온도조건에 따른 고로슬래그 미분말을 사용한 고강도 · 고유동콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on Properties of High Strength and High Flowing Concrete using Blast Furnace Slag according to the Temperature Condition

김 용 로* 장 종 호* 길 배 수**
Kim, Yong Ro Jang, Jong Ho Khil, Bae Su
백 철*** 남 재 현**** 김 무 한*****
Baik, Chul Nam, Jae Hyun Kim, Moo Han

ABSTRACT

This study is to investigate properties of high strength · high flowing concrete using blast-furnace slag in temperature conditions of 5, 10, 15 and 20℃.

The result of this study can be summarized as follows.

1) The use of blast-furnace slag leads to decrease of air content and increase of fluidity in the fresh concrete.

2) The early compressive strength of high strength · high flowing concrete containing blast-furnace slag is lower than the case with portland cement only.

3) The compressive strength development of incorporating in the concrete is poor at low temperature below about 15℃.

1. 서 론

콘크리트의 성질은 온도변화에 의해 크게 영향을 받게 되므로 계절에 따른 온도차가 큰 우리나라의 경우 기후 특색에 따라 콘크리트의 유동성상, 응결성상 및 강도발현성상이 변화하게 된다. 이에 따라 동절기의 경우 외기 온도의 저하에 의해 콘크리트의 응결지연이 발생하게 되어 초기재령에서 구조체 콘크리트의 강도발현에 영향을 미치게 되기 때문에 저온환경에 있어서의 콘크리트의 응결지연 방지대책과 강도발현성상에 대한 검토가 요구되어지고 있다.[1)]

특히, 혼화재로서 고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트는 유동성상 및 경화성상에 있어서 온도조건에 따른 영향을 크게 받는 것으로 보고되고 있어[2)], 이러한 고로슬래그 미분말을 고강도 · 고유동콘크리트의 혼화재료로 적용할 경우 콘크리트의 특성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과
** 정회원, R&F Tech. Co. Ltd. R&D Center 책임연구원
*** 정회원, 양산고압콘크리트(주) 대표이사
**** 정회원, 대전대학교 건축공학과, 교수 · 공박
***** 정회원, 충남대학교 건축공학과, 교수 · 공박

표 1. 실험계획 및 배합

양생 온도 (℃)	물결합재비 (%)	고로슬래그 미분말 대체율 (%)	고성능감수제 첨가율 (%)	잔골재율 (%)	단위수량 (kg/m³)	단위중량 (kg/m³) 시멘트	고로슬래그 미분말	잔골재	굵은골재	측정항목
5 10 15 20	30	0	1.3	50	175	583	0	806	835	· 공기량 (%) · 슬럼프-플로우 (cm) · 응결시험 · 압축강도 (kgf/cm²) (초결, 종결, 종결 후 8시간까지 2시간 간격, 3, 7, 28, 56일)
		45				320	263	800	829	

이에 본 연구에서는 고로슬래그 미분말을 사용한 고강도·고유동콘크리트에 있어서 온도조건에 따른 콘크리트의 특성을 비교·분석하고, 조기재령에서의 압축강도와 적산온도와의 관계를 검토하여 고로슬래그 미분말을 고강도·고유동콘크리트의 혼화재로서 적용할 경우 온도존건에 따른 현장적용성 검토를 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

본 연구에서의 실험계획 및 배합은 표 1에서 보는 바와 같이 온도조건에 따른 고강도·고유동콘크리트의 특성을 비교·검토하기 위하여 콘크리트의 온도조건을 5, 10, 15, 20℃의 4수준으로 설정하였다. 또한, 본 연구의 콘크리트 배합은 예비실험을 통하여 물결합재비를 30%, 단위수량을 175kg/m³, 고로슬래그 미분말 대체율을 0, 45%로 설정하였으며, 고성능감수제의 첨가율은 1.3%로 동일 첨가하였다.

또한, 본 연구의 실험방법은 그림 1에서 보는 바와 같이 콘크리트 비빔 후 각각의 온도환경하에서 콘크리트의 특성을 평가하였다.

굳지않은 콘크리트의 경우 공기량을 비빔직후 및 경시 60분에서 측정하였으며, 경과시간에 따른 유동특성을 검토하기 위해 비빔직후, 경과시간 30, 60분에서 슬럼프-플로우 시험을 실시하였다. 또한, 온도조건에 따른 고강도·고유동콘크리트의 응결특성을 검토하기 위하여 KS F 2436에 준하여 응결시험을 실시하였다.

