

1200kg/cm² 초고강도 콘크리트의 고층 주상복합구조물에의 시공 및 특성화 연구

The Application of 1200kg/cm² Ultra High Strength Concrete on Tall Building

신 성 우¹⁾, 안 종 문²⁾, 유 석 형²⁾, 윤 영 수³⁾, 이 승 훈³⁾, 백 승 준⁴⁾

This paper present the application and construction characteristics of Ultra-High Strength Concrete on Samsung Sin Dae-Bang Housing-Commercial Combined building with 28 story including 8 story basement in seoul. 1200kg/cm² compressive strength has been placed for parapet at 1st floor for experimental purposes. 420 kg/cm² design strength concrete was used for other basement and frame up to 10th floor which is used for commercial purposes.

1. 배 경

선진외국에서 고강도 콘크리트의 사용은, 미국은 이미 1984년에 980kg/cm²을 그리고 1988년에 1330kg/cm² 까지를 사용한 실적이 있으며¹⁾, 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 Canada란 이름으로 1994년부터 2차 4개년(1994-1998) 단계를 시작하고 있다. 국내에서도 1990년에 삼성 분당신도시 고층아파트(28층) 하부에 615kg/cm²/365일을 500kg/cm² 이상으로는 최초 시험시공한 후²⁾, 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)

에 구조설계부터 500kg/cm²이 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-대우의 경우 수입품인 실리카흄의 과다한 사용(8-10%)으로 경제성이 부족할 뿐만아니라 대상 구조물 또한 시험시공 성격을 벗어나지 않고 있다. 따라서 초고강도 콘크리트를 일반적으로 사용하기 위해서는 B/P에서의 대량 생산 시설을 위한 생산 line변경, 정확한 시험(공시체, 구조체) 방법의 제시, 양생 및 수화반응 조절등 많은 과제를 던져주고 있다. 본 연구에서 추진하는 1,000kg/cm² 정도의 초고강도 콘크리트를 제조하기 위하여는 현재의 콘크리트 구성재료중의 하나인 시멘트만으로는 강도발현에 한계가 있어 혼화재료인 실리카흄(Silica Fume)의 사용이 필수적이라 할 수 있다. 그러나 실리카 흄은 국내의 생산이 없고 전량이 수입품이기에 고강도 콘크리트의 제조에 실리카흄의 사용은 콘크리트 제조단가를 필연적으로 상승시키게 된다. 그러나 초고강도 콘크리트 제조에 실리카 흄의 사용은 필수적이기

- 1) 한양대 건축공학과 부교수, 공박
- 2) 한양대 건축공학과 대학원
- 3) 삼성건설 기술연구소
- 4) 삼성건설 기술연구소 시험실

때문에 최적의 실리카 흙 첨가량을 결정하여 가장 경제적이면서도 목표로 하는 콘크리트 강도를 얻을 수 있도록 연구가 시급히 실시되어야 할 시점에 있다.

2. 연구목적

본 연구는 지난 1994년 가을에 적용한 270kg/cm²부터 420kg/cm², 700kg/cm²의 보통강도에서 고강도에 이르는 일련의 시공과정을 통해 얻은 결과⁵⁾를 토대로 최적의 경제적이고 유동성이 좋으며 충분한 강도를 발휘할 수 있는 1,200kg/cm²대의 초고강도 콘크리트를 개발하고 이를 실제 구조물에 적용할 수 있는지의 가능성을 모색하기 위하여 실구조물에 시험시공함으로써 콘크리트분야의 고강도-고성능 응용에 중요한 자료를 확보하고자 함에 그 목적을 두고 있다.

3. 공사개요

1200kg/cm²의 초고강도 콘크리트를 적용하기 위하여 본 연구에서는 신대방동에 신축중인 주상복합 건물을 적용대상으로 선정하였으며 공사 개요는 다음 표 1과 같다.

