

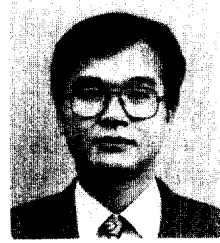
# 공 사 기 사

## 건축구조물에 고강도 콘크리트 현장적용 (株)대우 진해현장

The Site Application of High Strength Concrete(500~700kg / cm<sup>2</sup>)



박 칠 림\*



권 영 호\*\*

### 1. 머리말

#### 1.1 현장적용 배경

(주)대우 건설기술연구소 고강도 콘크리트팀은 '88년 “고강도 콘크리트의 경제적 배합비 결정 및 실용화에 관한 연구”를 시작으로 그해 “고강도 콘크리트 품질관리 지도서”를 발간하였다. '89년에는 “고강도 콘크리트 실용화를 위한 부재시험 연구”를 실시하여 고강도 콘크리트 연구를 위한 본격적인 준비를 마치게 되었다.

'90년에는 “500kg/cm<sup>2</sup> 고강도 콘크리트 현장 타설 실험”을 성공함으로써 현장에서의 고강도 콘크리트의 생산, 운반, 타설, 양생, 강도관리 등에 대한 품질관리 방안을 마련하여 '91년 “고강도 콘크리트 시공지침(안)”을 작성한바 있다. 또한, 콘크리트 전문가가 아니더라도 현장 사용자가 쉽게 콘크리트의 배합설계 및 품질관리를 할 수 있는

“Expert System”을 개발하였다.

이번 현장적용은 '92년도에 실시한 “혼화재를 사용한 고강도 콘크리트의 품질개선 연구”에 이은 체계적이고 지속적인 연구의 결실이라고 해도 과언은 아닐 것이다.

본 프로젝트는 단지 현장여건에 따른 시험적용이 아니라 (주)대우 건설기술연구소 고강도 콘크리트팀이 이때까지 연구한 성과를 현장적용에 집목하였다는데 의의가 크다고 할 수 있다.

이번 현장적용을 통해 고강도 콘크리트의 품질관리 및 강도관리의 의문을 분석시키고, 향후 고강도 콘크리트 설계 및 종합적인 시공시스템을 완비하여 콘크리트 분야의 선진화에 기여하는 계기가 될 것으로 확신한다.

#### 1.2 현장적용 목적 및 내용

연구성과를 실용화 한다는 것이 가장 큰 목적일 것이다. 그러나, 연구성과의 실용화란 그 자체의 의의도 중요하지만, 연구성과를 현장에 적용하면

\* 정회원, (주)대우 건설기술연구소 소장, 전무이사

\*\* 정회원, (주)대우 건설기술연구소 연구원

서 나타나는 문제점이나 품질관리에 따른 제반특성을 파악하여 향후 실용화 기술을 마련하는 것도 중요하다고 할 것이다.

따라서 본 원고에서 서술하고자 하는 내용은 논문적 성격보다는 현장조건에 따른 프로젝트 내용들을 중심으로 공사기사의 성격으로 간주려 보자 한다.

본 원고에 서술하고자 하는 내용을 구체적으로 분류하면 다음과 같다.

첫째, 고강도 콘크리트의 현장적용에 대한 현장 실무자의 인식과 적용과정에 있어서 중요한 포인트를 요약하여 실용화의 방향을 제시하고자 한다.

둘째, 고강도 콘크리트를 Batch Plant(이하 B/P)에서 생산하는 과정과 담당 기술자의 업무분담 결과를 요약하여 실용화 가능성을 제시하고자 한다.

셋째, 고강도 콘크리트의 운반, 펌핑시설, 다짐, 양생등과 같은 품질관리의 수행 및 결과와 더불어 작업자들의 인식을 중심으로, 향후 실용화에 요구되는 품질관리면을 소개하고자 한다.

넷째, 고강도 콘크리트의 현장적용 결과를 전반적으로 요약하고, 또한 구체적인 검토사항에 대해 향후 규명할 문제점을 중심으로 그 해결 방법에 대한 평가와 방향 제시를 하고자 한다.

## 2. 현장 개요

### 2.1 현장 개요

현장적용의 대상 프로젝트는 (주)대우 전해건 축현장으로 공사개요는 표 1과 같다.

표 1 공사개요 일람표

구분	내용	구분	내용
현장위치	경남 진해시 현동	설계사	(주)대우엔지니어링
공사기간	'92.1~'94.12	총수	지하 1층, 지상 3층(A동) 4차 2층, 지상 4층(B동)
건물구조	철근콘크리트조	감리사	동명기술공단
시공사	(주)대우	현장명	(주)대우 2해 건축현장

표 1에서 보듯이 현장적용 구조물로 지하 1층, 지상 4층인 B동은 보통 포틀랜드 시멘트(1종)을 사용한  $600\text{kg}/\text{cm}^3$ 급 고강도 콘크리트의 적용대상이며, 지하 1층, 지상 3층인 A동은 플라야쉬(이하 F/A), 실리카 흙(이하 S/F)을 각각 치환한  $500\sim 700\text{kg}/\text{cm}^3$ 급 고강도 콘크리트를 적용한 프로젝트이다.

본 현장은 용량  $90\text{m}^3/\text{hr}$ 인 B/P가 설치되어 있으며, 1일 평균 콘크리트 생산량이  $300\sim 500\text{m}^3$  정도되기 때문에 고강도 콘크리트 생산시 B/P의 시간당 생산성이 매우 중요하다는 것을 암시해 준다. 따라서 이러한 현장이건 및 현장일정에 대한 충분한 고려가 현장적용에 반영되어야 하겠다.

### 2.2 현장적용 대상

고강도 콘크리트 현장적용 부재는 기둥을 원칙으로 하였으며, 보-기둥 접합부 처리는 3Case로 나누어 그림 1과 같이 분리타설하는 방안을 검토하였다.

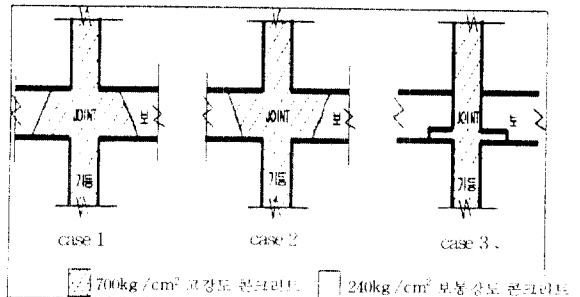


그림 1 기둥-보 분리타설 접합부

그림 1에서 보듯이 이도 방법을 사용하더라도 보-기둥 접합부의 철근 배근이 매우 복잡하기 때문에 접합부 처리가 쉽지는 않았다.

