



몽골 MAK 타워 구조기술 및 동절기 매트기초 타설

Structure Technique and Mat Foundation Work in Winter Season of MAK Tower, Mongolia

변현갑 Hyun Gab Byun 이종산 Jong San Lee 이주호 Joo Ho Lee 김영선 Young Sun Kim 변태우 Tae Woo Byeon
 롯데건설 몽골 법인장 롯데건설 몽골 롯데건설 기술연구원 롯데건설 롯데건설
 MAK 타워 현장 소장 원장 기술연구원 책임연구원 기술연구원 책임연구원

1. 머리말

최근 국내 건설시공사들의 기술력 향상에 따라 국내 시장뿐만 아니라 해외시장에서도 건설생산 활동을 활발하게 진행하고 있으며, 국내 건설시공분야의 경쟁력도 국제적으로 상승하여 세계 곳곳에서 한국 기업의 건설생산현장을 쉽게 볼 수 있다. 이러한 국내 건설사들의 활발한 해외진출 분위기에서 롯데건설은 몽골기업인 Mongolyn ALT Corporation(이하 MAK)이 발주한 MAK 타워(Ulaanbaatar, Mongolia)〈그림 1〉 건축사업 1단계 계약을 체결하고, 2012년 6월부터 공사를 진행하고 있다〈표 1, 2〉.

몽골의 건설 환경은 국내와 달리 많은 장애물을 가지고 있다. 먼저 한국의 약 8배 크기의 큰 국토면적에 비해 약 300만명만이 안되는 적은 인구가 살고 있다. 또한, 몽골의 수도 울란바토르(면적 4,704.4 km²)에 100만 이상의 인구가 밀집되어 있으며, 1가구 1대 이상의 차량을 보유하고 있어 도로상황은 매우 복잡하다. 따라서 늦은 밤 또는 새벽시간을 제외한 시간에서는 약 5~10 km 이내에 위치한 레미콘 공장에서도 1시간 이내에 콘크리트를 조

표 1. 설계개요

| | |
|------|--|
| 공사명 | MAK Tower Mongolia, Ulaanbaatar |
| 대지위치 | Khan-Uul District 1st Khoroo Ulaanbaatar, Mongolia |
| 용도 | 고급오피스, 아파트, 상업시설 등 |
| 대지면적 | 15,091 m ² (4,565평) |
| 연면적 | 81,607 m ² (24,686평) |
| 규모 | 지하 1층, 지상 43층 SRC조(높이 약 202m) |

표 2. 공사개요

| | |
|--------|--|
| 공사기간 | 2012. 6~2015. 9 |
| 설계사 | MAPS Design(싱가폴) |
| 구조설계 | 창민우구조컨설턴트(대한민국) |
| M&E 설계 | CD Engineers(기본설계, 싱가포르), 한일/MEC(실시설계, 대한민국) |
| 시공사 | LOTTE Engineering & Construction Mongolia |



그림 1. 몽골 MAK 타워

달하는 것이 매우 어려워 공사현장에서는 이에 대한 대책이 필요하다. 또한, 2013년 말 기준 몽골 울란바토르 내에 레미콘 공장의 수는 약 120개가 위치해 있지만 대부분의 공장은 콘크리트 생산이력이 3년~5년 정도이며, 60~150 m³/hr 용량의 작은 믹서를 보유하고 있다. 더욱이 배합설계를 위한 실험소 및 품질관리 시스템의 부재, 시설의 노후화 및 소규모 형태의 레미콘공장이 대부분으로 국내의 레미콘 공장에 비해서는 매우 열악하여 레미콘사의 콘크리트 품질을 신뢰하기는 어려운 상황이다.

한편, 몽골 울란바토르는 <그림 2>와 같이 1년중 6개월 이상이 평균온도가 영하를 나타내는 극동지방이다. 따라서 건설현장에서는 실제 공사를 할 수 있는 기간이 짧아 영하의 온도에서도 공사를 하기 위한 준비가 필요하다.

