

## 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트 현장 적용

An Application of 150MPa Ultra High Strength Concrete on a Residential-Commercial Building



손유신\*  
Yu-Shin Sohn



왕호\*\*  
Ho Wang



이규식\*\*\*  
Gyu-Sik Lee



이승훈\*\*\*\*  
Seung-Hoon Lee

### 1. 머리말

최근, 도시지역을 중심으로, 많은 초고층 구조물들이 건설되고 있다. 초고층 구조물은 다양한 수직, 수평 구조시스템을 사용하기 때문에 구조물의 안전성, 경제성, 내구성을 충분히 확보할 수 있는 철근 콘크리트조로 시공되는 사례가 증가 추세에 있다. 또한 최근의 초고층 구조물에는 이러한 특성 외에도 공간 활용이 용이하도록 내부 구조의 가변성이 요구되고 있어 기둥단면이 작고, 기둥간격이 큰 설계가 요구된다. 이에 초고강도 콘크리트에 대한 개발이 가속화 되고 있으며 초고층 구조물에서의 초고강도 콘크리트의 사용은 기둥의 단면축소 이외에도 횡력에 대한 저항 능력, 장기 수축변형 감소효과 등도 기대할 수 있다.

미국의 경우 1987년 시애틀의 유니언 스퀘어(twin union square)빌딩에 이미 19,000 psi(130 MPa)의 초고강도 콘크리트를 시공한 실적이 있으며, 일본의 경우 2000년대 초반부터 대형건설사를 중심으로 초고강도 콘크리트를 개발하기 시작하여 2006년 초에는 다케나가 공무점이 일본에서 처음으로 150 MPa의 초고강도 콘크리트를 현장 적용하는 등 기술개발에 많은 노력을 기울이고 있다.

최근에는 국외뿐만 아니라 국내에서도 100층 이상 규모의 초고층 건축물에 대한 관심과 수요가 증가하고 있다. 해외의 경우 삼성물산(주) 건설부문에서 Dubai에 시공 중인 세계 최고층 빌딩인 Burj Tower(160층, 808 m)를 중심으로 이미 완공된 대만의 타이페이 파이낸셜 센터(101층, 508 m) 등과 함께 국내에서도 잠실 제2 롯데월드(112층, 555 m)가 준비 중이고 인천 송도에는 Burj Tower에 이어 세계에서 두 번째로 높은 인천타워

(151층)를 계획하고 있다.

이러한 국내의 여건속에서 당사는 수년간의 연구를 통해 2005년 10월 설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트의 개발을 완료하였고, 현재 당사에서 시공 중인 49층 높이의 주상복합 건물에 적용하였으며 본고에서는 연구개발에서 현장타설에 이르는 일련의 과정을 소개하고자 한다.

### 2. 공사 및 구조설계 개요

목동 트라펠리스 현장은 주거건축물로는 처음 적용되는 스카이 브릿지(sky bridge)까지 세계적 건축가의 디자인이 결합된 주상복합건물로서 <그림 1>은 조감도를 나타낸 것이다.

#### 2.1 공사 개요

본 공사는 최고 지상 49층 지하 5층의 약 174m(지상층 최고 높이)의 초고층 주상복합으로 서울시 양천구 목동에 건설되며 공사개요는 <표 1>과 같다.



그림 1. 현장 조감도

\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 전임연구원  
yssohn@samsung.com

\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 목동트라펠리스 현장소장

\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 목동트라펠리스 공사팀장

\*\*\*\* 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

표 1. 공사 개요

공사명	목동 트라펠리스
발주처	(주) 스타코, (주) 이스타빌건설 목동중심축 제1구역 일단의 주택지 조성사업조합
설계/감리	(주)네오플랜건축사사무소 (주) 시아플랜건축
공사기간	2005. 7 ~ 2008. 12
공사규모	지하 5층, 지상 41층 ~ 49층, 총 4개동
건축면적	2,532,711평

표 2. 콘크리트의 사용 재료

시멘트	4성분계 프리믹스 시멘트(비중 2.90) [아세아시멘트 공동개발]
잔골재	세척사(비중 2.59)
굵은골재	부순 골재(비중 2.65), 13 mm
초고성능 감수제	동남기업(주)(폴리카르본산계)
수축저감제	동남기업(주)

2.2 구조설계 개요

당 현장의 구조형식은 RC 기둥, RC 테두리보, flat slab 구조 형식이며 <그림 2>는 기준층 평면도를 나타낸 것이다.

