

고성능 콘크리트 현장 시험시공

Field test of high-performance concrete

신 동 수*	노 재 호**	박 연 동**	권 영 호#
Shin, Dong-Soo	Noh, Jae-Ho	Park, Yon-Dong	Kwon, Yeong-Ho
	한 정 호***	조 일 호****	백 명 종##
	Han, Chung-Ho	Cho, Il-Ho	Baeg, Myung-Jong

Abstract

In recent years, High Performance Concrete has attracted world wide attention for its workability, strength and long-term durability.

A field test was conducted to confirm the properties of High Performance Concrete in situ conditions. This paper describes the concrete materials, mix proportions, fresh state properties, some aspects of placability and quality control results for field test.

From the result, it was found that it is possible to produce High Performance Concrete with self-compactable and high strength.

1. 서 론

최근 세계적으로 콘크리트의 성능을 극대화시킨 각종 고성능 콘크리트에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 고성능 콘크리트에 관한 연구방향은 고강도, 고유동, 고내구성으로 대별할 수 있으며, 이 가운데 진동다짐 작업 없이 콘크리트 타설이 가능한 초유동(고유동) 콘크리트의 개발은 시공불량에 의한 구조물의 결함발생을 근본적으로 억제할뿐만 아니라 합리적이고 경제적인 시공법과 어울려 콘크리트 공사의 현대화를 촉진할 것으로 기대되고 있다. 본 보고는 실험실적으로 개발된 초유동 콘크리트의⁽¹⁾⁽²⁾ 현장 시험시공 결과를 정리한 것으로서 콘크리트의 제조 및 시공을 통하여 고성능 콘크리트의 현장적용 가능성을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 시공 개요

본 시험시공은 실내실험을 통해 물성이 확인된 고성능 콘크리트의 현장 타설시험을 수행한 것으로서 시공대상은 사무실 용도의 2층 RC 구조물이다(표 1, 그림 1 참조).

레미콘 공장에서 시공현장까지는 약 25분 정도의 운반 시간이 필요하였으며 금번 시험시공에서는 사무실 1층의 기둥과 벽체 및 슬래브의 일부에 타설시 진동다짐을 전혀 하지않고 타설하였다. 총 타설량은 48 m³ 로서 콘크리트 펌프카를 이용하였다. 콘크리트의 품질 및 물성을 확인하기 위하여 기둥부재 한면에 투명 아크릴 판넬을 설치하여 시공시 콘크리트의 유동상황 및 거푸집 충전상황을 육안으로 확인하였고, 슬럼프 플로우, 공기량 시험과 함께 압축강도 공시체를 제작하였다. 또한 거푸집 제거후에 경화된 구조체의 표면을 조사하였다.

* 동양시멘트(주) 광양공장 품질관리실장
** 동양중앙연구소 선임연구원
대우건설기술연구소 주임연구원
대우건설기술연구소 연구원
*** 동양중앙연구소 주임연구원
**** 동양시멘트(주) 대전공장 품질관리실 대리

표 1. 공사 개요

위 치	전남 동광양시 태인동 1659-1 동양시멘트 슬래그 시멘트 공장		
시공주	동양시멘트(주)	구 조	철근콘크리트조
시 공	동양시멘트(주) 건설사업본부		
건 물	지상 2층(사무실용)		
개 요	1층바닥면적 : 202.5m ²		

표 2. 플라이애쉬의 화학성분 (wt%)

항 목	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂
측정값	53.96	30.60	5.73	1.44	1.13	0.05	3.65	0.33	2.72

표 3. 고성능감수제의 물성

항 목	비중	pH	고형분	Cl ⁻ (%)
측정값	1.20	8.61	39.67	0.0874

3. 예비 실험

현장에 적용할 콘크리트의 배합설계를 결정하기 위하여 현지 골재를 사용한 실내실험을 실시한 후 이를 토대로 공장 설비로 실기 제조 실험을 통해 현장배합을 최종적으로 결정하였다.

