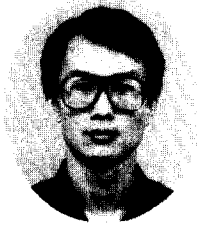


650kgf/cm² 고강도 콘크리트 한중시공 사례 보고

Field Application of High Strength Concrete in Cold Weather Conditions



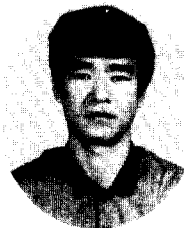
정재동*



한정호**



국중욱***



허성진****

1. 서 론

최근 건설관련 분야에서는 철근콘크리트 구조물의 고강도화가 다방면에 걸쳐 시도되고 있다.

동양시멘트 중앙연구소에서는 1989년부터 고강도 콘크리트에 관한 연구개발을 시작하여 배합설계, 제조, 불성시험 및 동결융해저항성, 중성화, 내화학저항성등의 내구성시험을 완료하였으며 1992년부터 실구조물을 대상으로 현장적용을 실시하여 3건의 사내적용 및 건설사와의 공동개발로 고강도 콘크리트 현장적용에 성공한 바 있다. 현장 적용결과 고강도 콘크리트의 제조와 품질관리, 시공등의 면에서 여러가지 문제점들이 나타났지만, 결론적으로 현장 배합강도 500~600kgf/cm² 정도까지는 고성능감수제를 사용하여 물시멘트비를 낮추는 방법으로 현재의 설비와 품질관리 수준을 조금만 보완한다면 충분히 가능하다는 확신을 가질 수 있었다. 그러나 아직까지 국내 건설현장의 시공자는 물론 레미콘 공급자를 조차도 고강도 콘크리트는 시기상조라고 생각하고 있는 형편이

다.

본 공사보고는 당사 1만톤급 시멘트 사일로에 있어서의 압축강도 650kgf/cm² 고강도 콘크리트의 동질기 시공과정과 품질관리 결과를 정리한 것으로서 설계, 시공, 품질관리 각 부분의 일관된 공사진행 협의를 통하여 시공상의 제반 문제점들을 해결하였으며 본 공사를 통하여 고강도의 심리적인 계를 극복하고 고강도 콘크리트의 생산에 자신감을 갖는 계기로 삼고자 한다.

2. 공사 개요

시멘트 사일로는 일반적으로 슬라이딩폼 공법으로 시공한다. 슬라이딩폼 공법은 단면이 동일한 구조체를 연속적으로 시공할 수 있는 것이 최대의 특징이다. 그러나 압축하중을 가장 많이 받고 구조적 안전성이 요구되는 개구부나 연결부위는 벽체의 단면을 탈리하여 시공하기가 곤란하다. 결국 하부벽체에 덧붙이기 콘크리트를 재시공하여 부재의 단면을 늘리지만 구조적으로는 거의 역할을 하지 못하는 것으로 지적되고 있다. 따라서 이러한 사일로 하부벽체나 기둥부위에 고강도 콘크리트를 채용함으로써 구조적 안전성을 높일 수 있을 것으로 판단되었다.(그림 1, 그림 2 참조)

* 정회원, 동양시멘트 중앙연구소 책임연구원

** 동양시멘트 중앙연구소 주임연구원

*** 동양시멘트 건설사업본부 과장

**** 동양시멘트 부산공장 과장

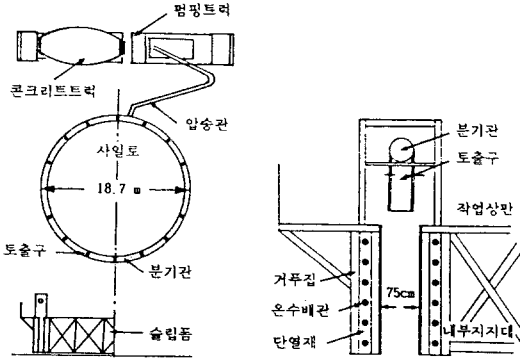


그림 1 현장개요

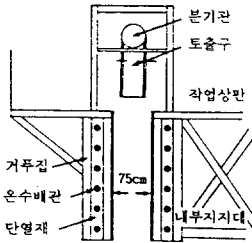


그림 2 슬립톱 개략도

한편 사일로 하부벽체에 사용한 설계기준강도 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 고강도콘크리트의 타설량은 약 250m^3 이며 사일로의 높이에 따라 $350, 270\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 순으로 강도를 낮추어 타설하였다.

