

고로슬래그 분말을 혼화재로 사용한 고강도콘크리트의 기초적 성질에 대한 연구

A Study on the Fundamental Properties of High-Strength Concrete Using Ground Granulated Blast-Furnace Slag as an Admixture

문한영* 최연왕** 문대중** 송용규***
Moon Han Young Choi Yun Wang Moon Dae Joong Song Yong Kue

Abstract

This paper presents fundamental experiment for the properties of high performance concrete in its fresh and hardened state made with ground granulated blast-furnace (GGBF) slag. The result is that the effect of decreasing concrete temperature is due to the mixing ratio of GGBF slag, but it presents disadvantage in the slump loss phase. In addition to, we know that the splitting tensile strength, compressive strength and elastic modulus of concrete mixed with high fineness GGBF slag are increased at age 28 days.

1. 서론

최근에 와서 콘크리트구조물에 요구되는 기능이 매우 다양화 되므로써 이에 상응하는 콘크리트의 품질과 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

특히 고유동, 고강도 및 고내구성 콘크리트와 같은 고성능콘크리트를 제조하기 위한 수단으로 실리카흙, 플라이애쉬 및 고로슬래그분말과 같은 혼화재와 고성능감수제를 병용한 연구성과가 발표되고 있다.

고로슬래그의 경우 일반적으로 분말도가 Blaine의 비표면적으로 3,500~4,000cm²/g,

평균입경 10 μ m 정도를 사용하였으나, 근년에 와서 ball mill 또는 jet mill과 같은 분쇄기의 성능이 대폭 개량되면서 고로슬래그 분말의 분말도를 10,000cm²/g, 평균입경 3 μ m 정도까지 분쇄할 수 있게 되었다.

일반적으로 고강도콘크리트의 경우 장기재령에 따른 강도증진이 작은점 및 수화열에 의한 온도상승이 큰 문제점을 해결하기 위한 연구의 일환으로 본 연구에서는 분말도가 비교적 큰 2종류의 고로슬래그 분말을 각각 4단계의 혼합률로 변화시켜 제조한 굳지않은 고강도용 콘크리트의 기초물성 및 경화한 콘크리트의 강도 등의 실험결과를 비교 고찰하였다.

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 한양대학교 토목공학과 박사과정

***한양대학교 토목공학과 석사과정

표 1. 시멘트 및 고로슬래그 분말의 화학적 성분 및 물리적 성질

시료명	화학적 성분(%)							비중	비표면적 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg. loss		
보통시멘트	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
슬래그분말A	34.52	15.42	0.40	42.28	6.30	0.14	0.81	2.81	4,580
슬래그분말B	31.67	12.53	0.66	42.86	6.38	3.08	1.95	2.85	6,000

표 2. 골재의 물리적 성질

항목	굵은골재의 최대치수(mm)	비중	흡수율 (%)	조립률 (F.M.)	유기 불순물 양호	단위용적중량 (kg/m ³)	실적률 (%)
종류							
잔 골재	-	2.60	1.83	2.66	-	1,584	61.0
굵은골재	19	2.62	1.21	6.83	-	1,586	61.0

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 고로슬래그 분말
시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(OPC로 약함)를 사용하였으며, 고로슬래그 분말은 Blaine의 비표면적이 4,580cm²/g(슬래그 분말A라함), 6,000cm²/g(슬래그 분말B라함)이며, 이에 대한 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

(2) 골재
잔골재는 한강산 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 부순자갈로써 최대치수는 19mm이며, 물리적 성질은 표 2와 같다.

(3) 고성능감수제
나프탈렌 술폰산 포르말린 고축합물이 주 성분이며, 상온에서 비중 1.2±0.01, pH 9±1인 고성능감수제를 사용하였다.

2.2 실험기구 및 실험방법

(1) 콘크리트의 믹싱방법
고로슬래그 분말을 혼합한 고강도용 콘크리트를 제조하기 위하여 콘크리트 믹서는 용량 50 l의 강제식 믹서를 사용하였으며, 콘크리트 믹싱방법은 그림 1과 같다.

