

700kg/cm² 高强度 콘크리트의 現場適用

The site application with 700kg/cm² high strength concrete

0 權 寧 鎬* 朴 呈 國* 李 輔 根** 朴 七 林***
KWON, YEONG-HO PARK, JEONG-GUG LEE, BO-KEUN PARK, CHIL-LIM

ABSTRACT

A successful site application with 700kg/cm² ultra-high strength concrete was made by research team of Daewoo Institute of Construction Technology in Jinhae. Trial mixings of concrete, the productivity of batcher plant, the elapsed time and the pumpability had been investigated for the site condition, before the site application.

As results, the efficiency of production by automatic batcher plant systems was improved and the method of quality control was established for the security of fluidity due to the elapsed time, the pumping and consolidation and so on.

The concrete strength of cores as well as cylinders was showed more than 700kg/cm² for the required age. And this study would be provided valuable data base for the practical utilization of high strength concrete.

Further, this study would be given new possibilities of high rise RC constructions.

I. 서 론

1.1 연구배경

國內에 高强度 콘크리트가 처음 소개된 이래 90년대 초부터 이에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 특히 當 研究所에서는 88년 “高强度 콘크리트의 經濟的 配合比 및 實用化에 관한 研究”¹⁾를 시작으로 여러가지 室內 및 現場實驗 結果를 報告한바 있다.^{2),3),4)}

그러나, 1,000kg/cm²에 육박하는 선진국의 高强度 콘크리트 實用化에 비해 국내연구는 試驗適用이나 室內 實驗段階를 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이러한 실정은 여러가지 제약 조건이 있으나, 가장 큰 제약 조건은 實用化를 確信할 수 있는 品質管理와 발주처의 소극적인 자세로 생각된다.

따라서, 當 研究所에서는 이러한 不信을 불식시키고 國內 高强度 콘크리트의 수준을 향상시켜, 향후 建設市場 開放에 대비한 技術力 確保를 위하여 (株)大宇에서 施工中인 進해건

축 現場에 보통 포틀랜드 시멘트(1종)과 FLY ASH, SILICA FUME를 각각 사용한 高强度 콘크리트 및 超高强度 콘크리트를 2個棟의 建築物에 適用하였다. 本 論文에서는 이중에서 SILICA FUME (이하 SF)을 置換하여 現場適用한 프로젝트를 중심으로 그 과정 및 결과에 대해 서술하고자 한다.

1.2 연구목적

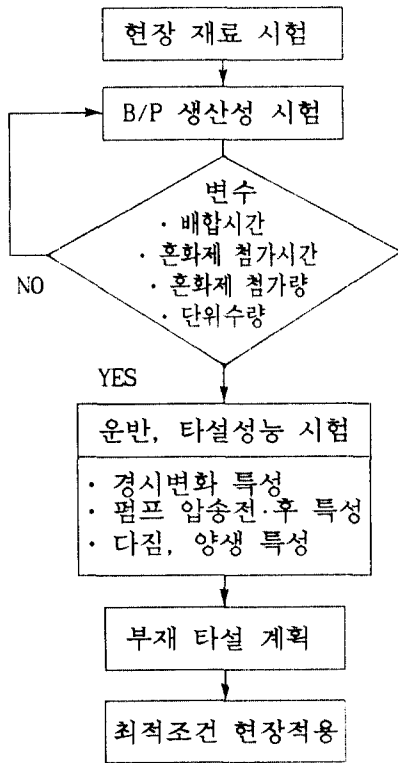
本 論文에 기술할 프로젝트는 지하 1層, 지상 3層의 RC 構造物으로써 SF를 치환한 超高强度 콘크리트의 配合性能, 運搬, 打設, 養生 特性을 중심으로 現場適用時 고려해야 하는 品質性能을 규명하고자 한다. 특히 本 研究는 하절기 工事(7月~9月)로써 여러가지 악조건 가운데 수행되었기 때문에 品質管理 측면에서 많은 補完事項을 경험할 수 있었다. 이러한 現場適用을 통해 '91년도에 작성된 “高强度 콘크리트 施工指針(案)”과 “配合設計 및 品質管理를 위한 Expert System”을 補完하여 완벽한 高强度 콘크리트의 實用化를 실현하는 계기로 삼고자 하며, 특히 當 研究所 大型構造 實驗棟과 設備實驗棟에 적용할 계획에 있다.

*정회원 (株)大宇建設技術研究所 研究員
**정회원 (株)大宇建設技術研究所 先任研究員
***정회원 (株)大宇建設技術研究所 所長

向後 超高層 RC 構造物에 적용하기 위한 제반의 준비와 技術力 增大 및 超高層 構造의 RC化에 따른 수주 증대에도 本 研究의 目的이 있다고 해도 과언은 아닐 것이다.

