

現場 實用化를 위한 高强度 콘크리트의 레미콘 製造 및 生産

The Remicon Production of High Strength Concrete for Practical Application

윤 영수* 이 승훈* 성 상래** ○ 백 승준** 신 성우*** 장 일영****
Yoon, Y.S. Lee, S.H. Sung, S.R. Baek, S.J. Shin, S.W. Jang, I.Y.

Abstract

This paper presents the material properties and production of 500 and 700 kg/cm² high strength concrete for the practical utilization. A series of Lab. tests were conducted to optimize the material mixture of high strength concrete and then mock-up tests were performed through the Remicon Batch Plant. This paper stresses the material conditions for the final stage of production of 500 and 700 kg/cm² high strength concrete, just prior to the practical use on 28-story Samsung Shin-Daebang Housing-Commercial Combined Building with 8-story basements.

1. 서 론

지구상에서 가장 보편적으로 이용되고 있는 콘크리트는 무게에 대한 낮은 강도에 따른 단면확대, 그리고 비교적 낮은 내구성 및 주변환경에 따라 품질 및 시공이 저하 되는 점이 있어 구조재료로서 근본적 문제 점을 내포하고 있다고 할 수도 있다.

따라서, 이러한 콘크리트의 성능 향상을 위하여 단면축소 및 장지간 스패를 가능하게 하는 고강도화, 구조물의 수명을 연장시켜 주는 내구성 증진 및 시공성(펌프, 타설, 마감 등) 향상을 위한 고유동성 콘크리트 개발의 필요성이 대두되고 있다.

국내의 경우에도 최근들어서 콘크리트

의 고강도-고성능화는 콘크리트에 관계하는 산·학·연의 많은 연구자들에 의해서 상당한 발전을 거듭하여 왔고, 지금도 활발히 연구가 진행되고 있다⁽¹⁾⁽⁶⁾. 그러나 대부분이 실내시험을 통한 강도의 발현이나 보, 기둥과 같은 부재의 구조내력실험 등에 한정되어 있으며, 직접 현장에 적용한 사례는 그다지 많지 않았다.

본 고에서 다루고자 하는 신대방동 프로젝트는 철근콘크리트(RC) 건물로서는 국내에서 가장 높은 지하 8층, 지상 28층 규모의 주상복합빌딩으로서 지하 전층의 기둥 및 내부 코아벽체의 설계기준강도가 420 kg/cm²이고, 현장 시공강도는 500 kg/cm² [지

* 삼성건설(주) 기술연구소

** 삼성건설(주) 중앙시험실

*** 한양대학교 건축공학과 부교수

**** 금오공과대학교 토목공학과 조교수

하전층 기둥 및 내부코아벽체 (지하 4층~ 지하 1층) 및 700 kg/cm² [지하전단벽 (지하 8층~지하 5층)]을 적용하였으며⁽⁶⁾, 또한 '95년 상반기 중에는 1200 kg/cm² 초고강도 콘크리트를 비구조 부재에 현장적용하는 것을 목표로 하고 있다.

이번 실용화 프로젝트의 주된 목적은 첫째, 시험실에서 사전실험을 통해 결정된 최적배합비의 고강도 콘크리트 (500 및 700 kg/cm²)를 A 레미콘 뱃치플랜트 (B/P)에서 생산함으로써 고강도 콘크리트를 일반화하는데 따른 문제점을 해결하며,

둘째, 고성능 AE 감수제, 고유동화제와 같은 혼화제와 플라이애쉬, 실리카흄과 같은 혼화제를 사용하여 고강도 콘크리트에서의 공기량확보, 슬럼프손실을 최소화하는 유동성확보, 내부수화온도의 저감 및 고강도의 발현을 목적으로 하였다.

2. 공사개요

신대방동 초고층 RC 건물 프로젝트는 PC화공법, 고강도 콘크리트의 현장 실적용 등 신공법 및 신기술이 적용되었으며, 표 1에 공사의 개요가 나타나 있다.

또한, 본 프로젝트에 사용된 보통강도 및 고강도 콘크리트의 부위별 및 층별 강도는 다음의 표 2에 나타나 있다.

