

超流動 콘크리트의 流動特性에 관한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Flowability of Super Flowing Concrete

○ 權 寧 鎬¹⁾ 李 相 洙¹⁾ 朴 年 東²⁾ 金 鎮 根³⁾ 朴 沘 林⁴⁾
Kwon, Yeong Ho Lee, Sang Soo Park, You Dong Kim, Jin Keun Park, Chil Lim

ABSTRACT

In this paper, we described the basic elements required for the practical usage of super flowing concrete. The flowability and fillingability of fresh concrete was measured by using six different testing methods. Also, two actual size members were used for investigating characteristics of the hardened concrete through various experiments.

As the result of the experimentation, the developed super flowing concrete shown high flowability and fillingability good enough for the requirement. Furthermore, inner uniformity of the no-vibrated concrete was verified by testing distribution of aggregates and core cylinders. Therefore, quality control and workability of concrete can be secured by using the super flowing concrete even without vibrating. However, it has been felt that development of easy evaluation methods for the super flowing concrete is in need.

1. 序言

최근 不實工事 및 대형 구조물의 崩壞 등으로 콘크리트의 품질이 매우 중요하다는 인식이 대두되고 있다. 이러한 환경은 관련 기술자 및 연구자들에게 警覺心과 더불어 사회적 責任을 불러 일으키기에 충분하다. 따라서 과거의 實績 또는 弘報爲主의 기술개발 패턴으로 부터 벗어나 실질적인 寄與度를 함께 도모하는 방향전환이 필요한 실정이다.

본 연구는 이러한 건설공사의 품질에 영향을 미치는 요인중에서 콘크리트를 대상

으로 性能을 개선시키기 위한 내용을 주로 다루고 있다. 콘크리트에 요구되는 성능을 크게 流動性, 強度, 耐久性으로 구분하였을 때, 가장 품질에 영향을 미치는 요인을 流動性 또는 作業性으로 보고 이를 개선하기 위한 방안으로 超流動(高性能) 콘크리트를 開發·實用化하는 것을 연구의 대상으로 한다.

超流動 콘크리트에 관한 基礎實驗 및 現場 試驗適用을 통해, 이미 性能 및 效用性, 그리고 문제점을 제시한 바 있다.^{1),2),3),4),5)}

따라서 본 연구는 초유동 콘크리트의 性能評價를 定量化하기 위하여, 슬럼프 플로우 시험외에 流動性, 充填性, 材料分離 抵抗性を 측정하고 이를 모의부재 시험을 통해 확인하는 과정을 수행하였다.

또한 다짐작업의 有·無에 따른 콘크리

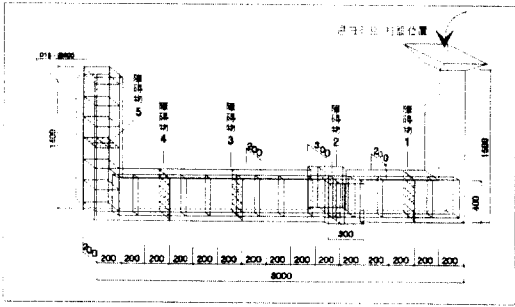
¹⁾ 정희원, (株)大宇 建設技術研究所 主任研究員

²⁾ 정희원, 東洋 中央研究所 先任研究員, 工博

³⁾ 정희원, 韓國科學技術院 教授, 工博

⁴⁾ 정희원, (株)大宇 建設技術研究所 所長, 工博

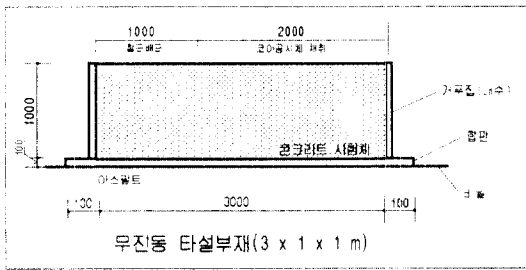
시험장치는 視覺的인 測定을 위해 투명 아크릴로 제작하였으며, 모의부재 충전성 시험장치는 실물크기에 철근으로 장애물을 설치하고 다짐없이 打設部를 통해 流動 및 充塡되는 狀況을 시각적으로 관찰하기 위한 것이다.



