



송도 캠퍼스타운에 적용된 구조 안전 및 재난관리 기술

Structural Safety and Disaster Management Technologies Applied in Songdo Campus Town

전구호 Jeon Ku Ho
롯데건설(주) 캠퍼스타운
현장소장

김홍업 Kim Hong Eob
롯데건설(주) 캠퍼스타운
공사팀장

전현수 Jeon Hyun Soo
롯데건설(주) 기술연구원
책임연구원

김지영 Ji-Young Kim
대우건설 기술연구원
기술개발팀 수석연구원

1. 머리말

국내에서도 초고층 및 대형 건축물들이 지속적으로 지어지고 추세이다. 일반 중저층 건축물과는 다르게 초고층 건축물은 거주자들의 인구밀도가 높아 위험에 노출되었을 때 대형 참사가 발생할 수 있다. 뉴욕의 세계무역센터 붕괴사고나 국내의 테크노마트 진동피해 사례에서 보듯이 초고층 건물 및 다중이용시설물에서의 사고 발생은 대단위 인명피해와 함께 천문화적인 경제적 손실을 발생시킨다. 최근 들어서는 지구온난화로 인한 자연재해의 발생빈도가 점차 증가되고 있다. 지진, 태풍 등의 기상이변에 대비해 초고층 건축물의 사용성 및 안전성에 대한 문제가 대두되면서 구조물의 건전성을 유지하기 위한 모니터링 시스템 구축의 필요성이 점진적으로 증가되고 있다.

송도 국제화단지 M1블록 캠퍼스타운은 지상 55층 규모의 초고층 복합건물로서 2012년 3월 제정된 초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법에 따른 '사전재난영향성 검토협약' 이행에 따라 계측설비 설치를 통한 모니터링 시스템을 구축하여 유지관리 및 재난 대응을 위한 관리체계를 구축하게 되었다.

시스템 구축이 완료 되고나면 구조물에 대한 지속적인 상태 모니터링을 통해서 재해발생시 거주자의 불안감 해소뿐만 아니라 건물의 장수명화 유도가 가능함으로써 재산 피해의 대형화를 사전예방 할 수 있다. 이러한 첨단 IT 기술 및 구조 기술이 초고층 건물에 융합됨으로써 건축물의 가치를 더하고 상품성 향상에도 기여할 것으로 예상된다.

2. 현장 개요

- (1) 대지위치 : 인천광역시 연수구 송도동 149번지
- (2) 건물용도 : 공동주택, 업무시설, 판매시설
- (3) 구조형식 : 건물골조 시스템(철근콘크리트 특수전단벽)
- (4) 건물규모 : 공동주택(55층, B3층), 오피스텔(47층, B4층), 판매시설(4층, B4층)
- (5) 공동 도급사 : 롯데건설, 대우건설, 한진중공업
- (6) 기술용역 : 3개사 공동도급 현장으로 롯데건설 기술연구원과 대우건설 기술연구원 공동으로 SHM 기술용역 업무를 수행하게 되었다 <그림 1>.



- 횡력저항 요소 : RC Core Wall + Pin Wall + flat plate 유효등가골조
- RC 코어는 특수전단벽 시스템이 적용되었다.
- 기동식 무량판 구조 시스템 채택

그림 1. 조감도 및 구조시스템

3. 구조물 건전성 모니터링(SHM) 시스템

3.1 시스템 개요

구조물 건전성 모니터링(Structural Health Monitoring; 이하 SHM) 시스템은 건물의 구조적 손상을 탐지하고 구조 특성 분석 후 후속 조치 전략을 구현하는 프로세스로서 구조 시스템 성능에 악영향을 미칠 수 있는 구조 부재의 균열 및 손상에 따른 성능 저하뿐만 아니라 노후화에 따른 구조부재 손상, 기하학적 특성 변화 등을 감지하여 경고하게 된다.

SHM 프로세스는 구조 손상에 의한 민감한 특징들을 추출할 수 있는 계측장비들을 설치하고, 계측 센서들로부터 주기적으로 샘플링된 구조물의 동적 응답을 계측하게 된다. 그리고 계측된 데이터로부터 구조물의 건전성 상태를 분석함으로써 시간이 지남에 따라 대상 구조 시스템의 성능 상태 변화를 평가하게 된다.

