

노출 구조물 벽체에 적용하기 위한 무다짐 콘크리트 실물모형 실험

Mock-up Test of Exposed Concrete Wall using Self Compacting Concrete

김 규 동*
Gyu-Dong Kim

이 승 훈**
Seung-Hoon Lee

손 유 신***
Yu-Shin Sohn

김 한 준****
Han-Jun Kim

ABSTRACT

Recently, high quality exposed concrete is needed to achieve high quality surface for outer wall of the building. In this study, to solve above characteristic of the exposed concrete we selected self compacting concrete(SCC) and compared with normal concrete.

So, we developed the SCC mix design and performed the semi mock-up test.

Through this result, we performed the pilot test and mock-up test to check surface of outer wall and to measure formwork pressure.

As a result, because SCC is better than normal concrete with respect to flowability and segregation resistance SCC is suit to a exposed concrete needed high quality surface for outer wall of the building.

1. 서론

노출콘크리트란 철근콘크리트 구조물을 시공한 후 콘크리트 표면에 별도의 마감재료를 사용하지 않고 콘크리트 자체의 색상 및 질감으로 콘크리트 표면을 마감하는 기술로서 골조공사이면서 마감공사를 병행하는 공법이다. 이러한 노출콘크리트의 성패는 사용재료의 선택 뿐만아니라 콘크리트의 배합 및 제조방법, 운반, 타설, 다짐, 양생에 크게 좌우된다.

본 연구의 적용 대상인 조선일보 부평사옥의 외벽은 이러한 노출콘크리트로 설계되어 있으며 외벽의 90%이상이 두께 20cm 정도이고, 높이 또한 4~6m로써 콘크리트의 타설 및 다짐이 용이하지 않은 특수한 상황이었다.

따라서 노출용 외벽에 노출콘크리트인 동시에 배근이 밀실한 장소나 다짐이 불가능한 경우 콘크리트의 자체 충전성에 의해서 구석구석까지 채워줄수 있어 노출콘크리트 공법에 유효할 것으로 판단되는 무다짐 콘크리트를 적용하고자 하였다.

무다짐 콘크리트를 노출용 외벽에 적용하기 위해 실내배합과 Semi Mock-Up Test 등의 과정을 통해 도출된 최적배합을 대상으로 레미콘 시험생산을 실시하고, 실물 크기의 모형 벽체를 제작하여 거푸집 종류 및 콘크리트 물성에 따른 표면상태를 직접 평가하였다. 또한 무다짐 콘크리트의 경우 콘크리트의 자중이 액압으로 거푸집에 작용하므로 거푸집 하부에서 발생할 수 있는 측압을 실험을 통해서 산정하여 거푸집 설계의 기초자료로 사용하고자 하였다.

* 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 전임연구원

** 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 선임연구원

*** 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 주임연구원

**** 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 주임연구원

2. 레미콘 시험생산

레미콘 시험생산은 실내배합 결과를 근거로 하여 레미콘 생산업체에서의 사용재료에 의한 물성변화와 그 특성을 분석하고, 실제 레미콘 공장에서의 시험생산을 통해 실내배합과의 차이점을 보정하여 최적배합을 도출하고자 실시하였다.

표 1은 레미콘 시험생산에 사용된 재료의 특성을 나타내고 있다.

표 1 사용재료의 특성

구분	종류	비중	분말도(cm^2/g)	강열감량(%)	SiO_2 (%)	조립율(%)	흡수율(%)
시멘트	1종보통	3.15	3,267	0.8	20.5	-	-
플라이애쉬	보령산	2.2	3,610	3.2	61.0	-	-
슬래그 미분말	기초소재	2.9	4,340	0.6	-	-	-
세골재	인천세척사	2.59	-	-	-	2.8~2.9	0.9
조골재	쇄석(태산)	2.63	-	-	-	6.5~6.7	1.0

시험생산은 실내 최적배합에서 결정된 3성분계 배합을 대상으로 실시하였으며, 각각 혼화재료의 치환율을 변수로 하여 대상으로 실시하였으며, 표 2에 배합표를 나타내었다.