본 현장적용에서는 비교적 시공성 면에서 수월한 것으로 나타난 Case1 방법으로 수행하였다. 그러나, 향후 접합부 처리에 따른 구조성능을 함께 검토하여 현장 시공성이나 구조적으로 안전한 방법을 정립해야 할 것이다.

이번 현장적용 기둥의 크기별 상세는 표 2와 같다.

표 2 현장적용 기둥 크기

구분	층수	기둥크기(cm × cm) 총고 : 380cm			
A棟	1층~2층	50	60	205	75
		40 C1	40 C2	30 C3	30 C4
B棟	3층	50	60	60	75
		40 C1	40 C2	30 C3	30 C4
B棟	1층~4층		45		10
			45 C1	40 C2	

표 2에서 A동은 F/A 20% 치환한 500kg/cm<sup>2</sup> 고강도 콘크리트와 S/F 10% 치환한 700kg/cm<sup>2</sup> 고강도 콘크리트 기둥을 구획하여 각각 타설하였다.

A동의 기둥은 각층마다 C1이 10개, C2가 18개, C3는 2개, 그리고 C4가 4개로 총당 총 34개 기둥으로 구성되어 있다. 또한, B동은 내수용 보통 포틀랜드 시멘트(1종)을 사용한 600kg/cm<sup>2</sup> 고강도 콘크리트로 타설되었으며, 3층까지는 C1이 6개, C2가 18개로 구성되어 있으며, 4층은 C1이 4개, C2가 4개로 구성되어 있다.

### 2.3 현장적용 준비

(주)대우 진해현장은 B/P 설비(용량 90m<sup>3</sup>/hr), 믹서트럭, 펌프카등 보통 강도 콘크리트와 마찬가지로 고강도 콘크리트의 생산, 운반, 타설에 필요한 장비가 구비되어 있었다. 또한 현장자체의 품질관리를 위한 실험실이 있으며, 실험장비는 물론 품질실험 관리자와 시험사들이 상주하고 있었다.

따라서, (주)대우 기술연구소 연구팀은 현장 적용에 필요한 혼화재료와 기타장비를 현상으로 운반하여 제반특성을 측정할 수 있도록 하였다.

현장 담당자와 감리단, 감독관의 협의를 기치면서 고강도 콘크리트의 시공성, 강도발전, B/P 생산성, 공기분배, 품질관리 그리고 결과에 대한 평가방법이 주된 협의의 대상이 되었다.

이에 (주)대우 건설기술연구소의 연구성과와

현장 시험배합의 결과를 검토한 후, 타설하기로 결정하였다. 물론 이 단계에서 고강도 콘크리트에 대한 이해를 높이기 위한 충분한 자료와 검증이 필요하다는 것은 당연한 것이라 생각된다.

현장타설 일정은 A동의 경우 한층 타설후 그 다음층 타설하는 기간을 20일로, B동의 경우는 15일로 정하였다. 특히 상마찰에 대비한 품질관리 방안과 일정지연을 고려해야 하며, 타설기간을 제외한 시간은 B/P 시험배합, 운반에 따른 경시변화, 펌프압송성능 및 각종 시험을 하는 것으로 일정관리를 하였다.

본 현장적용에 사용된 장비의 제원은 표 3과 같다.

표 3 사용장비 제원 일람표

장비 종류	모델명	제원 및 특성
Batch Plant	HYMix 1500H	용량:90m <sup>3</sup> /hr 회전속:20rpm(형상속) 배출개:에어실린더 혼합용량:1.5m <sup>3</sup> /Batch 전력:30kW×2 공제압도: 작상(0~150mm) 해상(0~120mm) 모집길이:4030mm 최대수장:2150mm 모집용량:10.5m <sup>3</sup>
Mixer Truck	V235T	혼합용량:6m <sup>3</sup> 모집회전속(rpm): 혼합시(8~12) 모집시(1~3) 운행시(1~10) 배출시(1~10)
Pump Car	SFP 100BL	최대압력:700kg/cm <sup>2</sup> 관경:13cm 분할식:4년 공질식 최대수장거리: 수장:300m, 수직:90m 압송용량:10~100m <sup>3</sup> /hr 엔진식 동력
Vibrator	DE 180DG	직경/길이:12mm/100cm 최대출력:5.0PS/3600rpm LOAD SPEED:500~900rpm
공기 제압기	SHIBUYA	공동수:50~60Hz 용량:2.1KW, 220V 직경:10cm

### 3. 현장적용 시험배합

#### 3.1 재료시험

현장적용을 위한 시험배합은 표 3에 나타난 현장장비와 보통강도 콘크리트를 생산하기 위한 현장재료를 그대로 사용하였으며, 고성능 감수제 및 F/A, S/F는 본 프로젝트를 위해 준비한 재품을 사용하였다.

##### 3.1.1 시멘트

현장에서 사용한 시멘트는 60톤급 Silo 2기에 Bulk 형태로 보통 포틀랜드 시멘트(1종)로써 품질시험 결과는 표 4 및 표 5와 같다.

표 4 시멘트 화학적 특성

항목	장염함량 (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>2</sub> (%)
D사(X)	0.76	21.2	5.95	2.97	63.15	2.5	2.02
S사(X)	0.5	21.5	5.80	3.30	-	2.9	2.3

표 5 시멘트의 물리적 특성

항목	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	용결시험 (150°C)		압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )			비중
			초경 (분)	종결 (시간)	3일	7일	28일	
D사(X)	3.031	0.1	145	4:37	180	278	382	3.08
S사(X)	3.250	0.1	255	6:30	188	280	379	3.10

시멘트의 품질검사는 현장반입시 국립화학시험소, 시멘트 업계의 시험성적표 및 현장시험실에서 실험한 결과의 평균값으로 모두 KS 규격을 만족하였다.

##### 3.1.2 골재

굵은 골재는 김해 용원석산에서 생산되는 25mm 쇄석, 잔골재는 합천산 모래를 사용하였으며, 품질시험 결과는 표 6과 같다.