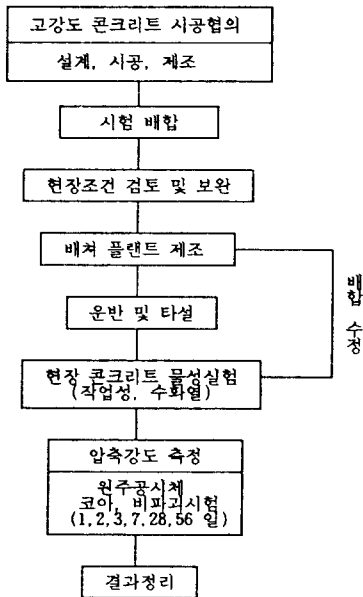


그림 3 고강도 콘크리트 현장적용 흐름도

표 1 공사 개요

명칭	내용	명칭	내용
위치	부산시 서구 압남동 655	공사기간	1993.11.20. ~1994.7.20.
시공주	동양시멘트(주)	구조	철근콘크리트조
설계 및 시공	동양시멘트(주) 건설사업본부	공법	슬라이딩폼 공법
규모	▷ 면적: 1층면적 275m^2 ▷ 체원: 지름 18.7m (외경), 높이 52.7m ▷ 벽체두께: $G/L+10.585\text{m}:75\text{cm}$ $G/L+10.585\text{m}-G/L+52.7\text{m}:35\text{cm}$		

아울러 금번 공사에서는 아직까지 국내에서 적용한 사례가 없는 자동 연속타설이 가능한 분기관 공법을 채용함으로써 시공 인력절감 및 공기단축을 시도하였으며 따라서 콘크리트의 작업성, 펌프 압송성이 상당히 중요시 되었다.

또한 본 공사는 동절기 공사로서 시공시점에서의 대기온도는 최저 영하 7도까지 내려가 콘크리트의 초기동결방지, 경화전 물성유지, 양생보완등의 시공상의 특별한 고려를 필요로 하였다.

따라서 본 공사는 설계, 시공, 레미콘 공급(제조, 품질관리) 등 3개 관련 분야의 긴밀한 사전 협의를 통하여 각 부분의 문제점을 검토, 보완하였다. 그림 3은 본 공사에 있어서 고강도 콘크리트 현장 적용 과정을 흐름도로 나타낸 것이다.

본 공사의 대상인 동양시멘트 부산공장 10,000톤 시멘트 사일로에 대한 개요는 표 1과 같다.

3. 제조 및 시공관리에 관한 예비검토

3.1 시험배합

관련부서의 협의 결과 이 사일로 공사에 적용할 콘크리트는 설계 기준 강도 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$, 배합강도 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$, 목표 슬립토펙 값 21cm , 공기량 $4\pm 2\%$ (용적계산 1% 적용)로 초기 품질기준을 설정하고 적정 배합을 선정하고자 3차에 걸쳐 시험 배합을 실시하였다.

배합강도 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 고강도를 실제 시공에서 달성하기 위한 시험배합의 범위는 물시멘트비 $30\sim 35\%$, 단위시멘트량 $500\sim 550\text{kg}/\text{m}^3$, 잔골재

율(s/a) 38~42%로 정하였으며 이 범위에서 목표 슬럼프 값을 얻기 위한 유동화제의 종류 및 최적 첨가량과 최적 잔골재율(s/a)을 구하였고 저온하의 조건하에서의 강도 발현 성상과 경화전 물성을 검토하였다.

1차 시험 배합은 유동화제의 종류와 최적 첨가량을 구하기 위한 실험이었으며 2차 시험 배합은 현장의 골재를 사용하여 배합 강도와 목표 슬럼프 값, 최적 잔골재율을 구하기 위한 실험으로 중앙연구소에서 실시하였으며 강제식 팬 믹서를 사용하였다. 3차 시험 배합은 현장 B/P에 적용하기 위한 실험으로 부산공장에서 실시하였다.

3.2 사용재료 및 물성

시험 배합에 사용한 시멘트는 동양시멘트 제조 보통포틀랜드시멘트로 표 2에 물리시험성적을 나타내었다. 본 공사에 사용한 부산 공장 골재의 성질은 표 3과 같으며 입도곡선을 그림 4에 나타내었다. 유동화제는 나프탈렌 설폰산 포름알데히드계 고축합물을 주성분으로 한 제품으로 시험 배합을 통하여 종류와 최적 첨가량을 구하고자 하였다. 본 공사에 사용한 유동화제의 물성을 표 3에 나타내었다.

