

고내화성 고강도 노출콘크리트 기둥 시공 사례

Construction of High Strength Exposed Concrete Columns Improved Fire Resistance



최병규*
Byoung-Kyu Choi



이승훈**
Seung-Hoon Lee



박용목***
Yong-Mok Park



박찬규****
Chan-Kyu Park

1. 개요

휴맥스 빌리지 건물은 사용자 감성과 예술성을 고려한 업무 시설로서 공사의 특징은 기둥, 슬래브, 계단 및 옹벽이 노출콘크리트로 설계되어 있다. 기둥은 지하 1층부터 12층까지 노출콘크리트로 설계되어 있으며, 그 면적은 3,047 m²이다. 그리고 슬래브, 계단, 옹벽은 지상 2층에서 11층까지 노출콘크리트로 설계되어 있고 그 면적은 3,117 m²이다. 마감으로서는 외벽 현무암, 천장 AL, 타공판, 벽체 스틸 판넬 등이 있지만, 노출콘크리트 마감이 핵심요소이며, 노출콘크리트 마감품질이 당 현장 전체 공사의 품질을 좌우한다고 볼 수 있다. <표 1>은 현장 개요를 나타낸 것이며, <그림 1 과 2>는 각각 휴맥스빌리지 건물 조감도와 현재 공사 중인 현장 전경을 나타낸 것이다.

그리고 기둥에 적용되는 콘크리트는 고강도콘크리트로서 그 설계강도는 지상 4층까지 80 MPa, 지상 5층에서 9층까지 60 MPa 그리고 10층에서 12층까지는 40 MPa이다. 특히 고강도 콘크리트는 화재 시 폭렬이 심하게 발생하는 것으로 알려져 있다. 이러한 폭렬은 부재의 내력을 크게 감소시키고 또한 붕괴를 유발할 수 있기 때문에 고강도콘크리트 부재 시공 시 반드시 제

어되어야 할 요소 중의 하나에 속한다. 일본의 경우 고강도콘크리트의 화재안전성능에 대하여 국토교통성 고시 1433호에 의해 국토교통대신의 성능인증을 받음으로써 건축주에게 기술적 대책으로 제시하여 목표로 하는 건축적 성능을 달성하는 체계를 갖추고 있지만¹⁾, 국내는 아직까지 미비한 실정이다. 그러나 고강도콘크리트의 화재에 대한 취약성이 이미 알려진바 당 현장에서 는 이에 대한 대책을 마련하여 시공하는 것으로 결정하였다.

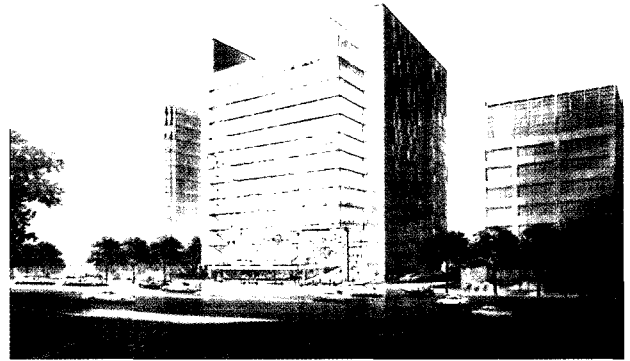


그림 1. 조감도



그림 2. 현장 전경

표 1. 휴맥스 빌리지 현장 개요

| | |
|-------|-------------------------------------|
| 공사명 | 휴맥스 빌리지 신축 공사 |
| 발주처 | (주)휴맥스 |
| 설계/감리 | (주)종합건축사사무소 이로재 |
| 공사기간 | 2004. 6 ~ 2006. 8 |
| 공사규모 | 44,537.9m ² (13,496.21평) |
| 구조 | 철근콘크리트(지하 6층), LCFRAME(지상 12층) |

* 삼성물산(주) 건설부문 휴맥스 빌리지 현장 소장
bk21.choi@samsung.com

** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 수석연구원

*** 삼성물산(주) 건설부문 휴맥스 빌리지 현장 차장

**** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 수석연구원

본고에서는 당 현장에 마감콘크리트 부위가 많지만, 대표적으로 고강도콘크리트 기둥에 대하여 폭렬을 저감시킨 고강도콘크리트 적용과 노출마감면의 품질을 확보한 사례를 보고하고자 한다.