SHM 시스템은 지진 및 태풍과 같이 외부에서 발생하는 극한 하중 상태가 발생 할 경우 신속하게 구조물의 건전성 상태를 점검할 수 있으며, 거의 실시간으로 구조의 무결성에 관한 신뢰성 있는 정보를 제공받게 된다. 또한 구조물을 이용하게 되면서 불가피하게 노화 및 성능 저하가 발생할 수밖에 없는데, SHM 시스템으로부터 구조

물 기능의 수행가능 여부에 대한 정보를 지속적으로 제공받을 수 있게 된다.

3.2 설치 목적

대상 건물인 101동 초고층 주택건물에 지진 및 태풍이 작용 시 구조물의 안전과 재난 관리를 위한 모니터링 시스템을 제공하여 ① 운영 중 구조안전 유지관리를 위한 정량적 계측자료 제공, ② 불필요한 건물기능의 중단에 방을 위한 신속한 판단자료 제공, ③ 긴급 위험상황 경고를 수행하게 된다<그림 2>.

3.3 유지관리 구축 시스템

계측 시스템은 최상층(55층)과 중간층(26층)에 가속도계를 설치하여 건물의 진동을 상시 모니터링하고, 지붕옥탑부에 GPS 시스템을 설치하여 건물의 정적 변위를 계측할 수 있도록 하였다. 55층에 변형률계를 설치하여 선정 부재의 국부적인 손상상태도 평가할 수 있도록 하였다. 또한 옥탑부에 풍향풍속계를 설치하여 풍하중을 계측할 수 있도록 하였으며, 1층 바닥과 지하층에 지진가속도계를 설치해 지반가속도를 계측하도록 하여 외부작용 하중의 크기를 추정할 수 있도록 하였다<그림 3, 4>.