표 2 사용 시멘트의 물리적 성질

비표면적 (브레인 값) (cm ² /g)	응결시간 (시간:분)		오토클 레이브 안정도 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		
	초결	종결		3일	7일	28일
3,262	2:43	4:53	0.24	211	309	373

표 3 사용 골재 및 유동화제의 성능

사용 재료	성 질
잔골재	세척사(목포사) 및 하천사(나동사) 혼합사(7:3 혼합), 비중 2.55, 조립율 2.55, 흡수율 1.38%
굵은골재	쇄석(독산産), 최대치수 25mm, 비중 2.58, 조립율 6.39, 흡수율 1.39%
유동화제	나프탈렌계(G사제품), 비중 1.21, pH 9.3, 고 형분 41.9%

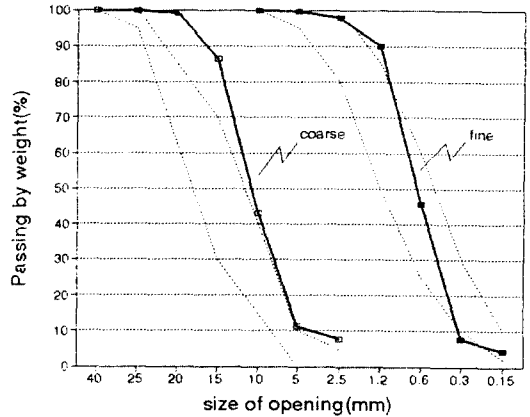


그림 4 사용 골재 입도 분포

3.3 시험배합 실시 결과

시험배합은 본 공사가 동절기인 현장의 여건을 고려, 겨울철 외기 온도 조건(8~11℃)에서 실시하였다. 그 결과 골재와 시험에 사용한 저온의 혼합수(13℃)로 인하여 콘크리트의 온도가(13.5℃) 낮아 목표 슬럼프 값을 얻을 수 없었다(유동화제의 감수효과가 현저히 저하하는 현상). 이에 따라 콘크리트 제조시 온도가 낮을 경우 목표 슬럼프 21cm를 얻기 위해 필요한 유동화제의 양이 상당히 증가할 것으로 예측되었다(그림 5, 표 4 참조). 아울러 초기강도 역시 외기온의 영향을 받아 재령 1일 압축강도가 60~80kgf/cm² 정도로 비교적

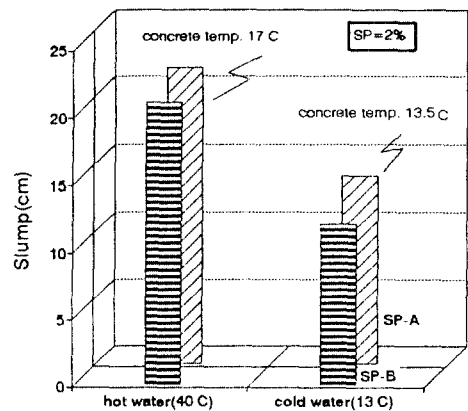


그림 5 혼합수의 온도에 따른 슬럼프 변화

표 4 혼합수 온도에 따른 콘크리트 온도변화

구분	외기온	수온	콘크리트 온도
냉수	8~11℃	13℃	13.5℃
온수		40℃	17℃

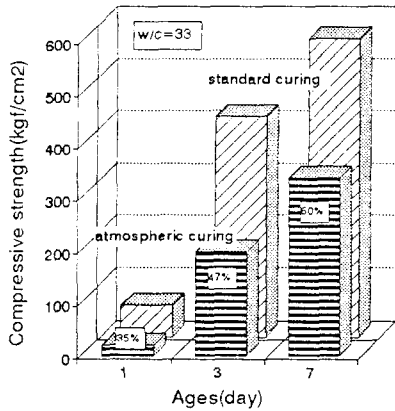


그림 6 양생조건에 따른 압축강도 발현

낮았고 일부 시험체는 야간에 영하의 기온에서 동결하여 하루가 지나도록 완전히 경화하지 않는 것도 발견되었다.

이에 대한 대책으로 40℃의 온수를 사용하여 배합한 결과 13℃의 혼합수를 사용할 때 사용한 유동화제 첨가량에서 원하는 슬럼프 값을 얻을 수 있었다. 또한 콘크리트 배합 이후 양생 방법에 따라서도 강도 발현에 큰 차이가 있는 것이 관찰되었다(그림 6 참조).

