

고로슬래그 미분말 콘크리트의 현장적용을 통한 시공성 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Workability from the Application in Construction site with Blast-Furnace Slag Concrete.

백 빈* 이 규 동** 이 성 진***
Baek, Bin Lee, Kyu Dong Lee, Sung Jin

ABSTRACT

This study was performed to verify the effect of workability in construction site using by high strength concrete with granulated blast furnace slag. For the satisfaction of the target strength, the optimized mixing ratio was drawn from the replacement ratio of granulated blast furnace slag and fly-ash. Results from the experiment and the application showed the outstanding quality of concrete and the effects of cost-down.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

일반적으로 초고층 건축물에서 기둥 부재와 코어 월의 경우 건축물 자체의 큰 자중 및 작용 외력에 대하여 충분한 강도를 지녀야 하므로 주로 고강도 콘크리트로 시공되고 있다. 대구 범어동 사거리에 위치한 코오롱건설 하늘채 秀는 지하 5층 ~ 지상 32층으로 2002년 12월부터 2005년 7월에 완료되는 초고층 주상 복합 건축물이다. 이러한 초고층 건축물은 높이가 증가함에 따라 큰 하중에 대한 구조적인 안정성과 시공시 장비 하중을 충분히 견딜수 있도록 높은 조기 강도를 확보해야 하므로 고강도 콘크리트의 사용이 필수적이다. 따라서 당사에서는 이러한 조건을 고려하여 기초부와 코어 월의 구조적 내력 향상을 도모하고 작업 공정에 따른 조기 강도 발현 및 시공 안전성 확보, 또한 이에 따른 시공성 및 경제성을 향상시키는 것을 목표로 하여 고로슬래그 미분말을 포함한 고강도 콘크리트를 제조 및 현장 적용하였다.

본 연구에서는 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 치환율을 조절하여 재령 28일 설계기준강도 60 MPa 이상의 고강도 콘크리트를 제조 및 현장 적용하고, 이에 따른 시공성을 평가하였다. 또한, 콘크리트 경화 시 발생하는 수화열로 인한 온도 상승에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 개요

-
- * 정회원, 코오롱건설 기술연구소, 대리
 - ** 정회원, 코오롱건설 기술연구소, 대리
 - *** 정회원, 코오롱건설 기술연구소, 차장

2. 1 사용 재료 및 배합 시험

본 연구에 사용한 재료의 주요물성을 표 1에 나타내었다. 목표 설계기준강도를 얻기 위해 다양한 요인과 기준을 설정하여 수차례 실내배합시험을 통하여 최적배합비를 산정하였다. 시멘트는 국내 H사 보통 포틀랜드 시멘트(1종)를 사용하였고, 사용 골재로는 굵은 골재 19mm, 25mm 채석과 잔골재 혼합사(강사+부순사)를 사용하였다. 물-시멘트비는 30% 내외를 기준으로 하여, 시멘트(C), 플라이애쉬(FA), 고로슬래그(BS) 각각의 치환율을 조절하여 배합시험을 실시하였다. 또한, 적정 유동성 확보를 위해 고성능감수제(AD)의 양을 조절하여 슬럼프 플로우 50±5cm에 맞추었다. 추가적으로 고로슬래그 대신 실리카흄을 혼합했을 때의 콘크리트 강도차이를 비교 확인하기위해 실리카흄을 일정량 배합하여 강도시험을 실시하였다.