각 층별 콘크리트의 설계강도는 <그림 3>에 나타난 바와 같이 수직부재 중 (B 5 ~ 19층)의 경우 50 MPa, (20층 ~ 35층)의 경우 35 MPa, 36층 이상의 경우 30 MPa로 각각 설계되어 있으며, 수평부재는 30 MPa(21층 이상)와 35 MPa(20층 이하)로 설계되어 있다. 이중 150 MPa의 초고강도 콘크리트는 설계강도 50 MPa로 설계되어 있는 지하 4층 기둥에 적용하였다.

3. 설계강도 150MPa 초고강도 콘크리트 개발

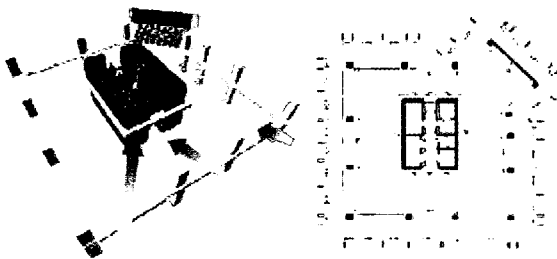


그림 2. 기준층 평면도

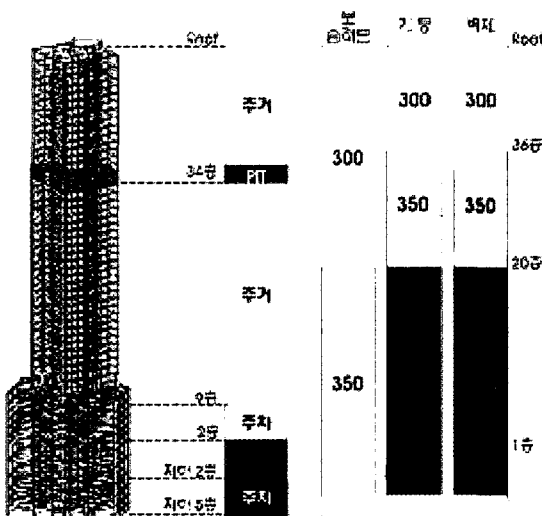


그림 3. 층별 콘크리트 설계기준강도

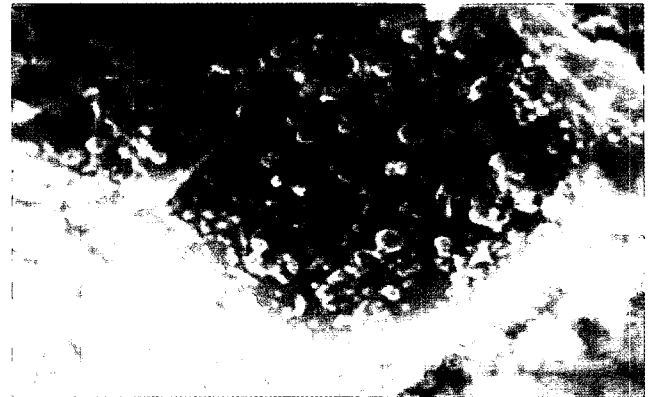


그림 4. 프리믹스 시멘트 SEM 촬영결과 (×15,000)

설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트 개발은 사용재료 측면에서의 4성분계 프리믹스 시멘트의 개발, 굵은 골재의 성능 검증에 대한 검토와 실내배합 및 실물모형실험의 3단계로 구분할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다.

3.1 사용 재료

시멘트는 고강도화를 위하여 1종 보통 포틀랜드시멘트와 고로 슬래그미분말, 무수석고 및 실리카퓌름으로 구성되는 4성분계 프리믹스 시멘트를 개발하여 사용하였으며, 이를 통해 화학적으로는 수화발열을 저감시키고 수화 생성물의 증대와 공극의 감소를 통해 치밀한 조직을 형성하도록 하였으며 물리적으로는 <그림 4>에 나타난 바와 같이 프리믹싱에 의해 균질성을 확보하고 실리카퓌름을 분산 코팅시켜 강도와 유동성을 개선하였다. 굵은 골재의 강도는 200 MPa 이상이며 저용점 성분인 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O의 함량이 낮은 화강암계 골재를 선정하여 1,200 °C에서의 내화능력이 확보된 골재를 사용하였다. 실험에 사용된 사용재료에 대한 물리·화학적 특성은 <표 2>에 나타난 바와 같다.