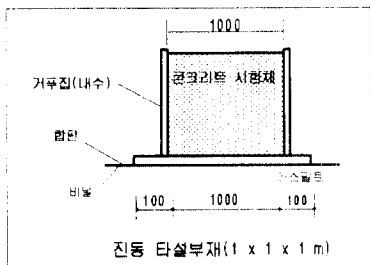
[그림 6] 모의부재 충전성 시험장치

2.3 다짐성능 평가시험

초유동 콘크리트는 무다짐을 전제로 하기 때문에 實大部材에서 다짐여부에 따른 영향을 평가할 필요가 있다. 따라서 복잡하게 철근을 배근한 [그림 7]의 무다짐 시험체와 [그림 8]의 다짐 시험체를 제작하여, 초유동 콘크리트 타설에 따른 거푸집 표면性狀과 코아채취후 斷面의 骨材分布圖, 空隙, 壓縮強度를 비교하였다.

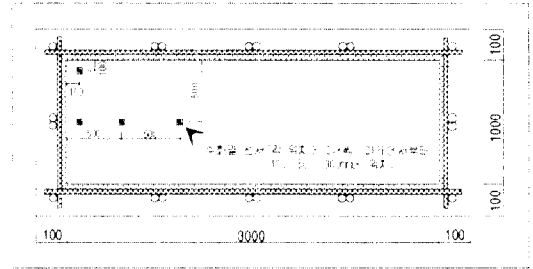


[그림 7] 무다짐 시험부재(3×1×1m)



[그림 8] 다짐용 시험부재(1×1×1m)

거푸집 재료는 코팅합판이며, 무다짐 부재에 水和熱 측정용 Thermo-couple을 [그림 9]와 같이 매립하여 그 특성을 비교하고자 하였다.



[그림 9] 수화열 센서 위치

3. 超流動 콘크리트의 生産

3.1 일반사항

초유동 콘크리트의 생산은 실내실험 및 동광양 현장타설 배합조건을 토대로 東洋 레미콘 안양공장에서 수행하였다. 안양공장은 초유동 콘크리트 생산의 汎用化를 위해 플라이애쉬 저장 사일로 및 투입설비를 별도로 갖추고 있기 때문에 生産性은 매우 효과적이다. 그러나 品質管理의 效率化를 위해 연구팀이 직접 材料特性 및 品質變動을 관리하도록 하였다.

3.2 사용재료 특성

본 연구에 사용된 시멘트는 벌크 형태인 東洋시멘트의 보통 포틀랜드 시멘트이며, 화학적 및 물리적 특성은 [표 1] 및 [표 2]와 같다.

[표 1] 시멘트의 화학적 특성(단위 : %)

강열 감량	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
	0.76	21.2	5.95	2.97	63.45	2.5
						2.02

[표 2] 시멘트의 물리적 특성

분말도 (㎎/g)	안정도 (%)	응결시간		압축강도 (㎏/㎠)			비중
		초결 (분)	종결 (시간)	3일	7일	28일	
3,031	0.4	1:45	4:37	180	278	382	3.12

굵은골재는 경기도 비봉석산의 25mm 쇠

석을 사용하였으며, 잔골재는 남양만의 海砂를 세척하여 사용하였다. 골재 품질시험 결과는 [표 3]과 같다.

