

超流動 콘크리트의 現場施工

An Application of the Super Flowing Concrete in Site

○ 權 寧 鎭¹⁾ 李 相 洙²⁾ 金 東 錫³⁾ 金 鎭 根⁴⁾ 朴 泚 林⁵⁾
Kwon Yeong Ho Lee Sang Soo Kim Dong Seok Kim Jin Keun Park Chil Lim

ABSTRACT

In this paper, we described the basic elements(flowability, fillingability, elapsed time, pumpability, no-vibrating effects, and etc.) required for the application and quality control of the super flowing concrete (SFC) in construction site. Also, after investigating characteristics of SFC through various experiments, SFC were placed in the reaction wall of large scale structural laboratory in Deawoo Institute of Construction Technology.

As the result of this project, the developed SFC showed high flowability and self-fillingability good enough for the requirement. Furthermore, quality control and assurance of the no-vibrating concrete in actual site was verified by various testing.

1. 序 言

1.1 現場施工 背景

국내에 高性能 콘크리트가 소개된 것은 불과 2~3년 정도이지만, 이에 대한 관심은 매우 크다. 특히, 부실공사 추방이나 건설시장 개방, 건설기능인의 부족 등의 건설환경 변화는 고성능 콘크리트의 개발 및 실용화를 촉진하는 계기로 작용하고 있다.

또한, 建設交通部의 國策課題로 “超流動 콘크리트의 開發 및 實用化 研究”가 선정되어 선진국과 같이 國策사업으로 장려하고 있기 때문에, 향후 실용화의 효율성이 기대된다.

본 연구는 超流動 콘크리트의 실용화를 위해 일본의 전문가를 초청하여 “韓·日 高性能 콘크리트 국제심포지움”⁽¹⁾을 개최하였으며, 高强度 콘크리트 연구성과를 바탕으로 국내에서 생성되는 산업부산물물을 활용하여 다짐을 하지 않아도 우수한 施工性을 갖는 콘크리트를

개발하게 되었다. 연구성과의 현장적용을 통해 현장재료 및 플랜트의 생산시스템, 현장 품질관리와 超流動 콘크리트의 특성을 확인하고 실용화하기 위한 일환으로 본 프로젝트가 수행되었다.

1.2 現場施工 目的

초유동 콘크리트의 현장시공은 실내실험에서 개발된 재료 및 배합특성, 그리고 콘크리트의 요구성능을 현장조건에 따른 品質性能의 客觀性 및 實用化의 가능성과 문제점 등을 도출하여 보완하는데 그 목적이 있다. 세부적인 사항을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 실내실험 최적배합비의 현장배합 선정
- (2) 레미콘 플랜트(이하B/P)의 배합방법 및 생산설비 시스템의 검증, 실용화 방안
- (3) B/P에서 현장까지의 徑時變化 특성 및 타설·마감·양생 등 품질관리
- (4) 현장시공에 따른 품질관리 및 無다짐시의 타설방안, 거푸집 관리, 강도특성

2. 現場概要 및 評價方法

2.1 現場概要

초유동 콘크리트의 시공현장은 (株)大宇 建

¹⁾정회원 (株)大宇 建設技術研究所 前任研究員

²⁾정회원 (株)大宇 建設技術研究所 主任研究員

³⁾정회원 (株)大宇 建設技術研究所 研究員

⁴⁾정회원 韓國科學技術院 敎授, 工博

⁵⁾정회원 (株)大宇 建設技術研究所 所長, 工博

設技術研究所 2段階 現場으로, 구조물은 대형 구조실험동 반력벽이며, 현장개요는 [표 1]과 같다.

[표 1] 고성능 콘크리트 적용현장 개요

구분	내용
현장명	(株)大宇 建設技術研究所 2段階 現場
타설부위	대형구조실험동 반력벽
공사기간	1994년 1월~1996년 6월
건물구조	철근 콘크리트조 + 포스트 텐션
설계강도	350 kg/cm ²
설계사	(株)大宇 研究所 건립팀 + 남산건축
시공사	(株)大宇 建設

특히, 반력벽은 설계강도가 350kg/cm²로 설계된 구조물로, 안전율과 할증계수를 고려하여 목표강도를 420kg/cm²으로 하였다.