2. 고강도콘크리트 폭렬 저감 방안

노출 기둥에 적용되는 콘크리트는 설계강도 40, 60 및 80 MPa로서 고강도콘크리트에 해당한다. 일반적으로 고강도콘크리트가 화재 등의 높은 온도에 노출되면 콘크리트 내에 존재하는 물, 수증기 및 공기 등이 팽창하여 발생하는 팽창압과 부재 내의 온도차에 의하여 콘크리트 표면이 떨어져나가는 폭렬 현상이 발생하는 것으로 알려져 있다.

이러한 폭렬현상은 콘크리트의 압축강도 수준이 증가할수록 심하게 발생한다. 폭렬은 부재 단면 손실과 함께 축방향 철근의 온도의 급격한 온도 상승에 따른 강도 저하로 부재의 내력을 크게 감소시킨다.

이에 설계강도 60, 80 MPa 고강도콘크리트에 대해서 폭렬이 저감된 콘크리트를 적용하기로 결정하였고, 그 방법은 <그림 3~6>에 나타난 바와 같이 당사 실험 결과²⁾를 바탕으로 폴리프로필렌(PP) 유기섬유를 콘크리트에 혼입하는 것으로 하였다. 유기 섬유는 상세로서 길이 6 mm, 직경 약 40 μm이며, 80 MPa 콘크리트에 0.2 vol.%, 60 MPa 콘크리트에 0.17 vol.%를 혼입하였다.

<그림 3>은 사용된 폴리프로필렌(PP) 섬유의 SEM 사진, <그림 4>는 섬유의 길이를 나타낸 것이다. <그림 5>는 설계강도 80MPa에 해당하는 콘크리트에 폴리프로필렌(PP)섬유 혼입량에 따른 폭렬 정도를 나타낸 것으로서, 0.2 vol.%를 혼입하였을 때 폭렬이 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. 그리고 <그림 6>은 폴리프로필렌(PP) 섬유 0.2 vol.%를 혼입하였을 때 설계강도 80MPa에 콘크리트 시험체(부재크기 500×500×700 mm)에 대해서 ISO-KS 표준 가열 곡선에 근거하여 3시간 가열 후 폭렬 상태를 나타낸 것으로서, 폭렬이 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다.

3. 노출콘크리트 품질확보 방안

3.1 콘크리트 배합설계

적용된 설계강도 60, 80 MPa 고강도콘크리트 배합비와 품질관리 기준은 <표 2 와 3>에 나타난 바와 같다. 기둥 부재의 면은 노출이기 때문에 air pocket 등 제반 하자를 최소화할 수 있도록 배합설계 및 품질관리기준을 설정하였다.

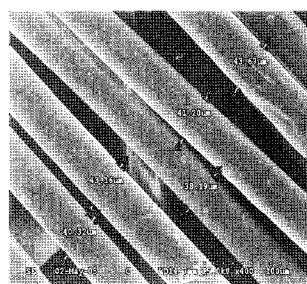


그림 3. PP섬유 SEM 사진

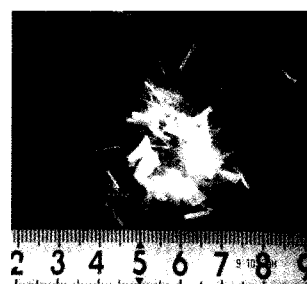


그림 4. PP섬유 길이

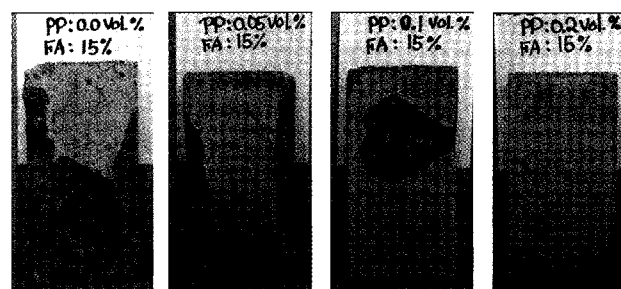


그림 5. 설계강도 80 MPa 섬유 혼입량에 따른 폭렬 양상

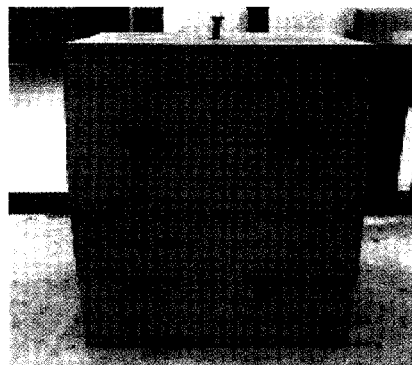


그림 6. 대단면 폭렬 검증(80 MPa)

콘크리트 배합설계에서 설계강도 80 MPa에서는 고강도 발현을 위하여 실리카폼을 결합재량 대비 7%를 혼입하였다.




