

# 건설기술 **쌍용**

CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG

2020 Vol. 77



# 건설기술 쌍용

CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG

## 2020 Vol. 77



### COVER STORY

#### 포항신항 스웰 개선대책 시설공사

- 포항신항 내 정온도 확보를 통한 항만운영 안전성 도모를 위해 도제 (8,100톤급 케이슨 15함) 신설 700m, 파제제 제거 및 보강공사 1식
- 42,000톤급 플로팅 도크(Floating Dock)선내 대형 케이슨(8,100톤급) 3함 동시 제작
- 플로팅 도크 해상바닥 착저 공법 적용으로 너울성파도에 의한 진동 및 충격에 따른 공정지연 및 구조물 품질저하 방지

# CONTENTS

## 특집기획

### 특집기획 I - 노후 인프라 유지관리

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 빅데이터를 활용한 노후인프라 유지관리 방안                  | 09 |
| 차세대 노후 인프라 유지관리기술을 위한 중소 노후교량 실증기반 검증 방안 | 16 |

### 특집기획 II - 두바이 엑스포 2020

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| Connect, 엑스포 2020 두바이                       | 23 |
| 2020년 두바이 엑스포 한국관 'MOBILE MASSITY(모바일 매시티)' | 26 |

## 기술기사

|                   |    |
|-------------------|----|
| 국가 건설기준의 현황과 발전방향 | 34 |
| 모듈러 건축의 고도화 방안    | 39 |

## 토목

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 스마트 건설기술 · 안전 적용 사례                                 | 46 |
| 쉴드 TBM 막장 전방 예측을 위한 머신 러닝 기법의 적용 연구                 | 52 |
| 속경성 고유동 CLSM을 이용한 터널 충전 시공사례                        | 59 |
| 싱가포르 North-South Corridor(NSC) N102 & N111 공구 현장 소개 | 65 |

## 건축

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 아파트 내 · 외관 디자인 및 컬러 트렌드              | 70 |
| 공동주택 단열설계기준 현황 및 과제                  | 75 |
| 냉난방 시스템의 이해와 저소음 FCU 환기 개선방법         | 82 |
| QR Code를 이용한 현장관리                    | 86 |
| 옥슬리 타워 복합개발 현장 기술 소개                 | 90 |
| 2020 DUBAI EXPO KOREA PAVILION 현장 소개 | 94 |

## 현장탐방

|           |     |
|-----------|-----|
| 싱가포르 현장탐방 | 99  |
| 국내 현장탐방   | 105 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 기술논문               | 111 |
| 기술뉴스               | 112 |
| Do You Know That ? | 116 |
| 편집후기               | 118 |





## 준공리뷰

COMPLETION

### ① Atlantis Staff Accommodation Building

- 준 공 일 : 2019년 9월
- 공사위치 : Dubai, UAE.
- 발 주 처 : AMSA 2 Holding FZE
- 주거시설(지상15층 4개동, 1,758세대)

### ② Mongomo Basilica Hotel

- 준 공 일 : 2019년 3월
- 공사위치 : Mongomo, Equatorial Guinea
- 발 주 처 : ABAYAK
- 호텔(지상4층, 72객실)

### ③ Mongomo City Hall and Plaza

- 준 공 일 : 2019년 12월
- 공사위치 : Mongomo, Equatorial Guinea
- 발 주 처 : GE-PROYECTOS
- 공공시설(시청사 1개동 외, 연면적 3,031m<sup>2</sup>)

### ④ Gorilla Nest Lodge & Golf Resort

- 준 공 일 : 2020년 1월
- 공사위치 : Rwanda
- 발 주 처 : ICD
- 최고급 22개 Lodge형 호텔 및 부속시설

### ⑤ Renovation of Twin Residence

- 준 공 일 : 2019년 4월
- 공사위치 : Mongomo, Equatorial Guinea
- 발 주 처 : ABAYAK
- 주거시설 2개동, 내부 리모델링 공사

### ⑥ 루이비통 플래그쉽 청담 리모델링 공사

- 준 공 일 : 2019년 10월
- 공사위치 : 서울특별시 강남구
- 발 주 처 : 루이비통 코리아
- 문화 및 집회시설(지하1층 ~ 지상4층 1개동)

### ⑦ 마곡넥스타이어R&D센터

- 준 공 일 : 2019년 3월
- 공사위치 : 서울특별시 강서구
- 발 주 처 : 넥스타이어
- 교육연구시설(지하2층 ~ 지상7층 1개동)

### ⑧ 일산 차병원

- 준 공 일 : 2019년 10월
- 공사위치 : 경기도 고양시
- 발 주 처 : 성광의료재단차병원, 케이에이치그린
- 업무시설(지하8층 ~ 지상13층 1개동)





12



13



11



#### 9 송실대 송덕관 신축공사

- 준 공 일: 2019년 12월
- 공사위치: 서울특별시 동작구
- 발 주 처: (학)송실대학교
- 공동주택(지하2층 ~ 지상6층 1개동)

#### 10 부산 사직아시아드 쌍용예가

- 준 공 일: 2020년 3월
- 공사위치: 부산광역시 동래구
- 발 주 처: 지역주택조합
- 공동주택(지하2층 ~ 지상41층 6개동)

#### 11 밀양 내이동 아파트

- 준 공 일: 2019년 9월
- 공사위치: 경상남도 밀양시
- 발 주 처: (주)계림
- 공동주택(지하2층 ~ 지상22층 7개동)

#### 12 의정부고산 S4BL 아파트 건설공사 1공구

- 준 공 일: 2019년 11월
- 공사위치: 경기도 의정부시
- 발 주 처: LH공사
- 공동주택(지하1층 ~ 지상25층 6개동)

#### 13 김해울하2 A-1BL 아파트 건설공사 2공구

- 준 공 일: 2019년 11월
- 공사위치: 경상남도 김해시
- 발 주 처: LH공사
- 공동주택(지하1층 ~ 지상23층 7개동)

#### 14 군장항 향로준설(2단계)공사

- 준 공 일: 2019년 12월
- 공사위치: 전라북도 군산시
- 발 주 처: 군산지방해양수산청
- 향로준설(11,474천m)

#### 15 군산항 폭풍해일 침수방지시설 설치공사

- 준 공 일: 2020년 2월
- 공사위치: 전라북도 군산시
- 발 주 처: 군산지방해양수산청
- 침수방지시설(7,926m), 매립공사(9,192m) 등

#### 16 김해공항항공유저장소신축공사

- 준 공 일: 2019년 4월
- 공사위치: 부산광역시 강서구
- 발 주 처: 한국공항공사
- 지하형 항공유저장탱크(13,000BBL x 37), 하이드란트 설비 등

#### 17 전동~청주 주배관 건설공사

- 준 공 일: 2019년 12월
- 공사위치: 충청북도 청주시
- 발 주 처: 한국가스공사
- 주배관(23.5km), 공급관리소 3개소 등



## 수주리뷰

NEW ORDER

### ① Bata International Airport

- 발 주 처 : GE-Proyectos • 수주금액 : 2,000억원
- 공사개요
- 위치 : Bata, Equatorial Guinea
- 내용 : Airport Passenger Terminal(3F), Parking Building(2F)
- 기간 : 착공일로부터 36개월

### ② Kifaf Development Phase 2 - Plot 5

- 발 주 처 : Park 1 LLC • 수주금액 : 2,000억원
- 공사개요
- 위치 : Dubai, UAE
- 내용 : 주거빌딩 2개동(지하3층 ~ 지상44층)
- 기간 : 착공일로부터 32개월

### ③ Deira Waterfront Dev't Phase 1 - Plot 12

- 발 주 처 : Deira Waterfront Development LLC
- 수주금액 : 720억원
- 공사개요
- 위치 : Dubai, UAE
- 내용 : 주거빌딩 5개동(지하2층 ~ 지상5층)
- 기간 : 착공일로부터 24개월

### ④ 2020 Dubai EXPO Korea Pavilion

- 발 주 처 : 대한무역투자진흥공사 • 수주금액 : 170억원
- 공사개요
- 위치 : Dubai, UAE
- 내용 : 전시 및 공연 공간(지하1층 ~ 지상3층)
- 기간 : 2019년 12월 ~ 2020년 9월

### ⑤ 부산북항 재개발사업 배후도로(지하차도) 건설공사

- 발 주 처 : 해양수산부 • 수주금액 : 2,256억원
- 공사개요
- 위치 : 부산광역시 중구 중앙동 ~ 동구 초량동 일원
- 내용 : 지하차도 신설(1.87km, 4차로), 평면교차로 신설(3개소), 상부도로 개선(1.98km)
- 기간 : 2019년 10월 ~ 2023년 9월

### ⑥ 인천검단 택지개발사업 조성공사(2-2공구)

- 발 주 처 : 한국토지주택공사 • 수주금액 : 468억원
- 공사개요
- 위치 : 인천광역시 서구 불로동, 원당동 일원
- 내용 : 택지조성(2,180,579m<sup>2</sup>)
- 기간 : 2019년 5월 ~ 2023년 6월

### ⑦ 안성-평택지역 전기공급시설 전력구공사(고덕-서안성, 원암리)

- 발 주 처 : 한국전력공사
- 수주금액 : 434억원
- 공사개요
- 위치 : 안성시 원곡면 성주리 ~ 용인시 처인구 남사면 방아리
- 내용 : 터널 전력구 3,728m(Shield TBM 3,757m, NATM 25m), 개착식 전력구 111m, 수직구 4개소
- 기간 : 2019년 8월 ~ 2022년 10월





#### ⑧ 광주 대쌍령1지구 B2블록 공동주택 신축공사

- 발 주 처 : 광주지역주택조합 • 수주금액 : 1,364억원
- 공사개요
- 위치 : 경기도 광주시 초월읍 대쌍령1 산 7-5번지 일원
- 내용 : 아파트 15개동(지하3층 ~ 지상19층, 873세대)
- 기간 : 2019년 10월 ~ 2022년 2월

#### ⑨ 신답 극동아파트 리모델링 주택사업

- 발 주 처 : 신답극동아파트 리모델링조합 • 수주금액 : 598억원
- 공사개요
- 위치 : 서울특별시 동대문구 서울시립대로 5
- 내용 : 아파트 2개동(지하3층 ~ 지상15층, 254세대)
- 기간 : 착공일로부터 32개월

#### ⑩ 구로구 오류동 미래빌라 소규모재건축정비사업

- 발 주 처 : 미래빌라 소규모재건축조합 • 수주금액 : 478억원
- 공사개요
- 위치 : 서울특별시 구로구 오류동 68-21 일대
- 내용 : 아파트 및 오피스텔 3개동(지하3층 ~ 지상35층, 272세대)
- 기간 : 착공일로부터 36개월

#### ⑪ 한국도로공사 스마트센터 신축공사

- 발 주 처 : 한국도로공사 • 수주금액 : 242억원
- 공사개요
- 위치 : 경기도 성남시 수정구 금동동 293-1번지 일원
- 내용 : 오피스 1개동(지하4층 ~ 지상8층)
- 기간 : 2019년 8월 ~ 2022년 1월

#### ⑫ 종로 구기동 테라스하우스 공동주택 신축공사

- 발주처 : 태영디앤씨 • 수주금액 : 184억원
- 공사개요
- 위치 : 서울특별시 종로구 구기동 146-1번지 일원
- 내용 : 테라스하우스 4개동(지하2층 ~ 지상3층, 52세대)
- 기간 : 2020년 1월 ~ 2021년 7월

#### ⑬ 한국전력공사 전력ICT 대전센터 신축공사

- 발 주 처 : 한국전력공사 • 수주금액 : 131억원
- 공사개요
- 위치 : 대전광역시 유성구 문지로 105
- 내용 : 교육 및 연구시설(지하1층 ~ 지상4층)
- 기간 : 2019년 10월 ~ 2021년 9월

#### ⑭ 공군 충주지역 유류수령시설 설치공사

- 발 주 처 : 국군재정관리단 • 수주금액 : 80억원
- 공사개요
- 위치 : 충청북도 충주시 금가면
- 내용 : 저장탱크(4,000BBL 17), 드레인탱크(52BBL 17) 제작 및 설치
- 기간 : 2019년 6월 ~ 2020년 12월

#### ⑮ 이천~문경 철도건설 이천~충주간 전력설비 신설공사

- 발주처 : 한국철도시설공단 • 수주금액 : 122억원
- 공사개요
- 위치 : 경기도, 충청북도 일원
- 내용 : 배전선로(22.9kV, 54km) 신설, 터널 내 전기설비 신설
- 기간 : 2019년 8월 ~ 2022년 3월



## 특집기획

Special Feature

- 특집기획 I - 노후 인프라 유지관리
- 09 빅데이터를 활용한 노후인프라 유지관리 방안
- 16 차세대 노후 인프라 유지관리기술을 위한 중소 노후교량 실증기반 검증 방안
- 특집기획 II - 두바이 엑스포 2020
- 23 Connect, 엑스포 2020 두바이
- 26 2020년 두바이 엑스포 한국관 'MOBILE MASSITY(모바일 매시티)'



# 빅데이터를 활용한 노후인프라 유지관리 방안

글 박기태 / 한국건설기술연구원 노후인프라센터 센터장 / 전화 031-910-0134 / E-mail ktpark@kict.re.kr



## 1. 개요

4차산업혁명의 도래와 함께 우리나라를 포함한 전 세계적으로 빅데이터의 필요성 및 중요성이 대두되고 있다.

특히 사회기반시설(이하 SOC시설물)의 경우, 신설시대에서 유지관리시대로 전환되고 있는 시점이며, 국토교통부를 포함한 각 지자체, 언론, 건설 분야 전문가들 역시 유지관리 분야에서의 빅데이터 필요성과 중요성을 강조하고 있다.

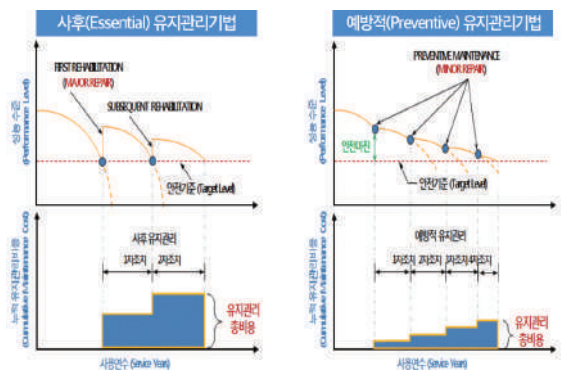
우리나라 SOC시설물이 70년대 경제성장기를 시점으로 대부분 80년대에 건설된 점을 감안할 때 30년 이상 경과한 시설물이 점차적으로 급증하고 있음을 알 수 있다. 2018년에 국회입법조사처를 통해 발간된 내용을 보면, 1995년에 5,376개의 시설물(1종 시설물 1,314개, 2종 시설물 4,062개)이 유지관리 대상으로 지정된 이후, 2017년 말에는 87,124개의 시설물(1종 시설물 9,274개, 2종 시설물 77,850개)이 지정되어 22년간 16배가 늘어난 것으로 되어 있다. 이러한 경향은 미국, 일본 등 전 세계적으로 유사한 추세로 분석되고 있다.

또한 전체 국가 주요시설물 134,969개 가운데 1종 시설물 4,966개(51.5%), 2종 시설물 46,117개(56.4%), 3종 시설물 26,315개(60.4%) 등 77,398개(57.3%) 시설물이 향후 20년 이후에 고령화 시설이 될 가능성이 있는 것으로 조사되었다. 이러한 추세를 고려하여 우리나라에서는 성수대교 붕괴 이후 제정된 시책법(시설물 안전에 관한 특별법, 1995년 4월 제정)에 이어 시설물 안전법(시설물 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 2017년 1월 제정), 그리고 최근 2018년 12월에 제정된 기반시설관리 기본법 등을 통해 SOC시설물의 체계적인 유지관리를 위해 노력하고 있다.

노후화가 진행된 SOC시설물에 대하여 현 수준의 유지관리를 지속할 경우, 고령화에 따른 교체 수요가 급증하여 막대한 재정이 소요될 뿐만 아니라, 국민안전에 위협하고 국가경제에 장애가 될 우려가 크다. 따라서 시설물의 장수명화 및 유지관리비용 절감을 위한 예방적 유지관리 체계로의 전환이 필요하며, 구조적 안전은 물론

성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려하는 종합적 비용편익 분석을 통해 한정된 재정을 효율적으로 투자할 수 있는 새로운 개념의 SOC시설물 유지관리 체계 구축이 필요하다고 판단된다.

[그림 1] 예방적 유지관리 개념 소개



예방적 유지관리의 기대효과는 성능변화 예측을 통한 설계 요구성능 유지에 필요한 최적 유지보수시기의 도출과 결함 발생 초기 또는 발생 예상 부위에 대한 최적화된 유지보수 시행을 통한 비용 절감을 가능하게 하는 것이라고 할 수 있다.

최근 고령화 시설물에 대한 정확한 평가를 기반으로 한 유지관리의 필요성이 대두되고 있고, 이와 관련하여 기존 상태평가 중심에서 벗어나 성능중심의 평가체계 구축에 대한 수요자 요구가 급증하고 있는 것도 위와 같은 사실을 대변하는 것이다. 전 세계적으로 시설물 고령화가 가속화되고 있고, 이에 대한 유지관리 비용도 급속히 증가하고 있는 실정을 감안하면 구조적 안전을 고려한 과학적 유지관리에서 성능유지 및 향상, 감가상각 등을 고려한 경제학적 유지관리 체계로의 전환이 시급히 필요한 시점이다. 이러한 현안 해결을 위해 국가건설기술연구사업인 '사회기반시설의 성능중심 관리·운영을 위한 한국형 성능등급 산정 기술 개발'이라는 연구과제가 2014년부터 2017년까지 수행되었다. 이 과제의 연구성과는 현재 국가 인프라 유지관리를 위한 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(시설물안전법)에서 고려하는 시설물 유형별

성능평가기법으로 활용되었다.

그렇다면, 인프라 유지관리 분야에서의 빅데이터란 무엇인가를 고민해 볼 필요가 있다. 빅데이터의 필요성은 지금까지 충분히 인식하고 있으나, 어떤 데이터를 구축하고, 어떻게 구축하며, 어떻게 활용한다는 내용에 대해 구체적으로 접근한 사례는 없는 것으로 판단된다.

인프라 유지관리에 있어서의 빅데이터와 관련된 내용을 모두 논의하자면 너무 방대하므로 본 글에서는 빅데이터의 필요성 보다는 빅데이터 구축이 필요한 유지관리 관련 데이터의 종류, 구축방법, 그리고 활용방안 등에 대해 개략적으로 의견을 제시해 보고자 한다. 또한 SOC시설물에 대한 한국형 성능중심 유지관리의 개념, 그리고 성능 중심 유지관리 체계의 정착을 위한 국가적 차원의 추진 방향을 개념적으로 제안하고자 한다.

## 2. 노후화에 대한 해외 대처 사례

주요 선진국에서는 SOC시설물 노후화 대비를 위해 유지관리 효율화 기술 개발 관련 정책을 우리나라보다 일찍 수립하고, 국가차원에서의 예산 지원 및 기술 개발 측면에서 활발히 진행 중이다.

일본은 2013년에 일본부흥전략과 관련하여 인프라 장수명화 기본계획과 국토교통성의 인프라 장수명화 계획을 수립하였으며, 이와 관련한 정책 및 제도를 활발히 시행하고 있다. 2030년까지 주요 인프라 및 모든 노후화 인프라에 센서, 로봇, 비파괴검사 기술 등을 활용하여 고도의 효율적인 점검 및 수리를 실시하는 것을 목표로 설정하고 진행 중이다. 또한 ICT, 센서, 로봇, 비파괴검사 등의 첨단 신기술을 개발하고 활용함으로써 인프라 시설물의 유지관리 산업을 육성하는 것을 목표로 진행 중이다.

유럽에서도 마찬가지로 2013년부터 Infravation Project를 통해 교량, 터널, 도로포장 등 교통 인프라 성능향상을 위한 기술연구가 진행되고 있다. 또한 비용 효율적인 고성능 교통 인프라 유지관리를 위한 보수, 모니터링, 시공법, 절차, 지원 시스템 등에 대한 연구를 진행 중에 있을 뿐만 아니라 차세대 인프라 성능 평가 방법, 인프라 내구성 및 수명연장, 비파괴 검사기술 등을 확보하고자 노력하고 있다.

미국은 교량의 유지관리 및 리뉴얼/성능개선을 위한 이력데이터 수집을 위해 NSF(National Science Foundation), FHWA(Federal Highway Administration)의 지원을 받아 교량의 데이터를 수집하는 연구(Bridging Big Data Project)가 수행 중이다. 또한 FHWA에서는 LTBP(Long-Term Bridge Performance) 프로그램을 통하여 대표성을 갖는 교량의 이력데이터를 수집하고 운영 플랫폼을 개발하며, 이를

교량의 유지관리, 리뉴얼/성능개선 전략수립, 성능 및 비용 예측 등에 활용하고 있다.

## 3. 빅데이터의 종류

SOC시설물 유지관리에 있어서의 빅데이터는 BMS(Bridge Management System), CSMS(Cut Slope Management System) 등 다양한 시설물 DB 정보 관리와 관련한 시스템에 구축되어 있는 내용에만 국한하는 것은 아니고, 이러한 정보를 포함하여 인프라의 미세한 거동과 주변 환경, 화학적 거동, 손상의 유형 및 패턴 등과 관련한 장기이력데이터를 의미한다.

물론, SOC시설물 관련 정보에 대해서는 지금도 DB 형태로 구축하고 있고, 앞으로도 계속 구축될 것이기 때문에 빅데이터라는 큰 울타리 안에 지속적으로 연결시키는 것은 데이터 기반 유지관리와 관련한 정책이 뒷받침된다면 크게 어려운 문제는 아닐 것이다. 유지관리에 있어서 필요한 빅데이터는 이 외에도 손상의 진전 관련 시간이력 기준 변동 상황, 통행 차량 패턴, 설계 및 시공 이력 단계의 상세한 절차, 유지관리를 담당하는 관리자의 역량, 투입되는 유지관리 비용 등 다양한 모든 정보를 포함하는 것이다.

이러한 정보를 하루아침에 쉽게 구축하기는 어려울 뿐만 아니라, 현실적으로 지금 현재 구축은 불가능하다고 판단된다. 그 이유는 각종 빅데이터를 구축하기 위한 시스템, 즉 도구가 충분히 준비가 되어있지 않고, 또 도구가 준비되어 있다고 하더라도 도구를 사용하여 데이터를 저장할 수 있는 인력이나 시간 역시 매우 부족하기 때문이다. 따라서 인프라 유지관리 관련 빅데이터 구축을 위한 기반을 확립하기 위한 노력이 국가적 차원에서 추진되어야 하고, 예산의 집중적인 투입 및 정책적 뒷받침이 필요한 상황이다.

빅데이터 구축을 위해서는 빅데이터를 담기 위한 프레임에 대한 세밀한 고려가 필요할 뿐만 아니라, 빅데이터를 입력하기 위한 도구를 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위한 최적화된 입력 방법이 필요하다. 여기에서 빅데이터를 구축하기 위한 도구는 각종 센서, 비파괴장비, 조사 자동화 장비, 내부 탐상 장치 등을 의미하며, 이러한 빅데이터를 구축하는데 IoT 통신기술과 클라우드 기술은 반드시 필요하다. 현재의 일반적인 데이터 구축 방법은 인터넷을 통해 입력하고, 입력된 결과는 독립적인 서버에 저장되는 것이며, 해당 데이터를 필요로 하는 경우, 이에 대한 접근성에 대한 한계는 존재할 수 밖에 없다. 또한 실시간으로 측정되는 데이터의 경우 역시 마찬가지 상황이다. IoT 및 클라우드 기술은 이러한 문제를 해결해 줄 수 있는 아주 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

최근에 각광받고 있는 AR, VR, 디지털 트윈(Digital Twin) 등의 경우 본 글에서 제안하는 다양한 빅데이터, 그리고 유지관리 시나리오 등에



대한 DB구축이 수반되어야 가능한 첨단기술로써, 해당 분야 전문가 외의 건설 분야 특히 유지관리 분야 전문가들의 적극적인 참여 및 노력이 필요한 분야이다.

IoT 통신 기술은 위에서 제시한 각종 센서를 포함한 여러 장비 또는 장치에 필수적으로 탑재되어 해당 측정 및 진단 결과가 해당 시점 별로 바로 클라우드 서버로 전송되고, 전송된 내용에 대해 필요로 하는 사용자가 활용하거나, 구축 또는 저장하는 형식으로 진행된다. 이때 IoT망은 새롭게 구축하는 방법도 있겠지만, 현재 운용중인 IoT망(KT, SKT 등)을 활용하도록 하는 것이 가장 효과적일 것으로 사료되며, 이러한 내용을 성공적으로 도입하기 위해서는 빅데이터 기반 인프라 유지관리에 특화된 집중적인 연구개발과정을 통해 관련 핵심요소기술을 확보해야 할 것으로 사료된다. 이러한 인프라 유지관리와 관련한 미래상 중 데이터를 활용하는 개념도 예를 제시하면 다음과 같다.

[그림 2] 데이터베이스 기반 시설물 유지관리 개념도

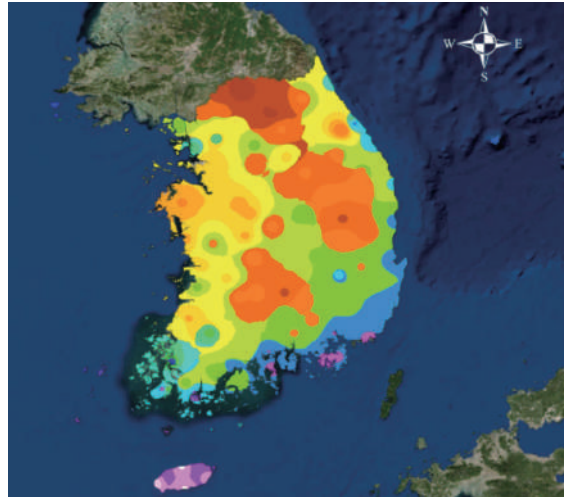


#### 4. 인프라 빅데이터 구축 예

한국건설기술연구원에서는 2018년부터 2020년까지 “노후인프라 시설물 유지관리를 위한 중장기데이터 기반 표준 플랫폼 구축 및 서비스 개발”이라는 주요사업을 수행하고 있다.

본 연구과제의 수행 목적은 여러 유형의 노후 인프라 시설물 유지관리와 관련하여 다양한 모니터링 기술로부터 열화 · 손상 관련 상세 데이터를 중장기적으로 확보하고, 이를 기반으로 열화환경모델을 개발하여 성능저하 수준 예측 등에 관한 정보를 제공할 수 있는 표준형 중장기 데이터 플랫폼을 설계 · 구축하며, 관련 서비스 기술을 개발함으로써 장기적인 관점에서 한국건설기술연구원이 유지관리 Data Bank로서의 중추적 역할을 수행할 수 있는 기반을 마련하기 위함이다.

[그림 3] 국내 열화환경 분류 현황



본 과제를 통하여 2020년 1월 현재 장기조사실현체 및 전국 단위 열화환경 데이터 구축, 도로 교량 및 터널 현황 데이터 구축, IoT 센서를 이용한 자동화 계측자료 연동 등을 통해 총 148,607건의 데이터를 확보하였고, 실측 데이터를 바탕으로 열화환경모델을 구축하고자 하였다. 구축된 데이터는 데이터 플랫폼을 통해 대외적으로 공유할 수 있도록 함으로써 학계, 업계 등에서 필요로 하는 데이터를 쉽게 확보할 수 있도록 하고자 하였다.

[그림 4] 중장기 데이터 플랫폼 메인 화면



[그림 5] 플랫폼 제공 장기조사데이터



[그림 6] IoT 센서의 현장 구축 및 모니터링



## 5. 빅데이터의 활용

빅데이터를 가장 효과적으로 사용하는 분야는 바로 미래 예측이라고 판단된다. 다시 말하면, 과거의 정보와 현재 상태를 활용함으로써 구체적으로 미래에 어떤 식으로 변화할지를 추정하고, 추정된 결과를 이용하여 유지관리 방법이나 예산을 미리 확보할 수 있게 되는 것이다. 과거의 정보는 시트북 또는 시설물안전법에 의해 조사된 일반적인 A, B, C, D, E 등의 손상 등급을 포함한 단순 정보이나, 미래에는 위에서 언급한 것처럼 보다 구체화되고 세밀한 정보를 요구하는 것이다.

이러한 과거와 현재, 미래를 연결하는 형태의 함수관계는 열화모델이라는 용어로 대변될 수 있다. 분석된 열화모델을 통해 각 손상유형별로 시간의 경과에 따라 어떻게 변화될지, 그리고 변화되는 수준에서 어떤 방식의 유지관리 행위를 적용했을 때 지금의 상태가 어떻게 변화하고, 어떤 수준으로 유지될지 등에 대한 추정 결과를 관리주체에게 제시해 주는 것이 가능할 것이라고 사료된다. 물론, 이러한 과정에서 추가적으로 도출되는 것이 미래형 유지관리 분야에서 핵심기술로 부각되는 인공지능기술에 대한 것이다. 인공지능의 기본 틀은 구축된 데이터이고, 인공지능의 목적에 따라 다양한 빅데이터를 구축해야 할 필요성이 부각될 수 있다.

빅데이터를 통해 알 수 있는 것은 여러 가지가 있을 수 있다. 즉, 우리가 알아야 하지만, 데이터의 한계로 인해 인지하지 못하였던 분야를 제시하면 쉽게 그 답을 찾을 수 있다. 시설물의 장래 철거 예상 시점, 시설물 보수보강 최적 시기 및 효과, 해당 시설물에 가장 맞는 보수보강공법, 미래에 투입 필요한 예상 소요 비용, 누수 경로 및 인프라 영향도 수준, 관리자가 현장에 방문하여 조사하여야 하는 적정 시점 등이 그 예이며, 이러한 사항들에 대하여 구축된 데이터를 이용하여 인공지능화 과정을 거치면서 자동으로 관리자에게 전달해 주도록 하는 기술 개발이 필요할 것으로 사료된다.

현재 한국건설기술연구원에서는 빅데이터 활용과 관련하여 인프라

노후도 평가 방법론에 대한 핵심적인 기술 개발이 진행 중이다. 인프라의 노후화에는 시간, 재료적 특성, 주변환경 등 여러 요인이 영향을 미친다. 즉, 노후화를 예측하려면 다양한 데이터가 필요하고, 방대한 양의 인프라 노후화와 관련된 데이터를 담고 운용하는데 필요한 플랫폼을 개발 중이며, 노후도 평가 알고리즘, 노후화 수준 판정 표준화 기술 등 예방적 관리에 필요한 알고리즘 연구를 함께 수행하고 있다.

빅데이터 활용에 있어 가장 중요한 역할은 높은 신뢰도를 갖는 시설물의 수명 예측을 가능하게 하는 것이라고 할 수 있다. 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 장기적인 데이터를 기반으로 한 열화모델을 확보한 사례는 없다.

[그림 7] 시설물 손상도 및 노후화 수준 평가절차(안)



미국의 LTBP(Long Term Bridge Performance) 프로그램에 의해 다양한 환경하에 위치한 교량의 장기 성능과 관련한 데이터를 구축하고자 한 사례는 있으나, 더 세밀한 환경조건하의 구체적인 손상 종류에 대한 다양한 데이터를 확보하고자 하는 사례는 없다는 것이다.

우리나라의 경우 한국건설기술연구원에서 콘크리트 내구성과 관련한 장기데이터 확보를 위해 옥외노출시험장을 내륙환경과 비래염분 환경으로 구분하고 시편을 제작하여 지속적으로 장기데이터를 구축하고 있다. 더 구체적으로는 1983년부터 현재까지 장기시험체를 확보하여 다양한 실험을 통한 재료 내구성 관련 데이터를 구축하고 있으며, 해당 시편에 대해 28일, 1년, 3년, 5년, 10년, 15년, 20년, 25년, 30년차 등 해당 연차에 실험을 실시하고 있다.

이러한 장기 데이터 구축 사례는 필요한 데이터를 확보하기 위해 시도한 사례에 불과한 것으로 사료되며, 우리나라 환경조건을 고려한 다양한 열화모델을 구축하고, 이를 이용한 인프라 유지관리를 위해서는 장기 데이터 확보에 필요한 옥외노출시험장을 다양한 환경조건을 고려하여 구축하고, 데이터를 확보해야 할 필요성이 있다.



[그림 8] 고창 해안가 옥외노출시험장 전경

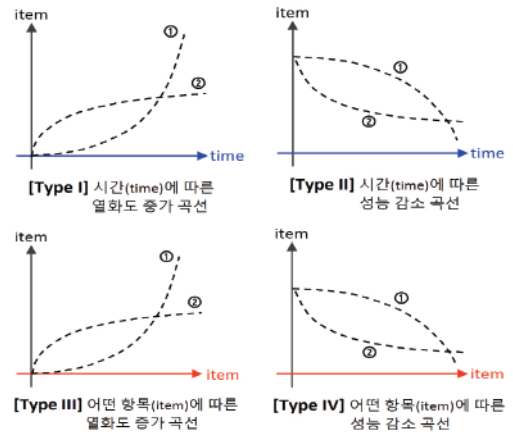


지금까지 수명예측 또는 생애주기비용 분석(LCC)은 대상 시설물과 가장 유사하다고 판단되는 열화모델 또는 다른 연구를 통해 도출된 사례가 있는 열화모델이나 손상모델을 이용하고, 또 분석 과정에서 수많은 가정사항을 전제로 하여 수명예측 또는 LCC 분석을 수행해 온 것이 현실이다. 이 결과는 나름대로의 근거는 있으나 신뢰도 측면에서는 매우 낮을 수밖에 없는 한계점이 존재한다.

그러나, 환경조건, 교통량, 손상유형 등 다양한 유형의 빅데이터를 기준으로 한 잔존수명 예측 또는 LCC 분석은 이와는 확연하게 다른 신뢰도를 확보할 수 있다. 즉, 현재까지는 콘크리트 또는 강교량 등의 1개 또는 2개의 조건에 대한 열화모델이라고 한다면, 빅데이터를 기반으로 한 열화모델은 10개 이상의 다양한 조건과 손상 유형을 함께 고려하며, 이를 활용한다면 잔존수명 예측 또는 LCC 분석 결과의 신뢰도가 향상될 수 있다는 장점이 있다.

이러한 분석 결과의 신뢰도는 빅데이터가 체계적인 시스템을 통해 지속적으로 구축될수록, 그리고 분석을 위한 빅데이터 기반 알고리즘이 더욱 구체적으로 개발될수록 점점 더 높아질 것으로 기대된다. 즉, 분석 과정에서 적용되는 알고리즘 및 구축된 빅데이터를 근거로 미래 유지관리 분야의 핵심기술로 부각될 수 있는 인공지능을 기반으로 한 관리 체계의 핵심 기반이 개발될 수 있을 것으로 예측되며, 이러한 기반 마련을 위한 국가적 차원의 적극적인 투자 및 노력이 필요하다.

[그림 9] 표준 열화모델 예

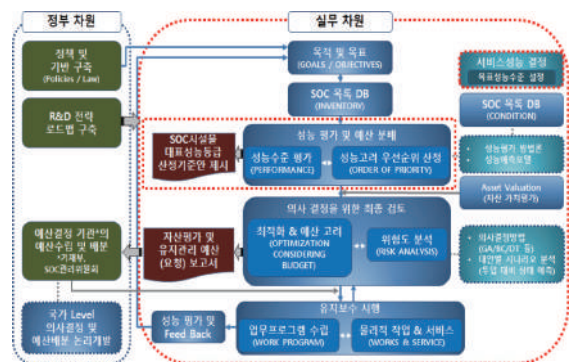


## 6. 한국형 성능중심 유지관리 개념 제안

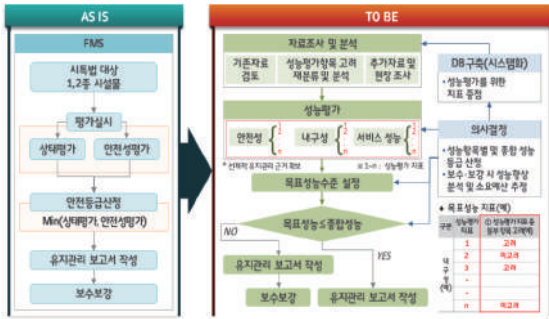
예방적 유지관리를 위한 SOC시설물의 미래 평가 체계 개념도를 제시하면 [그림 10]과 같다. 이 개념도에서 제시된 바와 같이 목적 및 목표를 설정하고, 성능평가 및 예산 분배, 그리고 의사결정을 위한 최종 검토 및 유지보수 시행 등의 순으로 시행되며, 이때 가장 중요한 것이 SOC 목록과 관련한 데이터 구축이라고 할 수 있다. 이러한 데이터는 예방적 유지관리를 위한 기초자료로서 매우 중요하게 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

안전성능 중심의 현행 유지관리 프로세스를 성능 중심의 유지관리 형태로 개선하는 큰 틀을 제시하면 다음 [그림 11]과 같다. 현재는 상태평가와 안전성능을 중심으로 평가하지만, 이를 안전성능과 내구성능, 서비스성능으로 구분하여 세밀하게 평가하고, 이를 종합한 평가 결과와 설정된 목표성능을 고려하여 가장 효율적인 보수·보강 등의 유지관리 행위를 결정하게 된다. 이러한 결과를 토대로 최적의 유지관리 예산 집행을 가능하게 할 수 있다.

[그림 10] 미래 SOC시설물 평가체계 개념도(안)



[그림 11] 성능평가 프로세스 개선(안)



또한 성능중심의 유지관리, 그리고 예방적 유지관리를 위해서는 미래에 시설물이 어떻게 변화할지를 예측할 수 있어야 한다. 즉, 손상의 진전상황을 사전에 예측할 수 있어야 이에 대한 사전 예방적인 조치행위를 결정할 수 있는 것이다. 이를 위해서는 과거 이력, 환경, 거동 등과 관련된 다양한 데이터를 많이 확보하여야 하며, 확보된 데이터는 각 구조물 및 손상 유형별 열화모델 또는 노후화 추이곡선 등의 분석 및 도출에 활용되어야 한다.