1.3 현장적용 방법 및 범위

本 現場適用은 「표 1」과 같은 FLOW에 따라 수행되었다.



「표 1」 현장 적용 FLOW

「표 1」과 같은 Flow에서 B/P 生産性 試驗은 최대한 짧은 配合時間으로 최대의 성능을 발휘하도록 하였으며 運搬, 打設性能에 대한 시험배합을 수행하면서 나타나는 콘크리트의 특성을 비교·분석하여 가장 最適條件으로 現場適用을 실시하였다.

II. 현장개요

2.1 공사개요

本 研究의 대상 프로젝트는 (株)大宇 進해 건축현장(소장: 이흥모 부장)으로 工事概要는

「표 2」와 같다.

「표 2」 공사개요 일람표

구분	내용	구분	내용
현장위치	경남 진해시 현동	설계사	(주)대우 엔지니어링
공사기간	'92.1 ~ '94.12	층 수	지하 1층, 지상 3층
건물구조	철근콘크리트조	감리사	동명기술공단
시 공 자	(주)대우	현장명	(주)대우 진해 건축현장

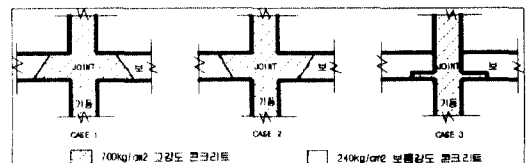
2.2 현장적용 부재

本 研究의 超高强度 콘크리트 現場適用 부재는 기둥으로 $700\text{kg}/\text{cm}^2$ 超高强度 콘크리트를 적용하였다. 특히 기둥-보 접합부 처리는 3 Case로 나누어 分離打設을 하였으며, 이는 향후 構造設計 條件을 검토해야 하겠지만, 本 現場適用에서는 施工性和 效率性 측면을 중심으로 검토하였다.

現場適用에서 기둥부재의 層別 크기와 기둥-보 접합부의 처리방법은 「표 3」 및 「그림 1」과 같다.

「표 3」 현장적용 기둥크기

층수	기둥크기 (cm x cm)				층고 : 380cm
1층	50	60	205	75	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40 C1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40 C2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30 C3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30 C4</div> </div>
	40	40	30	30	
2층	50	60	205	75	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40 C1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40 C2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30 C3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30 C4</div> </div>
	40	40	30	30	
3층	50	60	60	75	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40 C1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">40 C2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30 C3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">30 C4</div> </div>
	40	40	30	30	



「그림 1」 기둥-보 분리 타설시 접합부 처리

「그림 1」에서 보듯이 보-기둥 접합부 처리는 Case별로 나누어 실시하였다.

그러나, 現場 施工性 면에서 Case1이 가장 수월하였고, 또한 現場 工期, 打設 日程 등을 고려하여 다른 방법보다 능률적이었기 때문에 Case1로 정하였다. 그러나 構造的 검토는 향후 보의 剪斷 舉動과 아울러 함께 정립되어야 할 것으로 思料된다.

Ⅲ. 현장적용 배합시험

3.1 재료선정 시험

3.1.1 시멘트

本 現場 適用에 사용된 시멘트는 내수용 보통 포틀랜드 시멘트(Type 1)로써 品質 試驗 結果는 「표 4」 및 「표 5」와 같다.

「표 4」 시멘트의 화학적 특성

구분	항목	감열감량 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)
D사 (X)		0.76	21.2	5.95	2.97	63.45	2.5	2.02
S사 (X)		0.9	21.5	5.80	3.30	-	2.0	2.3

「표 5」 시멘트의 물리적 특성

구분	항목	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결시간 (길모아)		압축강도 (kg/cm ²)			비 중
				초결 (분)	종결 (시간)	3일	7일	28일	
D사 (X)		3,031	0.4	145	4:37	180	278	382	3.08
S사 (X)		3,250	0.1	255	6:30	188	280	370	3.10

3.1.2 골재

굵은 골재는 김해 용원석산에서 생산되는 최대치수 25mm 쇄석을, 잔골재는 합천산 모래를 사용하였으며 品質 試驗 結果는 「표 6」과 같다.

「표 6」 골재의 품질시험 결과

구분	종류	잔 골 재	굵은골재
비 중		2.58	2.55
조 립 율 (F.M)		3.23	6.94
흡 수 율 (%)		1.48	1.48
마 모 율 (%)		-	18.4
실 적 율 (%)		62.4	57.0
단위용적중량(kg/m ³)		1,610	1,470

3.1.3 혼화제

混和劑는 한국 GRACE社의 高性能 減水劑 (DAREX SUPER-20)이다.

