

분당 三星 초고층 APT에 500kg/cm² 이상의 고강도 콘크리트 시공 및 구조적 연구

申 成 雨

漢陽大 建築工學科, 조교수, 공박

1. 서론

1.1 배경

신도시에서의 초고층 건축 구조물, 장지간 교량, 그리고 해양 구조물 등 일반 개념과 다른 특수 구조물의 출현으로 국내에서도 이의 합리적 달성을 위한 다각도의 연구가 진행되어 왔다. 따라서 Total Engineering 개념에 따른 합리적 구조 System의 일환으로 분당 시범단지 내 삼성 초고층 APT(28층: 지하 1층: 옥탑 2층)에 이번에 현장 타설 공법에 의해 500kg/cm²/28일 강도의 콘크리트를 배합, 타설, 양생 그리고 시공을 하였으며 이들의 구조적 거동을 연구하였다. 결과는 성공적으로 목표로 하는 500kg/cm²의 강도를 현장타설 시험용 벽체의 Coring 공시체로부터 얻을 수 있었다.

이번 과제는 삼성종합건설 기술연구소의 위탁과제를 필자와 함께 산·학협동에 의해 진행되었다.

1.2 국내 고강도 콘크리트 타설현황

근래에 일부 선진 외국에서는 고강도 콘크리트에 관한 집중투자에 힘입어 미국에서는 Two Union Square 빌딩에 1330kg/cm²(1987)까지의 고강도를 사용한 실적이 있으며 시카고 지역에서 만도 40층 이상의 철근 콘크리트 건물 20여개가 고강도 콘크리트(630kg/cm²이상)에 의

해 건축되었다.⁽¹⁾

이웃 일본에서는 80년대 중반까지는 지진에 대한 두려움 때문인지 이분야에 대한 열기가 적었으나 1988년부터 New RC계획에 의해 건설성, 동경대 그리고 기업체 연구소등의 협동에 의해 1992년까지 1000kg/cm²이상의 초고강도를 목표로 70만 달러를 투자중에 있다.

국내에서는 이를 위하여 대학(한양대, 중앙대, 충남대 등), 기업체 연구소(삼성, 쌍용, 대우, 대림 등)등에서 이를 위한 연구가 시행되어 왔으나 실제 시공을 위한 연구가 부족한 실정이었다. 지금까지 국내에서 건축공사 표준시방서⁽²⁾의 고강도 콘크리트 기준인 270kg/cm² 이상을 사용한 예는 Lucky Twin tower(1985년)에 280kg/cm²의 강도가 그리고, 88올림픽 대교 슬래브(1985)등에 400kg/cm²의 강도가 타설되었으나, 이후 1990년까지 거의 진척이 없었으나, 이번에 삼성 분당 초고층 아파트(28층) 109棟 하부에 500kg/cm²강도의 고강도 콘크리트를 타설 시공함으로써 일단 국내에서도 고강도 콘크리트의 선진화가 시작된 것 같다.

국내에서 현재까지 구조물에서의 고강도 콘크리트 적용실태는 다음과 같다.

1.2.1 건축 구조물에서의 국내현황

건설부 제정 건축공사 표준시방서(1986년)에 고강도 콘크리트의 정의가 270~360kg/cm²범위로 한정되어 있어서인지 국내에서 건축물에서의 고강도 콘크리트 적용은 극히 미미하다. 이

는 1985년에 Lucky Twin Tower에 280kg/cm²의 콘크리트를 사용한 이후 1990년 분당 시범 초고층 아파트에 300kg/cm²의 강도가 사용될때까지 거의 발전이 없었던 경우로 보아 알 수 있

으나 이번에 삼성 분당 초고층 APT(109棟)에 500kg/cm²를 시공함으로써 콘크리트 강도 및 품질면에서 획을 그은 평가로 간주될 수 있다. 지금까지 국내에서의 실적은 Table 1과 같다.

Table 1. 國內 高強度를 사용한 建築物

工事名	發注處	施工會社	時期	強度	備考
Lucky Twin Tower	럭 키	럭키 開發	1985	280	
올림픽水泳場	서울 시	코오롱建設	87.10	400	psst-tension
랜드로바	랜드로바	韓逸 建設	87.3	流動性日的	
영등포支店	國民投資神託	(耐) 新 星	89.11	300	
마포 社屋	韓國信用流通	(耐) 大 宇	89.12	300	post-tension
盆塘 示範 超高層아파트	三星, 現代, 漢陽, 우성等	三星, 現代, 漢陽, 우성等	90.	300	일반 R.C.
三星 盆塘 超高層아파트	三 星	三星綜合	90.	530	일반 R.C.

(強度 ; kg/cm²)

1.2.2 토목구조물에서의 국내 현황

Table 2. 國內 高強度를 사용한 土木 構造物

工事名	發注處	施工會社	時期	強度(kg/cm ²)	備考
88올림픽大橋	서울 시	裕元建設	85.12-89	400	슬라브에使用
팔 당 大 橋	京畿道	裕元建設	86.3-89	400	주두부, 슬라브
수 석 橋	京畿道	公營建設	87.5-89.1	400	
반 계 橋	慶北道廳	삼표産業	88.3-	400	Beam
城北陸橋	鐵道廳	삼표産業	88.3	400	
길 음 橋	城北區廳	(兪)三湖	88.4	400	
원곡立體橋	水資源	高麗開發	88.4	400	
新 용 산 地下車道	鐵道廳	新東亞 綜合建設	87.6-12	350	
하 동 I C	進路工事	漢 陽	87.10	400	
대 영 로 高街道路	釜山市	東亞建設	89.4	350	
蔚山鐵道移設	蔚山市 鐵道廳	(兪)大宇	89.4	400	
올림픽大橋 北側連結道路	서울 시	裕元建設	89.5	400	
노량大橋	서울 시	進興企業	89.10	400	

국내에서 고강도 콘크리트의 토목 구조물에 의 적용은 고강도 목적 이외에도 유동성의 향상, 보의 흠이나 마모에 대한 저항을 줄이기 위하여 장 span교량 등에 1980년대 중반부터 사용되어 왔으며, 프리 스트레스트 교량에는 조기강도의 목적으로 이용되고 있다. 시공실적에서 보면 88올림픽 대교(1985)에 400kg/cm²을 사용한 이후부터 89년 노량대교에 400kg/cm²을 사용할 때까지 강도에 의한 진척이 전혀 없는데⁽³⁾ 이는 콘크리트에 관계없는 모든 사람들의 책임이 아닌가 싶다. 국내에서 고강도콘크리트를 사용한 실적은 다음의 Table 2와 같다.

