



부산롯데타운 초대형 매트기초 시공 사례

Mega Foundation Construction Case of The Pusan Lotte Town

김규동 Gyu-Dong Kim (주)롯데건설 제2롯데월드 현장 수석
 김영봉 Young-Bong Kim (주)롯데건설 부산롯데타운 현장 대리
 유종환 Jong-Hwan You (주)롯데건설 부산롯데타운 현장소장
 박순전 Soon-Jeon Park (주)롯데건설 부산롯데타운 현장 주재임원

1. 머리말

부산광역시 구 시청사 부지에 조성되고 있는 롯데건설 부산 롯데타운은 국내에서 2번째로 건설되고 있는 100층 이상 규모의 초고층 구조물로서 부산지역의 새로운 스카이라인을 그리는 랜드마크적 건축물이 될 전망이다. 부산 롯데타운은 1단계인 백화점과 2단계인 아쿠아몰 공사를 완료하였고, 판매/집회 시설인 3단계 별관등 공사와 초고층 전망대를 포함한 호텔, 오피스 및 주거시설인 타워등 공사를 단계적으로 수행 중에 있다. 특히, 타워등의 매트기초는 약 59만 톤의 건물전체 하중을 부담해야 하므로 그 두께가 4.0m, 둘레길이 218.2m, 면적이 3,539㎡이며, 총 물량이 14,154㎥인 초대형 매스 콘크리트 구조물로 설계되었다.

매트기초용 콘크리트는 설계강도 45MPa의 고강도 자기충진형 콘크리트(Self Consolidating Concrete)로 설계되었으며, 고강도 매스 구조물의 특성상 높은 수화열에 의한 온도균열 발생이 우려되므로 이에 대한 효과적 제어를 목적으로 수화열을 획기적으로 저감할 수 있는 초저발열 콘크리트의 적용을 통해 고품질의 시공품질을 확보하고자 하였다. 매트기초의 규모를 감안할 때, 분할 타설을 고려할 수도 있지만 구조적 일체성 확보와 분할 타설 시의 공정간섭과 각각의 보양기간에 따른 공기지연을 방지하고자 일체타설을 계획하였으며, 도심지 공사와 협소한 부지조건을 고려한 장비배치와 차량 동선계획을 최적화된 시공 계획이 필수적이었다. 현장 기술팀과 공사팀을 중심으로 사전준비를 철저히 수행한 후, 2012년 3월 28일 새벽 6시부터 약 35시간에 걸쳐 매트기초 콘크리트 타설을 성공적으로 완료하였으며, 본 공사기사는 타워등의 매트기초에 적용되었던 콘크리트 재료기술과 일체화 타설을 위한 시공관리기술의 시공사례를 소개하고자 한다.

표 1. 부산롯데타운 현장 타워등 개요

구분	항목
사업명	부산 롯데타운 신축공사 4단계(타워등)
사업위치	부산광역시 중구 중앙동 7가 20-1
공사기간	2001. 2 ~ 2017. 12
발주처	롯데쇼핑(주)/(주)호텔롯데
감리자	범건축
시공사	롯데건설
설계자	SOM(해외) / 희림건축(국내)
연면적	240,694.77㎡
규모	지하 8층, 지상 107층(510.1m)



