

무다짐 콘크리트를 이용한 두께 3.5m인 대형 Mat 기초의 시공

An Application of Mat Foundation using Self Compacting Concrete

손 유 신*
Sohn, Yu Shin

이 승 훈**
Lee, Seung Hoon

박 찬 규***
Park, Chan Gyu

김 규 동****
Kim, Gyu Dong

ABSTRACT

The mat foundation of Tower Palace III is designed as a massive structure which has a 3.5m depth. The purpose of this study is to determine the optimum mix design having good workability and to control the actual concrete quality in site. For this purpose, we select the Self Compacting Concrete.

Recently, the Self Compacting Concrete has been applied to achieve workability improvement.

As the result of actual application, we have finished placing the mass concrete of 8,000m³ during 14hours with good success and obtain the good quality concrete. All test results are satisfied with our specifications for mat foundation and cut cost as the reduction of placing hours.

1. 서론

강남구 도곡동에 위치한 타워팰리스 3차 J.V 현장(지하 6층, 지상 69층, 높이 263m)은 국내 최고층 주거용 건축물로서 본 건물의 기초는 당 현장의 핵심 공정 중 가장 초기 공정이므로 이 부분에 대한 공정관리는 당 현장의 공기에 많은 영향을 미친다. 매트 기초의 설계기준강도는 400kgf/cm²이며, 바닥면적은 2,320m²(702평)이고, 높이는 3.5m, 둘레의 길이는 217m에 이르며, 전체적으로 삼각형 모양을 한 대형 매스구조물로서 타설 될 콘크리트의 양은 약 8,000m³에 이른다.

당 현장은 도심에 위치하고 있으므로 소음이나 진동, 공사차량으로 인한 교통체증 등의 문제를 사전에 예방하고자 시공계획 수립시 기초를 여러차례 분리 타설하지 않고 한번에 타설을 완료하고자 하였다. 따라서 콘크리트 펌프카를 동시에 8대를 투입해야 했고, 레미콘 차량도 최소 30대가 현장내에 반입되어야 했다. 이에 필요한 작업공간을 확보와 레미콘 차량의 동선 계획은 공사의 중요한 관건이었다.

이러한 현장의 특수한 여건으로 인하여 당 현장에서는 콘크리트의 유동성을 극대화하여 시공효율을 증대시키고, 진동다짐을 하지 않음으로서 타설 시간을 단축시킬 수 있다는 점을 착안하여 진동다짐 없이도 콘크리트가 약 20m 정도를 재료분리 없이 흘러 갈 수 있는 무다짐 콘크리트를 적용함으로써 1일 타설량으로는 상당히 많은 8,000m³의 콘크리트 양을 14시간 안에 타설함으로써 소음 규제가 상대적으로 높은 저녁시간 이전에 모든 타설을 완료하고자 하였다.

* 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 주임연구원

** 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 선임연구원

*** 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 선임연구원

**** 삼성물산(주)건설부문 기술연구소 선임연구원

2. 무다짐 콘크리트의 제조

2.1 사용재료

고품질의 무다짐 콘크리트 제조를 위해서는 시멘트, 골재, 혼화제 및 혼화제에 대한 사전검토를 통하여 재료선정 및 관리에 상당한 주의를 기울여야 하며, 각각의 물리·화학적 성질은 표1~표4에 나타난 바와 같다.