또한, 철근배근 및 포스트 텐션 시스템이 복잡하고 과밀하게 배근되어 있기 때문에, 超流動 콘크리트를 시공하기 위해서는 엄격한 품질관리가 요구된다.

2.2 使用 材料特性

초유동 콘크리트의 제조를 위해 사용된 재료는 일반 헤미콘 공장에서 사용하는 것으로 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(1종: Bulk)이며, 굵은골재는 안양 비보석산의 25mm 쇄석 및 잔골재는 海砂(세척사)를 사용하였다. 골재의 품질시험 결과는 [표 2]와 같다. 골재의 품질은 고강도용 기준으로 평가한다.

[표 2] 골재의 품질시험 결과

종류	잔 골 재		굵은골재	
	속정값	고강도 기준	속정값	고강도 기준
비 중	2.60	2.5 이상	2.63	2.5 이상
조립율 (F.M)	2.66	-	6.71	-
흡수율 (%)	0.93	3.0 이하	1.52	3.0 이하
마모율 (%)	-	-	21.4	25 이하
실적율 (%)	58.12	60 이상	58.26	57 이상
단위중량(kg/m ³)	1,498	-	1,525	1,250이상

高性能 減水劑는 나프탈렌계 Darex super-20을 사용하였으며, 混和材는 보령 화력발전소에서 생성되는 F급 플라이애쉬로, 품질시험

결과는 [표 3]과 같다.

[표 3] 혼화재(플라이애쉬) 특성시험 결과

SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	화학적 성분 (x)						물리적특성	
	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	Ig. loss	비중	분말도 (㎍/g)
90.29	1.13	1.44	0.33	0.05	3.65	3.6	2.23	3,124

2.3 超流動 콘크리트의 제조방안

초유동 콘크리트의 제조는 동양레미콘 군포공장에서 실시하였으며, 연구소 현장까지의 운반시간은 약 30분 정도 소요되었다. B/P의 生産設備는 일반적으로 사용되는 것과 동일하며, 배합믹서는 2축 횡형식으로 최대용량은 90m³/hr이다. 그러나, 초유동 콘크리트의 제조에는 플라이애쉬가 다량으로 사용되기 때문에, 이를 저장할 수 있는 별도의 사일로와 계량 및 공급 설비시스템이 필요하며 군포공장은 이러한 설비를 갖추고 있다. 향후 실용화를 위한 B/P의 설비투자가 필요하다.

2.4 초유동 콘크리트의 評價方案

초유동 콘크리트의 流動特性은 레오로지의 측면에서 평가해야 하므로 기존의 슬럼프 시험으로는 불가능하다. 따라서, 이에 적합한 시험장치를 선정하여 유동특성을 평가하였다. 시험장치는 기존의 제인¹²⁾외에 굵은골재의 최대크기에 따라 규격을 선정한 것이며, 향후 실험결과를 통해 시험법으로 반영해야 할 것이다.

(1) 流動性 및 充塡性 평가시험

초유동 콘크리트의 流動性 評價試驗은 회전날개형 시험, 깔대기 流下試驗, L型 플로우 및 슬럼프 플로우 시험이 대표적이거나, 슬럼프 플로우 및 깔대기 유하시험, L형 플로우 시험을 평가대상으로 선정하였다.

또한 초유동 콘크리트의 充塡性 評價試驗은 간극통과성 BOX 시험, 과밀배근 충전성 및 모의부재 충전성 시험을 대상으로 하였으며, 充塡性 試驗結果로 부터 材料分離 抵抗性을 함께 측정하도록 하였다.

모든 시험장치는 視覺的인 測定을 위해 투명아크릴로 제작하였으며, 모의부재 충전성 시험장치는 실물크기에 철근으로 장애물을 설치하고 打設部를 통해 콘크리트가 다짐없이 流動 및 充填되는 狀況을 관찰하기 위한 것이다.