표 2에서 알 수 있듯이 결합재량은 530, 540 및 510 kg/m^3 이며, 각각의 F/A와 S/G의 치환율을 달리하여 시험생산을 실시하였다. 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 2 레미콘 Pilot Test 배합표

구분	W/B(%)	V_p	V_w/V_p	S/a(%)	단위 재료량 (kg/m^3)						비고
					W	B	C	F/A(%)	S/G(%)	S.P(%)	
B/P-1	33.0	0.184	0.95	50.9	175	530	291	80(15)	159(30)	1.75	
B/P-2	33.0	0.186	0.94	51.0	175	530	318	106(20)	106(20)	1.8	
B/P-3	33.0	0.185	0.95	50.8	175	530	344	106(20)	80(15)	1.65	
B/P-4	32.4	0.184	0.95	50.8	175	540	351	81(15)	108(20)	1.8	
B/P-5	33.7	0.181	0.93	51.4	172	510	331	128(25)	51(10)	1.7	

표 3에서 모든 배합이 양호한 유동성과 충전성을 확보하는 것으로 나타났으며, 경화콘크리트의 압축강도발현 특성도 설계강도를 상당히 상회하는 것으로 나타났다.

하지만, 육안상 적절한 점성을 확보하고 있고, 높은 분체량에 따른 균열발생을 최소화할 수 있으며, 현장에서 경제성을 확보할 수 있는 B/P-5번 배합(W:172 kg/m^3 , B:510 kg/m^3 , F/A 25%, S/G 10%)이 가장 적절한 것을 판단되었다. 따라서 B/P-5번 배합을 대상으로 현장 Mock-Up Test를 실시하고, 그 현장 적용성을 평가하고자 하였다.

표 3 레미콘 Pilot Test 결과

시험 구분	슬럼프플로우 (cm/cm)		50cm플로우 도달시간(sec)		공기량 (%)		V-lot (sec)	U형충전고 (mm)	압축강도 (kgf/cm^2)	
	0분	60분	0분	60분	0분	60분	60분	60분	7일	28일
B/P-1	70/68	68/69	3.2	3.5	6.6	4.5	7.2	355	367	498
B/P-2	68/70	69/69	2.6	3.0	5.6	4.3	6.9	355	402	524
B/P-3	70/70	70/70	3.5	3.8	5.6	2.1	5.3	355	317	487
B/P-4	66/67	66/67	2.6	3.2	5.8	2.3	8.9	355	410	519
B/P-5	65/65	66/65	2.9	3.1	3.3	3.2	9.2	355	355	483

3. 현장 실물모형 실험 (Mock-Up Test)

3.1 현장 실물모형 실험 계획

(1) 부재제작 및 콘크리트 타설 계획

조선일보 부평사옥 현장의 노출콘크리트 Mock-Up Test에 사용될 부재는 6m×9m, 6m×1.8m로 계획하였으며, 이는 실제 현장 타설시 가장 불리한 조건을 적용하였다.