3.2 배합설계

배합설계는 물-결합재비, 단위수량, 굵은골재 최대치수, 잔골재율 등과 같은 배합변수와 믹싱방법, 다짐방법, 몰드의 재질

및 형태에 따른 강도발현 특성 등을 검토하였으며 주요 실험변수는 <표 3>과 같다.

배합설계 결과 <그림 5>에 나타난 바와 같이 슬럼프 플로우 70±10 cm, 공기량 1.5±0.3% 수준의 양호한 물성상태에서 물-결합재비 13%에서 재령 91일에 183 MPa를 나타내었다. 따라서 150 MPa의 초고강도 콘크리트 배합을 위한 적정 배합범위는 <표 4>수준인 것으로 판단된다.

### 3.3 현장 실물모형실험 (Mock-Up Test)

개발된 150 MPa 초고강도 콘크리트에 대한 배합설계 결과를 근거로 레미콘 시험생산과 실물모형실험을 실시하였다.

부재계획은 기둥과 벽체를 대상으로 하였으며 기둥 사이즈는 1.0×1.2×1.7 m, 벽체 사이즈는 0.6×1.2×1.7 m로 하였다. <그림 6>은 부재형상 및 타설 전경을 나타낸 것이다.

적용 배합의 물-결합재비는 13.5%였으며 레미콘 생산시 1회 배합량은 1.5 m<sup>3</sup>로 하였다. 레미콘 공장에서 측정된 슬럼프 플로우는 75 cm를 나타내었으며 현장 도착 후 슬럼프 플로우는 65 cm로 운반에 따른 로스(loss)는 10 cm(약 50분 경과)를 나타내었다.

공기량은 1.5%로 안정적인 결과를 나타내었다. 콘크리트 타설은 펌프카를 이용하여 실시하였다. 일본의 경우 초고강도 콘

크리트의 높은 점성으로 인해 버킷(bucket)을 이용한 타설만이 실시되었으나 당사의 경우 콘크리트 점성을 최소화하여 펌프카를 이용한 타설을 실시하였다.

압축강도 측정 결과에서는 <그림 7>에 나타난 바와 같이 코어 공시체의 경우 재령 3일에 설계기준강도인 150 MPa를 초과하는 결과를 나타낸 반면 공시체의 경우 재령증가에 따라 점진적인 강도증진을 나타내었으며 재령 91일에 설계기준강도를 만족하는 결과를 나타내었다.

수화열은 1.5일 이후 상승하기 시작하여 2.1일에 최대온도인 91℃도를 나타내었다. 거푸집의 해체는 타설 후 4.5일이 경과한 시점에서 진행되었으며 표면상태는 곱보(honeycomb)나 온도 및 수축에 의한 균열이 없었으며 전반적으로 우수한 표면상태를 나타내었다.

표 4. 최적배합 범위

구분	내용
물-결합재비	15% 이하
단위수량	140 ~ 150 kg/m <sup>3</sup>
굵은 골재 최대치수	20 mm이하
잔골재율	35% ~ 40%
잔골재 조립율	2.8 ~ 3.0
고성능 감수제 사용량	B×(3.0 ~ 3.5)

표 3. 실험변수

변수	수준
물-결합재비	13 ~ 17%
단위수량	130 ~ 150 kg/m <sup>3</sup>
굵은 골재 최대치수	10 mm, 13 mm 20 mm
잔골재율	30 ~ 40%
잔골재 조립률	2.7 ~ 3.0

