

# 超流動 콘크리트의 2차제품 적용에 關한 研究

## Application on the Pre-cast Concrete of the Super Flowing Concrete

권영호\*  
Kwon, Yeong Ho

이상수\*\*  
Lee, Sang Soo

원 철\*\*  
Won, Cheol

박칠림\*\*\*  
Park, Chil Lim

---

### Abstract

This study is the experimental results on the applicability of the super flowing concrete, which is the pre-cast concrete, to various cases. The primary purpose of this study is to verify the demolding strength, the handling strength of the super flowing concrete at various curing conditions, and the site quality control of the DWS (Daewoo Multi-Room Modular Construction System).

From the experimental works, required strength and curing cycles are satisfied. Furthermore site quality control details and quality of the pre-cast concrete using the super flowing concrete are obtained. From now on, this study may suggest how to apply the super flowing concrete for common circumstance.

---

### 1. 序 言

초유동 콘크리트는 건설교통부의 국책과제인 “超流動 콘크리트의 開發 및 實用化 研究”를 계기로 현장에서 콘크리트를 타설할 때 인력에 의해 발생하는 콘크리트의 품질결함을 개선하기 위해 개발된 것이다. 현재, 일부대학을 중심으로 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 연구성과를 현장에 적용한 사례<sup>(1)</sup>도 발표되었다.

그러나, 지금까지는 주로 현장타설을 대상으로 초유동 콘크리트를 실용화시키기 위한 연구개발이 추진되었기 때문에 범용화를 위한 적용범위도 제약을 받고 있으며, PC와 같은 2차제품에 초유동 콘크리트를 활용할 수 있는 방안이 필요한 실정이다.

---

\* 정희원, (株)大字建設技術研究所 先任研究員

\*\* 정희원, (株)大字建設技術研究所 主任研究員

\*\*\* 정희원, (株)大字建設技術研究所 所長

따라서, 본 연구에서는 초유동 콘크리트가 갖는 성능을 최대한 발휘할 수 있으며, 광범위하게 적용할 수 있는 방안으로 (株)大宇建設에서 개발·시공중인 입체형 PC공법인 DWS (Daewoo Multi-Room Modular Construction System)공법<sup>2)</sup>에 적용하고자 하였다. 현재, DWS공법은 부산, 김해, 시흥 등지에서 아파트 건설에 대량으로 적용되고 있으며, 한세대 유니트 모듈로 개구부 및 복잡한 단면으로 구성되어 벽체의 두께 및 배근상황이 조밀하기 때문에 초유동 콘크리트를 적용하면 기존의 콘크리트보다 매우 효율성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 조건을 갖는 구조물에 초유동 콘크리트를 적용하면, 기존의 설비투자를 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 流動性 및 充填性 등과 같은 콘크리트의 품질확보 외에도 인력절감 및 공기단축의 효과도 있을 것으로 기대된다.<sup>3)</sup>

## 2. DWS공법 및 현장개요

DWS공법은 한세대 구조체를 3 Dimension으로 한꺼번에 제작하는 PC공법 시스템으로 모듈생산 방법은 그림 1과 같다.



그림 1 DWS 생산 시스템

설비플랜트는 이동식으로 먼저 선가공 조립된 철근을 설치하고 바닥 콘크리트를 타설한다. 그후에 벽체의 강재거푸집을 Gantry Crane으로 이동시켜 바닥 및 배근된 철근에 정밀하게 설치하고 벽체의 콘크리트를 타설한다. 특히, 슬래브에 미리 타설된 콘크리트의 윗부분이 오픈되어 있으므로 벽체에 타설된 초유동 콘크리트가 상부로 밀려오르지 않아야 한다.

벽체에 콘크리트를 타설한 후, 전치시간이 경과하면 증기양생을 실시하는데, 기존의 양생싸이클은 전치시간이 2~3시간, 온도상승곡선은 20℃/hr이며, 양생 최고온도는 70℃ 정도이다. 또한, 구조체의 탈형강도는 70kg/cm<sup>2</sup> 이상, Handling 강도는 140kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 한다.

본 연구의 시험적용현장은 경기도 시흥시 은행동 택지개발지구에 위치한 시흥 3차 대우아파트 신축 현장으로 16~20층 규모의 11개동 총 1,272세대의 주거단지이며, DWS공법이 적용되는 공사는 총 638세대로 50% 정도의 규모이다. 1일 생산싸이클은 1층에서 15층까지는 5Unit, 16층 이상은 4Unit씩 생산하도록 계획되어 있다.