동절기 기온이 약 -15℃~-35℃와 같은 극한환경에서의 콘크리트를 위한 일반적인 양생 방법으로는 보온효율이 저하되어 초기 동해의 위험이 높으며, 일정

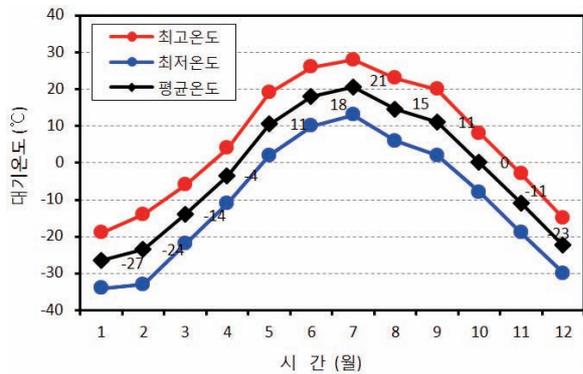


그림 2. 몽골 울란바타르 월별 온도

표 3. 구조부재 재료별 강도

| 구분 | 내용 |
|------|--|
| 철골 | SM490, SM490TMC, SHN490, SN490, SS400 |
| 콘크리트 | 45 MPa ~ 24 MPa(원형공시체), M300 ~ M550(각형공시체, 몽골기준) |
| 철근 | SD400, SD500 |

표 4. 구조 시스템

| 구분 | 구조 형식 |
|-----------|--|
| 구조 재료 | 지상: 철골조, 지하주차장: 철근콘크리트조 |
| 횡력저항 구조형식 | RC 코어(특수전단벽)+철골 모멘트 골조(Seismic Beam) |
| 기초 구조형식 | 고층부: 파일기초(Board Pile, D=1000), MAT=2.7 m 저층부: 지내력기초(fe=200kN/m ²) |

재령에서의 소요압축강도를 확보하기 어려운 부담을 가지고 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 인지하여 극한환경에서 콘크리트를 양생할 때 초기동해를 방지하고 소요압축강도를 확보할 수 있는 다양한 보양방법의 검토가 필요하다. 본 고에서는 몽골 울란바토르의 건설 환경에서 몽골 MAK 타워 프로젝트의 원활한 공사 수행을 위해 롯데건설에서 실시한 기술적 방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 구조설계

2.1 구조개요

구조설계 관련 몽골의 법률과 기준은 세부적인 사항으로 작성되어 있지 않으며, 인접한 러시아의 SNiP 코드의 기준내용도 10층 규모 이하의 저층건물에 적합할 뿐 고층건물에서의 적용은 불합리하여 기본설계 시에 적용되었던 IBC 코드가 적용되었다. 구조설계 설계하중은 IBC2006(ASCE 7-05), 철골설계는 AISC-LRFD, 콘크리트 설계에는 ACI 318-05를 적용하였으며, 풍하중과 관련하여 설계 기본풍속은 30 m/sec(50년 재현주기, 3초 가스풍속)를 적용하고 있다<표 3>.

2.2 구조계획

지상층은 실제 공사가능일수가 짧은 환경을 고려하여 RC 코어 및 철골 프레임 구조가 적용되었으며, 슬래브는 철근 선조립 Deck가 적용되었다<표 4>. 지하 주차

장과 포디움 부위는 철근콘크리트조가 적용되었다. 횡력에 대해서는 특수 전단벽이 적용된 RC 코어와 철골(seismic beam) 모멘트 골조와의 연계거동으로 저항하도록 설계하였다(그림 3).