## 7. 목표성능 및 투자우선순위 결정 개념 제안

목표성능등급은 90년대 후반부터 실시된 정밀점검 및 진단을 통한 유지관리 이력에 대한 종합적인 현황 분석을 통해 B등급을 기준으로 하는 것이 지금까지 수행된 유지관리와의 연계 및 예산을 고려할 때 가장 합리적일 수 있다. 물론 목표성능등급은 관리주체의 예산 확보 상황과 인프라의 유지관리 수준 등을 고려하여 변경될 수 있다. 또한 B등급 내에서도 결함도 지수를 기준으로 2개의 수준으로 구분하여 동일 시설물 내에서도 이용환경 등을 통한 시설물의 중요도를 반영할 수 있다. 시설물의 현장 여건 반영을 통하여 목표성능등급의 상황 또는 하향이 가능하여야 하고, 각 시설물 유형별로 이용환경 및 중요도를 고려하는 대표인자 예는 다음과 같다.

<표 1> 시설물 유형별 대표인자 예

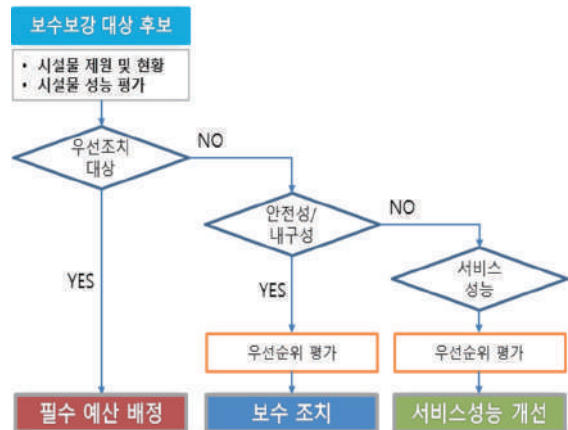
| 시설물 유형  | 대표인자                            |
|---------|---------------------------------|
| 도로교량·터널 | 연평균 일교통량(AADT), 우회거리, 중차량 통행량 등 |
| 철도교량·터널 | 일통과량, 평균속도 등                    |
| 수문·제방   | 홍수피해이력, 국가하천선정기준 등              |
| 댐       | 저수량 등                           |
| 공항      | 연간 이용객수, 항공기 운항편수 등             |
| 항만·어항   | 화물량, 하역능력, 접안능력 등               |
| 상수도     | 가동률 등                           |

목표성능등급은 관리주체가 관리 SOC시설물에 대해 합리적인 유지관리조치를 수행하기 위해 반드시 필요한 지표이며, 이러한 등급

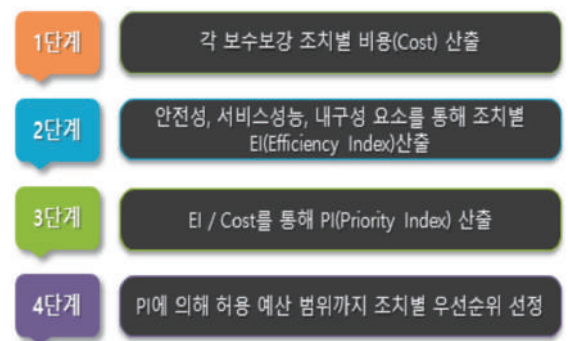
정의를 위해 필요한 프로세스 확립 및 활용 방안에 대한 심도있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

시설물에 대한 효율적인 유지관리를 위해서는 안전성능, 내구성능, 서비스성능 등에 대한 평가 결과와 목표성능을 고려하여 합리적으로 투자우선순위를 결정하여야 한다. 투자우선순위는 크게 개별 시설물에 대한 보수보강조치 행위와 관련한 프로젝트 레벨의 우선순위, 그리고 각 시설물군 내에서 전체 대상 시설물을 대상으로 우선순위를 결정하는 네트워크 레벨의 우선순위로 구분될 수 있다. 프로젝트 레벨의 의사결정 과정은 총 4단계로 구성되며, 조치별 비용 대비 성능향상 기준으로 대상을 선정하는 방법을 선정한다. 각 보수 조치 별로 비용을 산출한 후 안전성능, 내구성능, 서비스성능(사용성)에 대한 영향도(가중치)를 반영하여 효과지수를 결정하며, 기본적으로 관리주체는 각 조치 별로 평가지표를 분석할 수 있는 정보(영향도, 가중치 등)와 개략적 비용을 산출하여야 한다.

[그림 12] 네트워크 레벨 우선순위 평가 기본 과정



[그림 13] 프로젝트 레벨 의사결정 기본 과정



현재 프로젝트 레벨을 이용한 시설물 유형별 투자 우선순위에 대한 연구 및 적용은 많이 진행되어 온 것이 사실이다. 그러나, 범국가적 차원의 프로젝트 레벨에 대한 투자우선순위 결정을 위해서는 개별



시설물이 아닌 이종의 시설물 유형에 대하여 투자우선순위를 종합적으로 결정하는 방법론에 대한 연구 및 적용이 필요하다. 이러한 방법론은 SOC시설물의 자산관리 체계 구현을 위한 필수적인 알고리즘으로 사료되며, 향후 국가적 차원의 균형 있는 유지관리 예산 투자 및 예산 절감을 위해서는 반드시 개발이 필요한 분야이다.

## 8. 결론

지금까지 인프라 유지관리에 있어서의 빅데이터 의미에 대하여 개인적으로 생각하는 바를 개략적으로 정리하여 제시하였다. 표준화된 플랫폼을 이용하여 국가적 차원의 방대한 빅데이터를 구축하기 위해서는 국가 예산의 투입이 불가피하다.

과연 투입된 비용만큼 빅데이터의 활용도를 극대화시킬 수 있을지에 대한 의문은 여전히 남는다. 그 이유는 빅데이터를 통한 유지관리 방향 또는 정책 방향이 해당 인프라의 유지관리에 투입되는 비용을 얼마나 절감시킬 수 있을 것인가에 대한 정량적인 수치 제공이 현재 상태로는 불가능하기 때문이다. 물론 이러한 상황에 대한 비교를 위한 방법론 제시는 반드시 필요하며, 각 경우 별로 어떠한 상황을 어떻게 개선하였을 때 어떠한 효과가 있다라는 것을 정확히 입증하고, 또 그 결과를 활용하는 것이 가장 효과적일 것이다.

그러나 중요한 건 지금까지 우리나라의 경우 그 어떠한 장기적인 데이터, 특히 시설물 유지관리에 활용될 수 있는 수준의 데이터가 많지 않다는 점이며, 이러한 상황, 즉 미래 예측이 불가능한 상황에서 지금까지 인프라에 대한 관리가 지속되어 왔다는 점이다. 일관성 측면이나 근거를 마련한 상태에서의 유지관리라기 보다는 근시안적 측면에서 현재 상태를 기준으로 한 유지관리를 수행해 온 것이 현실이다. 지금까지는 이러한 방식이 가능했다고 하더라도, 30년 이상 노후화된 시설물의 급증이 예상되는 10년, 20년 이후에는 이에 대한 대책 마련이 필요할 것으로 사료된다.

인지가 가능한 데이터, 즉 확보가 용이한 데이터만을 구축하는 것이 아니라 시설물의 노후화 원인을 규명할 수 있는 세밀한 분야에 대한 모니터링 기술과 해당 데이터를 종합적으로 분석하기 위한 분석 알고리즘 개발, 그리고 장기적으로 빅데이터가 구축되기 위한 기반 마련 등이 시급히 추진 되어야 한다. 이를 위해 인프라 노후화를 대비한 빅데이터 구축에 대한 중요성 및 필요성에 대한 공감대가 관산학연 모든 분야의 전문가를 대상으로 필수적으로 형성되어야 할 것으로 판단된다.

또한 시설물 노후화에 대비하기 위한 국가적 차원의 제도적 기반 구축을 위해서는 시설물 성능관리형 유지관리 및 평가방법에 있어 새롭게 제시된 지표 및 평가 기준에 대한 근거 마련을 통하여 신뢰도 및 정확도 확보가 필요하다.

해외의 사례와 같이 시설물 고령화에 대하여 고효율적인 예산투자를 위한 국가 SOC시설물을 종합적으로 고려하는 자산관리체계의 조기 도입이 필요하며, 이를 통해 경제적 측면을 고려한 시설물의 안전을 확보함과 동시에 장수명화를 위한 성능 평가 분야 신산업 창출이 가능할 것으로 사료된다.

[그림 14] 빅데이터 플랫폼 구축 및 미래 운용 방향



이러한 국가적 차원의 다양한 과제가 향후 성공적으로 수행된다면 SOC시설물에 대한 예방적 차원의 유지관리가 가능해지고, 궁극적으로는 건설 분야에 대한 국가 경제 분야의 지속 가능한 발전 도모가 가능할 것으로 판단된다. 또한 SOC시설물의 성능을 적정 목표수준으로 유지하는 합리적인 관리·운영 기술을 마련하여 부가적인 사회적 비용발생을 억제할 뿐만 아니라 시설물 노후화 와 이에 따른 서비스 수준 저하에 따른 국가 및 관리주체의 경제적 부담을 획기적으로 저감시킬 수 있을 것으로 예상된다.

### ※참고문헌

1. 국회입법조사처, “국가 주요시설물의 관리체계 개선을 위한 입법 및 정책 과제” 2018.12.
2. 한국건설기술연구원, “노후 인프라 시설물 유지관리를 위한 중장기 데이터 기반 표준 플랫폼 구축 및 서비스 기술 개발(2/3), 2019.12.
3. 박기태, “사회기반시설의 예방적 유지관리를 위한 성능중심 관리체계 개념 제안”, 한국건설관리학회지 제 19권 제1호, 2018.2.

### WRITER INTRODUCTION

박기태 박사는 연세대학교 토목공학과에서 복합재료 활용기술에 대한 연구로 구조공학 박사학위를 취득하였으며, 1994년부터 한국건설기술연구원에서 인프라 유지관리 분야 연구를 담당하고 있다. 현재 인프라안전연구본부 노후인프라센터의 센터장으로 재직중이며, 빅데이터를 활용한 예방적 유지관리 기술, 노후도 평가 기술, 스마트 유지관리기술 등에 대하여 연구를 수행하고 있다.

# 차세대 노후 인프라 유지관리기술을 위한 중소 노후교량 실증기반 검증 방안

글 김현중 / 명지대학교 하이브리드구조실험센터 책임연구원 / 전화 031-324-1070 / E-mail khj\_mju@daum.net



## 1. 시작하며

노후화된 시설물에 대한 유지관리는 직접적인 비용뿐만 아니라 자산 가치 측면의 사회적 편익까지 고려하면 그 비용이 급격하게 증가할 수 있기 때문에 선진국에서는 중대한 사회적 문제로 인식하고 있다. 최근에는, 미국과 캐나다와 같은 선진국에서 노후 인프라 시설에 대한 유지관리 비용이 천문학적으로 급증한다는 문제가 대두되면서 국내에서도 급속도로 노후화가 진행되고 있는 시설물에 대한 유지관리에 관심이 크다.

특히, 노후된 시설물 중 교량의 경우, 미국의 ASCE Infrastructure Report Card 2017 보고서에 따르면 미국의 30년 이상된 교량은 약 148조원의 보수보강 비용이 발생할 것으로 예측하고 있다. 국내의 경우, 국토교통부의 현황 자료를 분석해보면, 30년 이상된 교량은 2017년 기준으로 약 3,454개소이며 10년 뒤인 2027년에는 약 10,961개소로 급격하게 증가하고, 30년 이후에는 약 3만 2천개 이상의 교량이 노후화 되면서 해외 사례와 유사하게 유지관리 비용이 급격하게 상승할 것으로 예측된다. 이러한 교량의 노후화 증가 추세는 규모의 차이는 있으나 미국에 이어 일본, 우리나라와 대략 30년 차이를 두고 유사하게 발생되고 있다.

이러한 문제의 해결을 위해 국내에서는 교량 노후화 문제를 합리적으로 해결하고자 교량을 성능평가 중심으로 수명을 예측하고 정확한 내하력 평가를 위한 다양한 연구가 진행되어 왔으나, 신뢰도 있는 교량 성능평가와 보수보강 효과의 검증을 객관적으로 판단할 수 있는 기준은 아직 마련되지 않은 실정이다.

그 이유는 기존의 교량 성능평가와 보수보강 공법에 대한 연구의 경우, 다양한 환경에 대한 복합적인 재료의 노후화 요소를 반영하기 힘든 실험체에 대한 부재 단위 또는 소규모 모사를 활용한 검증의 한계성과 교량의 성능을 정량화를 통해 입증하기 어렵기 때문이다.

교량의 실증 실험은 새로 개발되는 신규 형식이나 공법을 적용한 경우, 성능의 객관적인 검증을 위해 실제 교량을 제작하여 성능을 검증한다. 그러나 기존에 건설된 교량은 실증 실험을 통해 객관적으로 노후화에 대한 성능을 평가하고, 보수보강 효과의 객관적인 검증을 통

해 미래의 성능을 예측하는 것이 매우 까다롭기 때문에 간접적인 방법과 모사화된 실험을 통해서 평가해왔다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는, 무엇보다도 기존의 노후된 교량의 평가와 보수보강 효과의 평가방식을 신뢰성 있는 객관적 데이터에 기반하여 효율적으로 적용할 수 있는 방법의 전환에 대해 깊이 있는 연구가 필요하다.

실증실험을 통한 노후된 교량의 평가는 보수보강의 설계 기반을 구축할 수 있는 합리적인 비용 산정의 기준을 마련할 수 있으며, 막대한 보수보강비용을 효율적으로 저감할 수 있는 방법에 대한 도출이 가능하다. 또한, 노후된 교량의 실증실험에 대한 데이터가 전용 DB구축을 통해 다양한 전문가에게 검증된다면 교량관리주체와 보수보강업체에서는 보수보강의 시기와 공법의 의사결정을 위한 지침으로 활용이 가능하며 AI, 딥러닝 등 새로운 분석기법을 적용할 수 있는 플랫폼을 구축할 수 있어 향후 노후된 교량의 유지관리 제도개선에 적극적인 활용이 가능하다.

“노후교량 장수명화 연구단”에서는 노후 교량의 효율적 유지관리를 위한 근본적인 방법 도출을 위해 세계적으로 사례를 찾기 어려운 철거 교량을 직접 운반하여, 파괴 실험과 다양한 재료 실험을 통해 성능 저하에 대한 원인을 분석하고자 한다. 또한, 철거된 교량에 기존에 수행된 보수 보강 기술을 직접 적용하는 정량적 효과 검증을 수행하여, 노후 교량 유지관리에 효율적인 의사결정과 제도 개선을 위한 중요한 기초 자료로 활용할 수 있는 방안도 함께 연구하고자 한다.

이러한 연구는 노후된 교량의 안전 신뢰도 향상과 국민안전 인식 향상에 기여하기 위한 목적을 기반으로 문제를 해결하고자 노력하고 있으며, 이에 본 고를 통해 국내외 노후교량의 현황과 실증실험을 기반한 연구에 대해 간단하게 소개하고자 한다.

## 2. 교량의 노후화

### 2.1 교량 노후화 문제

모든 인프라 시설물은 국가의 기반시설로서 가치가 있으나 그 중 교량은 국가의 건설기술 경쟁력의 가장 큰 지표가 되며, 지역적 랜드마크

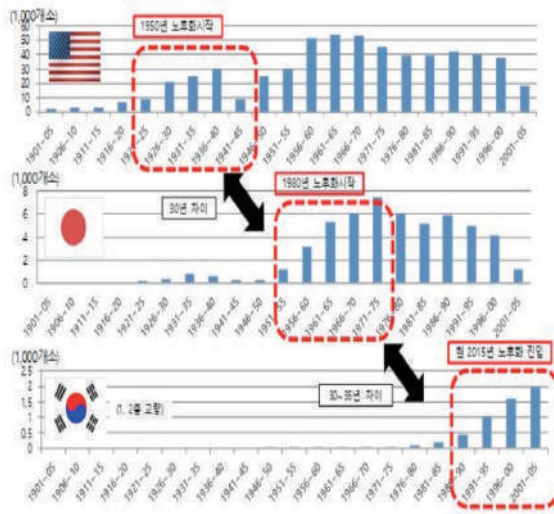


크로서의 역할뿐만 아니라 지역경제의 근간으로 사회적으로 가장 집중을 받는 시설물이다.

1983년 6월 미국에서 붕괴된 코네티컷주 Mianus River Bridge나 1987년에 붕괴된 뉴욕주의 Thruway Bridge, 2007년에 붕괴된 미네소타주의 Minnesota Bridge의 붕괴는 노후화된 교량에 대한 투자와 의사결정이 늦어짐에 따라 교량의 안전에 심각한 문제가 발생할 수 있다는 사실을 알려주는 중요한 사례로 볼 수 있다. 또한, 미국의 인프라 시설물 유지관리 실패 사례는 적절한 보수 보강 시기를 간과하는 경우, 보수 보강에 필요한 비용의 상승폭이 급격하여 천문학적인 유지관리 비용이 발생 할 수 있다는 점을 시사한다. 그래서 많은 국내의 전문가들은 노후화된 인프라 시설에 대해 예방적인 투자와 적절한 대책이 필요하다고 지속적으로 주장하고 있다.

선진국의 교량 노후화 시기가 우리나라에도 매우 중요한 시사점을 준다는 것은 [그림 1]의 분석 자료를 통해 유추가 가능하다. 미국은 1950년부터 30년 이상된 노후 교량이 발생되기 시작했으며 일본은 1980년부터 교량 노후화가 시작되고 국내의 경우 1960년부터 시작하여 급격한 경제성장을 통해 1980년부터 급격하게 교량을 건설하여 약 35년 뒤인 2015년부터 국내 교량도 노후화가 시작되고 있다는 것을 확인할 수 있다.

[그림 1] 한·미·일 국가별 교량 준공현황 비교 (국토교통부 교량현황조사 2016)



[그림 2]와 같이 미국의 2017년 보고서에 따르면 30년 이상 된 노후 교량을 기준으로 2006년 115억불에서 2010년 180억불 2017년에는 약 10배 이상에 해당하는 1,230억불, 우리나라 화폐단위로 약 146조 원 이상의 막대한 보수보강 비용이 필요한 것으로 분석하고 있다. 미국의 교량은 2017년을 기준으로 30년 이상 된 노후교량이 전체 교량의 66%로 대부분을 차지하고 있으며 50년 이상 노후교량도 약 40%에 가까울 만큼 교량 노후화가 심각하다.

[그림 2] 2017 Infrastructure Report Card (Bridges)

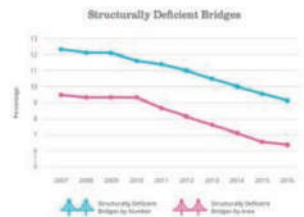


#### SUMMARY

The U.S. has 614,387 bridges, almost four in 10 of which are 50 years or older. 56,007 — 9.1% — of the nation's bridges were structurally deficient in 2016, and on average there were 188 million trips across a structurally deficient bridge each day. While the number of bridges that are in such poor condition as to be considered structurally deficient is decreasing, the average age of America's bridges keeps going up and many of the nation's bridges are approaching the end of their design life. The most recent estimate puts the nation's backlog of bridge rehabilitation needs at \$123 billion.

#### CONDITION & CAPACITY

Over the past decade, there has been increased awareness of the significance of bridges to our nation's economy and the safety of the traveling public. At all levels of government, a concerted effort has been made to reduce the number of structurally deficient bridges in the U.S.—bridges that require significant maintenance, rehabilitation, or replacement. Structurally deficient bridges are not unsafe, but could become so and need to be closed without substantial improvements.



As of 2016, one in 11 (9.1%) of bridges were designated structurally deficient, which

represents an improvement from a decade ago when 12.3% of bridges were structurally deficient. As bridges greatly vary in size, the percentage of deck area that belongs to structurally deficient bridges is another useful indicator. 6.3% of total bridge area belonged to structurally deficient bridges in 2016, an improvement from 9.5% in 2007. Encouragingly, higher traffic volume bridges are less likely to be structurally deficient. Yet, on average, there were 188 million trips across a structurally deficient bridge each day in 2016. Some states are doing better than others at maintaining, repairing, or replacing their bridges. The percentage of bridges that are structurally deficient ranged from 1.6% in Nevada to 24.9% in Rhode Island in 2016.

Of the 614,387 bridges in the National Bridge Inventory, almost four in 10 (39%) are over 50 years or older, and an additional 15% are between the ages of 40 and 49. The average bridge in the U.S. is 43 years old. Most of the country's bridges were designed for a lifespan of 50 years, so an increasing number of bridges will soon need major rehabilitation or retirement.

#### America's Bridges by Age



As part of a bridge's regular inspection, it may be determined that the bridge can only carry traffic up to a certain weight or speed, requiring posting of a load restriction. One in 10 (10.1%) bridges had such restrictions in 2016. Posted bridges can dramatically increase driving time for larger vehicles such as school buses, ambulances, and delivery trucks. Bridges that do not serve current traffic demand or meet current standards, whether due to too few lanes or too narrow lanes or shoulders, are considered functionally obsolete. More than one in eight (13.6%) bridges in the U.S. were functionally obsolete in 2016 (if a bridge is both functionally obsolete and structurally deficient, it is only counted as structurally deficient). These bridges frequently act as choke points and can increase congestion.

#### FUNDING & FUTURE NEED

In recent years, investment at all levels of government has prioritized fixing bridges. The federal government estimates that \$17.5 billion was spent on bridge capital projects in 2012, with \$6 billion from the federal government and \$11.5 billion from state and local sources. This is a substantial increase from the \$11.5 billion that was spent on bridges in 2006. Investments in bridges were bolstered in 2009 and 2010 with the influx of additional funding from the American Recovery and Reinvestment Act and peaked in 2010 with \$18 billion spent. Despite the recent increases in spending, investments in the country's bridges are insufficient. The most recent federal estimate puts the backlog of rehabilitation projects for the nation's bridges at \$123 billion. See the Roads chapter for more information on public spending on highways, including bridges.

The past decade has also been marked with uncertainty for the federal surface transportation program, making it a challenge for state transportation agencies to make long-term plans. In December 2015, Congress passed the Fixing America's Surface Transportation (FAST) Act, a five-year surface

## 2.2 국내 교량의 노후화 현황

우리나라는 2016년 교량현황조사(국토교통부, '15.12기준)에 따르면 [그림 3]과 같이 1960년대 경제개발 시기에 급격하게 건설된 약 3만 여개 이상의 교량들이 2017년을 기준으로 약 3,500여개가 30년 이상 노후화 되었으며, 10년 뒤에는 약 1만개 이상, 20년 뒤에는 2만3천 개 이상 교량이 급격하게 노후화 되는 것으로 나타났다.

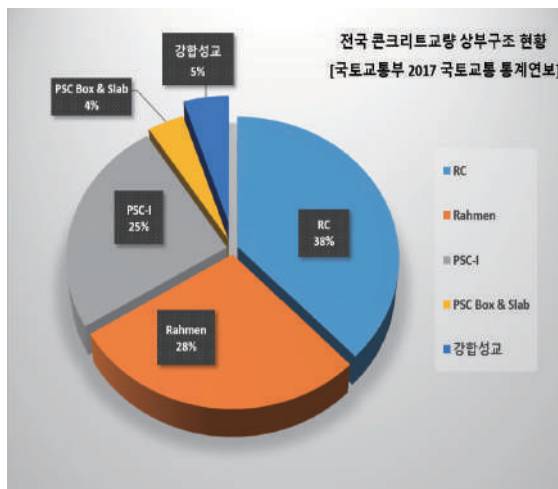
[그림 3] 공용연수 30년이상 국내 교량 증가비율

| 연 도   | 개 소       | 노후교량 비율 |
|-------|-----------|---------|
| 2017년 | 3,454개소   | -       |
| 2022년 | 5,839개소   | 19.5%   |
| 2027년 | 10,961개소  | 33%     |
| 2037년 | 23,015 개소 | 75%     |

[그림 4]는 “2018년 도로 교량 및 터널현황조사(2017년 기준)”를 콘크리트교량 기준으로 분류한 결과다. 교량 총 33,572개소 중 연구단에서 실증교량으로 연구를 수행하는 콘크리트교량을 상부구조를 형식별로 구분하면, 가장 많은 부분을 차지하는 교량 형식이 RC 슬래브, 라멘교, PSC-I 3종으로 전체 교량의 약 91% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 이 중 30년 이상을 초과한 교량의 경우는 RC 슬래브, PSC-I, 라멘교 순으로 나타났다.

이러한 조사결과는 국내 교량의 노후화에 따른 대표적인 교량 형식을 크게 3가지로 분류 할 수 있으며, 앞으로 유지관리 대상 교량의 우선 순위를 결정할 수 있는 척도로 활용이 가능하다.

[그림 4] 2017년 기준 국내교량의 상부구조형식별 비율 (공용연수 30년이상)



## 2.3 교량노후화에 따른 선진국의 대처

미국, 영국, 호주, 캐나다 등 선진국에서는 인프라 시설물 관리 전담 기관을 마련하여 각국에 맞는 노후 인프라 시설물에 대한 대비책을 마

련해 시행하고 있다. 특히 인프라 시설물 노후화가 심각한 미국과 호주, 캐나다는 인프라 시설물의 자산관리 프레임 워크를 구축하여 정부적 차원의 강력한 리더십으로 자산관리 체계를 구축하고 효율적인 비용으로 서비스 수준을 만족하는 것을 목표로 사전적인 예방과 관리가 가능한 정보시스템 체계도 마련하고 있다.

영국의 경우 [그림 5]와 같이 UK Infrastructure 2050과 같은 국토 인프라에 대한 마스터플랜을 확립하여 노후화된 인프라 시설물에 대해 통합관리 시스템을 통해 투자계획을 마련하고 있다. 일본의 경우 [그림 6]과 같이 국토인프라 전체를 통합 관리할 수 있는 국가적 차원의 연구 프로젝트로 지정하여 수행하고 있다.

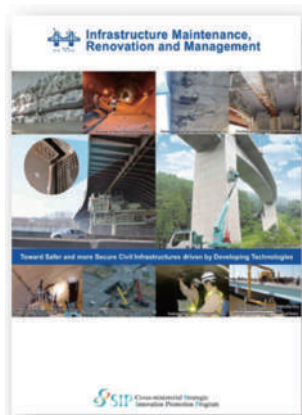
최근 미국은 경제회복과 확장적 재정정책의 일환으로 신규 및 노후된 인프라 시설물의 유지관리를 위한 투자를 시작하여 트럼프 대통령이 공약한 1조 달러 규모의 투자가 현실화 되고 있다. 이러한 정책적 결정이 가능한 이유는 인프라 시설물의 노후화 문제의 심각성을 인지하고 지속적인 연구를 통해 노후화 시설물 유지관리에 대해 수준 높은 보고서(Infrastructure Report Card)를 작성하고 [그림 7]과 같이 영국과 같은 합리적인 유지관리 계획 수립과 예산 반영을 위한 체계적인 준비를 하고 있기 때문이다.

이렇듯 선진국들이 인프라 시설물의 노후화 유지관리에 많은 노력을 기울이는 이유는 예방적인 시설물 유지관리가 되지 않을 경우, 유지관리 비용이 급격하게 발생된다는 것을 직접 경험했기 때문이며 통합 유지관리의 중요성을 인식했기 때문이다.

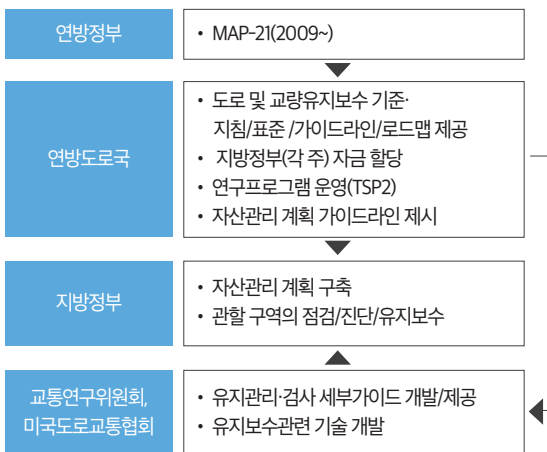
[그림 5] 영국의 인프라 통합관리 시스템 (UK Infrastructure 2050)



[그림 6] 일본의 전략적 혁신창조프로그램 (SIP)



[그림 7] 미국의 인프라 마스터플랜 (MAP-21 US Road Facilities Maintenance)



### 3. 노후교량의 장수명화를 위한 연구

#### 3.1 국내 교량의 노후화 기준 산정

노후교량 장수명화 연구단에서 대상으로 하는 노후교량의 판단기준은 법인세법 시행규칙 제15조(내용연수와 상각률) 제3항에 준하여 ‘철근콘크리트’ 건조물의 감가상각 법적 내용연수(30년 ~ 50년)의 하한인 30년을 경과한 시설기준과, 한국시설안전공단에서 규정하는 정밀 점검과 정밀안전진단 결과의 재점검 요건인 ‘30년 이상 경과하고 안전등급 C등급 교량’을 근거로 교량의 노후화를 정의한다.

경간장은 2종 교량시설물 최대경간장 50m를 포함하며 30년 이상된 노후교량의 실태조사를 통해 대부분의 교량이 포함할 수 있는 80m 이내로 경간장을 기준으로 하였다.

교량 노후화에 대한 기본적인 결함 기준은 한국시설안전공단의 안전 점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 교량 시설물의 상부구조에 대

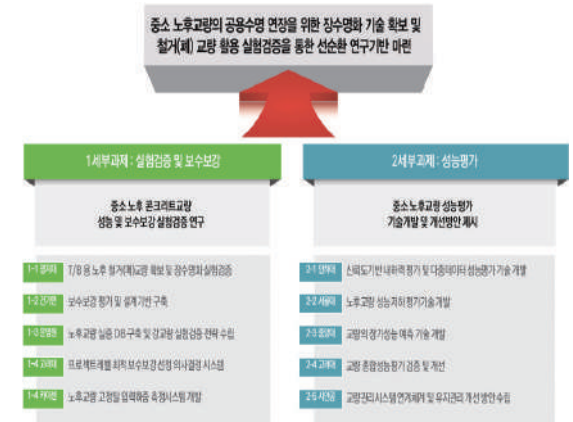
한 중대한 결함정도인 염해, 탄산화에 의한 내구성 손실과 콘크리트 균열 및 재료 분리, 철근량 부족, 피로 등에 의한 구조적 내하력 손실을 중대한 결함으로 정의함으로, 내구성과 내하력에 대한 결함을 기본으로 하여 안전성에 대한 노후화를 기준으로 하였다. 따라서, 노후교량 장수명화 연구단은 재료적, 구조적 실험데이터를 기준으로 교량 노후화에 대한 평가모델과 보수보강 모델을 검증하고 효율적인 유지관리를 위한 제도개선 방향을 제시하고자 한다.

#### 3.2 노후교량 장수명화 연구단 구성 및 목적

노후교량 장수명화 연구단은 [그림 8]과 같이 교량과 보수보강의 성능검증을 위한 실험검증과 노후교량의 성능평가 기술개발 및 개선방안을 제시하는 2개의 세부과제로 구성되며 7개의 대학 및 2개의 기관과 1개의 중소기업을 포함한 총 10개의 연구기관으로 구성된다.

노후교량의 수명연장을 위해서는 실증실험을 기반으로 현재 노후화된 교량의 정확한 성능평가가 이루어져야 하며, 신뢰성 있는 보수보강의 의사결정을 통해 보수보강 효과에 대한 성능검증도 함께 요구된다. 연구단에서는 [그림 9]와 같이 노후교량의 성능평가와 보수보강 효과검증을 위한 기술의 제도와 및 실용화를 통한 노후교량의 장수명화를 목표로 연구를 수행하고 있다.

[그림 8] 노후교량 장수명화 연구단 구성



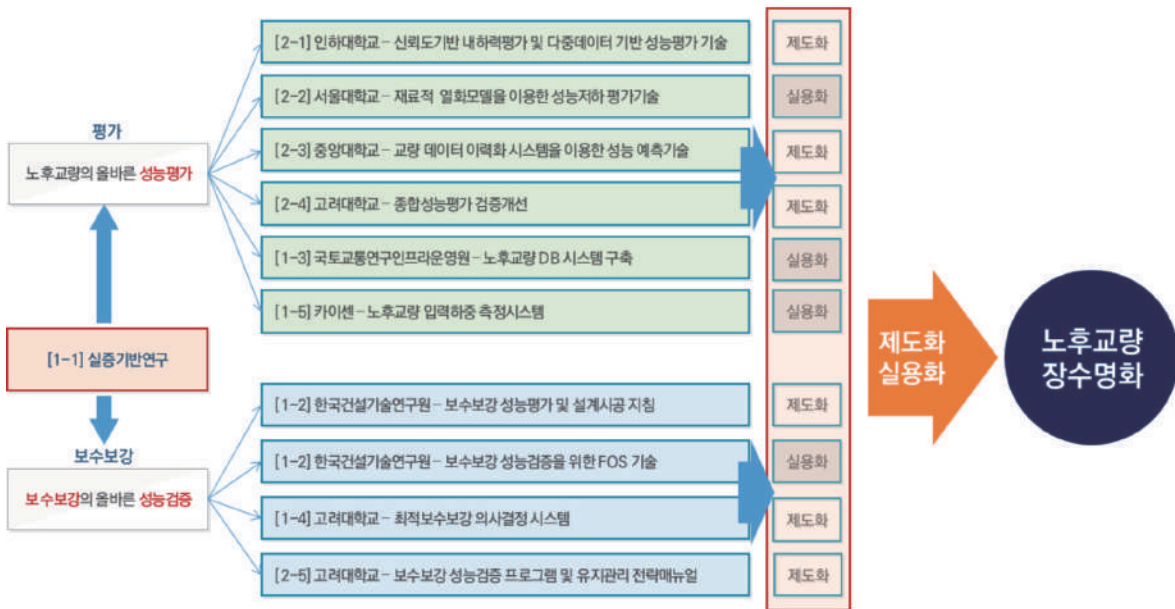
#### 3.3 노후교량 실증실험 절차

노후교량 장수명화 연구단에서 수행하는 실증실험은 공용중인 철거 예정 교량을 실증실험을 통해 신뢰도 기반의 내하력 평가 방법과 빅데이터 분석기법 및 AI 등을 이용한 다중데이터 성능평가 기술 검증 연구를 수행한다.

노후된 교량의 철거가 진행된다면 철거된 교량을 거더 및 슬래브 단위로 현장에서 절단하여 실험실로 운반하거나 운반이 어려울 경우 현장에서 직접 파괴하여 노후화된 교량의 기본 성능을 검증한다.



[그림 9] 노후교량 장수명화 연구단 실용계획



대형 실험실로 운반된 교량의 거더와 슬래브는 기본적인 파괴시험을 통해 노후화에 따른 구조적 성능을 검증하고 다양한 재료 실험 결과와의 상관성을 분석한다. 나머지 철거된 거더에는 보강 공법을 직접 적용하여 파괴 및 피로 시험 수행을 통해 보수 보강 공법의 효과의 검증도 수행한다. 또한, 콘크리트 뿐만 아니라, 교량의 텐던과 철근의 노후화도 함께 철거 분해하여 실제 검증을 수행한다.

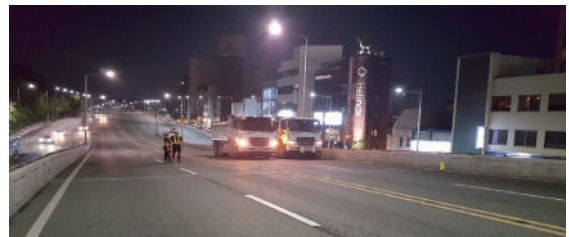
이러한 실증실험 이외에도 보수보강 상태의 모니터링을 위한 광섬유 센서 보강기술과 공용중 차량의 하중을 측정할 수 있는 WIM 시스템의 개발도 함께 수행되고 있다. [그림 10]에서는 노후교량 장수명화 연구단에서 수행하는 1개 교량 단위의 실증실험절차를 보여주고 있다. 앞으로 연구단에서는 총 6개 이상의 철거교량을 아래와 같은 절차로 실증실험을 수행할 계획을 갖고 있으며 현재 사용중인 공용중 교량도 다양한 실증실험을 수행할 예정이다.

[그림 10] 노후교량 실증실험 계획 및 절차

#### (1) 공용중 차량재하시험



#### (2) 공용중 다중데이터 모니터링 실험



#### (3) 현장 파괴실험장치



#### (4) 철거교량 슬래브 해체



(5) 철거교량 거더 해체



(6) 철거교량 거더 적재



(7) 철거교량 거더 운송



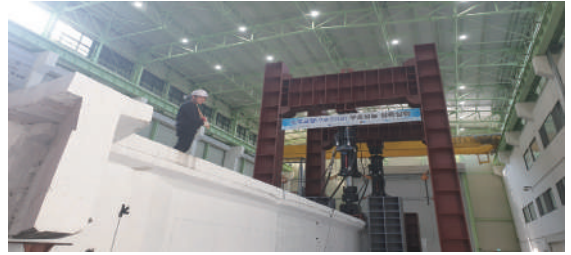
(8) 실증실험 항목별 분류



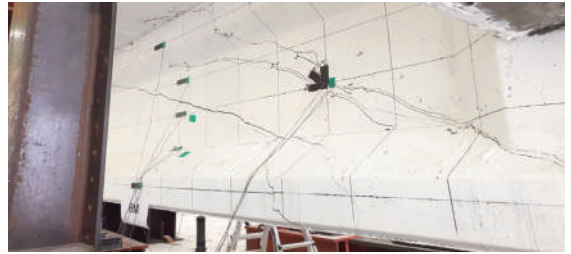
(9) 실증실험 준비



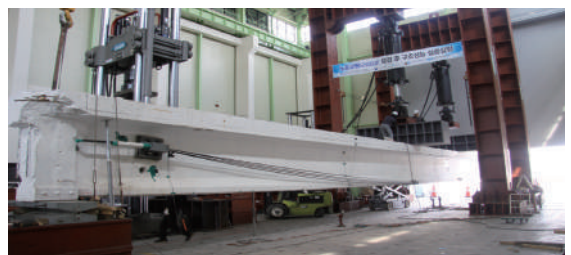
(10) 파괴실험



(11) 보수보강 후 파괴실험



(12) 보수보강 후 피로실험



(13) 거더 절단 및 코어링



(14) 다양한 비파괴 및 내구특성 실험



#### (15) 다양한 역학특성 실험



## 4. 맺음말

우리나라의 30년 이상 노후된 교량은 경간 50미터 이하의 중소 규모의 교량이 주를 이루고, 상부구조 형식은 강교 또는 강합성 보다는 콘크리트교량이 대부분을 차지한다. 이 교량 대부분은 2018년 개정된 시설물안전법의 분류체계에 의하면 법적인 안전망에서 벗어난 중의 시설물이 대부분이다.