(2) 다짐성능 評價試驗

초유동 콘크리트는 無다짐을 전제로 하기 때문에 實大部材에서 다짐 有·無에 따른 영향을 평가할 필요가 있다. 따라서 복잡하게 철근이 배근된 無다짐 시험체 및 비교용 다짐 시험체를 제작하여, 초유동 콘크리트 타설에 따른 거꾸짐 表面性狀과 코아채취후 斷面의 骨材分布圖, 空隙, 壓縮強度를 비교하였다.

3. 試驗配合 및 結果分析

3.1 一般事項

현장에서 초유동 콘크리트를 시공하기 위한 품질관리 항목은 [표 4]와 같다.

[표 4] 고성능 콘크리트의 품질관리 항목

	시험장치	빈도	규정값	비고
유동성	슬럼프 플로우	1회/대	60±5 cm	플로우
	O형 깔대기	1회/대	10±5 초	유하시간
충전성	II형 BOX	1회/대	5cm 이하	높이차
	과밀배근	1회/대	관찰	-
	모의부재	1회	관찰	체가름

품질성능의 定量化는 향후 많은 실험 및 자료분석, 그리고 KS 기준 정립을 통해 이루어져야 하지만, 본 연구에서 규정한 값은 參考文獻⁽³⁾ 및 실내실험과 시험시공에서 나타난 결과⁽⁴⁾ 등을 고려하여 無다짐 타설시 流動性, 充填性을 확보할 수 있다고 판단되는 범위를 나타낸 것이다.

3.2 B/P 豫備試驗

현장에 시공할 초유동 콘크리트의 최적배합 조건을 도출하기 위하여, 현장재료에 따른 예비시험 배합을 실시하였다. B/P에서의 표

면수 및 計量誤差는 품질관리에서 가장 중요한 요인이며, 管理項目에 따른 품질성능을 측정하여 영향범위를 검토하는 것이 필요하다. 배합조건은 [표 5]와 같으며, 결과에 따른 수정배합을 고려해야 한다.

[표 5] 예비시험의 기본 배합조건

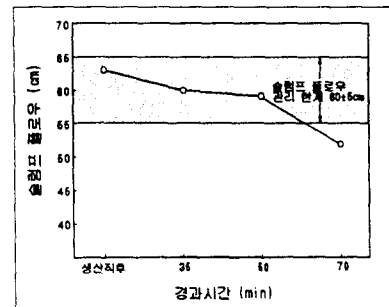
W/B (x)	S/a (x)	FA (x)	Sr (x)	Gv (x)	단위재료량 (ℓ / m³)				
					W	C	FA	S	G
35	53	30	48.8	52.0	175	111	67	337	299

여기서, 잔골재용적비(Sr)는 모르타르에 대한 잔골재비, 굵은골재용적비(Gv)는 실적을 고려한 콘크리트에 대한 굵은골재비를 의미한다.

기본배합을 근거로 3회에 걸쳐서 比較試驗을 실시하였으며, 이때 나타난 초유동 콘크리트의 유동성 및 충전성 시험결과는 슬럼프 플로우 63cm, 깔때기 유하시간 5.0초(O형) 및 7.7초(□형), BOX 충전성 4.5cm, 그리고 L형 플로우는 69cm로 나타났다. 이는 [표 4]에서 규정한 품질관리 항목을 만족하는 범위이다.

3.3 徑時變化 시험결과

초유동 콘크리트의 현장최적배합으로 운반 시간에 따른 슬럼프 플로우의 徑時變化를 측정하였으며, 결과는 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 슬럼프 플로우의 경시변화 특성

초유동 콘크리트의 경시변화에 따른 슬럼프 플로우 低下性狀은 1시간 범위까지 품질

관리 규준인 $60 \pm 5\text{cm}$ 를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 초유동 콘크리트의 混和材로 F급 플라이애쉬를 사용하기 때문에 初期狀態의 凝結遲延 및 고성능 감수제의 분산성능의 결과로 사료된다. 따라서 고성능 감수제의 후첨가없이 시공하도록 결정하였다.