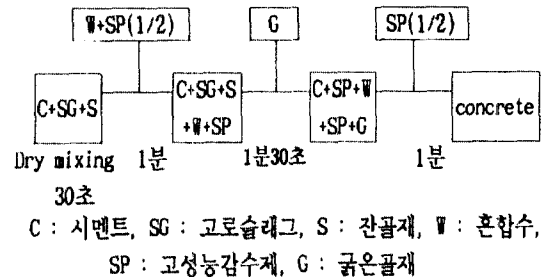


그림 1. 콘크리트의 믹싱방법

(2) 강도시험
φ10×20cm 원주형 공시체를 제조한 후 20℃±1에서 표준양생하여 재령 3, 7 및 28일의 압축강도를 KS F 2505에 의하여 측정

하였으며, 인장강도 및 탄성계수는 재령 28일된 공시체를 KS F 2423, KS F 2438 에 따라 측정하였다.

(3) 콘크리트 시험체의 온도시험

고로슬래그 분말을 혼합한 고강도콘크리트의 믹싱 후 경과시간에 따른 온도변화를 알아보기 위하여 25×25×25cm의 스티로폴 단열재를 사용하였으며, 콘크리트 중심부와 대각선 양방향으로 10cm 떨어진 두 지점에 K타입의 온도센서를 묻고, 2시간 간격으로 콘크리트의 내부온도를 측정하였다.

3. 실험결과에 대한 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 물성에 대한 고찰

(1) 고성능 감수제의 사용량

고로슬래그 분말을 혼합한 고강도용 콘크리트 제조시, 고성능감수제의 사용량을 알아보기 위하여 단위결합재량 700 kg/m³, 물-결합재비를 23%로 정하고, 슬래그 분말A, B를 각각 단위시멘트 중량의 0, 30, 50 및 70% 혼합하여 슬럼프 18±2cm의 콘크리트를 제조하는데 소요된 고성능감수제 사용량을 구한 것이 그림 2이다.

이 그림에서 슬래그 분말 A를 혼합한 경우 슬래그분말을 혼합하지 않는 콘크리트와 비교해서 고성능감수제의 사용량에 차이가 없었으나, 슬래그 분말 B를 혼합한 콘크리트의 경우에는 고성능감수제의 소요량이 크게 감소되었으며, 슬래그 혼합률 50%에서 가장 적음을 알 수 있다.

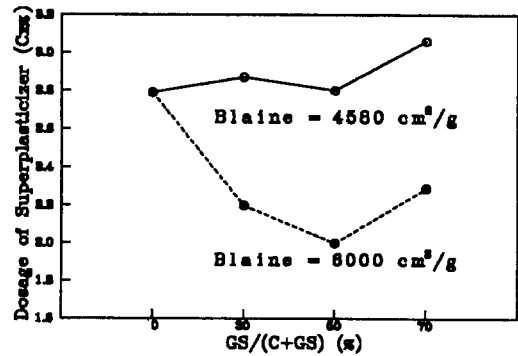


그림 2. 고로슬래그 분말의 혼합률에 따른 고성능감수제의 사용량

(2) 슬럼프 손실

고로슬래그 분말 혼합 콘크리트의 믹싱후 경과시간 120분까지 30분 간격으로 슬럼프 손실값을 정리한 것이 그림 3~4이다.

그림 5는 슬래그 분말 A, B를 혼합한 굳지않은 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실률로 정리한 것이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 경과시간 30분에서 보통콘크리트의 경우 약 55% 정도의 슬럼프 손실률을 나타내었으나, 혼합률 30

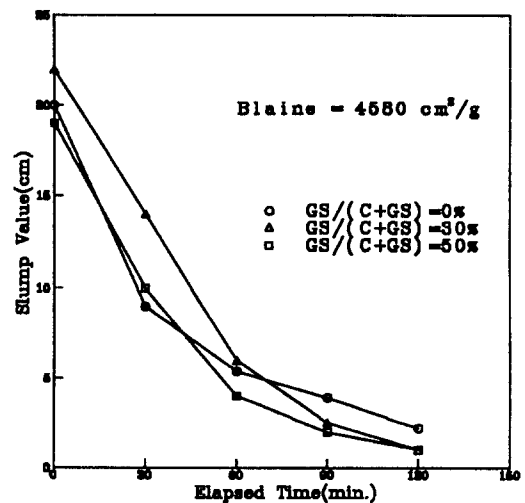


그림 3. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 값(Blaine 4,580cm²/g)