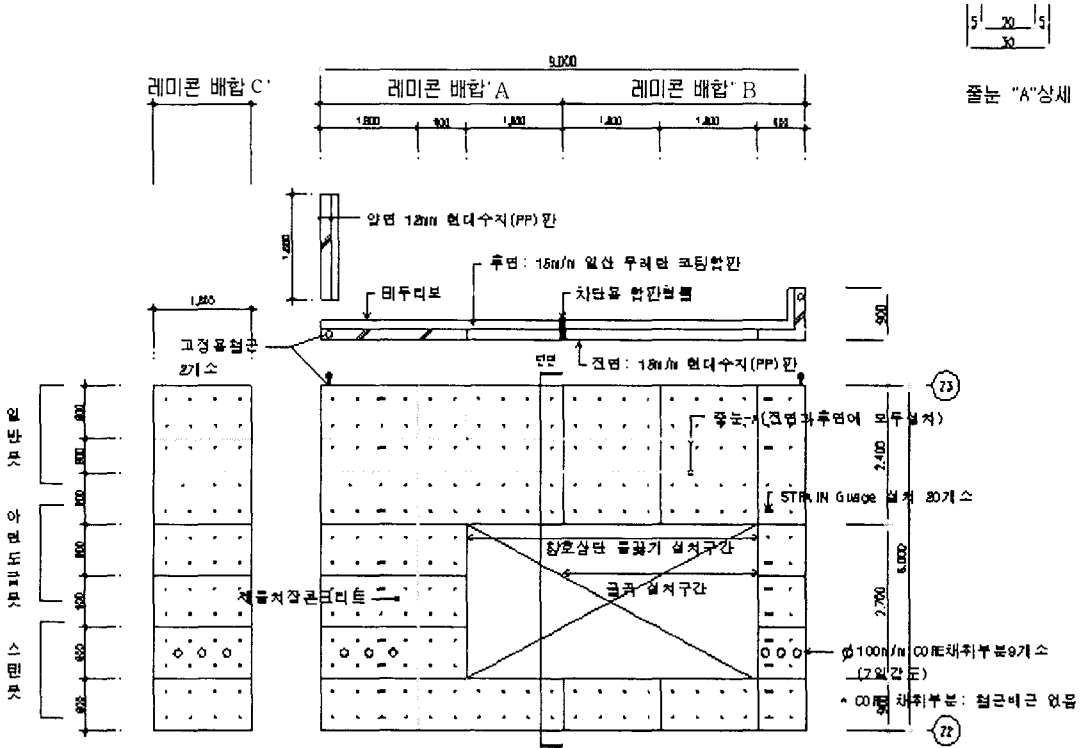


그림 1 Mock-Up 부재 입면 및 단면상세도

그림 1에 나타난 바와 같이 실험부재는 크게 3부분으로 구분하여 타설을 실시하였으며, 그 세부사항은 표 4에 나타내었다.

표 4 부재타설 계획

구분	A	B	C
배합종류	고유동 콘크리트	고유동 콘크리트	일반 콘크리트
고성능감수제	2000N	2000N	3000S
타설방법	홉퍼 + 트레미	경사판(홉퍼부어넣기)	홉퍼 + 트레미
다짐방법	고주파 바이브레이타	폼 바이브레이타	구주파 바이브레이타
박리제	사용없음	사용없음	사용없음

실험부재의 거푸집 재질은 전면에 현대 수지(PP)판을 사용하고, 후면에는 일산 우레탄 코팅합판을 사용하였다. 개구부 마구리면, 벽체 마구리면 및 보 형틀은 코팅합판(태고합판)을 사용하였으며, 고주파 바이브레이타는 진동봉 끝에 직경 35mm, 길이 1.5m의 파이프를 연결하여 사용하였다.

(2) 실험내용

레미콘 생산 시와 현장 도착시의 굳지 않은 콘크리트의 물성 및 콘크리트의 압축강도를 측정하여 상호 비교를 실시하였으며, 콘크리트의 적절한 타설 방법과 다짐방법 등을 평가하고 무다짐 콘크리트에 의해 거푸집에 작용하는 측압을 측정하였다. 또한 거푸집 탈형 후 표면상태를 조사하고 표면하자에 대한 원인을 분석하였다. Mock-Up Test의 세부실험내용은 표 5와 같다.

표 5 세부실험 내용

구분	세부사항
굳지않은 콘크리트의 특성	- 공장생산시 : 슬럼프 플로우, 공기량, 50cm 도달시간, U형 충전고, V-Lot 유하시간, 온도 - 현장생산시 : 슬럼프 플로우, 공기량, 온도
압축강도 측정	- 공장제작 공시체 (3일, 7일, 28일) - 현장제작 공시체 (3일, 7일, 28일)
콘크리트 측압측정	- 고유동배합 A,B 구간에 대한 측압측정(게이지, Data Logger) - 게이지 매립 (A,B 구간별 7개소)
표면상태 고찰	- 표면 기포 발생 상태 - 표면 색상 - 표면 거칠기 등

(3) 적용배합

레미콘 Pilot Test 결과를 근거로 현장 Mock-Up Test에 사용된 배합은 표 6과 같다.