따라서 본 공사시에는 초기 온도저하에 대비하여 온수를 혼합수로 사용할 것과 콘크리트 타설 후 초기양생시 보온에 많은 주의가 요구될 것으로 판단되었다(본 공사는 1월 하순으로 예정).

이상의 예비실험결과로부터 시험실 제작 공시체의 재령 28일 압축강도는 약 670kgf/cm²에 가까운 배합을 선정하였다. 이것은 본 시공에 적용하고자 하는 고강도 콘크리트의 목표배합강도가 600kgf/cm²이었지만 현장 제조공정상의 변동요인과 겨울철 공사임을 감안하여 배합을 선정한 것이다.

현지 공장에서 실시한 3차 시험 배합 결과 실험실에서 결정했던 배합의 유동화제 첨가량으로는

원하는 슬럼프 값을 얻기 힘들 것으로 판단되었으며 이는 현장 B/P의 혼합 조건이나 능력이 실험실 믹서와는 차이가 있고, 또한 콘크리트를 펌프카에 의해 분기관을 거쳐 타설하는 방법을 사용하기 때문에 고강도 콘크리트의 점성으로 인한 시공시의 타설 배관내 폐쇄나 압송저항을 최소로 줄이기 위하여 슬럼프가 21cm 이상이 얻어지도록 해야하므로 유동화제의 첨가량을 현장 조건에 맞추어 상향 조정하였다.

4. 제조 및 품질관리

(1) 콘크리트 현장배합

이상과 같은 예비검토결과, 본 공사는 재령 28일의 압축강도 670kgf/cm², 슬럼프값 21cm, 공기량 4±2%를 만족하기 위하여 다음과 같은 배합 조건이 최종 결정되었다.

표 5 시험배합 압축강도 시험결과

		(kgf/cm ²)				
배합번호	재령	1일	2일	3일	7일	28일
3	수중양생	77	238	347	479	633
7	실외양생	*미경화	70	-	224	-
8	실외양생	*미경화	59	-	221	-
9	수중양생	59	257	-	570	700
10	수중양생	58	295	-	607	691
12	실외양생	19	-	189	333	-
	실내양생	57	수중양생→	404	554	-
13	실외양생	23	-	208	345	-
	실내양생	63	수중양생→	436	582	-
B2	수중양생	-	205	-	486	670
B5	수중양생	-	-	-	521	689

* 7, 8번은 실외양생중 동결됨.

표 6 고강도 콘크리트 최종배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)				고성능 감수제 (Cx%)
		물	시멘트	잔골재	굵은 골재	
33	40	175	530	659	1000	2.0

(2) 재료 계량 및 투입

예비시험 결과에서와 같이 철야 작업시(고강도 48시간 연속타설) 심야중의 대기온도가 영하

7~8℃이하로 내려 갈 것으로 예상되어 본 공사에서는 혼합수의 온도를 45℃로 조정하여 콘크리트의 온도가 17℃ 이상이 되어야만 유동화제 적정 첨가량에 따른 작업성을 맞출 수 있을 것으로 기대되었으며 초기 콘크리트의 동결방지를 위하여서도 필요하였다. 따라서 혼합수의 온도를 높이기 위하여 대형 보일러로부터 온수배관을 통하여 혼합수 계량 빈으로 직접 투입하였으며 투입후에는 온수 배관내 잔류수를 배수시켜 외기온에 의해 수온이 일시적으로 떨어지지 않도록 함으로써 혼합수의 온도를 일정하게 유지하도록 조치하였다.

또한 품질 변동 요인을 최소화 하기 위하여 배척 플랜트 1기를 고강도 제조용으로 고정 사용하였으며 아울러 레미콘 운반 트럭도 2대로 한정하여 왕복 운행하였다.

(3) 혼합시간

고성능 감수제의 시멘트 분산효과는 혼합시간과 밀접한 관계에 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 일반 콘크리트와 비교하여 충분한 혼합시간을 필요로 하나 본 공사에서는 최소의 시간으로 적정 혼합효율을 얻기 위하여 그간의 현장 적용결과를 참고로 혼합시간을 80초로 하였다. 아울러 혼합시의 믹서 과부하를 방지하기 위하여 1회 배치(batch)량을 1m³ 씩 총 7회에 나누어 혼합하였다. 이에 따라 레미콘 트럭 1대당(7m³ 출하기준) 총 제조시간은 약 12분 정도 소요되었다.