표 1 시멘트의 물리·화학적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	용결도(h:m)		화학성분(%)		강열감량 (%)	안정도 (%)	압축강도(kgf/cm ²)		
		초결	종결	MgO	SO ₃			3일	7일	28일
3.15	3,267	3:55	5:46	2.06	1.89*	0.79	0.06	202	301	416

* SO₃ 함량은 C₃A > 8% 이상일 경우의 값

표 2 플라이애쉬의 물리·화학적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	습분 (%)	단위수량비 (%)	SiO ₂ (%)	압축강도비 (28일,%)
2.17	3,520	3.2	0.1	97	57	96

표 3 골재의 물리적 성질

골재구분	최대 골재크기(mm)	조립율(F.M)	비중	흡수율(%)
잔골재	-	2.80~2.83	2.62~2.65	0.86~0.98
굵은골재	19	6.46~6.69	2.65~2.68	0.86~0.96

표 4 고성능 감수제의 물리적 성질 및 화학적 성분

용도	제품명	유형	색상	주성분	고형분	pH	비중
무다짐 콘크리트용	2000N	액상	암갈색	나프탈렌계	35.0%	5.66	1.195

2.2 무다짐 콘크리트 관리기준

무다짐 콘크리트는 생산 후 60분 동안은 슬럼프 변동이 거의 없어야 하며 공기량은 너무 높을 경우 블리딩에 의한 레이턴스가 증가하게 되므로 2~4% 정도 범위가 적당하며 또한 플라이애쉬가 상당량 사용되어 저발열 콘크리트의 특성을 가지게 되므로 압축강도 측정 기준은 재령 56일로 하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 또한 무다짐 콘크리트는 기존의 콘크리트 시험방법과는 달리 슬럼프 플로우 시험, 50cm 도달속도 및 U형 충전시험이 추가로 적용된다. 이외에도 L-Flow 시험 및 V-Lot 시험 등이 있으나 그 동안의 시험결과에 의하면 슬럼프 플로우, 50cm 도달 속도 및 U형 충전시험 만으로도 무다짐 콘크리트의 물성을 정확하게 판단할 수 있기 때문에 본 품질관리기준에서는 L-Flow 시험 및 V-Lot 시험은 배제하였다.

표 5는 무다짐 콘크리트의 품질관리 기준을 나타낸 것이다.

표 5 무다짐 콘크리트 품질관리기준

구분		판정기준					
부재종류	설계강도(kgf/cm ²)	슬럼프 플로우(cm)		U형 충전시험(cm)		공기량	시험재령 56일
		초기	60분	초기	60분		
매트기초	400	65±5cm	65±5cm	≥32cm	≥32cm	3±1%	≥400kgf/cm ²

2.3 무다짐 콘크리트 배합설계

당 현장에 적용된 무다짐 콘크리트는 결합재 방식을 사용하였으며, 결합재 방식의 무다짐 콘크리트 배합 설계는 그림 1과 같은 순서에 의해서 진행하였으며, 표 6은 3차에 걸친 실내배합 과정을 나타낸 것이다. 최적배합은 표 7과 같고, 표 8과 표 9는 각각 최적배합에 대한 굳지 않은 콘크리트의 물성시험 결과와 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

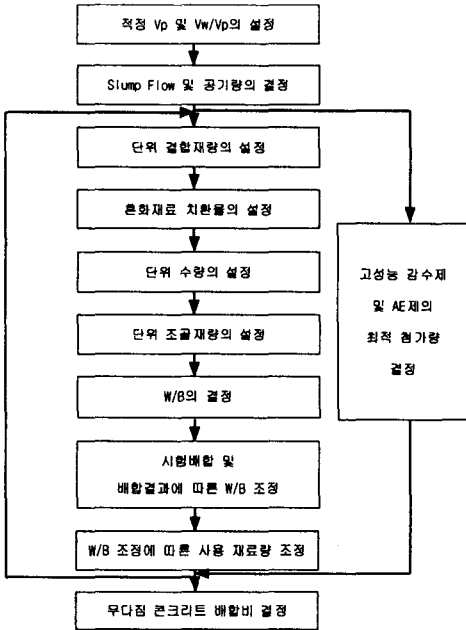


그림 1 무다짐 콘크리트 배합설계

표 6 실내배합 변수 및 결과

구분	B	V _p	V _p /V _w	G _v	결과	
1차	1	500	0.176	0.95	0.290	
	2				0.300	
	3				0.310	
	4	510	0.179	0.95	0.290	
	5				0.300	
	6				0.310	
	7	520	0.183	0.95	0.290	
	8				0.300	
	9				0.310	
2차	1	510	0.179	0.94	0.300	
	2					0.97
	3					0.98
	4					
3차	1	515	0.181	0.95	0.295	
	2				0.297	
	3				0.300	
	4			0.97	0.295	
	5				0.297	
	6				0.300	