골재의 품질시험 결과, (주)대우 건설기술연구소 "고강도 콘크리트 시공지침(안)"에서 규정한 골재품질을 만족하고 있다. 이러한 골재의 품질시험은 골재 호퍼용량(17m<sup>3</sup>)당 1회 실시하는 것을

표 6 골재의 품질시험 결과

종류	잔골재	굵은골재
비중	2.51(≥2.5)	2.55(≥2.5)
조립율(F.M)	3.23(-)	6.94(-)
흡수율(%)	1.48(≤3.0)	1.48(≤2.5)
마모율(%)	-	18.4(≤25)
실적율(%)	62.4(≥60)	57.0(≥57)
단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )	1,610	1,470

(-)안은 고강도 콘크리트 시공지침(안) 규준에 의거

원칙으로 하였으며, 표면수율은 2회/일 측정하여 골재 호퍼에 매설된 함수량 측정결과와 비교하여 배합설계에 반영하였다. 현장적용시 표면수율 변동을 최소화하기 위해 통풍이나 증발로 인한 변화를 방지하는 장치를 설치하였다.

##### 3.1.3 혼화제

고강도 콘크리트의 물/시멘트비를 낮추고 유동성을 확보하기 위해 배합설계에 반영되는 의미의 혼화제는 "고성능 감수제"라 한다. 또한, 현장적용 이전의 연구성파에 의하면, 고성능 감수제를 첨가할 때 배합수와 희석할 경우 분산성능이나 감수효과가 저하되는 것으로 나타났다.

따라서 본 현장적용에서 B/P에 고성능 감수제를 투입하는 방법은 가장 효과적인 결과를 나타낸 방법으로 수행하였다.

현장적용에 사용된 고성능 감수제는 Grace사의 Darex-Super 20으로 품질시험 결과는 표 7과 같다.

표 7 고성능 감수제 품질시험 결과

구분	수성분	형태 색상	비중	pH	고형성분 (%)	사용량 (C%)
DAREX	SNF*	액상 암갈색	1.21	8.94	41.0	0.3~2.5

SNF : Sulphonated Naphthalene Formaldehyde

B/P에서의 혼화제 공급설비는 300ℓ 저장탱크에서 1인치 기어펌프에 의해 계량된 후 배합수에 희석하여 함께 투입되는 설비로 되어있다. 따라서 본 현장적용시 고강도 콘크리트 생산을 위한 고성

능 감수제 투입장치는 그림 2와 같이 별도의 설비를 장치하여 재료투입 순서에 따라 Timer에 의해 B/P의 믹서에 직접 자동투입하는 방법을 채택하였다.

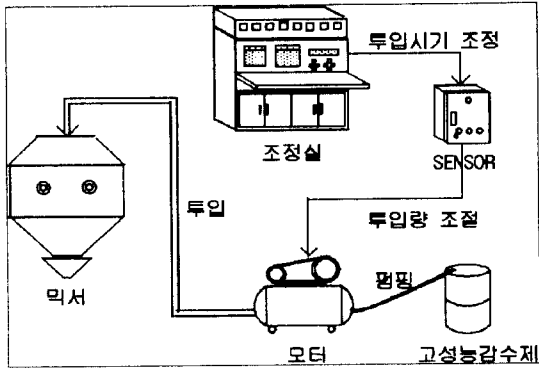


그림 2 고성능 감수제 자동투입 장치

### 3.1.4 혼 화 제

혼화제는 콘크리트내 결합재의 개념으로 다량 사용되는 재료이며, 본 현장적용에 사용된 F/A, S/F을 포함한다. F/A는 이전의 실내실험 및 국내에 비교적 잘 알려진 보령 화력발전소의 산업폐기물로, 본 현장적용을 위해 약 10ton 정도를 사용하였다. 이는 산업폐기물을 건설산업에 재활용할 수 있는데 큰 의미를 부여할 수 있을 것이다. 또한 S/F는 Elkem사의 Micro-Silica로 본 현장적용을 위해 2.5ton 정도가 사용되었다. 이러한 혼화제의 품질시험 결과는 표 8과 같다.

표 8 혼화제의 특성시험 결과

구분	화학적 성분(%)						물리적 특성	
	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig. loss	비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)
S/F	94.7	0.7	0.6	0.4	2.2	2.3	2.20	200,000
F/A	78.6	0.2	-	0.2	-	3.6	2.33	3,124

표 8은 혼화제의 순수 재료특성이지만 이러한 재료가 콘크리트내에서 어떤 역할을 하는가를 예측하기 위해 KS L 5402에 따라 표준 모르타르 시험과 비교한 특성을 표 9에 나타내었다.

표 9 혼화제의 특성시험 결과

시험종류	단위 재료량(g)			FLOW (cm)	단위 수량비 (%)	압축 강도비 (%)
	시멘트	모래	혼화제			
표준 모르타르	510	1250	-	21	100	100
실리카흄	510	1125	125	21	126	132
플라이 애쉬	510	1125	125	21	101	117

표 9에서 압축강도비는 KS 규격(100% 이상)에 만족하나 단위수량비는 실리카 흄의 경우 KS 규격(105% 이하)보다 큰 것으로 나타났다. 따라서 현장적용시 단위수량이나 고성능 감수제 첨가량으로 시공성을 조정해야 할 것으로 사료된다.

혼화제 투입장치는 향후 대량생산이 요구될 경우에는 시멘트 Silo 같은 설비를 장치할 수 있지만, 본 현장적용에서는 Silo를 이용해 자동투입하는 것이 여러 여건상 불가능하였기 때문에, 그림 3과 같은 장치로 인력에 의해 수동투입하였다.

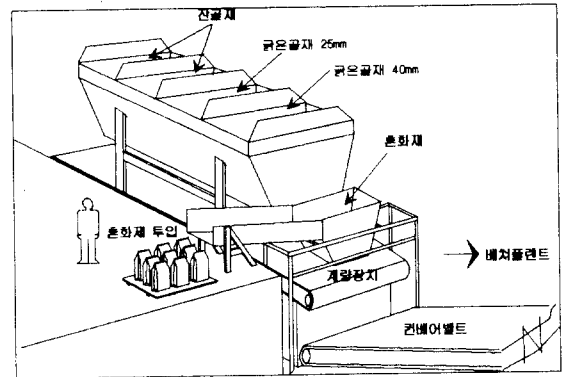


그림 3 혼화제 투입 장치

### 3.2 B/P 생산성 시험

B/P 생산성 시험을 위한 배합변수는 표 10과 같다.