[표 3] 골재의 품질시험 결과

항목	비중	흡수율 (%)	단위용적량 (kg/cm ³)	실적율 (%)	조립율 (%)	# 4 잔유율 (%)	# 4 통과율 (%)
잔골재	2.60	0.93	1,498	58.12	2.66	0.4	-
굵은골재	2.63	0.52	1,525	58.26	6.71	-	11.5

高性能 減水劑는 국내 시판중인 나프탈렌계 DARAX-SUPER 20을 사용하였으며, 플라이애쉬는 보령산으로 品質試驗 結果는 [표 4]와 같다.

[표 4] 플라이 애쉬의 품질성능

화학적 성분 (%)									물리적 특성		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	비중	분말도 (cm/g)	
53.96	30.60	5.73	1.44	1.13	0.05	3.65	0.33	2.72	2.23	3,124	

3.3 초유동 콘크리트의 배합 및 생산

초유동 콘크리트의 플랜트 生産을 위한 배합조건은 [표 6]과 같다.

[표 6] 초유동 콘크리트의 배합조건

W/B (%)	S/a (%)	Sr (%)	Gv (%)	단위 재료량(kg/m ³) []용적					
				W	C	FA	S	G	S.P
35	53	48.8	52	175	350 [111]	150 [67]	876 [337]	786 [299]	10

여기서 Sr은 잔골재 용적비, Gv는 굵은 골재의 용적비이며 실적율을 함께 고려해야 한다. 플라이애쉬의 치환율은 30%, 단위결합재량은 500kg/m³이다.

초유동 콘크리트의 생산은 요구되는 성능을 확보하기 위한 시험배치를 통해 최적조건을 도출하고자 하였으며, 생산방식은 일반 콘크리트에 준하여 실시하였다.

배합시간은 믹서의 부하량으로 산정하였으며, 약 60초 정도가 소요되었고 실험에 필요한 초유동 콘크리트의 물량은 약 5m³였다.

3.4 초유동 콘크리트의 운반 및 타설

레미콘 공장에서 大宇建設技術研究所 실험동까지 운반에 소요되는 시간은 약 25분이 소요된다. 따라서 현장생산 직후에 徑時變化 특성을 측정하였으며, 최적조건으로 운반계획을 선정하였다.

시험체의 타설은 트럭 에지테이터의 슈트로 직접 타설하였으며, 경시변화에 따른 流動性 및 充填性 試驗을 수행하였다.

비교용 부재를 제외하고 모든 부재 및 공시체는 다짐을 하지 않았다.

4. 試驗結果 分析

4.1 유동 및 충전성 시험결과

본 연구에서 선정한 초유동 콘크리트의 시험방법에 따른 측정결과는 [표 7]과 같다. 물론 목표성능은 다짐없이 현장에 타설할 경우에 만족해야 하는 정량적인 값을 나타낸 것이다.

[표 7] 유동성 및 충전성 시험결과

구분	슬럼프 플로우 (cm)	깔때기 유하시간(초)		BOX 충전성 (cm)	L 형 플로우 (cm)	과밀배근 충전성
		O형	□형			
목표성능	60±5	10±5		5이하	-	양호
시험결과	63.0	7.7	5.0	4.5	69.0	양호

시험결과, 초유동 콘크리트의 목표성능을 대부분 만족하는 것으로 나타났다. 目標性能은 주로 20mm이하의 골재를 대상으로 규정한 값이지만, 25mm 쇄석을 사용한 실험결과도 만족하는 것으로 나타났다.

초유동 콘크리트의 流動性은 變形量과 變形速度의 관계로 부터 粘性 및 降伏값을 평가하기 때문에, 이에 따른 流動解析의 접근이 필요하다. 또한 측정방법의 간편성을 위해 대표값으로 슬럼프 플로우를 측정하여 시험결과를 相互評價할 수 있는 방안을 강구해야 할 것으로 사료된다.

4.2 경시변화 특성

앞에서 언급한 바와 같이 초유동 콘크리트의 특성을 슬럼프 플로우로 평가하기 위

하여 운반시간에 따른 徑時變化를 측정하였으며, 그 결과는 [표 8]과 같다.