표 4. 사용 골재의 물성

항목 구분	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M.)	단위용중 (kg/m ³)	실적율 (%)	5mm 이상분 (%)	5mm 이하분 (%)
세골재	2.57	1.25	3.17	1468	57.13	3.23	-
조골재	2.70	0.89	6.89	1588	58.92	-	13.18

3-1. 사용 재료

(1) 시멘트

보통 포틀랜드 시멘트(동양시멘트 제조)

(2) 플라이애쉬

보령 화력발전소산 유연탄 플라이애쉬
(표 2 참조)

(3) 고성능감수제 : 나프탈렌계(표3 참조)

(4) 조골재 : 쇄석, 최대치수 19mm

(5) 세골재 : 해사 세척사(표 4 참조)

3-2. 배치플랜트 실기실험

실내실험 결과에 근거하여 플라이애쉬를 30% 치환첨가한 고성능 콘크리트의 제조를 목표로 배치 플랜트로 제조실험을 실시하였다.

레미콘 실기실험시 1회 배합량은 1m³ 로 하였으며, 혼합시간은 믹서에 걸리는 부하를 전류계를 통하여 관찰하고 그 값이 안정되는 시간인 모든 재료가 믹서에 투입된 후 약 1분간 혼합하였다. 배합설계는 표 5와 같다.

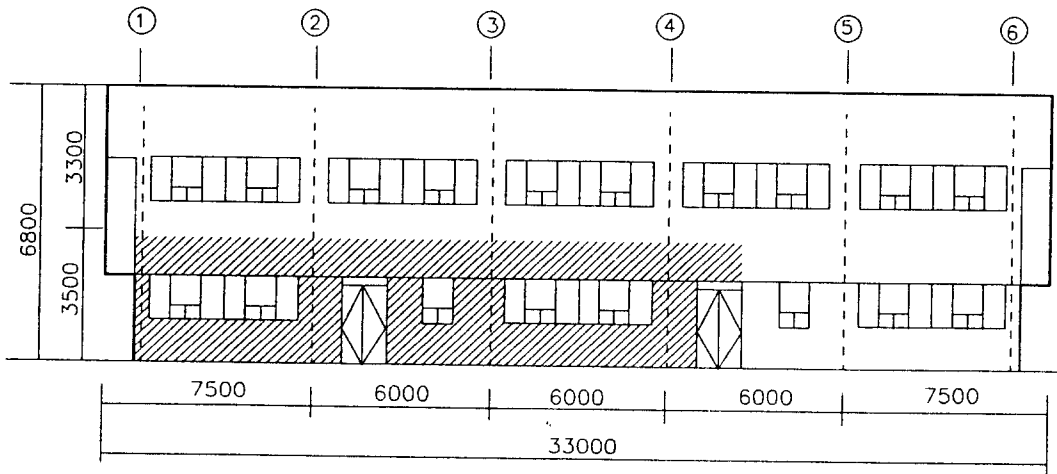


그림 1. 시공대상 건물의 입면도

표 5. 실기 제조실험 배합비

W/B (%)	S/A (%)	단위재료량(kg/m ³)					비 고
		Water	Cement	Fly ash	Sand	Gravel	
35	51	190	380	163	794.6	802.1	표면수 3.2% FA/(C+FA)=30%

제조실험에 앞서 적외선 수분기로 측정한 세골재의 함수율은 4.5% 였고, 실제 보정값은 3.2% 로 하였다. 아울러 고성능감수제 첨가율 1.6%, 세골재중의 5mm 이상 보정량을 8%로 적용하였다. 최초 제조 실험결과, 슬럼프 플로우 62cm, 박스시험에 의한 좌우 높이차 약 1.5cm로, L형 충전성 시험에서도 매우 양호한 충전성을 나타내었다. 그러나 O형 깔때기에 의한 낙하시간만은 목표치를 훨씬 밑도는 값을 나타내었다.