그림 1. 현장 조감도 및 단지 배치도

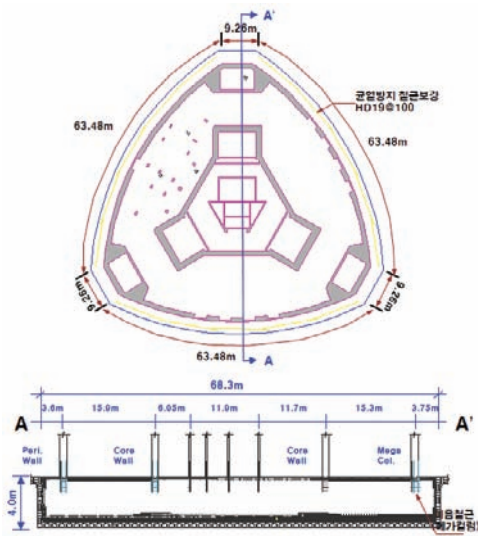


그림 2. 매트기초 평면 및 단면도

2. 프로젝트 개요

부산 롯데타운 타워동은 부산광역시 중구 중앙동에 위치하여 지하 8층(-33m), 지상 107층(510.1m)으로 계획되었으며, 철근콘크리트구조와 철골구조가 복합적으로 적용될 예정이다. 타워동의 현장 개요는 <표 1>, 현장 조감도 및 단지 배치도는 <그림 1>과 같고, 매트기초(68.3m(W)×68.3m(D)×4.0m(H))의 개요는 <그림 2>와 같다.

3. 주요 공법 및 기술

3.1 초저발열 콘크리트 배합설계

앞서 언급한바와 같이 대형 매트기초의 수화열을 획기적으로 저감함으로써 유해한 온도균열을 제어하고, 보양양생기간을 최소화 할 목적으로 초저발열 콘크리트의 최적배합설계를 수행하였다. 특히, 매트기초의 중심부 최대온도를 71℃ 이하, 중심부와 표면부의 온도차를 최대 25℃ 이하, 온도균열지수를 1.0 이상 관리할 수 있도록 최소한의 강도수준을 확보하면서 자체 수화발열을 최소화하기 위한 실험적 연구가 배합설계 단계에서 검토되었다.

이를 위해 잠실 제2롯데월드 현장에서 사용한 초저발열 프리믹스 혼합시멘트의 적용을 검토하였으며, H 시멘트사와 공동으로 약 1년간의 실험을 통해 당 현장 매트기초에 적용될 프리믹스 시멘트계 재료의 구성과 초저발열

표 2. 매트기초 콘크리트용 배합표(20-45-650)

설계 강도	W/B (%)	S/a (%)	W (kg/m ³)	Weight(kg/m ³)					
				B	C ¹⁾	S1	S2	G	AD ²⁾
45 MPa	34.4	54.0	155	450	450	460	469	810	7.2

- 1) 프리믹스시멘트 사용(OPC : BS : FA : SF = 18 : 50 : 27 : 5)
- 2) 혼화제 : PC계 고성능 감수제 사용

콘크리트의 배합을 최적화하였다. 특히, 시방조건과 내구성 확보 목적으로 실리카 폼(SF)을 5% 치환하였다.

그 결과로써 매트기초용 고강도 SCC의 시방배합을 <표 2>에 나타내었으며, 단위수량을 최소화하여 블리딩 및 레이턴스를 최소화하고, 결합재량을 상대적으로 낮추고, 혼화재료를 다량 사용하여 수화열을 극도로 저감할 수 있도록 하였다.

수화열 해석을 위한 시방배합의 열적특성으로서 단열온도 상승실험 결과 최대온도 상승량(K)값은 28.1℃, 반응속도(α)값이 0.924℃/Hr.가 도출되었는데 이는 45 MPa 일반 저발열 콘크리트에 비해 최대온도 상승량을 40% 이상 저감시킨 획기적인 기술개발이었다.

3.2 수화열 해석

매트기초 타설에 앞서 초저발열 콘크리트의 열적특성과 역학적 특성 및 타설 조건(온도, 보양기간 등)을 입력 데이터로 하여 실물크기의 수화열 해석을 수행하였으며, 그 결과를 근거로 하여 온도균열을 저감할 수 있는 최적의 보양방법과 보양기간을 결정하였다. <그림 3>은 수화열 해석 결과로써 중심부 최고온도는 약 3일 경과 후