표 7 최적배합비

W/B (%)	B (kg/m ³)	G _v (m ³ /m ³)	S/a (%)	V _p	V _w /V _p	단위재료량 (kg/m ³)			
						W	C	F/A(B×%)	S.P(B×%)
33.6	515	0.297	51.8	0.181	0.95	173	386	129(25)	1.6

표 8 굳지 않은 콘크리트의 물성시험 결과

시험 구분	슬럼프 플로우(cm/cm)			50cm 도달시간			U형 충전	공기량(%)		온도 (°C)
	0분	40분	60분	0분	40분	60분	60분	0분	60분	
측정값	70/70	69/70	69/70	2.3	3.8	4.2	355	5.6	2.9	27.3

표 9 압축강도 측정 결과

W/B (%)	결합재	G _v (m ³ /m ³)	S/a (%)	F/A치환율 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)				
					3일	7일	14일	28일	56일
33.6	515	0.297	51.8	25	242	395	477	537	622

3. 무다짐 콘크리트의 시공

3.1 시공계획

(1) 콘크리트 생산계획

매트 기초의 시공은 약 8,000m³의 콘크리트를 타설하는 대규모 공사로써, 4개 레미콘공장에서 생산 및 공급을 하였다. 각 사별 생산량은 2,000m³를 기준으로 하였으며, 각 레미콘공장의 배치플랜트를 모두 가동하여 타설 당일에는 당 현장의 무다짐 콘크리트만을 생산하도록 하였다. 배치플랜트의 배합시간은 70초로 정하였으며, 시간당 생산량은 최대 30대로 하여 각 공장당 전체 생산시간을 14시간으로 조정하였다. 표 10은 각 사별 콘크리트 생산계획을 나타낸 것이다.

표 10 각 사별 콘크리트 생산계획

경과 시간	시간 (시)	시간당 생산대수	각사 누적 생산 대수				타설량
			A	B	C	D	
1	05~06	15(10)	15	10	15	15	330m ³
2	06~07	20(25)	35	35	35	35	840m ³
3	07~08	25	60	60	60	60	1,440m ³
4	08~09	25	85	85	85	85	2,040m ³
5	09~10	30	115	115	115	115	2,760m ³
6	10~11	30	145	145	145	145	3,480m ³
7	11~12	30	175	175	175	175	4,200m ³
8	12~13	25	200	200	200	200	4,800m ³
9	13~14	30	230	230	230	230	5,520m ³
10	14~15	30	260	260	260	260	6,240m ³
11	15~16	30	290	290	290	290	6,960m ³
12	16~17	30	320	320	320	320	7,680m ³
13	17~17:30	10	330	330	330	330	7,920m ³
14	17:30~18	물량 조정	-	18	-	-	7,938m ³

(2) 시험계획

무다짐 콘크리트의 품질시험은 매 150m³마다 이루어졌으며, 시험 항목으로는 슬럼프 플로우, 공기량, 염화물 함유량, 콘크리트 온도 등이며 공장 출고 전 및 현장타설 전에 점검되었다. 표 11은 현장 및 공장에서의 품질시험 계획을 나타낸 것이다.