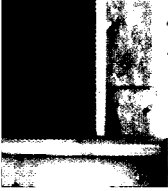


표 2. 고강도콘크리트 배합비

| 설계 강도 | W/B (%) | S/a (%) | Unit weight(kg/m ³) | | | | | PP |
|--------|---------|---------|---------------------------------|-----|----|----|-------|------|
| | | | W | C | FA | SF | SP | |
| 60 MPa | 28 | 42 | 165 | 560 | 29 | - | 9.42 | 1.53 |
| 80 MPa | 25 | 44 | 165 | 515 | 99 | 45 | 12.54 | 1.8 |

표 3. 고강도콘크리트 품질관리기준

| 구분 | 항목 | 품질관리기준 | |
|------------|----------------|--------------|--------|
| | | 60 MPa | 80 MPa |
| 굳지 않은 콘크리트 | slump flow(mm) | 650+50, -100 | 550±50 |
| | air content(%) | 4이하 | 4이하 |
| 경화콘크리트 | 관리 재령(일) | 56 | 91 |

표 4. 노출면 품질 확보를 위한 주요 관리 사항

| | | |
|-----------------|---|--|
| 합판 고정 |  | <ul style="list-style-type: none"> · 평머리 망치 사용 · 못 고정 전 횡가루 먹줄 놓기 · 못머리 평활도 확인 · 스테인레스 또는 도금 못 사용 · 못 고정 시 망치자국 발생 방지 |
| 레벨목 설치 |  | <ul style="list-style-type: none"> · 수평 레벨 준수 철저 · 하부 들뜬면 코킹 또는 forming 실시로 물빠짐 방지 |
| 거푸집 세우기 및 고정 |  | <ul style="list-style-type: none"> · 마른 걸레로 세우기 전 반드시 청소 실시 · 세우기 작업 시 모서리 부위 밀착상태 점검 실시 |
| 거푸집 모서리 밀착상태 확인 |  | <ul style="list-style-type: none"> · 거푸집 재사용 시 측면 이물질 제거 · 거푸집 면 밀착상태 유지 철저 |
| 콘크리트 타설 |  | <ul style="list-style-type: none"> · 슈트를 사용하여 천천히 타설 · 타설 높이에 따라 다짐기를 올리면서 다짐 실시 · 타설 높이 준수 철저 및 연속 타설로 시공 줄눈 발생 방지 |
| 탈형 후 보양 |  | <ul style="list-style-type: none"> · 거푸집 탈형 후 비닐, 코너 보호대 등으로 보양 · 비닐 상부 페이스트 유입 방지 · 기둥 주변 작업 시 표면 손상을 주는 무리한 작업 금지 |

그리고 콘크리트의 작업성을 평가하기 위하여 슬럼프 대신에 슬럼프 플로우 값을 사용하였다.

3.2 기둥 노출면 품질 확보를 다짐 방법 선정

고강도콘크리트 기둥의 노출면 품질 확보를 위하여 지하층 기둥타설 시 콘크리트 다짐방법 선정을 위하여 다음의 4가지 방법을 적용하였다.