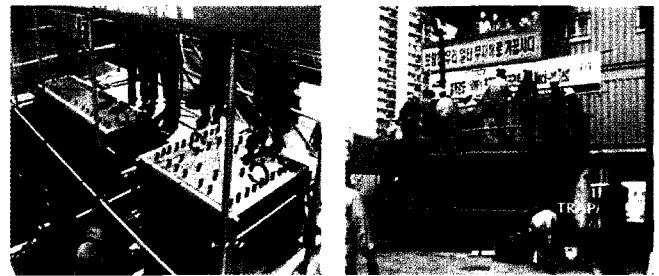


그림 6. 실물모형실험 전경

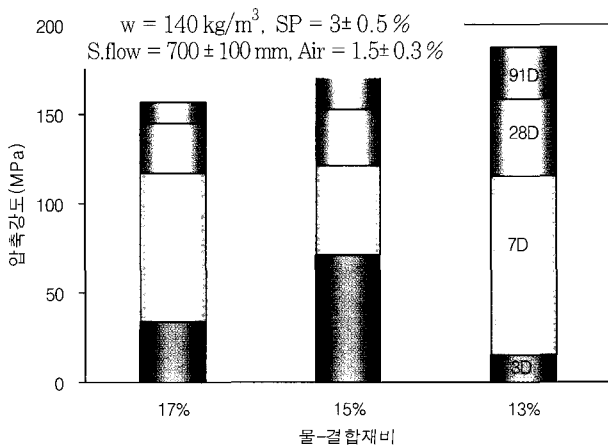


그림 5. 실내배합 강도측정 결과

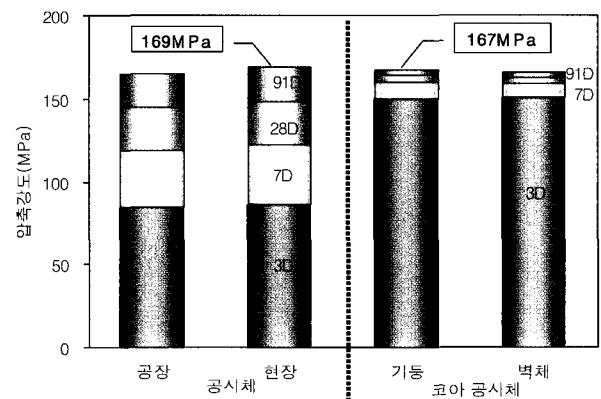


그림 7. 공시체 및 코어 강도측정 결과

## 4. 150 MPa 초고강도 콘크리트 현장 타설

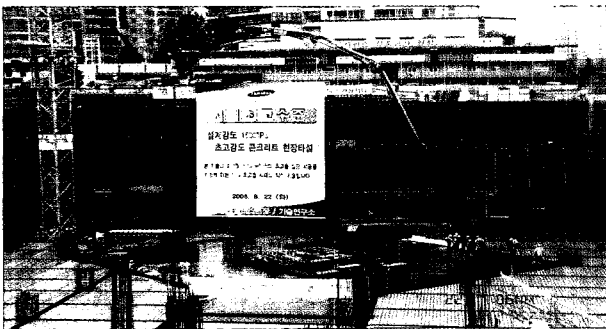
### 4.1 현장 개요

초고강도 현장 타설은 2006년 8월 22일 실시되었다. 타설 위치는 고층부 지하 4층의 12개 기둥을 대상으로 하였으며, 타설 물량은 총 70 m<sup>3</sup>이고 타설 당일의 현장전경은 <그림 8>과 같다.

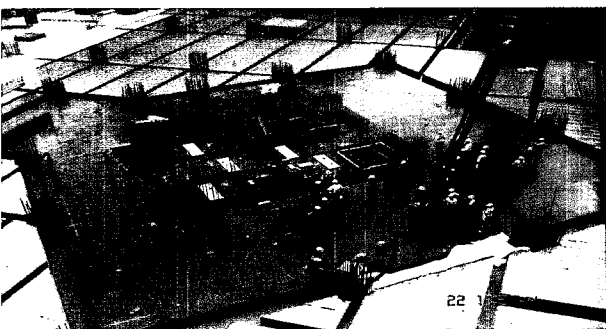
### 4.2 배합비 및 레미콘 생산

현장타설 배합비 및 품질관리 기준은 <표 5>에 나타난 바와 같이 물-결합재비는 13.5%로 결정하였으며 플로우 기준은 70-5 cm, 70 + 10 cm, 공기량은 2% 이하로 결정하였다. 또한 자기수축에 의한 균열발생을 억제할 수 있도록 수축저감제를 사용하였다.