2. 高強度 콘크리트 施工

2.1 추진계획

국내에서 처음으로 500kg/cm²이상의 고강도를 분당 신도시의 초고층 아파트(지상 28층)에 타설한다는 것은 사전에 면밀한 계획 수립이 요구되었다. 이는 실제 이러한 고강도를 타설해 본 경험이 없다는 심리적 불안감 이외에도 연구자료의 부족 및 훈련된 기능인력 등이 없기 때문이었다. 따라서 이를 위하여 연구원의 체제확 교육이외에도 2번의 Pilot test를 Batch Plant에서 해본후 실제 타설에 들어갔다. 물론 Pilot test 이전에는 재료선정을 위한 재료시험과 실험실에서의 최적 배합비 도출을 위한 재

료 및 배합시험이 선행되었다

2.2 재료특성 500kg/cm² 이상의 고강도를 제조하기 위해서는 재료선정에서부터 주의하여야 한다. 이는 재료 자체의 강도도 중요할 뿐만 아니라 상호최적 양립성 역시 고려되어야 하기 때문이다. 본 과제에서 사용된 재료의 선정과정 및 특성은 다음과 같다.

2.2.1 시멘트

양질의 시멘트가 고품질의 콘크리트를 만드는 것은 당연하다. 이들은 각 종류별, 회사별 그리고 국내용이나 수출용이나에 따라서도 그의 특성이 달라지고 있기 때문에 그 목적에 따라 그 종류를 신중히 선택하여야 한다⁽⁴⁾. Table 3에서는 S社 시멘트의 수출용과 국내용에 대한 품질특성이, 그리고 Table 4에는 Cubic 시험 결과가 나타나 있다. 대개 전재량을 거쳐 수출용이 얼마간 우수함을 보여주고 있어 국내용 시멘트의 품질개선이 고강도 콘크리트를 위하여 시급히 개선되어야 함을 알 수 있다.

미국 ACI 363(고강도 콘크리트 분과 위원회)⁽¹⁾에서는 후기 강도의 불리한 점 때문에 3종을 제외한 1종, 2종, 그리고 4종에 주의 여건에 맞는 것을 선정하도록 권고하고 있다.

따라서 본 실험에서는 1종을 대상으로 조기에 S社 시멘트가 추진되었으나 후에 시멘트

Table 3. Cement의 品質 試驗 結果(S社 遂行)

구분 種類	比重	粉末度 (cm ³ /g)	凝 結		Soundness Expansion (%)	Insol. (%)	Ig.Loss (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
			初結	終結					
國內用	3.15	3,200	260	6 : 30	0.13	0.27	1.1	2.8	2.0
輸出用	3.14	3,520	230	6 : 20	0.10	0.10	1.0	3.4	2.2

Table 4. S社 시멘트의 壓縮強度 試驗結果

區 分 種 類	壓縮強度(kg/cm ²)			
	1 日	3 日	7 日	28 日
國內用(TYPE I)	95.0	204.0	283.0	367.0
輸出用(TYPE II)	100.0	230.0	340.0	415.0

수급의 문제때문에 D社의 것으로 추진되었다. 이때 고강도의 발현을 위하여 단위 시멘트량을 외국에 비하여 비교적 높게 잡도록 하였다.

2.2.2 조골재(粗骨材)

본 과제를 위한 조골재는 수도권에서 쉽게 구할 수 있는 지역에 한정하여 골재를 채취, 조사하였다. 조사대상 조골재로는 쇠석의 경우 G, B, A產을 대상으로 하였으며, 이들의 시험 결과는 Table 5에 나타나 있으며, 최종적으로 G產골재가 선정되었다.

조골재의 최대 크기는 콘크리트의 압축강도가 高強度化 될수록 작아지는 편이 효과적이다. 따라서 13mm, 19mm, 그리고 25mm중에서 13mm가 가장 효과적이거나 소요 시멘트량의 증가 이외에도 시중에서 25mm골재에 비하여 母岩의 단위 용적당 쇠석골재의 생산량이 상당히 적어 대규모 사용이라는 실용화 측면에서 경제적 短點을 가지고 있으므로 G產 25mm골재를 선정하게 되었다.

Table 5. 碎石 粗骨材의 品質試驗 (최대치수 : 13mm)

試驗項目 產地	F.M	比重	吸水率 (%)	마모율 (%)	압축강도 (kg/cm ²)	비고
G 產	6.15	2.62	0.5	14.5	1050	편마암
B 產	6.3	2.6	1.06	18.9		혈암포함
A 產	6.2	2.54	1.2			석영질

2.2.3 細骨材

본 실험에 사용된 細骨材는 여주 아포產 강 모래로 KS시험법에 따른 물리적 특성은 Table 6과 같다.

Table 6. 細骨材의 品質試驗

產地	比重	吸水率(%)	F.M.
여주아포	2.618	0.81	3.1

2.2.4 고성능 감수제(S.P.제)

콘크리트를 고강도화하는 데는 낮은 W/C와 높은 單位 Cement量이 要求된다. 따라서 고강도 콘크리트에 높은 감수효과 및 유동성을 부여하기 위해서는 고성능 감수제나 고유동화제의 使用이 필수적이다.

현재 국내에서 시판되고 있는 S.P.제 가운데 비교적 성능이 우수하다고 판단되는 나프탈렌계의 Super-20, Might-150, Safetyment 3種을 선택하여, 비교시험을 수행하였으며 각 제품 성분은 Table 7과 같다.

Table 7. 高性能 減水劑의 特徵

區分 種類	形態	主成分	比重(20℃)	pH	固形分	標準使用量
Super-20	暗褐色液體	Naphthalene Polymers	1.21	8.67	41.47	시멘트重량의 0.4-3.0(%)
Mighty150-RX	暗褐色液體	Naphthalene Polymers	1.19	9.1	40.70	시멘트重량의 0.6-2.4(%)
Safetyment	暗褐色液體	Naphthalene	1.20	8.1	78.40	시멘트重량의 0.5-1.0(%)

본 실험에서는 최종적으로 Grace社의 Super 20을 사용하였다.