표 11 현장 및 공장에서의 품질관리 계획

구 분		검토항목
공 장	콘크리트 물성검토	슬럼프 플로우, 공기량, 염화물 함유량, 콘크리트 온도, 외기온도
	생산 및 기타검토	물드 제작 생산시간, 운반시간, 제량오차
현 장	콘크리트 물성검토	슬럼프 플로우, 공기량, 염화물 함유량, 콘크리트 온도, 외기온도
	기타검토	물드 제작 현장 타설 시간

(3) 레미콘 차량 및 동선계획

매트 기초의 콘크리트 타설에 참여한 4개 레미콘공장은 공장별로 고유 색깔을 부여하고 매차마다 고유 색깔의 색지에 타설 순서별로 숫자를 명시하여 현장에서 쉽게 육안으로 구분될 수 있도록 하였

으며, 또한 타설 지역의 관련 인원 및 제반 색상을 통일함으로써 각각의 차량이 쉽게 자기 타설 지역을 찾아갈 수 있도록 하였다.

레미콘 차량의 동선은 크게 입차와 출차를 분리하여 계획하였다. 입차는 2개소로 나누어 차량의 분산을 유도하였고, 출차는 한 방향으로 유도하여 관리에 편의를 도모하였다. 현장 내부의 타설 위치는 레미콘사별로 위치를 설정하여 인근 펌프카의 위치에서 타설 되도록 배치하였다.

3.2 매트기초 타설 결과

매트 기초는 2001년 8월 4일 새벽 5시 45분 첫 타설을 시작으로 하여 약 8,000m³의 콘크리트가 14시간 만에 타설 완료되었다. 시간당 약 570m³의 콘크리트가 타설 되었으며, 펌프 카 1대당 평균 타설 량은 65~70m³/hour 정도였다.

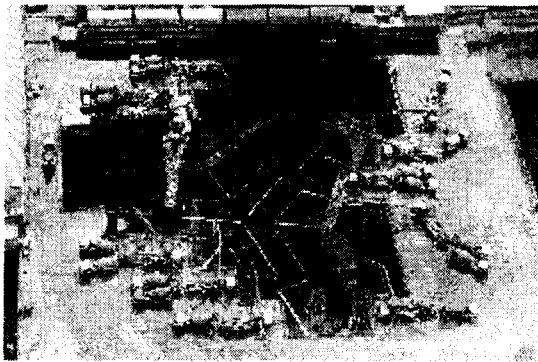


사진 1 매트기초 시공전경

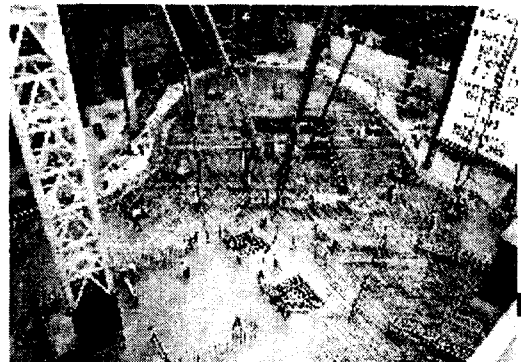


사진 2 다짐작업 없이 시공되는 장면

무다짐 콘크리트를 이용한 매트 기초의 타설 결과는 그림 2~그림 4과 같다.