그동안 노후화된 중소 콘크리트교량 대부분은 상태평가를 통한 보수보강을 지속적으로 수행해 왔으나 실증실험을 통한 검증이 수반되지 않아 실제의 성능과 보수보강 효과를 정확하게 정량화하여 평가하기 어려운 문제와 보수보강 시기에 대한 근거가 없었다. 그러나 효과적인 유지관리 비용산정을 위한 의사결정과 자산가치를 평가하기 위해서는 우선적으로 교량의 성능을 정확하게 평가하는 것이 필수적이라는 사실은 많은 해외 선진국의 사례 뿐만 아니라 국내 연구를 통해서도 확인되고 있다. 본 연구단에서는 사용하지 않고 방치된 폐교량이나 철거 교량을 해체하여 실험실로 직접 운송하거나 현장에서 파괴하는 실증실험과 정밀 재료실험을 함께 수행하여 정확한 노후교량의 성능평가 및 보수보강 공법 등을 제시할 예정이다.

이렇게 얻어진 데이터는 기존의 시설물 유지관리체계인 한국시설안전공단 FMS, 건설기술연구원의 BMS 등과 연계를 통해 노후교량의 유지관리를 위한 데이터베이스 시스템 구축 모델을 제시하고 빅데이터와 AI를 활용한 성능평가, 보수보강, 유지관리 등에 폭넓게 활용하고자 한다.

해외에서도 수행하기 어려운 실제 교량을 해체하고 직접 운반하여 실증실험을 수행하는 과정에는 교량관리주체의 안전문제에 대한 우려와 철거업체간의 일정 조율 등 많은 어려움이 있으나 국토교통부를 포함한 지방국토관리청에서는 선진화된 노후교량의 장수명화 기술력 확보를 위해서 노후교량의 실증연구가 충분한 가치가 있다고 판단하고 적극적인 협조와 관심을 보여주고 있다.

앞으로 연구단에서 확보되는 노후교량 성능 및 보수보강 평가 기술력은 유지관리의 예산절감, 안전성 확보 및 해외시장 진출에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## ※ 참고문헌

1. 김경현, 김동진, 임종권, 박미연, 이민재, 효율적인 도심지 교량관리를 위한 교량자산관리 체계 및 서비스수준(LOS) 개발을 위한 기초연구, 한국산학기술학회논문지, No. 17, Vol.5, 2016.
2. 박영석, 노후 인프라 시설물 '아직은 괜찮다' 자산할 수 있나, 한국건설산업연구원, 건설산업과 정책 4호, 2017.
3. 이동현, 김주엽, 지승규, 이상순, 김지원, 유지관리를 위한 교량 시설물 자산 평가 방법에 대한 연구, 한국도로학회 논문집, No.14, Vol.6, 2012.
4. 이상건, SOC가 건강해야 국가 발전도 보장된다, 한국건설산업연구원, 건설산업과 정책 4호, 2017.
5. 이상근, 서울시 노후기반시설의 성능개선 및 장수명화를 위한 법제 화, 대한토목학회 일반기사 No.64, Vol.11, 2016.
6. 이영환, 도시인프라시설의 노후화 실태 분석과 지속가능한 성능개선 및 장수명화를 위한 제언, 대한토목학회지, No.63, Vol.11
7. 채명진, 이규, 김정렬, 조문영, 국내외 사회기반시설물 자산관리 사례 분석을 통한 국내 발전 방안, 한국건설관리학회논문집, No.10, Vol.2, 2009.
8. 한국건설산업연구원, 서울시 인프라 시설의 안전 및 성능개선 정책방향 연구, 2015.

## WRITER INTRODUCTION

김현중 책임연구원은 한양대학교에서 현장적용을 위한 GFRP Slip-Form의 역학적 특성연구로 박사학위를 취득하였고, 한국도로공사 도로교통연구원에서 박사후연구원과 ㈜이제이텍 기술연구소 이사로 근무하며 특수교량의 Health Monitoring 분야를 주로 연구하였다. 2017년부터는 명지대학교 하이브리드구조실험센터의 책임연구원으로 재직하며 노후교량장수명화연구단 간사로 노후교량 실증연구 및 교량 유지관리 연구를 수행하고 있다.





## Connect, 엑스포 2020 두바이

글 김유림 / (주)넥스나인 대표 / 국제전시평론가 / 전화 02-2088-3888 / E-mail nexnine@gmail.com



과거 한반도와 중동은 '인센스 로드(Insenes Road)'라 불리는 길을 통해 많은 교류가 있었다. 특히 신라 시대에는 해상로를 통한 문화적 접촉이 있었고, 고려 시대에는 아랍인들의 집단촌이 형성돼 예궁이라는 모스크(Mosque)가 있었다고 전해질 정도로 역사적인 접점이 있어왔다.

현대에 들어와서도 1970년 사우디 고속도로 건설 등 각종 경제 협력이 이뤄졌다. 최근에는 용산국립중앙박물관에서 한국 사우디아라비아 전시회(2017년)가 개최되었으며, 또한 사우디아라비아에서는 한국문화전(2018년)이 개최되는 등 교류가 확대되고 있다. 특히 한류가 급격히 확산하면서 양 지역 간 교류는 더욱 빈번하고 긴밀해지고 있다.

아랍에미리트(UAE)의 두바이(Dubai)는 'MEASA(Middle East, Africa and South Asia)' 최초의 엑스포 개최국이자 세계에서 14번째 엑스포를 개최하는 나라다. '엑스포 2020 두바이(Expo 2020 Dubai)'는 2020년 10월 20일부터 2021년 4월 10일까지 개최되는데, 다른 엑스포와 마찬가지로 6개월간 진행될 예정이다. 특히, 중동 기후의 특성상 한여름을 피해서 가을에 시작하는 것은 매우 이례적이다. 엑스포 2020 두바이는 192개국 2,500만 명의 방문객이 참여할 것으로 예상하고 있다. 엑스포 총면적은 438ha(135만4,950평)의 역대 최대 수준으로 개최된다.

두바이 정부는 2016년 두바이 연간 예산 126억 달러의 36%에 해당하는 약 45억 달러를 두바이 엑스포를 준비하기 위한 사회기반시설을 위해 사용할 정도로 적극적인 지원을 하고 있다. 여기에는 지하철 확장 공사, 엑스포 부지 건설을 위한 대대적인 투자 등 엑스포 성공 개최를 위한 대대적인 건설과 투자가 포함돼 있다. 필자는 최근 두바이를 방문해 엑스포 개최 준비 상황을 둘러볼 기회가 있었다. 필자의 눈에 비친 미리보는 두바이 엑스포를 정리한다.

### 꽃잎(Fetal)

엑스포 2020 두바이 사이트의 건축 구조는 꽃모양인데, 꽃잎에 해당하는 3개 구역마다 앞서 말한 소주제가 있다. 각 참여국의 국가관에서는 국가별로 주제를 정하게 되는데, 해당 국가의 주제에 맞는 꽃잎 쪽에 배치된다. 다시 말해 각 국가관의 위치는 각 주제에 맞춰 꽃잎

방향의 외부에 배치될 예정이다. 대한민국의 국가관의 경우 모빌리티(Mobility)를 주제로 삼아 참여할 계획으로 있다.

### 주제(Theme)

엑스포 2020 두바이의 메인 주제는 'Connecting Minds, Creating the Future'이다. 한국어로는 '마음을 모아 미래를 창조한다'인데, 이는 빠르게 변화하는 세상의 요구에 맞춰 범세계적인 협업의 필요성을 강조하는 것이다. 소주제는 '기회(Opportunity), 모빌리티(Mobility), 지속가능성(Sustainability)'이다.

기회(Opportunity Pavilion)은 인류와 삶의 질을 보장하기 위한 17가지의 목표 달성에 기여하는 것을 수행하고자 하며, 모빌리티(Mobility Pavilion)은 사람, 정보, 아이디어의 활발한 이동이 오늘날의 첨단 혁신과 발전을 이룩하기까지 어떤 영향을 미쳤는가에 대해 탐구할 수 있는 공간이다. 지속가능성(Sustainability Pavilion)은 자연과 인간 사이의 상호작용에 대한 메시지를 전달하며, 방문객으로 하여금 지구 환경을 위해 필요한 인류의 역할에 대해 알리고, 인류가 더 나은 미래를 위한 변화의 매개체로서의 역할을 할 수 있게 하는 것을 목표로 하고 있다.

[그림 1] 기회(Opportunity Pavilion)



사진 : 엑스포 2020 두바이 조직위 제공

[그림 2] 모빌리티(Mobility Pavilion)



사진 : 엑스포 2020 두바이 조직위 제공

[그림 3] 지속가능성(Sustainability Pavilion)

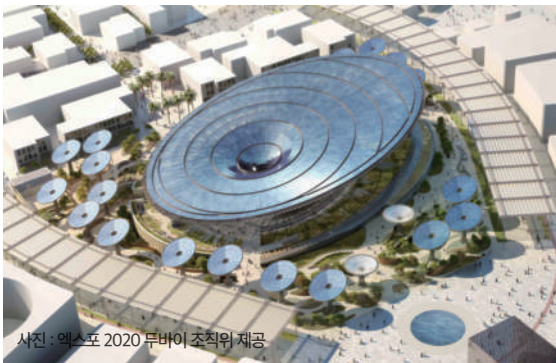


사진 : 엑스포 2020 두바이 조직위 제공

## 경제 효과(Economic Impact)

2019년 4월 발표된 보고서에 따르면 엑스포 2020 두바이는 아랍에미리트 경제에 약 AED1,226억의 경제 이익을 가져 올 것으로 예상하며, 최대 9만개의 일자리를 창출하고, GDP의 약 1.5%를 상승시킬 것으로 예상하고 있다.

## 국제 참가자 현황(International Participation)

이번 엑스포에서는 192개 국가의 국가관을 통해 세계의 문화와 첨단 기술을 접할 수 있다. 이는 2013년 두바이 엑스포 개최를 위한 입찰시 예상된 180개국을 능가하는 규모이다. 또한 다양한 형식과 창의적으로 해석한 건축을 만날 수 있다. 그 중 가장 큰 규모의 국가관은 엑스포 주최국인 UAE(1만 5,000m²)이고, 사우디아라비아(1만 1,000m²)가 두 번째다.

## 국가관(Country Pavilions)

엑스포 2020 두바이에 참가하는 모든 국가는 전세계 엑스포 역사상 처음으로 자체 전시관을 운영하게 될 예정이다. 이미 수십 개국에서 각국의 전시관 디자인, 테마, 관람객 체험 등에 대해 발표하고 있으며, 지속적으로 더 많은 국가관에 대한 정보가 공개될 예정이다. 각 국가

관은 엑스포 2020 주제에 맞게 혁신적이고, 창의적이며, 관람객에게 특별한 즐거움을 선사할 수 있도록 설계되었다.

예를 들어 사우디아라비아관은 지면에서부터 열리는 커다란 창문 형태의 건축물을 통해 국가의 찬란한 미래를 향한 희망과 국가의 비전을 형상화 시켰으며, 국가관 내부에선 사우디아라비아의 유산을 선보이고, 관람객에게는 사우디아라비아의 개방성을 보여줄 예정이다.

[그림 4] 사우디 공동관



사진 : 엑스포 2020 두바이 조직위 제공

브라질관은 아마존 열대 우림을 테마로 사막의 나라인 아랍에미리트에서 새롭게 재해석하여 선보일 예정이다. 아마존 강가의 풍경과 자연의 소리, 냄새 등을 경험할 수 있다.

[그림 5] 브라질 공동관



사진 : 엑스포 2020 두바이 조직위 제공

## 이벤트(Event)

엑스포 기간 중에는 주제관, 국가관 전시 외에도 다양한 이벤트가 개최 될 예정이다. 이벤트들은 마케팅 도시 두바이를 닮았다. 예를 들어 이벤트의 다수는 만찬을 포함한 네트워킹 컨셉으로 이뤄지며, 만찬권을 엑스포 입장권과 연결하여 판매하는 등 입장 유도에 있어서 다양하게 준비하는 모습이다. 아랍상인 특유의 상술을 느껴볼 수 있는 부분이기도 하다. 엑스포 2020 두바이에서는 200개 이상의 식음료 매장에서 전세계의 음식문화를 접할 수 있는 미식 여행의 데스티네이션이 될 것이다. 또한, 매일 60회 이상의 엑스포 라이브 이벤트가 개최 될 예정이다. 엑스포 참가국들은 각국의 음악과 춤, 미술, 문학에 이르기까지 다양한 문화 예술 분야의 프로그램을 제공할 것이다.

## 주간(Week)

엑스포 2020 두바이에서는 주제별 주간(Week)을 마련해, 주제에 맞는 행사를 기획하고 있다. 가령 환경 주간 기간에는 환경과 맞는 주제의 부대행사나 포럼 등을 개최하는 것이다. 산업별, 주제별로 심도 있는 논의와 네트워킹이 이뤄질 수 있도록 기획하고 있다.

## 마이스(MICE)

엑스포 2020 두바이 사이트 내에 총 4만5,000㎡ 규모의 전시장 '두바이 전시 센터(Dubai Exhibition Center)'를 짓는다. 이곳은 셀러브레이션 센터이기도 하다. 이곳에서는 지금까지 두바이에서 개최되던 전시 산업에 영향을 주지 않기 위해 기존에 개최되던 전시회가 아닌 새로운 주제의 전시회 컨셉만 가능하게 준비하고 있다. 특히, 엑스포 개최 이후에도 마이스(MICE) 산업의 중요성을 인지하여 전시장을 레거시(문화유산)로 남겨 18만㎡로 확대 증축할 예정으로 있다. 또한, 전시장 건축 구조에 있어 기둥이 없는 필라리스(Pillarless) 전시장으로서 가동율을 높이고, 전시장 운영 및 케이터링(Catering)을 포함한 제반 운영을 두바이 월드 트레이드 센터(Dubai World Trade Center)에서 맡아 기존 두바이 전시장과 자연스러운 공동 운영 형식을 띄게 된다. 해당 전시장은 엑스포 기간 중 마이스(MICE) 산업의 핵심 공간이 될 것이며, 전세계 비즈니스 방문객들을 불러모으는 핵심적 역할을 할 것으로 기대된다. 특히, 첨단 기술의 발전을 목표로 개최되는 2020 세계블록체인 컨퍼런스 등이 예정되어 있다.

## 수송(Transportation)

레드(Red) 라인으로 연결되는 메트로가 엑스포에 맞춰 개통한다. 또한, 차량 없이는 움직이기 어려운 환경에 맞춰 3만 2,000대의 차량을 주차할 수 있는 대형 주차장을 갖춘다. 엑스포 2020 두바이는 '엑스포 2010 상하이'와 비슷한 규모지만, 방문객은 상하이의 3분의 1 수준으로 예측하며, 수송 편의성 확보에 만전을 기하고 있다.

## 레거시(Legacy)

엑스포 종료 후에도 엑스포 소주제 중 하나인 지속 가능성의 취지에 걸맞게 엑스포가 끝난 후에도 대부분의 주요 건물은 허물지 않는데, 과학관으로 개조하여 사용하는 등 그대로 남기게 된다. 이를 통하여 엑스포가 이룩한 물리적, 경제적, 사회적 명성을 지역 문화 유산의 기반으로 삼을 계획이다.

## District 2020

엑스포 건축물의 80% 이상은 District 2020으로 남아 보존될 예정이다. 6만 5,000평방미터의 주거 공간과 13만 5,000평방미터의 상업 공간으로 구성된 이곳은 혁신, 교육, 문화 및 엔터테인먼트 시설이 들

어서게 될 예정이다. 공식 프리미엄 파트너인 에센츄어(Accenture), DP World, 지멘스(Siemens)는 District 2020에 입주할 것을 확정했다. 또한, 지속가능성 파빌리온은 엑스포 이후 어린이 과학 센터로 활용될 예정이다. 알 와슬 플라자와 모빌리티 파빌리온을 포함한 엑스포 주요 구조물들은 District 2020내에 영구히 보존될 예정이다.

[그림 6] 국제 공식 엑스포인 '엑스포 2020 두바이(Expo 2020 Dubai)'



## 연결(Connection)

엑스포장 메인 입구에는 알 와슬(Al Wasl)이라는 이름의 공공 공간(Public Area)이 구성되며, 기념식을 비롯한 주요 행사가 개최되는 핵심적 역할을 하는 건축물이다. 알 와슬은 아랍어에서 따온 이름으로 '연결(Connection)'이라는 의미이다.

행사장 지붕에 설치된 강철 소재의 돔 건축물은 행사장을 360도 투영할 수 있도록 설계되었다. 정밀 건축 공학을 활용하여 만든 550톤에 이르는 지붕은 2019년 9월 완공되었으며 수백명의 기술자가 건설 현장에 투입되었다. 이곳에는 아랍에미리트 최초의 오페라 공연 예인 행사장을 조성할 계획이며, 2020년 10월 초 공연 될 예정이다.

환경이라고는 대부분 사막뿐인 척박한 땅에서 지속 가능성을 이야기하고 또 실천하고자 하는 노력과 늦게까지 정신없이 뛰어다니는 조직위의 모습을 보니 성공적인 엑스포 개최에 대한 열정이 느껴진다.

시대적으로 어렵고, 또 지역적으로도 어려운 환경 속에서 어려운 주제로 풀어나가는 엑스포인 만큼 사막의 신기루처럼 사라지는 것이 아니라 연결되는 것이기를 바란다. 필자는 앞으로 엑스포 2020 두바이의 개최 준비는 물론 엑스포 개최 현장, 그리고 그 이후까지 집중해서 들여다 볼 예정이다. 2020년 중동과 대한민국은 어떻게 '연결'될 것인가?

## WRITER INTRODUCTION

김유림 대표는(주)넥스나인, 넥스페어의 대표이사이자, 중국스포츠포산업연합회 한국 지부 대표이다. 두바이 통치자가 운영하는 알파제르 그룹(Al Fajer Group)의 극동아시아 전략 파트너사이며, 카타르 민간대사를 역임하고 있다. 국제 전시 평론가로 활동하며, 한국무역전시학회 부회장, 한국 마이스 협회 이사, 경기 체육회 이사를 역임하고 있으며, 저서로는<마이스는 살아있다>가 있다. 비정규 지구별 탐험을 하고 있으며 유튜브 채널MICE LIVE 크리에이터이기도 하다.



# 2020년 두바이 엑스포 한국관 'MOBILE MASSITY(모바일 매시티)'



글 문 훈 / 문훈발전소 크리에이티브 디렉터 / 무유기 건축사 사무소 디자인 디렉터 / 전화 02-579-0916 / E-mail office@myk.kr

## 2020 Dubai Expo Korean Pavilion

|          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 설계       | 무유기 건축사 사무소, 문훈, 윤성봉, 김동규                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 설계담당     | 박기범, 박상혁, 김민성, 조윤주, 최상민, 박지원<br>• 기본설계 : 무유기 건축사 사무소, 문훈, 윤성봉, 김동규<br>• 실시설계 : Archcorp architectural engineering                                                                                                                                                                                            |
| 위치       | UAE, Dubai, Jebel Ali Expo Site, Mobility Zone, District C.79                                                                                                                                                                                                                                                |
| 대지면적     | 4,651.4m <sup>2</sup><br>• Build Up Area : 6,558.24m <sup>2</sup> / 1,983.87평<br>• Gross Floor Area : 6,142.92m <sup>2</sup> / 1,858.23평                                                                                                                                                                     |
| 규모       | 지하1층 ~ 지상3층<br>• 지하1층 (Lower Ground Floor) : 1,557.66m <sup>2</sup> / 471.19평<br>• 지층 (Ground Floor) : 2,382.52m <sup>2</sup> / 720.71평<br>• 지상1층 (1st Floor) : 737.27m <sup>2</sup> / 223.02평<br>• 지상2층 (2nd Floor) : 975.03m <sup>2</sup> / 294.95평<br>• 지상3층 (3rd Floor) : 905.76m <sup>2</sup> / 273.99평 |
| 최고 높이    | 25.90m                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 구조       | 철골조, RC조                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 외부/내부 마감 | 회전큐브, 큐브 하우스형 메탈패널 위 도장, 이중유리<br>(Front 큐브 : 15977개, Back 패널 : 19337개)                                                                                                                                                                                                                                       |
| A.O.R    | Archcorp architectural engineering                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 구조       | SDM Partners / Archcorp architectural engineering                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 설비/전기    | Archcorp architectural engineering                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 전시       | INNOCEAN                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 시공       | 쌍용건설(주)                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 설계기간     | 2018.10 ~ 2019. 9                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Client   | 대한무역투자진흥공사(Kotra)                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

2020 두바이 엑스포 한국관에 대한 단편적인 생각들이 모여서 1,570개 회전큐브의 군무처럼 얹혀지면 좋겠다.

### 사막의 꽃(Desert Flower)

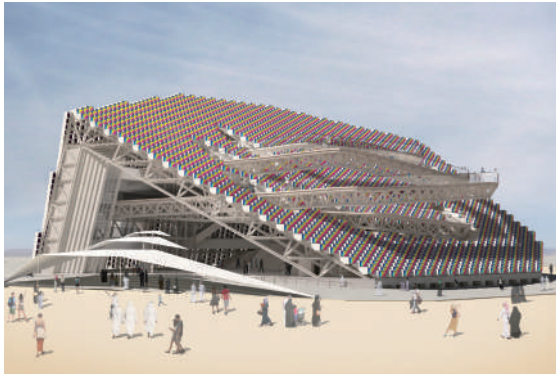
새벽에 내린 이슬방울들이 꽃잎에 앉아있다. 동이 트며 살포시 드러난 햇빛조각에 물방울들은 반짝반짝 거린다. 잠실체육관 관중석엔 엄청난 규모의 스마트폰 불빛 장관이 펼쳐지고, 북녘 땅

동포들의 카드섹션은 잊혀진 일사분란에 대한 감동을 새롭고 낮설게 전달하고 있다. 가수 변진섭이 “새들은 왜 날아가나” 하고 열창할 때, 이미 새들은 오랜 세월동안, 그리고 지금도 군무를 자랑하고 있고, 바다 속 생명체들도 군집하여 어지럽도록 춤을 추고 있다. ‘야! 바로 이것이다’ 하며 나도 모르게 손뼉을 친다. 거대한 스타디움 관중석을 닮은 건물과, 그 표면에 뻘뻘이 자리 잡은 회전큐브들이 떠오른다. 어디선가 바람이 불어오고, 오랜 세월 모래아래 머물렀던 피라미드가 슬슬 모습을 드러내기 시작하더니, 어느덧 자연스레 자리를 잡고 위용을 떨친다. 한참 침묵의 시간이 흐른 뒤, 거대한 토네이도를 닮은 모래바람이 주변을 휩쓰는가 싶더니 어느덧 실내에 들어와서 나선 램프로 변신, 빙글빙글 돌면서 모든 요소들을 연결한다. 스르륵 스쳐 지나간 백일몽이, 하나의 비전(Vision)이 되어 스스로를 드러낸다.

### 미라지와 미라클(Mirage and Miracle)

세상에 영원한 것은 없지만, 막상 완공된 후 6개월 만에 사라져야 하는 운명을 지닌 엑스포 한국관은(모든 국가관의 운명임) 마치 티벳 승려들의 만다라(Mandala) 의식을 상기시킨다. 그들은 매년 몇주에 걸쳐 화려한 색감의 가루로 엄청 세심하게 만다라를 만든 후, 얼마 시간이 경과하지도 않았을 때, 만다라를 바람이 휘몰아치는 밖으로 옮긴다. 휘리릭 하고, 만다라의 모습은 흩어지면서 사라지고, 그 기억들만 사람들에게 남게 되는데, 아마 이 기억이야말로 계속 전달되어, 오히려 역설적으로 영원의 영역으로 다가가는 게 아닐까 싶다는 생각을 해본다. 아랍에 펼쳐진 사막들은 바람에 의해, 수시로 형태와 모습이 바뀐다. 항상 변화 속에 있고, 단 한 번도 같은 풍경을 목격 할 수 없을 지언데, 동시에 비슷해서 구별하기 어렵고, 미세한 변화로 인해 반복의 연속체로써 느껴지기도 한다. 이렇게 척박하면서 단색조인 환경에서, 우리의 의식은 환영이나 기적(Miracle)을 만들어내고, 또한 신기루(Mirage)를 만들어 내는 게 아닌가 싶다. 이러하듯 한국관도 기적처럼 많은 관객을 감동시키고, 신기루처럼 사라져서 많은 사람들의 기억속에 남기를 바란다.

[그림 1] 전체 투시도



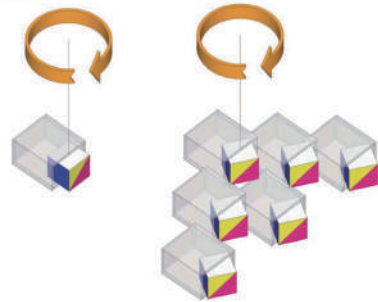
2010년 상하이 엑스포에서는 매우 독특한 전시관들이 명성을 떨쳤는데, 그중에서도 특히 헤더윅(Heatherwick)이라는 걸출한 인물이 디자인한 영국관이 인기가 매우 높았다. 가장 인상적이고, 다른 국가관과 차별화 되었던 부분은, 건물 내 외부가 하나의 주제, 즉 씨앗을 담고 있다는 것이었고, 씨앗을 담고 전시하는 방식 자체가 전시관이 되었다는 것이었다. 즉 한 방이 있었고, 그 한 방이 전달하는 파급력이 컸다는 것이었다. 이번 한국관에서는 건물자체 외부에 전시내용과 정보를 전달하는 회전큐브 군집과 움직임을 기본으로 하고, 더불어 그 정보와 이미지 사이를 근접해서 경험해 볼 수 있는 램프장치까지 디자인되어 있기에, 여태까지 한번도 경험하지 못한 새로운 형식의 몰입(Immersion)과 감동을 관객들에게 제공해 보려고 한다.

### 모바일 매시티(Mobile Massity)

애플 한국관의 제목에 쓰인, 이해가 잘 안되는 두 단어의 낯선 조합을 풀어보면, 우선 “모바일”은, 자유롭게 움직일 수 있다는 표현의 형용사에서 시작한 단어가 현재는 무선 통신 특히 스마트폰(Mobile phone)기술과 밀접한 관련이 있는 뜻으로 통용되고 있음을 따랐고, 신조어인 “매시티”는, “매스(Mass)”라는 단어, 즉 질량이라는 뜻이 있지만, 그 보다는 대중이라는 뜻에다 접미사 “ity”를 붙임으로써, 대중들이 지도자 없이도 한 덩어리가 되어 움직이는 모습을 표현한 고안된 단어이다. 즉 무선통신 기술의 발달과 인터넷 속도의 물리적 거리감이 사라지고, 소통과 반응시간이 매우 빠르고, 시시각각의 변화에 잘 적응하는, 이시대의 한국인의 모습을 표현해 본 것이다. “빨리빨리”로 표현 될 수 있는 우리의 근성과 속도감이 시대의 기술력과 잘 어울려져서 엄청난 시너지를 발휘하고 있다.

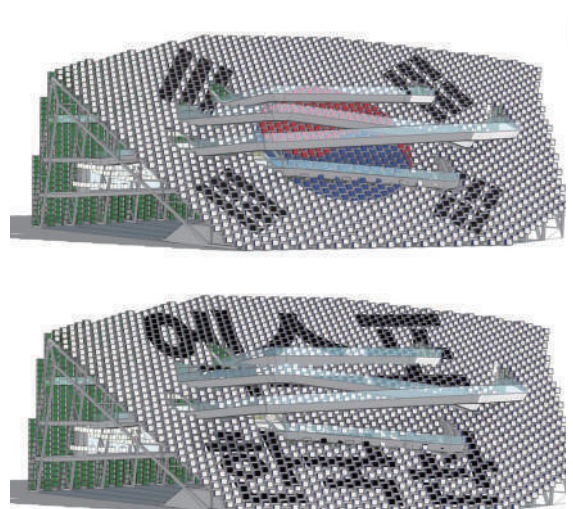
### 회전큐브~빙글빙글 돌고(Spin Cube)

[그림 2] 회전 큐브 다이어그램



우린 흔히 매우 기쁜 일을 맞이하면 얼싸안고 빙빙 도는 경우들을 볼 수 있다. 1980 ~ 90년대 한참 유행하던 실내 롤러스케이팅장에서는 젊은이들이 당대 최절정의 인기를 누리던 가수 나미의 “빙글빙글”에 맞추어서 춤을 추며 빙빙도는 장면을 떠올려 본다. 이와 같은 에너지를 바탕으로 한국관의 복측, 경사진 주 입면에는 1,570여개의 회전큐브가 자리 잡을 예정이다. 회전큐브의 크기는 가로 세로 높이 모두 600mm 인 정육면체로 구성되어있고, 내부에는 회전력을 위한 전기모터가 자리 잡고 있고, 또한 저면에는 빛을 발할 수 있도록 작은 엘이디(LED) 등이 포함되어 있다. 정육면체 여섯 면 중에서, 윗면과 고정을 위한 아랫면을 뺀 나머지 4면 중 3면은 각각 2가지 대비되는 색으로 마감되어있고, 나머지 1면은 엘이디 판넬(LED Panel)로 이루어져 있다. 원래 계획에는 4면 모두 색조면 이었는데, 전시팀과의 협업 중에, 표현 다양성에 대한 제안으로 한 면을 디지털로 바꾸자는 의견에, 관련자 모두들 흔쾌히 받아들였다.

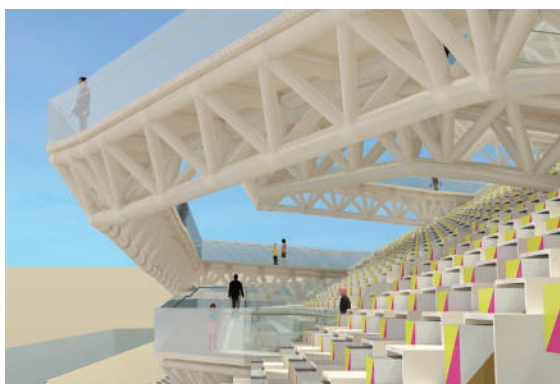
[그림 3] 회전큐브 장면 개념 다이어그램



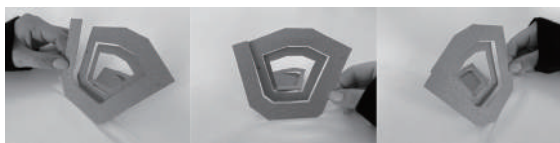
회전큐브는 각기 다른 속도와 방향으로 회전 할 수 있도록 고안되어 있고, 컴퓨터 프로그램을 통해 어떠한 텍스트나 이미지도 만들어 낼 수 있다. 단 개수가 많지 않은 관계로 해상도나 표현력에는 한계를 가지는 것처럼 보이지만, 바로 이 부분을 장점으로 돌리고자 한다. 즉 넘쳐나는, 갈수록 고해상도로 진화하는 2차원적인 거대 전광판은 서울을 비롯, 전 세계 유수의 도시에선 흔히 볼 수 있는 식상한 풍경이고, 한국관에서는 그와는 달리 경사진 거대한 높이 27미터 폭 60미터 이상 되는 면이 아날로그와 디지털 혼성 큐브의 움직임으로 인해서 입체적으로 변화하게 된다. 건축이 여타 예술과 가장 다른 면이 있다면 아마도 규모, 스케일 일 것이다. 그래서, 회전큐브로 꼭 찬 주 입면은 압도적 스케일로 원거리와 근거리 관객 모두에게 새로운 경험을 선사 할 것으로 기대하고 있다.

## 공중 램프와 스파이럴(Skywalk Ramp and Spiral)

[그림 4] 램프에서 바라본 풍경



[그림 5] 컨셉 모형



네델란드 화가 브뤼젤이 그린 바벨탑을 보면, 건물 외곽으로 나선형태의 오르막이 만들어져 있는것을 볼 수 있다. 또한 이라크에 현존하는 사마라 신전의 나선 미나렛을 보아도 회전하면서 오르는 외부 램프가 중요한 기능적, 형태적 요소로 작용되고 있음을 알 수 있다. 20세기 초 지어진 뉴욕의 구겐하임 미술관을 보아도 나선램프가, 전시 동선으로 쓰여지고 있고, 최근에 지어진 독일 베를린 시청사 윗부분에도, 나선 경사 램프가 전망대 역할을 하고 있다. 미시세계로 들어가 보아도 우리 세포속 DNA도 이중나선 구조를 띄고 있고, 지구 또한 태양주위를 돌면서 입체적인 나선 형태를 그리고 공전하고 있고, 더 멀리 바라보면, 거대한

은하계마저도 나선 구조인 경우가 많다. 이렇게 장황한 이야기를 하는 이유는, 살아있는 모든 생명체, 혹은 비 생명체는 각기 다른 속도로 회전하고 있으며, 그러한 나선 운동을 통하여 생명력을, 즉 활기를 유지하고 있다는 것이다. 이러한 이해를 바탕으로 한국관의 공중램프도, 한국관 내부만을 보는 장소가 아니라, 경계를 넘어서 다른 국가관을 바라 볼 수 있는 장소가 됨으로써 각기 다른 문화를 가진 사람들이 하나의 거대한 생명력으로 화합되는 하나의 연결된 세상에 대한 경험을 할 수 있는 장이 되기를 기원해 본다.

## 공중 램프와 증강현실(Skywalk Ramp and Augmented Reality)

550여 미터에 달하는 4개의 램프, 온탕 냉탕의 경계를 넘나드는, 논리적인 동선에서 벗어나 보이는, 사건 혹은 실수가 함유된 것 같은, 2.4미터의 폭을 자랑하는, 그리고 건물 밖으로 너무 많이 튀어나와 불안해 보이기까지도 하는 이 램프는, 회전큐브와 그를 담는 큐브하우스 수천개와 함께 한국관의 인상을 좌우하는 중요한 요소이다. 우선 구겐하임 미술관에서 그랬듯이 움직이는 동선과, 전시장 역할을 동시에 할 수 있도록 계획되어 있다. 단 이번 한국관에서는 물리적인 전시품을 보는 곳이 아니라, 최신 모바일 기술을 통한 증강현실 기법으로 전시물, 혹은 공간을 간접 체험할 수 있도록 기획되었다. 즉 관람객이 지닌 스마트 폰을 이용하여, 각자가 다양한 방식으로 램프 주변의 허공에서 전시물을 체험하도록 하는 것이다. 아마도 조금 더 많은 시간과 에너지를 투입한다면, 한때 인기를 끌었던 “포켓몬”처럼, 추억의 게임 “동키콩”을 입체로 경험해 볼 수도 있지 않을까 생각해본다.

## 앗! 이건 무언이고...TMD

당선 후 여기저기에서 나온 이야기 중에 하나가, 램프가 건물 밖으로 너무 튀어나와 기둥이 필요해 보인다, 램프가 덜 튀어나오게 하거나 아니면 램프 개수를 줄여야 하지 않나 하는 등 걱정 어린 말씀들과 반응이 있었고 심지어는, 건축가가 구조를 너무 모르고 설계해서 당선안이 그림이라고 말씀하신 전문가도 있었다. 하지만 다행스럽게도, 모든분들의 걱정 덕분에 램프가 처음 계획했던 것과 크게 다르지 않은 상태로 마무리 설계가 될 수 있었다, 단 램프 하부구조가 막힌 형강 구조에서, 두 배 정도 두꺼워진 트러스 구조 형태로 바뀌긴 했지만, 오히려 전체 모습에서는 더욱 만족스럽고 솔직하게 표현된 것 같아서 기쁘다. 현대 복병이 숨어 있었다. 우선 실시설계작업이 두바이 현지건축사의 협업 하에 이루어지고 있고, 현지 관청 및 엑스포 담당부서의 관계자들과 소통을 하고 있는 차에, 한국관 구조에 대한 많은 의구심과 질문들이 두바이 관청 구조 담당자로부터 나오는 것이었다. 철골 기준부터 시작해서, 안정성,



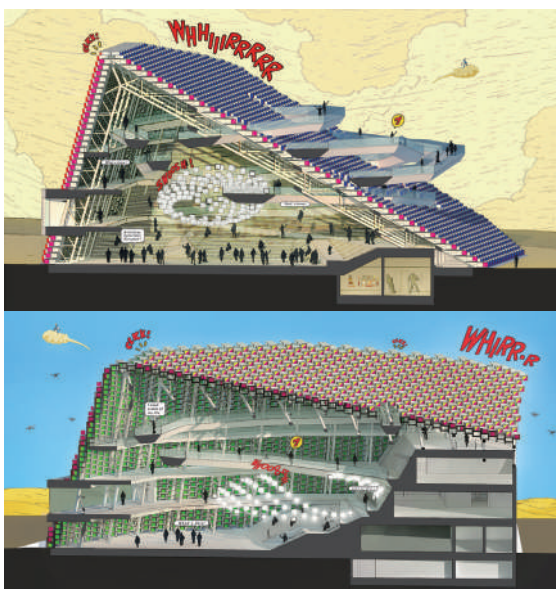
특히 램프에 대한 불안감을 감추지 않았고, 여러 번 회신을 통해 소통하여, 겨우 허가를 받는가 싶었는데, 우리가 간과하고 있었던 램프 진동에 대한 이야기가 나오면서부터 모든 과정이 멈출 수도 있는 상황이 벌어졌다. 모든 철골부재가 엮여져 있어서, 부분의 조정은 전체 수정으로 확대될 수 있는 진퇴양난의 상황으로 치닫고 있었다. 다행이 수소문 끝에 설계변경이 아닌, 댐퍼(TMD, Tuned Mass Damper)를 램프 판 하부 몇몇 지점에 설치해서 해결하는 방식으로 진동을 잡을 수 있음이 판명되었고, 정말 다행스럽게도 그 복병은 멀리 보낼 수 있게 되었다.