3.4 模擬部材 充填性試驗 結果

초유동 콘크리트의 充填性을 종합적으로 평가하기 위한 模擬部材에 콘크리트를 타설하여 充填狀況(장애물 통과 및 간극통과성, 부위별 流動勾配, 반대편 기둥의 逆充填 狀況 등)을 측정하였으며, [사진 1]과 같다.



[사진 1] 모의부재의 충전상황

실험결과, 다짐을 하지 않더라도 장애물 및 모서리부분까지 充填되는 것을 알 수 있으며, 또한 반대편 기둥에 逆充填되어 상부에서 약 15cm 부위까지 充填되었다. 이는 재료분리없이 콘크리트의 自重에 의한 充填性能뿐 만 아니라, 높은 流動勾配로 인하여 수평방향의 운동도 매우 활발하기 때문이다.

또한, 재료분리 저항성을 측정하기 위해 각 부위별 채취한 콘크리트의 굵은골재량은 배합설계시의 골재량에 비해 4% 이하의 오차를 나타내었으며, 재료분리 현상은 거의 발생하지 않는 것으로 확인되었다.

3.5 압축강도 시험결과

다짐의 영향을 평가하기 위해 제작한 시험

부재에서 채취한 코아의 재령별 강도시험 결과는 [표 6]과 같다.

[표 6] 부위별 · 재령별 강도비교

구 분 재 령	공시체 압축강도 (kg/cm ²)	코아 압축강도(kg/cm ²)			슈미트 강도 (kg/cm ²)
		다짐 부재	무다짐 부재		
			중간부	단부	
3일	272	-	-	-	236
7일	385	314	339	318	285
14일	417	350	347	357	313
28일	497	403	408	433	347
56일	592	481	478	517	465

강도시험 결과, 대형구조 실험동에 타설할 강도조건을 만족하였으며, 다짐에 따른 영향도 거의 없었다.

또한, 斷面の 골재분포 및 공극변동, 材料分離 및 沈下現象은 발생하지 않았기 때문에 초유동 콘크리트의 현장시공에 있어서 品質 및 均質性은 확보될 것으로 기대된다.

4. 現場施工 및 結果分析

시험배합 및 품질관리 항목에 따른 실험결과를 토대로 초유동 콘크리트를 設計基準強度 350kg/cm²로 설계된 대형구조 실험동 반력벽에 시공하였다. 경시변화 특성 및 유동성, 충전성, 재료분리 저항성, 강도특성 등은 모의부재 및 시험부재의 결과로 품질관리를 예측할 수 있지만, 구조물 타설에 따른 초유동 콘크리트의 유동구배 및 타설간격, 타설높이 등은 평가실험 결과 및 현장조건으로 결정해야 한다.

4.1 現場條件

초유동 콘크리트를 시공할 현장개요는 [표 1]과 같다. 현장조건이 매스콘크리트로 철근 및 포스트텐션 시스판이 복잡하게 배근되어 있으며, 거푸집의 기밀성 및 설계에서 작용하는 측압을 액압으로 반영하는 것이 중요하다.

현장시공할 콘크리트 물량은 총 2,300m³로 수화열을 고려하여 16차로 나누어 타설하였다. 1~14차까지는 고강도 콘크리트를 타설

하였으며, 15~16차의 높은 위치에는 초유동 콘크리트를 다짐작업 없이 타설하도록 하였다.

초유동 콘크리트 타설량은 약 70m³ 정도이며, 전체 반력벽의 규모가 1,400×250×1,200 cm로 볼 때, 초유동 콘크리트의 타설은 높이 10m되는 部位부터 적용된다.

4.2 現場 品質管理 項目

현장 품질관리는 [표 4]의 항목외에 壓送前後에 따른 품질변동 및 水平 流動句配, 打設速度, 騒音測定, 그리고 마감 및 양생방법 등은 [표 7]과 같이 관리하였다.