SHM 시스템의 구축을 통하여 구조물의 동적특성 및 변위 등을 주기적으로 계측함으로써 초고층 건물의 구조적 특성 이력에

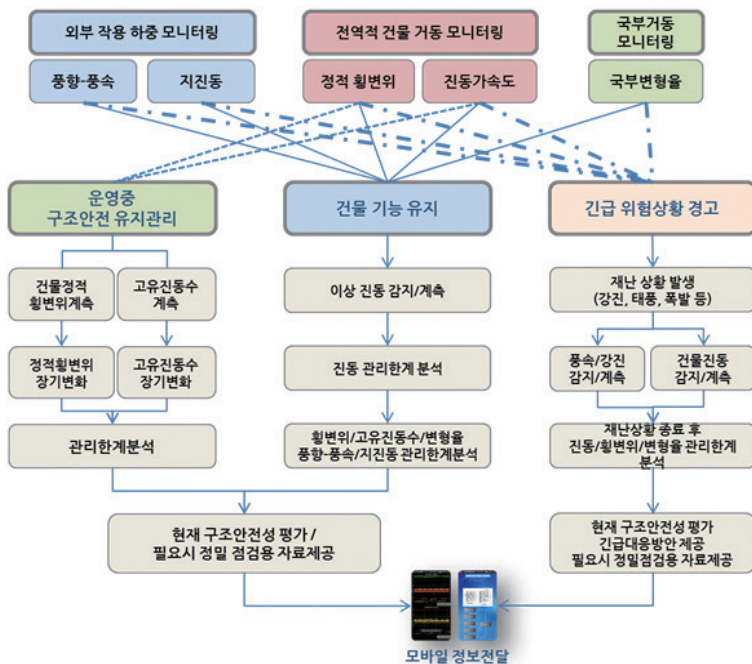


그림 2. 헬스모니터링 목적 및 운영시나리오



그림 3. 시스템 구축 절차

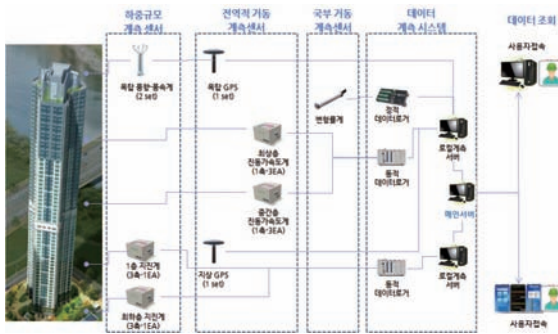


그림 4. 시스템 계획

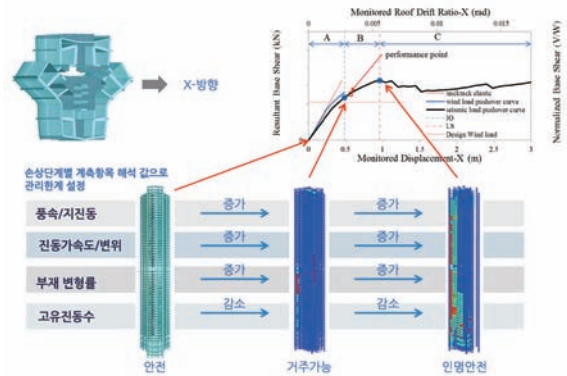


그림 5. 손상단계 평가

대한 지속적인 관리가 가능하다. 따라서 예상치 못한 하중으로 인해 건물에 손상 발생 시 확보된 정량적 데이터를 바탕으로 신뢰성 있는 원인분석과 함께 경제적이고 합리적인 보수·보강 방안을 수립할 수 있다.

3.4 구조해석 검토 및 손상단계 평가

Pushover 해석은 변위제어법을 사용하여 구조물에 횡력을 가력하였으며, 대상 건물이 초고층 구조물이기 때문에 P-Delta 효과의 영향이 클 것으로 판단해 P-Delta 효과를 고려하여 해석을 수행하였다. Pushover 해석 시 해석모델의 강성으로는 사용하중상태의 유효강성을 사용하였으며, 지진하중 횡력 분포로 가력할 때에는 극한하중상태의 유효강성을 사용하였다.

Pushover의 전반적 이력거동 추이는 다음과 같다 <그림 5>.

1) 탄성구간 범위(구간 A)

X축 방향으로 0.48m(0.28% rad), Y축 방향으로 0.44m(0.25% rad)까지 pushover 곡선이 선형을 이루며, 보-기둥 및 연결보 부재 등에서 경미한 손상이 발생할 수 있지만 전체적인 거동이 원래 변형상태로 되돌아가는 탄성 거동을 하는 구간이다.

2) 변형경화 범위(구간 B)

A구간 끝에서부터 X축 방향으로 0.96m(0.55% rad), Y축 방향으로 0.92m(0.53% rad)까지 비선형 곡선 구간으로 보, 기둥, 벽체 등의 부재에서 점차적으로 소성힌지가 발생하였으며, 부재 강성이 급격하게 감소하게 되고, 구조물의 강성변화가 크게 된다. 손상 범위가 광범위해지고 손상 정도가 심해지지만 내력

이 지속적으로 증가하는 구간이다. 하지만 손상이 진행되는 상태임을 인지하고 거주자들이 대피할 수 있도록 한 후 정밀하게 구조물 손상여부에 대한 조사를 실시해야 한다

3) 강도저감 범위(구간 C)

B구간 끝에서 붕괴에 이르기까지 구간으로 구조 부재의 손상 정도가 심각하여 저항 내력이 감소하고 손상이 발생한 부재에서 변형이 급격히 증가하는 구간이다. 횡저항시스템에 심각한 손상이 발생된 것으로 판단되기 때문에 거주자의 즉시 대피가 이루어져야 한다. 또한 정밀 조사를 실시해 구조물의 동적특성 및 모드형상과 비교하여 정량적 손상의 정도를 파악하고, 성능상태를 인지하여 보수보강이 진행되도록 한다.

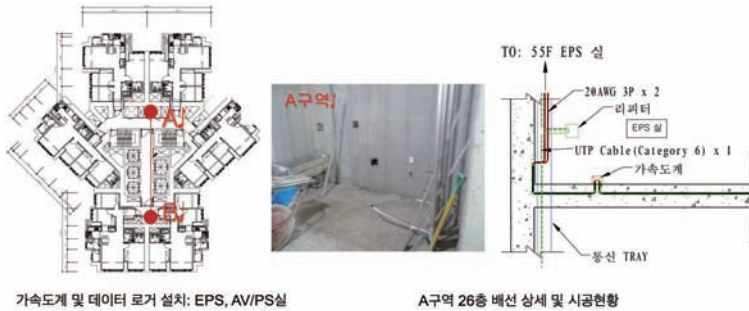
3.5 시스템 현장 설치

최상층(55F) 및 중간층(26F)에는 진동가속도 계측장치 설치되어 설치층 가속도를 계측하게 된다. 가속도계는 각 층별로 X 및 Y축 횡방향 및 Z축 비틀림 진동 측정이 가능하도록 가속도계 배치를 계획하였다. 이를 위하여 <그림 6>과 같이 EPS실(A 지점)에는 X축 방향과 Y축 방향의 가속도계를 설치하고, AV/PS실(B 지점)에 X축 방향의 가속도계를 설치한다. 진동가속도계 케이블은 슬래브에 매립형으로 배관되도록 계획하였다(사진 1).