경화콘크리트의 경우 온도조건에 따른 조기강도 발현특성을 검토하기 위하여 초결, 종결 및

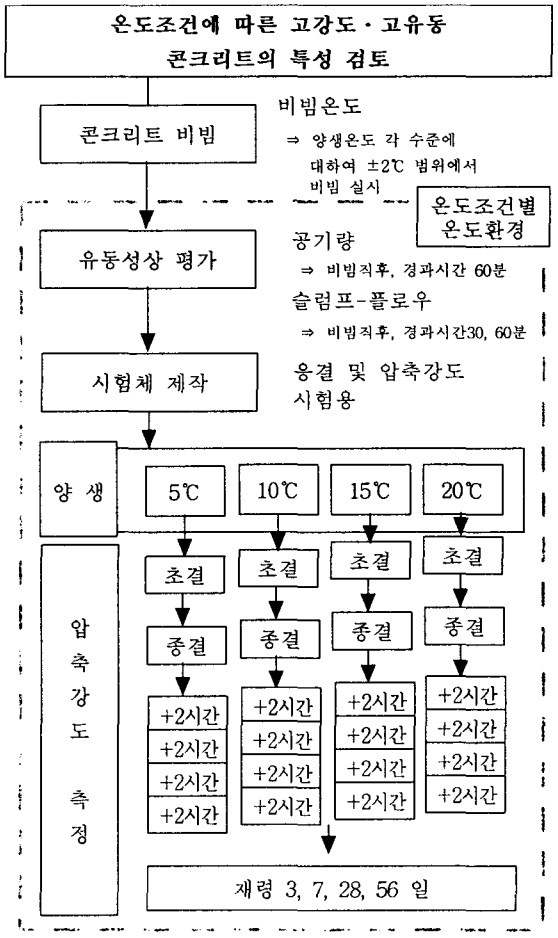

그림 1. 본 연구의 실험방법

종결 후 8시간까지 2시간 간격으로 압축강도를 측정하였으며, 이후 재령 3, 7, 28, 56일에서 압축강도를 측정하였다.

2.2 사용재료 및 비빔방법

본 연구에서 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2에 나타낸 바와 같이 시멘트는 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 혼화재는 비중 2.99, 분말도 4,379cm^2/g의 고로슬래그 미분말, 혼화제는 나프탈렌계 고성능AE감수제를 사용하였다.

또한, 골재로서 잔골재는 조립율 2.85의 인천산 제염사, 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순자갈을 사용하였다.

콘크리트 비빔은 용량 100ℓ의 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 시멘트, 고로슬래그 미분말, 잔골재를 투입하여 30초간 건비빔 한 후, 물과 고성능감수제를 투입하여 각각 60초씩 비빔을 실시하고, 굵은골재를 투입하여 60초간 비빔을 행하는 분할투입방식으로서 재료혼합의 균질성을 확보하고자 하였다.

표 2. 사용재료의 물리적성질

시 멘 트	보통포틀랜드시멘트 비중 : 3.15, 분말도 : 3,680cm^2/g
혼 화 재	고로슬래그 미분말 비중 : 2.99, 분말도 : 4,379cm^2/g
혼 화 제	나프탈렌계 고성능AE감수제
잔 골 재	제염사, 입경 : 5mm 비중 : 2.57, 조립율 : 2.85
굵은골재	부순자갈, 입경 : 20mm 비중 : 2.65, 조립율 : 6.02

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지않은 콘크리트의 성상 검토

그림 2는 온도조건에 따른 공기량의 변화를 나타낸 것으로 고로슬래그 미분말 대체율에 관계없이 온도가 높아질수록 공기량은 감소하는 것으로 나타났으며, 경과시간 60분에서의 공기량은 비빔직후와 비교하여 모든 수준에 있어서 약 2%정도 감소하였다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 대체율 0%와 비교하여 각 온도조건에 따른 공기량은 낮은 수준으로 나타나고 있어, 고로슬래그 미분말의 대체에 의해 공기량이 낮아진다는 기존의 보고와 일치하고 있다.[2)]

그림 3은 온도조건별 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화를 나타낸 것으로서 비빔직후의 슬럼프-플로우는 고로슬래그 미분말 대체율 45%가 대체율 0%에 비교하여 높게 나타나고 있어 고로슬래그 미분말의 대체에 의해 유동성 확