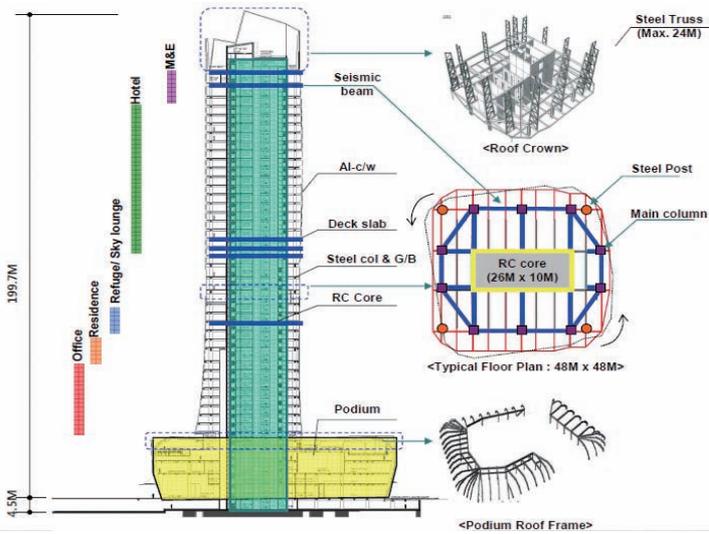


그림 3. 구조 계획



사진 1. 현장 배치플랜트 전경

표 5. 현장-배치플랜트 설비 사양

| 구분 | 내용 |
|---------|---|
| 용량 | 120m ³ /hr(2m ³ × 60Batch/hr) |
| 사용전원 | AC 380V, 50Hz, 3상 4선식(소요예상전력 400kW) |
| 사일로 | 1기(300 ton, 시멘트용) |
| 골재저장소 | 3개소(굵은골재 2개소, 잔골재 1개소) |
| 액체 저장탱크 | 혼화제 2기, 비빔수 1기(별도 500 ton급 지하 물탱크 1기) |

3. 공사 소개(동절기 매트기초 타설)

3.1 배치플랜트 설치

몽골 울란바토르에 위치한 100개 이상의 레미콘 공장 중 120 m³/hr 용량 이상의 배치플랜트 및 20대 이상의 에지레이터 트럭 및 실험실을 운영할 수 있는 레미콘 공장은 약 10개사 내외로 조사되고 있으며, 실제 40 MPa 강도 이상의 콘크리트 생산 경력을 가진 레미콘사는 약 3개사로 레미콘사의 실제 기술력은 열악한 상태이다. 또한, 국가적으로 레미콘 품질관리에 대한 규정은 전무한 상태이며, 규모가 큰 현장의 경우에는 발주처 또는 감리에 의해 정해지는 기준에 따라 슬럼프 및 압축강도에 의해서만 레미콘 품질관리가 이루어지고 있다.

이에 우리 현장에서는 상술한 현지 레미콘 품질관리 상황 및 시간에 관계없이 발생하는 교통체증의 문제점을 해결하고자 현장 배치플랜트를 설치하였으며(사진 1), 사양 및 설비 구성은 <표 5>와 같다.

3.2 동절기 매트기초 타설

우리 현장에서는 2013년 9월 30일 고층부 매트기초 타설을 실시하였다. 이 기간의 대기온도는 주간 평균 10℃ 내외, 야간 평균 -5℃ 내외로 나타났다. 매트기초 두께는 2.7m, 콘크리트 타설량은 약 3,200 m³로써 일괄 타설을 계획하였다. 이는 국내 상황으로 많은 물량이라 볼 수 없지만, 몽골에서는 일괄타설로써 가장 많은 물량이었다. 또한, 고층부 매트기초 타설 이후 11월 7일까지 4회에 걸쳐 동절기 매트기초 타설을 수행하였다.