(4) 세골재 표면수 적용

세골재의 표면수량은 고강도 뿐만 아니라 보통 강도 콘크리트에서도 가장 큰 영향을 미치는 품질 변동 요인이다. 품질관리상 세골재를 실내나 사일로에 저장하는 것이 바람직하나 본 공사에서는 콘크리트 제조시 매 6시간 마다의 세골재 표면수 측정값(적외선 수분계에 의함)과 현장 슬럼프값과 펌프압송 상황을 고려하여 수시로 변동 적용하였다.

(5) 운반

레미콘 공장에서 시공현장까지의 거리는 약 500m 였으며, 운반시간 경과시간에 따른 슬럼프

저하 현상은 측정결과 없는 것으로 나타났다. 레미콘 트럭 1대당 7m³을 기준으로 출하하였으며 시공속도에 따라 평균 40~50분마다 1대씩 출하하였다.

(6) 타설 및 다짐

콘크리트의 타설은 레미콘 트럭으로부터 펌프 카를 이용하여 분기관을 거쳐 원주방향의 순서로 설치되어 있는 24개의 토출구(공기압 자동개폐장치 부착)를 통하여 타설하였다. 평균 압송압은 120~150kgf/cm² 로서 순조로이 압송되었으나 압송시 문제점이 발견되는 경우도 있었다.

타설시의 펌프 압송 문제의 주원인은 타설 대기시간이 길어진 경우에 타설배관내에 잔류되어 있는 콘크리트의 급격한 유동성 저하가 주원인으로 추측되고 또한 고강도 콘크리트의 경우 단위시멘트량이 많아짐에 따라 점성이 높아짐에 기인한 펌프 압송압 손실로 사료된다.

그러나 시공 속도면에 있어서는 고강도 콘크리트의 경우 슬라이딩폼의 평균 상승속도가 27cm/hr로서 일반 콘크리트의 슬라이딩 속도인 15cm/hr에 비하여 약 2배 정도 공기를 단축할 수 있었다.

토출구에서 배출된 고강도 콘크리트는 현장용 붐 바이브레이터를 이용하여 다짐하였으며 현장 다짐 작업자들은 일반 콘크리트에 비하여 슬럼프 값은 크지만 다소 되어 보이고 잘 퍼지지 않는다는 느낌을 나타내었고 이부분은 향후의 과제로서 심도 있게 재검토되어야 할 것으로 사료된다.

(7) 양생

철야 시공시 심야의 급격한 대기온도 저하(영하 7~8℃)로 인하여 양생초기 콘크리트의 동결위험이 있었다. 따라서 기푸집(slip form) 미송판재 내부에 스티로폴로 보온하고 온수가 흐르도록 배관을 설치하여 콘크리트가 기푸집내에 존치되는 양생초기에(약 4~5시간 정도) 보온양생을 행함으로써 초기 수화반응이 이루어 질 수 있게 고려하였다. 아울러 사일로 내부에 열풍기를 가동하였고 구조물 외벽에는 비닐 양생천막을 설치하였다.

현장 품질관리는 모든 레미콘 트럭에 대하여 슬럼프, 공기량 및 콘크리트 온도를 측정하였고 압축강도 관리용 공시체는 레미콘 트럭 2차마다 제작하여 재령별, 양생조건별(표준 수중양생용 및 현장양생용)로 구분하여 관리하였다.

또한 공시체 강도와 실구조물의 강도를 비교하기 위하여 180×90×25cm 크기의 모의부재를 제작하여 현장에서 봉함양생후 재령 28일의 코아 공시체(9개)를 채취하였고 사일로 구조체를 대상으로 슈미트 햄머에 의한 비파괴 시험을 행하였다.

그리고 사일로 바닥으로 부터 높이 1m 지점에 수화열에 의한 온도상승 측정을 위한 열전대식 온도 센서를 매립(3점 매립, 외벽 10cm, 중심부, 내벽 10cm)하였다.

5. 제조 및 품질관리 결과

이상과 같이 실시한 고강도 콘크리트의 현장 품질관리 시험결과를 요약하면 다음의 표 7과 같다.