표 1 공사 개요

구분	내용	구분	내용
위치	서울시 동작구 신대방동 395-62	공사 기간	1994년 1월 ~ 1997년 3월
이름	삼성 신대방주상복합	건물 구조	철근콘크리트구조
설계사	삼우설계 (주)	건물 규모	지하 8층, 지상 28층
시공자	삼성건설 (주) (이승일 소장)	용도	주상복합건물

표 2 부위별 콘크리트 강도 (시공강도)

층구분	부위				
	Core Wall Core Column	Column	Beam & Girder	Slab	지하 외벽
B7~기둥 2층 바닥	700 / 500	500	270	270	270
2층 기둥 10층 바닥	500	420*	350*	270*	-
10층 기둥 15층 바닥	350	350	270	270	-
15층 기둥 ROOF	270	270	270	270	-

※ : PC 부재

3. 고강도 콘크리트의 제조

고강도 콘크리트의 제조를 위해서는 사용하는 각 재료의 선택에서부터 세심한 주의를 기울여 요구하는 품질기준을 반드시 만족하는 것을 선택해야 한다. 또한, 강도에 따른 사용재료의 차이점을 정확히 판단하고 공급에 필요한 소요물량을 확보하고 있는지도 검토하여야 한다. 본 프로젝트에 사용된 재료는 삼성건설(주) 기술연구소에서 제작한 '고강도 콘크리트 현장시공지침서⁽⁷⁾'를 기준으로하여 선정하였다.

본 프로젝트에 사용된 고강도 콘크리트는 강도별로 크게 두가지로 구분되며, 각각에 대하여 사용재료에도 약간의 차이가 있다. 500 kg/cm² 강도의 경우 기본적인 콘크리트 구성재료와 혼화제로서 플라이애쉬 (fly ash)를 사용하였으며, 700 kg/cm² 강도의 경우 혼화재료로서 플라이애쉬외에도 실리카흄(silica fume)을 첨가하였다. 또한, 슬럼프감소를 최소화하고 유동성확보를 위해서 혼화제로서 고성능 AE 감수제와 고유동화제를 사용하였다.

3.1 시멘트

현재 KS에서 규정하고 있는 시멘트는 포틀랜드 시멘트로서 보통, 중용열, 조강, 저열 및 내황산염의 5가지 종류가 있으나, 일반적으로 고강도 콘크리트의 경우 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는 경우가 많다.

고강도 콘크리트의 경우 많은 단위 시멘트량을 포함하고 있으므로 수화열에 의한 온도 상승을 감소시킬 목적으로 증용열 또는 저열시멘트를 사용하기도 하지만 제조원가의 상승이 문제가 된다.

본 프로젝트에 사용된 시멘트는 A레미콘 K공장에서 사용하고 있는 1종 보통 포틀랜드시멘트로서 D사, H1사 및 H2사의 3개사 제품을 사용하고 있었으며, 최근 6개월간의 시험성적서를 면밀히 검토한 후 사용여부를 결정하였다. 그 물성 및 화학시험결과는 아래의 표 3과 같다.

표 3 시멘트의 물성 및 화학시험결과

구분	물리적 특성				화학적 특성			압축강도	
	안정도 %	분말도 %	용 결		강열 감량 (%)	MgO	SO ₃	7일	28일
			초결 (H)	종결 (H)					
D사	0.22	3239	2:46	4:55	0.68	2.8	2.3	282	396
H1사	0.23	3470	3:54	6:34	0.91	3.2	2.3	287	348
H2사	0.08	3493	4:54	8:09	1.19	2.7	2.5	279	357
KSF 기준	0.8 이하	2800 이상	60분 이상	10시간 이하	3.0 이하	5.0 이하	3.5 이하	200 이상	290 이상

3.2 굵은골재

고강도 콘크리트에 사용되는 골재는 콘크리트의 강도 및 워커빌리티에 미치는 영향이 크므로 세심한 주의가 요구된다. 콘크리트의 강도를 증가시키기 위해서 강도가 크고, 마모율이 작으며, 입자 형태가 각이 지고, 최대골재크기가 가능한 한 작은 골재를 사용하는 것이 좋다.

본 프로젝트에 사용된 골재는 경기도 안양시에 위치한 J사로부터 납품되는 최대치수 19mm의 쇄석골재로서, 보라매공원 지하 암석층에서 채취한 것이다. 표 4는 물성 시험 결과를 나타낸 것이다.