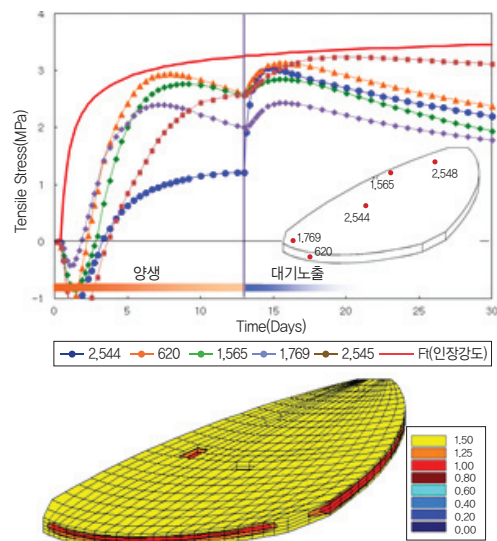


그림 3. 수화열 해석결과(온도응력/균열지수)

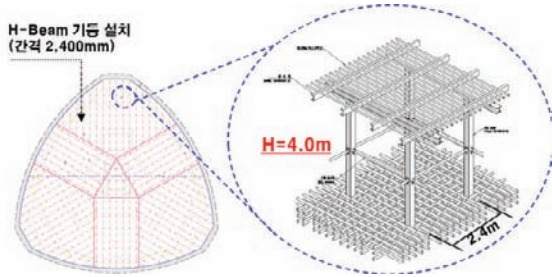


그림 4. Bar Chair 개념도



사진 1. Bar Chair 설치 현황

56.2℃, 상부표면 36.1℃로 약 21℃의 온도 편차를 보일 것으로 예측되었으며, 14일 보온양생을 기준으로 할 때 양생 중, 양생종료 후에도 온도균열지수가 1.0 이상으로 나타나 수화열에 의한 온도균열발생은 미미할 것으로 평가되었다.

3.3 Bar Chair 시공

매트기초 두께 4.0 m의 상부철근을 지지하기 위하여 <그림 4>와 같은 Bar Chair를 설치하였으며, 설치 전경은 <사진 1>과 같다. Bar Chair 시스템 구성은 ① 주각부 : Base Plate(steel) : 200×200×9, ② Post : H-100×100×6×8(714EA), ③ 장선재(ㄷ형강) : 100×50×5×7.5, ④ 멩에재 : H-100×100×6×8, ⑤ 수평 연결재(L형강) : 50×50×4(1단 연결)을 적용하였다.

3.4 강우대비 대형 천막 설치

30시간 이상의 연속 타설에 있어서 추가적으로 고려한 부분은 타설 중의 강우에 대한 사전대책이었다. 이를 위해 <그림 5>와 같이 사전 계획을 수립하였다.

강우대비 천막은 갑작스러운 강우에도 신속하게 개폐가 가능하도록 설계하였으며, 타설 후에는 양생가옥으로

구분	크기(mm)	중량(Ton)
H-Beam	300*300*10*15	52.648
	200*100*5.5*8	5.196
	100*100*6*8	6.360
ㄷ형강	50*50*4	1.680
R-Bar	Ø20	0.492
Plate	100*100*15	1.676
Exp. Metal	4.5*1.219*38,000	1.590
계	면적 3,539m ² → 중량 70Ton	

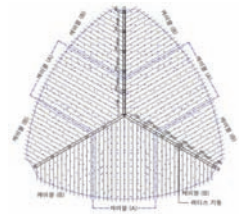


그림 5. 강우대비 천막시설 개요



사진 2. 강우대비 천막시설 설치시험 전경

활용할 수 있도록 계획하였다. 강우대비 천막용 프레임은 별도의 래티스 기둥을 설치한 후 고정하고, 케이블은 벽면 플레이트에 지지하도록 하였다. <사진 2>는 강우천막의 개폐를 시험하는 전경을 나타내고 있으며, 실제 작동 결과 약 30분 이내에 68m×68m 전체 면적에 설치가 가능하였다.