(1) 슬럼프, 온도, 공기량, 작업성

현장 도착시 슬럼프는 평균 21.7 cm 였고 콘크

표 7 품질관리 시험결과 요약

품질관리 항목	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	콘크리트 온도 (°C)	압축강도 (kgf/cm ²)		수화온도상승(°C) (최고온도)		
				7일	28일	외벽측	중심부	내벽측
평균값	22	2.3	21	488	648	41.8	56.4	43.8

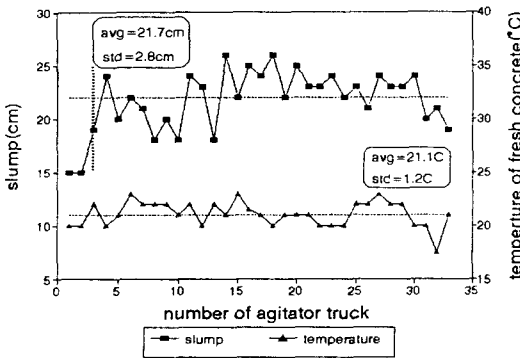


그림 7 콘크리트의 슬럼프값과 온도의 변화

리트의 온도는 외기온도가 최저 영하 7~8°C 임에도 불구하고 평균 21°C 로 거의 일정하게 유지할 수 있었다.(그림 7 참조) 이와 같은 결과로 부터 동절기에 있어서 일정 온도이상의 온수를 혼합수로 사용함으로써 콘크리트의 슬럼프와 온도를 안정적으로 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

슬럼프는 현장 시공상황에 따라 고성능감수제 첨가율과 세골재의 표면수만을 변화시켜 조정하였고, 최초의 조정단계를 제외하고는 슬럼프가 18cm 이하로 떨어지는 경우는 없었다. 또한 공기량은 평균 2.3% 정도로 목표 공기량 범위내에서 큰 변동은 없었다.

그러나 콘크리트의 전반적인 작업성을 슬럼프 시험이나 육안관찰 및 현장 작업자(펌프공, 타설공, 다짐공 등)들의 반응을 종합적으로 평가한다면 보통강도 콘크리트에 비하여 작업성의 변동폭이나 타설작업의 난이도가 비교적 큰 것으로 판단된다. 현장작업자들이 고강도 콘크리트로 작업한 경험이 없었다는 것과 당시의 열악한 시공조건(기온, 시공방법 등)을 감안한다 할지라도 향후 작업성, 시공성의 개선은 고강도 콘크리트에 있어서 중요한 해결 과제로 다루어 져야 할 것이다. 아울러 제조 공정상의 각종 변동요인에(예를 들어 계량오차) 관해서도 철저히 파악하고 관리해야 할 것으로 판단된다.

(2) 수화열

사일로 벽체에 매립하여 측정한 콘크리트의 수화열에 의한 내부 온도상승은 최고온도 56.4°C 로서 부재 표면 근처(10cm 깊이)와 약 13~15°C 정도의 온도차를 나타내었다.(그림 8 참조) 일반적으로 설계기준강도 300~450kgf/cm², 단위시멘트량 320~430kgf/cm³, 단면폭 30~130 cm 인 벽부재의 콘크리트 온도상승은 여름철 타설시 대략 70°C 정도까지 상승한다고 알려져 있으나 금번 측정값은 이보다는 낮은 온도였으며 경화 28일후 사일로의 표면을 관찰하였으나 수화열에 기인된 균열은 관찰되지 않았다.

또한 최고온도에 도달하는 시간은 17~20시간 정도 소요되어 기존의 시공사례에서 보고된 값(9시간→8월시공(1), 12~13시간→5월시공(2))과

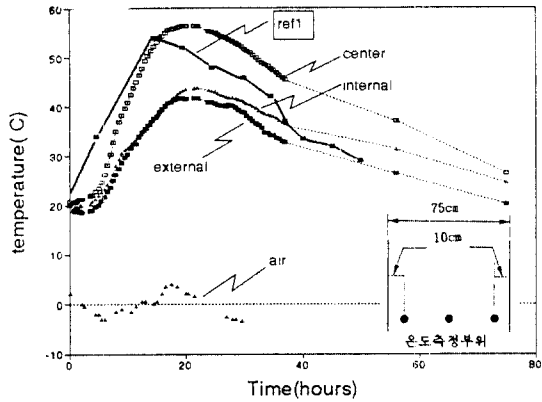


그림 8 콘크리트 내부 수화온도 변화

는 다소 늦게 나타났는데 이러한 결과들은 시공 당시의 외기온(평균기온 0°C)에 의한 영향이 가장 큰 원인이라고 추측된다.