표 10 B/P 생산성 시험 배합변수

배합 변수	물 / 결합재비 (%)	배합시간 (sec)	단 위 시멘트량 (kg·m <sup>3</sup> )	고성능 감수제 (C×%)	B/P
					배합량 (m <sup>3</sup> )
범위	30~33	60~180	450~500	1.0~2.0	0.25~1.5

표 10에 나타난 배합변수를 조합하여 B/P 생산 시험을 실시하였으며, 각 조합에 대한 보통 포틀랜드 시멘트(1종), S/F 10% 치환, F/A 20% 치환등 3가지 경우를 각각 실시하였다.

### 3.2.2 배합시간 및 배합방법

보통 상도 콘크리트에 비해 고강도 콘크리트의 배합특성은 매우 다르며, 그 중 배합시간 및 배합방법은 B/P 생산성에 영향을 미치기 때문에 실용화에 있어 선결되어야 할 변수이다. 본 현장적용은 그림 4와 같은 배합방법으로 시험배합을 실시하였다.

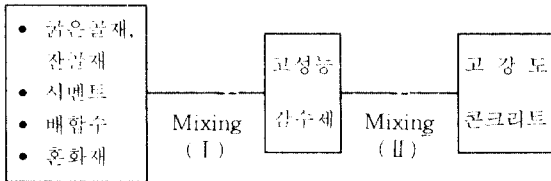


그림 4 고강도 콘크리트 배합방법

본 현장적용은 보통 포틀랜드 시멘트(1종)를 사용하는 경우에는 자동설비에 의한 생산이 가능하기 때문에 배합방법에 큰 문제가 없으나, F/A 및 S/F와 같은 혼화재를 B/P에서 투입할 경우 투입시간을 최소화하기 위해 미리 필요한 혼화제량을 계량하여 그림 3과 같은 투입구를 통해 한꺼번에 믹서로 운반되도록 하였다. 이때 B/P의 Operator와의 투입시간의 연락은 계량호퍼에 설치된 관측카메라와 통신시설을 최대한 이용하도록 하였다.

배합방법은 일괄투입으로 배합시간을 단축하였고, 고성능 감수제의 투입도 자동으로 행해지기 때문에 배합시간에 영향을 미치지 않는다.

총 배합시간은 그림 4의 I 과 II를 합해 60~180 초까지 5개 변수로 선정하여, 이에 따른 소성 콘크리트의 특성 및 경시변화, 강도특성을 측정·비교하였다.

### 3.2.3 고성능 감수제의 첨가시간과 첨가량

고성능 감수제의 감수효과는 B/P에서 배합시 재료투입순서, 첨가방법 및 첨가시기에 따라 영향

을 받는다. B/P에서 고강도 콘크리트를 생산하기 위한 고성능 감수제의 투입장치는 전술한 그림 2와 같다. 고성능 감수제의 첨가시기는 모든 재료를 믹서에 투입한 후 10~20초 배합한 다음 투입하였다. 또한 고성능 감수제 첨가량은 그림 5에서 보듯이 자동계량 Timer와 첨가량의 상관관계에서 나타난 결과로 정하였다.

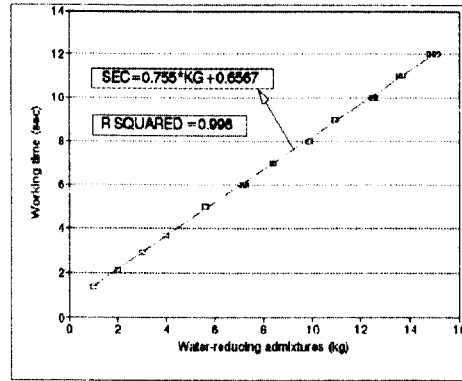


그림 5 고성능 감수제 첨가량과 Timer 관계

그림 5에서 보듯이 첨가량과 Timer의 상관 관계는 신뢰도 90% 이상으로 매우 정확하였다.

현장적용시 각종 타설마다 검증을 실시하였으며 그 정확도를 확인한 결과, Timer Sensor의 상관도는 매우 정확하다는 것을 알 수 있었다.

### 3.2.4 배합시간에 따른 특성

B/P의 배합시간은 짧은수록 생산성 측면에서 바람직하다. 그러나 고강도 콘크리트의 부배합 성능을 고려하여 60~180초의 배합시간에 따른 실험 결과, 배합시간 75초가 콘크리트의 요구성능 및 B/P 생산성을 만족하였기 때문에 본 현장적용의 배합시간은 75초로 선정하였으며, 각 배합별 B/P 생산성 시험결과는 표 11 및 표 12와 같다.

표 11 B/P 생산성 시험결과(流動性)

시험제명	구분 W/C+P (%)	배합 시간 (초)	단위 C (kg)	S.P 세 (%)	소성 콘크리트 특성			
					SLUMP	FLOW	AIR	TEMP
PC15075	30	75	500	1.3	20.4	44	1.2	28
FA10075	30	75	427	1.0	22.0	54	1.1	29
SF10075	30	75	484	1.7	23.0	40	1.2	24

표 12 B/P 생산성 시험결과(強度)

구분	재령별 압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )					
	1일	3일	7일	14일	28일	56일
PC 150-75	230	361	452	509	662	698
FA 160-75	218	324	405	461	522	533
SF 160-75	294	369	482	641	727	766

표 11과 표 12에서 PC 시리즈는 보통 포틀랜드 시멘트(1종)만 사용한 고강도 콘크리트이며, FA는 플라이애쉬 20%, SF는 실리카 흙 10%씩 각각 치환한 것이다.

표 11에서 보듯이 배합시간 75초로 B/P 생산성을 향상시키고, 또한 소성콘크리트의 특성도 재료분리가 일어나지 않으며 본 현장적용에서 요구되는 슬럼프(20±2cm)를 만족한 것으로 나타났다.

표 12는 각 재령별 콘크리트의 강도를 나타낸 것이다. 강도발현성도 본 현장적용에서 계획한 값을 나타내었기 때문에 현장적용을 위한 최적배합비로 선정하였다.