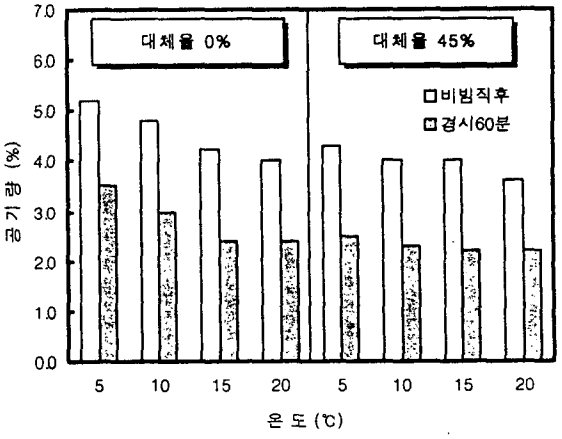

그림 2. 온도조건에 따른 공기량의 변화

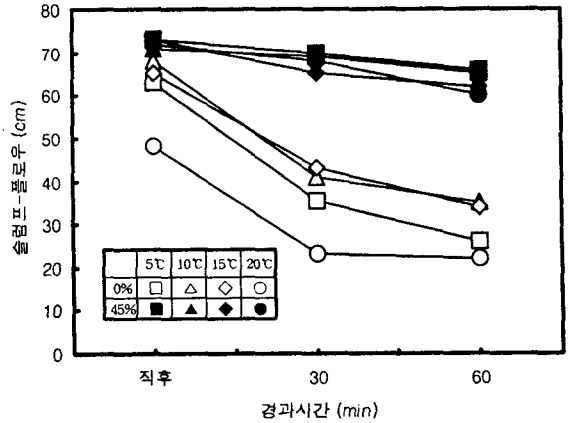

그림 3. 온도조건별 경과시간에 따른 슬럼프-플로우의 변화

보가 유리할 것으로 사료된다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 온도조건에 관계없이 경과시간에 따른 유동성 유지성능이 양호한 것으로 나타났다.

그러나, 고로슬래그 미분말 대체율 0%의 경우 경과시간에 따라 슬럼프-플로우가 급격히 저하하고 있으며, 특히 20℃의 경우 5, 10, 15℃에 비하여 비빔 직후의 유동성 및 경과시간에 따른 유동성 유지성능이 현저히 저하하는 것으로 나타났다.

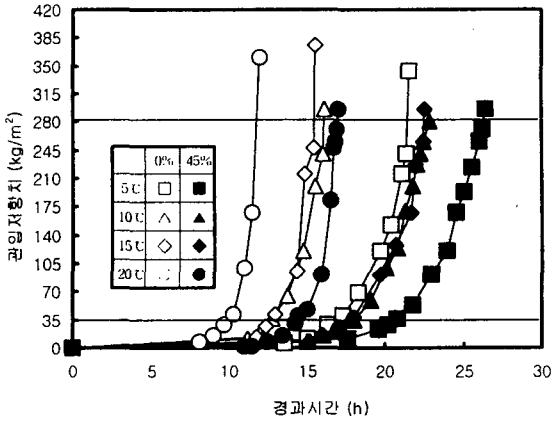

그림 4. 온도조건에 따른 관입저항치의 변화

3.2 응결성상 검토

그림 4는 온도조건에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로서 온도가 낮아질수록 초결 및 종결 도달시간은 지연되는 것으로 나타났다.

고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 대체율 0%와 비교하여 초결 및 종결 도달시간은 약 4~7시간 정도 지연되는 것으로 나타났다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 0%의 경우 10℃ 이하의 온도로 되면 응결시간이 현저히 지연되는 것으로 나타나고 있지만, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 20℃ 이하에서 급격히 지연되는 것으로 나타나 고로슬래그 미분말의 대체에 의해 온도의 영향을 크게 받는다는 기존의 연구보고[2]와 일치하는 것으로 나타났다.

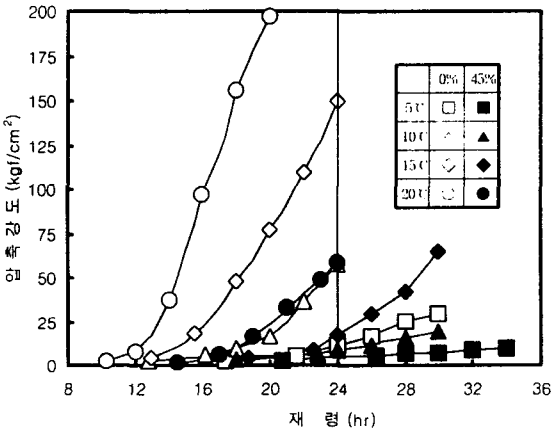

그림 5. 온도조건에 따른 조기 압축강도의 변화

한편, 종결 도달시간은 5℃의 경우 초결 도달시간부터 약 5시간 정도 소요되나, 20℃의 경우 약 2시간 정도 소요되는 것으로 나타나고 있어 온도가 높을수록 종결시간에 빠르게 도달하는 것으로 나타났다.

