

초고층 주상복합 건물에의 초고강도 콘크리트의 시공 및 구조적 성능

The Application and Structural Behavior of Ultra High Strength Concrete
on Sam Sung Sin-Dae Bang project.

신성우¹⁾ 이광수²⁾ 최종수³⁾ 유석형³⁾ 안종문³⁾
윤영수⁴⁾ 성상래⁵⁾ 백승준⁵⁾ 이승훈⁴⁾

This paper present the application and Structural Behavior of Ultra-High Strength Concrete on Samsung Sin Dae-Bang Housing-Commercial Combined building with 28 story including 8 story basement in seoul. 70 MPa compressive strength has been placed for all 8 basement shear wall. 42 MPa design strength concrete was used for other basement and frame up to 10th floor which is used for commercial purposes.

1. 배경

선진외국에서 고강도 콘크리트의 사용은, 미국은 이미 1984년에 980kg/cm²을 그리고 1988년에 1330kg/cm² ¹⁾ 까지를 사용한 실적이 있으며, 일본의 경우 지난 5년(1988-1993) 동안 New R.C. Project를 통하여 1200kg/cm²까지 연구 개발한 후 600kg/cm²을 근래에 시공하고 있다. 그리고 캐나다에서는 국가주도 첨단 네트워크의 일환으로 High Performance Concrete에 지난 4년간 집중투자한 후 Concrete Canads란 이름으로 1994년부터 2차 4개년(1994-1998) 단계를 시작하고 있다. 국내에서도 1990년에 삼성 분당신도시 고층아파트(28층) 하부에 615kg/cm²/365일을

500kg/cm²이상으로는 최초 시험시공한후²⁾, 1991년에는 수화열 및 제조단가 절감, 고층 펌프성능 등의 목적으로 산본 삼성아파트에 500kg/cm²/28일의 콘크리트를 13층에 시험타설하였으며, 이후 1992년에는 500kg/cm²의 고강도 콘크리트 시방서 제작 및 공청회 개최, 나아가 1993년에는 사무실 건물(삼성생명 양재사옥)의 구조설계부터 반영되어 500kg/cm²을 설계에 반영된 최초의 건물이 되었다. 그리하여 500kg/cm²이상의 콘크리트가 국내에서도 일반화될 수 있는 기틀이 잡혔다. 이후 1993년에는 700kg/cm²의 콘크리트에 관한 시험시공이 (주)대우 진해현장(3층)에서 시도되었으며³⁾ 삼성건설에서는 700kg/cm² Mock-up 시험결과를 시방서로 제작하였다.⁴⁾ 그러나 이러한 삼성

1) 한양대학교 건축공학과 부교수, 공박
2) 여주공업전문대학 건축공학과 전임강사
3) 한양대학교 건축공학과

4) 삼성건설 기술연구소
5) 삼성건설 시험소

-대우의 경우 수입품인 실리카폼의 과다한 사용(8-10%)으로 경제성이 부족할 뿐만 아니라 대상 구조물 또한 시험시공 성격을 벗어나지 않고 있다. 따라서 700kg/cm² 이상의 초고강도 콘크리트를 일반적으로 사용하기 위해서는 B/P에서의 대량 생산 시설을 위한 생산 line변경, 그리고 초고강도 콘크리트인 경우 정확한 시험(공시체, 구조체) 방법의 제시, 양생 및 수화반응 조절등 많은 숙제를 던져주고 있다.

2. 연구목적

본 연구는 270kg/cm²부터 420kg/cm², 700kg/cm² 그리고 1200kg/cm²의 고강도 콘크리트를 28층(지하 8층) 구조물에 현장타설과 공장 증기양생에 의한 P.C. 부재생산등의 방법으로 시공하며, 이중 420kg/cm²의 경우 구조설계에 본격적으로 반영하고, 700kg/cm² 이상의 경우는 비싼 실리카폼의 사용을 최대한 절감(0-5,6%)하거나 배제하는 방향으로 하고 1200kg/cm²의 경우는 최초로 실구조물에 시험시공함으로써 보통강도(270kg/cm²)부터 고강도(420kg/cm²)콘크리트, 초고강도 콘크리트(700kg/cm²-1200kg/cm²)를 동시에 초고층 구조물에 적용함으로써 콘크리트분야의 고성능-고강도 응용에 중요한 자료를 확보하고자 함에 그 목적을 두고 있다.

3. 공사개요

보통강도-고강도-초고강도 콘크리트의 적용을 위하여 본 연구에서는 신대방동에 신축 중인 주상복합 건물을 대상으로 구조설계에 대한 반영, 그리고 실제 시공하였으며, 공사

개요는 다음과 같다.