[표 8] 슬럼프 플로우의 경시변화 특성

경과시간	생산직후	35분	52분	70분
슬럼프 플로우	63.0cm	60.0cm	59.0cm	52.0cm

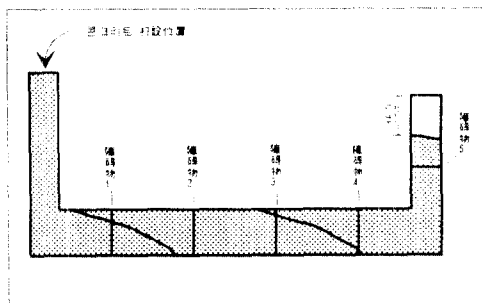
초유동 콘크리트의 徑時變化에 따른 슬럼프 플로우 低下性狀은 1시간 범위까지 목표성능인 60 ± 5 cm를 만족하는 것으로 나타났다. 이는 초유동 콘크리트의 混和材로 F급 플라이애쉬를 사용하기 때문에 初期狀態의 凝結 및 水和反應을 지연시킨 결과로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 고성능 감수제의 후첨가없이 시험부재에 타설하는 것으로 결정하였다.

4.3 模擬部材 充塡性

초유동 콘크리트의 充塡性을 종합적으로 평가하기 위하여, [그림 6]과 같이 제작한 模擬部材(콘크리트 타설량 330ℓ)에 타설하여 充塡狀況(장애물 통과 및 간극통과성, 부위별 流動勾配, 반대편 기둥의 逆充塡狀況 등)을 측정하였다.

[그림 9]는 시간별 모의부재의 充塡狀況을 표현한 것이다.



[그림 10] 모의부재의 充塡狀況

[그림 9]에서 보듯이 流動性 및 充塡性이 우수한 초유동 콘크리트를 모의부재에 타설할 때, 다짐을 하지 않더라도 장애물 및 모서리부분까지 充塡되는 것을 알 수

있다. 또한 반대편 기둥에 逆充塡되어 상부에서 약 15cm 부위까지 充塡되었다.

이는 초유동 콘크리트의 自重에 의한 充塡性能뿐 만 아니라, 높은 流動勾配로 인하여 수평방향의 운동도 매우 활발하기 때문으로 사료된다.

4.4 材料分離 抵抗性

초유동 콘크리트의 材料分離는 주로 모르타르와 굵은골재의 관계로, 매트릭스 모르타르를 流動學的 觀點에서 파악해야 한다. 이러한 성능은 부착시험으로 평가하기도 하지만, 본 연구에서는 모의부재 시험체에 充塡된 각 부위별 콘크리트 시료를 채취하여 5mm 체가름 시험으로 材料分離 저항성을 평가하였다. [표 9]는 시험결과를 나타낸 것이다.

[표 9] 材料分離 抵抗性 試驗結果

시료채취 부위	배합설계 조건	다설부 단부	중앙부	반대측 단부
골재량 (kg/m ³)	786	780	785	755
오차 (%)	0.0	- 0.76	- 0.13	- 3.94

모의부재의 장애물을 통과하면서 굵은골재의 막힘현상(閉塞)이 발생하지 않았으며, 配合設計時의 굵은골재 중량과 큰 변화가 없었다. 따라서 모의부재 시험을 통해 超流動 콘크리트의 재료분리 현상은 거의 나타나지 않는 것으로 사료된다.

4.5 강도특성 및 골재분포도

다짐의 영향을 평가하기 위해 제작한 시험체에 초유동 콘크리트를 타설한 후 재령별 코아를 채취하여 위치별 골재분포도를 측정하였다. 다짐을 하지 않은 경우에도 表面空隙이나 재료분리가 없이 균일한 골재분포도를 나타내었다. 또한 다짐여부에 따른 강도특성을 평가하기 위하여 재령별 공시체 및 위치별 코아강도를 측정하였다.