(3) 압축강도 시험결과

압축강도 시험결과 재령 3일에서는 302kgf/cm², 재령 7일은 488kgf/cm² 및 재령 28일의 평균 압축강도는 648kgf/cm² 으로서 배합강도 600kgf/cm² 을 상회하였고 시험배합시의 강도 670kgf/cm² 가까운 값을 나타내었으며 (최대값 712kgf/cm², 최소값 606kgf/cm²) 표준편차도 30kgf/cm² 으로 비교적 작았다 (그림 9 참조). 참고로 그림 10에 슬럼프 변동에 따른 압축강도의 변동을, 그림 11에는 재령 7일과 28일 압축강도와

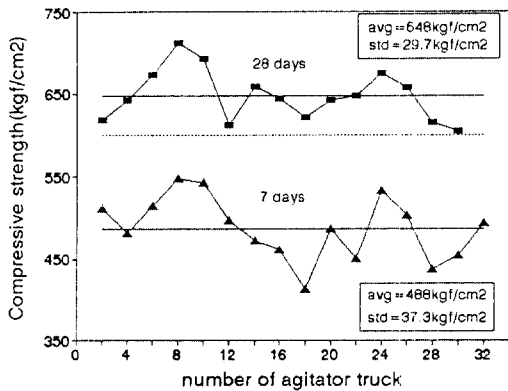


그림 9 압축강도 관리도

표 8 품질관리 시험결과 요약

재령 차량 번호	1일	2일	3일	7일	28일
수중양생					
2				512	619
4	28	161	280	482	642
6				515	673
8				548	712
10				543	692
12				498	613
14				473	659
16	40	203	331	462	644
18				412	622
20				487	643
22				451	647
24				534	675
26				504	657
28	19	196	294	437	616
30				455	606
32				495	-
평균	29	187	302	488	648
현장양생					
2	64				527
10				307	539
22				344	495
15					
평균				326	520

의 관계를 나타내었다.

저온하의 초기양생조건이나 제조공정상의 많은 변동요인이 있었음에도 불구하고 이와 같이 양호

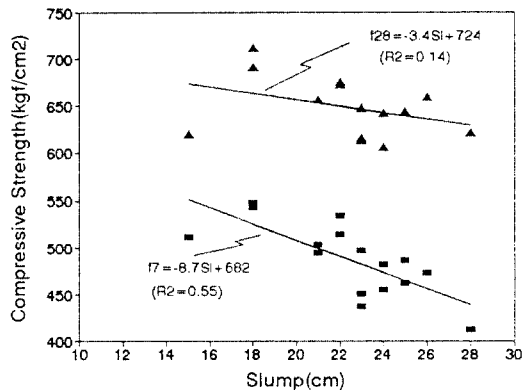


그림 10 슬럼프값과 압축강도의 관계

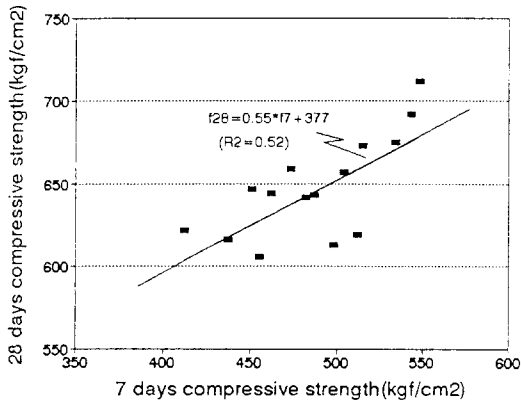


그림 11 재령 7일과 28일 압축강도와와의 관계

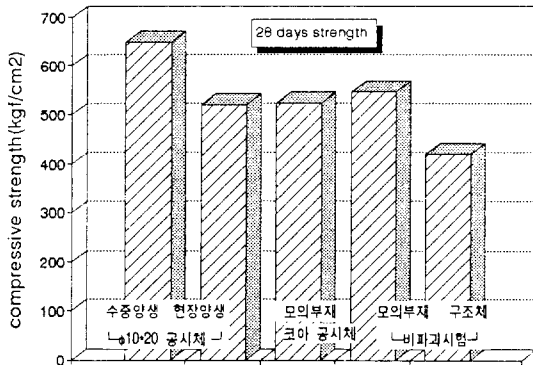


그림 12 양생 및 시험방법에 따른 강도변화

표 9 모의부재 코어 압축강도

공시체 No.	28일 압축강도 (Kgf/cm ²)
C-1	540
C-2	467
C-3	545
C-4	548
C-5	522
C-6	517
평균	523

한 결과를 얻을 수 있었던 원인은 동절기중의 시험시공이라는 특수조건하에서도 설계, 제조, 시공의 긴밀한 협조와 엄격한 품질관리에도 있었지만 다음과 같은 시공상의 고려들도 품질 안정요인으로 작용했다고 판단된다.