## 3. 레미콘 공장선정 및 시험배합

### 3.1 레미콘 공장선정

초유동 콘크리트를 제조·공급할 레미콘 공장은 재료 및 품질관리 능력, 운반거리, 경제성 등을 고려하여 선정해야 한다. 표 1은 초유동 콘크리트를 제조·공급할 레미콘 공장 조사결과를 나타낸 것이다.

대부분의 레미콘 공장은 현장에서 45분 이내의 거리에 있기 때문에, 운반시간에 따른 문제가 없을 것으로 사료되며, 설비 및 품질관리 측면에서 적합한 레미콘 공장을 선정하였다.

표 1 레미콘 공장 선정을 위한 조사자료

구 분	S 레미콘 (인천)	SS 레미콘 (인천)	Y 레미콘 (소래)	비 고
운반시간	40~45분	30~40분	20~30분	경시변화
제조설비	PAN형, 가경식	Twin Shaft (210m <sup>3</sup> /hr)	Twin Shaft (210m <sup>3</sup> /hr)	설비, 제조능력
시멘트	SS, T, H (3社)	SS社	H社	시멘트 품질
굵은골재	25mm (의정부)	25mm (김포)	25mm (비봉)	골재품질
잔 골 재	부순모래, 강모래	세척모래	세척모래	
혼 화 제	고성능 감수제(J社)	고성능 감수제(G社)	고성능 감수제(SK社)	품질(적합성)

### 3.2 레미콘 공장의 최적배합비 시험

#### 3.2.1 사용재료

레미콘 공장에서 제시한 품질을 검토한 후, 최적배합 시험은 Y레미콘 소래공장에서 실시하도록 하였다. 사용 시멘트는 H社의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 잔골재는 남양만의 세척모래를, 굵은골재는 용원석산의 25mm쇄석이며 실적율이 59.6%였다. 플라이애쉬는 화력발전소의 F급으로 단위수량비가 99%이며, 대부분의 품질은 KS규준을 만족하였다.

#### 3.2.2 시험배합 및 결과분석

초유동 콘크리트의 배합설계법에 따른 레미콘 공장의 시험배합 조건은 표 2와 같다.

표 2 최적배합 선정을 위한 시험배합 조건

시험제명	변 수	W/B (%)	GV (%)	Sr (%)	S/a (%)	Unit Material Content (kg/m <sup>3</sup> )					
						C	F/A	W	Sand	G	S.P(%)
No.1	FA-35-G50	35	50	47	52.8	352	151	176	827	743	1.60
No.2	FA-35-G51		51		52.1	349	150	175	820	758	1.50
No.3	FA-35-G52		52		51.4	347	149	173	813	773	1.50
No.4	FA-37-G50	37	50	46	52.3	350	150	185	809	743	1.50
No.5	FA-37-G51(1)		51	46	51.6	347	149	183	802	758	1.50
No.6	FA-37-G51(3)			46.5	51.9	343	147	181	811	758	1.40
No.7	FA-37-G51(2)			47	52.1	340	146	180	820	758	1.30

이때, 결합재의 拘束水比는 0.99를 일괄적으로 적용하였으며, 물/결합재비 2종류를 대상으로 굵은골재 용적비( $G_v$ ) 및 잔골재 용적비( $S_r$ )를 조정하였다. 레미콘 제조시의 배합시간은 1분으로, 재료투입 방법은 일괄투입방법으로 하였다. 실험결과, 슬럼프 플로우는 58~68cm 범위에 있었으며, 공기량은 3.8~6.0% 범위로 대부분 목표성능을 만족하였다.

그림 2는 잔골재 용적비에 따른 유동속도를 나타낸 것이며, 그림 3은 잔골재 용적비에 따른 깔대기 유하시간 및 BOX 간극통과성 시험결과를 나타낸 것이다.

슬럼프 플로어가 50cm에 도달하는 속도는 잔골재 용적비가 46.5%일 때가 가장 낮다. 이는 점성에 따른 초기변형 저항성이 크다는 것을 의미한다. 또한, L형 플루우 속도도 유사한 경향을 나타내고 있다. 그러나, 슬럼프 플로어의 최종 도달속도는 잔골재 용적비에 따른 차이가 크지 않은 것으로 나타났다.