표 1 사용재료의 주요 물성

| 사용재료 | 주요 물성 | 사용재료 | 주요 물성 |
|-------|--|---------|---|
| 시멘트 | H사 보통포틀랜드시멘트, 비중 3.15 강열감량 1.67%, 최대치수 20mm, 비중 2.62 | 고로슬래그 | 비중 2.94, 분말도 7596 cm ² /g 강열감량 0.86%, SiO ₂ 26.36% |
| 굵은 골재 | 흡수율 1.24%, 조립율 6.59 | 플라이애쉬 | 비중 2.27, 분말도 3807 cm ² /g 강열감량 4.5%, SiO ₂ 57% |
| 잔골재 | 혼합사(강사:부순사=7:3), 비중 2.59 흡수율 1.33%, 조립율 2.65 | 고성능 감수제 | E사 폴리카본산계, 비중 1.09 PH 4.5, 감수율 22% |

표 2 콘크리트 실내 배합과 압축 강도

| 굵은 골재 (mm) | W/C (%) | S/a (%) | 단위중량 (kg/m ³) | | | | | | | | AD (%) | 슬럼프 (cm) | 압축강도 (MPa) | | Note |
|------------|---------|---------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|----------|------------|-----|-------|
| | | | C | BS | FA | SF | W | S1 | S2 | G | | | 7일 | 19일 | |
| | | | (%) | (%) | (%) | (%) | | (%) | (%) | | | | | | |
| 25 | 27 | 35.5 | 466 | 133 | 67 | 0 | 180 | 288 | 238 | 961 | 1.9 | 54 | 54 | 72 | 물성 양호 |
| | | | 70 | 20 | 10 | 0 | | 55 | 45 | | | | | | |
| | 29 | 36.5 | 372 | 124 | 124 | 0 | 180 | 299 | 248 | 958 | 1.6 | 46 | 47 | 63 | 점성 약간 |
| | | | 60 | 20 | 20 | 0 | | 55 | 45 | | | | | | |
| | 31 | 38.5 | 407 | 116 | 58 | 0 | 180 | 327 | 271 | 962 | 1.5 | 48 | 51 | 60 | 물성 양호 |
| | | | 70 | 20 | 10 | 0 | | 55 | 45 | | | | | | |
| 19 | 27 | 33.5 | 533 | 67 | 67 | 0 | 180 | 346 | 150 | 994 | 1.9 | 54 | 55 | 72 | |
| | | | 80 | 10 | 10 | 0 | | 70 | 30 | | | | | | |
| | 27 | 33.5 | 466 | 133 | 67 | 0 | 180 | 345 | 150 | 991 | 2.1 | 42 | 60 | 76 | 최적배합 |
| | | | 70 | 20 | 10 | 0 | | 70 | 30 | | | | | | |
| | 27 | 33.5 | 533 | 0 | 67 | 67 | 180 | 343 | 149 | 984 | 2.6 | 50 | 46 | 61 | SF 사용 |
| | | | 80 | 0 | 10 | 10 | | 70 | 30 | | | | | | |

2.2 시험 방법

콘크리트 압축강도는 Ø100×200mm 원주 공시체를 제작하여 1일 후 탈형하고 온도 20±3℃의 수 중에서 표준 양생을 실시한 다음 재령 7일, 19일에 대하여 KS F 2405에 준하여 실시하였다. 고강도 콘크리트의 압축강도는 장기 강도 측면을 고려해야 하므로 재령 28일 이후 강도는 현장 배합을 통한 콘크리트 압축 강도 시험 결과로 나타내기로 하였다.

2.3 온도 계측

고강도 콘크리트의 경우, 낮은 물-시멘트비와 많은 단위 시멘트량의 사용으로 인하여 콘크리트 경화 시 수화열로 인한 온도 상승 및 균열 발생이 우려되므로 현장 온도 계측을 실시하였다. 특히, 분말도가 큰 고로슬래그 미분말을 콘크리트 조기 강도 발현을 위해 치환율을 다소 낮게 할 경우, 단열온도상승량이 크게 되어 발열량이 증가할 우려가 있다. 이에 따라 그림 1, 2와 같이 콘크리트 타설 전 기둥 900×1600×3000mm에 온도 센서를 각 위치에 부착하고 온도계측기에 연결하였다. 실제 현장 계측 작업에서 총 10개의 센서 중 일부 센서 결함이 발생하여 최종적으로 7개 센서에서 측정된 값으로 검토하였다.