[표 7] 현장 품질관리 항목

타설 조건				다짐	양생	거푸집	비고
타설 높이 (m)	유동 구배 (m)	타설 속도 (m ³ /hr)	압송압 (kg/cm ²)	無	습윤양생	구조 보강 수밀성	소음정
1 미만	4~5	28	100				

4.3 초유동 콘크리트 生産 및 運搬

초유동 콘크리트의 생산은 一括投入方法으로 1배치당 2m³씩, 配合時間을 1분으로 하였다. 생산직후에 유동특성 시험을 하였으며, 운반은 에지테이터 트럭 1대당 6m³씩 적재하여 현장으로 운반하였다. 2차에 걸친 현장시공의 유동 및 충전특성 결과는 [표 8]과 같다.

[표 8] 초유동 콘크리트의 유동특성

항목 구분	슬럼프 플로우 (cm)	깔대기 유하시험		간극통과성 BOX 시험		L 형 플로우 (cm)
		□형	○형	높이차	시간	
15차 평균값	66.0 (20.3초)	8.4초	7.2초	1.6 cm	13.3 초	89.0 (45초)
16차 평균값	65.0 (17.0초)	6.3초	4.8초	1.5 cm	13.0 초	81.8 (34초)

[표 8]의 결과는 에지테이터 트럭 6대의 평균값으로 품질규준을 만족하였다. 과밀배근 충전성 시험결과도 모두 양호한 것으로 나타났으며, 향후 각 시험법에 따른 결과의 관련성을 비교·평가하여 간략화 시킬 수 있는

방안이 요구된다.

4.4 高性能 콘크리트 타설

초유동 콘크리트의 流動句配 및 流動速度는 타설계획 및 타설속도 등에 영향을 미친다. 현장시공에서 流動句配는 5~6m, 낙하고는 1m이하, 펌프 토출량은 28m³/hr, 壓送壓은 100kg/cm²로 타설속도를 조절하였다. 수평방향의 유동구배로 타설지점을 결정하고 수직 방향은 유동후 충전되도록 계획하였다.

타설결과, 자기충전성을 확보할 수 있었으며, 다짐작업을 하지 않고도 과밀배근 및 다짐이 어려운 부재에 타설이 가능하였다. 또한 다짐작업을 위한 인력이 거의 불필요하였고, 타설장소의 소음을 70~85dB(일반 타설 현장 80~100dB)정도로 줄일 수 있었기 때문에 소음공해 및 건설환경 개선이 가능하였다.

4.5 強度特性 및 向後課題

본 현장적용은 초유동 콘크리트의 流動性, 充填性 및 材料分離 抵抗性和 같은 施工性改善에 초점을 맞춘 것이지만, 설계기준강도가 350kg/cm²의 고강도 범위이기 때문에 강도 특성도 만족해야 한다. 15차 압축강도 결과를 보면, 재령 3일 평균값이 259kg/cm², 7일 332kg/cm², 28일 429kg/cm²으로 나타났으며, 비교용으로 제작한 다짐시험체의 28일강도는 평균 435kg/cm²이었다. 16차의 경우에도 거의 같거나 약간 상승하는 값을 보였다.

현장적용 결과, 強度는 400kg/cm² 이상의 강도가 발현하였으나, 210~700kg/cm² 범위까지 범용화를 위한 연구^{(5),(6)}가 필요할 것으로 사료된다.

또한 設計基準強度에 대한 변동 및 割増係數와 장기특성중 크리프, 건조수축 등을 규명하기 위한 연구⁽⁷⁾가 계속되고 있으며, 향후 연구결과를 분석할 예정이다.

5. 결론

초유동 콘크리트의 實用化를 위한 評價試驗 및 模擬部材 充填性, 다짐영향으로 성능을 확보한 후, 대형구조실험동에 시공한 결론을

정리하면 다음과 같다.