깔대기 유하시간은 잔골재 용적비가 낮을수록 증가되는 것으로 나타났으며, BOX 간극통과성 높이

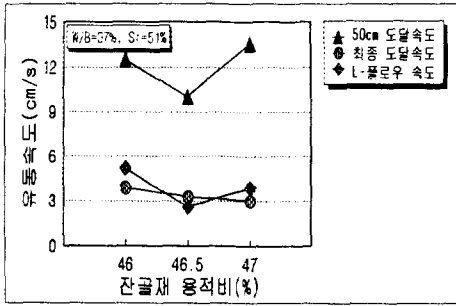


그림 2 S에 따른 유동속도

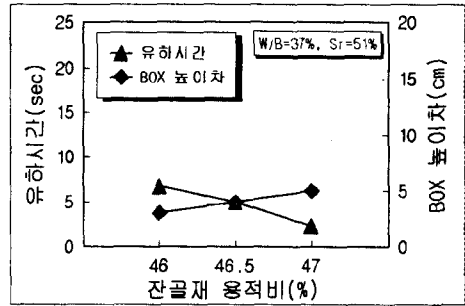


그림 3 S에 따른 유하시간 · 간극통과성

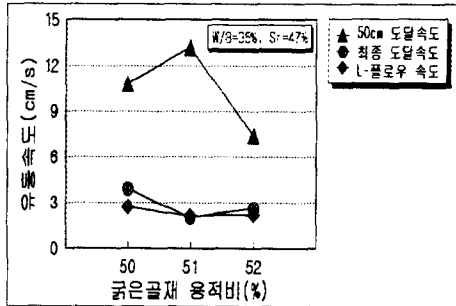


그림 4 G에 따른 유동속도

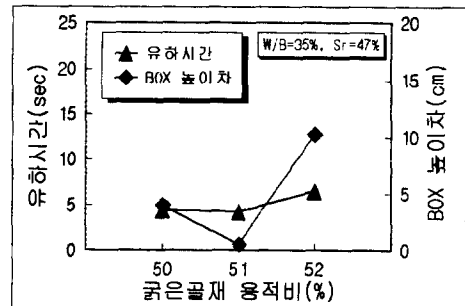


그림 5 G에 따른 유하시간 · 간극통과성

차는 잔골재 용적비가 클수록 높게 나타났다. 따라서, 목표슬럼프 플로우(65±3cm)를 만족하는 범위에서 잔골재 용적비는 46%정도로 선정하도록 하였다.

그림 4는 굵은골재 용적비에 따른 유동속도를 나타낸 것이며, 그림 5는 굵은골재 용적비에 따른 깔대기 유하시간 및 BOX 간극통과성 시험결과를 나타낸 것이다.

실험결과, 굵은골재 용적비가 51%일 때 50cm에 도달하는 유동속도가 가장 높게 나타났다. 물론, 목표 슬럼프 플로우가 확보되었기 때문에 점성이 확보되면 범위에서 정해야 하지만, 최종 도달속도 및 L형 플로우 속도는 굵은골재 용적비에 관계없이 유사하게 나타났다.

깔대기 유하시간은 굵은골재 용적비 증대에 따라 약간 증대하는 경향을 나타내었지만, 간극통과성은 굵은골재 용적비에 따라 매우 큰 차이가 있다. 즉, 굵은골재 용적비 50~51%에서는 높이차가 표준값인 5cm이하를 만족하고 있지만, 52%에서는 표준값을 벗어났다.

이러한 경향은 굵은골재의 실적율에 따라 다르지만, 굵은골재의 용적이 증가함에 따라 모르타르의 용적 및 페이스트의 점성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 골재간의 충돌빈도를 증대시키기 때문에 막힘현상을 일으킬 수도 있다. 따라서, 유동성, 충전성 및 간극통과성을 고려하여 굵은골재 용적비는 51%범위에서 정하는 것이 바람직할 것으로 평가된다.

압축강도 시험결과, 물/결합재비에 따라 차이는 있지만, 7일강도가 240~294kg/cm<sup>2</sup>의 범위를 나타내었다. 따라서, 유동특성 및 강도특성이 우수한 배합조건을 선정도록 하였다.