### 3.3 경시변화 특성시험

B/P의 생산성 시험결과에서 선정된 최적배합을 대상으로 현장적용에 따른 품질관리를 위해 운반시간에 따른 경시변화 특성을 측정하였다. 이때 보통 포틀랜드 시멘트(PC-150-75), 실리카 흙 치환(SF-160-75), 플라이애쉬를 치환(FA-160-75)한 각각의 고강도 콘크리트에 대한 경시변화 특성은 표 13 및 그림 6과 같다.

표 13 운반시간에 따른 경시변화 특성

구분	콘크리트	운반시간에 따른 경과시간							
		0	15	30	45	60	75	90	
PC 150-75	슬럼프(cm)	24.0	23.0	21.3	20.5	18.7	17.5	14.0	
	FLOW(cm)	48.0	47.0	45.0	43.0	39.0	38.0	33.0	
FA 160-75	슬럼프(cm)	26.0	18.7	17.6	17.2	16.0	13.8	11.2	
	FLOW(cm)	49.0	34.0	33.0	33.0	31.0	29.0	23.0	
SF 160-75	슬럼프(cm)	22.0	21.5	21.2	18.0	17.7	12.8	9.0	
	FLOW(cm)	46.0	22.0	19.0	14.0	13.0	26.0	21.0	

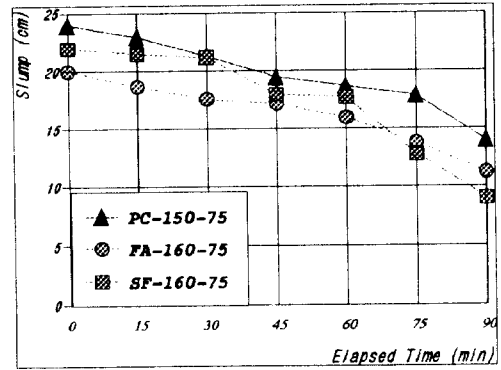


그림 6 운반시간에 따른 슬럼프 경시변화

고성능 감수제를 사용한 고강도 콘크리트는 고성능 감수제에 의해 시멘트 입자가 분산되기 때문에, 시간이 경과하면서 입자간에 강한 응집작용이 일어나며 따라서 슬럼프 경시변화가 커지게 되는 것이 일반적인 경향이다. 그러나, 표 13에서 보듯이 운반시간에 따른 슬럼프 손실은 매우 완만한 것으로 나타났다. 이는 배합설계와 초기슬럼프 설정을 최적으로 한다면, 현장까지 운반시간을 90분 이내로 한다면 큰 문제가 없을 것이다.

또한 현장에서 유동화제를 후첨가하여 펌프압송에 필요한 유동성을 확보하는 방안도 필요할 것이다. 경시변화에 따른 공기량은 운반시간에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.4 타설성능 특성시험

고강도 콘크리트의 특성이 B/P 생산성 및 운반에 따른 경시변화 특성을 만족하더라도 현장타설에 있어서 펌프압송에 의한 타설성능을 만족하는지 여부를 고려해야 한다.

따라서 본 현장적용에 앞서 고강도 콘크리트와 보통강도 콘크리트의 압송전·후 성능을 비교 분석하여, 그 특성을 평가하므로 현장타설시 요구되는 품질관리의 자료로 삼고자 하였다.

표 14는 보통 포틀랜드 시멘트(PC-150-75), 실리카 흙 치환(SF-160-75) 및 플라이애쉬 치환(FA-160-75)한 고강도 콘크리트의 압송성능을 측정한 시험결과이다.

표 14 콘크리트별 압송성능 비교

종류	시험종류	관통도	압송도	압송량 (kg/회)
PC 150-75	슬럼프(cm)	x=22.6	x=21.2	100
	FLOW(cm)	x=58.7	x=53.3	
SF 160-75	슬럼프(cm)	x=21.7	x=18.3	100
	FLOW(cm)	x=54.0	x=48.0	
FA 160-75	슬럼프(cm)	x=23.0	x=19.8	100
	FLOW(cm)	x=58.0	x=55.0	
보통강도	슬럼프(cm)	x=15.2	x=10.5	100
콘크리트	FLOW(cm)	x=21.0	x=21.2	

표 14에서 보듯이 각 변수별 고강도 콘크리트와 보통강도(210kg/cm<sup>2</sup>) 콘크리트의 압송전 후 특성과 압송압을 비교해 볼 때, 거의 유사한 경향을 보였다. 따라서 이는 고강도 콘크리트의 슬럼프 22cm 정도가 보통강도 콘크리트의 12~15cm 슬럼프와 펴핑에 요구되는 압송압이나 콘크리트 특성이 유사하다는 기존의 연구와도 같은 결과를 보였다.

고강도 콘크리트가 점성이 크다면이라도 재료 분리가 일어나지 않는 최적범위의 배합설계로 콘크리트를 생산할 경우, 펴프압송에서 큰 문제가 없을 것으로 사료된다.

## 4. 현장타설

### 4.1 현장타설 계획

현장타설은 표 3에 나타난 장비를 사용하였으며, 고성능 감수제 및 F/A, S/F를 투입할 실험은 각각 그림 2, 그림 3과 같다.

현장타설은 B동(보통 보틀랜드시멘트 사용)의 1층부터 타설하며, 7일 간격으로 A동(플라이애쉬, 실리카흄 사용)의 1층을 타설하도록 계획하였다. 또한 각각 한층을 타설한 후 그 위층을 타설하는 기간을 15~20일로 계획하였을 때, 장마철로 인한 우기를 고려하지 않는다면 매우 빠듯한 일정임을 알 수 있다.

고강도 콘크리트 생산은 최적배합에 따라 B/P의 오퍼레이터가 담당하였으며, 기술연구소 연구팀

은 압송전·후 콘크리트 특성과 품질관리에 대해 실험을 실시하고, 그 결과를 분석·비교하였다.

현장타설에 있어서 펴프카의 시간당 콘크리트 토출량은 32m<sup>3</sup>/hr(20×1.6)로 하기가 때문에 믹서트럭 1대(적재량:7m<sup>3</sup>)를 타설하는데 소요되는 시간은 약 15분 정도이다. 각 기둥위치에 따른 펴프관의 이동에 따라 소요되는 시간을 고려하면 30분 정도가 되었다. 따라서 이러한 짧은 시간에 콘크리트 특성 시험과 양식체 제작 및 코어부재 제작, 다짐성능 비교등 여러가지 실험을 하기 위해서는 인원계획과 시간계획이 매우 중요하였다.