### 바람에 반응하다(Wind Flap)

남측사면, 즉 한국관 뒤쪽은 정면에 비해 경사도 심하고, 빛이 많이 드는 곳이다. 처음 설계할 때는 모든 곳에 회전큐브를 설치하는 것으로 출발하였으나, 공사비를 감안하여 다른 방식의 해결안을 마련하기도 했다. 사막에도 바람이 부니, 바람에 반응할 수 있도록 움직이는 판을 설치해서, 정면의 인위적 움직임과 대비를 이루도록 했다. 판의 크기도 판이 자리 잡을 수 있는 큐브 하우스와의 틈도 최소로 계획하여, 강렬한 햇빛을 대부분 차단할 수 있도록 고안되었다. 허나, 항상 설계자는, 특히 한국적 상황에서, 공사 예산과 충돌하는 경우가 빈번하듯이 이번에도 예외는 아니었다. 결국 공사예산에 맞추어 바람에 반응하는 판은 반응할 수 없는 고정판이 되어야 하는 운명에 처하게 되었다. 안타깝도대!

### 거대한 텐트(Colossal Tent)

[그림 6] 단면 개념도

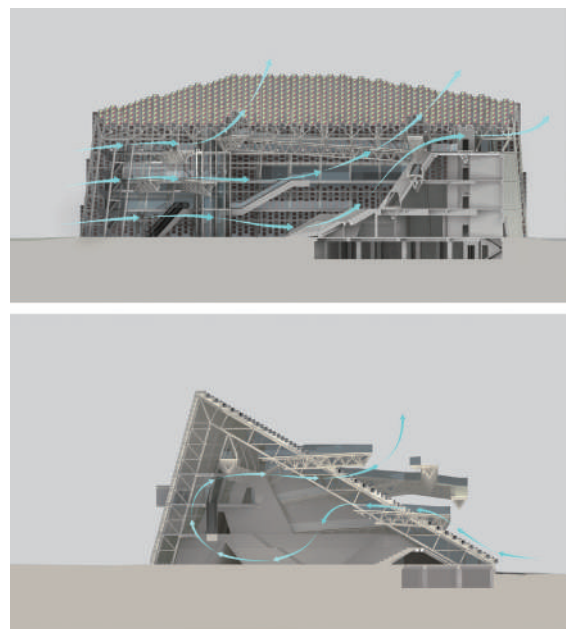


유목민들은 자주 이동하는 특성 때문에, 그들이 거주하는 집마저도 가볍고 이동이 용이한 재료와 쉽게 구축과 해체를 할 수 있는 형식을 갖추게 되는데, 이게 바로 텐트라고 할 수 있다. 어쩌면 한국관도 6개월 사용 후 해체될 운명을 지니고 있기에 주로 철골로 제작되어 구축과 해체가 용이하도록 계획되었고, 형태도 환기가 잘되는 A형 텐트를 많이 닮아있다.

회전큐브와 윈드 플랩이 자리 잡은 북측과 남측 경사면은, 그들이 고정될 수 있도록 고안된 수천여개의 큐브 하우스가 자리 잡고 있다. 남측은 경사가 비교적 완만하며, 큐브 하우스의 깊이가 꽤 되는 반면 북측은 훨씬 얇은 형태로 구성되어 있다. 내부로 들어가서 북측과 남측 면을 바라보게 되면 큐브 하우스 틈들로 빛과 공기가 들어 올수 있는 것을 알 수 있다. 즉 하우스 큐브로 이루어진 남북 경사 입면은, 회전큐브와 윈드 플랩의 고정장소 이면서, 동시에 빛과 바람의 유입을 조절하는 필터역할을 하고 있는 것이다. 두바이의 전통건축을 방문해 보면, 외부마당에 나무와 천을 이용하여 빛을 조절하면서 동시에 매우 분위기 있게 만들어 놓은 공간들을 볼 수 있는데, 이와 같은 모습을 현대적으로 재해석한 아부다비의 루브르 박물관에서도 이러한 분위기를 보다 큰 스케일로써 경험해 볼 수 있다. 이와 마찬가지로 한국관도 내부공간에 들어오면 필터링된 빛과 바람을 느낄 수 있고 더불어 회전큐브의 움직임에 의해 발생하는 다양한 오감 체험을 할 수 있도록 계획되었다.

### 전이 공간(Intermediate Space)

[그림 7] 자연 환기 다이어그램



한국관의 큰 특징 중 하나는 절반 이상의 내부 공간이 완전히 실내도 외부도 아닌, 전이공간적인 성격을 띠는 것이다. 다시 말해 날씨에 대한 일부 보호기능이 있을 뿐 햇빛과 바람 등 외부환경과 매우 밀접한 공간으로 계획 되어졌다. 사실 한국 전통 건축물을 보아도 대청을 비롯, 처마 및 툇마루 공간 등 외기와 바로 통하는 전이공간들이 많은데, 이는 건축물의 경계를 단절로 보지 않고 소통으로 보는 태도에서 출발한 것이라고 볼 수 있다. 한 여름의 두바이는 거의 습식 사우나에 있는 것처럼 찜기 때문에 밖에 나가는 것이 매우 불쾌하고 힘든 일이지만, 겨울에 접어들면 외부 활동을 하기에 적합한 날씨로 변화한다. 이런 날씨를 의식한 듯 두바이 곳곳에는 외부공간이 최소한의 차양으로 이루어진 신축 물(Mall) 들도 있고, 해변가나 강가에도 차양을 지닌 외부 데크 공간들도 많다. 각이 다른 주경사면 틈에서 들어오는 빛은 시간대에 따라 내부공간을 다양한 분위기로 연출할 예정이며, 가끔씩 부는 바람도 시시각각 내부 공간의 온도 조절에도 영향을 미칠 것이다.

### 땅모양에서 출발하다(Irregular Site)

한국관이 자리 잡은 땅은 불규칙한 칠각형 형태이다. 공모전에 참여했던 제안을 보면 대부분 상징성 혹은 완결성을 지닌 원 혹은 직각형태가 많았다. 물론 이러한 형태는 공사도 훨씬 쉬우리라고 예상할 수 있다. 불규칙한 칠각형 면을 북측에서 고정하고 남측 면을 대지 내 최대 허용 높이로 올리면, 한국관의 기본적인 형태가 드러난다. 동측으로는 활짝 열린 주 진입 면이, 서측은 닫혀있고 작은 개구부만 내어 VIP 동선으로 제공한다. 땅의 필지 형태를 따르는 데는 몇 가지 장점이 있는데, 우선 의도를 접어둔 채 전체 형태를 자연스럽게 획득하여, 기존에 가지고 있는 형태감각을 뛰어 넘을 수 있는 장점이 있고, 직각이나 중심이 강한 도형에서부터 자유로워짐으로써 보다 유연하게 공간을 배치해 볼 수 있다. 물론 기능과 효율만 따진다면, 그리고 통제가 가장 중요한 공간이라면 위와 같은 형태가 유리하겠지만, 특별한 전시 경험을 제공한다는 의미에선 다소 불규칙한 공간이 유리하게 작동하기도 한다.

### 크게 열다(Large Opening)

[그림 8] Ground Floor (지상1층) - 내부 진입 마당 최종 디자인



[그림 9] Ground Floor (지상1층) - 내부 진입 마당 초기 디자인



주진입 공간 앞에 서면 거대한 예각삼각형 입구가 보이는데, 여느 건물과 달리 전체가 개방되어 있다. 모두에게 개방하겠다는 뜻이며, 밖에서도 들여다 볼 수 있다는 개방적인 태도의 건축적 표현이다. 여기를 지나면 대형 공간이 나오는데, 이를 “진입마당”이라고 부른다. 이 진입마당의 원래 의도는 말 그대로 비어져 있는 넓은 공간으로써, 공연 및 잔치 등을 할 수 있는 장소로 보았다. 여기서 2층으로 올라가는 엘리베이터와 에스컬레이터가 자리 잡고있고, 전시팀에서 기획한 안내공간이 자리잡게 된다. 눈을 위쪽으로 돌리면 다양하게 연결된 전시 램프들이 보이고 그 너머에는 앉을 수 있는 스탠드와 그리고 연속 계단처럼 보이는 실내 벽체가 드러나게 된다.

### 쿨시트(Cool Seat)

두바이의 여름은 너무 덥고 습하기 때문에 대부분의 경우 실내에서 주로 지내게 되는데, 겨울이 다가오면 언제 그랬냐는 듯이 충분히 선선해져서 야외 활동도 충분히 가능해진다. 그러나 기본적으로 사막 기후를 가진 곳기에 외부 공간에도 에어컨디셔너가 설치된 것을 자주 볼 수 있다. 우연히 방문했던 몰 외부에 있는 벤치에 앉았는데 종아리 부분이 시원해지는 것이다. 그래서 고개를 돌려 아래를 살펴보니, 찬바람이 나오고 있는 것이었다. 그래서 이 아이디어를 응용해서 한국관 진입마당 주변에 계획된 스탠드 수직면에 구멍을 뚫고, 그 뒤에서 차가운 공기가 공급되도록 설계한 후 “쿨시트”라고 명명하였다. 상대적으로 차가운 스탠드 바닥에 앉아서 거대한 구멍 송풍 텐트를 감상해 보는 것이다.

### 피라미드(Pyramid)

[그림 10] 피라미드





오를 수 없는 가파른 계단 형식으로 마감된 동측면과, 건물이 투명하다고 가정하고 서측외부에서 보았을 때 보여지는 철골구조물을 패턴으로 표현한 입면을 가진, 실내가 분명히 있는 공간 덩어리를 우리는 피라미드 라고 부르기로 했다. 이 피라미드 지층과 1층의 일부는 크게 뚫려 있는 부분이 있고, 주요 전시공간으로 쓰일 예정이며, 2층에는 주방이 계획되어 있다.

메인 삼각형 트러스는 단순한 형태이지만, 피라미드의 복잡한 형태 때문에 철골의 접점들에서 많은 어려움이 발생되었다. 더불어 램프가 내·외부 공간을 관통하면서 사방에서 충돌을 일으키고 있어서 더더욱 복잡한 접점들이 생겼고, 수없이 많은 구조계산과 부재 조정을 통하였지만, 아직까지도 철골 제작 업체와 세세한 협의를 진행하고 있는 상태이다. 16개의 예각삼각형 메인 트러스가 세워지고, 그 하부에 피라미드는 독립된 별도의 건물로 설계되어 있다. 4개의 램프 또한 독립적이면서도 메인트러스, 피라미드와 연결된 구조로 되어있다. 메인트러스는 지하 콘크리트 구조물이 지지하게 되는데, 지하에는 사무실과 기계 전기실 그리고 창고가 자리 잡고 있다.

### 사막색 (Desert Color)

아랍에미레이트를 처음 방문한건 2012년 경이었는데, 그 당시 아부다비에 지어진 유명한 건물을 보면서 가장 크게 와닿은 부분은 건물 표면에 많은 모래가 쌓여있다는 것이었다, 물론 그 건물이 하얀색이어서 더 모래가 잘 보였을 것이다. 그 이후 두바이에 와서도 전통 건축, 현대건축물을 포함해 많은 건축물들이 사막색으로 칠해져있다는 것을 알게 되었고, 이 색이야말로 이 지역, 풍토와 잘 어울린다고 생각을 하게 되었다. 이러한 이해를 바탕으로 한국관 기본색을 사막색으로 정하는 데는 큰 갈등이 없었다. 또한 철골구조, 트러스, 큐브 하우스 등 면이 작고, 다양한 형태들을 연결해주는 공통분모로 단색을 선택하였고, 반대로 화려한 화진 큐브는 3원색의 조합들로 칠해지고, 윈드 플랩은 태양을 상징하는 금색과 적색으로 칠해질 예정이다. 금색과 적색은 엘리베이터 홀과 화장실 실내에 적극적으로 쓰일 예정이다.

그 외 내부 공간 대부분과, 건물의 인상을 좌우 할 수 있는 내·외부 난간의 경우 어두운 진회색 계열로 칠해지도록 계획되었다.

### 현지업체와 협업한다는 것(Collaboration with Locals)

2019년 1월 불안하고 불확실한 마음상태로 두바이에 출장을 오게 되었다. 용건은 다름이 아닌 현지에서 협업할 건축사사무소를 찾는 일이었다. 두바이에 건축경험이 있는 해외 건축가 친구들이 소개한 업체와, 코트라에서 제공한 건축사사무소 리스트를 들고 왔지만 만나보기 전에는 아무것도 알 수 없는 백지 상태와 다름이 없었다. 정확히 기억이 나진 않지만 이틀에 걸쳐 열 개 정도의 업체를 방문해서 담당자들과 회의를 했고, 너무나도 다양한 크기, 국적의 회사들이 포진해 있어서 매우 어지러운 상황이었다. 영국, 미국, 호주, 남아메리카 공화국 사람들이 이끌어가는 업체들이 있었고, 아랍에미리트, 혹은 주변 아랍국 사람들이 리더인 회사도 있었고, 파키스탄인 혹은 필리핀과 아랍의 조합인 회사들도 방문하게 되었다. 또한 한 회사는 그리스인이 주축이 되는 곳도 있었다. 큰 회사들은 시설도 뽕뽕했고, 인원이 많았으며, 중간 규모의 회사들도 비교적 안정적으로 보였고, 일부 사무소들은 부동산이거나 디벨롭퍼 사무실처럼 보이기도 했다. 대부분 적극적으로 한국관의 협력자를 자청 했지만, 결국비용이 문제가 되었다. 다양한 회사들과 미팅을 해본 결과, 기본도면을 한국에서 제작하고, 나머지 부분은 현지에서 작업하는 게 가장 효율적이라는 판단이 섰고(법규적인 상황과 각종 기준들의 차이가 많다.) 그에 따라 움직일 수 밖에 없었다. 결국 칼라트라바 라는 세계적 명성의 건축가와 협업을 하는 업체가 가장 적극적면서도 잘 화합할 수 있는 맴파워로 구성되어 있었지만, 결국은 차선으로 스위스와 오만관을 하고 있는 파키스탄 건축가가 리더인 회사와 계약을 하게 되었다. 계약당시 100여명의 직원이 설계뿐만 아니라 구조, 전기설비, 등을 맡고 있었고, 이 덕에 그나마 쫓기면서도 시간 내에 도면을 납품 할수 있지 않았나 생각해 본다. 협업을 해본 결과, 결국 소통이 가장 중요하고, 다른 문화권이 가지는 특성을 존중하고 이해해야만 오해없이 부드럽게 일을 진행할 수 있다는 것다는 배우는 계기가 되었다. 특히 인상적인 부분은 BIM을 이용한 설계 시스템이 잘 갖추어져 있고, 구조설계의 경우 아주 작은 디테일까지도 섬세하게 들어간다는 면은 매우 긍정적으로 보였다. 또한 직원들이 정말 다양한 인종으로 이루어져 있어서, 나름 답답하면서도 신선한 문화적 충격들을 만끽할 수 있었다. 주인장은 국비장학생으로 중국 유학파 파키스탄인, 헤드 디자이너는 영국계 파키스탄인, 체코출신 디자이너, 그 외 필리핀, 스리랑카, 인도, 이티오피아, 미국, 이집트, 터키, 요르단 등 정말 다양한 사람들이 모여 있어 대부분에게 모국어가 아닌 영어를 구사하며 소통하는 모습자체가 한국 사람이 보기에는 작은 기적처럼 보였다.



## 설계의도 구현(Design Supervision)

설계자에게 도면 납품은 끝이 아니라 새로운 시작에 불과하다. 물론 날로 복잡해져가는 건축물에 있어서 설계도면의 완성도가 매우 중요하지만, 더불어 현장에서만 발견될 수 있는 오류나 개선지점이 분명히 있기에 설계에 애착이 있는 부류의 건축가들은 현장을 자주 방문하고 싶어한다. 저자도 50여개의 건축물은 20여년에 걸쳐 설계하고 감리 해본 경험이 있지만, 항상 현장방문은 종종 설렘을 동반한다. 물론 생각해 보면, 6개월 사용을 위해 수많은 사람들이 수년간 열정을 쏟은 것은 다소 모순되어져 보이는 게 사실이다. 지속가능성을 이야기하는 이 시대에, 정면으로 대치되는 행위 일지도 모르지만, 이 세상 그 어느 것도 영원히 존재하지 못할 것이기에, 단지 조금 짧은 라이프스팬을 지닌 건축물에 오히려 더욱더 강한 에너지를 쏟아 붓고 있는 지도 모르겠다. 철골이 주가 되는 건물로써, 제작회사의 숙련도가 매우 중요할 지언데, 제작업체는 결국 다른 문화 배경의 사람이라서 소통이 쉽진 않다. 하나 다행이도 전체를 주관하는 업체는 한국인이 주로 이끌어 가고 있기에 마음이 다소 편해진다.

## 개요(Project Brief)

한국관은 지하1층 ~ 지상3층의 철골 및 철근콘크리트 건물로, 약 1,800여평의 연면적을 가지며 층별로는 지하층 471평, 지층 720평, 1, 2, 3층 각각 약 200평으로 이루어져 있다. 지하층에는 코트와 사무공간과 전기기계실 및 창고로 구성되어 있고, 지층은 진입마당과 전시장, 1층은 전시장과 리테일, 2층은 식당과 주방 3층은 전시 및 다용도 공간으로 이루어져 있다. 또한 총길이 550여 미터, 폭 2.4미터의 램프 가 각층 내외부와 연결되어 있다. 주동선에 있는 엘리베이터는 2층까지 바로 연결되며, 두 개의 주 엘리베이터는 각각 3층과 2층에 연결되어 있다. 남측으로 확장된 3개의 공간이 1, 2, 3층에 있는데, 각각 리테일용, 식당용, 그리고 기계실 및 화장실 용도로 계획되었다. 층별 높이는 지하 4.5미터를 비롯 지층부터 2층까지는 4.5미터, 최상층부는 가장 높은 곳이 4.2미터에 이른다. 건물의 최고 높이는 27미터이며, 남측벽은 23도, 북측벽은 23도로 경사져 있다. 건물 외부 동측에는 관람객이 기다릴 때 햇빛을 차단하는 텐트 구조물이 설치되어 있다. 전면 북측 회전극브와 하우징은 1,570여개 이며 남측 하우징 및 플랩은 1,900여개에 이른다. 저녁에는 모든 난간 손잡이 하부에서 조명이 들어오도록 계획되었고, 적합한 위치에 건물을 비출 수 있는 외부 조명들도 설치 되어 있다.

## 2020 두바이 엑스포(2020 Dubai Expo)

1851년 런던 엑스포를 필두로 2020 두바이 엑스포까지, 상당히

역사가 있는 거대 행사임은 분명하다. 파리 엑스포를 위한 임시구조물인 에펠타워가 현재까지도 당당히 서있고 파리의 아이콘 역할을 하고 있다는 것이 놀라울 따름이다. 이번 두바이 엑스포 테마는 마음을 연결하며, 미래를 창조하자는 캐치프레이스 하에, 기회, 모빌리티, 그리고 지속가능성으로 표현되는 소주제로 설정되어있고, 한국관은 모빌리티가 주제다. 물론 모빌리티의 개념 설정은 한국관 스스로 설정해야 할 부분이나, 아마도 해외에서 보는 시각은 첨단 통신기술과 스마트폰 자동차 그리고 케이 컬쳐, 혹은 케이 팝이 아닐까 싶다. 한 세기 전에 써여진 김구 선생의 백범일지를 들쳐보면, “강국이라는 것이 결국은 튼튼한 문화가 바탕이 되어야 한다”는 구절이 있는데, 엄청난 선견 지명이 아닐 수 없다. 거대 공장, 세계 2위 경제력의 중국과, 저물어간다고 하지만 아직 거대 경제력을 가진 일본 사이에 있는 우리는 어쩌면 항상 문화유통과 발전 그리고 혁신을 통해서 존재감을 가지고 영향력을 펼쳐야 되는게 아닌가 싶다. 이미 수년 전부터, 전 세계의 문화 생태계에 적잖은 파급력과 영향력을 가지기 시작했고, 앞으로도 더욱 강해 되리라는 예상을 조심스레 해본다.

엑스포라는 장을 통해서 한국관이 한국 현대와 전통 문화의 건전한 전파자가 되었으면 하는 바람이다.

## WRITER INTRODUCTION

문훈은 1968년에 태어났으며 어린 시절은 강원도 상동읍에서, 청소년기는 호주 타즈마니아에서 보냈다. 한국과 미국에서 교육을 받고, 실무를 익힌 후, 2001년부터 문훈발전소를 운영하고 있고, 2018년부터는 무유기 건축사 사무소 디자인 디렉터를 맡고 있기도 하다.

그는 건축과 다른 장르와의 결합, 확장, 교배 등을 통한 경계 흐리기를 사고 및 작업방식으로 취하면서, 건축에 대한 가능성을 무한하게 열어두고 있다.

주요 작업으로는 투문정선, 락잇수다, 윈드하우스, 2020 두바이 엑스포 한국관 등이 있다. 또한, 2005년에는 상상 사진관으로 건축가협회상을 수상하였고, 2014년 베니스 비엔날레 한국관에 초대 작가로 선정되었으며, 2015년 시카고 비엔날레 초대, 2018년에는 광주 비엔날레 공간문화 대상을 수상한바 있다. 문훈의 드로잉은 2014년 독일 베를린의 초반뮤지엄에, 2016년 뉴욕현대미술관에, 그리고 2019년 국립 현대 미술관에 영구 소장 되어 있다. 더불어 그는 건축 작업과 연관된 동영상 작업을 통하여 건축 표현의 경계에 대한 확장을 꾀하고 있기도 하다.





## 기술기사

Technology

34 | 국가 건설기준의 현황과 발전방향

39 | 모듈러 건축의 고도화 방안

# 국가 건설기준의 현황과 발전방향



글 최봉혁 / 한국건설기술연구원 국가건설기준센터 수석연구원 / 전화 031-910-0290 / E-mail bhchoi@kict.re.kr

## 1. 시작하며<sup>1)</sup>

건설기준은 건설공사의 설계와 시공에 대한 기술향상, 품질확보와 적절한 공사관리를 목적으로 1962년 콘크리트 표준시방서가 최초 제정된 이후 건설기술이 발전함에 따라 다양한 건설기준이 제정되고 있으며, 건설기술진흥법 제44조 및 동법 시행령 제65조에 따라 중앙건설기술심의회 심의를 거쳐 제·개정되는 설계기준, 표준시방서, 전문시방서 등이 국가 건설기준으로 지정되어 있으며, 소관부처 및 부서 별 필요에 의해 작성 및 보급되는 하위기술기준으로 지침, 편람, 요령 등이 있다.

한편 국내 건설산업은 국토교통부의 제6차 건설기술진흥기본계획(2018 ~ 2022)에 따르면, 전통적인 로우테크(Low-Tech) 이미지를 벗어나지 못하고 있으며, 고급 기술자 부족과 고령화 심화 등에 따라 성장 동력이 저하됨에 따라 한계에 달하여, 스마트 건설기술 등 첨단기술을 융·복합하는 미래지향적 기술혁신으로 돌파구 마련 필요한 것으로 평가되고 있는 실정이다.

이에 본 고에서는 건설기준을 종합적으로 관리하고 있는 국가건설기준센터의 입장에서 국가 건설기준의 현황 및 문제점을 되짚어보고, 건설산업의 발전 및 미래 성장동력 확보를 위해 앞으로 나아가야 할 방향에 대해 정리해 보았다.

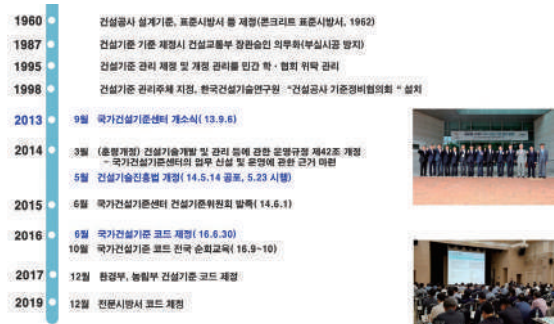
## 2. 국가 건설기준의 현황

앞서 언급하였듯이 국가 건설기준은 1960년대 정부 주도로 국내 건설기술의 발전을 위하여 최초 제정된 이후 건설기술의 발전에 따라 다양한 건설기준이 마련되었으며 관리 및 현황은 다음과 같다.

## 2.1 국가 건설기준 관리 현황

국가 건설기준의 관리는 1960년대 정부차원에서 설계기준과 표준시방서의 제·개정 등에 대한 관리가 시작되었으며, 1987년 10월 24일 부실공사 방지를 목적으로 건설공사기준 제정 시 건설교통부장관의 승인을 의무화하였다. 또한, 1995년 10월 12일 건설공사 기준 제·개정 관리업무를 각 분야 학·협회 위탁하여 효율적인 관리가 되도록 하였으며, 1997년 2월 24일 각 기준별 관리주체를 지정하고, 건설공사기준정비협회를 한국건설기술연구원 내에 설치하는 등 체계적인 국가 건설기준 관리를 위하여 노력하였다.

[그림 1] 국가 건설기준 관리 연혁 (국가건설기준센터, 2019)



이러한 노력을 통해 국가 건설기준은 분야 별로 설계기준 21종, 표준시방서 21종, 전문시방서 9종 등 총 51종의 단행본 체계의 건설기준이 제정되어 건설산업에서 적용되고 있었으나, 단행본 체계의 건설기준은 제·개정 주기가 길고, 분야 별로 별도 관리하여 기준간의 연계 적용이 어려우며, 제·개정 주기 차이에 따라 기준 간에 상호 중복과 상충 내용이 있는 등 여러 가지 문제점을 지니고 있는 것으로 평가되었다.

국토교통부는 이러한 문제점을 해결하고자 건설기준의 효율적인 관리를 위해 2013년 국가건설기준센터를 설립하였으며, 2014년

<sup>1)</sup> 본 글은 국가건설기준센터에서 마련한 “글로벌 건설기준 2030 발전방안”의 내용을 정리한 것으로 향후 추진과정에서 관계기관 협의를 통해 수정될 수 있음을 밝힙니다.



관련 법령인 건설기술진흥법 및 동법 시행령 등의 개정을 통하여 국가건설기준센터의 업무 범위, 운영 근거 등을 마련하였다.

국가건설기준센터는 2013년 설립 이후 분야 별 건설기준 소관부서(정부)와 관련단체(학·협회, 공사·공단) 등과 긴밀한 협력관계를 구축하고, “창조형 건설기준 체계구축” 방안에 따라 국가 건설기준을 코드 체계로 개편을 추진하여 기존 간 연계 체계 구축을 통한 중복·상충의 해소, 상시 건설기준 제·개정 체계의 구축 등 그 동안 분야 별 관리 체계에서 발생하였던 문제점을 해결하고자 노력하고 있으며, 코드화된 건설기준을 DB화하여 국가건설기준센터포털(<http://www.kscs.re.kr/>)을 통해 개방·공유하고 건설기준에 대한 질의 답변 창구를 마련하는 등 건설기준 사용자에게 대한 다양한 편의를 제공하고 있다.

[그림 2] 국가건설기준센터 포털 메인 화면 (국가건설기준센터, 2019)



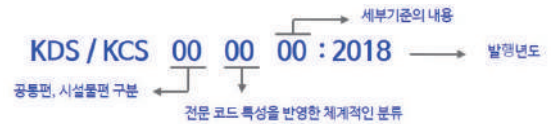
## 2.2 국가 건설기준의 코드 체계 전환

국가 건설기준은 “창조형 건설기준 체계구축(13년 3월 국가정책조정회의)” 방안수립 이후로 단행본 건설기준체계에서 코드체계로 전환이 추진되었다. 이에 따라 2016년 국토교통부 소관 건설기준이 코드체계로 전환되었고, 2017년 농림축산식품부와 환경부 등 부처별 소관 건설기준이 코드체계로 전환되었으며 현재 공사·공단 등에서 관리·운영하고 있는 전문시방서의 코드체계 전환이 수행되고 있다.

건설기준 코드체계는 [그림 3]에서 보듯이 건설공사의 설계 및 시공 업무를 효율적으로 수행하고, 설계기준 및 표준시방서의 내용을 효과적으로 구성하기 위하여 일정한 원칙에 의하여 분류된 설계기준(KDS, Korea Design Standard) 및 표준시방서(KCS, Korea Construction Specification) 코드의 코드번호와 기준명을 말하는 것이다.

코드번호는 공통편 및 시설물편을 구분하는 대분류 2자리, 전문 코드의 특성을 반영한 중분류 2자리, 세부기준의 내용에 따라 구분한 소분류 2자리 등 6자리의 번호체계로 구분하고 있다.

[그림 3] 국가 건설기준 코드체계 (국가건설기준센터, 2019)



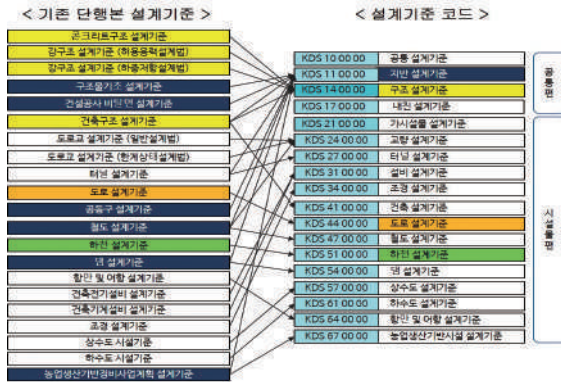
국가 건설기준은 [그림 4]에서 보듯이 공통기준인 4종의 설계기준과 3종의 표준시방서, 그리고 시설기준으로 각각 13종의 설계기준 및 표준시방서 등 총 17종 설계기준과 16종 표준시방서로 기존 단행본 건설기준 51종 중 설계기준과 표준시방서(각각 21종)를 통합하여 코드체계로 전환하였으며, 전문시방서의 경우 코드 체계로 전환 중에 있다.

[그림 4] 국가 건설기준 코드 체계 (국가건설기준센터, 2019)

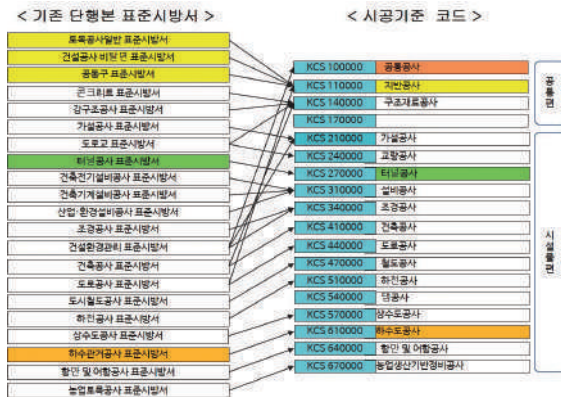
| 구분       | 설계기준 코드                     | 표준시방서 코드                 |
|----------|-----------------------------|--------------------------|
| 공통<br>기준 | 공통 설계기준(KDS 10 00 00)       | 공통공사(KCS 10 00 00)       |
|          | 지반 설계기준(KDS 11 00 00)       | 지반공사(KCS 11 00 00)       |
|          | 구조 설계기준(KDS 14 00 00)       | 구조재료공사(KCS 14 00 00)     |
|          | 내진 설계기준(KDS 17 00 00)       |                          |
| 시설<br>기준 | 가시설물 설계기준(KDS 21 00 00)     | 가설공사(KCS 21 00 00)       |
|          | 교량 설계기준(KDS 24 00 00)       | 교량공사(KCS 24 00 00)       |
|          | 터널 설계기준(KDS 27 00 00)       | 터널공사(KCS 27 00 00)       |
|          | 설비 설계기준(KDS 31 00 00)       | 설비공사(KCS 31 00 00)       |
|          | 조경 설계기준(KDS 34 00 00)       | 조경공사(KCS 34 00 00)       |
|          | 건축구조 설계기준(KDS 41 00 00)     | 건축공사(KCS 41 00 00)       |
|          | 도로 설계기준(KDS 44 00 00)       | 도로공사(KCS 44 00 00)       |
|          | 철도 설계기준(KDS 47 00 00)       | 철도공사(KCS 47 00 00)       |
|          | 하천 설계기준(KDS 51 00 00)       | 하천공사(KCS 51 00 00)       |
|          | 댐 설계기준(KDS 54 00 00)        | 댐 공사(KCS 54 00 00)       |
|          | 상수도 설계기준(KDS 57 00 00)      | 상수도공사(KCS 57 00 00)      |
|          | 하수도 설계기준(KDS 61 00 00)      | 하수도공사(KCS 61 00 00)      |
|          | 항만 및 어항 설계기준(KDS 64 00 00)  | 항만 및 어항공사(KCS 64 00 00)  |
|          | 농업생산기반시설 설계기준(KDS 67 00 00) | 농업생산기반정비공사(KCS 67 00 00) |
|          |                             |                          |
|          |                             |                          |

건설기준 코드화는 [그림 5]에서 보듯이 분야 별 단행본 건설기준에서 공통적으로 정하고 있는 지반, 구조(콘크리트, 강) 등에 관한 기준을 공통기준으로 모으고, 분야 별 건설기준에서는 공통기준에서 정한 기준 중 필요한 기준을 인용하여 별도로 정하여야 할 사항만을 시설기준에서 정하도록 하여 앞서 언급하였던 단행본 건설기준의 기존 간 중복·상충 등 문제점을 해결하였으며, 상시 세부 분야 별 단위 코드의 제·개정을 가능하도록 하여 최신 기술과 사회 현안 등을 건설기준에 즉시 반영할 수 있는 체계를 갖춰 건설기준의 유연성을 확보할 수 있게 되었다.

[그림 5] 건설기준 코드 연계표 (국가건설기준센터, 2019)



(a) 설계기준 연계표



(b) 표준시방서 연계표

## 2.3 국가 건설기준의 현황 및 문제점

최근 건설산업은 국가 경제성장 및 제4차 산업혁명 등에 따른 국민 삶의 질 향상으로 안전, 첨단 건설기술에 대한 사회적 요구가 증대하고 있으며 이에 따라 건설 정책 및 환경이 변화하고 있는 추세에 있으며 이를 반영한 건설산업 및 건설기준의 혁신이 필요한 실정이다.

[그림 6] 건설기준 이슈 (국가건설기준센터, 2019)



이때 국가 건설기준은 1962년 콘크리트 표준시방서가 최초 제정된 이후 정부, 관련 학·협회 및 공사·공단 등 건설공사 각 분야의 전문가의 노력으로 많은 발전을 이루어 왔으나, 안전한 사회 구축을 위한 역할 부족, 해외건설기준 인용에 따른 혼란, 건설기준 검증체계 부족, 세계 건설시장을 선점할 수 있는 건설기준 부족 등으로 국제적인 수준의 건설기준으로 도약하기 위해서는 많은 분야에서 건설기준의 혁신이 필요한 것으로 평가되었다.

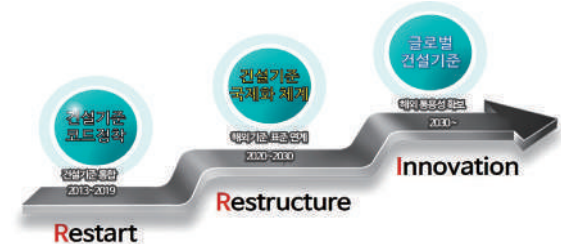
[그림 7] 건설기준 현황 및 문제점 (국가건설기준센터, 2019)



## 3. 국가 건설기준 발전방향(안)

국가건설기준센터에서는 건설기준이 코드 체계로 전환된 이후, 국내 중심의 건설기준에서 국제적인 건설기준으로 발전하기 위하여 글로벌 스탠다드를 목표를 다음과 같이 건설기준 코드 정착(Restart), 건설기준 국제화 체계(Restructure), 글로벌 건설기준(Innovation)의 3단계로 구분하였다.

[그림 8] 국가 건설기준 발전단계 별 목표 (국가건설기준센터, 2019)



첫번째 단계인 건설기준 코드 정착 단계는 건설기준 코드 체계 전환에 따라 실무자들의 혼란을 방지하기 위하여 기존의 건설기준과 혼용 적용하는 기간으로 코드화된 기준의 실무 적용을 위한 단계이며, 두번째 단계인 건설기준 국제화 체계 단계는 건설기준 위계 및 체계, 건설기준 코드화에 따른 문제점을 개선하고 첨단 기술의 기준화 등을 통해 국제수준의 건설기준 체계를 구축하는 것을 목적으로 하는 단계이다. 또한 세번째 단계인 글로벌 건설기준 단계는 이전 단계에서 구축한 건설기준 국제화 체계를 실제로 해외 건설시장에 적용함으로써 국내 건설산업 및 건설기술이 국제적으로 통용되는 것을 목적으로 하는 단계이다.

본 고에서 제시하고자 하는 국가 건설기준 발전방향(안)은 발전단계 중 2단계인 글로벌 건설기준 단계에 대한 것으로, 변화되는 정부의 건설 정책과 건설 환경에 적극 대응하고 국가 건설기준 체계를 글로벌 건설기준 체계로 확장하여 미래 건설산업 성장 모멘텀을 확보하기 위한 국가 건설기준의 발전방향(안)을 수립하였다.

국가 건설기준 발전방향(안)은 글로벌 건설시장 선점을 위하여 건설기준 검증 인프라 구축을 통해 건설엔지니어링 국제 경쟁력을 제고하며, 노후시설물 보수·보강 및 재해·재난 등 사회 안전기준 확대로 안전한 사회 구축을 위한 건설기준 역할 증대하여 건설산업 혁신을 견인하기 위한 글로벌 건설시장 선점 건설기준 개발 등을 주요 내용으로 하여 다음과 같은 비전과 목표를 설정하였다.

건설기준 발전방향(안)의 비전은 국내 중심의 건설기준을 국제적인 수준으로 리딩하기 위한 것으로 국내의 기술, 재료, 공법 등을 기술기준에 기술하여 해외에 통용될 수 있도록 하고자 “안전한 사회와 건설산업 혁신 성장을 위한 글로벌 건설기준 구축”으로 설정하였으며, 이를 위한 3대 추진 전략 및 9개 실천과제는 다음과 같다.

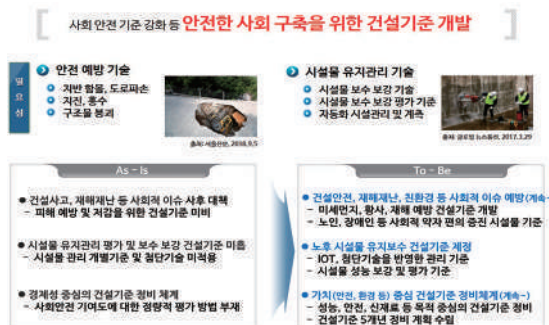
[그림 9] 국가 건설기준 발전방향 비전과 목표 (국가건설기준센터, 2019)



## (1) 국민 생활 안전 강화

국민생활안전강화는 국가 건설기준 발전방향의 첫번째 추진전략으로, 사회 안전 기준 강화 등 안전한 사회 구축을 위한 건설기준 개발을 목표로 사회적 이슈 해결을 위한 건설기준 정비, 노후 시설물 유지보수 기준 개발, 가치 중심 건설기준 정비 체계 구축을 세부 실천과제로 정하였다.