2.3 現場實驗

실험실에서 행한 재료 선정 시험과 압축강도의 결과를 가지고 현장 Pilot test를 통하여 고강도 콘크리트의 제조 및 강도발현성상, 그리고 시공성의 확인은 高強度콘크리트의 實用化를 위한 필수 단계의 하나이다. 따라서 본 과제에서는 현장 여건에 적합한 高強度콘크리트를 現場의 Bathch Plant에서 제작하고, 이를 레미콘 트럭으로 운반하여 실제 시공에 문제점이 없는 高強度콘크리트를 제작하도록 다음과 같이 실시하였다.

2.3.1 1次 Pilot test

1차 현장 실험은 신갈-안산 고속도로 삼성 Batch Plant에서 시행되었으며 주요 추진 변수는 다음과 같다.

(1) 주요 관찰 사항

- 가. 물-시멘트비(동양시멘트 1종), 잔골재율.
- 나. 혼화제 투입량, 투입방법
- 다. 수송과정, 레미콘 트럭 狀況
- 라. Batch Plant 여건
- 마. 슬럼프, 경시변화

바. 압축강도

(2) 실험계획 및 방법

배합비의 주요변수로서 目標強度를 500kg/cm²로, 배합강도 600kg/cm²을 目標로 정하고 시공성 확보 측면에서 개시후 60분까지 유동성을 확보할 수 있도록 하는데 主眼點을 두었다. 주요 추진 변수로서 W/C=0.3~0.4, 시멘트量: 500~600kg/cm² 잔골재율: 0.3~0.4, 그리고 S.P.제 0.75~2%를 대상으로 주요 관찰 사항이 조사되었다.

(3) 실험결과 및 분석

상기 실험변수에 의거 각 Batch마다 슬럼프 경시 변화 측정후 공시체를 제작하였으며, 제작된 시험체는 현장 여건을 同一하게 하기 위한 현장 양생과 표준 수증양생으로 나누어 재령 3, 7, 28, 56日에서 압축강도가 측정되었다.

시험결과 고강도 콘크리트의 경우는 보통 강도콘크리트에 비해 재령 28일을 강도 100으로 볼 때 재령 7일에서 약 82~92% 정도의 높은 강도 발현을 나타내어 콘크리트의 초기양생이 보통 강도 콘크리트보다 고강도 콘크리트의 경우에 미치는 영향이 큼을 시준해 주고 있다. 시험 결과 제작 후 현장도착시간 中 발생한 Slump Loss를 고려하여, 양호한 슬럼프 (18

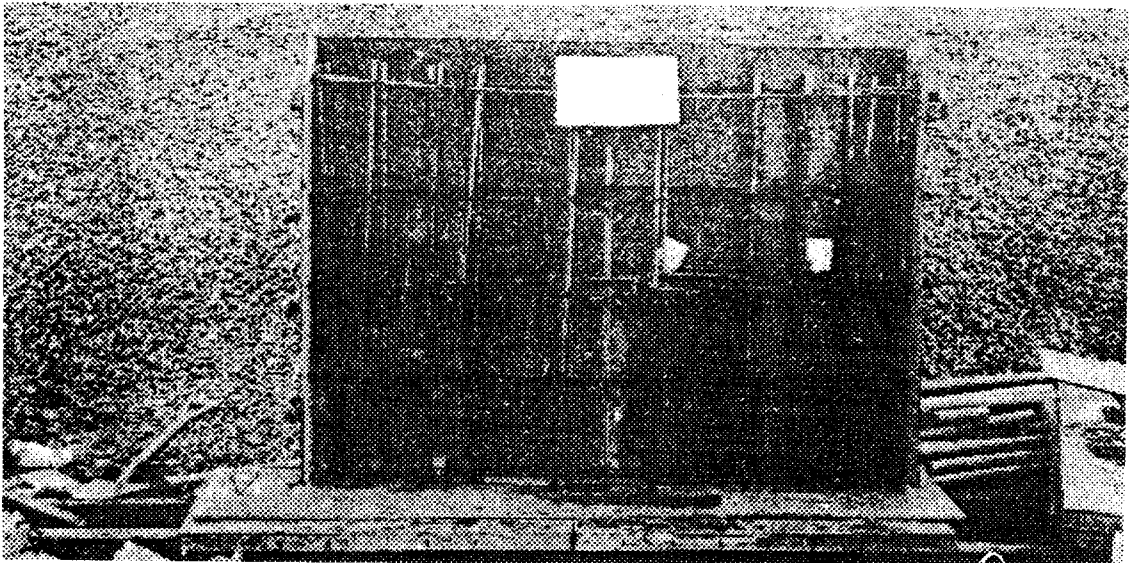


Fig.1. 벽체 모델 전경

~22cm)를 확보하기 위하여 S.P.제량을 1~1.5 %범위로서 분산 투여 방법이 적합한 것으로 판명되었다.

2.3.2 2次 Pilot Test

(1) 주요 관찰 사항

신갈-안산 고속도로 현장에서의 Trial Test 결과로부터 얻은 최적 배합비를 실제 타설 현장인 분당 APT로 옮겨 實打設前에 현재의 현장조건에서 콘크리트의 압축강도 및 시공성을 재확인하며, 이에 따른 배합설계 조정에 목표를 두었다.

압축강도를 확인하는데 있어서 본 실험에서는 공시체 강도측정 뿐만 아니라, 실제 벽체를 제작, 현장에 방치함으로써 현장과 동일한 양생조건이 되도록 하였다. 각 측정 재령마다 실험벽체로부터 Core를 채취, 시험하였으며 온도 측정 계지를 내부에 매립하여 실제 구조물에서의 고강도 콘크리트 내부온도를 조사하였다.

(Fig.1 참조)

(2) 실험계획 및 방법

시멘트는 분당 APT에 사용 예정이었던 S社 포틀랜드 시멘트 1종을 사용하였으며 粗骨材는 최대골재치수 25mm인 쇄석으로서 비중 2.75, 흡수율 0.53%, F.M. 6.87의 물리적 특성을 갖고 있으며, 細骨材는 여주 이포産 江모래로서 비중 2.618, 흡수율 0.81%, F.M. 3.10의 물리적 특성을 지니고 있다. 콘크리트의 유동성 확보를 위하여 Grace 社(Super-20)의 고성능 감수제를 사용하였다.

(3) 實驗結果 및 考察

가. 슬럼프 경시변화

슬럼프의 經時變化와 S.P.劑 追加投與에 따른 流動性 增加에 對한 實驗結果는 Table 8과 같으며, 다시 Fig. 2에 나타나 있다.