레미콘 생산은 부천에 위치한 선일레미콘에서 담당하였으며, 생산 시 타설 온도는 30 °C 이하에서 관리할 수 있도록 타설



(a) 전경 1



(b) 전경 2

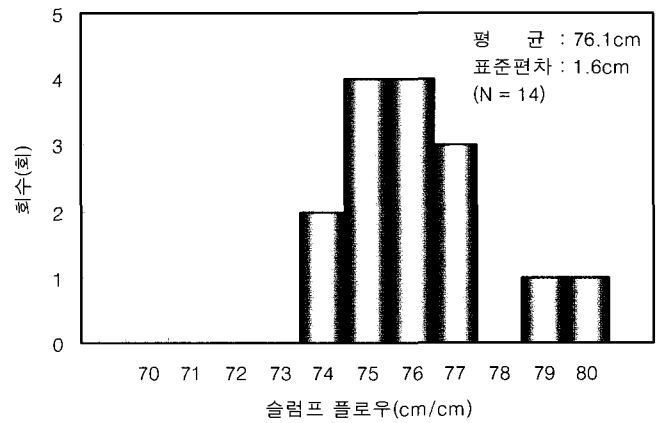
그림 8. 현장 전경

전 배합재료의 온도를 관리하였다. 배합시간은 3분이며, 1회 배합량은 2.5 m<sup>3</sup>로 하여 차량 1대당 5 m<sup>3</sup>를 상차하여 현장으로 반입하였다.

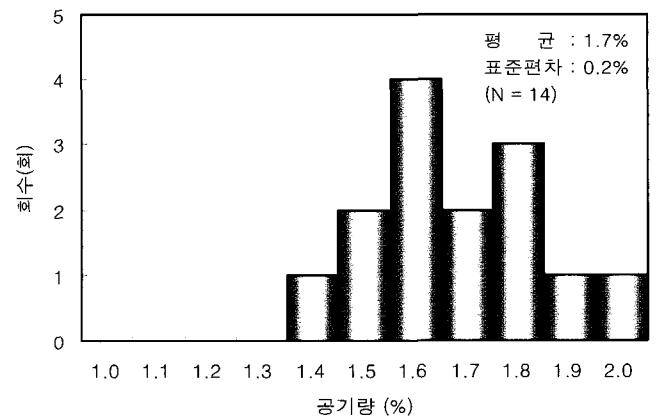
### 4.3 굳지 않은 콘크리트 물성시험 결과

굳지 않은 콘크리트의 물성시험은 공장과 현장에서 모두 실시하였으며 현장 실험 결과는 <그림 9>에 나타난 바와 같다.

<그림 9>의 결과에서 현장 도착 시 슬럼프 플로우는 평균 76.1 cm, 공기량은 평균 1.7%로 양호한 물성상태를 나타내었다. 한편 50 cm 도달시간 측정 결과 10초 이내로 점성이 낮아 원활한 타설이 가능하였던 것으로 판단되었다. <그림 10>은 현장 도착시 슬럼프 플로우 시험전경을 나타낸 것이다.



(a) 슬럼프 플로우



(b) 공기량

그림 9. 굳지 않은 콘크리트 시험 결과

표 5. 배합비 및 품질관리기준

규격	품질관리기준			물-결합재비 (%)	잔골재율 (%)	단위재료량 (kg/m <sup>3</sup> )			
	슬럼프플로우	공기량	강도관리재령			물	시멘트(C)	고성능 감수제	수축저감제
13-150-70 F	70 + 10 cm 70 - 5 cm	≤2.0 %	91일	13.5	35.0	140	1.037	36.3 kg (C×3.5%)	10.4 kg (C×1.0%)

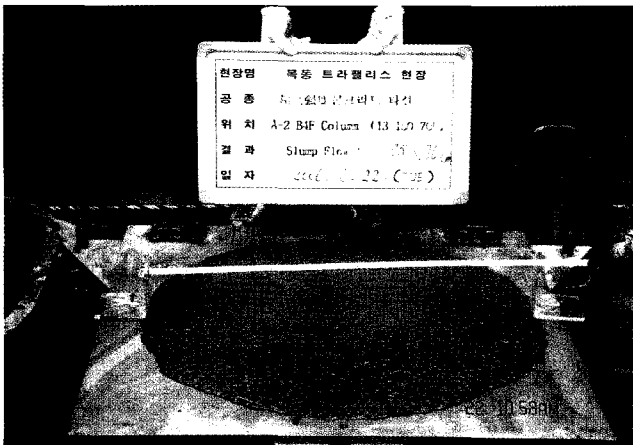


그림 10. 슬럼프 플로우 시험 결과

#### 4.4 타설 및 양생방법

타설 및 양생 전경은 <표 6>에 나타난 바와 같으며 각 기둥에 대하여 1회 타설 완료하였으며 기둥 당 타설이 완료되는데 약 5분이 소요되었다. 유동성이 우수하여 다짐은 실시하지 않았으며 타설 완료 후에 마감을 위해 상부만 다짐을 실시하였다.