2번째의 제조실험시에는 고성능감수제 첨가율을 1.4% 로 감소시키고 콘크리트중의 실질적인 조골재량 증가를 위해 세골재 중의 5mm 이상분의 보정을 0%로 적용하였다. 2회 실험결과 L형 충전성 시험 및 깔때기 시험결과는 목표치를 만족하였으나 슬럼프 플로우가 약 40cm이고 박스시험에서 양단의 단차가 21cm로 나타나 유동성 저하에 의한 결과로 판단되었다.

3번째 실험에서는 고성능감수제 첨가율만을 1.6% 로 증가시킨 결과 슬럼프 플로우를 제외한 나머지 관리목표치를 만족하는 양호한 유동성 및 충전성을 나타내었다. 따라서 실제 고성능 콘크리트 제조시에는 유동성을 보다 증가시키기 위해 고성능감수제 첨가량을 약 1.8%로 하고 세골재 5mm 이상량 보정량은 2%가 적절할 것으로 판단되었다. 3번째로 제조한 콘크리트에 대하여 제조직후 10분 경과시에 고성능 감수제를 0.15% 후첨가하여 이후 60분 경과시 까지의 유동성 변화 결과를 표 7에 나타내었다.

결과로부터 알수 있듯이 제조후 30-40분 까지는 충전성 확보가 가능하였으나 이후에는 급

격한 유동성 저하가 발생함을 알 수 있다. 이에 대한 대책으로서 출하 및 시공계획을 적절히 조절함으로써 출하된 콘크리트가 시공현장에 불필요하게 대기하는 경우가 발생하지 않도록 조정할 필요가 있었다. 그러나 보다 근본적으로 시간경과에 따른 유동성 유지 성능이 우수한 고성능감수제의 선정이 초유동 콘크리트의 물성에 매우 중요한 필수조건임을 알 수 있다.

표 6. 배치 플랜트 제조실험 결과

No.	SP 첨가율 (%)	슬럼프 플로우 (cm)	깔때기 유하시간 (sec)	박스시험 단차 (cm)	L형 충전성 시험	입도 보정량
1	1.6	62	2.3	1.5	우수	8%
2	1.4	40	6.8	21	양호	0%
3	1.6	50	6.5	9	우수	0%

표 7. 시간경과에 따른 유동성 변화

측정 항목	경과시간(분)			
	제조 즉시	15	35	55
슬럼프 플로우 (cm)	50	57	42	32
깔때기 (sec)	6.5	5.2	5.8	7.7
박스시험 단차 (cm)	9	6	20	20
L형 충전성 시험	우수	우수	양호	폐쇄

- * 제조후 10분경과후 혼화제 후첨가(0.15%)
- * 콘크리트 온도 18°C
- * 공기량 1.6% (55분경과 측정시)

4. 제조 및 시공

4-1. 현장배합

시공할 고성능 콘크리트는 시멘트에 대한 플라이애쉬 치환율 30%, 물결합재비 35%로 하여 다음 표 8과 같은 배합비로 제조하였다.

시공전에 행한 실기 제조실험을 통하여 초유동 성능을 안정적으로 발휘할 수 있는 배합으로 선택하였다.

표 8. 고성능 콘크리트 현장배합

W/B (%)	S/A (%)	SP (%)	단위재료량(kg/m ³)				
			Water	Cement	Fly-ash	Sand	Gravel
35	51	1.8	190	380	163	794.6	802.1

4-2. 제조

모든 재료는 배치플랜트에서 자동으로 계량, 투입되었으나 플라이애쉬만은 별도의 투입설비가 없었기 때문에 인력에 의해 투입하였다.

