

레미콘에 의한 설계기준강도 300~400kg/cm² 콘크리트의 시공 (지하3층, 지상36층 주상복합빌딩에의 적용)

Concrete Construction with Specified Strength of 300~400kg/cm² by Use of Ready Mixed Concrete

이 영 철¹⁾
Lee, Young-Chul

한 이 수²⁾
Han, I-Su

박 재 우³⁾
Park, Jae-Woo

장 제 욱⁴⁾
Chang, Je-Wook

ABSTRACT

A 36 stories high multi-use building was designed with the specified concrete strength range of 300~400kg/cm². On the ground of the concept of compressive strength, adequate mix designing for the concrete, which has the target strength range of 390~520kg/cm², was carried out to provide enough strength margin. And with due regard to the workability and transportation time, the slump and slump flow ranged 16~21cm and 30~45cm respectively, maintaining these properties up to 2-hours from the beginning of the mix. The high-range water reducer is incorporated into the mix as a admixture.

The building construction is going on with above mentioned concrete. All the quality consideration is controlled satisfactorily, so far. The actual average 28-day compressive strength is 370kg/cm², the standard deviation is 28kg/cm² and the coefficient of variation is 7.6% for concrete of 300kg/cm² specified strength.

1. 서 론

최근 들어 건축구조물의 고층화 및 대형화가 국내 추세이며, 이러한 현실에 부응하여 고강도콘크리트의 개발에 관한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 현재 국내에서도 혼화재를 이용하여 압축강도 1000kg/cm²이상의 고강도콘크리트가 실험실에서 제조되고 있다¹⁾. 그러나, 실제 현장에서는 이와 같은 고강도콘크리트의 실용화는 아직까지 이루어지지 않고 있는 실정이다. 한국레미콘공업협회의 통계자료에 의하면 상용레미콘의 경우 최근 4~5년간 호칭강도 300kg/cm²

이상의 콘크리트 출하실적상의 점유율이 0.2~0.7% 정도에 지나지 않고 있어, 국내에서 제조되고 있는 콘크리트의 강도상의 한계를 여실히 보여주고 있다. 이러한 현실은 대부분의 콘크리트물량을 레미콘공장의 콘크리트에 의존하고 있는 건축공사에 영향을 주어 건축구조물의 설계자는 물론 생산자와 사용자 모두에게 있어 좀 더 높은 강도를 갖는 콘크리트의 사용에 대해 상당한 장애요소로서 작용하고 있다고 보여진다. 따라서, 본 고에서는 레미콘의 현실적인 강도상한을 확대하는 의미에서 실험실제조사나 현장시험타설적인 범위를 넘어 실제공사에 설계기준강도 300~400 kg/cm²의 콘크리트를 사용함으로써 레미콘공장의 제조능력을 높이고 실적에 의한 경험 축적을 통하여 호칭강도 300kg/cm²이상 레미콘의 실용화를 목적으로 하였다.

¹⁾ 정희원, 대림산업(주) 과장

²⁾ 대림산업(주) 대리

³⁾ 대림산업(주) 사원

⁴⁾ 정희원, 대림산업(주) 사원

2. 개요

2.1 현장개요

본 고에서 고려한 구조물은 부산 문현 타워(city plaza)로 지하 3층, 지상 36층의 철근콘크리트(RC) 주상복합건물이다. 콘크리트의 강도는 설계기준강도를 기준으로 240~400kg/cm²가 사용되었으며, 아래의 <표 1>에 각층별 콘크리트의 설계기준강도를 나타내었다.

<표 1> 콘크리트의 설계기준강도

층구분	설계기준강도 (kg/cm ²)	용도	물량 (M ³)
B3~B1	300	주차장	23,726
F1~F2		근린생활시설	
F3~F6		주차장	
F7~F14	400	주거시설	7,324
F15~F20	350		5,497
F21~F26	300		5,493
F27~F31	270		4,577
F31~F36	240		5,493

각층에 사용된 콘크리트는 기둥과 슬래브 모두 같은 강도로 한번에 타설하는 것으로 되어 있다. 또한, 구조물의 일부에는 Half PC인 대립합성슬라브(DACOS)가 사용될 예정이다.