표 1 공사개요

시공자	삼성건설 (소장 : 이승일)
이름	삼성 신대방 주상복합
공기	1994년 1월 - 1997년 3월 (37개월)
규모	지상 28층, 지하 8층
구조	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 바와 같이 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. 거푸집

고강도 콘크리트의 경우 낮은 물-결합재비를 갖게 되므로 콘크리트 제조시 사용된 물의 방출 및 콘크리트 표면의 매끄러움 등의 품질확보를 위하여 Euro Form을 배제하고 대형코팅합판을 사용하였다. 고강도 콘크리트의 경우 매우 높은 슬럼프 치와 고유동성을 갖게 되며, 높은 단위 시멘트량의 사용으로 인하여 고강도 콘크리트를 큰 점성을 갖게 되어 보통강도 콘크리트에 비해 측압이 커지게 된다. 따라서 측압의 증가에 의한 거푸집의 이탈 또는 변형 등을 방지하기 위하여 기존에 사용되는 거푸집 보강에 비해 보다 면밀하게 보강을 하였다.

5. 레미콘조달 방법

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

6. 품질확보 방안

6.1 사전계획

경제적이며 국내실정에 맞는 초고강도 콘크리트(1200kg/cm²) 제작을 위하여 한양대학교 시험실에서 1차 시험 배합을 하였다. 특히 실리카폼의 최소 사용, 단위 시멘트량 감소, 시공성 확보(최소 슬럼프 15cm 확보) 등에 중점을 두어 추진하였다. 이후 A레미콘 공장에서 레미콘을 통한 성능시험을 하였다. 이때에는 실리카폼 투여 장

치를 통하여 실제 콘크리트를 제작하였으며, 1시간 동안의 경시변화 확인, 그리고 시험용 공시체를 제작하여 품질을 확인하였으며, 제반기초 실험결과는 다음 표 2~7과 같다.

표 2 조골재의 물성시험결과

최대크기	비중	흡수율	조립율	마모율	단위중량
					공극율
19mm	2.75	0.50	6.8	15.7	1534/44

표 3 세골재의 물리적 특성

비중	흡수율	조립율	단위중량	안정성	염화물 함유량
			공극율		
2.607	0.81	2.6	1668/36	1.43	0.006

표 4 시멘트의 물리화학적 특성

구분	물리적 특성				화학적 특성			압축강도	
	안정도 (%)	분말도 (%)	응결시간(h)		강열감량 (%)	M ₂ O	SO ₃	7일	28일
			초결	종결					
D사	0.22	3239	2:46	4:55	0.68	2.8	2.3	282	396

표 5 플라이애쉬의 물리화학적 특성

물리적 특성				화학적 특성		
비중	분말도	단위수량비	압축강도비	SiO ₂	습분 (%)	강열감량 (%)
2.18	3243	100	92.6	63.8	0.1	4.4

표 6 고성능 AE감수제의 물리적 특성

주성분	색상	pH	비중	고형분	사용량
나프탈렌	암갈색	8.5	1.22	38.8	0.3~0.5

표 7 고유동화제의 물리적 특성

색상	형태	주성분	비중	PH	고형분
암갈색	액체	Naphthalene Polymers	1.21	8.67	41.47

6.2 실험실 배합실험

초고강도 콘크리트의 최적 배합비의 개발을 위하여 다음 표 8과 같은 배합계획에 의해 한양대학교 재료실험실에서 사전 배합실험을 수행하였다.

표 8 초고강도 콘크리트 실험실배합표

시험체명	B (kg/m ³)	W/B (%)	잔골재율 (%)	S.F. (%)	F.A. (%)	S.P. (%)
1	650	22	37(19mm)	10	6	2*
2	650	22	37(19mm)	10	6	2**
3	700	21	37(13mm)	12	5	3*
4	700	21	37(13mm)	12	5	3***
5	700	21	37(19mm)	12	5	3*
6	750	19	37(19mm)	15	5	4*