- ① 기둥하부 저주파 다짐기, 기둥상부 고주파 다짐기형틀 외부 목망치 다짐

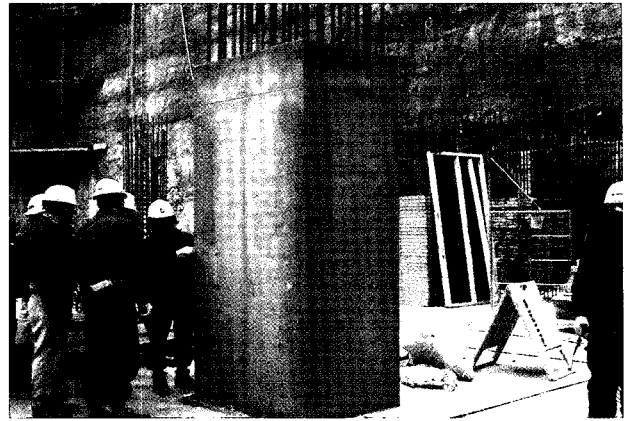


그림 7. 다짐방법 ①에 따른 기둥 시공 결과

- ② 저주파 다짐기, 형틀외부 목망치 다짐
- ③ 저주파 다짐기, 대나무 사용
- ④ 저주파 다짐기, 대나무 사용, 형틀외부 목망치 다짐

상기의 4가지 방법으로 시공을 한 결과 방법 ①이 최상의 콘크리트 표면 품질을 확보하는 나타났으며, 시공 결과는 <그림 7>에 나타낸 바와 같다.

4. 고강도 노출콘크리트 기둥 시공

4.1 시공 순서

고강도 노출콘크리트 기둥의 품질을 확보하기 위하여 기둥합판절단 → 외부 frame 제작 → 합판 고정 → 레벨목 설치 → 거푸집 세우기 및 고정 → 거푸집 모서리 밀착 상태 확인 → 기둥 수직도 작업 → 섬유 혼입 고강도콘크리트 타설 → 탈형 후 보양과 같은 작업순서로 시공을 하였다.

이와 같은 일련의 과정 중 콘크리트 기둥 노출면의 품질을 확보하기 위하여 특별히 관리를 하였던 주요 과정을 기술하면 <표 4>에 나타낸 바와 같다. 이외에도 우천시 철골 부재 녹물에 의한 기둥 오염, 철골 설치 중 접촉으로 인한 노출면 손상, 다짐기 형틀 접촉에 의한 손상, 양생기간 미준수에 따른 파손 및 균열 발생 등의 예상 문제점에 대하여 대책을 세우고 공사를 실시하였다.

상기와 같은 시공 순서로 지하 6층에서 지상 4층까지 설계강도 80 MPa 고강도콘크리트 기둥을 시공하였으며, 이 때 타설된 콘크리트 물량은 약 1,500 m³이다. 그리고 설계강도 60 MPa 고강도콘크리트는 지상 5층에서 9층 기둥에 적용되었는데, 콘크리트 타설 물량은 약 325 m³이다.