(1) 基本試驗法の 提案

초유동 콘크리트의 流動性·充填性·材料分離 抵抗性 시험법으로 슬럼프 플로우, 깔대기 유하시간, 간극통과성 BOX 및 L형 플로우 시험을 권장하며, 과밀배근 및 모의부재 시험을 통한 종합적인 판단이 필요하다.

(2) 流動性能 評價

無다짐을 위한 목표성능은 슬럼프 플로우 (60±5cm), 깔대기 流下時間(10±5초), BOX 시험 높이차(5cm이하)를 만족해야 한다.

(3) 다짐 有·無에 따른 영향평가

초유동 콘크리트는 無다짐으로도 内部空隙 및 骨材分布圖, 코아강도, 표면마감이 양호하며, 골재 침하현상은 일어나지 않았다.

(4) 現場適用 결과

본 연구에서 규정한 유동성 및 충전성을 만족하면, 복잡한 구조물에도 다짐없이 施工할 수 있으며, 400~500kg/cm² 정도의 강도발현을 확인할 수 있었다. 향후 210~700kg/cm² 범위의 범용화를 위한 연구가 필요하다.

(5) 건설환경 개선

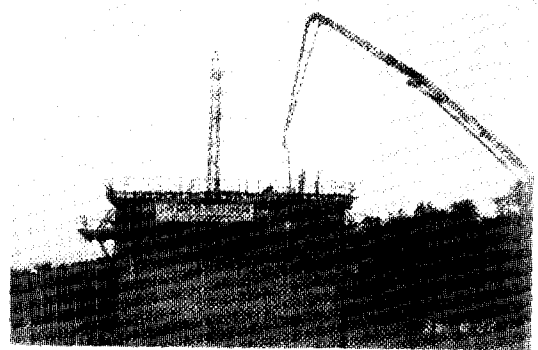
다짐작업에 필요한 인력절감 및 소음감소로 건설현장의 환경개선이 가능하다.

(6) 實用化를 위한 提案

초유동 콘크리트의 實用化를 위한 현장품질관리 및 性能評價, 설계법의 정립이 필요하며, 플랜트의 설비시스템을 개선해야 한다.

감사의 글

본 연구는 建設交通部 國策課題인 “超流動 콘크리트 開發 및 實用化” 연구의 일환으로 수행된 것이며, 현장적용을 위해 지원해 주신 (株)大宇 建設技術研究所 2단계 현장의 송광세 소장님과 건립팀, 그리고 동양레미콘·동양중앙연구소 관계자 여러분께 감사드립니다.



[사진 2] 대형구조실험동 반력벽 타설

참고문헌

- (1) 朴光林, “高性能 콘크리트의 開發 및 實用化”, 제1회 韓·日 高性能 콘크리트 國際 심포지움 발표논문집, (株)大宇建設技術研究所, 1994.11
- (2) 岡村 甫, “ハイパフォーマンスコンクリート”, 1992.
- (3) 小澤一雅, 前川宏一, 岡村 甫, “ハイパフォーマンスコンクリートの開發”, 콘크리트 工學年次論文報告集, 日本콘크리트 工學協會, Vol.11, No.1, 1989. 6
- (4) 盧載昊, 朴年東, 權寧鎬 外, “高性能 콘크리트의 現場試驗施工”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제7권 1호, 1995.5, pp.171~176.
- (5) 尹在煥 外, “高爐시멘트를 사용한 高流動 콘크리트의 製造에 관한 實驗的 研究”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표논문집 제 6 권 2호, 1994.11, pp.65~70
- (6) 金和中外, “超流動 콘크리트의 開發에 關한 基礎的 研究”-제1~2보, 한국콘크리트 학회, 봄학술발표논문집 제 7권 1호, 1995. 5, pp.42~53
- (7) Kim-jin keun, Park-chil Lim, Kwon-yeong Ho, et al., “An Experimental Research on the Material Properties of Super Flowing Concrete”, International Symposium on Public Infrastructure Systems Research, Korea, 1995.9