2.2 사용콘크리트의 특징 및 품질기준 설정

본 공사에 사용한 콘크리트는 실리카흄이나 플라이애쉬 등의 혼화재를 사용하지 않고, 고성능감수제만을 혼입하여 배합 120분 경과 후에도 유동성이 저하되지 않는 고강도콘크리트이다. 또한, 고성능감수제의 투입은 콘크리트배합시의 혼입 이외의 후첨가를 배제함으로써 일반레미콘과 동일한 방법의 시공이 가능하여 시공시 문제점을 줄였다. <표 1>에 보인것과 같은 설계기준강도를 갖는 콘크리트를 제조·타

설하는데 있어서 설계기준강도 300, 350, 400kg/cm²의 콘크리트에 대해 각각의 목표배합강도는 390, 455, 520kg/cm²으로 정하였으며, 현장시공단계에 따라 각각의 배합을 실내실험과 현장시험타설을 통해 결정하는 방식으로 진행하고 있으며, 현재 설계강도 300kg/cm²의 콘크리트는 현장시공중에 있고 400kg/cm²의 콘크리트는 현장시험타설을 완료한 상태이다. 따라서 본 고에서는 300kg/cm²과 400kg/cm²의 강도에 대해서만 기술한다. 다음의 <표 2>에 배합강도 및 품질관리수준을 나타내었다.

<표 2> 배합강도결정 및 품질관리수준설정

		설계기준강도 (kg/cm ²)	300	400
배합강도	변동계수(V _f)		14%	14%
	확률변수(K _f)		1.65	1.65
	할증계수(α _f)		1.30	1.30
	배합강도(α _f ·σ _{ck})		390	520
	표준편차(std)		54.6	72.8
품질관리수준	굳지않은 콘크리트	슬럼프	18±2.5cm	21±3.0cm
		플로우	35±5.0cm	45±5.0cm
		공기량	4.5±1.5%	4.5±1.5%
	경화 콘크리트	28일 압축강도	300kg/cm ² 이상	400kg/cm ² 이상

3 실내실험

3.1 실내실험개요

실내실험에서는 현지 레미콘공장의 사용재료를 이용하여 콘크리트의 강도시험과 유동성시험을 실시하여 설정된 콘크리트 품질관리수준의 확보를 위한 적절한 배합비 결정의 단계를 수행하였다. 다음의 <표 3>에 실내실험에 사용한 재료의 특성을 나타내었다.

<표 3> 사용재료 및 특성

사용재료	종류	특성 및 성분
시멘트	보통포틀랜드 시멘트	비중 3.15 비표면적 3097cm ² /g
잔골재	목포산 해사	해사와 강사를 7:3 비율로 혼합하여 사용
	남지산 강사	표건비중 2.58 조립율 2.60
굵은골재	양산산 25mm	표건비중 2.65
	쇄석골재	조립율 6.85
혼화제	고성능감수제 (국내E사제품)	copolymer계 비중 1.20

3.2 배합실험

배합실험은 설정한 품질관리수준을 만족하는 콘크리트의 배합비를 도출하고자 당 연구소에서 '92-'94년도에 수행한 '고강도 콘크리트의 실용화 연구'를 기초로 기본배합비를 설정하고, 이의 결과를 분석하여 최종배합비 결정의 자료로 이용하였다. 배합실험은 W/C비, S/A비, 혼화제사용량 등을 변화시키며 소요의 강도와 유동성을 확보할 수 있는 최적의 배합비를 도출하고자 하였다. 강도시험은 재령 3일, 7일, 28일에 실시하고, 배합후 20분 간격으로 슬럼프시험, 슬럼프플로우시험과 공기량시험을 실시하였으며 이외에 재료분리여부, 온도 등을 측정하였다. 다음의 <표 4>와 <표 5>에 각각의 강도에 대한 기본배합비를 나타내었다.