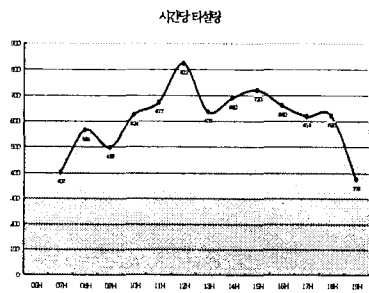


그림 2 시간당 생산량

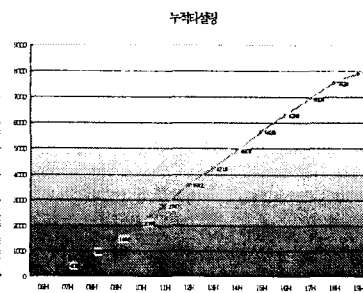


그림 3 시간대별 누적 타설량

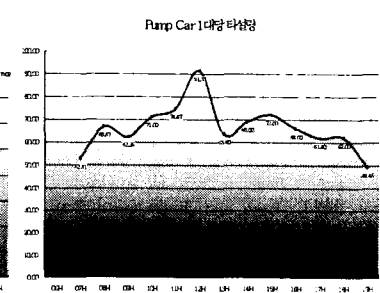


그림 4 펌프 카 1대당 평균 타설량

3.3 현장시험결과

(1) 굳지 않은 콘크리트의 시험결과

무다짐 콘크리트의 공장 및 현장에서의 슬럼프 플로우 기준은 65±5cm로서, 표 12에 나타난 4개 레미콘에 대하여 공장 및 현장에서 측정한 슬럼프 플로우 결과는 모두 품질관리 기준을 만족하였다.

(2) 압축강도 측정결과

무다짐 콘크리트의 압축강도는 재령 56일을 기준으로 하였으나, 결합재 방식의 무다짐 콘크리트의 특성상 설계기준강도 400kgf/cm²를 상당히 초과하는 배합이 도출되어 강도 측면에서는 매우 안정적인 결과를 알 수 있었다. 표 13은 공장 및 현장제작 공시체의 각 사별 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다.

표 12 공장 및 현장에서의 슬럼프 플로우 시험 결과

구분 (20-400-65) (8000m ²)	슬럼프 플로우 (cm/cm)							
	A		B		C		D	
	공장 (0분)	현장 (도착)	공장 (0분)	현장 (도착)	공장 (0분)	현장 (도착)	공장 (0분)	현장 (도착)
1	68*69	69*70	70*69	70*69	70*70	68*67	70*70	70*66
2	68*69	-	69*68	-	70*70	-	70*70	-
3	68*67	-	69*70	-	68*69	-	68*69	-
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
25	68*67	68*69	63*64	68*67	67*68	68*68	64*64	66*68
75	63*64	63*65	66*65	68*67	67*68	65*66	63*64	70*66
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
400	-	67*67						

표 13 압축강도 측정결과

공장	W/B (%)	결합재	F/a (%)	재령별 압축강도 (kgf/cm ²)				
				3일	7일	14일	28일	56일
A	33.6	515	25	237	274	342	384	467
B				225	359	379	461	507
C				239	318	392	476	562
D				308	374	462	498	561
공장평균				252	331	394	455	524
A	33.6	515	25	269	341	352	419	473
B				298	375	397	460	516
C				325	406	414	520	600
D				398	459	524	576	645
현장평균				323	395	422	494	509

4. 결론

초고층 빌딩의 대형 매트 기초에 대해서 국내에서 처음으로 시도된 무다짐 콘크리트의 현장적용을 성공적으로 마치면서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 국내에서는 처음으로 초고층 빌딩의 대형 매트기초에 무다짐 콘크리트를 적용함으로써 다짐인력이 전혀 필요하지 않아 시공 인력이 반이상 절감되었으며 시공성이 상당히 개선되어 14시간만에 약 8,000m³의 콘크리트 타설을 성공적으로 완료하였다.

2) 무다짐 콘크리트의 슬럼프 플로우 변화는 생산 후 90분까지 전혀 발생하지 않아 하절기 시공 시에도 슬럼프의 손실 없이 고품질의 콘크리트 구조물 시공이 가능하였다.

3) 향후 당사의 무다짐 콘크리트 기술력은 매트기초 시공시에 그 활용기회가 더욱 확대될 것이며, 재료 분리 및 콜드조인트를 피해야 하는 구조물 및 노출콘크리트 시공시에도 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Ikeda, Nishimoto, Yamauchi and Ishikawa, "Experimental study of vibration free concrete" Report of the faculty of science and engineering, Vol. 22, No. 2, 1994.
- 손유신, 윤영수, 송영철, 이상균, "시공성 향상을 위한 고성능 콘크리트 배합설계 모델 개발에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 2000. 5.
- 손유신, 이승훈, 김규동, 김경태, "수경성 물질용 분리저감제를 사용한 무다짐 콘크리트의 실용화 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 2001. 5.