3.3 압축강도 발현성상 검토

그림 5는 온도조건에 따른 조기 압축강도의 변화를 나타낸 것으로서 온도가 낮아질수록 압축강도발현이 지연되는 것으로 나타났으며, 온도조건에 관계없이 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 대체율 0%와 비교하여 압축강도발현이 지연되는 경향을 보이고 있다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 0%의 경우 10℃ 이상의 온도에서는 재령 24시간에 있어서 압축강도 50kgf/cm^2 이상을 발현하고 있으나, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 20℃ 이하의 온도에서는 재령 24시간에 있어서 압축강도 50kgf/cm^{2}을 확보하지 못하고 있어 온도조건에 의해 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

따라서, 고로슬래그 미분말을 고강도·고유동 콘크리트의 혼화재로서 적용할 경우 콘크리트 표준시방서[4]에서 제안하고 있는 거푸집 탈형시기의 압축강도인 50kgf/cm^2 이상을 확보하기 위해서는 본 연구

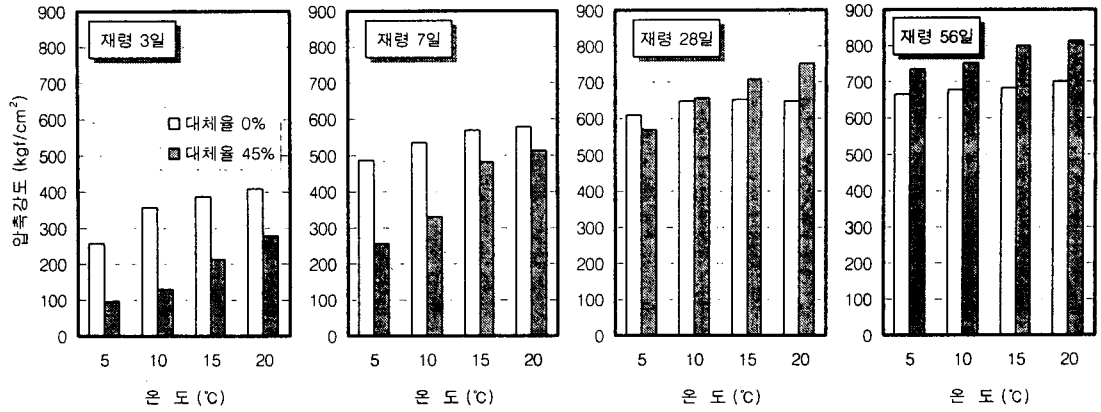

그림 6. 온도조건에 따른 압축강도의 변화

의 범위에서는 양생온도를 20℃ 이상으로 확보해야 하는 것으로 나타났다.

그림 6은 온도조건에 따른 압축강도 발현성상을 나타낸 것으로서 재령 7일까지의 초기 재령에 있어서는 온도가 높아질수록 압축강도는 높은 수준을 발현하는 것으로 나타났다.

그러나, 고로슬래그 미분말 대체율 0%의 경우 재령 28일 이후에 있어서는 온도차이에 관계없이 유사한 수준의 압축강도를 발현하고 있으며, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 재령 56일에 있어서는 온도조건에 따른 압축강도의 차이가 감소하는 것으로 나타났다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 초기 재령인 재령 7일까지는 대체율 0%에 비교하여 낮은 수준의 압축강도를 발현하고 있으나, 재령 56일에 있어서는 대체율 0%의 수준을 상회하는 것으로 나타났다.

그림 7은 재령 28일 압축강도를 기준으로 재령별 각각의 온도조건에 따른 압축강도 발현율의 변화를 나타낸 것으로서 초기 재령인 재령 7일까지는 온도가 높아질수록 압축강도 발현율도 높게 나타나고 있지만, 재령 56일에 있어서는 온도가 낮을수록 압축강도 발현율이 높게 되고 있으며, 이러한 경향은 고로슬래그 미분말의 대체에 의해 더욱 현저한 것으로 나타났다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우