배합량은 1배치에 2m³으로 하여 모든 재료가 믹서내에 투입되고난 후 1분으로 하였다. 플라이애쉬 투입시간이 수동투입으로 인해 다소 지연되었기 때문에 전체 재료가 믹서내에서 체류한 시간은 투입후 비빔시간을 포함하여 약 2분 정도였다. 향후 고성능 콘크리트와 같이 시멘트 이외의 결합재를 사용하게 되는 경우 혼합재의 저장 및 계량설비가 기본적으로 구비되어야 할 것으로 판단된다.

초유동 콘크리트는 fresh 상태의 작업성에 촛점을 맞춘 것이기 때문에 제조시 원재료의 미세한 품질변동이나 제조조건에 따라 물성이 매우 민감하게 변하는 것으로 알려져 있다.⁽³⁾ 특히 세골재의 표면수 변동은 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전성에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 이에 대한 세심한 관리가 요구된다. 본 사례에서는 매번 제조시 투입되는 세골재를 채취하여 표면수 변동을 직접 측정하고 이에 따라 이후 배합에 적용하였다. 그러나 이러한 변동에 적절히 대처하고 콘크리트의 품질변동 폭을 최소화하기 위해서는 골재 저장설비 및 표면수 자동측정 장비 등의 표면수 관리 설비가 기본적으로 보완되어야 할 것으로 판단된다.

다음 표 9는 제조 직후 공장에서 측정한 품질시험결과 이다. 슬럼프 플로우가 목표치 60 ±5cm 에 못미치는 경우에는 출하전에 공장에서 고성능감수제를 후첨가하였다. 시공현장까지의 운반시간은 약 25분이 소요되었고 도착시 측정한 슬럼프 플로우는 평균 약 5cm 정도 저하하는 것으로 나타났다.

표 9. 제조직후의 콘크리트 품질시험 결과

측정 No.	출하 시각 (시:분)	표면수 적용 (%)	슬럼프 플로우 (cm)	비 고
1	10:25	2	54	* SP 0.15% 후첨가후 출하
2	10:40	1	74.5	
3	11:05	2	50	* SP 0.15% 후첨가후 출하
4	11:50	1.5	56	* 공기량 2.3%, * 공시체 15개 채취
5	12:55	1.3	62	
6	01:20	1.3	62.5	
7	01:40	1.3	61	* 공기량 4.3%
8	02:00	1.3	53	* 공기량 4.1%

- (1) 모래 중의 5mm 이상분 보정량은 2%로 함.
- (2) 고성능감수제는 결합재량의 1.8% 첨가.
- (3) 고성능감수제 후첨가는 물로 2배 희석된 것을 첨가.
- (4) 콘크리트 온도는 17°C - 18°C, 외기온 10.2 - 12.5°C

4-3. 시 공

초유동 콘크리트를 타설하기 전에 25-210-15 규격의 콘크리트를 먼저 타설하였고, 현장 도착시 슬럼프는 18cm로 일반 콘크리트로서는 양호한 작업성을 나타내는 것이었으나 타설시 바이브레이터에 의한 다짐작업은 필수적이었다. 그러나 이후 타설된 초유동 콘크리트는 실제로 다짐작업 없이도 타설이 가능하였으며 기둥 상부로 부터 타설된 콘크리트는 벽체를 통하여 이웃한 기둥으로 유체와 같은 거동을 하며 충전되는 것을 투명 아크릴 판넬을 통하여 관찰할 수 있었다. 그러나 기둥높이의 약 70% 높이까지 차올라왔을때 거푸집이 축압을 이기지 못하고 일부 변형되거나 작은 틈새로 페이스트가 유출되는 사례가 발생되어 향후 거푸집 보강에 대한 대책이 세워져야 할 것으로 사료된다.

슬래브의 경우 펌프카로 부터 토출된 콘크리트는 재료분리없이 타설지점에서 주위로 아무런 외력없이 유동하였다. 그러나 표면마감작업은 보통 콘크리트에 비해 더 힘들었는데 이것은 점성이 높고 콘크리트 표면으로 떠오르

는 블리딩수와 같은 잉여수가 전혀 발생하지 않는 초유동 콘크리트의 특징 때문이다.