시공사 : 삼성건설 (소장 : 이승일)

이 름 : 삼성 신대방 주상복합

공 기 : 1994년 1월 - 1997년 3월 (37개월)

규 모 : 지상 28층, 지하 8층

구 조 : 지하 8층-1층 기둥 - RC라멘조
2층 바닥-10층 기둥 -P.C. 골조
11층 바닥-28층 -RC라멘조

용도별 구분

지하 7-8층 : 기계실, 저수조 등

지하 2-6층 : 지하주차장

지하 1층 : 근린생활시설

지상 1-10층 : 업무시설

지상 11층 : 아파트 부대 복지시설

지상 12-28층 : 아파트

4. 사용재료

4.1. 콘크리트 강도 구분

구조시스템의 최적화를 위하여 그림 1에서 보는 바와같이 지하 8층-1층까지의 전단벽에는 700kg/cm², RC골조에는 420kg/cm², 그리고 지상 1층-10층사이의 PC골조(보,기둥)는 420kg/cm²를 공장에서 제작하여 조립시공공법을, 12층-15층은 350kg/cm², 그리고 15층에서 지붕(29층 바닥)까지는 R.C.로 270kg/cm²을 사용하였다.

4.2. 철 근

이형철근으로는 항복강도 $f_y=4000\text{kg/cm}^2$ (SD40)을 사용했다.

4.3. 거푸집

품질확보를 위하여 Euro Form을 배제하고 코팅대형합판을 사용하였다.