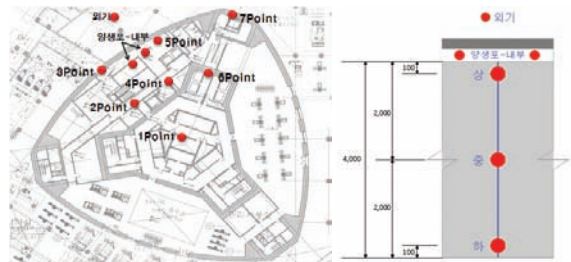


그림 6. 수화열 계속 지점

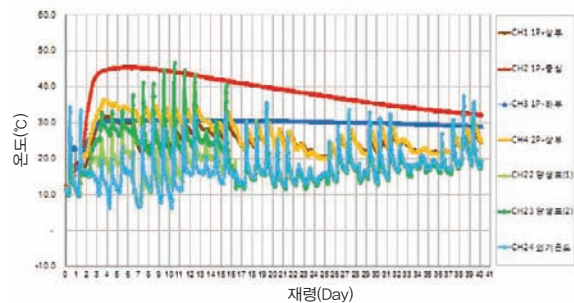


그림 7. 수화열 계속 결과(40일간)

3.5 수화열 계측관리

두께 4m 실부재에서의 수화열을 계측하기 위한 계측기 설치 위치는 <그림 6>과 같이 높이별로 상, 중, 하로 나누고, 중심부와 측면 및 외기온도를 포함하여 총 7개 지점을 측정하였으며, 그 결과로서 수화열 측정 결과를 <그림 7>에 나타내었다. 실부재 최대수화온도는 타설 종료 후 48시간 경과 시에 최대 45.0℃로 나타났고, 이때의 표면부와의 온도차는 21.6℃, 온도 균열지수는 1.21의 결과를 나타내었다. 계측결과를 근거로 볼 때, 매트기초에 적용된 콘크리트의 저발열 특성은 기존 대비 획기적으로 개선되었음을 알 수 있었고, 약 2주간의 보온양생만 실시하여도 수화열에 의한 유해균열이 거의 발생하지 않은 우수한 시공품질을 나타내었다.

3.6 타설장비 및 차량 동선계획

협소한 현장 부지조건과 주변 레미콘사의 수급능력을 고려하여 시간당 450m³, 총 32시간의 콘크리트 타설을 계획하였으며, 타설 장비는 10대, 레미콘 차량은 약 2,350여대가 동원될 것으로 계획하였다. 사전 준비 작업으로 장비배치와 차량이동에 관한 모의시뮬레이션을 수행하였으며, 그 과정에서 차량 통행 동선의 결정, 입출차별 출입구 결정, 차량 병목현상 확인 및 통제인원 배치 등의 결과를 반영하여 타설장비의 배치와 현장 내에서의 레미콘 트럭 동선을 최적화함으로써 약 14,000m³의 콘크리트 타설을 원활하게 수행하도록 하였다. <그림 8>은 최적화된 장비배치와 동선계획을 나타낸 것이다.

고압몰리 4대 및 52~55m 펌프카 6대 등 총 10대(예비 장비 2대 제외)의 고압장비를 각 18개 구간으로 타설



그림 8. 장비 배치 및 레미콘 트럭 동선계획



사진 3. 매트기초 실제 타설 진행 현황

구획을 나누어 타설 장비간의 간섭을 피하고 전체 타설 물량 조절을 용이하게 할 수 있도록 계획하였다.

4. 매트기초 타설 결과

4.1 현장 시공관리 결과

매트기초 실제 타설 진행은 2012년 3월 28일 새벽 4시부터 펌프카 등의 장비가 현장에 반입되기 시작하여 장비배치 및 배관 설치 후 새벽 6시부터 타설이 시작되었다. 타설 중 기상 악화는 발생하지 않았으며, 시간당 약 400~450m³의 콘크리트 타설이 순조롭게 진행되었지만, 출퇴근 시간의 여파와 마감작업의 소요 시간 증가로 약 35시간이 지난 시점에 최종 타설이 완료되었고, 총 13,854m³의 콘크리트가 타설되었다. 타설 중 강우 대비비용으로 제작되었던 대형 천막 구조물은 공간 보양용 천막으로도 효과적으로 활용되었다. <사진 3>은 매트기초 타설 진행현황을 보여주고 있다.