[그림 10] 건설기준 발전 전략1 (국가건설기준센터, 2019)



첫번째 세부 추진 과제인 사회적 이슈 해결 건설기준 정비는 기존 건설현장의 사고 및 재해재난 등으로 인한 피해 발생 후 사후 대책으로 건설기준을 정비하는 체계에서 예방을 목적으로 사전에 사회적 이슈 해결을 위한 건설기준 개정 수요조사 등을 통하여 사회적 이슈를 발굴하고 이를 건설기준에 반영할 수 있는 체계를 구축하는 것이다.

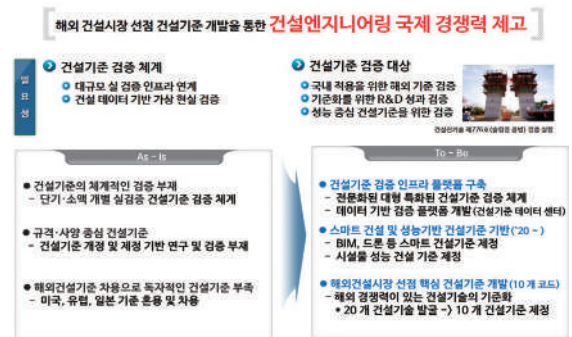
두번째 세부 추진 과제인 노후 시설물 유지보수 기준 개발은 현행 시설물 관리 기관에서 개별 기준을 마련하여 기관별 상이한 시설물 유지관리 및 보수보강 기준 중 공통적으로 적용되어야 하는 사항을 건설기준으로 마련하고, 세부 사항에 대해서는 시설물 관리기관에서 개별 사항을 정할 수 있도록 하는 체계를 구축하는 것이다.

세번째 세부 추진 과제인 가치 중심 건설기준 정비 체계 구축은 기존의 건설기준 정비체계가 건설안전을 전제로 경제성을 중심으로 수행되었다면, 앞으로는 사회 안전과 건설기술 발전 등 가치 중심의 건설기준 정비 체계를 구축하는 것이다.

## (2) 해외건설시장 선도 건설기준 개발

해외건설시장 선도 건설기준 개발은 국가 건설기준 발전방향의 두번째 추진전략으로, 해외 건설시장 선점을 위한 핵심 건설기준 개발을 통한 건설엔지니어링의 국제 경쟁력 제고를 목표로 건설기준 검증 인프라 플랫폼 구축, 스마트 건설 및 성능기반 건설기준 기반 구축, 해외건설시장 선점 핵심 건설기준 개발을 세부 실천과제로 정하였다.

[그림 11] 건설기준 발전 전략 2 (국가건설기준센터, 2019)



첫번째 세부 추진 과제인 건설기준 검증 인프라 플랫폼 구축은 건설기준 개발연구가 부족하여 해외 기준에 의존하고 있는 현실에서 해외 기준의 국내 도입을 위한 국내 건설환경을 고려한 검증과 국내에서 개발된 우수한 건설기술을 대상으로 건설기준에 반영하기 위한 실질적인 검증 체계를 구축하는 것이다.

두번째 세부 추진 과제인 스마트 건설 및 성능 기반 건설기준 기반 구축은 최근 이슈가 되고 있는 전통적 토목·건축기술에 BIM, Big



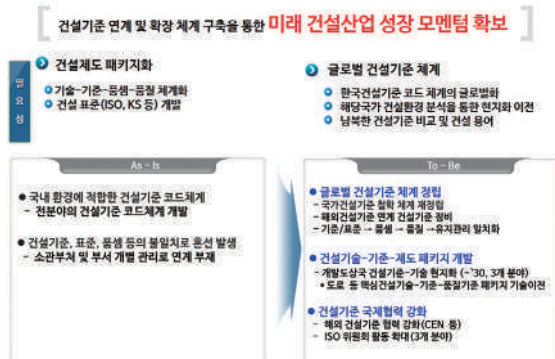
Data, 드론, 로봇 등을 융합한 스마트 건설기술과 첨단 건설재료 등 국내에서 개발된 우수한 건설기술을 국가 건설기준에 적시에 반영할 수 있도록 유연한 정비 체계로 개선하는 것이다.

세번째 세부 추진 과제인 해외건설시장 선점 핵심 건설기준 개발은 국내에서 개발된 우수 건설기술 중 해외 건설시장 선점을 위해 기준 개발 및 인정제도 도입 등 활용 기반을 마련하는 것이다.

### (3) 글로벌 건설기준 플랫폼 구축

글로벌 건설기준 플랫폼 구축은 국가 건설기준 발전방향의 세번째 추진전략으로, 건설기준 연계 및 확장 체계 구축을 통한 미래 건설산업 성장 모멘텀 확보를 목표로 글로벌 건설기준 체계 정립, 건설기술-기준-제도 패키지 개발, 건설기준 국제 협력 강화를 세부 실천과제로 정하였다.

[그림 12] 건설기준 발전 전략 3 (국가건설기준센터, 2019)



첫번째 세부 추진 과제인 글로벌 건설기준 체계 정립은 국가 건설기준의 국제적인 통용성을 확보하여 해외 건설시장에서 우리나라의 건설기준이 통용될 수 있도록 국가 건설기준을 브랜드화하고 국가별 건설환경을 고려하여 건설 선진국 건설기준과의 비교분석을 통해 국내 건설기준을 고도화하는 것이다. 이때, 국가 건설기준은 건설 분야에 걸쳐 단일 코드화된 세계 유일의 건설기준 체계로 단위 코드별 개정이 가능한 유연성을 갖고 있어 대상국의 건설환경 분석을 통해 필요한 건설기준의 개정으로 해외 건설시장에 쉽게 통용될 수 있을 것으로 예상된다.

두번째 세부 추진 과제인 건설기술-기준-제도 패키지 개발은 국가 건설기준의 국제 통용성을 확보하고 이를 바탕으로 건설기준의 해외 이전 시 관련 건설기술과 제도(KS표준, 품질관리 기준 등)를 패키지로 개발하여 국내 건설산업의 해외 건설시장 진출을 원활히 하기 위해 추진하는 것이다.

세번째 세부 추진 과제인 건설기준 국제 협력 강화는 국제 건설기준 및 표준관련 기관(CEN, ISO 등)과의 인증, 교육, 위원회 참여 등에

대한 교류협력을 통해 국가 건설기준 체계를 국제적으로 알리고 건설기준의 국제 통용성을 확보하여 건설산업의 해외진출을 지원하기 위해 추진하는 것이다.

## 4. 맺음말

본 고에서는 국가건설기준센터의 입장에서 보는 건설기준의 현황과 문제점, 그리고 건설산업의 발전 및 미래 성장동력 확보를 위한 발전 방향(안)에 대해 정리해 보았다.

그러나, 국가 건설기준은 개인이나 단체의 이익을 위한 것이 아니며 건설산업의 발전을 위해 정하여지는 것으로 올바른 발전방향을 수립하기 위해서는 국가 건설기준의 관리주체인 정부와 제개정(안)을 만드는 분야별 관련단체인 학협회 및 공사·공단 그리고 건설기술진흥법 제44조의 제2항에 따라 건설기준을 효율적으로 관리하기 위하여 설립된 국가건설기준센터 간의 긴밀한 협력이 필요하다.

본 고에서 제안하고 있는 국가 건설기준의 발전방향(안)은 국가건설기준센터의 입장에서 제안된 것으로 현실적으로 적합하지 않은 방안이 포함되어 있을 수 있기 때문에 발전방향의 개선과 추진에 대한 정부, 학협회 및 공사·공단 등 건설기준 관련 기관과의 협력을 통한 지속적인 노력이 필요하다. 또한 관련 기관의 협의에 의해 결정된 발전방향에 따라 지속적으로 건설기준을 발전시켜 나간다면 안전한 사회와 건설산업 혁신 성장에 기여하고, 해외 건설시장에서 우리나라의 건설기준과 건설산업의 경쟁력 제고에 도움이 될 것으로 기대된다.

### ※ 참고문헌

1. 국가건설기준센터, 2019, "글로벌 건설기준 2030 발전방안", 국가건설기준센터.

### WRITER INTRODUCTION

최봉혁 박사는 한양대학교 토목공학과에서 이종보온관의 기본특성을 고려한 허용매설심도 및 진동관리기준에 관한 연구로 지방공학 박사학위를 취득하였으며, 1999년부터 한국건설기술연구에서 재직 중에 있다. 2016년 국가건설기준센터로 발령받아 현재는 지반 및 터널분야 국가건설기준 관리업무와 건설기준 발전방향 수립 업무를 수행하고 있다.

# 모듈러 건축의 고도화 방안

글 이지은 / 토지주택연구원 수석연구원 / 전화 042-866-8587 / E-mail jee@lh.or.kr



## 1. 머리말

모듈러 건축의 역사는 약 100년에 이른다. 제2차 세계대전 후 주택을 저렴하고 신속하게 공급하는 것이 중요한 과제였다. 이 때 오토 바트닝(Otto Bartning)이 설계한 조립식 주택이 등장했다. 오토 바트닝이 속한 근대건축국제회의(CIAM)와 바우하우스에서도 자재의 표준화 및 규격화에 대한 중요성을 강조했다. 바우하우스는 데 사우 퇴르 텐(Dessau-Törten)국영주택 단지개발 프로젝트로 자재의 표준화 및 규격화에 대한 시도를 했으며 근대건축국제회의를 이끈 르 꼬르뷔지에도 “건축은 기계”라는 표현을 하며 건축 구성재의 부품화를 주장했다. 근대의 산업 발달과 함께 공업화 재료의 생산과 보급에 대한 개념이 생겼으며, 전쟁 후 도시를 복구하며 주택난을 해결하는 주요 수단이 되었다. 기계를 활용한 재료의 대량생산과 건식 시공 자동화에 대한 구상안이 발표되기도 했다. 이러한 시공 방식을 적용하기 위해서는 모듈러 디자인과 건축구성재의 부품화가 필요했다.

이후 벅 민스터 폴러도 다이맥시온(Dymaxion)이라는 개념으로 “역학적이고(Dynamic) 최대 효율성(Maximum Efficiency)을 갖는” 주택의 디자인을 선보였다. 그는 이 주택을 디자인하며 주택의 기술수준과 질을 판단하기 위해 성과와 무게의 방정식으로 정의한 척도를 발표했다. 그는 주택의 문제를 산업적인 방식으로 다루었으며, 주택의 무게가 자재의 운반, 시공상의 편의에 결정적인 조건이 되는 것을 주장했다. 그리고 선박으로 수출하기 편리하도록 적합한 형태로 분할되는 것도 제안했다. 그가 주택의 경량화를 위해 사용했던 주요 마감재는 알루미늄이었다.

장 프루베(Jean Prouve)도 빠른 시간안에 조립과 해체가 가능한 부대 막사를 디자인 했는데 경량의 합판, 알루미늄, 플라스틱으로 시공했다. 1948년에 시공한 “철근분리 가능한 주택(Ferembal Demountable House)”을 보면 현재 간담 생활디자인에서 선보인 “Off-site Domicile Module(ODM)”주택이나 MUJI에서 상품처럼 판매하고 있는 주택과도 형태가 유사하다. 이와 같이 장 프루베는

건설업에서 제조 기술을 활용하는 시도를 하며 다수의 작품을 남겼다. 비슷한 시기에 마르셀 로드(Marcel Lods)도 시공 과정에서 기계를 조작하는 사람들 외에는 사람의 개입이 불필요한 시기가 올 것이라는 전망을 하였다. 그는 근대건축국제회의에 참여하며 산업화된 건축을 연구했고 공업화 주택의 프로토타입을 만들고자 노력했다.

국내에도 공업화 주택을 도입하고 모듈러 주택이 확산되면서 현재 건설업계에서는 80여년 전의 혁신적 개념을 실현하고자 노력하고 있다. 과거와 같이 공기를 줄여 주택을 공급해야 하는 문제 외에도 다양한 이유가 있다. 이에 본 고에서는 모듈러 건축이 현재 건설업의 문제를 어떻게 개선할 수 있는지 실제 시공 사례를 소개하고 모듈러 주택의 부품화와 기계화 생산 도입의 필요성을 제기하고자 한다.

## 2. 모듈러 건축의 현황 및 필요성

### 2.1 국내 모듈러 건축의 필요성

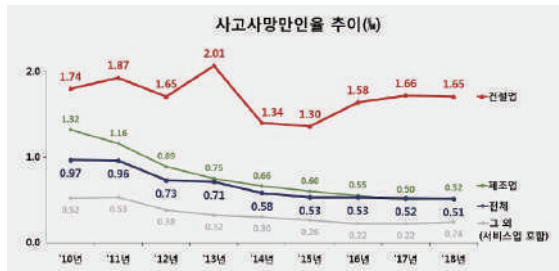
1963년 대한주택공사가 처음으로 PC(Precast Concrete)로 시범 주택을 지은 이후 1990년대 중반까지 성장했던 시장은 더 이상 활성화되지 못하고 크루저형 주택, 모듈러 주택 등 다양한 OSC(Off-Site Construction) 공법의 공업화 주택이 지어졌다. 그러나 이러한 시도 후 2015년까지 약 20년 동안 공업화 주택의 시공 사례는 10건이 되지 않는 극소수였다.

현재 국내 건설업에는 다양한 문제가 나타나고 그것을 해결하는 대안으로 공업화 주택을 선택했다. 노동자 평균 연령 증가(<표 1> 참조), 사고 발생률 증가(<그림 1~2> 참조), 생산성 저하(<그림 3> 참조), 국제 경쟁력 하락 등 다양한 현황 자료가 건설산업이 미래의 위기에 대처할 시점인 것을 보여주고 있다. 다른 첨단 산업에 비해 기술자들이 건설업 종사를 선호하지 않고 유입 인력이 감소하여 외국인 노동자 증가 등으로 성장 동력도 저하되고 있다.

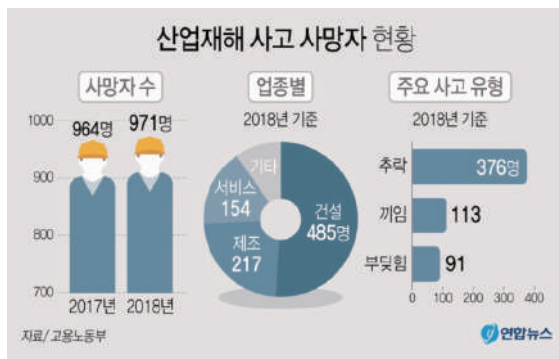
<표 1> 산업별 55세 이상 취업자 비중(%)

| 산업별 | 2015년 | 2016년 | 2017년 |
|-----|-------|-------|-------|
| 제조업 | 30.0  | 32.6  | 36.0  |
| 건설업 | 53.1  | 58.5  | 60.8  |

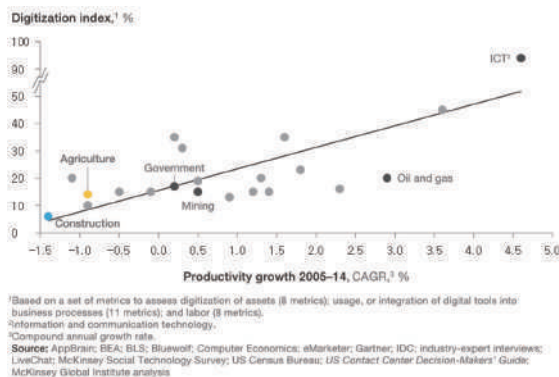
[그림 1] 산업재해 사고사망을 추이('10~'18)



[그림 2] 산업재해 사고 사망자 현황('18)



[그림 3] 산업별 디지털화와 생산성 증가('05~'14)

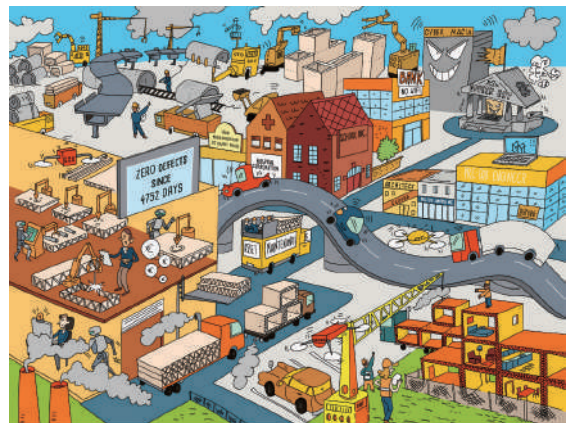


이러한 배경으로 국토교통부에서는 제6차 건설기술진흥기본 계획(2018~2022)를 세워 정부가 중점적으로 추진하고자 하는 내용을 제시했다. 계획의 목표는 노동 생산성을 40% 향상시키되 사망자수는 30% 줄이고, 건설 노동자의 근로시간은 20% 단축하며 건설산업 해외수주는 100% 확대하는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해 기존의 현장 시공 공법에서 공장 생산 중심으로

전환하고 ICT와 제조업을 접목하여 건설 자동화를 실현하여 생산성을 개선하는 방법을 제시했다. 즉, 현장 의존적인 생산체계 한계를 첨단 공장형 건설기술의 개발 및 적용으로 극복하기 위해 “인프라 BIM을 활용한 가상 시공(Pre-con) 후, 3D 프린터를 활용하여 공장에서 건설 부재를 모듈화로 제작하고, AI를 탑재한 다기능 건설 로봇에 의해 현장에서 조립하는 스마트 건설자동화”를 추진한다는 것이다. 이러한 목표가 실현되면 가격 경쟁력을 개선하고, 기술을 발전시켜 산업을 성장시키고, 첨단 기술을 융·복합하는 미래 지향적 기술혁신으로 돌파구를 마련할 수 있을 것이다. 이러한 국가의 목표를 달성하기 위해서 모듈러 건축은 중요한 역할을 할 수 있다.

세계 경제포럼(World Economic Forum, 2018)에서 미래 산업에 적용되어야 할 세 가지 시나리오를 제시하였는데, 그 중에 하나는 프리패브 및 모듈러 공법으로 공장 생산되는 건축에 관련된 시나리오였다(그림 4 참조). 이 시나리오는 건설을 빠르고 비용 효율적으로 만들기 위해 조립식 프로세스와 맞춤형 모듈 설계가 필요하다는 내용이었다. 욕실과 사무실 칸막이부터 교량용 부품 등 많은 부분을 표준화되 고객의 요구에 융통성 있게 대응할 수 있는 전략이 수반되어야 하는 것을 강조한다. 이것은 제조업에서 시도되어 왔던 모듈화 전략과 유사하다. 건설산업은 타산업 특히, 자동차 산업에서 시도된 것과 같이 수익성을 개선하고 성장의 기회를 만들기 위해 제조업의 방법을 활용해 볼 필요가 있다. 근대 건축 국제회의에 참여했던 많은 건축가들이 제안했던 디자인 방법을 발전시키고 생산 시스템을 효율적으로 구축하는데 제조업에서 노하우를 얻을 수 있을 것이다.

[그림 4] 세계경제포럼의 미래 건설업 시나리오



## 2.2 국내 모듈러 건축의 현황

최근 3년간 모듈러 건축의 시공 사례가 증가했지만 그 이전 20년간은 시공 사례가 매우 적었다. 그리고 대기업이 모듈러 건축에 참여한 사례는 거의 없었다. 1990년대 초 공업화 주택이 도입되고



인정제도가 운영되기 시작했다. 1996년 삼성물산이 PC패널 시스템으로 공업화주택 인정을 받았지만 유효기간 경과 이후 자격을 상실했다. 이후 긴 공백기 후에 2010년 스타코가 인필(Infill)공법을 적용한 크루저(Cruiser)형 주택으로 인정을 받았고, 10년간 약 10개의 프로젝트를 시공했다. 2014년 금강 공업이 철골조의 모듈러 공법으로 인정을 받은 이후 포스코 A&C, 유창 등 몇몇 건설사가 모듈러 공법으로 기숙사, 주택, 학교 등을 시공했다. 이러한 모든 회사가 공장을 안정적으로 운영하기에는 프로젝트의 수량이 매우 적었다. LH에서 발주한 주택 물량도 2018년과 2019년에 200호를 조금 넘는다.

이러한 상황이 지속되고 있지만 최근 건설사에서 4차산업혁명과 건설업의 위기에 대응하기 위해 적극적으로 혁신을 하고 있다. 특히, 미래 주택 및 건설 자동화의 인프라를 마련하기 위해 대기업이 빠르게 변화하고 있다. 현대건설, GS건설, 대우건설, 포스코건설 등 대형 건설사들은 모듈러 공법, 프리패브 공법 등의 첨단기술을 활용하는 건설 추진팀을 신설했다. 그리고 LH공사, SH공사, 지방 도시공사와 같은 공기업도 모듈러 건축사업을 발주하고 건축 산업의 전면적인 혁신을 지원하고 있다. LH는 2020년에는 모듈러 주택을 이전의 3배 이상을 늘려 600호 정도를 발주할 계획을 세웠다. 경기도시공사는 용인 영덕에 중·고층 모듈러 공공주택 실증 사업을 추진할 예정이다. 더 나아가 이러한 모듈러 주택을 활용하여 건설현장에서의 다양한 사회 문제를 해결하고 조립식 주택으로 해외에 수출할 수 있도록 수요에 적합한 다양한 유형을 개발하는 방안을 모색하고 있다.

### 3. 모듈러 디자인의 개념과 원리

모듈러 디자인이란, 독립된 모듈로 구성한다는 개념으로서 그 모듈들은 따로 만들어진 후 필요한 유닛을 만들기 위해 합쳐진다. 모듈은 개별적으로 작동하고 여러가지 방식으로 조립할 수 있기 때문에 설계 및 개·보수에 무한한 가능성을 허용한다. 레고형 조합설계를 고려하면 제품의 구성요소를 구조단위이자 핵심기능 단위인 모듈로 나눈 뒤 이 모듈들을 조합해 시장의 다양화 요구에 대응하도록 계획하는 것이다. 이것은 표준화의 장점과 개인의 요구에 대한 맞춤형 설계의 장점을 갖도록 디자인하는 방법이다.

모듈러 디자인의 원리는 분할과 조합으로 설명할 수 있다. 분할은 간단히 모듈 내부에서 고정성이 높은 모듈과 변동성이 높은 모듈로 구분할 수 있다. 추가적으로 재활용하는 부분에 대한 고려도 필요하다. 모듈들 간의 독립성을 갖도록 분할되어야 하며 모듈 내 레이아웃을 표준화하는 것도 고려해야 한다. 사용을 고려하여 르 꼬르뷔지에가 제안한 모듈러 척도와 같이 사용자의 신체 및 움직임과

관련된 척도로 모듈러 디자인을 할 수도 있다. 그리고 이러한 모듈은 조합의 방법, 즉 시공 방법도 함께 고려해야 한다. 조합으로 디자인을 다양한 형태로 만들 수 있고 사용자의 요구를 최대한 반영할 수 있도록 결과물을 완성할 수 있다. 조합의 방법은 제작하는 시간이나 가격, 과정 등을 결정할 수도 있다. 모듈러 디자인은 이런 변동성을 효과적으로 관리하여 복잡성을 줄이는 것이 중요하다. 현재 시공된 모듈러 주택은 미리 설계하고 만들어 놓은 기본 모듈과 이를 조합하는 주택의 제작 시점을 분리하여 최소의 자원으로 고객의 요구를 수용하는 방법을 취하고 있다. 수요가 적어 대량 생산은 어려운 상황이므로 다품종 소량 생산하는데 분할과 조합의 방법을 활용한다.

모듈러 디자인은 타분야에 적용된 많은 성공과 실패 사례가 있다. 폭스바겐 자동차의 경우 성공 사례이고 구글이 출시한 스마트폰 아라 프로젝트의 경우 실패 사례라고 할 수 있다. 아라 프로젝트의 경우를 보면 건축에서의 문제를 예견할 수 있다. 개별 회사가 만든 모듈을 조립해 보면 성능 문제가 발생할 수 있다. 반면에 하나의 회사에서 생산할 때는 각각의 부품들이 하나의 성능 목표를 가장 잘 달성할 수 있도록 조합될 수 있다. 그러나 표준화가 되지 않고 특수성을 갖는 것은 복잡성을 증가시켜 효율적인 모듈러 전략을 펼치기 어려운 단점이 있다. 이런 문제들을 잘 통제하여야 성공적으로 제품을 생산할 수 있다. 모듈러의 목적은 다양한 제품을 효과적으로 개발하는데 있기 때문에 모듈러 디자인으로 더 복잡한 시스템을 갖지 않도록 주의해야 한다.

주택에서의 모듈러 디자인은 공업화된 재료를 적용하기 위한 공법이다. 이러한 모듈러 디자인의 방법에 따라 두 가지 방식으로 구분할 수 있다. 첫째, 기존 대량 생산된 자재를 건축에 도입하는 방식, 둘째, 설계 이후 자재를 생산하기 시작하여, 생산된 재료를 현장으로 운반한 뒤 건식으로 시공하는 방식이다. 현재 모듈러 건축에서 적용된 방식은 두 번째 방법에 가깝다. 국내의 모듈러 공장 시스템은 자동화되지 않은 조립 시스템이고, 사용되는 건축 구성재료 표준화 및 부품화되지 않은 경우가 대부분이다. 르 꼬르뷔지에, 발터 그로피우스 등 여러 학자들이 이야기 했던 부품화 및 기계화를 전제하는 모듈러 건축의 방법은 현재 상황과 매우 거리가 멀다. 그러나 해외에는 이러한 방법을 적용하여 공기단축 및 비용절감을 한 사례들이 발표되고 있다. 최근 중국 우한에 신종 코로나 바이러스 환자를 위해 1,000여개의 병상을 10일 만에 건축한 사례도 표준화와 부품화 방법을 활용했다. 현재 국내에서 시공된 모듈러 주택의 사례를 통해 모듈러 디자인과 공업화된 재료를 적용하는 방법에 대해 자세히 살펴보고자 한다.

## 4. 모듈러 건축의 사례

### 4.1 소형 단독주택

해외에도 소형 목조주택의 시공 사례는 급증하고 있다. 자연이 풍부한 곳에 자연을 훼손하지 않으면서 매우 짧은 공사기간으로 작은 주택을 시공하는 경우가 대다수이다. 예를 들면 무인양품(MUJI)과 같이 제품으로 출시한 경우도 있고 캐나다 'Trim Studio'에서 제작한 'Galiano-100', 폴란드의 'Bookworm Cabin' 등과 같이 소비자의 취향에 맞춰 제작한 집도 있다. 국내에도 'ODM'과 같이 제품으로 출시하여 장소와 상관없이 정해진 디자인 제품을 설치하는 모듈러 주택 회사가 있고, '공장제작소'와 같이 소비자의 취향에 맞춰 제작하는 회사도 있다.

대표적으로 간삼 종합건축사사무소에서 설계·제작한 ODM의 특징을 살펴보면 다음과 같다. 너비는 3m, 높이는 3.8m로 동일하고 길이는 6.6m가 기본형이고 8.1m까지 확장할 수 있다. 구조는 경량 목구조이고 선반, 가구는 빌트인 되어있다. 가전 중 냉장고와 김치냉장고는 선택하여 포함시킬 수 있다. 난방 방식은 바닥난방이나 공기순환식 냉난방이 가능하다. ODM주택의 경우 제조업의 방식을 취하고 있지만 모듈러 디자인의 개념을 갖고 있진 않다. 그래서 주택의 일부 디자인 및 부재를 교체할 경우, 기존의 시공 방법과 유사한 방법으로 임의로 개보수를 해야 한다.

[그림 5] 간삼 ODM 주택 시공사례·남양주



소비자의 요구사항을 수용하며 다양한 대안을 효과적으로 생산하기 위해서는 단순화, 표준화, 공용화 이 세 가지 전략이 필요하다. 단순화는 구성요소, 즉 모듈의 종류를 줄이는 것이고, 표준화는 표준 부품과 표준 공정 및 표준 모듈 등을 설정하여 불필요한 과정을 줄이는 것이며, 공용화는 디자인은 달라지되 일부 요소를 공동으로 활용하여 새로운 요소가 생기는 것을 줄이는 방법이다. 이것은 운영상의 효율성을 결정하는 중요한 전략이다. 폭스바겐 자동차가 이런 공용화 전략을 효율적으로 활용하여 다양한 자동차 디자인 생산을 하고 있는 대표적인 사례이다.

소형 단독주택을 상품처럼 판매하는 경우 이러한 방법으로 다양한

디자인을 양산하여 기존 건축과 차별화된 장점을 갖는 주택으로 혁신할 수 있을 것이다. 일본의 경우에는 소형 평형의 단독주택을 공업화 주택으로 특화시켜 공장 자동화를 실현하고 있다. 구조체, 설비, 배관, 조명, 온돌 등 전체 공정 중 80%를 공장에서 진행하며 내진설계가 잘된 튼튼한 주택을 생산하고 있다. 이러한 결과로 소비자들은 모듈러 주택을 맞춤형 제작 서비스가 가능한 고급 주택으로 인식하고 있다. 국내에서도 모듈러 주택에 대한 수요를 늘리기 위해서는 이러한 인식의 전환이 필요하다.

### 4.2 적층식 공법의 공동주택 유닛

적층식 공법은 공간 유닛을 적층하여 두 개층 이상의 주택을 만들거나 여러 세대가 모인 공동주택을 만드는데 활용된다. 공간 유닛을 만드는 구조는 목구조, 철골조, 프리캐스트 콘크리트, 콘테이너 박스 등 다양하다. 앞에서 소개한 목구조로 된 소형 단독 주택의 유닛도 2개를 적층하여 시공한 사례도 많다. 철골조의 경우, 여러 유닛을 나열하고 적층하여 기존의 아파트 또는 도시형 생활주택을 대신하는 공동주택 형태로 구성한다. 1992년 공업화 주택 관련 법령이 생긴 이후 가장 일반적인 방식이다. 적층식 공법을 활용한 모듈러 주택은 신축 외에도 수직·수평 증개축에도 적용하면 기존의 습식 공법과 비교하여 기존의 구조에 부담을 적게 가할 수 있을 것이다. 그리고 거주자의 이주, 공사 중 폐기물 발생 등의 문제를 쉽게 해결하며 빠르게 시공할 수 있는 장점이 있다.

국내 사례 중 최대 규모인 LH 웅진백령 공공임대주택에 대해 살펴보고자 한다. 규모는 전체 152세대, 지하1층, 지상4층 총 4개동으로 설계되어 있으며, 2020년 상반기 준공 예정이다. 현재 공사가 거의 마무리 된 상태이다. 완공된 유닛을 군산 공장에서 제작하여 해상으로 백령도까지 운송했다. 이후 항구에서 시공현장까지 약 3.5km 되는 거리를 트럭으로 운반하여 현장에서 적치하지 않고 트럭에 적재된 모듈러 유닛을 타워크레인에 연결해 차례차례 배치하여 건물을 완성했다. 운송하는데 많은 경비와 시간, 노력이 수반되었지만 현장의 상황은 습식 공사와 매우 다르다. 폐기물, 먼지 등의 오염물질 배출이 적고 건설 노동자들의 사고 위험도 적다. 운반의 방법만 잘 갖춰지면 모듈러 주택은 이속도 용이하고 재활용 비율을 높일 수 있을 것이다.

운송의 시스템과 방법이 잘 갖춰지면 운송시 품질의 변화가 적겠지만, 현재로서는 모듈러 운송시 발생하는 진동으로 인하여 모듈러 내부 부착물이 탈락하거나 변형될 우려가 있다. 그러한 경우를 대비하여 BIM도면을 활용하여 누락없이 공장에서 품질체크를 할 수 있다. 우려되는 부분은 BIM 360 등의 프로그램을 활용하여 현장에서 설치하기 전에 운송시 주요 파손부위 체크리스트에 대해 한번 더

확인하는 것이 필요하다. 그리고 현장 시공을 위해 여러 가지 계획이 사전에 철저하게 준비되어 있어야 한다. BIM 시뮬레이션을 활용하여 시공 계획을 정확하게 세울 수 있다. 예를 들면, 양중 크레인의 용량 및 작업반경 등이 반영된 시뮬레이션으로 정확한 양중 계획을 수립해야 하고, 4D시뮬레이션으로 디지털 목업(Digital Mock-up)을 활용해 공사 수행 전에 현장 시공 계획의 수립 및 검토를 철저히 해야한다. 적층식 공법의 경우 BIM설계도면은 공간 유닛의 전 생애주기 관리를 위해 매우 유용하게 활용될 수 있다.

[그림 6] LH 웅진백령 공공임대주택



해외 모듈러 주택이 성공하는 사례를 보면 공통적으로 폐자재를 줄이고, 유닛을 재활용할 수 있는 장점을 잘 활용한다. 이와 더불어 공기단축, 품질관리, 대량생산으로 공사비 절감 등에 경쟁력을 갖고 있다. 국내에서 수요가 적기 때문에 대량생산으로 공사비를 낮추는 것은 어렵다. 공기단축 또는 품질관리로 경쟁력을 갖추고 자재, 시공방법 등 폭넓은 기술개선을 가격에 점차 낮출 필요가 있다.

#### 4.3 인필 공법의 공동주택 유닛

인필공법은 주택용 내부 벽체와 싱크대, 화장실 등을 공장에서 조립한 후 현장에서 완공된 골조에 삽입하여 완성하는 공법으로 주요 구조부와 분리되어 있는 것이 적층식 공법과 다르다. 이 경우 크루저형 주택이라는 용어를 사용하기도 하는데, 크루저의 객실과 유사한 시공방법이기 때문이다. 해외의 20층 이상 고층 모듈러 건축인 경우 대다수가 인필공법으로 시공을 한다. 인필 공법의 경우 공간 유닛의 벽에 무리한 구조성능을 요구하지 않으므로 단열 및 내화 성능을 갖도록 일체형 패널로 공장에서 제작한 후 조립하여 완성한다. 습식 공법의 시공방법 및 자재와 현저한 차이가 있으며 벽체 시공과 화장실 시공을 간소화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 모듈러 디자인 및 건축 구성재의 부품을 적용한 것은 아니다. 공동주택, 호텔, 기숙사와 같이 여러 유닛을 집합으로 시공하는 경우 프로젝트의 디자인이나 발주처의 요구사항은 습식 공법으로 시공한

건물과 유사하고 기존의 습식 공법을 대체하는 방법으로 적용해 왔기 때문에 크게 혁신하기는 어려웠다. 모듈러 디자인을 적용하기 위해서는 발주 제도, 시공법, 설계 프로세스 등 모든 건축의 과정이 최적화 되어야 한다.

인필공법의 공동주택 유닛은 콘테이너 건축과 같이 공간 유닛 단위로 조합하여 상대적으로 넓은 평형의 주택을 구성하기에 적합한 시공 방법이다. 2개 또는 3개의 공간유닛을 수평으로 배치하여 오피스텔의 세대 평형을 다양하게 시공한 사례를 살펴보면 다음과 같다.

<표 2> 스타코 오피스텔 세대 내부 및 구성재



스타코에서 시공한 부산 신화동에 위치한 오피스텔은 저층부 3개층은 습식공법으로 시공한 후 77세대의 주거시설은 모듈러 건식공법으로 생산하여 주요 구조체 사이에 끼워 넣는 방식으로 완성했다. 주거시설만 7개층이며 전체 10층 규모의 오피스텔이다. 12층 이상의 건축인 경우 건축법 시행령에 따라 주요 구조부 내화시간 3시간을 충족해야 하므로, 2시간 내화 시간을 적용 받도록 11층 이하로 시공했다. 현재 12층 이상의 공동주택이 시공된 사례가 없는 것은 3시간 내화 기준을 만족할 수 있는 패널이나 벽체의 구성이 부피 및 중량 증가로 여러 문제를 야기하기 때문이다. 한 유닛의 중량은 타워크레인으로 운반할 수 있는 범위 내에서 시공해야 하는 제약이 있다. 스타코 오피스텔의 주거공간은 벽체가 철판으로 제작된 패널로 마감되어 유지관리 하기 용이하며 내구성이 좋은 장점이 있다. 공간을 효율적으로 사용하도록 빌트인 가구는 유닛과 함께 시공하여 별도의 가구가 불필요하다. 가구의 점유 면적을 줄여 실제 사용 면적을 늘릴 수 있다. 모듈러 주택의 경우 뜬 바닥구조로 시공하기 때문에 층고가 높아지는 단점은 있지만 기존 공법에 비해 층간 소음을 저감하는데 유리하다. 그리고 방수제도 공장에서 외부의 영향을 받지않고 시공할 수 있으므로 시공 결함에 따른 누수의 문제도 적다(<표 2> 참조).

천안 두정지구 행복주택의 경우 코어를 중심으로 한쪽은 적층형



공법으로 시공하고, 한쪽은 인필 공법으로 시공했다. 이러한 공법의 차이로 외관이 자연스럽게 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 각각의 공법에 장점과 단점이 있으므로 입면 디자인, 층수, 공사비, 현장여건 등을 고려하여 합리적인 공법을 선택하여 공업화 주택을 시공할 수 있을 것이다. 천안 두정지구 행복 주택은 이러한 특징을 비교할 수 있도록 SH, LH, 한국건설기술연구원 등 여러 기관의 협업으로 실증사업을 한 프로젝트였다. 모듈러 건축의 기술적 발전을 위해서는 천안두정지구와 같은 실증 사업이 많이 필요하다. 현재 모듈러 건축이 습식 공법과 같은 성능을 보유하면서 차별화된 장점을 갖기 위해서는 모듈러 디자인 외에도 자재의 경량화, 주택성능, 건설자동화 시공장비 개발 등 다방면에서 기술력을 향상시키는 것이 필요하다.

## 5. 맺음말

모듈러 건축은 현재 건설현장에서 일어나는 다양한 문제와 산업의 침체, 국제 경쟁력 약화 등 건설업의 위기를 전환하기 위한 효과적인 해결책으로 지목되고 있다. 그러나 이러한 성장 가능성에도 불구하고 활성화되지 못하고 있다. 국내 모듈러 주택을 포함하는 공업화 주택은 습식공법으로 시공하는 건물보다 공사비가 높고, 수요가 적어서 기술개발 및 제도개선이 속도를 내기 어렵고, 중소기업의 역량 강화 및 성장도 어려운 악순환이 지속되어 왔다. 발주제도, 법제도, 관련 기술 산업 육성 정책 등 많은 보완이 필요하며, 기술의 발전, 비즈니스 전략, 스마트 팩토리과 같은 생산기술의 발전도 필요하다. 각각의 부품을 생산하는 중소기업의 역량강화와 기업간 상생협력을 강화하는 것도 성공적인 사업모델을 만드는데 중요하다.