3.2.1 매트기초 목업 테스트

목업 테스트는 동절기 매트기초 타설을 가정하여 2012년 11월중 2회에 걸쳐 진행되

표 6. 목업시험 조건

| 구분 | 1차 목업 테스트 | 2차 목업 테스트 |
|-------------|---|-----------------|
| 타설 일정 | 2012년 11월 10일 | 2012년 11월 18일 |
| 목업시험체 두께 | 2.7m(타워부 기초) | 1.2m(포디움부 기초) |
| 콘크리트 강도 | 28 MPa | 24 MPa |
| 외기온도(주간/야간) | -10℃ / -25℃ | -20℃ / -32℃ |
| 보양방법 | 텐트+공간가열 2일+보양재 | 텐트+공간단열 3일+보양재 |
| 보양재료(측면/상부) | 스티로폼(50 mm) + 목재 거꾸집 / 비닐(2겹) + 스티로폼(50 mm) + 2중 버블시트 | |
| 하부 보양재료 | 버림콘크리트(100 mm) | 버림(100 mm) + 열선 |

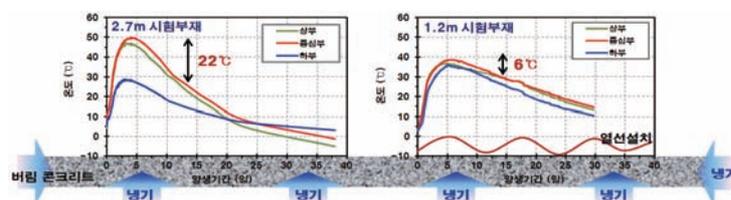


그림 4. 목업 테스트 시험결과



(a) 외부 양생 전경

(b) 내부 양생 전경

사진 2. 매트기초 양생 전경



그림 5. 레미콘 조달 시뮬레이션

었다. 목업 테스트를 위해 사전에 단열온도 상승시험 및 실규모 수화열 해석 검토를 실시하였다.

〈표 6〉은 우리 현장에서 실시된 목업 시험 조건을 나타낸 것이다. 타워부 및 포디움부 매트기초를 대상으로 부재크기 및 조건들을 설정하였으며, 타설시 대기온도는 2회 모두 -10℃ 이하였다.

〈그림 4〉는 목업 테스트 시험결과를 나타낸 것이다. 매스 콘크리트의 수화열 관리는 일반적으로 부재 중심부

와 상부표면부와의 온도차 관리를 가장 중점으로 실시한다. 그러나 1차 목업시험(2.7m)의 결과를 보면 상부와 중심부의 온도차이가 〈표 6〉에서 제시한 보양방법 및 재료에 의해 10℃ 이내로 나타나고 있고, 오히려 하부 온도가 상승되지 않아 중심부와의 온도차이가 최고 22℃까지 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 극한 지역인 몽골이 국내와 달리 지열이 약 8℃밖에 되지 않으며, 외기 온도가 너무 낮아 바닥을 통해 냉기가 전달되어 부재 하부쪽 콘크리트의 수화열이 감소된 것으로 판단된다. 따라서 2차 목업시험에서는 하부에 열선을 설치하였으며, 수화열이 최고지점에 도달할 때까지 가열을 실시하였다. 그 결과 2차 목업시험(1.2m) 결과가 1차 목업시험보다 대기온도가 더 낮은 환경에서도 부재 상중하부의 온도가 유사하게 진행됨을 확인하였다. 이와 같은 목업시험 데이터는 실 매트기초 타설시 대기온도에 따른 보양방법을 결정하는데 중요하게 적용하였다.

3.2.2 매트기초 타설

몽골에서의 동절기 매트기초 공사는 외기 온도에 대한 콘크리트 타설 온도 및 양생에 대한 고민뿐만 아니라 레미콘 조달에 대한 문제가 큰 비중을 차지했다. 동절기에 교통 혼잡은 더욱 심해져 일정온도 이상을 유지한 레미콘을 현장까지 운반하는데 어렵기 때문이다. 또한, 대부분의 레미콘사들은 골재 보관을 특별한 시설없이 평지에 쌓아 외기에 노출한 상태로 보관하고 있으며, 한중 시설

을 구비한 레미콘사도 극히 드물어 몇몇 대형 레미콘사를 제외하고 대부분 10월부터 공장문을 닫기 시작한다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 우리 현장에서는 첫 번째로 3개년 기상데이터를 기반으로 타설 기간의 대기 온도를 예측하였으며, 이에 맞는 매트기초의 보양방법 및 재료를 선정하여 적용하였다. 또한, 모든 매트기초 타설시마다 열전대를 설치하여 최소 14일 이상 수화열 모니터링을 실시함으로써 동절기 외기온도 및 양생에 대한