표 6 Mock-Up Test 배합표

배합구분	W/B (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m ³)				S.P (B× %)
			W	C	F/A	S/G	
고유동	33.7	51.4	172	331	128(25%)	51(10%)	1.7
일 반	46.3	48.5	176	342	38	-	0.90

3.2 Mock-Up Test 결과

(1) 굳지않은 콘크리트의 물성시험 결과

굳지 않은 콘크리트의 물성시험은 운반에 따른 물성변화를 고찰하고자 레미콘의 B/P에서 생산 시와 현장 도착 시로 구분하여 실시하였으며 그 결과를 표 7에 나타내었다.

표 7 굳지않은 콘크리트의 물성시험결과

구분	No.	슬럼프 플로우 (cm/cm)		50cm도달시간 (sec)		공기량 (%)		V-Lot (sec)		U형 충전고 (mm)		온도 (℃)
		공장	현장	공장	현장	공장	현장	공장	현장	공장	현장	
고유동	1	67/68	65/65	3.0	5.0	4.2	2.5	6.9	9.0	355	350	13
	2	70/68	68/69	3.2	3.5	4.6	2.2	7.2	8.0	355	350	13
	3	69/69	70/69	3.5	3.5	3.3	2.6	6.7	8.9	358	350	13
	4	71/72	71/71	3.0	2.5	3.5	2.4	6.0	9.1	358	350	13
일반	1	slump 21cm	slump 19cm	-	-	3.2	3.3	-	-	-	-	10

(2) 경화콘크리트 물성시험 결과

압축강도 시험은 현장과 레미콘 공장에서 실시하였으며, 표 8은 압축강도 및 응결시험 결과를 나타내고 있다.

표 8 재령에 따른 압축강도 및 응결시간

배합	구분	압축강도 (kg/cm ²)			응결	
		재령 3일	재령 7일	재령 28일	초결	종결
고유동	공장제작	208	356	472	16:10	20:00
	현장제작	220	367	491		
일반	공장제작	122	201	279	08:00	09:50
	현장제작	153	210	285		

(3) 측압측정 결과

A부 및 B부의 타설완료시점까지의 측압측정결과는 그림 2 및 그림 3과 같으며 최대측압의 작용위치는 거푸집 하단에서 약 1m 하부의 위치에 작용하여 일반콘크리트에 비해 다소 낮은 위치에 작용함을 알 수 있다.

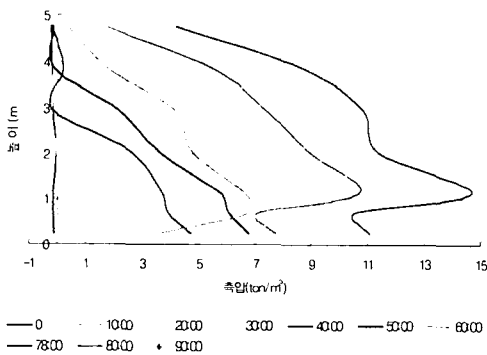


그림 2 A부 타설 완료시점까지의 측압측정결과

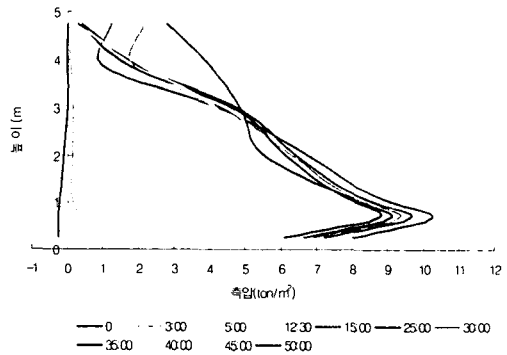


그림 3 B부 타설 완료시점까지의 측압측정 결과

(4) 노출콘크리트의 표면상태 조사 및 원인분석

① 고유동 콘크리트 적용 부재

그림 4는 창호하단부위의 기포가 발생된 표면을 나타내고 있는데 이것은 타설 구분을 위해 중앙부를 합판으로 막은 상태이므로 콘크리트 내부의 공기포가 완전히 빠지지 못하고 갇힌 상태에서 발생한 기포로 판단된다.