보온양생은 거푸집 조립 시 양생포 및 비닐을 제단하여 부착시키고 웰라로 고정하여 타설이 종료된 후 부재의 수화열 상승

표 6. 콘크리트 타설 및 양생방법

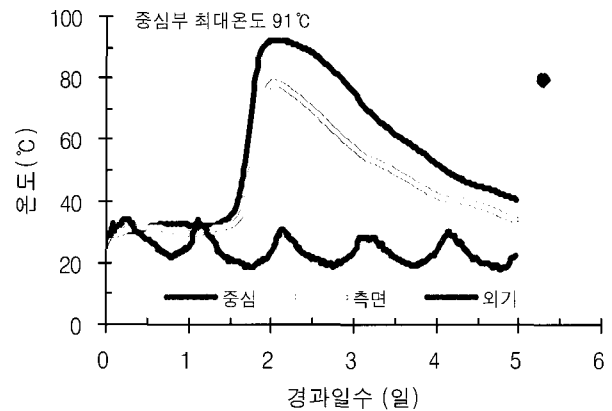
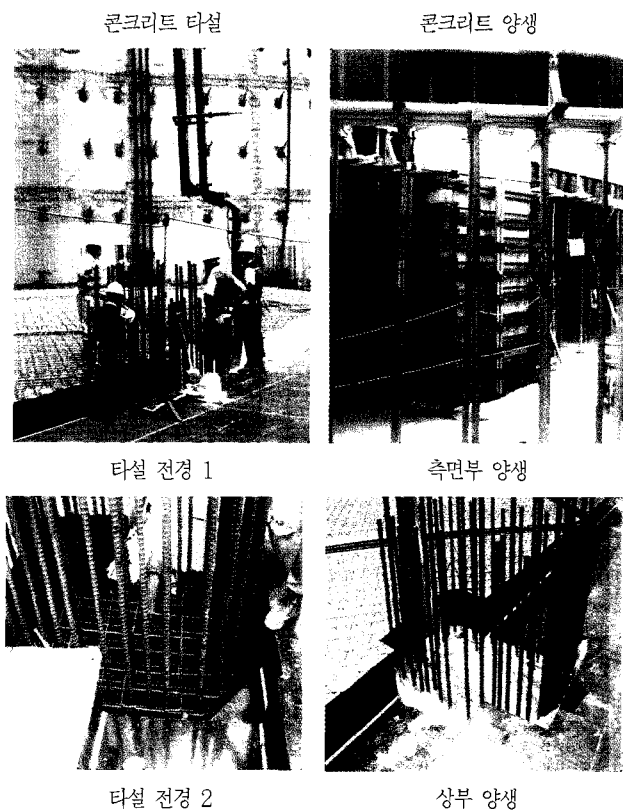


그림 11. 수화열 계측 결과

에 따른 표면부와 중심부의 온도차를 줄여주고 보습의 효과를 발휘할 수 있도록 하였다.

#### 4.5 수화열 계측 결과

수화열 계측 결과는 <그림 11>에 나타난 바와 같다. 타설 후 1.5일이 경과한 시점부터 수화열이 발생되기 시작하여 2.1일에 최대온도인 91°C를 나타내었으며 이후 중심부와 측면부의 온도차가 20°C이내에서 유지되면서 0.9°C/hr의 하강속도를 나타내었다. 이처럼 초기에 수화열 상승시점이 일반 콘크리트에 비해 느린 것은 초고강도의 유동성 확보를 위해 다량의 혼화제가 사용된 것에 기인한 것이며 구조체의 성능과는 무관하다.

#### 4.6 거푸집 탈형

거푸집의 탈형은 온도 및 수축에 의한 균열을 억제하기 위하여 부재 중심부의 온도가(외기온도 + 25°C)되는 시점에 실시하였으며, 약 5일 경과 후 탈형하였다. 거푸집 탈형 후 미려한 표면상태를 나타내었으며 전경은 <그림 12>과 같다.