3.1.4 혼화재

混和材는 Elkem社의 분말 Micro SF이며, 그 特性은 「표 7」과 같다.

「표 7」 혼화재 특성시험 결과

구분	화학적 성분 (%)					물리적 특성		
	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig. loss	비중	분말도 (cm ² /g)
SF	94.7	0.7	0.6	0.4	2.2	2.3	2.20	200,000

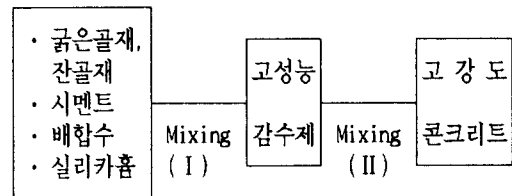
「표 7」에서 보듯이 SF의 분말은 매우 미세하고 또한 포졸란반응성과 充填性 때문에, 結合體의 強度 增進 및 시멘트 硬化體의 空隙을 감소시킬 수 있을 것으로 思料된다.

3.2 B/P 생산성 시험

3.2.1 배합시간 및 배합방법

일반강도 콘크리트에 비해 高强度 콘크리트 특성은 매우 다르며, 그 중 配合 時間 및 配合 方法은 B/P 生産性에 영향을 미치기 때문에 實用化에 있어 先決되어야 할 변수이다.⁵⁾

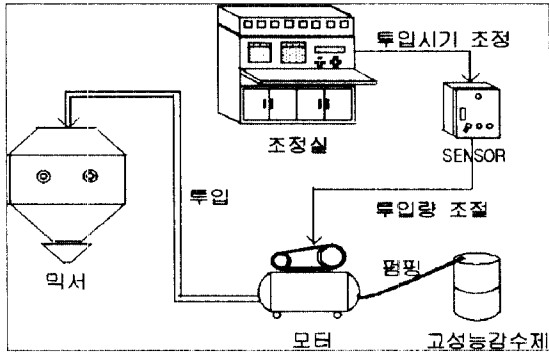
本 現場 適用은 「그림 2」와 같은 配合 方法으로 試驗 配合를 실시하였다.



「그림 2」 배합방법 및 배합시간

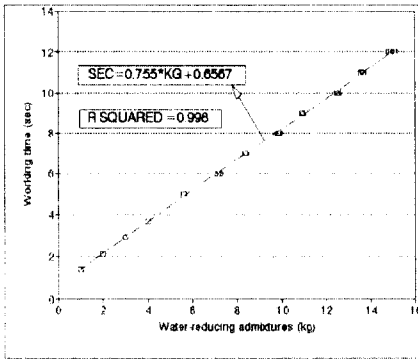
3.2.2 고성능 감수제의 첨가시간 및 첨가량

高性能 減水劑의 減水效果는 재료투입 순서, 添加 方法 및 時期 등에 따라 영향을 받는다.³⁾ 本 現場 適用은 「그림 3」과 같은 System의 自動 計量 裝置에 의해 재료투입을 실시하였다.



「그림 3」 고성능 감수제 자동투입 System

高性能 減水劑의 정확한 量을 투입하기 위한 반복계량과 Timer의 상관관계는 「그림 4」와 같다.



「그림 4」 투여량과 Timer의 상관도

現場適用時 각종 타설마다 檢證을 실시하여 그 정확도를 확인한 결과, Timer Sensor의 상관도는 매우 정확하다는 것을 알 수 있다.

3.2.3 배합변수

現場適用에 앞서 수행한 試驗配合의 變數는 「표 8」과 같다.

「표 8」 시험배합 변수

구분	물/결합재 비 (%)	배합시간 (sec)	단 위 시멘트량 (kg/m ³)	고성능 감수제 (%)
범위	30~33	60~120	450~500	1.4~2.0

3.3 시험배합 결과

3.3.1 실리카흙 특성 시험 결과

KS L 5402에 따른 SF의 單位水量比 및 壓縮

強度比 試驗結果는 「표 9」와 같다.

「표 9」 실리카흙 특성시험 결과

시험체명	단위재료량(g)			FLOW (cm)	단 위 수량비 (%)	압 축 강도비 (%)
	Gement	Sand	SF			
표 준	510	1250	-	21	100	100
실리카 흙 (Addition Method)	510	1125	125	21	126	132
실리카 흙 (Replacement Method)	460	1250	50	21	123	97

「표 9」에서 보듯이 표준 모르타르에 비해 SF를 10% 置換한 경우에는 同一 流動性을 확보하기 위한 單位水量의 증가를 알 수 있다. 또한 置換方法에 따른 壓縮強度比의 차이가 크게 나타났으며, 尙後 모르타르 시험에 대한 검토가 필요할 것으로 思料된다.