최상층(55F) 및 중간층(26F)의 진동가속도계 계측장치 데이터는 최상층(55F) EPS실(A 지점)에 설치된 동적 데이터 로거로 전송된다. 그리고 동일한 장소에 로컬 계측 서버 컴퓨터를 두어 동적 데이터 로거로부터



사진 1. 현장 전경



가속도계 및 데이터 로거 설치: EPS, AV/PS실 A구역 26층 배선 상세 및 시공현황

그림 6. 가속도계 설치 및 26층 배선 상세도

전송되는 데이터를 저장하고 지하층 방재실에 설치된 메인 계측 서버 컴퓨터와 네트워크 되어 데이터를 전송하게 된다.

4. 맺음말

SHM 시스템 구축을 통해 구조물이 설계 당시 계획되었던 성능을 만족하는지 확인할 수 있다. 또한 시공 중

임시로 설치된 계측센서를 이용해 구조물의 형상을 단계별로 확인하여 시공정밀도를 관리할 수 있을 뿐만 아니라 특수공법의 적용시 모니터링을 통해 시공 중 구조안전성을 체크하면서 안전한 시공을 수행 할 수 있다.

거주자를 위해서는 사용 중 구조물의 안전성이 최상으로 유지되도록 구조물이 관리될 수 있다. 건물의 노후화를 계측된 자료를 통해 정량적으로 평가하고, 객관적인 평가 자료를 토대로 합리적인 보수·보강 방안을 수행할 수 있다. 구조물에 점진적인 노후화 또는 예기치 못한 급격한 손상이 발생하면 구조물의 손상평가와 단계별 대응방안이 SHM 시스템을 통해 제시될 수 있으므로 운영자 측면에서도 즉각적으로 효과적인 조치를 취할 수 있다.

인천의 랜드마크인 송도 캠퍼스타운은 2016년 준공과 더불어 첨단 계측 및 정보 기술, 통신기술을 융합한 유비쿼터스 기반의 실시간 건축물 모니터링을 통하여 건물과 사용자의 안전을 객관적으로 평가함과 동시에 건물 생애주기 비용을 최소화 할 수 있도록 유지 관리하는 웹(Web) 기반의 지능형 통합 시스템을 제공할 수 있게 된다. 위험상황에서도 인명과 재산을 지킬 수 있는 스마트 건설기술이 상품성 향상 및 건물의 가치를 더할 것으로 기대된다. ☑

담당 편집위원 : 김용로(대림산업(주)기술개발원) kyr8447@daelim.co.kr



전구호 현장소장은 인하대학교 건축공학과를 졸업하고, 롯데건설(주)에 입사하여 13개 프로젝트에 참여하였고, 2005년부터 현장소장으로 단일규모 국내최대 단지인 '화명동 2차 APT현장'을 비롯한 4개 프로젝트를 완료 하였다. 현재 '송도 캠퍼스타운' 현장소장으로 재임 중에 있다.
turtlej63@lottenc.com



김흥업 공사팀장은 경북대학교 건축공학과를 졸업하고, 우리나라 최초의 IBS빌딩인 'POSCO센터'(서울본사), '화명동 2차 APT' 등의 프로젝트를 수행했으며, 현재 롯데건설(주) '송도 캠퍼스타운' 현장 공사팀장으로 재임 중에 있다.
khpkkk@lottenc.com



전현수 책임연구원은 롯데건설(주) 기술연구원 건축연구팀에서 초고층 및 신기술, 신공법 개발 업무와 구조검토 업무를 담당하고 있다.
hsjeon@lottenc.com



김지영 수석연구원은 방재분야 기술개발 경력 18년으로서 풍동실험, 대형구조실험, 제진구조, 구조물 헬스 모니터링 분야에 대한 경험을 보유하고 있다.
Jiyoung.kim@daewooenc.com