모듈러 디자인의 효과는 일부분에서 나오는 것이 아니라 사례에서 확인한 바와 같이 건축의 전 생애주기, 즉 기획-설계 및 개발-생산-시공-유지관리-재생에 걸쳐 나타날 수 있다. 유지관리하는 과정에서도 노후 자재의 교체 및 재활용을 용이하도록 하여 비용을 절감하며, 건물의 품질을 우수한 상태로 관리하고 건물의 지속가능성을 높일 수 있다.

거의 100년에 가까운 시간동안 건축 구성재의 부품화 및 표준화를 이루기 위한 모듈러 디자인에 대한 시도가 있었다. 주로 설계 및 개발 단계의 변화에만 집중하여 전 생애주기에 걸쳐 맥을 이어 발전하지 못했고, 건설업의 발전에 기여하지 못했다. 이제는 공장생산, 스마트 팩토리과 연계하여 OSC 방식이 도입될 수 있는 환경을 조성하고 지속적으로 함께 발전하도록 기술개발·실증·상용화의 기반을 구축하는 과감한 혁신이 필요하다. 건설업이 4차 산업혁명을 선도하는 산업 생태계를 만들도록 건축 디자인과 시공방법이 보다 고도화 되어야 한다.

## ※ 참고문헌

1. 모듈러주택 공정관리 표준화기법 발굴에 관한 연구, LH토지주택연구원, 2019
2. 수요자 맞춤형 조립식 주택 기술개발 및 실증단지, 국토교통과학기술진흥원/한국건설기술연구원, 2019
3. 라이프스타일 기반의 주택 디자인을 위한 가변적 모듈러 시스템 제고, 서울대학교 석사학위/손지민, 2019
4. 주택의 공업화된 재료에 의한 신체적인 지각에 관한 연구, 서울대학교 석사학위/김정연, 2016
5. ODM simple enough, GHED, 2019
6. 컨테이너를 활용한 모듈러 건축의 유형특성 연구, 건국대학교 박사학위/김진업, 2015
7. 고객 맞춤형 제품을 생산하는 모듈러 디자인, 한연/김진희, 2016
8. 지속적인 성장을 위한 모듈화 전략, 한연/김진희, 2018
9. 제6차 건설기술진흥기본계획, 국토교통부/기술정책과, 2017
10. Future Scenarios and Implications for the Industry, World Economic Forum, 2018
11. Off-Site Construction: 건설생산 시스템의 혁신, 한국건설관리학회지 제20권 제5호/손정욱, 이준성, 2019.10

## WRITER INTRODUCTION

이지은 수석연구원은 LH토지주택연구원 미래기술연구실, 도시건축연구실, 계획설계연구실 등에서 근무하였다. 현재 도시재생·공간 연구실에 재직 중이며 모듈러 및 미래주택 계획연구를 담당하고 있다.



## 토목

### Civil Engineering

- 46 스마트 건설기술 · 안전 적용 사례
- 52 쉴드 TBM 막장 전방 예측을 위한 머신 러닝 기법의 적용 연구
- 59 속경성 고유동 CLSM을 이용한 터널 충전 시공사례
- 65 싱가포르 North-South Corridor(NSC) N102 & N111 공구 현장 소개

# 스마트 건설기술 · 안전 적용 사례

글 이송현 / 토목기술팀 부장 / 도로및공항기술사 / 전화 02-3433-7768 / E-mail song7778@ssyenc.com

글 김준호 / 토목기술팀 과장 / 전화 02-3433-7418 / E-mail jykim@ssyenc.com

글 안동열 / 토목기술팀 과장 / 전화 02-3433-7763 / E-mail prosperous@ssyenc.com

## 1. 머리말

### 1.1 스마트 건설기술 도입 필요성

건설산업은 노동집약적이고 현장의존적인 생산체계와 공급자 위주의 산업구조, 참여 주체 간 정보단절 등으로 인하여 전체 산업 중에서 생산성이 낮은 전통산업으로 머무르고 있다.

최근 국내 건설산업은 고령화, 숙련인력 감소 및 근로시간 단축 등의 사회 흐름에 의해 건설산업의 변화를 요구받고 있으며, 타 산업에 비해 2배이상 높은 재해율 및 사망률은 고질적인 안전문제를 해결하기 위한 필요성을 증대 시키고 있다.

또한 국내기업의 해외건설 경쟁력 약화에 따른 수주 급감 추세와 국내 건설시장의 양적 성장 한계 등을 고려할 때 국내기업이 세계 시장에서 경쟁력을 확보하고, 변화하는 국내 시장에 적응하기 위해서는 건설기술의 혁신이 필요한 상황이다.

### 1.2 스마트 건설기술 건설현장 활용

현재 국내 건설현장에서는 건설기술의 혁신이 필요한 시점에서 4차 산업시대를 맞이하여 BIM, 드론, ICT기반 현장관리 기술 등 스마트 건설기술이 일부 도입되어 활용되거나 시범적으로 적용되고 있기도 하며 또 일부 스마트 기술들은 아직 연구개발 중으로 전면 활용이 어렵지만 학계, 발주처 및 건설업체 등에서는 활용 방안을 모색하며 현장 적용성에 대해 연구·개발중이다. 당사의 일부 현장에서는 설계, 시공 및 안전관리에 스마트 건설기술을 도입해 운영하고 있으며 시공성, 안전성 및 경제성 향상 효과를 기대하고 있다.

이에 본 고는 이러한 스마트 건설기술을 설계, 시공 및 안전관리 측면에서 당사 건설현장에 적용한 사례와 그 효과를 소개하고자 한다.

## 2. 국내외 건설 정책 동향

### 2.1 해외 주요국가 건설정책 동향

영국, 일본, 싱가포르 및 미국 등 세계 여러 선진국들은 건설산업의 혁신을 위하여 스마트 건설기술을 활용한 다양한 국가적, 산업적 노력을 진행하고 있다.

대표적인 정부주도의 정책들을 살펴보면, 영국은 건설산업 혁신방안으로 'Construction 2025'전략을 수립하여 건설 산업의 스마트화를 강조하며, BIM 중심의 건설프로세스를 혁신하기 위한 활동을 다양하게 전개해나가고 있다.

일본은 건설인력의 고령화 및 인력 감소에 대비해 건설산업 생산성 향상을 목표로 'i-Construction'전략을 추진하고 있다. 건설과정에 3차원 데이터 도입, ICT 장비 등 신기술을 활용한 건설 자동화·무인화를 진행하고 있다.

싱가포르는 'Consturction 21 운동'을 통해 건설산업의 생산성 향상을 목표로 자동화 장비 및 로봇, BIM/가상설계 및 시공 등 7대 핵심 기술 분야를 제시하고 있으며, 국가사업에 BIM의 적용을 의무화하는 등 도시의 스마트화를 모토로 디지털 도시모델인 'Virtual Singapore'를 구축하고자 노력하고 있다.

한국도 교통부에서는 첨단 기술을 기반으로 건설산업의 새로운 도약기회를 마련하고자 스마트 건설기술의 활성화를 위해 2025년까지 스마트 건설기술 활용기반을 구축하고, 2030년까지 건설자동화를 완성하는 것을 목표로 '스마트 건설기술 로드맵(2018.10)'을 수립·발표하였다.

### 2.2 국토부 스마트 건설정책

스마트 건설기술 로드맵에서 정의하고 있는 스마트 건설기술은 전통적인 건설기술에 첨단기술(BIM, 드론, 로봇, IoT, 빅데이터, AI 등)을 융합한 기술로 규정하였다. 로드맵을 통해 제시한 건설기술의 발전방향은 건설 과정에서 생성되는 각종 정보를 공유·유통하고 빅데이터 및 시뮬레이션을 적극 활용해 건설을 기존의 경험의존적 산업에서 지식·첨단산업으로 전환하는 것이다.

구체적인 발전 목표는 단계적으로 구분해 제시했다. '설계 단계'에서 드론측량과 BIM을 전면 활용한 디지털정보모델을 정착시킨 후 빅데



이터를 기반으로 한 설계 자동화를 추진한다. '시공 단계'에서는 건설 장비 자동화, 가상시공 등 기술 개발 후 시공 전반을 자동화 하며, '유지관리 단계'에서는 로봇과 드론이 시설물을 점검할 수 있는 기술을 확보하고 빅데이터 구축을 활용해 디지털 트윈(Digital Twin)을 통한 시설물 유지관리 체계로 발전시키는 것을 목표로 하고 있다.

### 3. 당사 스마트 건설기술 적용 사례

#### 3.1 당사 설계 및 시공 적용 사례

##### 1) BIM(Building Information Modeling)

건설 산업에서 가장 활발히 연구되고있으며 현장에 적용되고 있는 가장 대표적인 4차산업 기술이 BIM이다.

국내 건축현장에서는 500억원 이상 공공 건축물, 싱가포르 건축현장에서는 500m 이상일 경우 설계 및 시공에 대해 BIM을 적용하도록 하고 있으며, 국내 토목에서도 2016년부터 조달청 발주공사에 BIM 설계적용이 의무화 되고 있다.

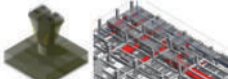
점차 BIM 활용도가 높아짐에 따라 BIM 3D모델링을 통한 설계 오류검토, 철근 간섭검토 등을 넘어서 설계부터 시공, 유지관리까지 운영가능한 통합 플랫폼 개발 및 적용을 하고자 한다.

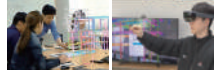
당사는 2008년 BIM 적용을 시작으로 <표 1>과 같이 국내외 건설사 최고 수준의 BIM 기술을 축적해가고 있으며, 당사의 BIM 단계별 수행 현황은 <표 2>와 같다.

<표 1> 국내외의 최고 수준의 BIM 기술 축적

| 항목                                    | 주요내용                           |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| BIM 공사관리 통합시스템                        | 국내외 토목 최초 적용                   |
| BIM에 의한 설계 및 시공성 검토(3D 구조물 및 철근상세 모델) | 과업 전구간에 BIM을 적용한 국내 토목분야 최초 사례 |
| 3D 토공 유동 계획 시스템                       | 국내 토목 최초 적용                    |
| 웹기반 5D 시스템                            | 국내 토목 최초 적용                    |
| 아바타 안전관리 시스템                          | 국내 최초 적용<br>(특허 제10-1700920호)  |
| 가상현실 장비운영 시스템                         | 웹기반 국내 최초 적용                   |

<표 2> 당사 BIM 단계별 수행 현황

| 시공 전                                                                                |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 3D 모델링 및 실시설계                                                                       | 3D 철근 상세 모델링                                                                        |
|  |  |
| 철근 및 구조물 간섭체크                                                                       | 사전 시공성 검토                                                                           |
|  |  |

| 시공 중                                                                               |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 시공시뮬레이션                                                                            | 공정관리                                                                                |
|  |  |
| 자재관리 및 물량산출                                                                        | 스마트 기기 연동/실시간 협업                                                                    |
|  |  |

<표 3> BIM 장비 시뮬레이션을 통한 가설 검토

| BIM 시뮬레이션                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |
| 2D 도면으로 계획한 거더 가설공법에 대한 BIM 시뮬레이션<br>(가설계획 검토로 공기지연 사전 예방)                         |

[그림 1] BIM 수상실적

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>2010 BIM Construction Awards 대상 및 Best Practice 상 (스타이트 타워 및 호남고속철도 4~2공구)</li> <li>2011 BIM Construction Awards Good Practice 상 (우이동 콘도미니엄)</li> <li>2012 BIM Construction Awards 우수상 (사망의 교회)</li> <li>2013 한국 BIM 학회 작품상 (호남고속철도 4~2공구)</li> <li>2014 싱가포르 BCA BIM Awards 최고상 (베독 레지던스)</li> <li>2015 싱가포르 BCA BIM Awards 조직부문 금상</li> <li>2018 BIM Construction Awards Good Practice 상 (L Project)</li> <li>BIM Construction Awards First Prize (마곡 N Project)</li> </ul> | <p>싱가포르 BCA BIM Awards 최고상</p>  <p>BIM Construction Awards</p>  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 2) 드론(Drone)

대규모 시설의 공사 관리를 위해 드론과 3D모델링 기술을 접목하는 공법을 적용하고 있다. GPS가 장착된 드론을 활용해 현장을 촬영하고 3D로 모델링함으로써 시공 현장의 좌표, 레벨, 체적, 면적 및 길이의 데이터 값을 신속하고 정확하게 산출해 현장 설계·공정·공사·안전관리 모든 분야의 생산성 향상에 도움을 주고 있다. 주기적으로 전경사진 및 영상을 촬영하여 이를 토대로 골조 및 외부공사 공정파악이 가

능하고, 골조 및 외부공사 진행 시 문제점을 파악할 수 있으며, 공사에 대한 관리자의 이해도 향상에도 도움이 되고 있다.

[그림 2] 건설현장 드론의 활용(공정관리)



[그림 3] 건설현장 드론의 활용(공사관리)



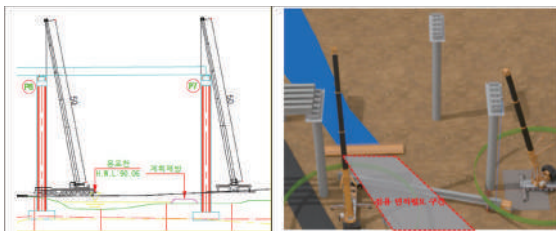
### 3) 가상현실(Virtual Reality, VR)

최근 건설현장에는 VR을 여러 목적으로 많이 활용하고 있다. 당사 현장에서는 교량 Girder 거치 작업에 VR을 통해 시뮬레이션함으로써 시공성 및 안정성을 확보했으며, 초대형 병원 현장의 사전 설계 검토에 적용해 작업 효율성을 향상시키고 있다.

#### ① VRS를 활용한 교량 Girder 거치 작업

교량 Girder 거치를 위한 크레인의 작업 반경내에 고압선이 인접해 있어 감전사고의 위험이 있고, 하천에 인접하여 정확한 크레인 설치위치 및 하천점용 면적 산정의 어려움이 있으며, 현장 여건에 맞는 크레인 용량 선정방법 필요, 고중량물 거치를 위한 크레인 운전원 교육 등이 필요하여 가상현실을 구현한 VRS(Virtual Reality Simulation)를 이용해 작업 전 위험요인을 철저히 파악하고 대책을 수립하였다.

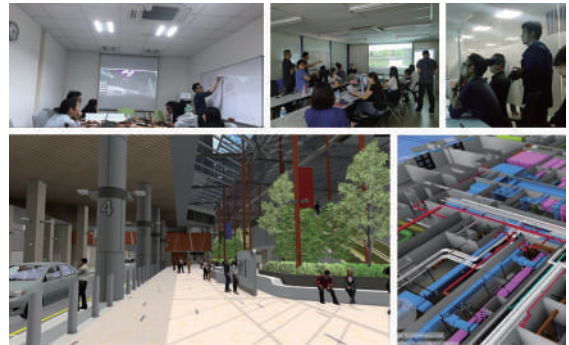
[그림 4] VRS를 활용한 교량 Girder 거치 작업



#### ② VR을 활용한 사전 설계 검토

설계 오차를 줄이고 잦은 설계 변경안을 원활히 적용할 수 있도록 VR을 활용하고 있다. 싱가포르 우드랜드 헬스 캠퍼스 현장은 지하4층 ~ 지상7층, 8개 동 총 1,800병상 규모의 초대형 병원으로 건축물 대부분을 사전 제작한 뒤 레고블록을 맞추듯 조립해야 하는 방식인 PMU(Prefabricated Modular Unit) 방식이 싱가포르에서 처음으로 적용된 현장이다. 프로젝트의 성공적 수행, 발주처 및 사용자의 만족도를 높이기 위해 각 Room 별 마감 등을 반영한 VR을 적용하여 설계에 대한 이해도를 최대화하고 있으며, 이를 통해 설계 변경 최소화를 도출하고 있다.

[그림 5] VR을 활용한 설계 검토



### 4) 증강현실(Augmented Reality, AR)

AR은 가상현실(VR)의 한 분야로 실제로 존재하는 환경에 가상의 사물이나 정보를 합성하여 마치 원래의 환경에 존재하는 사물처럼 보이도록 하는 기법으로 건설중인 현장에서 완공된 구조물을 미리 확인할 수 있다. BIM모형을 기반으로 공간데이터를 결합하여 완공 및 검토 필요단계를 구현해 확인할 수 있는 AR 시스템을 일부 현장에 적용하고 있다. 기존 구조물과 신규 부재가 복잡하게 얹혀 있는 리모델링 현장과 도로현장의 장대교량에 적용하여 시공 전 설계의 적정성, 시공 위치 및 간섭 확인 등에 활용하고 있다.

[그림 6] AR을 활용한 시공전 현장 확인(건축현장)



[그림 7] AR을 활용한 시공전 현장 확인(토목현장)





### 5) QR코드(Quick Response Code)

QR코드를 기반으로 근로자들이 시공 공정현황을 실시간으로 확인할 수 있는 디지털 공사관리 시스템을 두바이 로얄 아틀란티스 리조트 & 레지던스 현장에 도입했다. 당 현장은 총 3,300여 공간으로 이루어진 대형 현장으로 하루 약 10,000여명의 출력인원이 근무하고 있다. 매일 각 공구별 / 업체간 공정보고 등을 통해 정보를 공유하지만 실시간 공정현황을 파악하는데 시간과 노력이 많이 소요되고, 또한 이런 이유가 생산성 저하 및 공기 지연을 유발할 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위한 효율적인 방안으로 QR코드 시스템을 도입하였다.

각 Room에 부착된 QR코드를 이용하여 현장에서 실시간으로 각 Room의 작업리스트, 히스토리, 공정진행상황, 검측결과 및 코멘트, 문제점, 사진기록 등을 입력 및 확인이 가능하다. 또한, 선행공정 작업 완료 후 다음 공정 책임자에게 자동 알림 기능, 실시간으로 생성되는 각종 시각적 자료를 통한 즉각적인 의사결정 기능 등을 활용해 복잡한 초대형 현장 선·후행 공사의 신속한 작업 연결 및 검측관리에 적용하여 작업 생산성 향상을 도모하고 있다.

[그림 8] QR코드 디지털 공사관리 시스템



## 3.2 당사 안전관리 적용 사례

### 1) BIM을 활용한 안전관리

국내외 BIM 수행실적을 바탕으로 시공 전 BIM을 이용한 안전시공 시뮬레이션을 수행하며, 최상의 안전관리계획 수립을 통한 공사 중 안전사고 및 재해사고 ZERO화를 위해 BIM을 활용하고 있다.

[그림 9] BIM을 이용한 아바타 3차원 안전관리



### 2) VR을 활용한 안전교육

건설근로자에게 사고 대응태세 확립 및 경각심 고취에 도움을 줄 목적으로 작업 전 VR을 활용한 안전교육을 실시해 현실적인 사고체험 기회 및 주요작업에 대한 사전 가상체험을 제공함으로써 안전사고 예방교육을 실시하고 있다.

[그림 10] VR 안전교육



### 3) 에어백 일체형 안전벨트

안전성 및 시인성을 고려한 대형 반사경이 부착된 에어백 일체형의 안전벨트로 추락 시 에어백 기질이 자동 센서에 의해 자동으로 부풀어 올라, 목, 등, 흉부 등의 충격을 완화하여 작업자를 보호한다.

[그림 11] 에어백 일체형 안전벨트



### 4) 지능형 안전모

현장상황 실시간 확인 및 이상충격 시 사고정보를 실시간 전송함으로써 근로자의 사고를 실시간으로 감지하여 신속한 대응이 가능하다.

[그림 12] 지능형 안전모





## 5) 액션캠 및 드론 연계

작업자의 안전도 및 드론에 액션캠을 부착함으로써, 실시간 작업영상을 시간과 장소의 제약 없이 스마트폰 및 PC로 모니터링이 가능하며 주변 작업 여건과 근로자 안전 수칙 준수 여부 등을 실시간 체크하여 핵심공정, 고난도·위험 공사 등을 효과적으로 관리할 수 있다. 또한 주변 작업 여건과 장비배치 등 실시간 체크가 가능하다.

[그림 13] 액션캠 및 드론 연계 활용



## 6) QR코드를 이용한 건설장비 스마트 통합관리시스템

기존에 현장 담당자의 개별 장비 점검방식에서 발생되는 오류를 개선하여 현장 특성을 반영한 건설장비 통합 관리시스템으로서 휴대폰을 이용한 QR코드 인식으로 장비 투입 전 장비 이상유무 사전 확인 및 운전원 이력 파악 등 안전사고 사전예방이 가능하다.

[그림 14] QR코드를 이용한 통합관리시스템



## 7) 안전관리 우수성

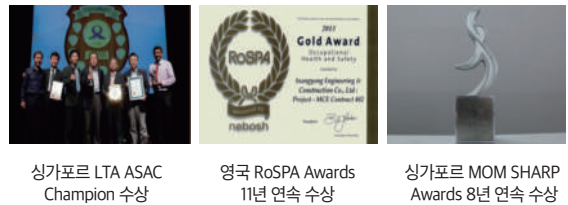
차별화된 품질 관리와 더불어 안전 최우선의 기업철학을 바탕으로 이러한 스마트 건설기술을 시공뿐 아니라 안전 관리에도 적극 활용하고 있다. 최근 국내 현장에 IoT를 활용한 스마트 건설안전 솔루션 적용, 서울시 최초 VR안전교육 시스템 도입 등을 통해 안전교육의 다변화, 작업자의 능동적이고 적극적인 교육 참여 의지 및 작업자의 안전문화 의식 고취에 일조함으로써 현장별 무재해 목표를 달성하였다.

특히 싱가포르에서는 지하철 공사사상 최저 무재해 기록(1,675만 인시)을 수립, 9개 프로젝트에서 총 6,500만 인시 무재해 달성을 유지하여, 싱가포르 안전대상 최고 영예인 Champion을 수상하는 등 세계 최고 수준의 안전관리 능력 보유하고 있다.

[그림 15] 안전기록(싱가포르)



[그림 16] 안전수상(싱가포르)



## 4. 2019 스마트 건설기술 · 안전 EXPO 참가

국토교통부가 스마트 건설기술 활성화와 기술 융복합을 위한 업역간 소통, 첨단기술·산업 트렌드 공유 목적으로 '2019 스마트 건설기술·안전 EXPO'를 개최했다. EXPO에는 설계, 시공, 안전, 유지관리 등 약 240여개의 관련 업체가 참여했으며, 전시 기간 동안 각 사의 전시관, 전문포럼, 기술 설명회, 대중 강연 등 스마트 건설기술과 관련된 다양한 기술들이 소개되었다. 우리회사는 전시관 내 홍보 부스를 설치하여 각 현장에 적용했던 스마트 설계·시공 기술인 BIM, VR, AR, 드론, QR코드 기반 공사관리 플랫폼 등과 스마트 안전 기술인 지능형 안전모, 에어백 일체형 안전벨트, 액션캠, QR코드 기반 장비관리 등을 선보여 4차산업시대를 맞이하는 당사의 기술력을 대외에 홍보하는 기회가 되었다.

[그림 17] 스마트 건설기술·안전 EXPO 홍보 부스



## 5. 맺음말

다른 산업분야에 비해 변화가 느린 건설업계에서도 4차산업혁명시대를 맞이하여 건설산업도 스마트 건설을 위해 변화의 바람이 거세게 불고 있다.

정부는 스마트건설의 자리매김을 위해 2019년도에만 스마트국토 엑스포(8/7~8/9), 스마트시티 엑스포(9/4~9/6), 스마트 건설기술·안전 엑스포(11/27~11/29)를 연이어 개최하며 스마트 건설 활성화 및 기술 융복합을 위한 업역간 소통, 첨단 기술 및 산업 트렌드 공유를 지속적으로 시도하고 있다. 특히 건설업계는 스마트 건설을 실현하기 위해 다양한 첨단 스마트 기술을 연구개발 및 현장 적용하기 위한 여러 방안을 모색하며 스마트 건설 실현을 위한 가속화에 발빠르게 움직이고 있다. 이에 당사도 BIM적용 선두업체로서 시공 시 스마트 설계·시공 기술인 BIM, AR/VR, 드론, QR코드 기반 공사관리 플랫폼 등과 안전관리 시 지능형 안전모, 에어백 일체형 안전벨트, 액션캠, QR코드 기반 장비관리 등의 스마트 기술을 적용하여 현장 관리함으로써 효율적으로 현장을 관리하고 있다. 앞으로도 당사는 4차산업시대를 맞이하여 정부의 스마트 건설산업 육성 및 확대 정책에 맞춰 미래 건설산업 경쟁력 강화는 물론 당사의 스마트 건설 기술 개발 및 적용 확대를 위해 혁신적이면서 지속적으로 스마트 건설 실현에 일조할 계획이다.

### ※ 참고문헌

1. 국토교통부, 건설생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵, 2018.10.31
2. 진경호, 건설생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술, 건설기술 쌍용, 2019.03.29

### WRITER INTRODUCTION



이승헌 부장은 쌍용건설 토목기술팀 팀장으로 근무하였다. 현재 토목기술팀에서 재직중이며, 도로분야 설계 및 입찰 업무 등을 담당하고 있다.



김준호 과장은 쌍용건설 토목기술팀에서 기술연구소 업무 및 토목/건축현장의 지반분야 현장기술지원, 입찰 등을 담당하고 있다.



안동열 과장은 쌍용건설 토목기술팀과 충주-제천2공구 고속도로 현장에서 근무하였다. 현재 토목기술팀에서 재직중이며, 구조분야 설계 및 입찰, 설계용역 업무 등을 담당하고 있다.



# 실드 TBM 막장 전방 예측을 위한 머신러닝 기법의 적용 연구

글 정지희 / 토목기술팀 대리 / 전화 02-3433-7882 / E-mail jhjung@ssyenc.com

## 1. 머리말

세계적으로 지하공간에 대한 개발이 활발해지면서, 하해저 등의 도심도 구간이나 도심지의 근접시공 구간 등 지하구조물 건설이 어려운 조건에서의 시공이 늘어나고 있다. 따라서 시공 조건이 까다로운 현장에 적합하다고 알려진 실드 TBM 장비를 사용한 공사가 많아지고 있는데, 이 경우에 사고가 발생하면 대형사고로 이어지는 경우가 많아 경제적 손실 등이 크게 발생하게 된다. 이러한 손실을 줄이기 위해 실드 TBM 적용 시에는 대부분 리크스 관리를 함께 수행하고 있으며, 관리 방법에 대한 연구도 지속적으로 진행되고 있다.

이러한 연구의 일환으로 Jung(2020)은 지질리스크 요인의 발생확률을 줄일 수 있는 막장 전방 예측 방법을 연구하였으며, 실드 TBM 운용 데이터만으로 막장 전방의 지반 조건을 예측하기 위해 머신러닝 기법을 적용하였다.

본 고는 이러한 Jung(2020)의 논문을 요약하여, 실드 TBM 적용 시 지질리스크 관리에 용이한 머신러닝 기법의 적용 방법을 간략하게 소개하였다.

## 2. 머신러닝(Machine Learning)

머신러닝은 인공지능(Artificial Intelligence)의 한 분야로 최근 딥러닝 관련 연구가 활발해지면서 다시 주목 받고 있다. 머신러닝은 크게 지도 학습(Supervised Learning)과 비지도 학습(Unsupervised Learning)으로 나뉘는데, 지도 학습은 학습에 입력과 출력 데이터가 모두 필요하고, 비지도 학습은 학습에 출력 데이터가 필요하지 않다. 지도 학습은 학습 데이터로부터 하나의 함수를 유추해내 주어진 데이터를 예측하고자 할 때 사용하고, 비지도 학습의 경우에는 데이터가 어떻게 구성되었으며 주요 특징이 무엇인지 요약하고 설명하는데 사용한다. 따라서 모델링의 최종 목적이 무엇이나에 따라 적절한 학습 방법을 선택해야 한다.

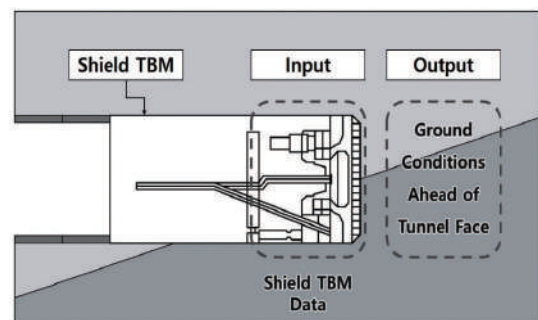
해당 연구의 목표는 최종적으로 막장 전방의 지반 타입을 예측하는

데 있기 때문에, 지도 학습의 종류인 신경망(Neural Network)과 회귀(Regression) 분석을 주로 적용하였으며, 개발된 엔진의 토사 터널 적용성을 높이기 위해 비지도 학습의 한 방법인 군집화(Clustering) 분석을 사용하였다.

### 2.1 인공신경망(Artificial Neural Network)

인공신경망이란 인간의 판단 및 학습능력을 수학적으로 모델링하여 체계화한 제어 기법으로, 기본적으로 주어지는 입력층과 출력층 사이의 관계를 찾아내기 위한 학습이 중요하다고 할 수 있다. 이때 학습의 종류 및 인공신경망 계층 구조 등에 의해 매우 다양하게 모델링이 될 수 있으며, 최적의 모델을 도출하기 위해서는 다양한 방법을 반복 적용하여 해당 문제에 가장 적합한 모델을 찾는 것이 중요하다. 본 연구에서는 [그림 1]에서와 같이 실드 TBM 데이터를 입력 데이터로, 전방의 지반 조건을 출력 데이터로 하여 학습을 진행하였다.

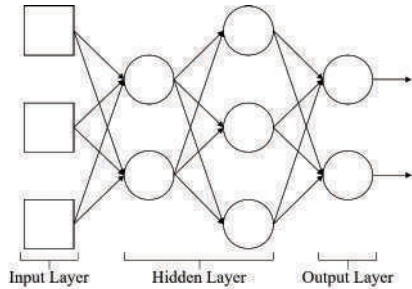
[그림 1] 막장 전방 예측 개요도



일반적인 인공신경망의 계층 구조는 [그림 2]와 같은데, 은닉층(Hidden Layer)의 유무와 수에 따라 단층과 다층 신경망으로 나눌 수 있다. 은닉층의 수는 많아질수록 예측 정확도는 높아지나 학습에 많은 시간이 투자되므로, 얻고자 하는 결과 수준에 맞는 계층 구조를 선택해야 한다. 따라서 은닉층의 수를 다양하게 변화시켜 반복 분석을 수행하여 최적의 모델을 도출하였다.



[그림 2] 인공신경망의 계층 구조



학습 알고리즘으로는 다층 신경망에 일반적으로 사용되는 오차 역전파(Back Propagation) 법을 사용하였으며, 오차 최소화를 위한 가중치(Weight) 갱신에는 Levenberg-Marquardt(L-M)법을 사용하였다. 또한 일련의 과정을 거친 노드 입력 데이터를 출력 데이터로 변경해주는 활성화 함수는 쌍곡 탄젠트 함수(Hyperbolic Tangent Sigmoid Transfer Function)를 사용하였다. 이러한 방법들을 적용하면 학습이 비교적 안정적이고 빠르게 수렴할 수 있으며, 은닉층의 수가 많아질수록 발생하는 기울기값 소실 문제를 완화시킬 수 있다는 장점이 있다.

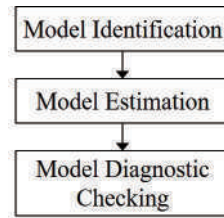
## 2.2 시계열 분석(Time Series Analysis)

시계열 분석이란, 어떤 자료가 과거 시점에서 얻어진 추세에 따라 앞으로도 변할 것이라는 전제하에 미래를 예측하는 기법이다. 분석 방법에는 지수평활법(Exponential Smoothing Method), ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) 모델(Box-Jenkins 방법), 선형 회귀분석, 비선형 회귀분석, 신경망 분석 등이 있다. 이 중에서 단기예측에 적합한 ARIMA 모델(Box-Jenkins 방법)과 신경망(시간 지연신경망) 분석을 조합하여, 막장 전방 지반 타입의 예측이 가능한 하이브리드 시계열 엔진을 개발하였다.

ARIMA 모델은 시계열 자료 자신에 대한 회귀형태를 취하는 Autoregressive(AR) 모델과, 현재와 과거의 연속적인 오차항이 영향을 미치는 Moving Average(MA) 모델의 종합모델이다. 이때 AR 모델의 차수를  $p$ , MA 모델의 차수를  $q$ 로 나타낸다. 차수는 현재에 영향을 미치는 과거의 시점을 말한다. 또한 ARIMA 모델은 비정상 시계열 자료를 정상적 시계열 자료로 변환하는 차분 과정을 거치는데, 차분의 차수를  $d$ 로 나타낸다. 따라서 ARIMA 모델을 나타낼 때, 'ARIMA( $p$ ,  $d$ ,  $q$ )'로 차수까지 함께 표현한다. AR과 MA의 차수는 대부분 1이나 2를 사용하고, 차분의 차수는 3 이하로 가정된다.

모델의 분석 방법은 Box-Jenkins가 제시한 3단계 모델적합법의 순서를 따르는 것인데, 이 단계는 [그림 3]과 같다.

[그림 3] Box-Jenkins의 3단계 모델적합법

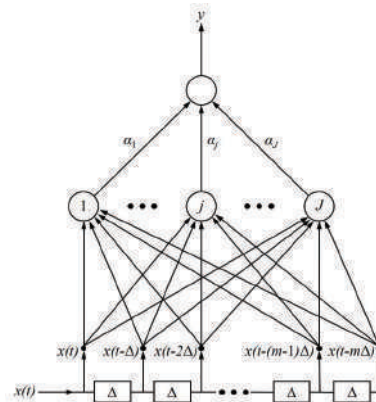


이러한 3단계 모델적합법을 통해 적합하다고 판단된 ARIMA 모델은, 과거에 획득한 실제 기계데이터로부터 전방의 기계데이터를 예측하는데 사용된다. 또한 예측된 기계데이터는 하이브리드 모델의 다음 단계인 시간지연신경망의 테스트 입력 데이터로 사용되게 된다.

시간지연신경망(Time Delay Neural Network)은 인공신경망에 메모리 구조를 더한 모델로, 출력층의 노드를 제외한 모든 노드들이 메모리 구조를 가질 수 있어, 다른 인공신경망 모델에 비해 시간패턴 인식 능력이 뛰어나다. 이 모델은 [그림 4]와 같은 구조를 가지는데, 현재와 과거의 입출력을 동시에 사용해 비선형 시스템을 학습할 수 있는 동적 신경망임을 알 수 있다.

시간지연신경망의 학습은 일반적으로 다층 신경망과 같은 학습 알고리즘을 사용한다. 따라서 인공신경망과 같은 Levenberg-Marquardt 오차 역전파 알고리즘을 사용하였다. 다만, 시간 지연에 의해 각 층의 연결 구조가 달라지므로, 최종 모델의 세부 사항은 반복 학습을 통해 선별하였다. 최종 선별된 시간지연신경망 모델은 ARIMA 모델에서 예측된 기계데이터를 사용해, 전방의 지반 타입을 예측하는데 사용된다.

[그림 4] 입출력 신호를 위한 시간지연신경망



## 2.3 군집화(Clustering) 분석

군집화는 비지도학습을 통해 입력 데이터의 특징을 파악해 비슷한 성

질을 가지는 군집으로 분류해주는 방법이다. 군집화의 방법 중 Self-Organizing Map(이하 SOM)은 신경망 관점을 기반으로 하는 기법으로, 학습 단계에서 다차원 공간의 특징 벡터로 표현되는 객체들이 경쟁층에서 스스로 유사한 패턴끼리 2차원의 특징 지도를 조직화하여 영역 지도를 형성한다. SOM은 경쟁, 협동, 적응의 세 단계로 학습이 이뤄진다. 먼저 경쟁의 과정에서는, SOM 경쟁층 상에 있는 각 뉴런이 연결된다. 다음으로 협동 과정에서는 경쟁 과정의 승자 뉴런과 인접 뉴런들이 학습된다. 마지막 적응 과정에서는 선택된 뉴런들이 활성화 함수를 통해 연결 강도를 갱신한다. 이러한 SOM 분석은 학습이 상당히 빨라 실시간 처리가 가능하다는 장점을 가진다. 본 연구에서는 토사터널의 지반 타입 분류를 위한 기초자료로서 기계데이터 특징을 분석할 때 SOM 군집화 방법이 사용되었다.

### 3. 데이터 분석 및 모델 구축

#### 3.1 현장 개요

본 연구에서 모델 구축을 위해 사용한 쉴드 TBM 운용 데이터는 총 4개의 TBM 터널 현장 데이터이며, 각 현장의 개략적인 조건은 아래 <표 1>과 같다. <표 1>에 나타낸 것과 같이 기계데이터는 3개의 다른 국가에서 수집되었다. 각 현장의 모암은 다음과 같은데, 현장 1과 2는 'Granite', 현장 3과 4는 'Gneiss'이다. 이때 현장 2의 경우에는 핵석(Core Stone)이 포함된 구간이 존재하는데, 핵석 구간 역시 복합 지반으로 분류되었다. 또한 현장 3의 경우에는 토사층이 존재하지 않는다. 이렇듯 4개의 현장은 서로 다른 특성들을 가지는데, 이러한 다양한 조건들이 보다 포괄적인 분석이 가능하게 해준다.