3.3.2 단위수량에 따른 특성

單位水量이 콘크리트의 특성에 미치는 영향은 여러 실험을 통해 규명되었다. 現場適用에 따른 수정배합을 최소화하기 위하여 실내실험에서 우수한 결과를 나타낸 單位水量 160, 150kg/m³인 경우를 비교하였다. 「표 10」은 B/P 生産性 實驗에서 굳지 않은 콘크리트의 특성을 나타낸 것이다.

「표 10」 단위수량에 따른 실험결과

시험체명	구분	W/C+P (%)	배합 시간 (초)	단위 C (kg)	S.P. (%)	소성콘크리트 특성				비 고
						SLUMP (cm)	FLOW (cm)	AIR (%)	TEMP (°C)	
SF-160-60	30	60	480	1.7	23.4	52	0.4	32	- 생산직후 - 경시30분	
					23.0	50	0.9	32		
SF-160-75	30	75	480	1.7	22.8	55	1.2	24	- 생산직후 - 경시30분	
					21.9	51	1.1	24		
SF-160-90	30	90	480	1.7	23.0	60	0.4	31	- 생산직후 - 경시30분	
					23.0	58	0.2	31		
SF-150-60	30	60	450	1.8	23.0	50	0.7	30	- 생산직후 - 경시30분	
					22.0	45	1.0	32		
SF-150-70	30	75	450	1.8	23.0	55	0.8	32	- 생산직후 - 경시30분	
					21.0	49	0.7	32		
SF-150-90	30	90	450	1.8	23.0	60	0.5	32	- 생산직후 - 경시30분	
					21.0	45	0.6	32		

「표 10」에서 보듯이 單位水量에 따라 高性能 減水劑의 添加量을 조절하므로 목표슬럼프(22 ± 2cm)를 달성할 수 있었다.

따라서 塑性 콘크리트의 특성과 單位水量의 관계는 FLOW值와 壓縮強度 결과에 근거하여 선정하는 것이 합리적인 것으로 思料된다.

「표 11」은 單位水量에 따른 재령별 強度試驗 결과를 나타낸 것이다.

「표 11」 단위수량에 따른 강도시험 결과

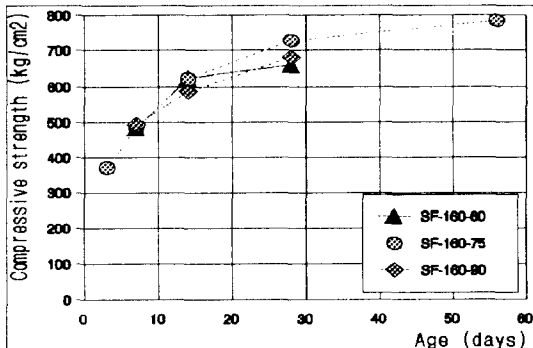
시험체명	구분	재령별 압축강도(kg/cm ²)					비 고
		3일	7일	14일	28일	56일	
SF-160-60	-	472	611	647	-	-	생산직후
	-	484	624	659	-	-	경시30분
SF-160-75	369	482	614	727	766	-	생산직후
	371	487	621	728	784	-	경시30분
SF-160-90	-	498	594	674	-	-	생산직후
	-	494	587	679	-	-	경시30분
SF-150-60	-	487	581	645	-	-	생산직후
	-	508	584	659	-	-	경시30분
SF-150-75	325	495	579	644	724	-	생산직후
	337	486	588	673	742	-	경시30분
SF-150-90	-	546	624	658	-	-	생산직후
	-	563	631	684	-	-	경시30분

「표 11」에서 보듯이 單位水量이 160kg/m³인 경우에 配合時間이 75秒일 때, 強度發現이 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 流動性, 強度特性에서 우수한 SF-160 시리즈로 現場適用을 추진하였다.

3.3.3 배합시간에 따른 특성

B/P의 配合時間은 콘크리트 性能을 확보하는 범위에서 가능한 짧게 하는 것이 生産性 측면에서 바람직할 것이다.

現場 打設時間을 經時 30分 기준으로 볼때, 단위수량 160kg/m³ 시리즈의 配合時間에 따른 강도특성은 「그림 5」와 같다.



「그림 5」 배합시간에 따른 강도특성(經時 30分)

「그림 5」에서 보듯이 配合時間에 따른 강도

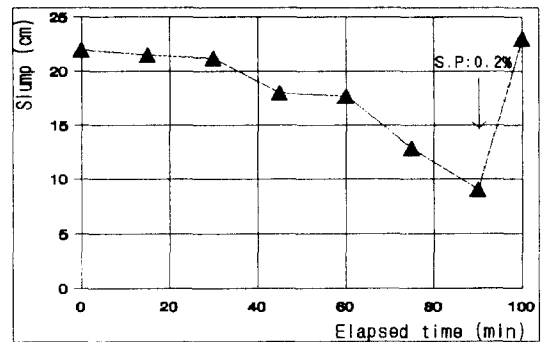
발현은 75秒일 때가 가장 우수한 것으로 평가되었기 때문에 本 現場適用의 配合時間은 75초로 하였다.