초유동 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해서 유동성과 점성이 모두 크기 때문에 콘크리트 펌프압송시 보다 큰 압송압을 필요로 한다고 보고되고 있다.⁽⁴⁾ 그러나 금번 시공에서 오히려 펌프압송시 압송압력은 일반 콘크리트 보다 작게 나타났으며, 현장 작업자의 감각으로도 느낄수 있을 만큼 압송성이 매우 좋게 나타났다. 그러나 펌프 압송후의 콘크리트의 유동성은 기존의 시공사례에서 지적하듯이 슬럼프 플로우로 약 5cm정도 저하하였다.⁽³⁾⁽⁴⁾ 본 시공에서는 펌프 압송성에 대한 정량적 평가를 제외하였으나, 펌프 압송성의 문제는 기계화 시공에 있어서 매우 중요한 사항이므로 향후 이에 대한 보다 세밀한 검토가 요구된다.

4-4. 품질관리 시험결과

표 10은 현장 도착시의 품질시험 결과이다. 또한 표 11에 현장 타설시에 채취한 공시체의 압축강도 시험결과를 나타내었다. 제조공장에서 타설 현장까지의 운반 소요 시간은 20-25분 정도였고, 콘크리트 타설계획에 맞춰 제조, 출하되었기 때문에 현장 대기 시간이 거의 없었으므로 제조후 시간경과에 따른 유동성 저하는 크게 나타나지 않았다. 또한 타설시 슬럼프 플로우가 관리목표치를 만족하지 못하는 경우에는 타설직전 고성능감수제를 후첨가하고 이지데이터 드럼을 고속으로 3-4분 가량 회전시킴으로써 시간경과에 따른 유동성 저하문제를 해결할 수 있었다.

압축강도 시험결과는 실내시험으로 얻은 결과보다 비교적 낮은 값을 나타내었으나 28일 평균 405kgf/cm²으로 높은 강도를 나타내었다. 그림 2에 실내시험과 현장시공시의 콘크리트 압축강도 결과를 나타내었다. 실내시험과의 차이는 계절에 따른 초기 양생온도 조건의 차이와 함께 공장의 품질변동 요인(표면수 변동, 계량 오차 등)에 의한 것으로 사료된다. 이러한 변동요인에 따라 민감하게 물성이 변하는 초유

동 콘크리트를 제조하기 위해서는 일반 콘크리트 제조시보다 보다 세심한 주의를 기울일 필요가 있을 것으로 판단된다. 아울러 설비에 있어서 시멘트 이외의 결합재용 저장, 계량, 투입설비가 보완되어야 하며 표면수 변동을 근본적으로 방지하기 위해서는 골재 저장시설 등이 필수적일 것으로 판단된다.

표 10. 현장 도착시 콘크리트 품질시험 결과

측정 No.	현장도착시각 (시:분)	슬럼프 플로우(cm)			비 고
		도착시	SP제 첨가후	펌프 압송후	
1	10:50	57, 58	73, 75	62, 66	* SP제 0.1% 후첨가
2	11:10	66, 67		60, 60	* 콘크리트 온도 19°C
3	11:30	64, 69			* SP제 0.15% 후첨가
4	12:13	50, 50	72, 72	62, 64	* SP제 0.13% 후첨가
5	13:22	57, 57		51, 52	* 공기량 1.1%
6	13:40	62, 62		60, 62.5	
7	14:06	59, 59			
8	14:34	54, 53			* 콘크리트 온도 20°C

표 11. 압축강도 시험 결과

구 분		재 량				
		3일	7일	28일	90일	
실내시험 (94.7-8월 제작)	기건양생	315	393	515	-	
	수중양생	299	360	485	-	
현장 예비	시공 시험	271	311	437	-	
	No.2	138	262	386	494	
현장 시험 시공	No.4	141	275	410	511	
	No.5	A	134	258	391	493
		B	-	264	400	-
	공장제작 No. 4	-	309	404	-	
-		317	440	-		