* N계 고유동화제

** 고성능 AE減水劑

*** 고성능 AE減水劑 + N계 고유동화제

표 9 실험실 배합실험결과

시험체명	Slump (cm)	압축강도(kg/cm ²)		
		3일	7일	28일
1	11	642	866	942
2	14	649	891	961
3	13	738	878	1006
4	15	725	853	1031
5	14	699	872	1010
6	10	758	929	1108

6.3 Pilot Test

1200kg/cm²의 초고강도 콘크리트를 현장에 타설하기 위하여 앞서 A레미콘 공장에서 2차례의 사전 경시변화실험을 행하였다. 1차 Pilot Test에는 사전에 한양대학교 실험실에서 행한 1200 kg/cm²의 배합시험에서 결정된 2가지의 최적배합비를 적용하였으며, 2차 Pilot Test에는 1차 Pilot

Test의 결과를 일부 조정하여 실험을 진행하였다. 이 때 적용한 배합비와 실험결과가 각각 다음 표 10~13에 나타나 있다.

표 10 1차 Pilot Test 배합표

시험 체명	B (kg/m ³)	W/B (%)	잔골 재율 (%)	S.F. (%)	F.A. (%)	S.P. (%)
1	700	21	37 (13mm)	12	5	3.0*
2	750	19	37 (19mm)	15	5	4.0**

* 고성능 AE감수제 1% + N계 고유동화제 2%

** N계 고유동화제4%

표 11 1차 Pilot Test 결과

No.	경 시 변 화					압축강도 (kg/cm ²)			
1	경과시간 (분)	5	15	35	55	1	3	7	28
	Slump (cm)	11.5	-	24	22				
	공기량 (%)	-	-	-	4.5	329	593	724	869
	S.P. 추가투여량	-	0.5	-	-				
2	경과시간 (분)	0	10	23	-	1	3	7	28
	Slump (cm)	0	-	10.5	-				
	공기량 (%)	-	-	1.0	-	389	644	742	896
	S.P. 추가투여량	-	0.5	-	-				

표 12 2차 Pilot Test 배합표

No.	B (kg/m ³)	W/B (%)	S/a (%)	S.F. (%)	F.A. (%)	S.P. (%)
2-1	750	18	37	18	5	2.5*
2-2	750	18	37	18	0	2.5*
2-3	720	20	37	20	0	3.0**

* 고성능AE감수제 1% + N계 고유동화제 1.5%

** 고성능AE감수제1.3% + N계 고유동화제 1.7%

표 13 2차 Pilot Test 결과

No.	경 시 변 화				압축강도 (kg/cm ²)			
2-1	경과시간 (분)	0	10	25	1	3	7	28
	Slump (cm)	12.5	22.5					
	공기량 (%)	2.6			324	469	770	838
	S.P. 추가투여량		0.5					
2-2	경과시간 (분)	0	10		1	3	7	28
	Slump (cm)	4.5	11.5					
	공기량 (%)	4.1			418	629	857	955
	S.P. 추가투여량		0.5					
2-3	경과시간 (분)	0	30	40	1	3	7	28
	Slump (cm)	22	14	23.5				
	공기량 (%)	3.9		5.3	345	489		
	S.P. 추가투여량			0.3				

7. 현장타설

실험실과 레미콘 공장에서의 시험배합을 통하여 최적배합으로 결정된 1200 kg/cm²의 초고강도 콘크리트를 신대방동 주상복합건물의 지상 1층 화단 파라펫부분에 약 11m³를 시험타설하도록 하였으며 1000kg/cm² 제조에 적용한 배합표는 다음 표 14와 같다. 이외에도 실제 구조물에 타설하는 경우와 압축강도 측정용 공시체에 타설하는 경우가 상이하므로 가능한 구조체의 정확한 압축강도 평가를 위하여 실제 구조체의 벽두께와 동일한 10, 18, 그리고 30cm의 core 채취용 실험용 벽체를 제작하여 표준양생된 공시체의 압축강도와 함께 비교하였다. 또한 콘크리트 압축강도에 따른 콘크리트 내부의 수화 온도 측정을 위하여 온도 측정기준 실험 벽체에 온도 측정용 게이지를 콘크리트 타설 전에 매립하여 수화온도를 측정된 결과를 바탕으로 거꾸집 준치기간 등의 기초 자료를 확보하도록 하였다.