[표 10]은 다짐의 有·無에 따른 코아강도 및 공시체, 슈미트 햅머반발도 시험을 통한 강도 실험결과를 나타낸 것이다.

강도실험 결과, 공시체의 28일 壓縮強度는 약 500kg/cm² 정도이며, 이는 7일에 비해 29% 정도 상승한 값을 나타내었다.

또한 다짐의 영향에 따른 강도결과, 다짐을 한 경우가 약간 낮게 측정되었으며 이는 초유동 특성을 만족할 경우 진동다짐이 오히려 材料分離 및 沈下를 일으킬 가능성이 있을 것으로 사료된다. 공시체와 코아의 강도비교는 80% 이상을 나타내었는데, 이는 코아시험체의 길이가 1m이상되기 때문에 진동에 따른 충격 및 교란의 영향으로 사료된다.

[표 10] 부위별·재령별 강도비교

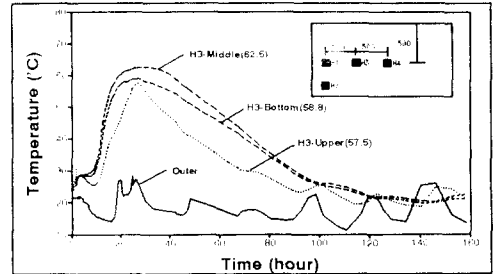
구분 재령	공시체 압축강도 (kg/cm ²)	코아 압축강도(kg/cm ²)				슈미트 강도 (kg/cm ²)
		코어 위치	다짐 부재	무다짐 중간부	부재 단부	
3일	272	-	-	-	-	236
7일	385	상	280	320	304	290
		중	332	350	331	267
		하	330	346	320	297
		평균	314	339	318	285
14일	417	상	325	331	347	310
		중	347	351	356	320
		하	379	359	367	310
		평균	350	347	357	313
28일	497	상	396	413	426	340
		중	402	391	433	340
		하	411	421	440	360
		평균	403	408	433	347
36일	592	평균	481	478	517	465

코아공시체의 위치별 단면에서 확인된 골재분포 및 공극을 비교해 볼 때, 초유동 콘크리트의 材料分離 및 沈下現象은 발견되지 않았으며, 또한 강도실험 결과와 비교해 볼 때도 品質의 均質性은 확보된 것으로 나타났다.

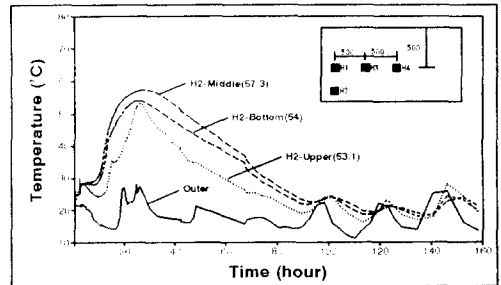
4.6 수화열 특성

초유동 콘크리트의 水和熱 特性을 검토하기 위하여 [그림 9]의 무다짐 부재에 위치별 Thermo-couple을 매립한 후 콘크리트 打設直後부터 외기온과 비슷해지는 재

령까지 UCAM으로 수화열을 측정하였으며, 결과는 [그림 11]과 같다.



[그림 11(a)] 수화열 측정결과(단부)



[그림 11(b)] 수화열 측정결과(중앙부)

동일한 위치에서 上·中·下의 온도이력이 다르게 나타났는데, 이는 외기온의 영향으로 사료된다. 또한 中央部の 최고온도는 上部 57.5°C, 中間部 62.5°C, 그리고 下部가 58.8°C로 나타났다. 端部の 경우, 최고온도 분포는 상부가 53.1°C, 중간부 57.3°C, 하부 58.8°C로 나타났다. 외기온이 최고 28~30°C임을 고려할 때 水和로 인한 온도상승은 크지않은 것으로 나타났으며, 최고온도에 도달하는 시간도 타설후 17~20시간 정도 경과한 후로 측정되었다. 이는 초유동 콘크리트를 생산할 때, 플라이애쉬의 置換量이 높기 때문에 水和溫度 低減 및 遲延效果의 영향으로 판단된다.