- * 실내시험 공시체 배합비 W/B=35%, W=195kg, s/a=53%, SP=1%이며 총 5회 시험값의 평균치임
- * 현장시공 예비시험은 실내시험 배합과 동일하나 골재 최대치수는 25mm 사용
- * 현장시험시공 No.5 공시체 A: 다짐하지 않음, B: 다짐하여 제작

경화후 거푸집을 제거하고 타설된 콘크리트의 표면을 관찰하였다. 그 결과 일반 콘크리트가 타설된 기둥의 모서리 부분 등은 완전히 채워지지 못한 부위가 있거나 조골재와 몰탈이 분리된 부분이 부분적으로 나타났다. 그러나 초유동 콘크리트가 타설된 부위에는 각 모서리 부분까지 밀실한 충전이 이루어졌으며, 재료분리의 흔적이 발견된 곳도 없었고 표면마감도 매우 양호하였다.

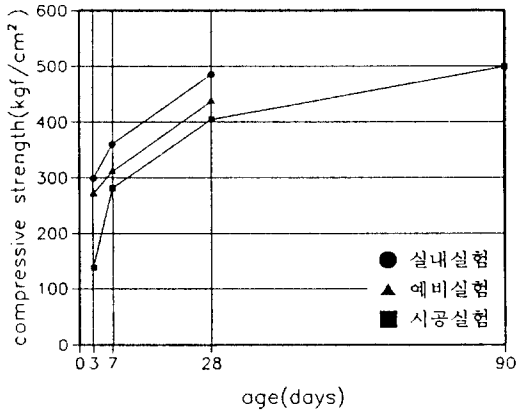


그림 2. 콘크리트 압축강도 결과 비교

5. 결론

국내 최초로 고성능 콘크리트를 현장구조물에 시험시공한 결과, 다음과 같은 사항이 확인되었다.

- (1) 현재의 레미콘 제조설비에 시멘트 이외의 결합재(혼합재)용 저장 및 계량설비 등이 보완된다면 고성능 콘크리트의 제조 및 안정적인 공급이 가능하다.
- (2) 세골재 표면수 변동과 같은 원재료 변동을 최소로 하기 위한 설비 및 관리대책이 필요하다.
- (3) 고성능 콘크리트는 일체의 다짐이 없이도 거푸집 전체에 밀실한 충전이 가능하다.

(4) 플라이애쉬를 사용한 2성분계 고성능 콘크리트는 재령 28일 압축강도 400kgf/cm^2 강도를 발현하면서 타설시 진동 다짐을 전혀 하지 않고 시공할수 있다.

(4) 고성능 콘크리트는 타설시 거푸집에 걸리는 측압이 보통 콘크리트보다 크기 때문에 거푸집 설계시 이에 대한 반영이 필요하다.

향후 고성능 콘크리트의 시공성, 특히 펌프 압송성 및 거푸집 측압과 관련하여 보다 세밀한 검토를 수행할 예정이며, 과밀배근 등 금번 사례에 비해 보다 가혹한 조건하에서의 시공을 통해 고성능 콘크리트의 물성을 확인할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 국책과제 “초유동 콘크리트 개발 및 실용화” 연구의 일부로 이루어졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 박연동 외 3인, “플라이애쉬를 사용한 2성분계 초유동 콘크리트의 개발”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권, 2호, pp.121-126, 1994
2. 노재호 외 4인, “초유동 콘크리트의 유동성능에 미치는 배합요인의 영향”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제6권 2호, pp.115-120, 1994
3. 有馬勇 ほか, “明石海峡大橋 4アンカレイジにおける高流動コンクリートの品質”, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.25-30, 1994
4. 江口清, “高流動コンクリートの實構造物への適用”, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.37-42, 1994