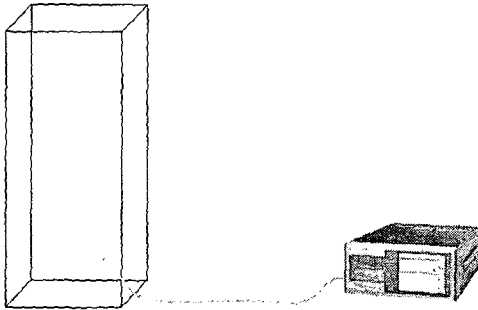


그림 1 온도 계측기 설치

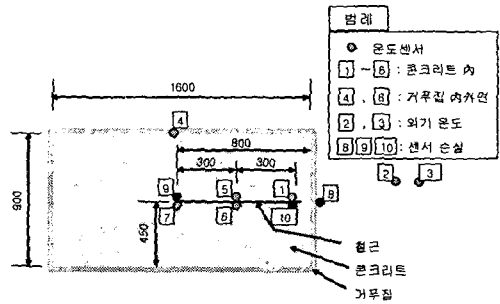


그림 2 온도 센서 부착 위치

3. 시험결과 및 고찰

3.1 압축강도

그림 1은 실내 배합시험에서 구한 압축강도 결과이다. 재령 1일, 7일 19일에 대한 압축강도 시험 결과, 재령 19일에서 굵은 골재 25mm, 19mm 사용시 목표 설계기준강도를 모두 상회하고, 굵은 골재 19mm 사용하는 경우가 25mm보다 다소 높은 압축 강도를 나타내어 19mm를 사용하였으며, 잔골재의 경우, 혼합사(장사+부순사)를 사용시 미분말량의 증가에 따라 점성도가 다소 높아지므로 장사와 부순사의 배합비율과 입도 조정을 반복하여 최적배합비율을 도출하였다. 그러나, 현장 배합 시 골재 수급과 현장 여건을 고려하여 굵은 골재 치수에 대해서만 20mm로 변경하였다.

현장 적용 후 재령 28일, 56일, 91일에 대한 압축강도 시험 결과, 각각 평균 85.0, 88.3, 90.3 MPa로서 호칭강도를 훨씬 상회하는 우수한 강도 특성을 나타내었다. (그림 2)

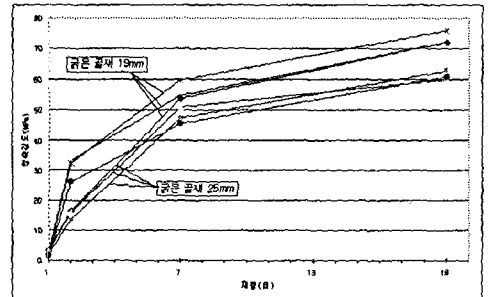


그림 3 실내배합 강도 결과

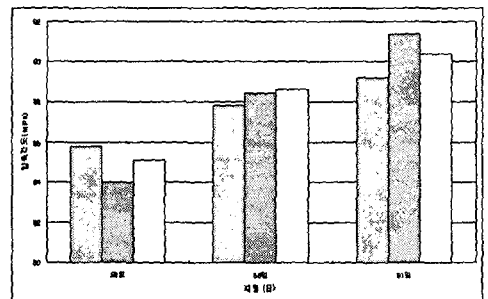


그림 4 재령별 현장배합 강도 결과

3.2 수화열

본 연구에서 사용한 고로슬래그 미분말은 분말도가 높고 치환율이 다소 낮아 콘크리트 경화 시 급격한 수화 반응에 의해 높은 발열이 예상되었다. 그림 3에 전체 측정지점의 온도이력을 표시하였다. 측정 결과에서 나타난 기둥중심부의 최고온도 도달시간은 타설완료 후 대략 21~25시간 정도이며, 최

고온도는 71.1℃이다. 중심부와 표면부의 온도차는 최고온도 전후에서 약 25℃이고, 타설 77시간 후 거푸집 제거 시 균열은 발견되지 않았다.