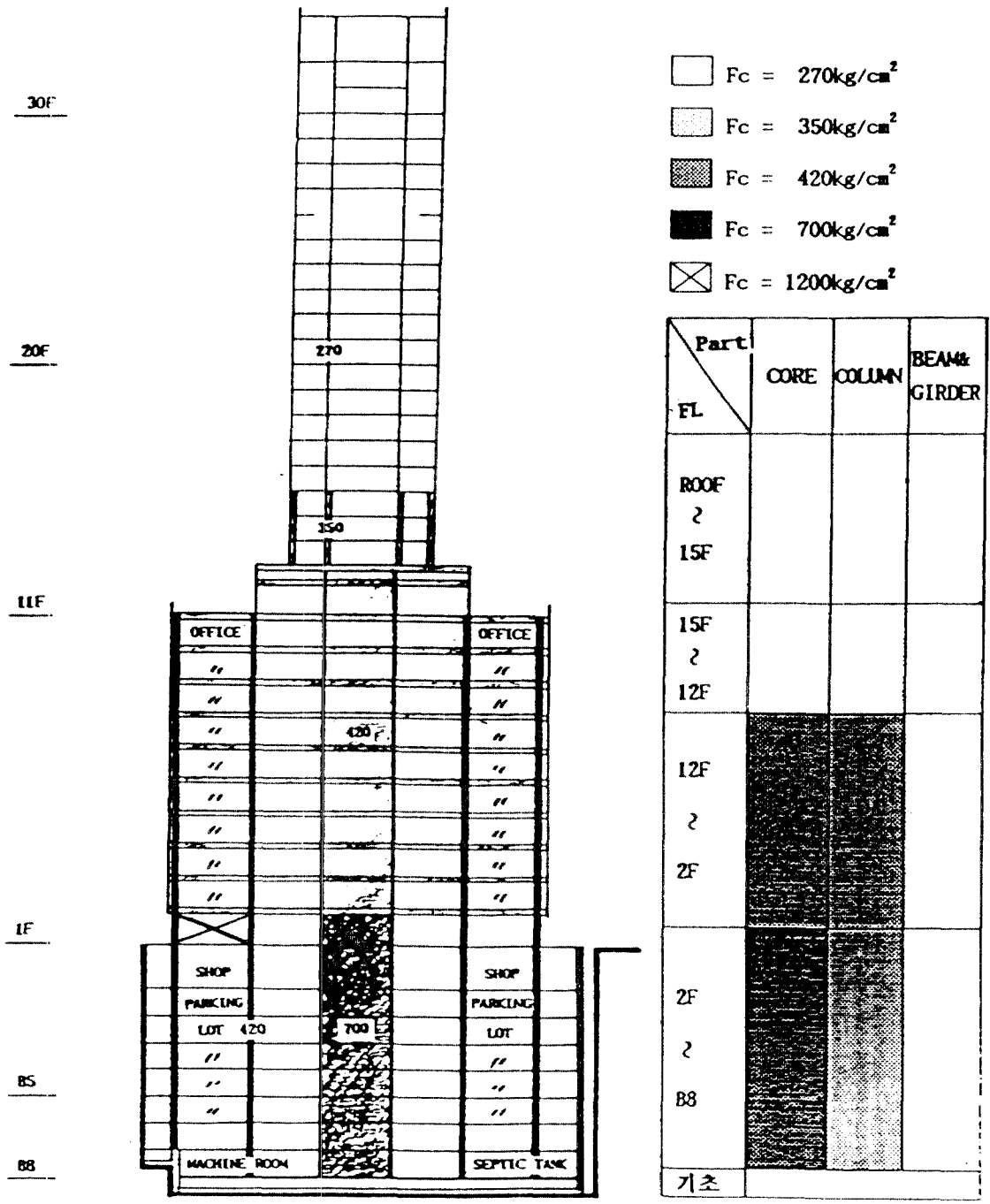


그림 1 삼성 신대방 주상-복합 건물의 콘크리트 강도 구분

5. 레미콘조달 방법

레미콘의 생산을 위하여 구로공단에 소재한 아주레미콘 B/P에 실리카폼 투여를 위한 투입구를 설치한 후 시험시공을 거쳐 공급되도록 진행하였다.

6. 품질확보 방안

6.1 사전계획

경제적이며 국내실정에 맞는 초고강도 콘크리트(700, 1200kg/cm²) 제작을 위하여 한양대학교 시험실에서 1차 시험 배합을 하였다. 특히 700kg/cm²의 경우는 실리카폼의 최소 사용, 단위 시멘트량 감소, 시공성 확보(최소 슬럼프 15cm확보) 등에 중점을 두어 추진하였다. 이후 아주레미콘 공장에서 레미콘을 통한 성능시험을 하였다. 이때에는 실리카폼 투여 장치를 통하여 실제 콘크리트를 제작하였으며, 1시간 30분 동안의 경시변화 확인, 그리고 시험용 공시체를 제작하여 품질을 확인하였으며 제반기초 실험결과는 다음과 같다.

(1) 혼합재료에 따른 실험결과

배합강도(kg/cm ²)	골재크기 (mm)	W/C	S.F (%)	F.A (%)	F _c (kg/cm ²)			
					3일	7일	28일	
700	액상	19	33	4	4	429	522	662
	분말					450	594	726
1000	액상	13	26	8	8	377	683	764
	분말					543	783	891
1000* (1200)	분말	13	26	10	8	-	853	1019

* 수출용 시멘트 사용

(2) 세골재 염분 측정

대상 : 바다모래(세척사등)

종 류	Nacl(%)
씻은 모래	0.003
자연 상태	0.05
허용 기준	0.04

(3) Capping종류에 따른 압축강도 비교

- 500kg/cm²의 3일 강도 비교

캡핑 종류	강도(kg/cm ²)/3일
유 황	297
시멘트페이스트	276
그라인딩	314

(4) U.T.M과 유압식강도 측정기에 의한 강도 비교

- 500kg/cm²의 3일 강도 비교

시험기 종류	강도(kg/cm ²)/3일
U.T.M.	314
유 압 식	313

(5) 실험결과 (700kg/cm²)

양생 방법	W/B (W/C)	S/A (%)	S.P. (%)	S.F. (%)	F.A. (%)	F _c (kg/cm ²)			slump (cm)
						3	7	28	
표준 양생	30.0 (34.1)	37	1.5	4	8	518	790		19.5
	27.6 (30)	38	2.0	0	8	480	551	709	21.5

- S.P.제 양은 결합재(B) 기준임
- S.F.은 분말 기준임
- S.F. 및 F.A. 양은 결합재 (B)기준임

6.2 타설당일

타설 당일의 최종 배합비는 골재표면수 측정 및 제반 현장여건을 고려하여 조정하였다. 한 현장에 여러종류의 콘크리트가 투입되므로 레미콘 출하시에는 운전석앞에 700kg/cm² 은 붉은 표시판을, 그리고 420kg/cm²은 연두색표시판을 부착하여 타설시 혼란이 없도록 하였다 이외에도 실제 벽두께와 같은 10, 18, 30cm의 Core 채취용 벽을 제작하여 표준 양생된 실린더의 결과와 함께 비교하였다. 수화온도의 추정을 위하여 온도 측정기준 실험벽에 매립하여 측정함을 통하여 거푸집 끈치기간중에 기준이 되도록 하였다.