또한 타설후 4일정도 경과하여 외기온과 유사한 내부온도를 나타내었다.

5. 결론

초유동 콘크리트의 實用化를 위한 評價

試驗 및 模擬部材 充填性, 그리고 다짐영향을 평가한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1) 기본실험법의 제안

초유동 콘크리트의 流動性·充填性·材料分離 抵抗性 시험법으로 슬럼프 플로우, 깔대기 유하시험, 간극통과성 BOX 시험과 L형 플로우 시험법을 권장하며, 과밀배근 및 모의부재 시험을 통해 종합적인 판단이 필요할 것으로 사료된다.

2) 유동성능 평가

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

3) 모의부재 충전성 평가

모의부재 충전성시험은 流動性, 充填性, 材料分離 抵抗性을 종합적으로 평가할 수 있으며, 이를 통해 초유동 콘크리트의 自己 充填性을 검증할 수 있었다.

4) 다짐 有·無에 따른 영향평가

초유동 콘크리트는 다짐을 하지 않아도 요구되는 성능을 만족해야 한다. 실험결과, 内部空隙 및 骨材分布圖가 양호하였으며, 코아강도 시험결과도 균일한 것으로 나타났다. 따라서 재료분리·침하현상은 없으며, 표면마감상태도 우수하였다.

5) 수화열 측정결과

초유동 콘크리트의 水和熱은 고강도 콘크리트에 비해 특별히 고려할 사항은 아니다. 이는 플라이애쉬의 置換率이 높기 때문에 수화열 低減 및 遲延效果를 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

6) 강도특성 결과

초유동 콘크리트는 施工性 改善에 비중이 크지만 강도의 汎用化에도 기여해야 할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 400~500kg/cm² 정도의 강도발현을 목표로 하였

으며, 고강도 영역에도 適用可能性을 확인할 수 있었다. 향후 210~700kg/cm² 범위의 범용화를 위한 연구가 필요하다.

7) 실용화를 위한 제안

초유동 콘크리트의 實用化를 위해서는 굳지않은 콘크리트의 性能을 평가하는 시험규정이 개정되어야 하며, 설계법·설비 시스템도 아울러 개선되어야 할 것으로 사료된다.

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, (株)大宇 建設技術研究所 대형구조실험동 타설을 위한 예비실험에 관한 것으로 研究所 現場 및 東洋레미콘 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 朴泚林, “高性能 콘크리트의 開發 및 實用化”, 제 1회 韓·日 高性能 콘크리트 國際 심포지움 발표논문집, (주)대우건설기술 연구소, 1994.11.16
- (2) 朴泚林, 權寧鎬, 朴年東, 趙一浩, “플라이애쉬를 사용한 2성분계 超流動 콘크리트의 開發”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표 논문집 제6권 2호, 1994.11, pp.121~126
- (3) 權寧鎬, 白明鍾, 盧載昊, 朴年東, 韓晶浩, 申東洙, 趙一浩, “高性能 콘크리트의 現場 試驗施工”, 한국 콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제7권 1호, pp.171~1762.
- (4) 尹在煥 外, “고로시멘트를 사용한 고유동 콘크리트의 제조에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회, 가을학술발표논문집 제 6권2호, 1994.11, pp.65~70
- (5) 金和中外, “초유동 콘크리트의 개발에 관한 기초적 연구”-제1보 및 제2보, 한국 콘크리트학회, 봄학술발표논문집 제7권1호, 1995.5, pp.42~53
- (6) 有馬用ほか, “明石海峽大橋4アンカレッツにおける高流動コンクリートの品質”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.25~30, 1994.