Table 8의 結果로부터 時間經過에 따라 Slump Loss가 發生해도 7-10cm 程度의 基本

Table 8. 슬럼프 經時變化 測定結果

區 分	直 後	15分 經過	30分 經過	45分 經過	75分 經過	100分 經過
SLUMP(cm)	19.0	11.0	8.0	18.0	13.0	8.0

S.P.劑 0.2% 追加投與
供試體 製作
實驗壁體 打設

의인 슬럼프를 維持하고 있으면 現場에서 S.P. 劑를 少量 投與함으로써 다시 良好한 슬럼프를

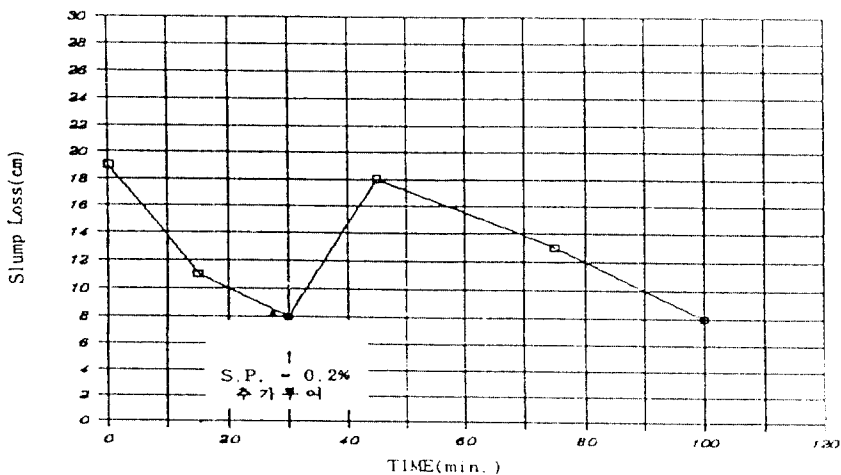


Fig. 2. 時間經過에 따른 슬럼프 損失

얻을 수 있음을 알 수 있다. 그러나 이 追加 投與量은 配合條件 및 狀況에 따라 다르므로 尙後 集中的인 實驗이 要望된다.

나. 壓縮強度

콘크리트 供試體 및 Core 供試體의 壓縮強度 測定結果는 各各 Table 9와 같다. 村齡 28 日에서 壓縮強度 水中養生, 自然養生, Core모 두가 目標強度 500kg/cm²을 훨씬 上廻하고 있어 良好한 強度 增進을 보이고 있다. 強度 發現은 水中>自然>Core의 順이나 水中과 Core의 差異가 6.0% 以內로 發現하고 있어 上當히 良好하다고 判斷되나 打設時 打設 찌꺼기의 早

速한 除去等 施工時 注意가 要望되며 施工 不良으로 인한 割石時 上當한 어려움이 있을 것으로 判斷되어, 高強度 콘크리트를 實用化하기 위해서는 割石없는 精密한 施工이 되어야 할 것이다. 또한 高強度 콘크리트의 境遇가 普通強度 콘크리트보다 오히려 流動性이 좋아 短期間에 많은 量이 吐出되므로 거푸집에 充分한 剛性이 確保되어야 한다. 거푸집 脫型後 脫型面 역시 普通強度 콘크리트보다 매끄럽고 깨끗하므로 이와 같은 高強度 콘크리트의 長點을 살릴 수 있는 거푸집 使用이 上當히 重要함을 알 수 있다.

Table 9. 2次 PILOT TEST 壓縮強度 實驗 結果

養生條件	強度	壓縮強度 (kg/cm ²)					備考 <3>	
		1日	3日	7日	28日	56日		90日
自然養生		341.0	386.0	473.4	583.4	594.5	643.3	643.9
	(%)	58.5	66.2	81.1	100.0	101.9	110.3	-
水中養生		341.0	413.6	499.1	574.1	608.1	614.4	-
	(%)	59.4	73.0	86.9	100.0	105.9	107.0	-
CORING<2>		-	393.6	468.6	536.6	-	-	-
	(%)	-	73.4	87.5	100.0	-	-	-

註) <1>. 各 強度는 10×20cm 10個 供試體의 平均強度
 <2>. COPING強度는 上, 中, 下部의 平均
 <3>. 10×30cm 3個 供試體의 平均

다. CORE TEST

코아 採取된 供試體의 實驗結果가 Table 10에 있다. 上, 中, 下部에서 3日과 7日에서의 強度가 別船 差異가 없으나 中部가 上部와 下部보다 높아 上, 下部 打設時 緊密한 品質管理가 要求되고 있다.