문제점을 해결하였다(사진 2). 두 번째로는 <그림 5>와 같이 레미콘 조달을 위한 다양한 시뮬레이션을 실시하여 교통량이 가장 적은 요일과 시간을 선정하였고, 조달된 레미콘이 현장 도착 후 대기시간을 최소화하기 위해 타설 개소 수를 결정하였다. 예로서 타워부 매트기초 타설 시에는 슈트 10개 펌프장비 3대로 총 13개소를 운영하여 총 80대의 에지데이터 트럭으로 총 520대 분량의 레미콘을 타설하였으며, 레미콘의 현장 대기시간을 최소화 및 교통이 원활한 시간대에 집중적 타설을 실시함으로써 약 3,100 m³의 레미콘을 21시간만에 타설하는데 성공하였다. 이러한 기록은 몽골내에서 가장 많은 물량을 가장 짧은 시간으로 약 2,500 m³을 2.5일에 걸쳐 타설한 기존 공사에 비해 상당 시간이 단축된 걸로 판단된다.

4. 맺음말

몽골 MAK 타워 현장은 앞으로도 환경적 제약에 의해 공사기간에 많은 영향을 받을 것으로 예상된다. 이에 일반적으로 건설현장에서는 사용되지 않고 있는 다양한 방법들을 고려하고 미리 준비하여 연중 1/3 이상이 영하로 떨어지는 극한환경에서도 예정된 공정을 소화할 수 있을 것으로 판단된다. 몽골 MAK 타워는 울란바타르의 랜드마크로 자리 잡을 건축물으로써 우리 현장에서 축적한 극한 환경 콘크리트 공사의 노하우가 향후 국내 건설사의 몽골 시장 진출에 도움이 될 것으로 기대한다. 

담당 편집위원 : 강대언(창민우구조) kde0898@minwoo21.com



변현갑 이사는 연세대학교 건축공학과에서 철골조 공동주택 석고보드 내부 칸막이의 차음성능 및 시공에 관한 연구로 석사학위 취득하였고, 이후 건축시공기술사를 취득하였다. 현재 롯데건설에서 근무하고 있으며, 호주 살라시아 워터스 리조트 현장소장을 거쳐 롯데건설 몽골 법인장으로 재임 중에 있다.
doli1020@lottenc.com



이종산 소장은 고려대학교 건축공학과를 졸업하고 서울대학교 건축과에서 초고층 주제로 박사학위를 취득하였으며, 현재 롯데건설 몽골에 재임 중에 있다
jongsanlee@lottenc.com



이주호 상무는 토목구조 기술사 및 KAIST 토목공학과에서 입력 및 시스템 규명기법을 이용한 열차진동의 지반 전파 예측에 관한 연구로 박사학위를 취득하였으며, 현재 롯데건설 기술연구원에서 연구원장으로 재임 중에 있다.
joo7777@lottenc.com



김영선 책임연구원은 충남대학교 건축공학과에서 섬유를 혼입한 고강도 철근콘크리트 기둥의 내화성능 평가에 관한 연구로 박사학위를 취득하였으며, 일본 동경공업대학 화재과학 연구센터에서 박사후 과정을 거쳐 현 롯데건설 기술연구원 건설재료담당 업무를 수행하고 있다.
kimys@lottenc.com



변태우 책임연구원은 성균관대학교 건축공학과에서 플랫폼레이트의 내진성능 평가에 관한 연구로 석사학위를 취득한 후 2007년부터 롯데건설 기술연구원 건축연구팀에서 근무하고 있다. 주 관심 연구 분야는 초고층, 리모델링, 진동이며, 현재 건축구조담당 업무를 수행하고 있다.
qusxodn@lottenc.com