표 4 굵은골재의 물성시험결과

종류	비중	흡수율	조립률	마모율	단위중량	안정성
쇄석	2.75	0.50	6.8	15.7	1.534	0.43

3.3 잔골재

본 프로젝트에 사용된 잔골재는 인천 해사를 세척한 것으로 현재 A레미콘 K공장에서 사용하고 있는 것을 채취하여 사전시험을 수행한 뒤 사용 여부를 결정하였다.

최근들어 모래의 품귀현상으로 인해서 수도권지역에서는 대부분이 세척사를 많이 사용하고 있는데, 세척사의 경우 구조물의 내구성을 저하시키고 철근을 부식시키는 염화물이 포함되어 있으므로 반드시 KS 규정에 적합한 것을 사용하여야 한다.

따라서 본 현장에 사용된 세척사는 염화물 함유량시험 (KSF 2515)을 거쳐서 그 기준을 만족하는 것만을 사용하였다. 표 5는 잔골재의 물성시험결과를 나타낸 것으로서 염화물함유량이 허용기준을 만족하고있다.

표 5 잔골재의 물성시험결과

종류	비중	흡수율	조립률	안정성	염화물함유량
세척사	2.607	0.61	2.6	1.43	0.006

3.4 혼화재료

(1) 고성능 AE 감수제

고성능 AE 감수제는 종래의 AE 감수제의 감수효과를 한층 더 높인 것으로서, 고강도 콘크리트에서 공기를 연행시킴으로써 약간의 강도감소효과가 발생하지만 내구성 및 동결융해저항성을 좋게하고 워커빌리티를 증가시킴으로서 펌핑성을 향상시킬 수 있다.

본 프로젝트에서의 공기량 기준은 4.5±1.5% (500 kg/cm³ 강도의 경우)로써, 표 6은 고성능 AE 감수제의 물성시험결과를 나타

낸 것이다.

표 6 고성능 AE 감수제의 물성시험결과

종 류	주성분	색상	pH	비중	고형분	사용량
고성능 AE 감수제	나프탈렌	암갈색	8.5	1.22	38.8	0.3-0.5

(2) 고유동화제 (Super-Plasticizer)

고강도 콘크리트는 낮은 물-시멘트비로 인해서 슬럼프가 상당히 낮거나 거의 없기 때문에 유동성 증진을 위해서 고유동화제의 사용은 필수적이다. 고유동화제를 사용할 경우 운반시간이나 대기온도에 따라서 슬럼프 감소가 생기는데, 이는 사전에 많은 실험을 통하여 대기온도 및 운반시간에 따른 슬럼프 감소량을 미리 측정해야 한다.

고유동화제의 투여는 레미콘공장에서 소요의 슬럼프를 만족하도록 1차 투여를 하고 현장도착시에 도착슬럼프를 측정하여 시공에 적절한 슬럼프를 가질수 있도록 2차 투여를 하는 분산투여방식을 취하였다. 즉, 도착슬럼프와 추가투여량과의 관계를 미리 실험을 통하여 정한다음에 타설직전에 슬럼프 손실에 따른 추가투여를 하는 것이다.

(3) 플라이애쉬

고강도 콘크리트에서 플라이애쉬를 사용함으로써 얻을 수 있는 장점은 여러가지가 있으나 유동성의 개선, 장기강도의 증진, 수화열의 감소, 알칼리 골재반응의 억제, 황산염에 대한 저항성, 콘크리트 수밀성의 향상 등을 들 수 있다.

플라이애쉬를 첨가한 콘크리트는 초기재령에서는 비교적 강도가 떨어지지만 재령이 길어짐에 따라서 포졸란반응의 증가로 강도가 증가한다. 그러나 국내에서 생산되고 있는 플라이애쉬는 그 품질이 균일하지 않고 장기강도의 증가나 유동성의 증가를 기대하기가 쉽지 않으므로 사용에 앞서 많은 시험을 거쳐 그 비율을 결정하는 것이 바람

직하다.

본 프로젝트에 사용된 플라이애쉬는 충남 보령산의 유연탄계이며, 이에 대한 물성 시험결과는 표 7과 같다.