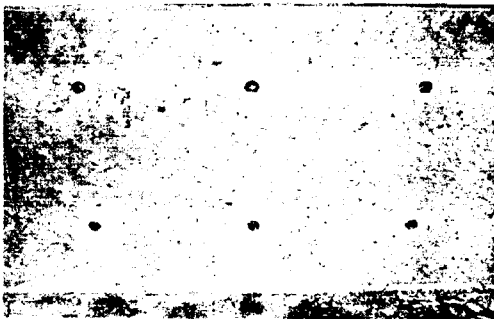


그림 4 창호 하단부 표면의 갇힌 기포

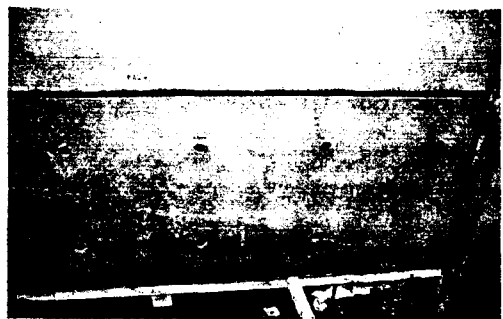


그림 5 표면 색상차이

또한 그림 5는 시공의 불연속성에 의한 표면 색상 차이로 부재 모서리부분의 거푸집 시공불량으로 고유동 콘크리트의 측압에 의한 콘크리트의 유출로 타설이 일시 중지되었으며 재타설까지는 2시간 이상의 타설 지연이 발생되어 기 타설부위와 후 타설부위의 색상 차이가 나타났다.

② 일반콘크리트 적용 부재

일반콘크리트(19-240-18)는 부재에 타설하고 그 내부를 고주파 바이브레이터로 진동다짐을 실시하였다. 그 결과 고유동 콘크리트에 비해 비교적 큰 기포가 발생하였으며, 그림 6과 같이 부재의 모서리 부분에 충전성 부족으로 인한 재료분리 현상이 발생하여 충전이 되지않은 부분이 여러군데 발생하였다. 이러한 결과를 볼 때 일반콘크리트를 사용할 경우 고유동 콘크리트에 비해 충전성이 저하되기 때문에 높은 낙하높이에서 타설 시에는 재료분리가 발생하고, 특히 창문과 같은 개구부 하단 및 부재 모서리부분에서의 충전성을 확보할 수 가 없을 것으로 판단되어 노출콘크리트에는 부적합하다고 생각된다.



그림 6 충전불량으로 인한 재료분리 현상

4. 결론

조선일보 부평사옥의 노출 벽체에 적용할 무다짐 콘크리트의 Mock-Up Test를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 다양한 구조물의 디자인 및 철근 배근 상황을 고려한다면 유동성과 충전성이 우수한 무다짐 콘크리트를 노출콘크리트에 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- (2) 무다짐 콘크리트의 측압은 W_oH ($W_o=2.3t/m^3$)와 거의 유사한 값을 보였으며, 작용 위치는 일반 콘크리트에 비해 다소 낮은 위치에서 작용하였다.
- (3) 콘크리트 표면에 공극이 없는 노출면을 얻기 위해서는 창문 하단부와 같이 표면 기포가 발생할 확률이 높은 부분은 거푸집 표면 진동기(form vibrator) 이외에도 나무 망치를 혼용하여 외부다짐을 실시하고, 다짐시간을 충분히 늘려서 표면기포를 최소화해야 한다.
- (4) 노출콘크리트의 표면 색상 차이는 시공의 불연속성에 의해 발생하는 것이므로 레미콘 생산, 운반 및 타설에 이르는 일련의 과정에 대한 시공관리를 철저히 해야 할 것으로 사료된다.
- (5) 일반콘크리트의 경우 무다짐 콘크리트에 비해서 충전성능이 저하되고 낙하높이가 높은 경우 재료분리 발생가능성이 높아서 노출콘크리트 시공시 다소 부적합하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. "シリカフェームを用いたコンクリートの調合設計施工ガイドライン", 일본 건축학회, 1996.
2. 삼현종합건설(주), 노출콘크리트 시공, 1998.