### 3.2.3 경시변화 특성시험 및 결과분석

비교적 우수한 배합조건을 대상으로 레미콘 공장에서 타설현장까지 소요되는 운반시간에 따른 경시변화 특성을 측정하였다. 레미콘 플랜트에서 2m<sup>3</sup>씩 초유동 콘크리트를 생산한 후, 에지테이터에 적재

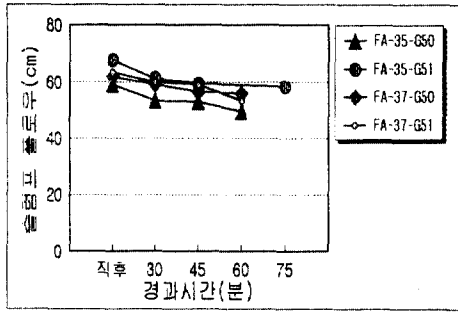


그림 6 슬럼프 플로우의 경시변화

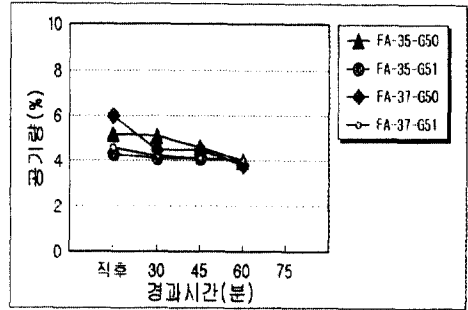


그림 7 공기량의 경시변화

하여 운반시간에 따른 슬럼프 플로우, 깔대기 유하시간, 간극통과성, 공기량 및 콘크리트의 온도변화 등을 측정하였으며, 결과는 그림 6 및 그림 7과 같다.

슬럼프 플로우의 경시변화 특성은 시간에 따라 슬럼프 플로우가 저하되는 경향을 나타내었다. 운반 및 대기시간을 약 45분 정도로 예상할 때, 레미콘 공장에서 목표 슬럼프 플로우( $65 \pm 3\text{cm}$ )의 최대값인  $68\text{cm}$  정도로 생산하거나 현장에서 고성능 감수제를 후첨가하여 타설 슬럼프 플로우를 증대시키는 방안이 필요하다.

공기량의 경시변화 특성은 최대 60분까지 목표 공기량( $4.5 \pm 1.5\%$ )을 만족하기 때문에, 공기량 관리에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 또한, 콘크리트 온도는 경시변화에 따라 약  $1^\circ\text{C}$  정도 상승하는 것으로 나타났으며, 유하시간 및 간극통과성 높이차도 약간 증대하는 것으로 측정되었다. 경시변화에 따른 초유동 콘크리트의 압축강도는 시간이 경과할수록 약간 증대되는 것으로 나타났는데, 이는 배합 효율 및 콘크리트 조직의 균질화에 기인된 것이다.

레미콘 공장의 시험배합 결과, 물/결합재비 37%, 잔골재 용적비 46% 및 굵은골재 용적비 51%를 최적배합 조건으로 선정하였다.

### 3.3 양생조건에 따른 시험배합

양생조건에 따른 시험배합은 물/결합재비 2종류, 굵은골재 용적비 2종류에 대해 실시하였으며, 양생사이클은 Maturity 및 DWS 조건을 고려하여 전치시간 2~3시간, 최고온도  $70^\circ\text{C}$ , 상승온도구배  $20^\circ\text{C/hr}$ , 그리고 최고온도 유지시간을 4시간으로 하였다. 실험결과, 대부분의 시험체는 스팀양생 직후에 탈형강도( $70\text{kg/cm}^2$ ) 및 Handling 강도( $140\text{kg/cm}^2$ )를 만족하는  $140 \sim 204\text{kg/cm}^2$ 의 범위였으며, 28일 표준양생 결과는  $350\text{kg/cm}^2$  정도를 나타내었다.

## 4. 현장적용 및 결과분석

### 4.1 DWS 현장적용

DWS현장의 슬래브는 일반 콘크리트로 하고 벽체부위만 초유동 콘크리트를 적용하기로 하였다. 콘크리트의 설계기준강도는  $270\text{kg/cm}^2$ 이기 때문에, 탈형강도 및 핸드링 강도를 만족하고 28일 재령강도는  $350\text{kg/cm}^2$ 으로 관리하도록 하였다. 한세대 Unit에 필요한 콘크리트는 약  $11\text{m}^3$ 로 에지테이터 2대에 해당되기 때문에, 품질관리는 에지테이터당 1회로 하였다.