<표 4> 실내실험 기본배합비(300 kg/cm²)

시편기호	W/C (%)	O.I.F. ⁽²⁾	Ad./C (%)	S/A (%)
MH-01	40.0	938	1.50	46.0
MH-02	41.0	915	1.30	46.0
MH-03	41.0	939	1.40	46.0
MH-04	41.0	939	1.50	46.0
MH-05	44.0	841	1.50	46.0
MH-06	46.0	804	1.50	46.0
MH-07	48.0	771	1.50	46.0
MH-08	48.0	792	1.50	46.0
MH-09	48.0	708	1.87	47.0
MH-10	50.0	680	1.87	46.0
MH-11	52.0	654	1.87	47.0

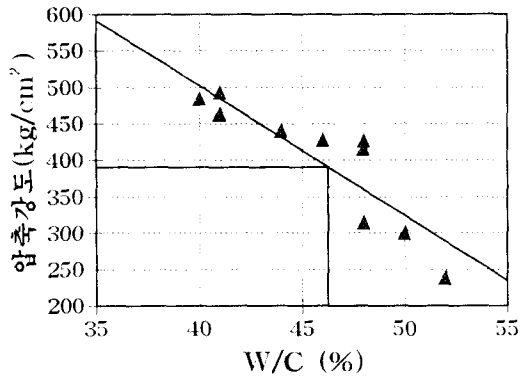
<표 5> 실내실험 기본배합비(400 kg/cm²)

시편기호	W/C (%)	O.I.F.	Ad./C (%)	S/A (%)
CP-01	35.0	1429	1.55	44.0
CP-02	37.0	1278	1.55	44.0
CP-03	39.0	1100	1.55	40.0
CP-04	39.0	1100	1.55	42.0
CP-05	39.0	1100	1.55	44.0
CP-06	39.0	1151	1.55	44.0
CP-07	40.0	1050	1.55	44.0
CP-08	40.0	1100	1.55	44.0
CP-09	41.0	1041	1.55	44.0

3.2.1 W/C비에 의한 결과

(1) 300kg/cm²인 경우

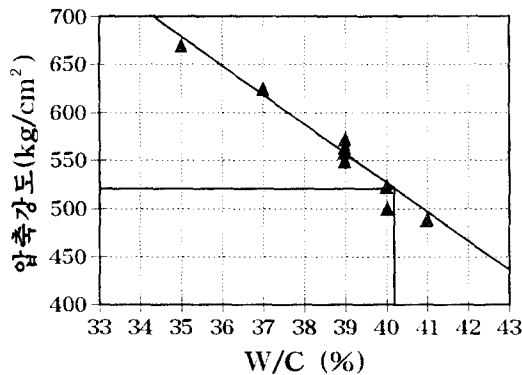
소정의 유동성(120분 경과후 slump치 18±2.5cm, slump flow치 35±5cm)을 만족하는 경우는 혼화제 첨가량이 1.5%이상이며 s/a비는 46%~47%일때였다. 혼화제 첨가량이 1.5%미만이면 유동성확보에 문제가 있으며, 혼화제 첨가량이 과다하면 콘크리트의 골재분리현상이 나타나는 경향을 보였다. 또한 S/A비가 46%일때 유동성확보 및 골재분리저항성이 있었으며, 이 범위를 벗어나면 골재분리현상이 나타나고 유동성저하도 발생하였다. 따라서, 모든 경우의 강도발현도에 주안점을 두지않고 위의 조건을 만족하는 case에 대한 강도발현도 여부를 고찰하는 것을 기본으로 하였다. 압축강도시험은 3일, 7일, 28일에 각각 실시하였으며, W/C비에 따른 28일 압축강도는 다음의 <그림 1>에 도시하였다. 이를 보면 W/C비가 46%~47%일때 소정의 압축강도인 390 kg/cm²이 발현되는 것으로 나타났으며, W/C비가 이보다 낮으면 과다한 배합설계가 되고, 이보다 낮으면 소요의 강도확보에 문제가 있었다.