3.4 경시변화 특성 시험

B/P 生産性 試驗 및 配合試驗에서, 생산후 30分 經時變化를 각 시험체별 측정하였을 때 「표 10」에서 보듯이 슬럼프 손실이 크지 않는 것을 알 수 있다. 現場適用과 콘크리트의 經時變化 特性을 파악하기 위하여 레미콘 트럭에 最適配合으로 지정한 高强度 콘크리트 6m³를 적재한 후, 15分 간격으로 콘크리트 특성을 측정하였으며, 그 결과는 「표 12」 및 「그림 6」에 나타난 바와 같다.

「표 12」 경시변화에 따른 콘크리트 특성

시험체명	구분	W/C+P (%)	배합 시간 (초)	단위 C (kg)	S.P. 계 (%)	소성콘크리트 특성			
						SLUMP (cm)	FLOW (cm)	AIR (%)	TEMP (°C)
-	생산직후	30	75	480	1.7	22.0	46	1.5	32
-	경시15분					21.5	42	1.3	21
-	경시30분					21.2	40	1.1	30
-	경시45분					18.0	34	1.0	30
-	경시60분					17.7	31	1.0	30
-	경시75분					12.8	26	0.8	30
-	경시90분					9.0	21	0.7	30
후	첨가				0.2	23.0	52	-	-



「그림 6」 경시변화에 따른 슬럼프

「표 12」와 「그림 6」에서 보듯이 經時變化에 따른 슬럼프 손실이 매우 완만하다는 것을 알 수 있다. 이는 초기슬럼프의 영향이며, 現場 打設 계획상 최대 所要時間을 90分으로 하였을 경우에도 現場 도착후 後添加 方案으로 해결하는 것이 바람직하다.

3.5 타설성능 시험

B/P 生産性 및 運搬에 따른 經時變化 特性을 만족하더라도 현장 타설시 펌프압송에 의한 타설性能을 평가하는 것이 필요하다.

本 現場適用에 앞서 超高強度 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 壓送前·後 性能을 비교·분석하므로 現場 打設時 品質管理에 만전을 기하고자 하였다. 「표 13」은 超高強度 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 壓送前·後 콘크리트 性能을 비교한 것이다.

「표 13」 콘크리트의 펌프타설 성능 비교

구분 콘크리트강도	시험종류	압송전		압송후		압송압 (Kg/cm ²)
		\bar{x}	\bar{s}	\bar{x}	\bar{s}	
초고강도 콘크리트 (700 kg/cm ²)	슬럼프(cm)	21.7	18.3			100
	Flow(cm)	54.0	48.0			
	공기량(%)	1.2	1.0			
일반 강도 콘크리트 (210 kg/cm ²)	슬럼프(cm)	15.2	10.5			100
	Flow(cm)	24.0	21.2			
	공기량(%)	3.0	2.4			

「표 13」에서 보는 바와 같이 超高強度 콘크리트의 壓送前·後 슬럼프 손실은 3.4cm인데 비해, 보통강도 콘크리트는 4.7cm로 나타났다. 또한 超高強度 콘크리트 슬럼프 22cm 정도가 보통강도 콘크리트의 15cm 정도와 비슷한 압송압이 소요되는 것으로 나타났으며, 이는 기존의 研究와도 유사한 傾向을 보였다.⁶⁾ 따라서 超高強度 콘크리트가 粘性이 크다하더라도 材料分離가 일어나지 않는 最適範圍의 配合設計로 콘크리트를 생산할 경우, 펌프 壓送에는 큰 문제가 없을 것으로 思料된다.

IV. 현장타설

4.1 현장타설 계획

現場 B/P에는 시멘트 Silo 두기가 설치되어 있으나, SF를 自動計量하여 투입하는 장치가 없기 때문에 골재 계량호퍼를 통해 미리 계량된 SF를 人力에 의해 手動投入하였다.

이때, B/P 配合時間에 최대한 영향을 주지 않도록 하기 위해 投入裝置를 考案, 適用하였다. 超高強度 콘크리트 生産은 B/P Operator가 담당하였으며, 연구팀은 壓送前·後의 콘크리트 특성과 다짐 특성에 대해 실험을 실시하여 비교·분석하였다.

4.2 현장타설 장비계획

現場打設用 펌프카와 진동기의 성능은 「표 14」와 같다.