플라이애쉬의 치환율은 30%이며, 공기량 확보를 위하여 J社의 AE제를 결합재 중량의 0.15%로 첨

가하였다. 초유동 콘크리트의 제조는 배치당 2m<sup>3</sup>씩 3회 생산하여 트럭 에지테이터에 6m<sup>3</sup>씩 적재한 후 현장으로 운반하였다. 레미콘 공장에서는 출하전에 슬럼프 플로우만 측정하였으며, 현장에 도착한 후에 여러가지 유동특성을 측정하였다. 초유동 콘크리트의 타설시 다짐작업을 완전히 배제하였으며, 전치시간이 경과한 후 스팀양생을 실시하였다.

#### 4.2 DWS 적용결과 분석

레미콘 공장에서 출하할 때의 평균 슬럼프 플로우는 약 63cm였으며, 운반시간 및 대기시간을 포함하여 약 35분 소요되었다. 현장도착 직후 및 타설전의 유동특성은 표 3과 같다.

현장받아들이기 지점에서 깔대기 유하시간 및 BOX 간극통과성 높이차는 만족하였지만, 슬럼프 플로어가 목표값(65±3cm)에 미달하였기 때문에 고성능 AE감수제 0.1%를 후첨가하였다. 또한, 간극통과성 시험장치의 양단에서 채취한 콘크리트의 굵은골재 체가름 시험결과도 5%이내에 들기 때문에, 유동성, 충전성 및 재료분리 저항성을 만족하였다.

표 3 초유동 콘크리트의 유동특성 결과

변수 시험체명	W/B (%)	GV (%)	Sr (%)	S.P (%)	슬럼프 플로우 (cm)	슬럼프 플로우 유동속도		공기량 (%)	유하 시간 (sec)	BOX 간극 통과성 (cm)	비고
						50cm (cm/s)	최종 (cm/s)				
						FA-37-G51 <sup>1)</sup>	37				
FA-37-G51 <sup>2)</sup>	1.7	68×68	11.4	3.3	3.3	5.3		2.0	<sup>2)</sup> 타설직전		

또한, 압축강도는 양생직후가 100kg/cm<sup>2</sup>이며, 28일에는 325kg/cm<sup>2</sup>정도를 나타내었다. 비교용 표준양생 공시체의 28일 압축강도는 393kg/cm<sup>2</sup>로 증기양생에 비해 증대되었다. 최고양생온도는 68℃였으며, DWS의 기존배합 콘크리트에 비해 응결 지연 현상이 약간 발생하였으나 양생후의 강도발현은 매우 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 전치시간을 연장하거나 양생시스템에 대한 분산이 필요하다. 사진 1은 초유동 콘크리트를 타설하는 광경이다.

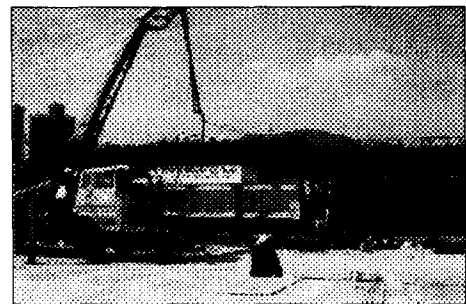


사진 1 DWS PC공법에 적용(시흥 은행동 대우아파트 현장)

## 5. 결 론

DWS공법의 시험적용은 현장타설에 이어 2차제품에 활용범위를 확대시킬 수 있는 방안으로 평가

되며, 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 초유동 콘크리트의 공급망 확대 및 기술이전, 배합설계법에 따른 품질관리 수행
- 2) 배근이 조밀한 Unit에 초유동 콘크리트의 타설로 품질확보, 인력절감, 설비투자 절감
- 3) 초유동 콘크리트의 응결지연 현상으로 전치시간을 증대 또는 양생시간의 증대필요
- 4) 시스템 거푸집 사용 및 탈형강도 및 핸드링 강도, 설계기준강도 만족
- 5) 초유동 콘크리트의 범용성 및 활용성 확대

## 참 고 문 헌

1. 박철림, 권영호, 이상수, 김동석, 김진근., "超流動 콘크리트의 現場施工", 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집 제8권1호, 1996.5, pp.402-407
2. 박철림, "공동주택 건설의 새로운 DWST法 開發", 한국콘크리트학회 논문집 제3권4호, 1991.12 pp.38-43
3. Toshiaki Ayano, Kenji Sakata., "The Application of Highly Flowable Concrete to Factory Products", Proceedings of JCI 2nd symposium on SFC, 1994.5, pp.109-114