표 7 플라이애쉬의 물성시험결과

구 분	화 학 성 분			물 리 적 성 질			
	SiO ₂	습분 (%)	강열 감량	비중 (5110)	분말도 (5106)	단위용량 비	압축 강도비 (5105)
5405	45 이상	1이하	5이하	1.95 이상	2400 이상	102 이하	60이상
Sample	63.8	0.1	4.4	2.18	3243	100	92.6 (28일)

(4) 실리카흙

실리카흙은 포졸란계 재료로서 제강용 탈산탈황제로 사용되는 합금철의 폐로실리 콘 또는 실리콘메탈을 전기로에서 제조할 때 발생하는 폐기 가스중에서 집진하여 얻 어지는 산업부산물로서 포졸란반응이 매우 크며 입자의 표면적이 커서 강도증진과 장기강도의 확보 및 내구성 증진에 매우 유리한 재료이다.

실리카흙의 물리적인 성질은 약 90% 이상이 구형으로 구성되어 있으며, 평균입경은 0.1 μ m정도, 비표면적이 약 200,000cm²/g 정도, 단위용적중량이 250~300kg/m³ 정도, 비중이 약 2.1~2.2 정도로서, 시멘트입자에 비하여 비중은 약 2/3 정도이고, 평균입경은 1/100 정도인 미세분말이다. 본 프로젝트에 사용된 실리카흙은 분말제품으로 품질 규격은 표 8과 같다.

표 8 실리카흙의 품질규격

구 분	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
실리카흙	min.90	max.3.0	max.1.5	max.2.0	max.3.0

4. 고강도 콘크리트의 생산

4.1 시험배합

재령 28일 및 56일에 500 및 700kg/cm²의 강도발현이 가능하며, 시공성 및 유동성을 고려한 소요슬럼프 21±1.5cm (초기슬럼프 8.0±1.5cm)를 얻을수 있고, 내구성 및 동결융해방지를 위한 공기량 4.5±1.5%를 만족하는 최적배합비를 구하기 위하여 우선 실내시험을 통한 사전배합을 실시하였다. 시험에 사용되는 모든 재료는 A레미콘 K공장에서 사용되고 있는 것을 사용하였다.

본 시험배합의 특징은 지금까지 고유동화제만을 가지고 소요슬럼프를 만족하도록 하던 것을 고성능 AE 감수제와 고유동화제를 함께 사용하여 소요슬럼프를 만족하도록 하였다. 그 이유는 고유동화제만을 가지고 고강도 콘크리트를 제조했을 경우 시간의 경과에 따른 슬럼프 감소량이 매우 커서 그 정도를 예측하기가 힘들고 점성 또한 매우 커지게 되어 현장에서 고유동화제를 추가투여했을 경우 그 효과를 만족할 수 없게 되므로, 현장에서 추가투여되는 고유동화제량도 상당히 증가하게 된다.

4.1.1 500kg/cm² 강도의 시험배합

500kg/cm² 강도의 경우 재령 28일을 기준으로 하며 소요의 슬럼프, 공기량, 압축강도 등을 만들 수 있도록 하기 위하여 다음의 조건을 기본으로하는 실내시험배합을 실시하였다.

[기본 조건]

- 적용 구조체 : 기둥, 내부전단벽
- 목표 슬럼프 : 21±1.5cm
- 목표 공기량 : 4.5±1.5%
- 골재최대치수 : 19 mm
- 혼화제 : 고성능 AE 감수제, 고유동화제
- 혼화제 : 플라이애쉬, 실리카흄

4.1.2 700kg/cm² 강도의 시험배합

700kg/cm² 강도의 경우 재령 56일을 기준으로 하며 소요의 슬럼프, 공기량, 압축강도 등을 만족할 수 있도록 하기 위하여 500kg/cm² 강도의 경우와 공기량에 대한 조건만 제외하고는 같은 조건하에서 실내시험 배합을 실시하였다.

(1) 실물모형제작

본 프로젝트에 적용될 700kg/cm² 초고강도 콘크리트를 생산하기 위해서 액상 및 분말의 실리카 흄의 사용이 고려되었으며 실제 현장에 사용될 기둥부재와 같은 크기를 가지는 실물모형을 제작하여 mock-up 시험을 수행하였다. 표 9는 굳지않은 콘크리트에서의 시험결과와 압축강도의 결과를 나타낸 것이다.