또한, 당 연구소에서 작성한 “고강도 콘크리트 시공지침(안)”에 따른 품질관리와 현장실정은 큰 차이가 있기 때문에 무엇보다도 현장 기상공의 품질에 대한 인식이 요구되었다. 그리고, 장비계획에 있어서 진동기의 갖추다 예비진동기도 필요하지만, 본 현장직용은 현장실정에 따라 실시하는 것을 원칙으로 하였다.

### 4.2 현장타설 준비

현장타설에서 측정할 시험항목에 따른 시험장비를 준비하였으며, 또한 고강도 콘크리트 및 보통강도 콘크리트의 수화열 특성을 측정하기 위해

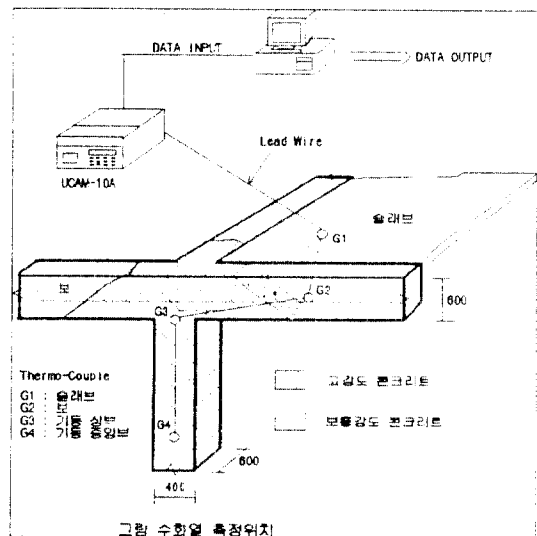


그림 7 수화열 측정용 게이지 매립(SF)



그림 7에서 나타난 위치에 수화열 측정용 게이지(Teflon T Type)를 매립하였다.

실리카흙을 사용한 초고강도 콘크리트(SF 160-75)의 부재에 매립한 수화열 측정용 게이지와 플라야쉬(FA-160-75)를 사용한 고강도 콘크리트 게이지는 그림 7과 같이 동일한 크기의 기둥에 각각 매립하였다. 그러나, 보통 포틀랜드 시멘트(PC 150-75)만을 사용한 고강도 콘크리트의 경우 기둥 크기가 450 x 450mm라는 차이외에는 그림 7과 동일한 위치에 게이지를 매립하였다.

현장타설시 측정한 콘크리트 특성은 압송전 후의 콘크리트 특성외에 코아 부재의 다짐성능을 비교하기 위한 부재를 제작하였다.

### 4.3 현장타설

2개동 현장타설시 평균 외기온은 28℃ 정도였으며, 높은 기온에 의한 재료특성의 변화에 대응하기 위해 잔골재 및 굵은 골재의 표면수량을 정확히 측정하여 배합설계에 반영하도록 하였다. B/P에서 고강도 콘크리트의 생산은 시험배합에서 나타난 결과를 반영하여 굵은 골재, 잔골재, 혼화재, 시멘트, 배합수를 동시에 믹서에 투입한 후 15~20초의 예비배합을 한후 고성능 감수제를 투입하였다. 콘크리트 배출까지 소요되는 총 배합시간은 75초가 소요되었다.

B/P에서의 고강도 콘크리트 배합은 한 믹서에 1.4m<sup>3</sup>/1회씩 5번 생산하여 믹서 트럭 1대에 7m<sup>3</sup>씩 적재하였으며, 이때까지 소요되는 시간은 7~8분 정도였다.

층에 따라서 펌프카를 한 곳에 정차시켜 놓고 한층을 모두 타설할 수도 있지만, 상부층은 펌프카의 팔길이로 인해 타설 도중에 펌프카를 이동하는 경우도 발생하였다. 이때의 이동시간은 40분 정도 소요되었으며 또한 고강도 콘크리트 생산은 배차계획에 따라 조절할 수 있지만, 펌프카의 압송관내 남아있는 고강도 콘크리트가 이동시간내에 응결될 우려가 예상되었다.

방법상 일반강도 콘크리트로 대체시키고 펌프카를 이동하는 방법도 있지만, 경시변화 특성에 나타난 바와 같이 유동성을 유지할 수 있는 시간

을 60분까지 보았을 때 별 문제가 되지 않기 때문에 펌프카 이동후 연속적으로 타설하였다.

#### 4.3.1 펌프압송에 따른 유동성

현장적용에서 펌프압송에 따른 콘크리트의 유동성은 층 높이에 관계없이 압송전 콘크리트의 유동성에 따라 슬럼프, 공기량, Flow가 약간 감소하는 것으로 나타났다. 현장적용에서 나타난 고강도 및 보통강도 콘크리트의 펌프압송전·후 특성은 표 15와 같다.

표 15 펌프압송에 따른 유동성

종류 구분	시험종류	압송 전	압송 후	압송압 (kg/cm <sup>2</sup> )
PC-150-75	슬럼프(cm)	$\bar{x}=22.3$	$\bar{x}=21.0$	100
	Flow (cm)	$\bar{x}=52.0$	$\bar{x}=51.0$	
	(B동) 공기량(%)	$\bar{x}=1.5$	$\bar{x}=1.4$	
SF 160-75	슬럼프(cm)	$\bar{x}=21.2$	$\bar{x}=18.6$	100
	Flow(cm)	$\bar{x}=56.0$	$\bar{x}=44.0$	
	(A동) 공기량(%)	$\bar{x}=1.2$	$\bar{x}=1.0$	
FA 160-75	슬럼프(cm)	$\bar{x}=22.0$	$\bar{x}=19.5$	100 ~80
	Flow (cm)	$\bar{x}=60.0$	$\bar{x}=59.0$	
	(A동) 공기량(%)	$\bar{x}=1.5$	$\bar{x}=1.0$	
보통강도 콘크리트 (210kg/cm <sup>2</sup> )	슬럼프(cm)	$\bar{x}=16.0$	$\bar{x}=12.3$	100
	Flow (cm)	$\bar{x}=27.0$	$\bar{x}=23.5$	
	공기량(%)	$\bar{x}=3.0$	$\bar{x}=2.5$	

일반적으로 고강도 콘크리트는 굳지않은 콘크리트 특성 가운데 항복치가 작기 때문에 소성점도가 현저하게 크게 되고, 관벽의 Slip층에 저항이 커지게 되며, 또한, 항복치가 적어도 전유반경이 적은 범위에서 유동화되기 때문에 보통강도 콘크리트보다 압송에 따른 압력손실이 높다고 한다.