<그림 1> W/C비에 따른 28일 압축강도

(2) 400kg/cm²인 경우

300kg/cm²의 경우와 동일한 방법으로 W/C비를 고정하여 소요의 유동성을 확보할 수 있는 혼화제첨가량과 S/A비를 결정하고 이를 바탕으로 소요의 강도가 발현되는 W/C비를 도출하였다. S/A비가 44%이고 혼화제첨가량이 1.55%일 경우가 유동성 확보에 유리한 것으로 나타났다. W/C비는 40%인 경우가 유동성 및 강도발현에 유리한 것으로 나타났으며 W/C비가 41%인 경우는 단위시멘트량을 증가시키면 강도발현에 문제가 없는 것으로 나타났다. <그림 2>에 이상의 결과를 도시하였다.



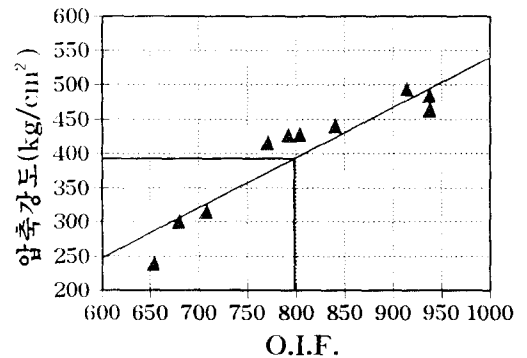
<그림 2> W/C비에 따른 28일 압축강도

3.2.2 O.I.F.⁽²⁾(Omega Index Factor)에 의한 결과

(1) 300kg/cm²인 경우

결정한 W/C비에 대해 단위시멘트량을 결정하기 위하여 O.I.F.(단위시멘트량/물시

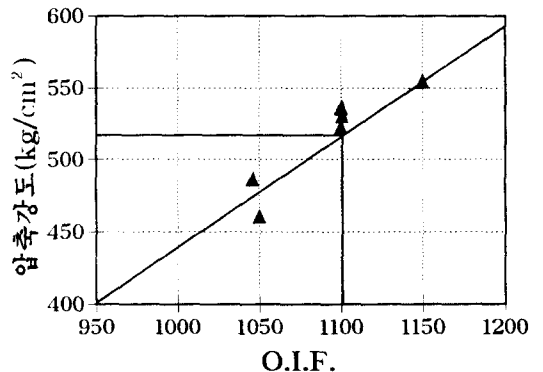
멘트비)를 사용하였다. 다음의 <그림 3>은 O.I.F.에 대한 28일 압축강도를 도시한 것으로 O.I.F.값이 800정도일때 소요의 강도를 만족하는 것으로 나타났다. 다른 조건이 동일한 경우 O.I.F.값을 증가시키면 강도발현도와 유동성확보 측면에서는 유리하나 단위시멘트량이 증가되어 수화열에 의한 피해와 경제성 등에 문제가 예상되어 소요의 품질관리수준을 만족하는 범위내에서 가능한 작은 O.I.F.값을 사용하는 것을 기본으로 하였다.



<그림 3> O.I.F.에 따른 28일 압축강도

(2) 400kg/cm²인 경우

300kg/cm²의 경우와 동일한 방법으로 단위시멘트량을 결정하기 위하여 O.I.F.값을 이용하였으며, O.I.F.값이 1100전후에서 소요의 강도를 만족하는 것으로 나타났다. 다음의 <그림 4>에 O.I.F.에 대한 28일 압축강도를 도시하였다.



<그림 4> O.I.F.에 따른 28일 압축강도

3.3 배합비 결정

실제 시공에 사용할 배합비는 전술한 실내실험을 토대로 현장시험시공을 실시한 후 이들을 종합하여 최종배합비를 선정하는 방법으로 진행하였다. 300kg/cm²의 경우는 최종배합비를 선정하여 실제 시공이 이루어지고 있으며, 최종배합비는 아래와 같이 결정하였다. <그림 1>의 회귀분석결과 배합강도 390kg/cm²에 해당하는 W/C 비는 46.2%였으며, 이를 현장시공의 기본비로 결정하였다. 또한, S/A비는 유동성 확보에 유리한 46%로, O.I.F.는 <그림 3>과 같이 강도발현이 가능하고 유동성이 확보되는 범위에서 단위시멘트량이 최소가 되는 820으로 결정하였다. 400kg/cm²의 경우는 현재 현장시험시공을 완료하였으며 실내실험의 결과와 현장시험시공의 결과를 종합하여 W/C비 40%, S/A비 44%, O.I.F. 값 1100을 최종배합비로 결정하였다. 다음의 <표 6>에 결정한 최종배합비를 나타내었다.