표 9 슬럼프, 공기량, 온도 및 압축강도

굳지않은 콘크리트				압축강도 (kg/cm ²)				
Slump	Air	CI	온도	1일	3일	7일	28일	56일
21.0	1.8	0.088	16 °C	120	398	633	819	856

(2) 실내 최적배합

현장 실물모형실험을 통하여 본 프로젝트에 적용될 700kg/cm² 초고강도 콘크리트에 대한 기본적인 배합을 결정하였으나, 레미콘공장에서 많은 양의 고강도 콘크리트를 생산하기 위해서는 액상의 실리카흄을 투입하는 것이 어렵고 가격 또한 상당히 증가되어 액상형 대신에 분말형으로 최종결정하였다. 따라서 현장 실물모형실험을 근거로 하여 이에 대한 수정배합을 실시하여 최적의 배합비를 도출하고자 하였다.

4.2 현장배합

실내시험을 통하여 결정된 배합비를 근거로하여 A레미콘 K공장에서 현장배합을 실시하였다. 이 공장에서 사용하는 믹서는 용량이 3.5m³/batch인 1축 강제식 믹서

로서 대부분의 레미콘공장에서 사용하고 있는 2축강제식 믹서보다 평균 rpm이 떨어져 Mixing에 소요되는 시간이 다소 증가하였다. 또한, 지금까지 보통강도 콘크리트만을 생산하고 있었기 때문에 고강도 콘크리트의 생산에 필요한 고유동화제나 실리카흄을 투입할 수 있는 시설이 준비되어 있지않으므로 투입라인을 따로 갖추도록 하였다.

소장 그리고 신대방현장의 이승일 소장, 노병용 공사과장의 협조와 배려에 감사드립니다. 그리고, 본 현장적용 프로젝트에서 보여준 아주레미콘 구로공장의 손병섭 공장장, 백철 부장, 김수만 실장의 희생적인 배려와 협조없이 본 프로젝트의 성공이 불가능 했었음에 깊은 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

5. 결 론

본 고에서 다루었던 과정으로 부터 얻어진 최종배합의 특징은 통상 고유동화제만을 가지고 소요 슬럼프를 만족하도록 하던것을 고성능 AE감수제와 고유동화제를 함께 사용하여 소요 슬럼프를 만족하도록 하였으며, 두 혼화제의 병용으로 슬럼프 감소량을 상당히 줄일 수 있었고 현장에서 추가 투여되는 고유동화제량도 줄일 수 있어서 효율적인 시공성을 확보할 수 있었다.

강도 측면에서도 최종적으로 얻어진 500 및 700kg/cm² 고강도 콘크리트의 경우 28일 및 56일을 기준으로 각각 설계기준강도를 만족하였으며, 슬럼프도 뱃치플랜트에서 21cm가 약 1시간 경과후에도 18cm 이상이 되어 충분한 슬럼프를 확보할 수 있었다.

감 사 의 글

국내에서 RC 빌딩으로는 최고층인 지상 28층, 지하 8층 규모의 신대방동 주상복합 건물에 500 kg/cm² 고강도 및 700 kg/cm² 초고강도 콘크리트의 개발과 현장적용을 위해 '94년도 건설기술연구개발사업 과제로 선정해준 건설교통부와 한국건설기술연구원 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

또한, 지원을 아끼지 않으신 삼성건설(주)의 유승용 기술본부장, 윤건신 기술연구

1. 번근주, “고성능 콘크리트의 연구동향 및 전망”, 한국콘크리트학회지, 제6권, 1호, 1994.1, pp. 2-23.
2. 오병환, “내구성 향상을 위한 고성능 콘크리트의 개발과 활용”, 한국콘크리트학회지, 제6권, 1호, 1994.2, pp.44-51.
3. 신성우, “고강도 콘크리트의 개발현황과 방향”, 한국레미콘공업협회지, 제40호, 1994.7, pp.18-26.
4. 박철립, “고성능 콘크리트의 연구현황과 실용화 방안”, 한국레미콘공업협회지, 제40호, 1994.7, pp. 27-35.
5. 정상진외 1인, “고성능 콘크리트의 고강도 실용화에 관한 연구”, 한국콘크리트학회지, 제6권, 1호, 1994.4, pp. 24-31.
6. 신성우외 8인, “초고층 주상복합건물에의 초고강도 콘크리트의 시공 및 구조적 성능”, 가을 학술발표회 논문집, 제6권, 2호, 1994.11, 한국콘크리트학회, pp.313-318.
7. 삼성건설(주)기술연구소, “고강도콘크리트 현장시공지침서”, 1994.10, 66p.