을 나타낸 것으로서, 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬 혼합비율이 각각 10%, 20%인 콘크리트의 슬럼프 손실율은 경과시간 15분 및 60분에서 보통콘크리트에 비교하여 각각 49% 및 40% 정도 저감되는 좋은 효과를 얻었다.

4.3 고강도용 콘크리트의 압축강도에 대한 고찰

일반적으로 고강도콘크리트의 온도상승의 억제 및 굳지않은 콘크리트의 슬럼프 손실을 최소화 하기 위하여 광물질 혼화재의 종류와 혼합률을 달리하여 제조한 콘크리트의 압축강도를 재령별로 측정하여

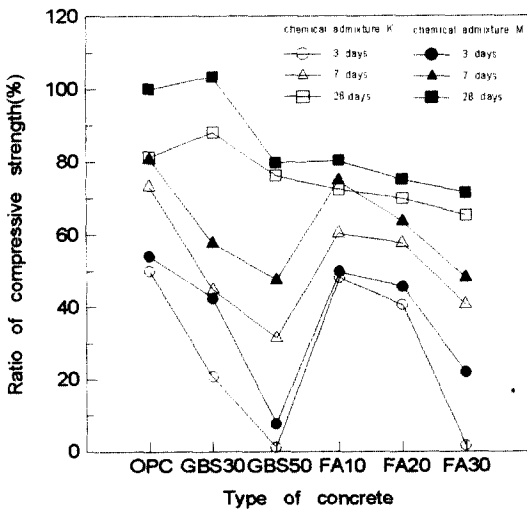


그림 4 고강도용 콘크리트의 압축강도비

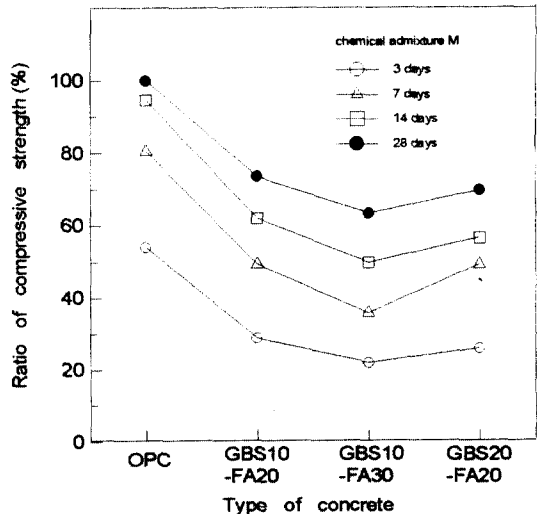


그림 5 3성분계 콘크리트의 압축강도비

정리한 것이 표 2이다.

표 2에서 알 수 있듯이 M사 고성능 감수제를 사용한 보통콘크리트의 재령 28일 압축강도가 555kg/cm^2 인데 비하여 고로슬래그 미분말 30% 혼합 콘크리트의 재령 28일 압축강도가 574kg/cm^2 으로 보통콘크리트보다 약 8% 정도 큰 반면 나머지 10배합 콘크리트의 압축강도가 500kg/cm^2 에도 못 미치는 작은 강도발현을 나타내었다. 다시말해서 재령 3일과 7일 에서는 광물질 혼합비율이 큰 콘크리트일수록 압축강도가 보통콘크리트보다 큰 비율로 작은 값을 나타내었다.

이번에는 표 2에서 혼화제를 사용하지 않은 고강도용 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 100으로 정하여 재령별 각 콘크리트의 압축강도비를 정리한 것이 그림 4 및 그림5 이다.

이들 그림에서 광물질 혼화제의 종류, 혼합률 및 조합비율에 따라 압축강도비가 크게 상이할 뿐만 아니라 고로슬래그 미분말 30% 혼합 콘크리트를 제외하고는 재령과 관계없이 강도가 저하되며 특히 3성분계 콘크리트의 경우 압축강도비의 저하가 크게 나타나는 문제점이있음을 알 수 있다. 즉 광물질 혼화제를 조합한 3성분계 콘크리트가 수화열을 억제하고 슬럼프 손실을 저감시켜주는 효과는 인정되지만 조기강도가 크게 떨어지는 문제점은 개선되지 못하므로 계속된 검토가 요망된다.

4. 결 론

- 1) 고강도용 콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화를 측정된 결과, 보통콘크리트의 최대온도가 71°C 로 크게 나타났으며, 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 동시에 혼합함으로써 콘크리트의 최대 온도를 상당량 억제할 수 있었으며, 최대온도 도달시간의 지연 및 최대온도 상승속도를 보통콘크리트에 비하여 월등히 작게 줄이는 효과가 있었다.
- 2) 굳지않은 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실율을 비교해 본 결과, 고로슬래그 미분말 혼합 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실율이 플라이애쉬 혼합 콘크리트보다 크게 줄이는 효과가 있었으며, 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 혼합비율을 각각 10% 및 20%로 혼합한 3성분계 고강도용 콘크리트에서 슬럼프 손실율을 크게 저감시키는 좋은 효과를 얻었다.
- 3) 고로슬래그 미분말 30% 혼합 콘크리트의 재령 28일에서의 압축강도는 574kg/cm^2 로서 보통콘크리트보다 크게 나타났으나, 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 각각 혼합한 2성분계 콘크리트나 3성분계 콘크리트 다 같이 조기강도는 물론 재령 28일 강도발현도 충분하지 못한 문제점이 있었다.