<표 1> 모델 구축을 위한 현장 조건 비교표

|                       | Site 1                                 | Site 2                                 | Site 3                                                     | Site 4                                 |
|-----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Site Location         | Country 1                              | Country 2                              | Country 3                                                  | Country 3                              |
| Route Length (km)     | ~2.30                                  | ~2.00                                  | ~1.56                                                      | ~0.42                                  |
| Ground Conditions     | soil, mixed ground (soil + rock), rock | soil, mixed ground (soil + rock), rock | soft rock, mixed ground (soft rock + hard rock), hard rock | soil, mixed ground (soil + rock), rock |
| External Diameter (m) | 6.35                                   | 7.10                                   | 4.20                                                       | 7.28                                   |
| Type of TBM           | Slurry                                 | Slurry                                 | EPB                                                        | EPB                                    |
| Quantity of TBMs      | 3                                      | 2                                      | 1                                                          | 1                                      |

다음으로 개발된 엔진의 토사터널 적응성을 확인하기 위한 현장으로 <표 2>와 같은 조건을 가지는 현장을 채택하였다. <표 2>의 현장은

터널 통과 구간 지반이 토사로만 이뤄진 현장으로, 쉴드 TBM 중 토사터널에 적합한 토압식 쉴드 TBM이 사용되었다. 또한 토사층의 경우는 퇴적층으로 점토, 실트, 모래 등이 혼재하여, 터널 막장면을 이루는 토사의 종류가 매우 다양하게 구성되어 있다.

<표 2> 토사터널 현장 조건표

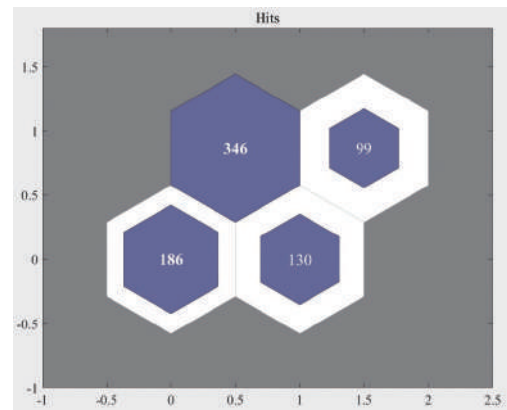
| Route length (km) | Ground conditions                | External diameter (m) | Type of TBM | Soil conditioning materials |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------------------|
| 1.15              | Clay, Silt, Sand, Weathered soil | 7.8                   | EPB         | Foam, Polymer               |

#### 3.2 지반 타입의 분류

인공신경망 및 하이브리드 시계열 모델 구축을 위해 하나의 현장에 대하여 총 3 가지의 종류로 지반을 분류하였다. 이때 'Type 1'은 상대적으로 단단한 지반, 'Type 3'은 상대적으로 연약한 지반, 'Type 2'는 'Type 1'과 'Type 3'이 혼재하는 복합 지반을 의미한다. 여기서 'Type 2'의 경우는 서로 다른 지반의 종류가 커터헤드 지름의 25% 이상을 차지할 경우로 분류하였다. 이 임계값 이상이 되어 복합 지반으로 분류되면 디스크 커터의 불균형 마모, 주변 지반의 이완(침하), 싱크홀 발생 등의 수많은 문제가 발생하여 TBM 운용이 자주 방해 받게 된다.

토사터널 현장의 경우는 암반과 토사가 혼합된 현장처럼 상대적 단단함의 크기로 지반 타입을 분류하는 것이 어렵다고 판단하였다. 따라서 토사터널의 기계데이터 특징에 맞게 지반 타입을 분류하기 위해 [그림 5]와 같이 SOM 군집화 분석을 수행하였다

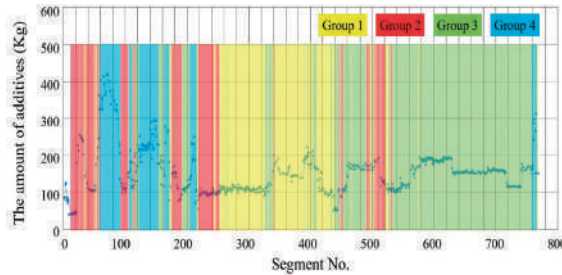
[그림 5] SOM 군집화 분석 결과



[그림 5]의 결과를 세그먼트 순서에 맞게 터널 노선에 표시하고, 이를 첨가제 투입량 그래프와 함께 표시하면 [그림 6]과 같은데, 이를 분석하여 토사의 조·세립질 여부에 따라 지반 타입을 분류하는 것이 적절하다고 판단하였다. 따라서 조·세립질 구분의 척도라고 할 수 있는 #200체 통과량을 기준으로 지반 타입을 분류하였다.

암반과 토사가 혼합된 현장과 토사로만 이뤄진 현장의 최종적인 지반 타입 분류 기준은 <표 3>과 같다.

[그림 6] 첨가제와 기계데이터 비교 그래프



<표 3> 지반 타입의 분류 기준

| Ground conditions | Type 1                    | Type 2                                                        | Type 3                                                         |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Mixed ground      | Rock<br>(Relatively hard) | Rock + Soil<br>(Mixed)                                        | Soil<br>(Relatively soft)                                      |
| Soils             | -                         | Fine-grained soil<br>(≥ 35% pass #200)<br>(Relatively sticky) | Coarse-grained soil<br>(< 35% pass #200)<br>(Relatively loose) |

### 3.3 기계데이터 전처리

지반 분류 단계 적용 후 각 지반 타입별 기계데이터의 특성을 파악하기 위해 분석을 수행하였다. 본 연구에 사용된 기계데이터는 TBM 타입에 상관없이 획득할 수 있는 대표적 기계데이터인 굴진율, 총추력, 커터토크이다. 다만, 본 연구는 어느 하나의 현장 기계데이터를 분석하여 특정 지반에 대한 경향을 파악하는 것이 목적이 아니고, 다양한 현장 조건 및 지반 종류에 상관없이 막장 전방 지반을 예측하는 보편적 모델을 개발하는데 목적이 있으므로, 굴진율(Penetration Rate, P.R.), 총추력(Thrust Force, T.F.), 커터토크(Cutter Torque, C.T.)의 단일 인자만으로는 인공신경망의 높은 정확도 및 신뢰도를 기대하기 어렵다고 판단하였다. 따라서 세 개의 단일 인자를 조합한 복합 인자 6개(T.F./P.R., C.T./P.R., P.R./T.F., C.T./T.F., P.R./C.T., T.F./C.T.)를 추가하여 인공신경망의 학습데이터로 활용하였다.

각 현장의 기계데이터 중 위에서 선정한 단일 인자의 raw 데이터 평균값을 나타내면 <표 4>와 같은데, 그 차이가 약 2,000배에 달할 정도로 큰 것을 알 수 있다. 따라서 이를 현장에 상관없이 3개로 나누는 지반 타입의 대푯값으로 학습시키면, 인공신경망의 예측 정확도가 매우 낮을 것으로 예상하였다.

이러한 문제를 해결하기 위해 데이터 전처리 과정을 거쳤으며, 그 결과물의 평균값은 <표 4>에 나타난 것처럼 매우 비슷한 영역의 값을

가짐을 알 수 있다. 데이터 전처리는 총 두 단계로 진행이 되었는데, 자세한 과정은 Jung(2020)의 논문을 참고하기 바란다.

<표 4> 전처리 전후 데이터 범위 변화

|                  | Raw Data |           | Preprocessing |         |
|------------------|----------|-----------|---------------|---------|
|                  | Minimum  | Maximum   | Minimum       | Maximum |
| Penetration Rate | 157.442  | 1,650.29  | 0.311         | 2.209   |
| Thrust Force     | 3,860.09 | 23,390.01 | 0.58          | 1.54    |
| Cutter Torque    | 1.463    | 1,175.733 | 0.564         | 1.404   |

### 3.4 모델의 적용

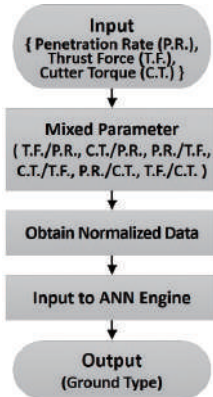
막장 전방 예측을 위한 최종적인 엔진은 크게 두 가지로, 현장 특징에 상관없이 어느 곳에서나 1막장 전방을 예측할 수 있는 인공신경망 엔진, 현장 특징을 반영하여 10막 전방까지 예측 가능한 하이브리드 시계열 엔진이다.

인공신경망 엔진 개발을 위해 사용된 기계데이터는 약 5,000개의 데이터이며, 최종적인 모델의 예측 정확도를 확인하기 위해 약 1,300개의 데이터를 사용하였으며, 프로그램은 'MATLAB R2016a' 버전을 사용하였다. 또한 반복 학습을 통해 선택된 최종 모델의 상관계수는 0.99로 매우 높은 상관계수를 가지는 것을 알 수 있다. 이러한 일련의 과정을 개략적으로 나타내면 [그림 7]과 같은데, 이를 자동적으로 처리할 수 있도록 개발된 시스템을 사용하면, 데이터 전처리부터 1막장 전방 지반 타입 예측까지 실시간으로 적용할 수 있다.

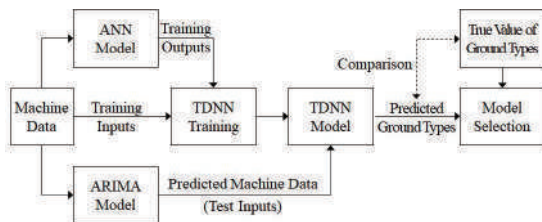
하이브리드 시계열 엔진은 ARIMA 모델과 시간지연신경망을 조합한 엔진으로, 엔진 개발을 위해 총 4개의 현장 중 현장 특징이 뚜렷한 2개의 현장을 선택하여 분석하였다. 그 중 현장 1은 터널 굴착 중 지반 변화 구간이 많은 대표 케이스, 현장 2는 지반 변화 구간이 적은 대표 케이스로 보고 그 결과를 비교 분석하였다. 분석에 사용된 케이스는 총 120개로 각 현장별로 60개의 케이스를 선정하였으며, 모든 케이스별로 [그림 8]과 같은 과정을 반복 수행하여 최적의 모델을 선택하는 기준을 제시하였다. 이때 ARIMA 모델 분석을 위해 사용된 프로그램은 'SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, IBM) 24'이며, 시간지연신경망은 'MATLAB R2016a' 버전을 사용하여 분석하였다. 이러한 과정에서 사용된 파라미터 및 최종 모델 선택 기준은 <표 5>에 나타난 것과 같다.



[그림 7] 1막장 전방 예측 시스템의 순서도



[그림 8] 시계열 엔진 개발을 위한 분석 순서



<표 5> 신경망 학습 방법 및 최종 모델 선택 기준

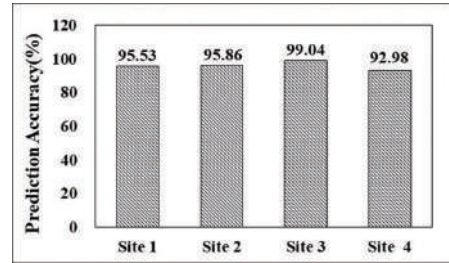
|                                   |       | Details                                                                                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type of ANN                       |       | TDNN (Time delay neural network)                                                          |
| Input delays                      |       | 1                                                                                         |
| Hidden layer and node             |       | 2 (27 nodes for layer 1;<br>9 nodes for layer 2)                                          |
| Train function                    |       | Levenberg-Marquardt backpropagation                                                       |
| Convergence tolerance             |       | 0.05                                                                                      |
| Maximum number of learning inputs |       | 900 (limited to 300<br>when divergence occurs)                                            |
| Final model selection criteria    | TDNN  | Maximum R (coefficient of correlation) or minimum error (on condition that $R \geq 0.7$ ) |
|                                   | ARIMA | (1, 1, 1) When percentage of one ground type in the past 50 segment rings < 75%           |
|                                   |       | (1, 2, 1) When percentage of one ground type in the past 50 segment rings $\geq 75\%$     |

## 4. 결과

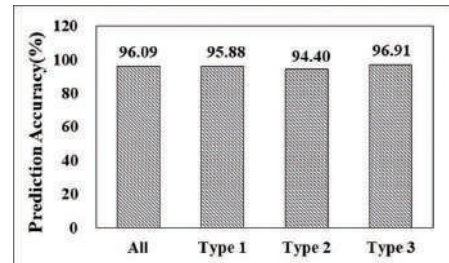
### 4.1 인공신경망 엔진 적용 결과

최종적으로 선택된 인공신경망 엔진의 전방 지반 예측 정확도는, 약 1,300개의 테스트 데이터를 적용하여 획득한 출력 데이터와 각 현장의 실제 지반 타입을 비교하여 도출하였다. 이러한 방법을 통해 도출한 예측 정확도를 현장별, 지반 타입별로 구분하여 비교해 보면 [그림 9~10]과 같다.

[그림 9] 현장별 전방 지반 예측 정확도



[그림 10] 지반 타입별 전방 지반 예측 정확도



[그림 9]를 보면 4개의 현장에서 모두 90% 이상의 예측 정확도를 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 [그림 10]에서 지반 타입별 예측 정확도가 대부분 95% 이상인 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 인공신경망 엔진의 우수성 및 효용성이 입증되었다고 할 수 있으며, 이를 실제 현장에 적용할 경우 실시간으로 1막장 전방의 지반 타입을 예측할 수 있어 TBM 운영자에게 유용할 것으로 판단된다.

### 4.2 하이브리드 시계열 엔진 적용 결과

제시한 하이브리드 시계열 엔진을 사용하여 막장 전방 10링의 지반 타입을 예측하였으며, 그 결과 역시 실제 지반 타입과 비교하였다. 이들의 평균 예측 정확도는 <표 6>과 같은데, 대부분의 케이스에서 80% 이상의 예측 정확도를 보이고, 전체적으로 90% 이상의 평균값을 보임을 알 수 있다. 따라서 제시된 하이브리드 시계열 엔진이 10막장 전방의 지반 타입을 예측하는데 매우 효과적이라고 판단할 수 있다.

<표 6> 예측 정확도 평균 비교표

|                                 | Site 1 |       | Site 2 | Sections of frequent ground type variation | All   |
|---------------------------------|--------|-------|--------|--------------------------------------------|-------|
|                                 | TBM 1  | TBM 3 | TBM 1  |                                            |       |
| Mean of Prediction Accuracy (%) | 92.14  | 95.36 | 95.69  | 83.93                                      | 94.74 |

다만 지반 변화 구간의 경우는 전체 평균에 비해 예측 정확도가 낮게 나타났는데, 이를 확인하기 위해 <표 7>과 같이 더 자세히 비교하였다.

<표 7> 지반 변화 구간의 지반 타입 분포 비교표

|       |        | Ground type distributions |   |   |
|-------|--------|---------------------------|---|---|
| Site1 | Case4  | True Value                | 2 | 3 |
|       |        | Prediction                | 2 | 3 |
|       | Case16 | True Value                | 3 | 2 |
|       |        | Prediction                | 3 | 2 |
| Site2 | Case75 | True Value                | 2 | 1 |
|       |        | Prediction                | 2 | 1 |
|       | Case84 | True Value                | 1 | 2 |
|       |        | Prediction                | 1 | 2 |

<표 7>을 보면, 지반 변화 구간이 실제와 완전히 다르게 예측되는 것이 아니라, 변화 시작 위치만 조금씩 다르게 예측됨을 알 수 있다. 따라서 지반 변화 구간의 예측 정확도가 전 구간의 평균 예측 정확도보다 낮다고는 하지만, 제안된 하이브리드 모델이 10막장 전방에서 지반 변화를 미리 인지하면 TBM 운영자가 이에 대응할 수 있기 때문에, 실제 현장에서는 정확도와 상관없이 매우 유용한 결과라고 볼 수 있다.

#### 4.3 토사터널의 적용

암반과 토사가 혼합된 현장의 기계데이터를 분석하여 개발된 인공신경망 엔진과 시계열 하이브리드 엔진을, 토사터널 현장에 적용하여 그 적용성을 판단하였다.

먼저 인공신경망 엔진을 적용하였는데, 이 엔진은 현장의 기계데이터가 입력되면 자동적으로 정규화 과정이 진행되고, 1막장 전방의 지반 타입이 예측되게 된다. 따라서 해당 현장의 기계데이터를 입력하여 전 구간의 1막장 전방 지반 타입을 획득하였으며, 그 결과를 <표 8>에 표시하였다. <표 8>에서 알 수 있듯이 전체적으로 99%의 높은 예측 정확도를 나타냈으며, 이 결과는 시간지연신경망 단계에서 학습의 출력데이터로 사용된다.

<표 8> 인공신경망 엔진 적용 결과

|                         | Type 2 | Type 3 | All   |
|-------------------------|--------|--------|-------|
| Number of ground types  | 195    | 566    | 761   |
| Prediction accuracy (%) | 98.97  | 99.12  | 99.08 |

다음으로 시계열 하이브리드 엔진을 사용하여 10막장 전방의 지반 타입을 예측하였다. 그 결과 평균 예측 정확도는 <표 9>와 같은데, 지반 변화 구간과 유지 구간에 상관없이 모두 90% 이상의 예측 정확도를 보였으며, 전체적으로도 98%의 높은 예측 정확도를 보이는 것을 알 수 있다.

<표 9> 시계열 엔진 평균 예측 정확도 비교표

|                                 | Cases of maintained ground type | Cases of changed ground type | All   |
|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|
| Mean of Prediction Accuracy (%) | 98.82                           | 93.33                        | 98.00 |

3.2절에 언급하였듯이, 토사터널에서 지반 타입은 #200체 통과량 35% 기준으로 분류하였으며, 이 기준이 토사터널의 기계데이터 특징과 첨가제 주입 특징 모두를 반영한다는 것을 확인하였다. 또한 시계열 분석 결과 최종적으로 98%의 높은 예측 정확도를 보였으므로, 예측되는 지반 타입에 맞는 첨가제를 추정하여 적용할 수 있을 것으로 판단하였다. 따라서 <표 10>과 같이 예측 지반 타입별 첨가제의 종류를 제시하였다. <표 10>에 제시한 첨가제는 총 두가지로 분류되는데, 일반적으로 자주 사용되는 폼만으로도 컨디셔닝이 가능한 경우와 폼과 폴리머를 함께 사용해야 하는 경우로 나뉜다. 폴리머를 함께 사용해야 하는 경우는 #200체 통과량이 35% 이상인 경우로, 점착력이 상대적으로 크기 때문에 터널 굴착 시 커터의 마모, 굴착토의 챔버내 부착, 배토 불능 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 막장 전방 예측 지반 타입 2로 판단될 경우, 폴리머를 함께 주입하여 원활한 굴착이 이뤄질 수 있도록 해야 한다.

<표 10> 예측 지반 타입에 따른 첨가제의 종류

| Predicted ground types      | Type 2                              | Type 3                                |
|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Ground conditions           | Fine-grained soil (≥ 35% pass #200) | Coarse-grained soil (< 35% pass #200) |
| Soil conditioning materials | Foam+ Polymer                       | Foam                                  |

## 5. 맺음말

Jung(2020)의 논문은 머신러닝 기법을 사용하여 터널 막장 전방의 지반 타입을 예측하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 지반 종류에 따른 실드 TBM 운용 데이터의 특징을 분석하였으며, 인공신경망과 시계열 분석에 적합한 기계데이터 정규화 방식을 연구하였다. 또한 인공신경망의 효율적 학습과 예측 결과의 정확도 향상을 위한 지반 타입 분류 방법도 연구되었다. 이러한 과정을 거쳐 개발된 인공신경망 엔진과 하이브리드 시계열 엔진을 통해 터널의 10막장 전방 지반 타입을 예

측하였으며, 예측 결과와 실제 지반 타입을 비교해 예측 정확도를 확인하였다. 이를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- TBM 운용 데이터 중 굴진율, 총추력, 커터토크는 지반 타입에 따른 경향이 나타났다. 또한 다소 약한 경향성을 보이는 단일 인자도 복합 인자로 변경 적용하면, 인공신경망 학습 데이터로써 유의미한 결과를 도출하는 중요 인자가 된다는 것을 알 수 있다.
- 현장에 따라 달라지는 특성을 줄이기 위해 필요한 정규화 단계를 수행함으로써, 어느 현장에나 적용할 수 있는 보편적인 인공신경망 엔진을 개발하였다. 이때 추가적인 전처리 과정을 통해서 예측 정확도를 더욱 향상시킬 수 있다.
- 개발된 하이브리드 시계열 엔진은 지반 타입 분류 개수에 상관없이 10막장 전방 세그먼트 링의 지반 타입을 예측할 수 있음을 확인했다.
- 제안된 하이브리드 시계열 엔진을 사용하면, 단순한 설정만으로도 새로운 현장에서의 10막장 전방 지반 타입을 예측할 수 있다. 이러한 예측은 거의 실시간으로 이뤄지는데, 이를 통해 쉴드 TBM 운용 중의 지질 리스크 요인을 크게 줄일 수 있다.
- 지반 타입 변화 구간에 대한 예측 정확도가 전체 평균보다는 작게 나타나지만, 10막장 전방에서 지반 타입 변화 여부를 미리 확인할 수 있으므로 현장 관리가 매우 용이해진다.
- 토사터널의 지반 타입 구분에 #200체 통과량 35% 기준을 적용하면, 지반 타입별 기계데이터 특징과 첨가제 주입 특징이 일치하는 것을 확인할 수 있다.
- 토사터널의 경우 예측되는 지반 타입에 따라 폼과 폴리머 등의 첨가제를 사전에 준비할 수 있으므로, 전방 예측 엔진이 원활한 굴착을 위한 쏘일 컨디셔닝에 매우 유용하게 사용될 수 있다.

## ※ 참고문헌

1. Box, G.E.P., Jenkins, G.M. (1970), Time series analysis: forecasting and control, Holden-Day, San Francisco, USA.
2. Chung, H., Lee, I.M., Jung, J.H., Park, J. (2019), "Bayesian networks-based shield TBM risk management system: methodology development and application", KSCE Journal of Civil Engineering Vol. 23, No. 1, pp. 452-465.
3. Hassoun, M.H. (1995), Fundamentals of artificial neural networks, MIT Press, Cambridge, MA, USA.
4. Kim, S.P. (2016), Deep learning for beginners, Hanbit Media, Inc., Seoul, Korea.
5. Kim, P. (2017), MATLAB deep learning: with machine learning neural networks and artificial intelligence, Apress, New York, NY, USA.
6. Jung, J.H. (2020), Utilization of Machine Learning Methods to Predict Ground Conditions ahead of Tunnel Face in Shield TBM Method, Doctoral Dissertation, Korea University, Seoul, Korea.

## WRITER INTRODUCTION



정지희 대리는 토목기술팀에서 지반분야 기술지원 및 입찰지원을 담당하고 있으며, 인공지능의 한 분야인 머신러닝 기법을 연구하여 박사학위를 받았다.





# 속경성 고유동 CLSM을 이용한 터널 충전 시공사례

글 김창수 / 토목기술팀 차장 / 전화 02-3433-7767 / E-mail conshot@ssyenc.com

글 한진규 / 케미우스 코리아 이사 / 전화 031-282-0399 / E-mail hani1212@empal.com

## 1. 머리말

일반적으로 통신관, 가스관, 상하수도관 등의 관 하부와 좁은 공간의 뒷채움은 다짐작업이 어려우며 다짐을 하더라도 뒷채움재의 특성상 추가 침하가 발생하기 때문에 공사완료 후에 굴착 부위를 따라 균열이 발생하고 수분이 침투하여 포장 및 매설 관로의 수명을 단축하는 원인이 되고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 방법 중 하나가 속경성이 있으면서 유동성이 우수한 뒷채움재를 사용하여 뒷채움 공사를 실시하는 방법이다. 선진 외국에서는 현장 발생토를 재활용하여 잔토처리 비용을 줄이고, 충분한 유동성을 확보하여 고화되는 특성을 가진 친환경적인 슬러리(Slurry) 재료를 사용한 뒷채움 기술을 주목하고 있다.

한편, 도수터널 건설시 통상 TBM으로 터널을 굴착한 후에 내부에 상수도관을 설치하고 굴착면과 상수도관 사이의 빈 공간을 기존에는 경량기포 콘크리트로 충전하는 방법이 많이 사용이 되었는데, 공사기간이 길고, 경량기포 콘크리트의 충전 불량 및 충전 이후의 수축에 의한 균열 발생 등의 문제점이 지적되어 이에 대한 대체공법을 소개하고자 한다.

## 2. CLSM

### 2.1 개요

CLSM은 Controlled Low Strength Material의 약어로서, ACI 229 Committee에서는 재령 28일의 압축강도가 8.3MPa 이하가 되도록 제어된 시멘트계 슬러리 재료로 정의하고 있다.

CLSM은 국내에서는 유동성 뒷채움재, 급결성 유동화 뒷채움재, 다짐조절 충전재(Controlled Density Fill, CDF), 강도조절 충전재(Controlled Strength Fill, CSF), 유동성 플라이애시(Flowable ash) 등 다양한 형태로 불리고 있다.

CLSM에 대해서는 현재 북미쪽에 보급되어 있는 슬러리 형태의 뒷채움재에 대해 많은 연구가 진행되어 있으며, 일본에서는 현장 발생토

를 재사용하는 유동화 처리토에 대한 연구가 많이 진행되고, 실적으로 많은 상태이다.

그러나, 현장 발생토를 사용할 경우 제품의 품질 변동이 발생할 가능성이 있어 주재료를 모래 또는 품질이 일정한 다른 재료를 사용하는 경우가 많다. 또한, 보통 시멘트 사용에 따른 양생기간, 기존 시방서의 적용, 경제성 검토, 설계법 변경, 시공 장비 개발, 건설 잔토처리 시스템 설치 등 해결해야 할 몇 가지 문제로 실용화가 되지 않고 있다. 이러한 문제 때문에 현장에서는 오히려 플라이애시와 같은 혼합재를 사용하는 방식을 더 선호하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법 중 하나가 CLSM을 활용하는 것이다.

한편, 국내에는 CLSM에 대한 특별한 규정은 없는 상태이며, 지하매설관 뒷채움재로는 플라이애시 등 혼합재를 사용하는 방식보다는 현장 발생토를 재활용하는 유동화 처리공법에 대한 연구가 많이 진행되었으며, 지하 매설관 뒷채움재로 플라이애시 및 해양준설토 등을 이용한 유동성 뒷채움재 개발 및 적용에 관한 연구가 진행된 사례가 있고, 대부분 재료의 강도특성 및 베딩재 기초의 다짐특성에 대한 연구에 국한되어 있다.

또한, 하수관 뒷채움재로서의 유동성, 조기강도 발현 및 장기강도 특성 등에 대한 연구는 일부 진행 되었으나, 수중불분리성과 가소성(可塑性)을 가지며 재료의 유실을 방지하고 친환경적으로 한정적 타설이 가능한 재료 및 공법에 대한 연구는 전무한 실정이다.

현재 CLSM이 주로 활용되는 분야는 지중매설관, 주차장, 지하철 등의 지하 구조물의 뒷채움, 교각기초, 토류벽 등의 뒷채움, 지하철, 철도 등 하부의 노반처리, 강관 말뚝의 뒷채움 등 다양하게 있으며, 미국에서도 마찬가지로 지반 굴착 되메우기, 지반공동채움, 지반보강, 구조물 뒷채움 등 지반 굴착 후 흠으로 되메우거나 뒷채움을 수행할 때 적용되고 있다.

### 2.2. CLSM의 특성 및 품질기준

CLSM은 특수바인더 및 산업부산물물을 재활용한 필러로 구성되어

자기 수평력(Self-leveling)과 자기 다짐성(Self-compacting)을 가진 재료로 초기에는 높은 유동성을 가지며 초기에 정치(Gel화)하여 후속 시공이 가능하며, 이에 따라 채움재의 시공이 매우 쉽고 빠른 장점이 있다. 또한, 장기적으로 강도발현이 억제되어 재굴착이 가능하여 추후 보수 및 다른 지중 매설물의 시공에 영향을 주지 않는 장점이 있다.

또한, CLSM은 자기수평 및 다짐 능력을 가진 충전재로 동결융해, 표면 침식, 유해 낮은 블리딩율로 재료분리가 없으며, 유하속도 20초 이내로 충전이 가능하고, 고유동성으로 우수한 작업성을 가지며, 초기 Gel화가 가능하고, 장기강도 저하가 없어 내구성이 우수하다.

CLSM은 초기 유동성과 자기 강도발현에 의해 양생이 진행되며, 사용 용도에 따라 요구되는 품질기준에 차이가 있다. 요구품질의 설정에 있어서 시공조건이나 적용 시설물의 중요성 등을 고려하여 압축강도, 플로우값, 블리딩율을 결정할 필요가 있다. 일반적으로 사용되는 기준치로는 압축강도는 0.3~0.5MPa, 플로우 값은 200~220mm, 블리딩율은 3% 미만으로 알려져 있다. 일축압축강도를 기준으로 인력굴착의 경우 약 0.3MPa, 기계굴착의 경우 0.7~1.4MPa, 굴착이 필요하지 않은 경우 8.3MPa 이하로 규정하고 있다. CLSM의 단위중량은 약 14.1~15.7kN/m로 제안하고 있다.

일본에서는 유동화 처리토 이용기술 매뉴얼을 통해 지하구조물 되메움, 지하공간, 소규모 공동, 매설관 되메움 등의 용도에 따른 품질기준(안)을 제시하고 있다. 지하구조물 뒷채움시나 지하공간의 충전시에 강도 측면에서는 7일 이후에 0.2MPa 이상을, 그리고 유동성 측면에서는 플로우치를 160mm이상을 확보하도록 품질 기준을 설정하고 있으며, 다만, 블리딩율에 대해서는 지하구조물의 뒷채움시에는 1% 미만으로 규정하고 있는데 반해, 지하공간의 충전시나 매설관 뒷채움시 등에는 3% 미만으로 기준을 설정해 두고있다(<표 1> 참조).

<표 1> 일본에서의 CLSM의 용도별 품질 기준

| 용도(적용 대상)                                  | 시험항목                                    | 기준치                    |               |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|---------------|
| 지하구조물의 뒷채움<br>(공동구 구체, 건축<br>지하부, 지하주차장 등) | 일축압축 강도                                 | 7일후 0.2MPa 이상          |               |
|                                            | 플로우치                                    | 160mm이상                |               |
|                                            | 블리딩율                                    | 1% 미만                  |               |
| 지하공간의 충전<br>(폐경, 경도의 충전)                   | 일축압축 강도                                 | 구조적으로 내력이<br>요구되는 경우   | 7일후 0.2MPa 이상 |
|                                            |                                         | 구조적으로 내력이<br>요구되지않는 경우 | 7일후 0.2MPa 이상 |
|                                            | 플로우치                                    | 160mm 이상               |               |
|                                            | 블리딩율                                    | 3% 미만                  |               |
|                                            | 소규모공간의 충전<br>(노면밀의 공간, 구조물<br>뒷부분의 공동등) | 일축압축 강도                | 7일후 0.2MPa 이상 |
| 플로우치                                       |                                         | 160mm이상                |               |
| 블리딩율                                       |                                         | 3% 미만                  |               |

|                           |         |          |          |                 |
|---------------------------|---------|----------|----------|-----------------|
| 매설관 뒷채움<br>(가스관, 상하수도관 등) | 일축압축 강도 | 차도 하부 경우 | 당일 복구 경우 | 4시간후 0.13MPa 이상 |
|                           |         |          | 후일 복구 경우 | 28일후 0.5MPa 이하  |
|                           |         | 보도 하부 경우 | 당일 복구 경우 | 4시간후 0.13MPa 이상 |
|                           |         |          | 후일 복구 경우 | 28일후 0.5MPa 이하  |
|                           | 플로우치    | 160mm이상  |          |                 |
|                           | 블리딩율    | 3% 미만    |          |                 |

## 2.3 터널충전용 CLSM

### 1) 터널충전용 CLSM 배합

일반적으로 CLSM 제조를 위해서는 시멘트와 플라이애시를 기본 재료로 하여 여기에 조립 및 세립 골재, 현장토 등의 재료를 주로 첨가하여 제조를 한다. 일부 CLSM은 몰과 포틀랜드시멘트 그리고 플라이애시만 사용하여 제조하기도 한다.

여기에 유동특성 개선을 위한 계면활성제와 블리딩 방지를 위한 유기 및 무기증점제를 혼합하여 사용하였다. 플라이애시와 환원슬래그의 물리화학적 특성은 <표 2>와 같다.

<표 2> 플라이애시와 제강환원슬래그의 물리·화학적 특성

| 구분    | 화학조성(%)          |                                |                                |      |     |                 |                   |                  |     | 물리적 특성                    |                         |
|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|-----------------|-------------------|------------------|-----|---------------------------|-------------------------|
|       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | LOI | 비표면적 (cm <sup>2</sup> /g) | 밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) |
| 플라이애시 | 59.4             | 19.2                           | 5.7                            | 8.4  | 2.8 | 0.3             | 0.03              | 0.12             | 2.0 | 3,780                     | 2.32                    |
| 환원슬래그 | 13.7             | 29.4                           | 0.9                            | 52.6 | 0.4 | 0.8             | 0.05              | 0.18             | -   | 5,320                     | 2.89                    |

CLSM을 터널 충전용으로 사용하기 위해서는 전술한 바와 같이 고유동성, 재료분리 저항성, 압축강도를 확보하여야 한다. CLSM을 터널 충전용으로 사용할 때는 기존의 도로함출 충전재와는 요구 성능 및 품질 기준이 다르다.

함몰된 도로의 동공을 채워주는 용도로 사용되는 CLSM과 터널 충전용으로 사용되는 CLSM의 품질기준을 비교하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 터널 충전용 CLSM의 품질기준

| 시험 항목             |      | 기준        |                 | 비고 |
|-------------------|------|-----------|-----------------|----|
|                   |      | 도로 함몰 충전용 | 터널 충전용          |    |
| 블리딩률              |      | 5% 이하     | 5% 이하           |    |
| 유동성               | 플로우  | 250mm 이상  | -               |    |
|                   | 유하속도 | 250mm 이상  | 20초 이하 (초기 믹싱후) |    |
| Gel 화 시간 (흐름정지시간) |      | -         | 1시간 이내          |    |
| 압축강도              | 4시간  | 0.1MPa 이상 | -               |    |
|                   | 28일  | 0.5MPa 이하 | 1.5MPa 이상       |    |

<표 3>의 품질기준을 맞추기 위한 CLSM의 표준 배합비는 <표 4>와 같다.

<표 4> 터널 충전용 CLSM의 표준배합비

| 구 분 | W/B (%) | CLSM (kg) | 혼합수 (kg) | 비고 |
|-----|---------|-----------|----------|----|
| 1m³ | 160     | 415       | 830      |    |

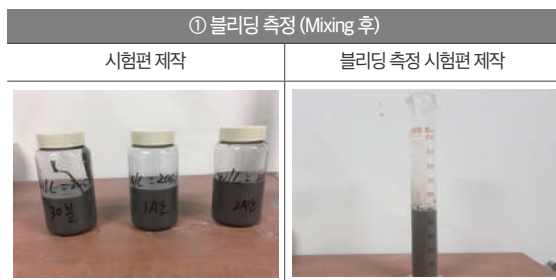
## 2) 실내시험

실내시험에서는 블리딩률을 측정하는 시험과 유하속도를 측정하는 시험자료는 다음과 같다.

터널 충전용 CLSM의 성능을 평가하기 위하여 충전재와 물과의 혼합비를 160, 180, 200, 220 등 4종류로 변화시켜 유동성과, 블리딩, 압축강도를 측정하였다. 재료분리 저항성 확보를 위해 블리딩은 5% 이내를 목표로 하였고, 유동성은 ASTM C939 규정의 유하시간 측정방법에 따라 유하속도가 초기 믹싱후 20초 이하가 되는지 확인하였으며, 블리딩은 KS F 2433의 방법을 따랐다. 압축강도는 혼합 후 20℃, 상대습도 90% 조건에서 양생 후 4시간 강도는 측정하지 않았으며, 단지 28일 강도가 1.5MPa 이상 확보가 가능한지를 측정하였다.

시험장면은 [그림 1~2]와 같다.

[그림 1] 블리딩 시험 장면



[그림 2] 유하속도 측정 장면



## 3) 시험결과

각 시험방법에 따라 시험을 실시한 결과, 각 항목별로 모두 품질 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

시험결과를 정리하면 <표 5>와 같다.

<표 5> 시험결과

| 시험 항목             | 자체 기준            | 결과    |
|-------------------|------------------|-------|
| 블리딩률 측정           | 5% 이하            | 0.2%  |
| 유하속도 측정           | 20초 이하 (초기 믹싱 후) | 8초 75 |
| Gel 화 시간 (흐름정지시간) | 1시간 이내           | 이상 없음 |

## 3. 현장 적용 사례

### 3.1 개요

당초 공법은 TBM 터널 굴진 후 D=1,350mm의 추진내관과 터널 사이의 빈 공간을 경량기포 콘크리트로 충전하도록 설계되어 있었다. 그러나, 경량기포 콘크리트는 비중이 비교적 작아 중량 감소의 장점은 있으나, 압축강도가 3~5MPa 정도로 일반콘크리트에 비해 10MPa 이상 약하며, 흡수성이 크기 때문에 양생 또는 건조시 균열 및 수축이 발생할 가능성이 있는 것으로 지적되었다.

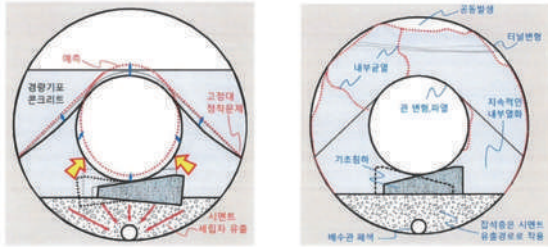
또한, 일반적으로 경량기포 콘크리트는 소규모 공동을 경량재로 채우는 경우에 적용되는 것이지만, 당 현장과 같이 대규모 충전용으로 경량기포 콘크리트를 사용하는 경우는 매우 이례적으로 철저한 설계 검토가 요구되었다. 그리고 경량기포 콘크리트 충전 미흡과 양생시 콘크리트 수축으로 인하여 터널 크라운부 또는 Shoulder부 등에 공동이



발생될 가능성이 있다는 문제점이 지적되었다.

이와 같이 경량기포 콘크리트를 사용했을 경우에 발생하는 문제점을 터널 단면에 모식적으로 나타내면 [그림 3]과 같다.