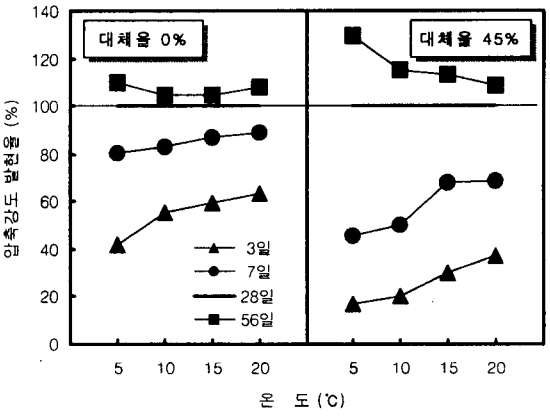

그림 7. 온도조건에 따른 압축강도 발현율의 변화

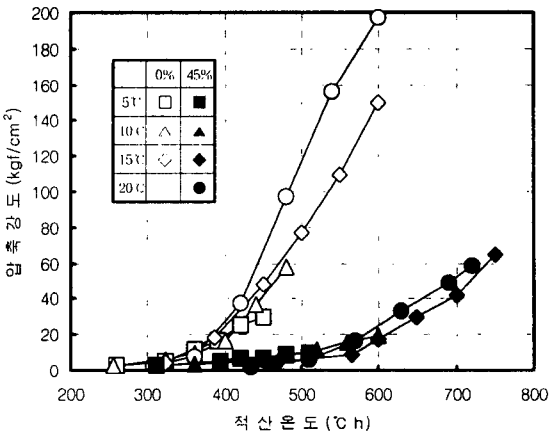

그림 8. 적산온도와 조기 압축강도의 관계

대체율 0%와 비교하여 재령 56일에 있어서는 대체율 0%의 압축강도 증진율을 상회하는 것으로 나타나고 있으나, 재령 7일까지의 초기재령에서는 낮은 수준의 압축강도 발현율을 보이고 있어 고로슬래그 미분말의 사용시 초기재령에서의 강도확보를 위한 온도관리가 필요할 것으로 사료된다.

3.4 적산온도와 압축강도 관계 검토

그림 8은 적산온도와 종결 후 8시간까지의 조기 압축강도와의 관계를 나타낸 것으로서 고로슬래그 미분말 대체율 0%의 경우 대체율 45%에 비교하여 적산온도에 따라 압축강도가 크게 증진되는 것으로 나타났다.

또한, 고로슬래그 미분말 대체율 0%에 있어서는 20℃의 경우 적산온도 500℃·h를 전후하여 5, 10, 15℃에 비교하여 높은 강도발현성상을 나타내고 있다. 그러나, 고로슬래그 미분말 대체율 45%에 있어서는 온도조건에 관계없이 적산온도에 따라 유사한 강도발현성상을 보이고 있어, 기존의 연구[5]와 유사한 경향을 보이고 있다.

4. 결 론

온도조건에 따른 고로슬래그 미분말을 사용한 고유동콘크리트의 특성을 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 온도조건에 따른 공기량은 온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보이고 있으며, 슬럼프-플로우의 평가결과 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 대체율 0%에 비교하여 비빔직후의 유동성 확보가 유리하고, 온도조건에 관계없이 유동성 유지성능이 양호한 것으로 나타났다.
2) 응결시간은 온도가 높아질수록 초결 및 종결 도달시간이 빠르게 나타나고 있으며, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 20℃ 이하에서 응결시간이 급격하게 지연되고 있다. 조기 압축강도에 있어서는 고로슬래그 미분말 대체율 0%의 경우 10℃ 이상의 온도에서는 재령 24시간에 있어서 압축강도 50kgf/cm^2 이상을 발현하고 있으나, 고로슬래그 미분말 대체율 45%의 경우 20℃ 이하의 온도에서는 재령 24시간에 있어서 압축강도 50kgf/cm^{2}을 확보하지 못하고 있어 고로슬래그 미분말을 사용한 고강도·고유동콘크리트의 현장적용시 철저한 온도관리가 필요할 것으로 사료된다.
3) 온도조건에 따른 압축강도는 장기재령인 재령 56일에서는 온도조건에 따른 압축강도의 차이가 감소하고 있으나, 초기 재령에 있어서는 저온환경의 경우 강도발현성상이 저하하고 있어 고로슬래그 미분말의 적용시 초기 재령에서의 온도관리에 유의해야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김무한 외, 슬립폼 적용을 위한 고강도콘크리트의 조기강도 발현성상에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회가을학술발표논문집, 제12권 2호, 2000. 11, pp.355~358
2. 日本建築学会, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状, 1996
3. 中川好正 外, ポルトランドセメントを使用したコンクリートの初期強度予測, 日本コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No 1, 1996, pp.507~512
4. 한국콘크리트학회, 콘크리트표준시방서, 1999, pp.95~106
5. 한천구 외, 양생온도변화에 따른 고로슬래그 시멘트를 사용한 콘크리트의 강도증진 성상, 한국콘크리트학회가을학술발표논문집, 제11권 2호, 2000. 11, pp.163~166