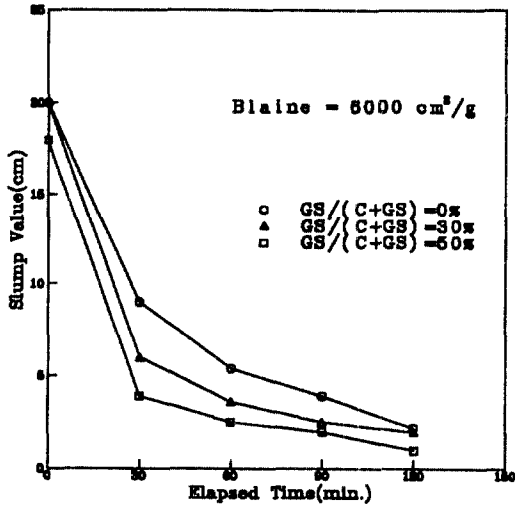


그림 4. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 값(Blaine 6,000cm²/g)

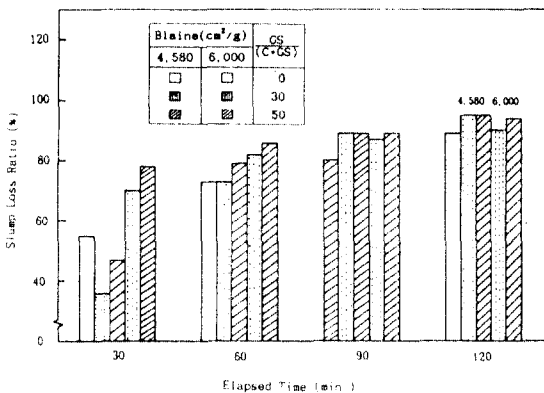


그림 5. 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실률

및 50%로 변화시키므로써, 슬래그 분말 A를 혼합한 콘크리트의 경우 각각 36%와 47%로 나타났다. 한편 슬래그 분말 B를 혼합한 콘크리트의 경우에는 70%와 78%로 오히려 슬럼프 손실률이 증가되는 경향을 나타내었다. 그러나 경과시간 60분 이후에서는 분말도에 관계없이 슬래그 분말의 혼합률이 증가함에 따라 보통콘크리트에 비하

여 슬럼프 손실률이 크게 나타났다.

(3) 콘크리트 온도

단면이 큰 매시브한 콘크리트구조물이나 단위시멘트량이 큰 고강도콘크리트에서 시멘트 수화열에 의한 콘크리트의 온도상승에 따른 균열이 발생하므로 이에 대한 대책이 요망된다.

따라서 콘크리트의 온도상승을 억제하기 위한 대책으로 고로슬래그 분말을 혼합한 콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화를 정리한 것이 그림 6 및 그림 7이다.

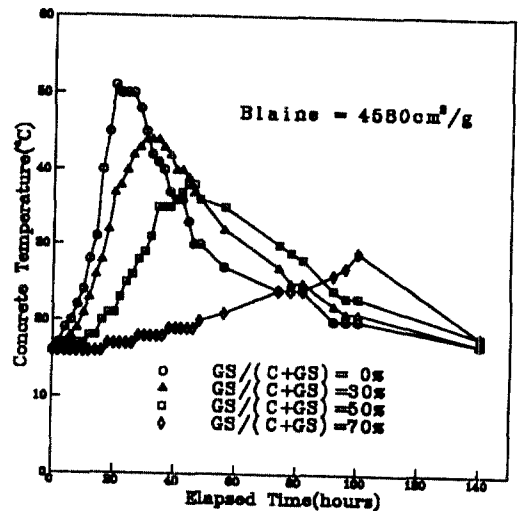


그림 6. 믹싱후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화(Blaine 4,580cm²/g)

그림 6은 슬래그 분말 A의 혼합률을 0, 30, 50 및 70%로 변화시켜 콘크리트의 온도변화를 측정하는 것으로 혼합률이 증가함에 따라 콘크리트의 최고온도에 도달하는 시간이 크게 지연되고 있으며, 혼합률 70%에서 콘크리트온도가 보통콘크리트에 비해 23 °C 정도 감소되는 효과가 있었다.