4.2 현장 콘크리트 품질관리 결과

매트기초용 현장 콘크리트의 품질관리 기준을 수립하였으며, 현장 인근 5개 레미콘사에서 공급하는 초저발열 콘크리트의 균일한 품질확보를 위하여 동일 원재료 및 동일 생산품질기준을 확립하고, 각 공장별로 주/야간 품질 담당자를 배치하여 최초 생산 시부터 물성 검토를 통해 불량 콘크리트의 반입을 원천적으로 차단하였다. 또한 현장반입시험은 KS 기준에 의해 150m³마다 실시하여 총 93회의 반입시험을 실시하였으며, 압축강도 몰드도 약 500여개를 제작하여 재령 7, 28일 및 56일에 각각 강도를 측정하였다. 그 측정 결과 재령 56일에 51.7MPa로써 설계기준강도 대비 115% 이상 안정적인 강도발현특성을 가지는 것을 확인하였다. 타설 후 표면 마감작업을 순차적으로 실시하고, 일부 발생한 블리딩수는 별도 배출구를 통해 제거하였으며, 마감작업 후 별도의 살수작업 없이 비닐 1겹과 버블시트 1겹만을 덮어 약 14일 동안 보온양생을 실시하였다. 양생종료 후 표면 균열조사를 실시한 결과, 수화열에 의한 온도균열은 전혀 발생하지 않았으며, 소성수축 및 건조수축에 의한 균열도 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 이를 통해 적용된 초저발열 콘크리트의 우수한 수화열 저감능력과 보온양생 방안의 적정성을 검증할 수 있었으며, 고도의 시공품질을 확보할 수 있었다.

5. 맺음말

부산 롯데타운 현장의 초대형 매트기초 시공에는 약 2,300여대의 레미콘 트럭이 동원되었고, 10대의 고압 타설장비를 사용하여 약 35시간 동안 연속적으로 13,854 m³의 콘크리트가 성공적으로 타설되었다



사진 4. 부산 롯데타운 현장 전경(2012. 12)

〈사진 4〉. 부산 지역 건축현장에서의 콘크리트 일체타설 (single pour) 기록으로는 가장 큰 규모로 판단되며, 무엇보다도 중심부 최고 온도가 50℃ 이내로 관리된 점과 14일간의 짧은 보온양생기간 그리고 양생 후의 균열발생 현황 등을 종합적으로 판단할 때 높은 수준의 시공 품질 관리가 수행된 것으로 평가된다.

시공계획의 충분한 사전 검토와 초저발열 콘크리트 개발을 위한 1년간의 노력, 현장 내의 모의 시뮬레이션, 유관 부서와 협력사와의 긴밀한 협조, 열악한 교통 여건 및 외부 기상 조건에 대한 사전 대책 등은 35시간 연속타설에 있어서 콘크리트의 품질확보와 안정적인 수급관리 등을 성공적으로 완료할 수 있었던 소중한 경험이었다.

본 기사는 또 다른 초고층이나 대형 매스콘크리트부재의 시공을 준비하는 관계자에게 구조물의 고품질화를 위해 조금이나마 참고가 되었으면 하는 바람이다. 📄

담당 편집위원 : 이재삼(주)렉스콘 jslee62@doosan.com



김규동 부장은 한양대학교 건축공학과에서 석사학위를 취득한 후, 현재 롯데건설(주) 잠실 롯데월드타워 현장의 품질기술팀장으로 재직 중이며, 고성능 콘크리트 재료기술연구와 실무 적용 분야의 핵심기술 전문가이다.
concrete123@lottenc.com



박순전 이사는 고려대학교 건축공학과를 졸업하고, 롯데건설 기술연구소 구조팀장을 거쳐 부산롯데타운 현장에서 주재임원을 역임하고 있다.
soon1026@lottenc.com



유종환 소장은 영남대학교 건축공학과를 졸업하고, 롯데건설 다수의 현장에서 현장소장을 역임하였으며, 현재 부산롯데타운 현장 현장소장을 역임하고 있다.
jhyou21@lottenc.com



김영봉 대리는 충남대학교 건축공학과를 졸업하고, 현재 롯데건설 부산롯데타운 현장에서 타워동 공사를 담당하고 있다.
ace5797@naver.com