3. 現場打設

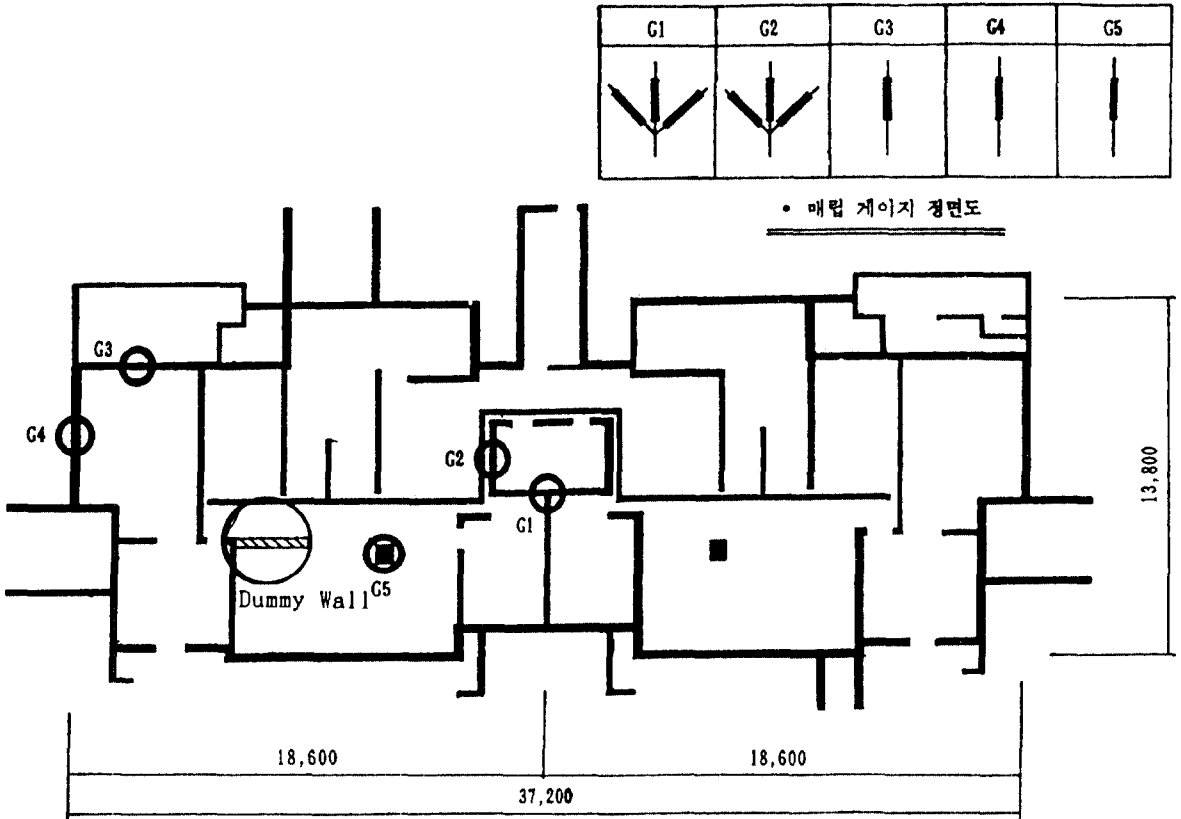
3.1 工事概要

본 Project를 위하여 使用된 분당 시범 단지 내 三星 초고층 아파트 109棟의 공사 개요는 다음과 같으며, 타설을 위한 평면도 및 게이지 측정 위치는 Fig. 3에 나타나 있다.

Table 10 2次 PILOT TEST(CORE TEST) 結果

位置	材 齡	壓縮強度 (kg/cm ²)		
		3 日	7 日	28 日
上部(31cm)		394.7	458.1	-
中部(92cm)		399.5	494.0	-
下部(132cm)		386.6	469.6	536.6

註) 壓縮強度는 10×20cm 供試體의 3個의 平均임



주) (1) G1, G2, G3, G4, G5 : 콘크리트 永久變形 測定用 콘크리트 게이지 埋立位置
 (2) Experimental Wall (2M X 4, 8M X 0.2M)

Fig. 3 평면도 및 게이지 매립위치

목표강도 : $F_c \geq 500 \text{ kg/cm}^2 / 28 \text{ 일}$.
 공사명칭 : 분당 시범단지 삼성 초고층 APT.
 공사위치 : 경기도 성남시 분당 시범단지
 109동(비교 : 110동)
 시 공 : 삼성종합건설 (소장 : 최병천)
 공사기간 : 1990년초 ~ 1991년 후반
 용 도 : 초고층 집합주택
 주요구조 : 철근콘크리트 내력 벽체식구조.
 대상부의 : 지하층(층고=4.8m, 벽체두께=200
 250
 400mm
 -벽, 기둥, 슬래브.
 바닥면적 : 546㎡
 거푸집 : Euro Form

3.2 測定計劃

3.2.1 압축강도 측정계획

고강도 콘크리트의 특성을 전형적으로 나타내고 있는 압축강도의 측정을 위하여 원통형 공시체(크기 : $10 \times 20 \text{ cm}$, 혹은 $15 \times 30 \text{ cm}$)를 수중과 현장에서 구분하여 양생하였으며, 109棟에 실험벽(dummy wall)을 타설한 후 Coring하여 실제벽체의 강도를 조사하였다.(Fig. 1 참조) 측정 재령은 1, 3, 7, 28, 56, 90일로 하였다. 그리고 실험벽 Core편은 각 측정 재령에서 上, 中, 下部로 강도를 서로 비교하여 한 부재 내에서 타설 위치에 따른 차이를 조사하였다.

3.2.2 실제 구조체 변형 측정 계획

構造物이 超高層化 및 多樣化 됨에 따라 實際 構造物의 下部에 作用하는 應力 및 變形은 매우 클 것이며, 같은 層에서도 位置에 따라 받는 應力은 다를 수 있다. 만일 이러한 不均衡 應力이 또다른 變形을 誘發하면 豫相 以上の 비틀림 등 構造體의 不安全한 要素로 남게 된다. 그러나 國內에서는 아직 이에 對한 資料가 전혀 없으며 事實上 주먹구구식의 設計(構造)가 되고 있으며, 이를 考慮한 施工計劃도 없다해도 過言이 아닐 것이다. 따라서 本 研究에서는 超 高層棟(層數: 28) 109棟(打設 強度: 500kg/cm²), 110棟(打設 強度: 300kg/cm²)을 選定하여 Fig. 3의 位置에 每層의 構造가 施工되기 前後 및 全層이 完工된 後에도 繼續的인 變形 測定을 할 수 있는 永久 變形 게이지를 埋立하여 高強度 콘크리트의 境遇와 普通 強度 콘크리트의 境遇를 比較할 수 있도록 計劃했다.

埋立 Gauge 測定位置는 Fig. 3에 보는 바와 같이 剪斷壁(Shear Wall) X, Y 方向에 G1, G2를 각각 埋立하였다. 그리고 外壁(External Bearing Wall)에 X, Y 方向에 垂直으로 G3, G4를 埋立하였으며, 앞으로의 보-기둥 骨組 構造體의 境遇를 對備하여 G5를 기둥 部位에 埋立하였다. 各 埋立 位置는 바닥 슬라브로부터 1.5m 上部 位置에 設置에 Gauge를 保護 鐵網을 윗 部分에 設置하였다.

Gauge의 測定은 Lead Wire를 壁體 外部로 誘導하여 한 곳에서 모아 測定하도록 하였으며 콘크리트 打設 後 2日까지는 每 2時間마다, 그리고 1週日까지는 每日, 그 以後에는 各 層이 追加될 때마다 以前과 以後에 測定되도록 하였다.

埋立 Gauge는 Vibrating Wire Strain Gauge로서 Model VCE-4200을, 그리고 測定裝置는 vibrating Wire Read Out Box로서 Model GK-402를 使用하였다.

3.2.3 실제 구조체 콘크리트 내부 온도 측정계획

콘크리트 配合計劃에서 콘크리트 內部 溫度가 32°C 以上이면 晝中 콘크리트(Hot Weather Concrete)의 概念에 따라 設計하도록 되어 있다.

이는 콘크리트 內部 溫度의 上昇時 發熱에 따른 乾燥 및 收縮變形이 一般 콘크리트의 그것보다 높아 콘크리트에 害를 줄 수 있기 때문이다.