그림 7은 슬래그 분말 B를 혼합한 콘크리트에서 혼합률 4단계로 변화시켜 믹싱후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화를 측정하는 것으로써 혼합률이 증가함에 따라

최고온도는 작아졌으며, 슬래그 혼합물 70%에서 약 16°C 정도 콘크리트 온도가 감소되었다.

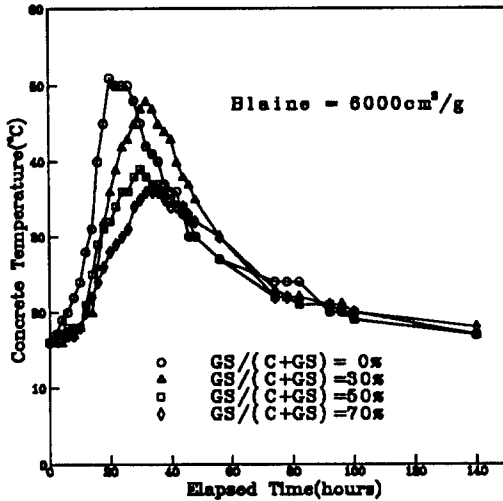


그림 7. 믹싱후 경과시간에 따른 콘크리트의 온도변화(Blaine 6,000cm²/g)

3.2 경화한 콘크리트의 강도에 대한 고찰

슬래그 분말 A를 혼합한 콘크리트의 혼합물에 따라 재령별 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 8이다.

이 그림에서 고로슬래그 분말 혼합한 콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 재령 7일까지의 압축강도는 매우 작게 나타나고 있으나, 재령 28일에서는 슬래그 분말 혼합물에 관계없이 압축강도가 크게 증가하였으며, 슬래그 분말 70% 혼합한 콘크리트의 경우 재령 3일에 비해 증가비율은 약 71%로 가장 크게 나타났다.

고로슬래그 분말 B를 혼합한 콘크리트의 재령별 압축강도를 측정하여 정리한 것이 그림 9이다.

이 그림에서 고로슬래그 분말을 혼합한 콘크리트의 재령 7일까지의 압축강도는 작았으나, 재령 28일 압축강도는 크게 증가되었으며 슬래그 분말 70% 혼합 콘크리트

의 경우, 재령 3일에 비해 약 61% 정도로 가장 큰 강도 증가 현상을 나타내었다.

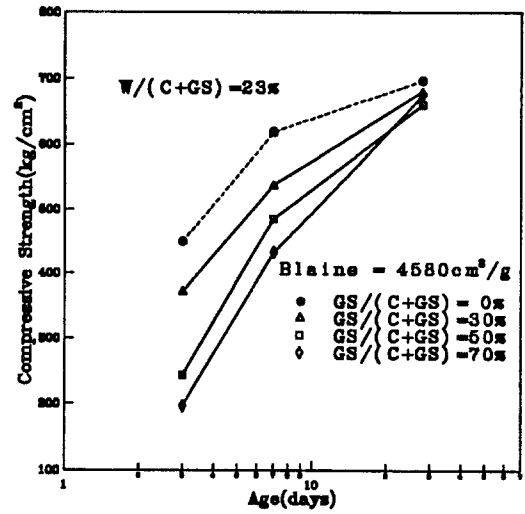


그림 8. 재령에 따른 콘크리트의 압축강도 (Blaine 4,580cm²/g)

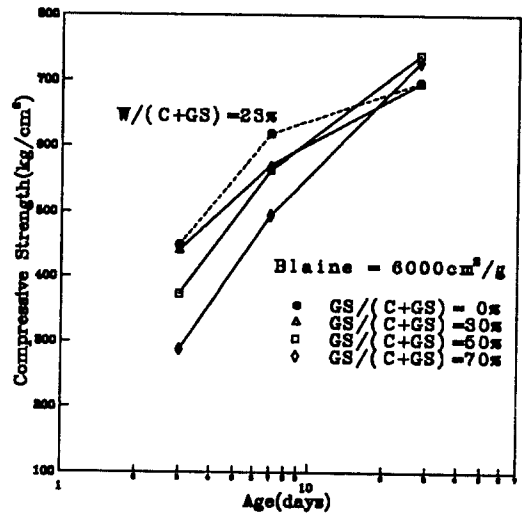


그림 9. 재령에 따른 콘크리트의 압축강도 (Blaine 6,000cm²/g)

이번에는 고로슬래그 분말의 분말도가 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 슬래그 분말 A 및 B와 슬래그 혼합물 4단계로 변화시킨 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이 그림 10이다.