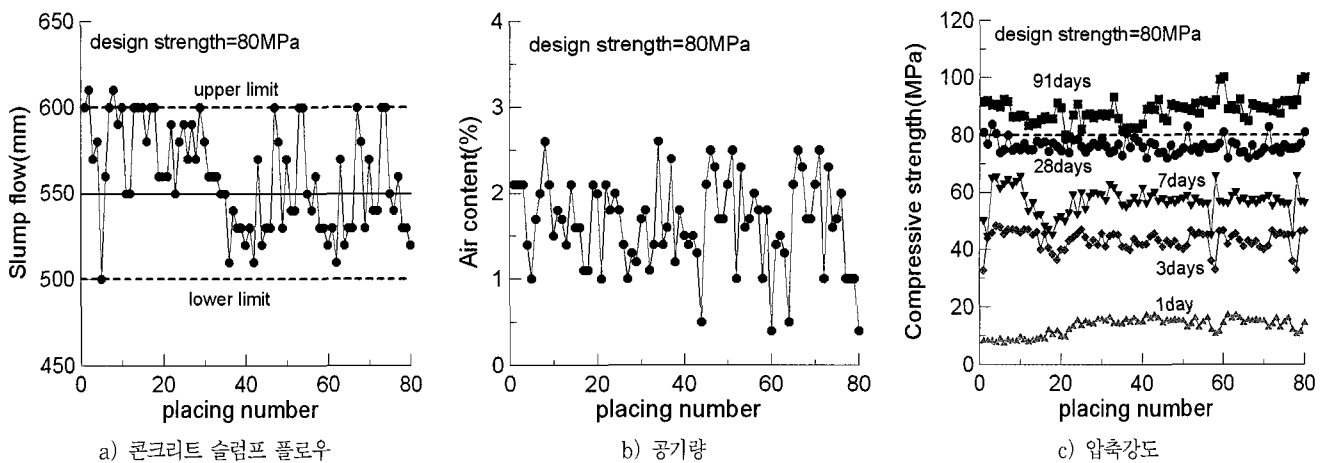


그림 8. 설계강도 80 MPa 섬유 혼입 고강도콘크리트 시공 결과

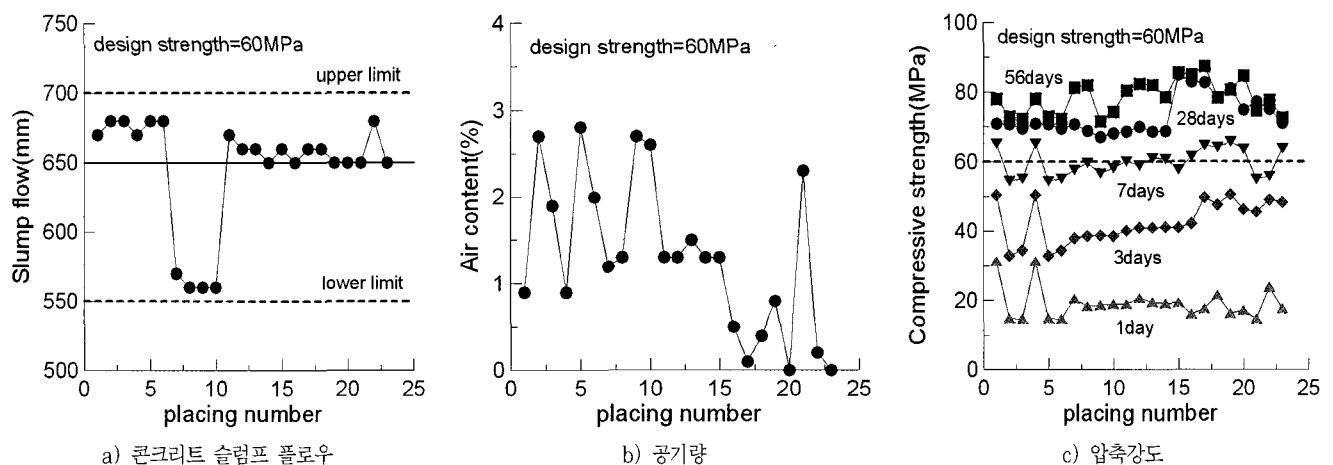


그림 9. 설계강도 60 MPa 섬유 혼입 고강도콘크리트 시공 결과

4.2 콘크리트 타설 결과

그리고 <그림 8 과 9>는 현장에 적용된 섬유혼입 고강도콘크리트의 시험 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트의 품질 관리는 당초 계획된 관리 범위 내에서 잘 이루어졌음을 알 수 있다. 공기량의 경우는 3% 이내에서 관리가 되었고, 설계강도 80 MPa 콘크리트에서는 재령 91일, 설계강도 60 MPa에서는 재령 28일에 설계강도 이상의 압축강도가 발현된 것으로 나타났다.

5. 맺음말

본고에서는 노출 성능과 내화 성능이 필요한 고강도콘크리트 기둥의 시공에 대하여 기술하였다. 노출콘크리트는 사전계획에서 거꾸집 시공, 콘크리트 타설 및 양생의 전 과정에서 하나의 실수라도 나타나면 돌이킬 수 없는 하자가 발생하는 어려운 공

사에 해당한다. 이에 형틀과 콘크리트 타설 인원을 고정 인원으로 전문화하고 교육 등을 통하여 전 근로자가 노출콘크리트 개념 및 중요성을 공유함으로써 성공적인 공사가 이루어졌다고 판단된다. 또한 폭렬 제어 대책을 수립한 고강도콘크리트를 타설하였는바 이러한 사례가 밑바탕이 되어 향후에는 국내 전 현장에 내화 성능이 증진된 고강도콘크리트가 타설되기를 바라면서 본고를 마감하고자 한다. □

참고문헌

1. 김무한 외 4인, “초고강도콘크리트의 내화성능에 관한 일본건설사의 연구동향 및 성능인증 현황”, 콘크리트학회지, 17권 5호, 2005. 10, pp.69~75.
2. 박찬규, 이승훈, “섬유 혼입량에 따른 고강도 콘크리트 폭렬 특성”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, Vol.17, No.2, 2005, pp.387~390.