本 研究에서의 高強度 콘크리트 製造에서는 많은 시멘트量 때문에 높은 水和熱 등의 可能性이 있으며, 이들은 比較的 두께가 두꺼운 壁體 下部 壁에 打設될 豫定으로 되어 있어 實際 構造體에서의 內部 溫度를 測定하기 위하여 變形測定과 同時에 溫度도 測定할 수 있는 埋立 게이지를 使用하였다. 埋立 位置와 測定計劃 및 與件은 變形 게이지 位置와 같다. 比較 資料를 위하여 另 110棟(300kg/cm²)에도 같은 方法으로 埋立하였다.

3.2.4 타설시 여건

예정된 타설일은 8月中 50년만의 호우로 인하여 연기되었다가 8月末경에 2日정도 개인날에 타설하였다. 비 때문에 細骨材의 상태가 매우 나빴으며, 粗骨材 역시 성분과 함께 섞여 입도울조차 불분명하였다. 따라서 이들을 고려하여 배합비를 재조정하였으며, 시멘트는 國內產 D社 1종 시멘트를 본과제에는 사용하였다. 타설일 온도는 25~30°C 정도였으며, 습도는 85~90% 정도였다.

4. 實驗結果 및 分析

Fig 4에는 고강도 콘크리트 타설시 전경이, 그리고 Fig 5에는 타설후 벽면이 나타나 있다. 보통 강도의 表面에 比하여 보다 밀실하고 아름다운 색채임을 보여주고 있으며, 다음과 같은 實驗結果를 얻을 수 있었다.

4.1 압축강도

4.1.1 콘크리트 공시체

各 양생조건, 材齡에 따른 콘크리트 壓縮強度를 提示한 結果는 Table 11과 같다. 材齡 1日에서의 強度가 신갈-안산 Project의 境遇보다 多少 낮게 나타났으나 28日 強度의 50% 以上을 發現하고 있어 初期強度의 增進이 普通強度의 그것보다 매우 빠름을 보여주고 있으며, 材齡 28日에서의 壓縮強度 平均値가 目標強度 500kg/cm²를 若干 上廻하고 있음을 Table 12로

부터 알 수 있다. 材齡 7日에서의 強度가 自然養生의 境遇 28日의 74.9% 그리고 水中養生의 境遇가 84.4%에 이르고 있어 初期 養生의 重要함을 다시 한번 보여주고 있다. 그리고 7日에서의 水中養生 境遇 84.4%는 普通強度 콘크리트가 대개 70-75%에 머물고 있음에 比할 때 매우 빠른 初期 強度 發現이 일어나고 있음을 알 수 있다. 28日 以後의 強度 增進率은 떨어지고 있으나 水中養生의 境遇 56日에는 28日의 그것보다 37kg/cm² 程度 上昇되어 앞으로 標準 養生期間이 28日에서 56일로 邊境될 必要性이 있음을 알 수 있다.

4.1.2 Core 공시체

109棟 打設時 Core를 위하여 追加로 設置한 Dummy Wall(實驗 壁)로부터의 Core採取 全景이 Fig. 6에, 壓縮強度 測定結果가 Table 11에, 그리고 일반 공시체와의 比較결과 要約이 Table 12에 나타나 있다. 28日 材齡에서의 強度가 491.1kg/cm² 그리고 56日에서 535kg/cm²에 이르고 있다. 採取 部位別로 볼 때 2次 Pilot Test Model 壁體와의 結果와는 달리 下部, 上部, 中部의 順으로 下部 強度가 가장 큰데 이는 Pilot Test의 結果로부터 얻은 充分한 다짐이 下部와 上部에 이루어진 結果로 보인다.

材齡 7日의 強度가 28日 強度의 89%에 達

하고 있어 앞의 供試體 強度 境遇와 같이 매우 빠른 初期強度 發現을 보여주고 있어, 初期養生의 重要함을 알 수 있다.



Fig. 4. 高強度 콘크리트 打設時 全景

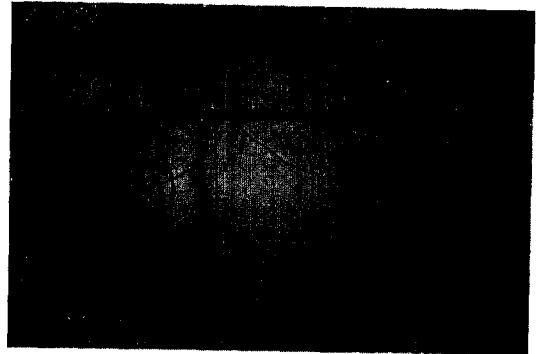


Fig. 5. 打設時 壁面

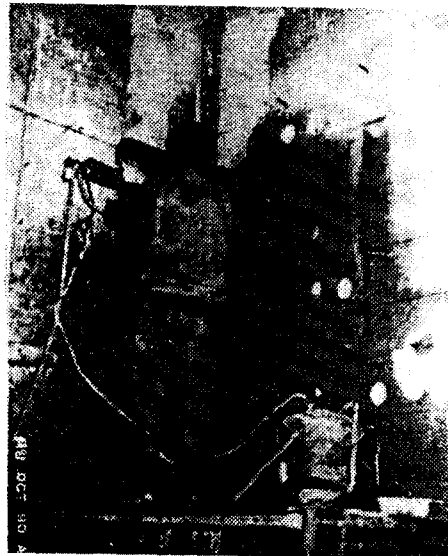
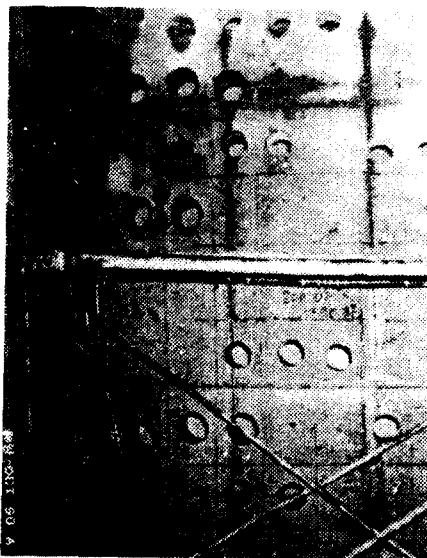