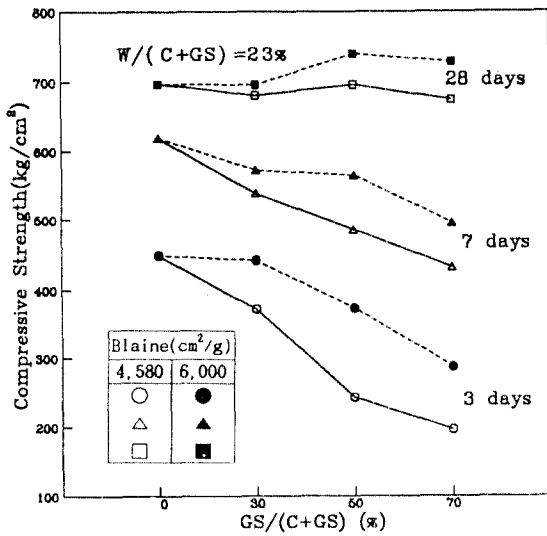


그림 10 혼합물에 따른 콘크리트의 압축강도

이 그림에서 재령 3일과 7일에서는 슬래그 분말을 혼합하는데 따라 압축강도가 크게 저하되었으나, 재령 28일에서 분말도 B를 50%와 70%로 각각 혼합한 콘크리트의 압축강도는 오히려 증가되고 있음을 알 수 있다. 이러한 경향은 고로슬래그 분말의 포졸란 반응에 기인되었다고 생각된다.

그래서 고로슬래그 분말을 혼합한 콘크리

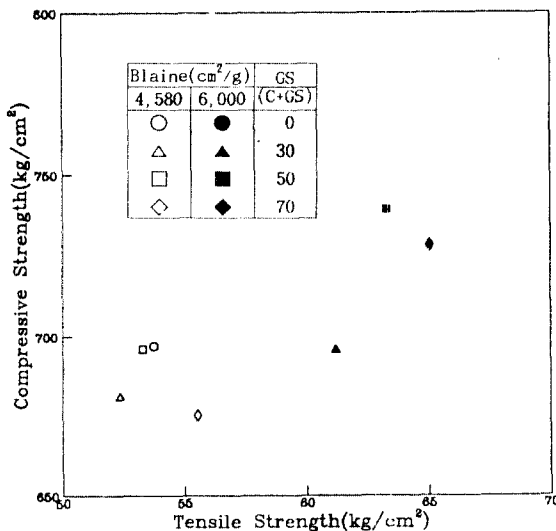


그림 11. 압축강도와 인장강도와의 관계(재령 28일)

트의 재령 28일의 압축강도와 인장강도의 관계로 정리한 것이 그림 11이다.

이 그림에서 슬래그 분말 B를 혼합한 콘크리트의 압축 및 인장강도 다 같이 슬래그 분말 A를 혼합한 콘크리트 보다 약 10% 전후로 크게 나타났으며, 분말도가 클수록 강도증진에 유익함을 알 수 있으며, 이러한 경향은 탄성계수에서도 유사하게 나타났다.

4. 결론

(1) 고로슬래그 분말을 혼합한 굳지 않은 고강도용 콘크리트의 믹싱 후 경과시간에 따른 슬럼프 손실을 비교해 본 결과 슬럼프 손실이 보통콘크리트보다 오히려 크게 나타나므로써 현장에서의 시공성에 대한 대책이 요망된다.

(2) 고로슬래그 분말을 혼합한 콘크리트에서 혼합률이 증가함에 따라 최고온도에 도달하는 시간이 크게 지연될 뿐만 아니라 최고온도값도 크게 감소되는 유익한 효과를 얻었다.

(3) 고로슬래그 분말을 혼합한 콘크리트는 분말도와 혼합률에 관계없이 초기 재령에서 보통콘크리트보다 압축강도 저하가 두드러지나, 재령 28일에서는 혼합률에 따라 강도율이 크게 증가하였으며, 분말도가 큰 고로슬래그 분말 콘크리트에서 압축강도, 인장강도 및 탄성계수가 증진됨을 알 수 있다.