표 14 현장타설 배합표

W/B (%)	S/A (%)	단위량 (kg/m ³)							AE제
		B	W	C	F.A. (%)	S.F. (%)	S.P. (%)		
19	37	750	142.5	562.5	5	20.33	3.2	1.0%	

위의 표 14와 같은 배합에 의해 제조되어 타설된 콘크리트의 물성시험결과는 다음 표 15와 같다.

표 15 성능시험 결과

레미콘 운반시간	Slump (cm)
30 분	17.5

압축강도 시험은 재령 1, 3, 7, 28, 56, 90일까지의 강도를 측정하기 위하여 원주형 몰드 공시체와 현장에 설치된 모형 코아월에서 채취한 공시체를 시험하였으며, 몰드 공시체는 습윤양생 상태를 유지하고, 코아 공시체는 자연상태로 실제 코아월(Core Wall)과 동일한 상태를 유지하도록 하였다. 압축강도 시험결과는 다음 표 16과 같다.

표 16 압축강도 시험결과

재령	1	3	7	28	56	131			
	몰드	몰드	코아	몰드	코아	몰드			
강도	376	502	643	701	793	900	942	1070	1193
	378	472	738	708	863	962	920	1098	1178
	399	463	561	-	-	954	918	1048	1164
평균	384	479	647	705	828	939	927	1072	1178

8. 결론

압축강도 1,200kg/cm²의 초고강도 콘크리트의 현장적용에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고강도 콘크리트의 유동성을 확보하기 위하여 일반적으로 고유동화제만을 사용하던 것을 고성능 AE감수제로 고유동화제의 일부를 대체하여 병용함으로써 슬럼프 손실을 상당부분 감소시킬 수 있었으며

이에따라 현장에서의 추가적인 혼화제 투입량도 감소시키면서 1,200kg/cm²의 초고강도 콘크리트의 시공성을 확보할 수 있었다.

2) 압축강도 측정결과 재령 28일에서 927kg/cm², 56일에서 1072kg/cm², 그리고 131일에서 1178 kg/cm²을 나타내었다.

3) 콘크리트를 타설한 후 약 1주일 후에 거푸집을 탈형하였을 때 콘크리트면은 균열의 발생없이 양호한 상태를 나타내었다.

4) 초고강도 콘크리트를 타설할 경우 콘크리트의 점성이 크게 증가하여 펌프의 압력을 가중시키게 되므로 이에 대한 정밀한 대책이 요구된다.

감사의 글

국내에서 28층인 주상복합건물에 1200 kg/cm² 초고강도 콘크리트의 성공적인 시공을 위하여 삼성건설 박주성 전무님, 최병천 이사님과 기술연구소의 윤건신 소장님, 송기섭 부장님, 그리고 신대방 현장의 이승일 소장님, 노병용 과장님과 아주레미콘 구로공장의 백철 부장님과 김수만 품질과장님의 헌신적인 노력에 깊은 감사를 드립니다.

참고 문헌

- Godfrey, Jr. K.A., "Concrete Strength Record Jumps 36%", Civilengineering, Vol. 57 No.10, pp.84-88
- 신성우, "분당 삼성 초고층 APT에 500 kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공 및 구조적 연구", 한국콘크리트학회지, 제 2권 4호, 1990. 12, pp. 8~21
- 권영호외, "700kg/cm² 고강도 콘크리트의 현장적용", 한국콘크리트학회 가을 학술 발표대회 논문집, 제 5권 2호, 1993. 11, pp. 124~131
- 삼성건설 기술연구소, "고강도콘크리트 현장적용 PROJECT" 1994. 1. 85p.
- 신성우외, "초고층 주상복합건물에의 초고강도 콘크리트의 시공 및 구조적 성능", 한국콘크리트학회 가을 학술발표대회 논문집, 제 6권 2호, 1994. 11, pp. 313~318