Fig. 6. 實驗壁(Dummy Wall)에서의 Core 採取 全景

Table 11

Core供試體의 試驗結果

強 度 Core No.		壓 縮 強 度 (kg/cm ²)			
		7日	28日	56日	90日
上 部	1	442.0	-	520.5	-
	2	488.3	-	537.9	-
	3	456.5	470.9	-	-
	4	395.7	479.6	-	-
	5	404.5	468.0	-	-
	平均	437.4	472.8	529.2	-
中 部	1	-	-	514.7	-
	2	-	-	521.3	-
	3	-	-	-	-
	4	436.3	502.7	-	-
	5	-	525.8	-	-
	平均	436.3	514.2	518.0	-
下 部	1	-	-	552.3	-
	2	-	-	543.6	-
	3	-	-	-	-
	4	486.3	491.1	-	-
	5	436.3	499.8	-	-
	平均	437.1	495.5	548.0	-
全體 平均(%)		437.1(89.0)	491.1(100.0)	531.7(108.3)	-

Table 12

壓縮強度 試驗結果 比較要約

強 度 養生條件	壓 縮 強 度 (kg/cm ²)						備考
	1日	3日	7日	28日	56日	90日	
自然養生 (1)	268.7	348.7	392.1	523.2	569.1	養生中	
(%)	51.4	66.6	74.9	100.0	108.6		
水中養生 (1)	268.7	371.3	423.6	501.7	544.7		
(%)	53.6	74.0	84.4	100.0	108.6		
(2)	—	—	—	—	—		
CORING (3)	—	—	437.1	491.1	531.7		
(%)	—	—	89.0	100.0	108.3		

註) (1) 10 X 20CM 供試體의 10個 平均임

(2) 15 X 30CM 供試體의 3個 平均임

(3) CORING強度는 10X20CM로써 上(3個), 中(3個) 그리고 下部(3個) 總 平均임

4.1.3 압축강도 결과 분석

以上을 미루어 볼 때 現在 使用中인 材料를 가지고 一般的인 施工方法으로 500kg/cm²以上의 高強度 콘크리트를 實用化하는데 큰 어려움은 없을 것으로 判斷된다. 但, 高強度 콘크리트를 製造하는데 가장 重要한 材料選定中 粗骨材의 品質로서 選定時 慎重을 기해야 하며, 또 취급시 不純物이 들어가지 않도록 徹底한 管理를 해야 하며, 初期 養生에 매우 有意해야 함을 알 수 있다.

向後 보다 싸고, 보다 나은 콘크리트를 製造하기 위하여서는 Cement 業者의 Cement 品質 向上을 위한 努力, 最大值數 19mm以下인 良質의 碎石 粗骨材 量産體制 確立, 低價이면서도 性能이 좋은 國產 流動化劑 開發等 問題가 남아 있다.

4.2 파괴 양상

高強度 콘크리트의 양상은 대체로 급격하며, 보통강도의 Cone形(전단파괴형)파괴와는 달리 가력방향으로의 수직적인 파괴양상을 보여주고 있다. 그리고 파괴된 표면도 골재를 관통하여 비교적 매끄러운 파괴 단면을 보여주고 있는데 이는 시멘트 Matrix와 골재와의 부착력 증대에 의한 것으로 사료된다.

4.3 콘크리트 내부 온도

Fig. 7에는 剪斷壁, 外壁 그리고 기둥內部 콘크리트에 埋立된 測定게이지로 부터의 溫度結果가 나타나 있다. 이때 外氣 溫度가 20°C~30°C程度임에도 不拘하고 86°C의 溫度가 기둥에서 打設 11時間後에 나타나고 있어 極甚한 溫度上昇을 보여주고 있다. 이는 剪斷壁이나 外壁도 마찬가지로 傾向이나 기둥의 境遇 斷面이 40×60cm여서 剪斷壁의 두께가 25cm 그리고 外壁이 40cm에 比하여 두꺼워 相對的으로 보다 높은 溫度上昇이 일어나는 것으로 思料된다.

Fig. 8에는 300kg/cm²의 強度를 使用한 110棟과의 比較結果가 나타나 있는데 110棟의 境遇 最高 60°C程度여서 콘크리트 強度의 增進에 따른 發熱量의 增加를 보여주고 있다. 그리고 110棟의 境遇에는 最小 溫度가 打設 20時間後에 일어나고 있어 強度가 높을수록 初期 養生

및 빠른 水和 反應이 일어나고 있음을 알 수 있다. 이러한 점은 高強度 콘크리트를 製造하는데 높은 單位 시멘트量의 使用이 不可避함에 따라 起因하는 現象과 또 署中打設로 인한 높은 外氣 溫度에 따른 上昇作用으로 보이며, 向後 高強度 콘크리트를 實用化 하는데 있어 貴重한 資料로서 이로 인한 諸般 問題發生에 對한 事前 豫測과 對備가 要望된다.

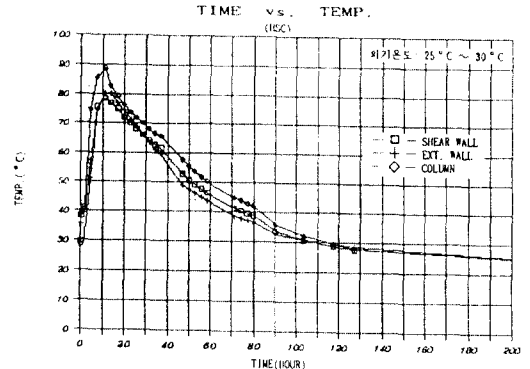


Fig. 7 高強度 콘크리트 部材別 内部 溫度

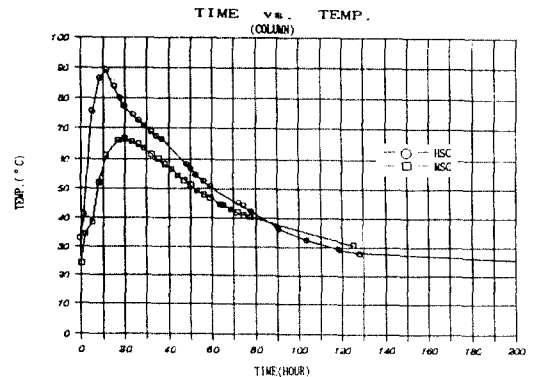


Fig. 8 高強度와 普通強度 콘크리트의 内部溫度 比較

4.4 콘크리트 변형

Fig. 9은 高強度 콘크리트를 使用한 109棟 各 部材의 變形率이다. 初期에(11時間까지)는 줄어들고 있다가 그 以後 水和熱에 의한 膨脹 現象을 보이고 있는데 이는 溫度가 높은 境遇 콘크리트의 水和作用이 促進되어 強度가 增加 함으로 크랙이 若干 減少하나, 또한 높은 溫度 下에서는 콘크리트의 粘性이 弱해짐으로 粒子의 移動이 活潑해져 크랙이 增加한다. 卽, 溫度

가 높은 境遇 이와 같은 相反된 效果가 나타나지만 水和에 依한 強度增加보다는 粒子移動現象이 더욱 커져 結局 全體 크릴은 增加하게 되기 때문으로 보인다.