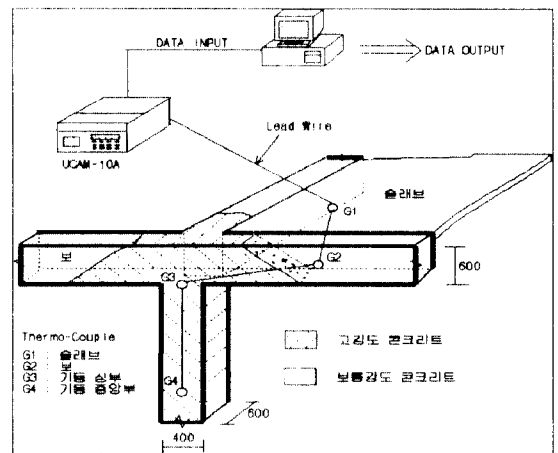
「표 14」 현장 타설 장비 성능

종류 구분	펌 프 카	진 동 기
모델명	SPF - 100BL	DE 180DG
제원 및 특성	최대압력: 700kg/cm ²	엔진식 봉형
	관경: 내경 13cm	직경: 42mm
	층: 4단 굴절식	길이: 100cm
	최대수송 거리	최대출력: 5.0PS/ 3600rpm
	수평 306m, 수직 89m 압송량: 10~100m ³ /h	

當 研究所에서 작성한 “高强度 콘크리트 施工指針(案)”에 따른 品質管理 조건과 현장실정은 큰 差異가 존재하였기 때문에, 무엇보다도 현장 技能工의 品質에 대한 認識이 요구되었다. 또한, 裝備計劃에 있어 진동기의 댓수나 예비 진동기도 필요하지만, 이번 現場適用은 현장조건에 준해서 실시하는 것을 원칙으로 하였다.

4.3 현장타설 준비

現場打設을 위해 試驗, 測定할 특성에 따른 試驗裝備를 준비하였으며, 콘크리트 水和熱 特性을 측정하기 위해서는 「그림 7」과 같은 위치에 水和熱 측정용 게이지(Teflon T Type)를 매립하였다. 이때 SF를 사용한 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 水和熱을 함께 비교, 분석하였다.



「그림 7」 수화열 측정용 게이지 매립

現場打設時 측정된 콘크리트 특성은 壓送前·後의 콘크리트 特性, 그리고 코아 부재의 다짐 성능을 비교하기 위한 부재를 제작하였다.

4.4 현장타설

3개층 打設時 平均氣溫은 28℃ 정도였으며, 높은 기온에 의한 材料特性의 변화에 對應하기 위해 잔골재 및 굵은 골재의 表面水量을 2회/1日 측정하여 配合設計에 반영하도록 하였다. B/P에서 超高强度 콘크리트의 생산은 試驗配合에서 나타난 결과를 반영하여 굵은 골재, 잔골재, SF, 시멘트, 配合水를 同時에 믹서에 투입한 후 15~20초의 豫備配合를 한후 高性能 減水劑를 投入하였다. 콘크리트 排出까지 所要되는 總 配合時間은 75秒로 하였다. 콘크리트 配合은 한 믹서에 1.4m³/1회씩 5번 생산하여 레미콘 트럭 1대에 7m³씩 적재하였으며, 이때 걸리는 時間은 7~8分 정도 소요되었다.

層에 따라서 펌프카를 한 곳에 定置시켜 놓고 한층을 모두 打設할 수도 있지만 上部層은 펌프카의 팔길이로 인해 펌프카를 타설 도중에 移動하는 경우도 있다. 펌프카 移動時間은 40分 정도 소요되었는데 물론 超高强度 콘크리트 生産은 配車計劃에 따라 조절할 수 있지만, 펌프카 壓送管內에 남아있는 高强度 콘크리트가 移動時間內에 凝結될 우려가 예상되었다.

방법상 일반강도 콘크리트로 대체시키고 펌프카를 이동하는 方法도 있지만, 經時變化 特性에 나타난 바와 같이 流動性を 維持할 수 있는 시간을 60分까지 보았을 때 별 문제가 되지 않지 때문에 펌프카 移動後 連續적으로 타설하였다.

4.4.1 펌프압송에 따른 유동성

펌프압송에 따라 콘크리트의 特性이 변화되는 것이 일반적이다. 本 現場適用에서 나타난 각 층별 콘크리트의 특성값은 「표 15」와 같다.