그러나, 표 15에 나타난 결과에서 보듯이 최적 배합설계와 슬럼프 및 Flow 값을 조정하면 보통강도 콘크리트와 유사한 압송압으로 고강도 콘크리트를 타설할 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 근래에 콘크리트 타설용 펌프카의 성능이 우수하며, 압송압 500~700kg/cm<sup>2</sup>의 용량을 갖추고 있

는 것이 일반적이기 때문에 향후 고강도 콘크리트 타설에 큰 문제는 없을 것으로 사료된다.

그러나, 품질관리 측면에서 운반시간에 따른 슬럼프 저하와 펌프압송에 의한 슬럼프 손실을 함께 고려하고, 강도발현에 반영해야 할 것이다.

#### 4.3.2 펌프압송에 따른 강도특성

고강도 콘크리트의 펌프 압송에 따른 강도발현을 측정하기 위하여 현장에 박서 트라이 도착하여 압송전에 육동성 측정과 아울러 재령별 요구되는 실린더 공시체와 코어 천공을 위한 부재를 제작하였다. 또한, 타설층에서 펌프로 압송된 콘크리트의 특성 측정과 실린더 공시체 그리고, 코어 천공용 부재를 제작하여 각 재령별 강도발현을 비교 검토하였다.

표 16은 압송전 후 강도특성을 재령별로 나타낸 것이다.

표 16 압송전·후 강도특성

구분	시행체 조건	재령별 압축강도(MPa)						
		1일	3일	7일	14일	28일	56일	
PC 150-75 (B 2층)	압송전	공시체	227	361	466	509	603	-
		코 아	-	-	-	513	506	621
	압송후	공시체	233	412	503	568	608	-
		코 아	-	-	-	555	636	674
SF 160-75 (A 3층)	압송전	공시체	294	465	592	714	729	-
		코 아	-	-	553	706	718	-
	압송후	공시체	296	465	580	731	740	-
		코 아	-	-	612	729	734	-
FA 160-75 (A 2층)	압송전	공시체	248	307	379	425	518	529
		코 아	-	-	-	441	502	518
	압송후	공시체	241	304	362	416	516	537
		코 아	-	-	-	451	514	521

표 16에서 보듯이 재령별 차이가 있으나, 대체로 압송후의 강도발현이 큰 것으로 나타났다. 특히 코아부재의 경우에는 펌프압송에 의해 콘크리트 매트릭스가 치밀해 진다는 것과 함께 다짐의 여부가 큰 영향을 주었다고 생각된다.

#### 4.4 수화열 특성분석

수화열 측정시 외기온은 평균 25~28℃였으며, 그림 7과 같은 위치에서 콘크리트 타설후 1일간은 15분 간격으로, 3일간은 30분, 그후 외기온과 거의 비슷한 기간까지 1시간 간격으로 UCAM 10A를

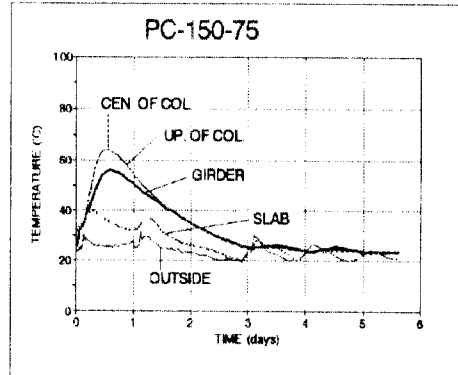


그림 8(a) 보통 포틀랜드시멘트 : PC-150-75(B동)

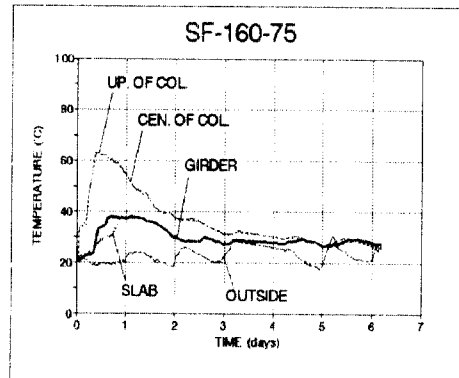


그림 8(b) 실리카 흙 치환 : SF-160-75(A동)

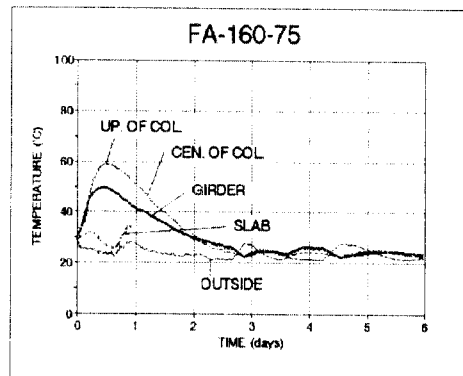


그림 8(c) 플라이애쉬 치환 : FA-160-75(A동)

이용하여 수화열을 측정하였다.

그림 8은 보통 포틀랜드시멘트(B동: PC-150-75), 실리카흙 치환(A동: SF-160-75), 플라이애쉬 치환(A동: FA-160-75)한 고강도 콘크리트 및 보통강도 콘크리트의 수화열 특성을 각각 비교한 것이다.

그림 8에서 보듯이 PC-150-75(B동)의 경우,  $600\text{kg}/\text{cm}^2$  고강도 콘크리트의 수화열은 타설후 약 13시간 경과한 다음에 최고온도( $64.2^\circ\text{C}$ )에 도달하였으며, 반면 보통강도( $210\text{kg}/\text{cm}^2$ ) 콘크리트 부재에서는 타설후 약 15시간 경과하여 최고온도( $56.1^\circ\text{C}$ )에 도달하였다.