Fig. 9(B)에서는 이러한 膨脹現象이 4日後부터는 멈추고 있어 乾燥收縮이 部材의 變形을 支配하고 있음을 보이고 있는데, 25日以後 上部 1層이 打設될 때 다시 上部層 戰荷에 依한 收縮變形이 일어나고 있음을 보이고 있다. 部材部位別로 볼 때 應力集中이 甚하고, 部材가 두꺼워 水和反應이 甚한 기둥部材가 剪斷壁이나 外壁보다 큰 變形(收縮, 膨脹)을 일으키고 있어 이러한 不均等 變形에 대한 構造的 解析 및 施工上の 措置가 뒤따라야 함을 알 수 있다.

Fig 10은 300kg/cm²의 強度를 使用한 110棟과 의 比較結果가 나타나 있다. 500kg/cm²의 境遇가 300kg/cm²의 境遇보다 收縮이나 膨脹이 더 甚함을 보여주고 있어 強度의 增加에 따른 構造設計 및 施工上の 對策이 切實함을 알 수 있다.

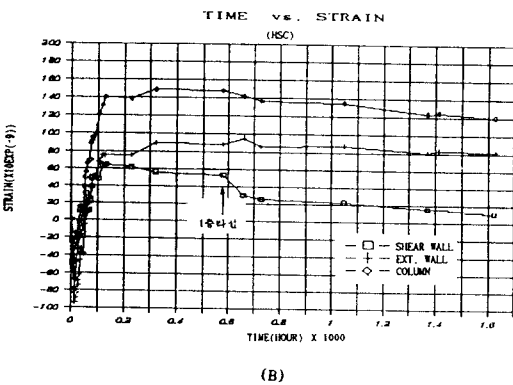
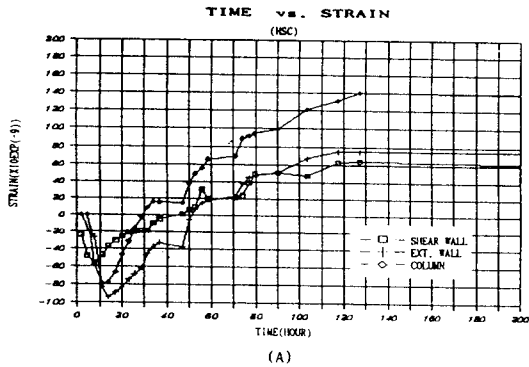


Fig.9 時間經過에 따른 高強度 콘크리트 變形調査

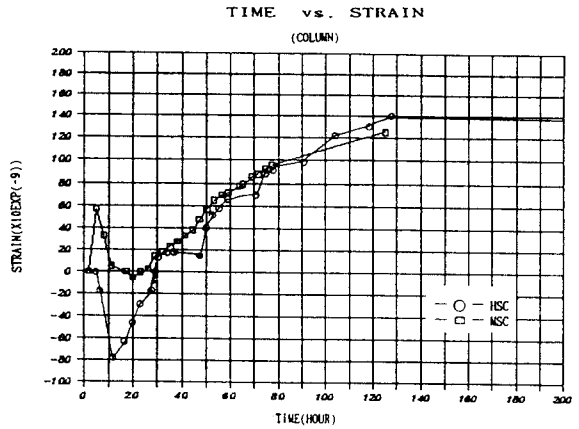


Fig 10. 高強度와 낮은 強度의 變形比較

5. 結論

500kg/cm²이상의 고강도 콘크리트를 실제 초고층 APT에 타설한 과정 및 改善방안을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 국내 여건에서도 500kg/cm²이상의 콘크리트 시공이 재래식 공법으로도 충분히 가능함으로 이의 실용화를 위한 학·관·산(學·官·産)의 협동에 의한 시급한 노력이 기울어져야 한다.
- 2) 콘크리트 강도의 증가에 부합되는 제반 공법 특히, 강도 발현에 부합되는 거푸질 및 양생방안의 개선이 이루어져야 한다.
- 3) 기존 법령의 개선이 시급하다.
 - 건축공사 시방서의 조속한 개정을 통하여 강도의 상승에 부합되는 시방서가 구비되어야 한다.
- 4) 고강도 콘크리트의 경우 높은 내부 온도에 대한 대책이 강구되어야 한다.
- 5) 強度의 증가에 알맞는 국내 구조설계 방침이 조속히 제정되어야 한다.
- 6) 모든 콘크리트 관계자의 고강도 콘크리트에 대한 인식의 변화가 이루어져야 한다.

이런대화

(問) 아저씨 이번에 고강도 콘크리트 타설 시 물을 첨가하였습니까?

(答) 콘크리트의 슬럼프를 이렇게 유지해 주시는데 우리가 할 일이 없어 물을 타겠습니까?

…盆唐現場에서, 1990.8

6. 참고문헌

1) ACI 363, "State of the Art Report on High Strength Concrete", ACI Report NO. ACI 363R-84, July /Aug. 1984

2) 건설부, "건축공사 표준시방서", 대한건축학회, 1985
 3) Shin, Sung-woo, "High Strength Concrete in Korea", Portland cement Association News, 1990.10.
 4) 신성우, 권영호, "고강도 콘크리트의 역학적거동 및 그의 최적배합비", 대한건축학회, 추계학술발표회, 제 8 권 제 1 호, 1988

[연회비 납부안내]

회원 여러분이 납부하시는 연회비는 본학회의 학술지 발간과 연구활동에 쓰이고 있습니다.

1991년도 연회비와 1990년도 미납회비를 아래와 같이 납부해 주시기 바랍니다.

(납부액)	(원)
정회원	20,000
준회원	10,000
단체회원	50,000
특별회원	
특급	1,000,000
1급	500,000

2급	300,000
3급	100,000

[납부처] <예금주-한국콘크리트학회>

우편대체구좌 : 013086-31-2838366

한일은행 : 096-140239-13-001

국민은행 : 101-01-0522-106

제일은행 : 175-10-201288

※ 은행구좌에 입금시는 입금의뢰서 코드란에 성명을 기입해 주십시오.

사단법인 한국콘크리트학회 총무부