「표 15」 펌프압송에 따른 유동성

구분	종류	시험종류	압송전	압송후	압송압 (kg/cm ²)
CASE I	100	슬럼프(cm)	$\bar{x}=22.0$	$\bar{x}=18.7$	100
		Flow(cm)	$\bar{x}=48.0$	$\bar{x}=42.0$	
		공기량(%)	$\bar{x}=1.3$	$\bar{x}=1.0$	
CASE II	100	슬럼프(cm)	$\bar{x}=21.5$	$\bar{x}=20.0$	100
		Flow(cm)	$\bar{x}=49.0$	$\bar{x}=48.0$	
		공기량(%)	$\bar{x}=1.2$	$\bar{x}=1.0$	
CASE III	100 ~80	슬럼프(cm)	$\bar{x}=23.0$	$\bar{x}=20.5$	100 ~80
		Flow(cm)	$\bar{x}=64.0$	$\bar{x}=48.0$	
		공기량(%)	$\bar{x}=0.9$	$\bar{x}=0.8$	
CASE IV	120	슬럼프(cm)	$\bar{x}=18.0$	$\bar{x}=13.8$	120
		Flow(cm)	$\bar{x}=36.0$	$\bar{x}=26.0$	
		공기량(%)	$\bar{x}=1.5$	$\bar{x}=1.1$	

「표 15」에서 보듯이 壓送에 의한 슬럼프, FLOW 및 공기량은 層別 차이가 있으나, 평균적으로 감소하는 경향이 있다. 이는 펌프압에 따른 콘크리트의 壓密化가 그 원인으로 思料되며, 壓送前·後 強度特性과 함께 비교해야 할 것이다. 특히 Case IV의 경우에는 現場 到着後 30分 打設이 遲延되었기 때문에 전반적인 經時低下가 나타났다.

4.4.2 펌프압송에 따른 강도특성

펌프압송에 의한 壓送前·後의 材令別 공시체 및 코아, 슈미트強度實驗結果는 「표16」과 같다.

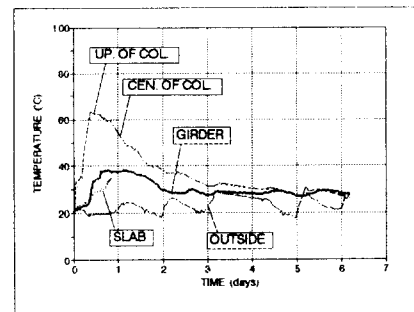
「표 16」 펌프압송에 따른 강도특성

시험명	구분	시험체 조건	재령별 압축강도 (kg/cm ²)				
			3일	7일	14일	28일	56일
압송 전 (x̄)	공시체	코아	465	592	714	729	-
		코아	-	553	706	718	-
압송 후 (x̄)	공시체	코아	465	580	731	740	-
		코아	-	612	729	734	-
비파괴 강도			420	480	550	-	-

「표 16」에 나타나듯이 壓送에 의한 強度變化는 壓送後가 대체로 크게 나왔으며, 또한 코아 강도의 경우, 壓送에 의한 차이도 있으나, 다짐을 한 경우이기 때문에 더 크게 나타났다. 또한 공시체강도에 비해 코아강도가 90%이상을 나타내었다. 이는 코아천공시 충격이나 교란에도 불구하고 양호한 강도특성을 나타내어, 構造物 자체의 강도가 매우 양호함을 알 수 있다.

4.5 수화열 특성 분석

水和熱 測定時 外氣溫은 평균 25℃였으며, 「그림 7」과 같은 위치에 콘크리트 打設後 1日間은 15分 간격으로, 3일간은 30分, 그후 外氣溫과 거의 비슷한 기간까지 1시간 간격으로 UCAM-10A를 이용하여 水和熱을 측정하였다. 「그림 8」은 측정된 水和熱 特性을 나타낸 것이다.



고강도:
UP, AND
CEN. OF
COLUMN.

보통강도:
GIRDER,
SLAB,

「그림 8」 부재 위치별 수화열 특성

「그림 8」에서 보듯이 SF를 사용한 超高强度 콘크리트의 水和熱은 打設後 9시간이 경과하여 最高溫度(63.5℃)에 도달하였다. 이에 비해 보통강도 콘크리트로 타설한 부재는 타설후 16시간이 경과하여 最高溫度(38.2℃)에 도달하였다. 이러한 결과는 부재의 크기, 외기온의 영향, 超高强度 콘크리트의 단위시멘트량 증가에 따른 水和反應性이 증대된 것으로 사료된다.

또한 FLY ASH 콘크리트와는 달리 SF를 사용한 콘크리트의 水和熱 發生은 타설후 초기에 높게 나타나는데, 이는 SF의 포졸란 반응 자체가 初期에 발생하며, 따라서 初期強度 발현이 크다는 것과 관련하여 고려하는 것이 바람직할 것으로 思料된다.