<표 6> 최종배합비

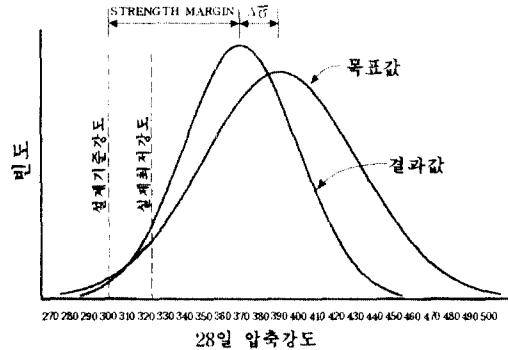
배합강도		390 (kg/cm ²)	520 (kg/cm ²)
W/C비	(%)	46.2	40.0
S/A비	(%)	46.0	44.0
혼화재	(%)	1.55	1.55
시멘트	(kg/m ³)	379	438
물	(kg/m ³)	175	175
잔골재	(kg/m ³)	813	756
굵은골재	(kg/m ³)	980	989

4. 현장시공

현장의 실제시공을 위한 배합비는 전술한 바와 같이 실내실험의 결과와 현장실험의 결과를 종합하여 결정하였다. 지금까지의 상황은 300kg/cm²강도의 콘크리트의 경우 최종배합비를 결정하여 95년 4월 19일 최초로 198m³을 타설한 것을 시작으로 동년 8월 7일까지 4500여m³의 타설이 진행되고 있다. 400kg/cm²강도의 콘크리트의 경우 42m³의 현장시험시공을 실시하였다.

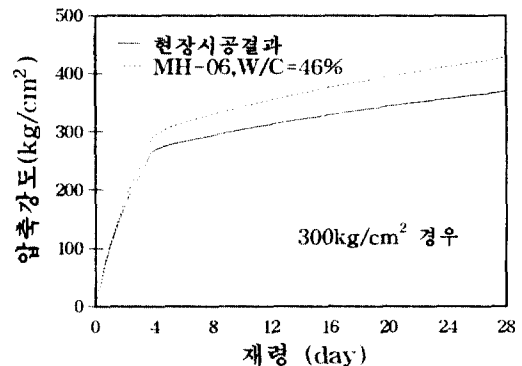
4.1 강도

현장시공시 콘크리트의 압축강도시험은 재령 7일과 28일에 실시하고 있으며, 현재까지 설계기준강도에 미달하는 경우는 없었다. 28일 압축강도평균값은 370kg/cm²이고, 표준편차는 28kg/cm²이었다. 품질관리수준이 양호하여 변동계수의 값이 당초 예상했던 14%의 절반 정도인 7.6%로 나타났으며, \bar{x} -R관리도를 이용하여 계속적인 품질관리를 실시하고 있다. 다음의 <그림 5>에 예상강도분포와 지금까지 시공시의 압축강도결과분포를 나타내었으며, <그림 6>에 재령에 따른 강도발현을 나타냈다.