플라이애쉬를 20% 치환한 FA-160-75(A동)의 경우, 고강도 콘크리트의 수화열은 타설후 12시간 경과한 다음 최고온도( $59.2^\circ\text{C}$ )에 도달하였으며, 반면 보통강도 콘크리트는 타설후 약 11시간 경과 후에 최고온도( $49.8^\circ\text{C}$ )에 도달하였다. 그리고 실리카 흙 10%를 치환한 SF-160-75(A동)의 경우, 고강도 콘크리트의 수화열은 타설후 9시간이 경과하여 최고온도( $63.5^\circ\text{C}$ )에 도달하였다.

이러한 결과는 부재의 크기, 타설시 외기온의 영향, 콘크리트 배합조건, 단위시멘트양에 따라 차이가 큰 것으로 나타났다.

대체로 고강도 콘크리트의 수화열은 타설후 9~13시간 정도에서 최고온도에 도달하며, 플라이애쉬를 치환한 경우를 제외하면 보통강도 콘크리트 보다 2~4시간 빠르게 최고온도에 도달하였다. 본 현장적용이 더운 하기공사(7월~9월)라는 특성을 감안해 볼 때, 플라이애쉬 치환으로 인한 수화열 감소효과는  $5^\circ\text{C}$  정도로 크지 않았다. 따라서 향후 고강도 콘크리트 수화열 특성에 따른 보양방법, 양생방법, 기푸집 존치기간에 대한 연구 검토가 이루어져야 할 것이다.

#### 4.6 현장적용시의 품질관리

고강도 콘크리트의 현장적용에 있어서 B/P 생산은 근래 기계설비가 자동화되어 있기 때문에 별 어려움이 없다. 또한 경시변화 특성에 적합한 배합조절과 초기슬럼프 선정 및 고성능 감수제의 후 첨가 방안으로 운반시간에 따른 콘크리트 특성에

관한 요구성능을 얻을 수가 있으며, 펌핑 압송전후 콘크리트 특성이나 강도관리에서 나타나듯이 큰 문제점이 없다.

그러나, 펌프 압송후 부재에 타설하고 다짐하는데 있어서는 몇가지 문제점이 도출되었다.

“고강도 콘크리트 시공지침(안)”에 따른 타설 높이, 다짐시간, 다짐간격 등은 엄격히 준수하기에는 현장 기능공들의 인식 부족으로 품질관리에 어려움이 많았다. 특히 근래에 들어 건설기능직의 고령화와 기피현상등은 이번 현장적용에서 뿐만 아니라 건설업계가 당면한 전반적인 현상이 아닐 수 없다. 본 현장적용에서는 펌핑압송 슬럼프를  $20\pm 2\text{cm}$  정도로 선정하여 타설하였기 때문에, 일반적인 다짐을 하더라도 기푸집 제거후 콘크리트 표면 마감이나 충진성은 양호하였다.

따라서, 품질관리를 사전에 엄격히 하는 것도 중요하지만, 현장실정을 반영하여 이러한 문제를 해결하는 방안의 하나로, 향후 고성능 콘크리트(High Performance Concrete)가 연구 개발되어 건설업계의 당면과제를 해결해 나가는 방법이 바람직할 것으로 사료된다.

#### 5. 맺는 말

본 현장적용은 고강도 콘크리트의 실용화를 앞당기고자 하는 연구팀의 노력과 아울러 기술연구소 경영자의 의지와 감독관, 감리단, 그리고 현장에서 공사를 담당하고 있는 실무자들의 확고한 신뢰와 성원으로 무사히 마칠수 있었다.

본 프로젝트가 국내의 고강도 콘크리트 실용화에 긍정적이고 적극적인 역할을 할 수 있으리라 생각하며, 실무자의 한사람으로써 실용화란 그리 멀리 있는 문제가 아니라 바로 눈앞에 닿는 가능한 현실임을 느끼지 않을 수 없다.

현장적용 기간동안 경탄에 가까운 관심(?)을 보여준 감독관, 감리단 관계자의 인식과 영남지역 레미콘 업계 품질관리 담당사의 현장확인을 통해 고강도 콘크리트의 실용화 행진은 더 넓고 실용적으로 확산될 것으로 생각된다.

끝으로 이번 현장적용을 통해 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

① 본 현장적용은 현장실험이나 일부적용이 아닌 2개동의 건물에  $500\sim 700\text{kg}/\text{cm}^2$  고강도 콘크리트를 국내에서 처음으로 대량 타설함으로써, B/P 생산성, 운반, 타설, 다짐, 양생등의 품질관리에 따른 의문점을 해결하였고 향후 고강도 콘크리트 실용화의 가능성을 제시하였다.

② 본 현장적용은 '91년에 작성한 "고강도 콘크리트 시공지침(안)"에 의거하여 품질관리를 실시하였으며, 현장적용에서 나타난 문제점을 중심으로 시공지침(안)을 보완하여 보다 실용적인 품질관리 지침을 만들수 있는 자료를 확보할 수 있었다.

③ B/P의 배합시간은 가능한 짧게 하는것이 생산성 측면에서 유리하나, 혼화재를 사용할 경우 품질확보를 위해 75초로 하는 것이 바람직하다.

④ 운반시간에 따른 슬럼프손실을 최소화하기 위한 방안으로 고강도 콘크리트 생산시 초기슬럼프를 증대시키고, 경시변화 특성에 따라 배차계획은 60분 정도로 하는 것이 바람직하다.

⑤ 펌핑 압송후 슬럼프, FLOW, 공기량등은 약간 감소하나, 강도발현은 펌프압송에 의한 압밀화의 영향으로 약간 증대하는 경향을 보였다.

⑥ 펌핑에 따른 고강도 콘크리트의 펌프압송압은  $100\text{kg}/\text{cm}^2$  정도로, 이는 보통강도 콘크리트의 압송압과 비슷한 수준으로 나타났다.

⑦ 모-기둥 접합부 처리방식은 구조검토 및 현장 시공성을 고려하여 검토할 필요가 있으며, 향후 고강도화에 따른 종합적인 설계 및 시공 시스템이 확보되어야 할 것이다.

#### - 감사의 글 -

본 현장적용을 위해 아낌없이 지원해 주신 (주)대우 진해현장 홍대일 이사님, 이흥모 부장님을 비롯한 직원 여러분, 감리단, 감독관, 그리고 콘크리트 생산에서 타설까지 성공적으로 마칠 수 있도록 도와주신 시험실 김환식 실장님과 중기사업소 직원 여러분께 깊은 감사를 드립니다. 