4.6 현장적용시의 품질관리

超高强度 콘크리트의 현장적용에 있어서 B/P 생산은 근래 機械設備가 自動化되어 있기 때문에 별 어려움이 없다. 또한 經時變化 特性에 맞는 配合調節과 초기슬럼프 선정 및 高性能 減水劑의 後添加 方案으로 運搬時間에 따른 콘크리트 특성에 관한 要求性能을 얻을 수가 있으며, 펌핑 壓送前·後 콘크리트 특성이나 강도 관리에서 나타나듯이 큰 문제점이 없다. 그러나, 펌프 壓送後 부재에 타설하고 다짐하는데 있어서는 몇가지 문제점이 도출되었다.

“高强度 콘크리트 施工指針(案)”에 따른 타설높이, 다짐시간, 다짐간격 등은 엄격히 준수하기에는 現場 技能工들의 認識 부족으로 品質管理에 어려움이 많았다. 특히 근래에 들어 建設技能職의 高齡化와 忌避現象등은 이번 現場適用에서 뿐만 아니라 建設業界의 전반적이 현상이 아닐 수 없다. 다행히 펌핑 압송 슬럼프가 20 ± 2 cm 정도 유지되었고, 세밀한 品質管理를 행하지 않더라도 거푸집 제거후 콘크리트 표면 마감이나 充填性은 양호하였다.

따라서, 品質管理를 사전에 엄격히 하는 것도 중요하지만, 현장실정을 반영하여 이러한 문제를 해결하는 방안의 하나로 향후 高性能 콘크리트(High Performance Concrete)가 研究·開發되어 建設業界의 당면과제를 해결해 나가는 방법이 바람직 할 것으로 思料된다.

V. 결 론

超高强度 콘크리트의 실용화 일환으로 수행된 現場適用을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

①本 現場適用은 현장실험이나 일부적용이 아닌 1동의 건물에 $700\text{kg}/\text{cm}^2$ 超高强度 콘크리트를 國內에서 처음 대량 打設함으로써, 超高强度 實用化의 可能性을 제시하였다.

②高强度 콘크리트 施工指針(案)에 따른 品質管理 및 現場品質에 대해 指針(案)을 補充할 수 있었다.

③現場配合時間은 가능한 짧게 하는것이 生産性에 유리하나, 混和材를 사용할 경우 품질 확보를 위해 75秒로 하는 것이 바람직하다.

④運搬時間에 따른 슬럼프손실을 최소화하기 위한 방안으로 初期슬럼프를 증대시키고, 配車計劃은 60分 정도로 하는 것이 바람직하다.

⑤펌핑 壓送後 슬럼프, FLOW, 공기량등은 약간 감소하나, 強度發現은 壓送에 의한 壓密化 영향으로 약간 증대하는 경향을 보였다.

⑥펌핑에 따른 超高强度 콘크리트의 壓送壓은 $100\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로, 이는 보통강도 콘크리트의 壓送壓과 비슷한 수준으로 나타났다.

⑦보-기둥 접합부 처리방식은 構造檢討 및 現場作業 여건을 고려하여 검토할 필요가 있으며, 향후 高强度化에 따른 종합적인 設計 및 施工 시스템을 확보되어야 할 것이다.

『감사의 글』

本 現場適用을 위해 아낌없이 지원해 주신 (株)大宇 진해건축현장 이홍모 부장님과 직원 여러분, 감리단, 감독관, 그리고 콘크리트 生産에서 打設까지 성공적으로 마칠 수 있도록 도와주신 중기사업소 직원 여러분께 감사드립니다.

<參考文獻>

1) “高强度 콘크리트의 經濟的 配合比 決定 및 實用化에 관한 연구”, (株)大宇 建設技術研究所 技術論文, DEP-C004-88, 1988. 4

2) 박철림, 조철근, 양은익, 장승규, 권영호, “現場打設 高强度 콘크리트의 施工性 및 強度特性에 관한 실험적 研究”, 한국콘크리트학회 논문집 제3권2호, 1991, pp. 97~104

3) 박철림, 안재현, 권영호, “高强度 콘크리트의 配合方法과 運搬特性에 관한 실험적 研究”, 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집 제4권1호, 1992, pp. 7~12

4) 박철림, 권영호, 김문한, “高强度콘크리트의 經濟性 分析에 관한 研究”, 대한건축학회 추계 학술발표논문집 제12권2호, 1992, pp. 605~608

5) 柿崎正義·分廣英俊, “シリカフェーム, フライアッシュ, 高爐スラグ微粉末を用いた超高强度現場打コンクリートの研究 (その4. 練混ぜ方法による強度特性)”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1987. 10

6) 尾上 修·佐原晴也·兼平孝徳, “高强度コンクリートポンプ壓送性に関する實驗”, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1989, pp. 257~258