목표수준	V _i : 14.0%	std. : 54.6	\bar{x} : 390
결과값	V _i : 7.6%	std. : 28.0	\bar{x} : 370
차이		Δ std : 26.6	$\Delta\bar{x}$: 20.0

<그림 5> 강도분포도(300kg/cm²)

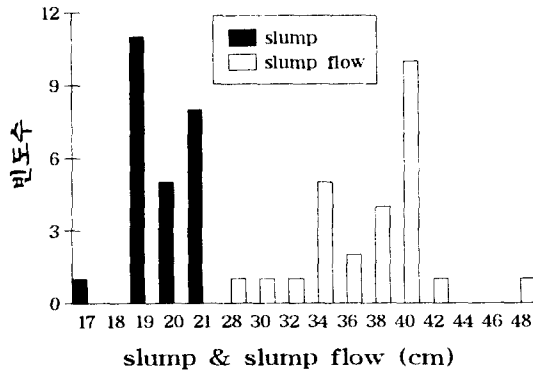


<그림 6> 재령에 따른 강도발현도

4.2 유동성

유동성의 기준으로 slump치와 slump flow치를 측정하였다. 다음의 <그림 7>에

측정결과를 도시하였다. <그림 7>에서 보듯이 slump치는 19~21cm에 분포하고 있으며, slump flow치는 34~40cm사이에 분포하고 있다. 이는 목표한 품질관리수준을 충족하는 수치로, 실제 지금까지의 시공에서 콘크리트의 유동성이 문제가 된 경우는 없었다.



<그림 7> slump와 slumpflow 분포도

4.3 기타

고강도콘크리트를 혼화제만을 이용하여 제조하고 있으므로 혼화제 품질의 균일성이 우선시된다. 따라서, 혼화제 입고시마다 혼화제의 검수를 실시하고 있다. 또한, 콘크리트의 품질관리를 위하여 현장품질관리지침을 마련하여 시행하고 있다. 현장시공시 표면부 균열의 제어를 위해 살수를 실시하고 있으며, 양생포를 이용하여 양생을 실시하고 있다. 콘크리트의 유동성 지속시간이 너무 길면 마감작업에 문제점이 발생하므로 이에 대한 고려도 필요하다.

5. 결론

설계기준강도 $300\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 400\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 콘크리트를 지상 36층 주상복합건물에 실제 시공한 본 연구를 통하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) 운반시간 1~2시간인 경우 레미콘에 의한 고강도콘크리트의 현장시공이 가능하며, 혼화제를 후첨가에 의하지 않고 적절한 유동성확보 및 강도확보도 충분히 가능하

였다.

(2) 실리카흄이나 플라이애쉬 등의 혼화제를 사용하지 않고 고성능감수제만을 이용하여 콘크리트의 유동성을 증가시켜 W/C비를 낮춤으로써 배합강도 $520\text{kg}/\text{cm}^2$ 이하의 고강도콘크리트를 레미콘에 의해 타설하는 것이 가능하였다.

(3) 콘크리트의 구성재료가 변하면 동일한 배합설계에도 콘크리트의 제성질이 변화하므로 반드시 사전배합실험을 실시하여 콘크리트의 제성질을 파악해야 한다.

(4) 동일한 배합의 콘크리트라도 계절적 요인(온도, 습도 등), 콘크리타설여건(레미콘의 운반시간, 재료의 변화 등)의 변화 등의 요인에 의해 콘크리트의 성질이 변화하고 강도가 높은 콘크리트일수록 이러한 영향이 커지므로 여건에 따른 배합비 변경을 실시하여야 한다.

(5) 본 연구에서는 레미콘공장의 기존설비를 이용하여 고강도콘크리트의 제조를 성공하였는 바, 레미콘공장의 추가설비증설이 없어도 즉시 고강도레미콘의 실용화가 가능하다.

(6) 유동성의 지속시간이 필요이상으로 길면 콘크리트의 마감작업착수가 지연되어 공기에 문제점이 생길수 있으므로 이를 적절히 보완할 필요가 있다.

(7) 레미콘에 의한 콘크리트의 타설은 콘크리트품질에 영향을 끼치는 요인이 많고, 특히 강도가 높은 경우 이런 변동폭이 크므로 현장품질관리를 위한 체계적인 관리기법의 도입과 꾸준한 시행이 필요하다.

참고문헌

- 1) 소현창 외 3인, "1200kg/cm²초고강도 콘크리트에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, Vol.6, No.2, 1994, 133~136pp.
- 2) Vance H. Dodson, "CONCRETE ADMIXTURES", VAN NOSTRAND REINHOLD, 1990, 28-32 pp.