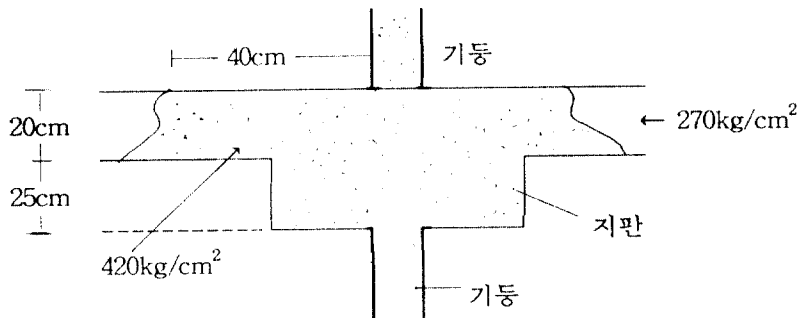


그림 2. 플랫 슬래브의 고강도콘크리트 내민길이 확보

7. 타설길이 확보

420kg/cm²이 현장타설될 지하 주차장(지하7층-지하2층) 경우는 Flat 슬래브 형식임으로 펀칭 전단등을 고려하여 기둥부위에는 420kg/cm²을, 그리고 슬래브는 270kg/cm²을 사용함에 따라 강도의 차이가 40%이상인 되어 지판부분도 420kg/cm²으로 타설한 후 그림2에서 보는 바와 같이 고강도콘크리트를 슬래브방향으로 슬래브 두께의 2배를 내밀어 타설하여 펀칭전단에 보호하도록 조치하였다.

8. 사용재료

(1) 조골재(F_c=420, 700kg/cm²)

크 기	흡수율	조립율	마모율	단위중량/공극률
19mm	0.27	6.8	16.7	$\frac{1558}{44}$

(2) 세골재(세척사)

비 중	흡수율	조립율	단위중량/공극률
2.607	0.81	2.6	$\frac{1668}{36}$

(3) 시멘트

한라, 동양, 현대 포틀랜드 시멘트 1종

(4) Fly Ash

충남 보령(유연탄) 정재 제품

9. 제 조

- 타설된 콘크리트의 배합비 및 제조시간은 다음과 같다.

(1) 배합비

구 분 (kg/cm ²)	W/B*	S/A (%)	단위량(kg/cm ²)		
			F.A.	S.F.	S.P.
420	33	41	53	0	2.76
700	28	36	8	5.8	(1.46)**

* B=Binder (결합재량)(예) B = C + S.F. + F.A.

** S.P.제는 B/P에서 1/2를 부여한 후 현장 도착후
최후 조정하였음.

(2) 배 합

강 도 (kg/cm ²)	420	700
배합시간	60 초	90 초
간 격	6 분	7 분
물 드	1, 3, 7, 28일	1, 3, 7, 28, 56일

10. 결 론

시험체 압축강도는 1, 3, 7, 28, 56, 90일까지 측정예정이며 28일 기준으로 설계기준강도를 각각 만족하였으며 슬럼프도 B/P에서 21cm가 1시간-1시간 30분 경과후에도 18cm 이상이 되어 충분한 슬럼프를 확보할 수 있

었다. 따라서 본 연구결과의 성공으로 국내에서도 실제 구조설계에 고강도 콘크리트를 고려한 본격적인 시대가 도래함을 확인하여 주었으며, 더우기 700kg/cm²의 경우 국내실정에 맞게 수입품인 실리카폼(S.F.) 사용량을 최소화시킴으로서 향후 이의 사용 가능성을 한층 높여주고 있다.

감사의 글

국내에서 28층인 주상복합건물에 고강도 및 초고강도 콘크리트의 성공적인 시공은 삼성건설 관련자중 박주성 전무님, 최병천 이사님과 기술연구소의 윤건신 소장님, 송기섭 부장님, 그리고 신대방 현장의 이승일 소장님, 노병용 과장님 같은 분의 도움이 없이는 불가능하였을 것이다. 이외에도 아주레미콘 구로공장의 백철 부장님과 김수만 품질과장님의 헌신적인 노력에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Godfrey, Jr. K.A., "Concrete Strength Record Jumps 36%", Civilengineering, Vol. 57 No.10, pp.84-88
2. 신성우, "분당 삼성 초고층 APT에 500kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공 및 구조적 연구".
3. 권영호외, "700kg/cm² 고강도 콘크리트의 현장적용", '93추계 콘크리트학회 논문집", pp. 124-131
4. 삼성건설 기술연구소, "고강도콘크리트 현장적용 PROJECT" 1994. 1.