### 5. 맺음말

삼성물산(주) 건설부문은 2005년 8월 국내에서 처음으로 설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트를 개발하였고 이에 대한 현장적용을 위해 1년 동안 레미콘 생산 및 실물모형실험을 진행하였으며 2006년 8월 세계에서 두 번째로 목동 트라펠리스 현장에 적용함으로써 현장실용화에 성공하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 150 MPa 초고강도 콘크리트 개발에 있어서 가장 중요한 기술은 사용재료로써 이를 위해 4성분계 프리믹스 시멘트를 개발하였고 골재의 물리화학적 특성을 분석하여 초고강도 개발



그림 12. 150MPa 초고강도 콘크리트 기둥 탈형 후 전경

에 적합한 골재를 선정하였다. 또한 현장의 원활한 타설을 위한 물성평가, 수화열 및 수축저감 등을 고려하여 적정 결합재 수준 및 배합비를 결정함으로써 개발을 성공적으로 마쳤다.

- 2) 초고강도 콘크리트의 낮은 물-결합재비와 높은 결합재량으로 인한 콘크리트의 높은 점성으로 인하여 현장에서의 소요 워커 빌리티 확보에 대한 어려움이 예상되었으나 충분한 레미콘 시험생산과 실물모형시험을 통해서 현장에서의 작업성이나 시공성 측면에서 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 실물모형시험에서는 거푸집의 탈형시점 및 양생방안 등에 대한 검토를 실시함으로써 수화열 및 수축에 의한 균열을 억제할 수 있었다.

- 3) 현장 타설 시 굳지 않은 콘크리트 물성은 모두 품질관리기준을 만족하는 양호한 결과를 나타내어 원활한 타설이 진행되었으며 5일간의 부재양생 후의 기둥의 표면상태는 균열이나 곰보(honeycomb)가 없는 미려한 표면상태를 나타내었다.

이와 같이 설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트의 현장 적용을 성공적으로 완료함으로써 국내의 콘크리트 기술력을 한 단계 업그레이드시키는 계기가 되었으며 향후 국내외에 건설 예정인 초고층 건물의 시공에 있어서 핵심기술인 초고강도 콘크리트 기술력 발전에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다. □

### 참고문헌

1. 黒岩 秀介, "Fc130 N/mm<sup>2</sup>의超高强度コンクリートを用いた超高層集合住宅の施工", 콘크리트工学, 2004, 10, pp.44~49.
2. 이회근, 손유신, 박찬규, 이승훈, 高强度コンクリート構造物の構造性能研究委員会 논문집, 日本コンクリート工学協會, 2006, pp.432~437.
3. 이회근, 손유신, 박찬규, 이승훈, "설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트 개발", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집II, 2006, pp.29~32.
4. 황인성, 김성수, 차완호, 권오봉, 손유신, 이승훈, "설계강도 150 MPa 초고강도 콘크리트용 시멘트 결합재의 개발", 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집II, 2006, pp.25~28.
5. 김무한, 초고층건축과 고성능콘크리트 국제 심포지엄 논문집, 대한건축학회, 한국콘크리트학회, 2006, pp.78~79.

### 도서소개



#### 철근콘크리트공학

저 자 : 성장환, 이관희, 송재필, 황신우 공저  
 출판사 : 구미서관  
 발행일 : 2006년 2월 28일  
 총쪽수 : 377면  
 정 가 : 20,000원

내용 : 이 책은 2003년 개정된 콘크리트 구조설계기준에 맞춰 보다 이해 쉽게 기술하였으며 단위를 국제단위계인 SI단위체계에 맞게 집필하였다. 특히 전문대학의 특성에 맞게 가능한 쉽게 이해 할 수 있도록 많은 예제 와 문제를 삽입하여 기사시험에 대비할 수 있도록 하였다.

#### [목 차]

- CHAPTER 1. 서론
- CHAPTER 2. 철근콘크리트 부재의 설계법
- CHAPTER 3. 보의 휨 해석과 설계
- CHAPTER 4. 보의 진단설계
- CHAPTER 5. 사용성과 내구성

- CHAPTER 6. 철근의 정착과 이음
- CHAPTER 7. 기둥
- CHAPTER 8. 슬래브
- CHAPTER 9. 확대기초
- CHAPTER 10. 옹벽