* 배합수의 온수 사용-동절기 시공 콘크리트의 온도관리

* 배차 고정 사용-고강도 콘크리트 전용 생장으로 품질변동 요인 제거

* 운반 트럭 고정 사용-아치테이터 드럼을 세척하지 않고 연속 사용

* 혼합시간(mixing time)의 적절한 조정

* 표면수의 적절한 관리

압축강도 시험용 공시체를 대기중에 양생시킨 결과 재령 28일에 520kgf/cm²으로 수중양생보다 약 20%의 강도저하를 나타내어 양생방법 즉 양생온도와 콘크리트의 습윤상태 유지의 중요성을 나타내고 있으며 대기중 양생공시체도 재령 경과에 따라 서서히 강도가 발현될 것으로 추정된다.(그림 12 참조)

시험방법에 따른 평균 압축강도는 그림 10에 나타난 바와같이 수중양생(648) > 모의부재코어(523) > 현장양생(520) > 모의부재 비파괴 > 구조체 비파괴의 순으로 낮아지는 결과를 나타내었으며 구조체와 같은 조건으로 현장에서 양생한 모의부재 코어 공시체의 평균 압축강도는 523kgf/cm²으로 표준수중양생 공시체의 80%로 나타나 모의부재 코어 공시체와 현장양생 공시체는 거의 동일한 값을 나타내었다.

모의부재와 구조체를 대상으로 슈미트 해머에 의한 비파괴 시험의 추정압축강도는 수중양생 및

표 10 콘크리트 비파괴시험 결과

모의부재		사일로 기둥	
타격개소	4	타격개소	13
타격개소당 타격회수	25회 이상	타격개소당 타격회수	25회 이상
평균 반발경도	44	평균 반발경도	38
추정압축강도 (kgf/cm ²)	① 421 ② 525	추정압축강도 (kgf/cm ²)	① 377 ② 411
재령계수	1.04	재령계수	1.02
보정압축강도 (kgf/cm ²)	① 438 ② 546	보정압축강도 (kgf/cm ²)	① 385 ② 419

(슈미트해머에 의한 비파괴시험)

* 압축강도 추정식 ① 일본건축학회공동실험결과
 $f_c = 7.3R_o + 100$

② 한국건축학회

$f_c = 19R_o - 311$

현장양생 공시체 혹은 모의부재 코어 공시체보다 가장 작은 값을 나타내었고 추정식에 따라 큰 차이를 나타내어 슈미트 햄머를 사용한 압축강도 추정은 향후 많은 데이터의 축적과 연구가 필요한 것으로 사료된다.

6. 맺음말

이상과 같이 실시된 배합강도 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 고강도 콘크리트의 제조 및 시공을 통하여 현재 각 분공장의 품질관리 및 공정설비 수준으로도 압축강도 $600\text{kgf}/\text{cm}^2$ 까지의 고강도 콘크리트는 고성능감수제를 사용하여 물시멘트비를 줄이고 적절한 품질관리를 행함으로써 충분히 품질을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

그러나 콘크리트의 품질변동 요인을 최소화하고 고강도 콘크리트의 품질을 안정적으로 확보하기 위해서는 조,세골재의 저장시설의 설치(더욱 바람직하게는 골재 입도별 저장)가 무엇보다도 시급히 선행되어야 할 것이며, 동절기의 온수사용설비, 하절기 냉각설비 및 콘크리트 물성개선을 위한 각종 혼합재와 혼화제의 투입설비를 갖추어야 할 것으로 판단된다. 이는 또한 향후의 고강도, 고성능등의 고품질 콘크리트 뿐만 아니라 일반 콘크리트의 품질관리 수준을 향상시키는 기본적 조건

이 될 것이다.

본 보고는 1994년 1월 동양시멘트 부산공장에 있어서의 고강도 콘크리트의 사일로공사 적용과정을 정리한 것이다. 본 보고를 통하여 부분적으로는 미해결의 과제도 남아 있으나 일선 건설관련 종사자들이 그동안 가져왔던 콘크리트 강도의 심리적 한계를 극복함과 동시에 고강도 콘크리트의 활성화와 일반 콘크리트 품질향상의 계기로 삼았으면 한다.

감사의 말씀

본 현장적용에 적극 협조해 주신 당사 건설본부, 부산공장 및 형주건설의 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 박칠림, 권영호 ; 건축구조물에 고강도 콘크리트 현장적용, 콘크리트학회지, Vol.5, No.4, 1993.12
2. 이승훈, 오정근, 박희민, 신성우 ; 사무실 건축물에 플라이애쉬를 사용한 $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상의 고강도 콘크리트 시공, 콘크리트학회지, Vol.5, No.2, 1993.6