3.3 시공성 및 경제성

굳지 않은 콘크리트의 물성시험 및 경시변화를 측정된 결과, 생산 후 타설까지 슬럼프 플로어가 55~60cm, 공기량이 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 나타내어 다소 유동성이 증대되어 펌프 압송시 게이지바가 일반 강도 콘크리트에 비해 낮아져 펌핑성이 향상되었다. 시공 효율을 확인하기 위해 현장에서 설계강도가 60 MPa, 40 MPa로 각각 다르고 크기가 동일한 기둥 4개소를 동시에 타설을 수행하여 작업 인원과 작업시간의 결과를 비교하였다. 그 결과, 60 MPa 콘크리트 타설 시 인원 2명이 약 20분 정도 걸렸으나 40 MPa 콘크리트 타설의 경우 인원 3명이 약 30분 정도 소요되었다. 작업 인원의 능력 차이나 제반 요인에 따라 다소 오차가 있으나, 유동성 증대에 따른 시공성 향상을 어느 정도 확인할 수 있었다. 그리고, 고로슬래그 미분말도가 커서 유동성 증대뿐만 아니라 적당한 점성도 갖고 있어 재료분리현상은 보이지 않았다.

당초 기둥의 설계강도가 40 MPa이었으나 60 MPa로 변경되면서 콘크리트의 고강도화가 요구되었고, 이에 따라 원가 상승이 불가피하였다. 현장배합 후 소요품질을 갖는 레미콘에 대해서 경제성 분석을 한 결과, 실리카흙 사용에 따른 6m³당 레미콘의 원가가 기존보다 3배 정도 증가하였으나, 고로슬래그 미분말로 치환하여 목표강도를 만족하면서 원가 상승률을 15%로 줄였다.

4. 결 론

본 연구에서는 고강도 콘크리트의 제조 및 현장 적용 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 치환량을 조절하여 재령별 압축강도를 정량적으로 산출하여 고강도 콘크리트 현장 적용 시 목표강도 발현에 기초 자료로 사용할 수 있다.
- (2) 고로슬래그 미분말을 혼입한 고강도 콘크리트의 워커빌리티는 일반콘크리트에 비하여 양호한 것으로 나타났으며, 치환율이 20%정도에서의 배합상태 및 슬럼프 플로어치도 양호한 결과를 보였다.
- (3) 현장에서의 슬럼프 경시변화는 약간 발생하였으나, 펌핑성 및 작업성은 양호하게 나타났다.

현재 고강도 콘크리트의 내구성능을 평가하기위해 자기수축 현상과 그 메카니즘 규명에 대해서도 연구 중에 있으며, 향후 그 결과를 추가하기로 한다.

참고문헌

1. 김승진 외, “고로슬래그 이용에 관한 국내 동향 및 고로슬래그콘크리트 기초물성”, POSCO Forum 발표집, 2000.
2. 문한영, 최연왕, “고로슬래그 미분말을 혼화제로 사용한 고강도콘크리트의 강도 특성에 관한 연구”, 대한토목학회논문집, 제16권 제I-4호, pp.463~472, 1996, 7.
3. 신동혁 외, “고강도 콘크리트 실용화 연구”, 코요룡건설 연구보고서, 2000,12.

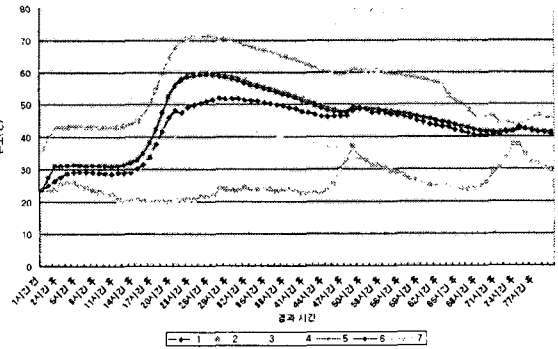


그림 5 온도 측정 결과