[그림 3] 경량기포 콘크리트 사용에 따른 발생 문제점

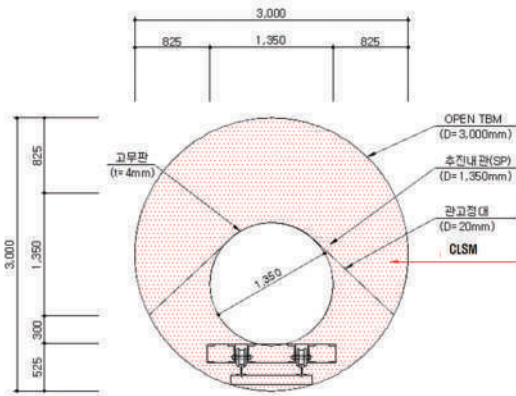


이러한 문제점을 보완하기 위해서는 터널 충전재 특성상 장거리 압송이 유리한 유동성이 높은 재료, 충전 후 수축발생으로 인한 관 파손 및 침하발생을 위해 수축이 없는 재료, 충전률을 높이기 위해 재료분리가 없어야 하며, 충전재의 유실방지를 위해 초기 Gel화로 흐름정지시간에 유리한 재료이어야 한다.

즉, 초기 Gel화(안정)로 안정화가 빠르고 충전재의 유실방지가 가능하며 유하속도가 20초 이내로 작업성이 우수하여 충전에 용이한 속경형 고유동 CLSM을 터널내에 충전하여 터널 굴착면과 상수도관 사이의 공간을 충전하는 시공방안을 대안으로 선정하였다.

[그림 4]는 TBM 터널에 CLSM을 사용한 경우의 터널 단면도이다.

[그림 4] 터널 충전용 CLSM의 적용



적용된 터널 충전용 CLSM의 사용 물량을 정리하면 <표 6>과 같다.

<표 6> 터널 충전용 CLSM의 사용 물량

| 구분      | 단위             | 수량      | 비고          |
|---------|----------------|---------|-------------|
| TBM 구간  | m <sup>3</sup> | 3,832.3 | -           |
| NATM 구간 | m <sup>3</sup> | 436     | -           |
| 합계      | m <sup>3</sup> | 1,825   | 중량 : 1,825톤 |

## 3.2 시공 순서

### 1) 현장 조사 및 장비 설치

현장 및 주변지형, 도면을 확인하여 TBM 종점구간에 플랜트 등 장비를 설치하였고, 장비 설치 현황은 [그림 5]와 같다.

[그림 5] 장비 설치 현황



### 2) 충전관 및 Over Flow관 설치

터널 상부에 CLSM을 주입하기 위한 충전관(D150 ~ 75mm) 및 충전 후 충분히 충전이 이루어진 이후 추가적으로 충전된 CLSM이 흘러나올 수 있도록 Over Flow관(D20mm)을 설치해야 한다.

충전관 및 Over Flow관의 설치 순서는 아래와 같다.

- ① 터널 천장에 케미컬 앵커볼트를 2,000mm 간격으로 설치한다.
- ② 터널상부 시점부와 종점부에 D=75mm(1EA), D=65mm(1EA), D=50mm(3EA)의 충전관(PE관)과 D=20mm(1EA)의 Over Flow관을 케미컬 앵커볼트의 관고정 고리에 설치한다.
- ③ 터널 좌측 H=1.88m의 높이에 D=50mm(1EA)의 충전관(PE관)과 D=20mm(1EA)의 Over Flow관을 설치한다.

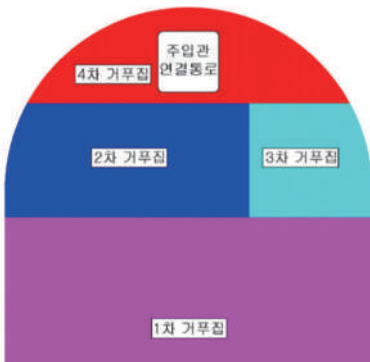
[그림 6] 충전관 및 Over Flow관 설치 장면



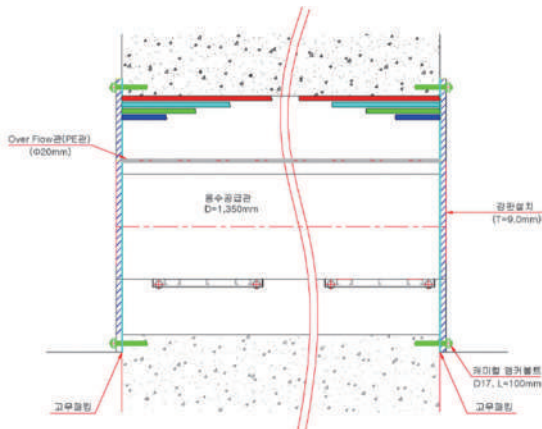
### 3) 거푸집 및 버팀목 설치

CLSM의 충전을 위하여 강판으로 된 거푸집을 [그림 7]과 같이 네 번으로 나누어 설치하고 이 거푸집이 전도되지 않도록 [그림 8~9]와 같이 버팀목을 설치한다.

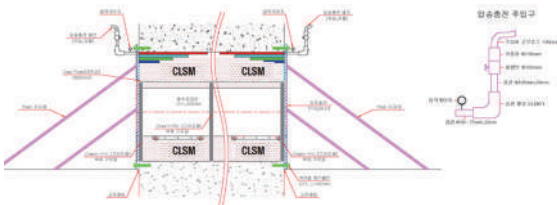
[그림 7] 거푸집 설치 순서



[그림 8] 설치된 거푸집 단면



[그림 9] CLSM의 누수 방지판 설치



이 작업의 순서는 아래와 같다.

- ① 터널 시, 종점 부근에 T=9.00mm짜리 거푸집을 케미컬 앵커볼트 (D17, L=250mm)로 설치한다.
- ② 거푸집 밑에는 고무패킹을 설치하고 실링을 하여 CLSM의 유실을 방지한다.
- ③ 거푸집 설치후 CLSM 충전시 거푸집이 밀리지 않도록 버팀목을 설치한다.

[그림 10] 버팀목 설치 및 누수 방지용 실링 작업 장면



### 4) CLSM 품질에 대한 사전 확인 시험

CLSM의 충전 작업을 실시하기 전에 품질기준을 만족하는지 여부를 확인하기 위하여 유동성 확인 시험을 실시하고, 압축강도 확인을 위하여 몰드를 제작한다.

[그림 12] CLSM 품질에 대한 사전 확인 시험



### 5) CLSM의 충전 작업

CLSM의 충전은 다음과 같은 순서로 실시된다.

- ① OPEN TBM 시점부와 종점구간에 설치한 압송충전 주입구를 통하여 CLSM을 충전한다.
- ② 무압으로 서서히 충전하며 CLSM의 유출 상태를 확인하며 충전한다.
- ③ 압력을 서서히 가하면서 정압 주입을 시행하며 터널 시, 종점에 설치한 강판으로 CLSM가 유출될 경우 주입을 중단한다.
- ④ 주입압력은 3~5kg/cm<sup>2</sup>으로 주입하고, 주입압력이 10kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 상승하면 주입을 중단한다.

[그림 12] CLSM의 제조 및 충전 작업



#### 6) 현장 마무리작업

현장 및 현장 주변을 정리한다.

[그림 13] 장비 철수 등 현장 마무리 작업



## 4. 맺음말

CLSM은 콘크리트 분야에서는 그다지 많이 알려지지 않은 재료로서, 임시지보재 및 재굴착 등 장기강도의 증진을 억제해야하는 특이한 분야에 활용성이 큰 재료라고 할 수 있다.

본 고에서는 산업부산물을 재활용한 초기 경화가 빠르고 유동성이 우수한 CLSM을 OPEN TBM 굴착후의 굴착면과 상수도관 사이의 터널 충전용 재료로 사용한 사례에 대해 소개하였다.

속경성 고유동 CLSM을 기존에 설계되어있던 경량기포 콘크리트 대신에 터널 충전용 재료로 사용한 결과, 과거에 경량기포 콘크리트 사용시에 지적되었던 품질상의 문제가 해결되었고, 공사기간 또한 경

량기포 콘크리트 사용시에는 약 2달 이상 소요되었으나, 터널 충전용 CLSM을 사용한 결과 약 3주만에 공사를 완료할 수 있었다.

CLSM은 현재는 도로함몰시의 공동 뒷채움재로 많이 사용되고 있지만, 현장 상황에 따라 그 활용도가 매우 높은 재료로서 앞으로 많은 용도 개발이 기대된다.

#### ※ 참고문헌

1. 유용선, 한진규, '플라이애쉬를 재활용한 도로함몰 채움재료의 CLSM의 개발 및 적용', 한국건설설계학회, 2018.3.
2. ACI committee 229, Controlled low-strength materials, ACI 229R-99, 2005
3. 김진만, 최선미, 김지호, '다양한 철강제조공정에서 부산되는 전기로 환원슬래그의 급경성 무기결합재료의 적용성 검토', 한국건설설계학회 논문집, 제18호, pp.70~77, 2012. 06.
4. 기술표준원, KS F 4041, 시멘트계 자기 수평 모르타르, 2009.

#### WRITER INTRODUCTION



김창수 차장은 서울지하철 6-6공구 현장, 중부고속도로 확장 제2공구 현장에서 근무하였다. 현재 토목기술팀에 재직중이며 기술연구소와 VE업무, 입찰 및 설계용역 업무를 담당하고 있다.



한진규 이사는 한양대학교 자원공학과에서 학사 석사를 마치고, 현재 동국대학교에서 박사과정에 재학중이다. 경력으로는 현대산업(주)에서 차장, (주)제이엔티아이엔 씨에서 부장을 역임하였고, 현재는 (주)케미우스 코리아의 이사로 재직중에 있다. 주 관심 연구 분야는 시멘트 화학 관련 분야이며, 현재 다수의 국내외 학회에서 위원회 활동 중이다.





# 싱가포르 North-South Corridor(NSC) N102 & N111 공구 현장 소개

글 이광원 / 싱가포르 도심 지하고속도로 N111 현장 설계팀 과장 / 전화 +65-8266-8395 / E-mail kwlee@ssyenc.com

글 허남태 / 싱가포르 도심 지하고속도로 N102 현장 설계팀 차장 / 전화 +65-8317-7355 / E-mail abhnt@ssyenc.com

## 1. 머리말

당사는 싱가포르 Land Transport Authority(LTA, 육상교통청)에서 발주한 North-South Corridor(NSC) 프로젝트 전체 11공구 중 N102 및 N111 2개 공구를 2018년 12월 21일에 약 8,500억원 금액으로 동시에 수주하였다.

2개 공구는 모두 당사가 최저가(Lowest)가 아니었음에도 (N102 : 당사 2등, Lowest 업체와 3.1% 차이, 115억원 차이 / N111 : 3등, Lowest 업체와 12.4%, 490억원 차이) 수주를 하는 쾌거를 이루었으며, 이는 당사가 싱가포르에서 기 수행하였던 마리나 해안 고속도로 C482, 2016년 LTEA Awards 대상을 수상한 도심지하철 2단계 C921 현장의 성공적 준공 및 톨슨라인 T308의 원활한 공사 수행으로 당사가 발주처의 절대적인 신뢰를 얻고 있음을 보여주는 주요한 대목이라고 할 수 있다.

본 공사는 싱가포르 정부의 지속적인 인프라 확충 사업의 일환으로 싱가포르 도심으로부터 최북단까지 연결되는 약 21.5km 터널 및 교량으로 구성된 고속도로 구간 중 2개 공구로, N102공구(왕복 6차선 1.55km의 지하고속도로 및 진출입로 4개소 등)는 한화 약 4,000억원에 당사가 85% 지분의 주간사로 로컬업체인 Wai Fong 사(15%)와 JV로 수주하였으며, N111공구(왕복 6차선 1.28km 지하고속도로, 1.11km Viaduct 및 진출입로 5개소 등)는 한화 약 4,500억원에 단독 수주하였다.

[그림 1] N102 및 N111 Location



본 고에서는 지면 관계상 N102와 N111 현장의 소개와 각 공구에 적용된 주요 공법 및 진행 사항을 중심으로 간략하게 소개하고자 한다.

## 2. 현장개요

### 2.1 N102 공구

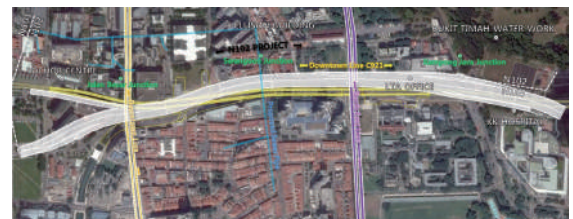
#### 2.1.1 공사 개요

|      |                                                                                                                                              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공사명  | North South Corridor - Contract N102, Design and Construction of North-South Corridor (Tunnel) Between Victoria Street and Kampong Java Road |
| 공사위치 | 싱가폴 북부, Ang Mo Kio Ave                                                                                                                       |
| 발주처  | LTA(Land Transport Authority)                                                                                                                |
| 계약형태 | Firm Price Lump Sum                                                                                                                          |
| 인도방식 | Design Build Contract                                                                                                                        |
| 공사금액 | SGD 485,000,000                                                                                                                              |
| 참여구도 | 당사(85%, 주간) + Wai Fong(15%) JV                                                                                                               |
| 공사기간 | 96개월(2018.12.26 ~ 2026.11.30)                                                                                                                |

#### 2.1.2 공사내용

|                 |                                    |
|-----------------|------------------------------------|
| 왕복 6차선 지하고속도로   | 연장 1.55km                          |
| 진출입로            | 4 개소                               |
| Sewer Diversion | 연장 5.7km                           |
| 기타              | Conservation of Ellison Building 등 |

[그림 2] N102 공구 공사개요도



## 2.2 N111 공구

### 2.2.1 공사 개요

|      |                                                                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공사명  | North South Corridor - Contract N111, Design and Construction of North-South Corridor (Tunnel and Viaduct) Between Ang Mo Kio 9 and SG Seletar |
| 공사위치 | 싱가폴 북부, Ang Mo Kio Ave                                                                                                                         |
| 발주처  | LTA(Land Transport Authority)                                                                                                                  |
| 계약형태 | Firm Price Lump Sum                                                                                                                            |
| 인도방식 | Design Build Contract                                                                                                                          |
| 공사금액 | SGD 537,144,000                                                                                                                                |
| 참여구도 | 당사 단독(100%)                                                                                                                                    |
| 공사기간 | 96개월(2018.12.26 ~ 2026.11.30)                                                                                                                  |

### 2.2.2 공사내용

|                 |                                 |
|-----------------|---------------------------------|
| 왕복 6차선 지하고속도로   | 연장 1.28km                       |
| 왕복 6차선 고가도로 진입로 | 연장 0.37km                       |
| 왕복 6차선 고가도로     | 연장 1.11km                       |
| 진출입로 5개소        | 터널 1개소, 고가도로 Ramp Structure 4개소 |

[그림 3] N111 공구 공사 개요도



## 3. 현장에 적용된 주요 공법

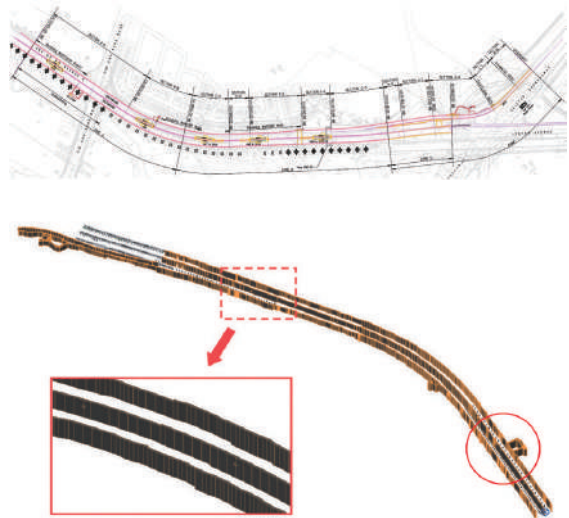
### 3.1 Diaphragm Wall 지하연속벽 공법

본 공법은 특수 굴착장비(Grab 방식 또는 Trench Cutter 방식의 장비)와 안정액(Bentonite)을 이용하여 지중에 연속적으로 콘크리트 벽체를 조성하는 공법으로 Diaphragm Wall(이하 Dwall)이라고도 한다. 굴착 시 사용되는 Bentonite는 물보다 비중이 높은 수용액으로 굴착면의 안정은 물론 굴착면의 토사 공극에 침투하여 불투수막(Filter Cake)을 형성함으로써 구조체의 차수효과를 높여 준다. 또한 저소음 및 저진동 공법으로 당 현장과 같이 공사 구간과 인접하여 주거 단지가 밀

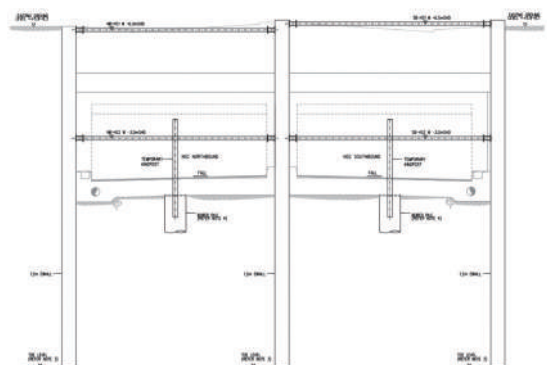
집해 있을 경우, 지하수위가 높고 굴착대상 지층이 연약지반으로 굴착 시 주변 건물 침하가 예상될 경우 적용하기에 적합한 공법이다. 아울러 정거장의 본 구조물로 이용이 가능하며, Dwall이 본 구조물을 지지하는 기초 역할을 할 수 있기 때문에 타 공법 대비 공사비를 절감할 수 있는 장점이 있다.

Dwall은 Guide Wall 설치, 굴착하면서 안정액 주입, 철근망 삽입 및 Tremie Pipe를 통한 콘크리트 타설 등의 순서로 시공되며([그림 6] 참조), N102 공구의 경우 현장의 지반 조건 및 굴착깊이에 따라 두께 1.0m 및 1.2m와 길이 14m ~ 36m의 Dwall로 설계되었다. N111 공구의 경우는 두께 1.0m 및 1.2m와 길이 14m ~ 36m의 Dwall로 설계되었으며, 총 881개의 Dwall Panel로 계획되어 2020년 2월 시공을 목표로 하고 있다. 아래의 [그림 4] 및 [그림 5]는 N111 공구의 터널 구간 Dwall 전체 평면도 및 입체도와 Dwall이 적용된 터널 구간 중 굴착규모가 가장 큰 Zone A 구간의 대표 단면도이다.

[그림 4] N111공구 Dwall 전체 평면도 및 입체도



[그림 5] N111공구 Zone A 구간의 단면도



[그림 6] Dwall 시공순서



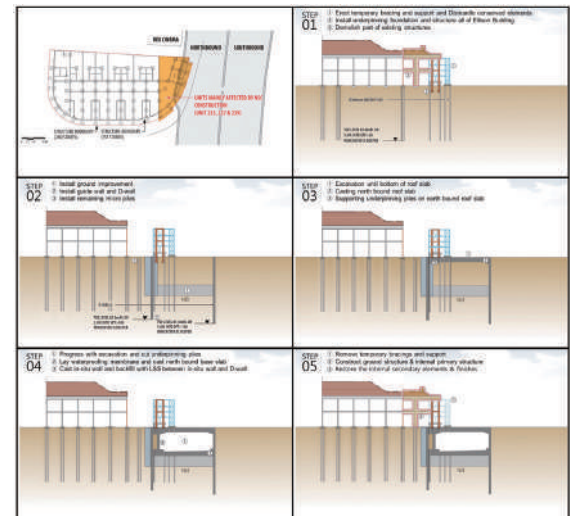
### 3.2 Top Down 공법

굴착공사 전 지하구조물의 외부 벽체와 기둥을 선 시공한 후 굴착공사와 병행하여 지하구조물을 지상에서부터 지하로 구축하는 공법을 Top Down 공법이라 한다. 인접건물의 침하 및 변형 등의 중대한 민원이 발생할 수 있거나 도심지에서 굴착 시 발생하는 소음, 진동 및 분진 등으로 민원발생 여지가 있을 경우, 굴착 시 일반 흙막이 벽체 및 버팀보의 탄성변위가 허용변위를 상회할 경우에 적합한 공법이다.

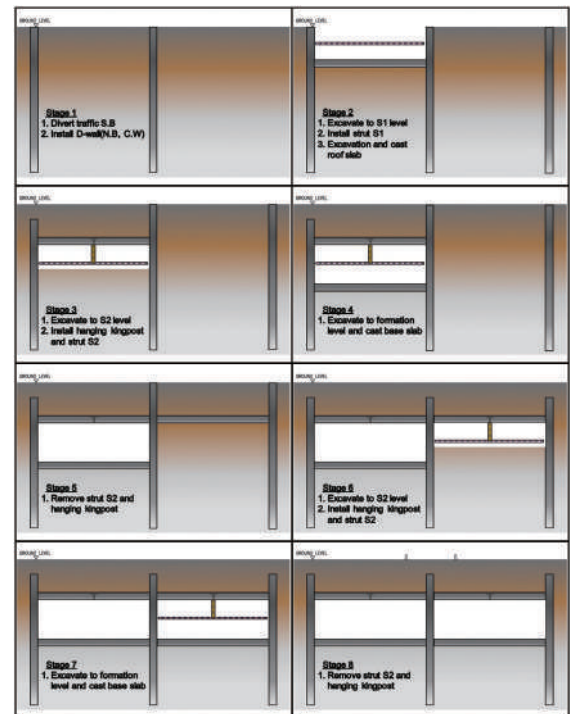
N102 및 N111 공구의 경우에도 열악한 지반조건과 도심지 대심도 굴착공사임을 고려하여 Dwall이 적용되었으며, 이를 지하구조물의 영구

벽체로 사용이 가능하고, 공사 구간과 인접하여 도로 및 다수의 건물이 위치하고 있어 Top Down 공법이 적용되었다. N102와 N111 공구의 대표적인 Top Down 시공순서는 아래의 [그림 7] 및 [그림 8]과 같다.

[그림 7] N102 공구 Ellison Building의 Top Down 공법 시공순서



[그림 8] N111 공구 Zone A의 Top Down 공법 시공순서



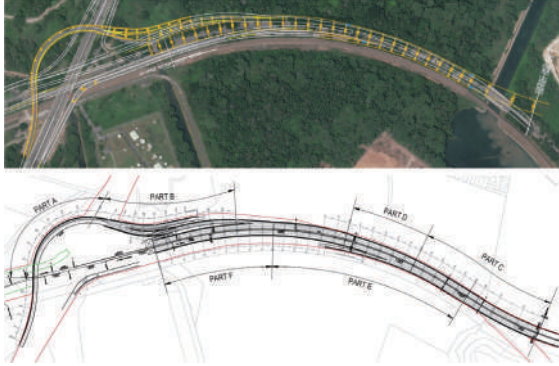
### 3.3 Lifting Gantry 공법

N111공구의 경우 공사 구간 중 터널구간 이외에 약 1.11km의 교량구간이 포함되어 있다. 메인 교량의 경우 특수 제작된 인양장비

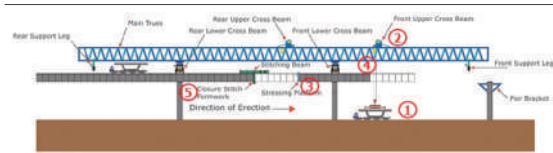


(Lifting Gantry)를 이용해 교각을 중심으로 균형상태를 유지하여 시공해 나가는 BCM(Balanced Cantilever Method) 공법이 적용되었다. 아래의 [그림 9]는 N111 공구의 교량 구간 현황이며, 인양장비를 이용한 세그먼트 시공순서는 [그림 10]과 같다.

[그림 9] N111 공구 교량 구간 현황



[그림 10] BCM 공법 시공순서



- ① 세그먼트 제작 및 운반
- ② 세그먼트 인양
- ③ 세그먼트 설치 및 긴장작업
- ④ 좌우측 균형 설치
- ⑤ Stitch 세그먼트 설치

## 4. 맺음말

본 고에서는 싱가포르 North-South Corridor(NSC) 프로젝트 전체 11 공구 중 N102 및 N111 공구의 현장 소개 및 주요 공법에 대하여 개략적으로 설명하였다. 2020년 1월 현재 약 1년여 간의 공사 준비 과정(설계 및 공사 전 선행작업)을 거쳐 터널 및 교량 등 주요 구조물의 공사를 진행할 예정이다.

본 공사 수주 이후 현장소장을 필두로 전 직원이 현장의 원가절감, 공기단축 및 시공성 개선을 위해 불철주야 노력하고 있으며, 무엇보다 안전 시공을 위하여 안전수칙을 철저히 준수함은 물론 안전사고 방지에 적극 노력하고 있다.

끝으로 본 고가 N102 및 N111 공구 현장을 이해하는데 조금이나마 도움이 되었기를 바라며, 본 공사의 성공적인 준공을 위하여 N102 및 N111 공구 전 직원이 노력할 것이며, 이를 통하여 싱가포르에서 쌍용건설의 위상을 더욱 더 알리는 계기가 되기를 바란다.

## WRITER INTRODUCTION



허남태 차장은 인도네시아 도로현장, 본사 토목기술팀, 싱가포르 우드랜드 종합병원 현장에서 근무하였다. 현재 싱가포르 도심 지하고속도로 N102 현장에 재직 중이며 설계업무를 담당하고 있다.



이광원 과장은 본사 토목기술팀에서 근무하였으며, 현재 싱가포르 도심 지하고속도로 N111 현장에서 설계업무를 담당하고 있다.





## 건축

### Architecture

- 70 아파트 내 · 외관 디자인 및 컬러 트렌드
- 75 공동주택 단열설계기준 현황 및 과제
- 82 냉난방 시스템의 이해와 저소음 FCU 환기 개선방법
- 86 QR Code를 이용한 현장관리
- 90 옥슬리 타워 복합개발 현장 기술 소개
- 94 2020 DUBAI EXPO KOREA PAVILION 현장 소개

# 아파트 내·외관 디자인 및 컬러 트렌드

글 유상준 / 건축기술팀 차장 / 전화 02-3433-7734 / E-mail yusangjune@ssyenc.com

## 1. 서론

획일화된 아파트 입면디자인에서 탈피하고, 브랜드의 이미지를 특화시키기 위한 다양한 시도가 아파트 외관디자인에 시도되고 있다. 경쟁력있는 상품성 확보를 위한 평면구성 뿐만 아니라, 외관 특화를 통한 브랜드 이미지를 소비자에게 경험 및 기억하도록 함으로써 각 아파트 브랜드가 보유한 독특한 브랜드의 시각적 아이덴티티(Visual Identity)를 형성하는 것이 주요한 목적으로 볼 수 있다. 본 연구는 아파트의 외관디자인의 흐름과 색채, 마감재 등의 사용사례 분석을 통해 향후 브랜드 아이덴티티 구축과 강화를 위한 경향분석을 목적으로 진행하였다.<sup>①</sup>

## 2. 아파트 외관 디자인 경향

### 2.1 커튼월 룩(Curtain Wall Look)

최근 면과 매스가 강조된 모던한 입면디자인의 아파트 디자인 추세에 따라 실제 커튼월은 아니지만, 하나의 매스(Mass)로서의 조형성을 강조하기 위해 커튼월처럼 보이기 위한 커튼월 룩의 도장 및 줄눈계획이 적용되고 있다. 아파트 콘크리트 구조에 유리나 금속 패널 등 커튼월 외장재를 추가하는 방식으로 입면 강조색의 적절한 사용, 코어 소재의 변화 등으로 차별화를 추구하고 있다.

[그림 1] 커튼월 룩(Curtain Wall Look) 적용사례



### 2.2 입면 마감재의 변화

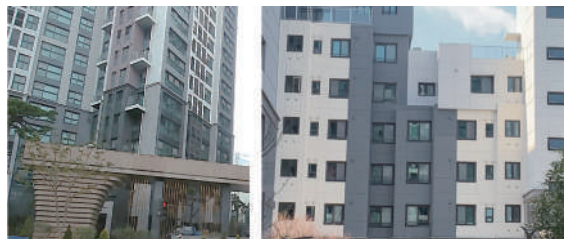
입면 마감재의 변화로, 입면 디자인의 디테일을 높이기 위한 다양한

방법이 시도되고 있다. 입면 도장면 위에 적용한 클리어 마감은 보이는 각도에 따라 다양한 빛의 반사효과를 유도할 수 있으며, 실리콘 페인트는 유기적 곡선 또는 의도된 칼라의 구현에 효과적으로 적용되고 있는 추세이다.

[그림 2] 외벽 실리콘 페인트 적용사례



[그림 3] PVC 창호프레임 불소도장 적용사례



또한 PVC 창 틀에 불소 도장으로 컬러 변화를 주어 백색 PVC 창호 프레임 적용으로 입면 통일감 저하를 최소화하여, 전체의 주동 매스로서의 입면 완성도를 높이고 있다.

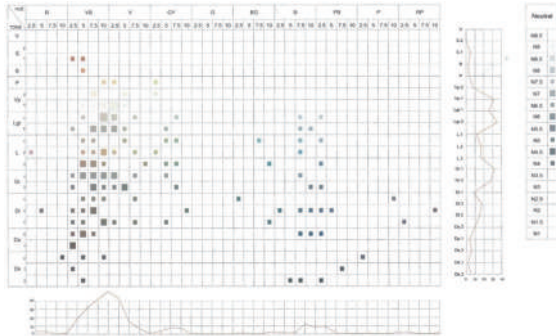
### 2.3 외부 입면 컬러트렌드

최근 신축 아파트들의 입면 컬러 분석에 따르면 주조색으로 가장 많은 비율을 보인 YR계열 Gray계열 톤은 다소 어둡게 톤 다운되었고 포인트 컬러로 오렌지와 블루계열 사용빈도가 두드러졌다.

① 본 연구는 KCC 디자인팀과 트렌드 분석을 위한 최근 준공 및 시공중인 주요 브랜드 아파트 현장들에 대한 사례조사, 분석 등을 공동 진행하였음.



[그림 4] 국내 브랜드들의 39개 현장 사용컬러



또한 Gray계열의 폭넓은 사용도 주목할 필요가 있다. 입면에 사용된 컬러조합에 따라 모던 & 그레이, 네이처 & 브라운, 하이브리드 콤비네이션이라는 세 가지 유형으로 최근 신축 아파트 현장의 컬러 사용 사례를 살펴보고자 한다.

#### 1) MODERN & GRAY

부산 해운대 중동 주상복합은 도심 속의 고급스러운 컨셉을 표현하기 위해 모던한 그레이 계열컬러가 제안되었다. 그레이시 현장 컬러를 분석해보면 중립과 위엄을 상징하는 그레이와 미래지향적 블루 계열 포인트 컬러를 주로 매치하여 사용한다.

[그림 5] 부산 중동 주상복합



모던하고 스마트한 이미지가 강조되기 때문에 최신 신축 아파트 현장에서 많이 활용되고 있다.

특히, 대구 수성구 범어동 주상복합은 적은 수의 컬러로도 강한 톤의 대비로 입면의 입체적 구조미나 기하학적 형태미를 강조하여 도시적 감각이 강조되도록 의도하였다.

[그림 6] 대구 수성구 범어동 주상복합



측벽에서는 화려한 배색이나 그래픽보다는 그레이 계열의 은은한 패턴의 변화를 통해 기품 있는 것을 느낄 수 있다.

#### 2) NATURE & BROWN

브라운 계열의 YR계열컬러는 자연주의 컬러로 대표되는 배색이다. 친숙하고 편안한 베이지와 브라운을 기본으로 계열 변화에 따라 느낄 수 있는 옐로우, 그린 등을 매치하여 사용한다. 서울 중림동 오피스텔은 인근의 서대문 역사공원과의 시각적인 연계와 컬러 컨텍스트를 통한 “공원-건축물”이 하나의 환경으로 읽히도록 의도된 디자인이 적용되었다.

[그림 7] 중구 중림동 오피스텔



밝고 화사한 주조색과 중채도의 강조색으로 톤 온 톤 배색을 하기보다는 화이트계열의 컬러를 배경으로 “더 플래티넘”의 BI가 강조되고, 브라운의 전면의 격자패턴 매스가 조형적으로 강조되도록 배색하였다. 이렇게 부드럽고 온화한 느낌의 배색은 수원 권선구의 아파트 프로젝트에서도 적용되었다.

[그림 8] 수원 오목천동 재건축아파트



### 3) HYBRID COMBINATION

하이브리드 컴비네이션은 모던한 주조색과 따뜻한 계열의 강조색이 혼합된 새로운 테마이다. 모던함을 대표하는 쿨 그레이 주조색에, 이와 상반되는 블루 등을 매치하여 이지적이고 매력적인 분위기를 만든다. 지금까지 자주 사용되지 않았던 컬러들의 이러한 오묘한 색의 조합을 사용하여 입면의 매스감을 강조하거나 창호 사이의 공간을 연결, 분리시키며 리듬감을 주기에도 적합하다. 신답극동 리모델링 현장은 청계천이라는 상징성의 블루컬러의 강조색 적용을 통해 주거단지와 청계천의 연계를 고려하였다.

[그림 9] 동대문구 신답동 극동아파트 리모델링



## 2.4 주동 출입구

모던한 스타일의 입면이 선호됨에 따라 주동 출입구도 이와 어울리는

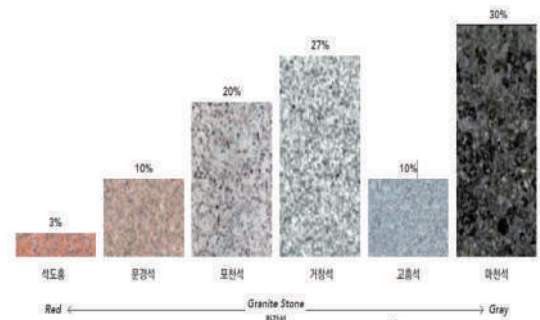
형태의 디자인과 자재 계획이 진행되고 있다. 철재 프레임이나 유리 등이 복합된 재료를 활용한 심플한 디자인이 주류를 이루고 있고, 일부 현장에서는 기존에 잘 적용하지 않았던 테라코타 타일, 인조석 등 벽돌 등의 따뜻한 느낌의 소재도 혼합하여 차별화된 공간감을 연출하고자 하였다.

[그림 10] 주동출입구 사례



저층부 마감재의 주류를 이루고 있는 화강석은 크게 그레이와 레드 계열로 양분화되어 사용되고 있다. 그레이 계열에서는 다크한 마천석과 밝은 거창석이 인기가 높고 레드 계통에는 채도가 낮은 포천석만이 사용빈도가 높다. 그레이 컬러의 입면이 선호됨에 따라 이에 어울리는 석재의 선호 현상으로 국내 브랜드들의 39개현장에서 분석된다.

[그림 11] 저층부 화강석(Granite) 사용 추이례

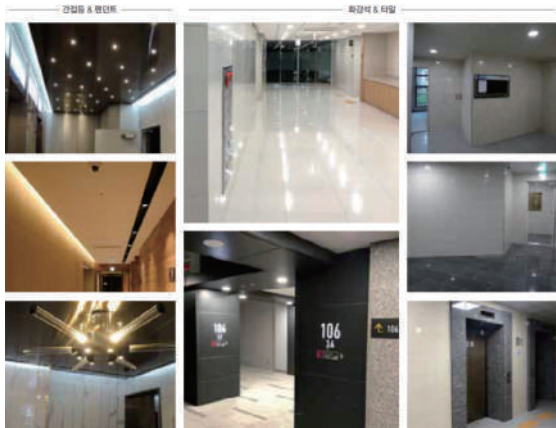


## 2.5 로비층(Lobby Floor) 마감

로비층은 아파트 공용공간 중 가장 높은 디테일을 보여주는 중요공간이다. 특히, 자가용 차량의 이용이 보편화 되면서, 주차장에서 각세대로 연계되는 공용공간과 로비층의 디자인 특화가 추진되고 있다. 간접등 펜던트를 활용한 조명은 공간 속 완성도를 높여주고 벽면과 바닥은 연마된 화강석이나 폴리싱 타일로 풍부한 광택감을 보인다. 우편함의 경우 은은한 펄감의 분체도장 마감이 주를 이루고 형태적 변화로 차별화를 시도하고 있다.



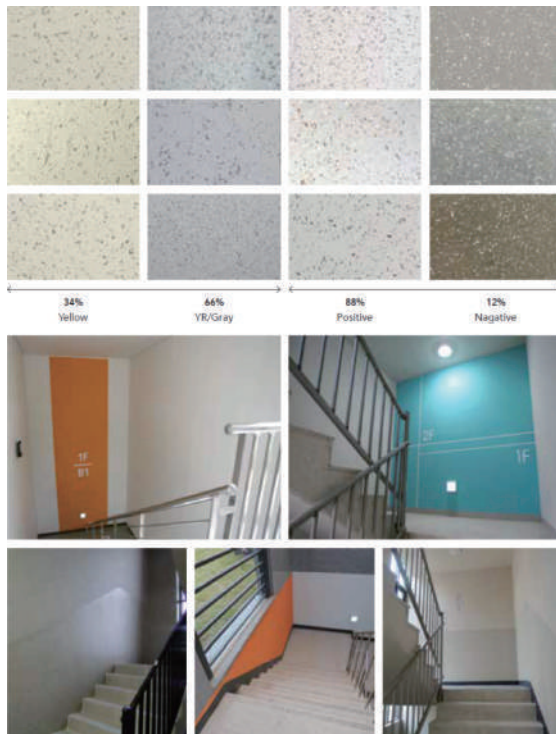
[그림 12] 로비층 조명 및 주요부위 마감 사례



## 2.6 계단실

기준층 이상 계단실에는 대부분 무늬코트를 이용한 마감이 시공되고 있다. 무늬코트 하도 컬러는 이전에 대부분을 차지했던 옐로우계열 컬러는 감소세를 보이고 YR 또는 그레이계열의 증가가 두드러졌다. 하도색과 상도 칩 배색에서는 대부분 밝은 분위기를 사용했으나 어두운 분위기의 네거티브 배색을 사용하는 현장도 조금씩 증가하고 있다. 벽면 하도를 투톤으로 하거나, 계단 참 벽면에 산뜻한 강조색을 넣어 공간 분위기를 다르게 연출한 사례도 있다.

[그림 13] 계단실 주요부위 마감 사례



## 2.7 주차장 컬러 사용의 변화

지하주차장 컬러 사용을 살펴보면 최근 많은 변화가 있다. 2014년부터의 2018년까지 최근 5개년간을 분석해 보면, 이전 지하공간의 분위기 개선과 길찾기 기능을 위해 고채도 강조색과 화려한 패턴 중심으로 사용한 반면, 최근에는 상업공간과 같이 다양한 기법으로 연출되고 있으며, 파스텔톤과 LED등의 발광사인 등과 융합한 인포그래픽 중심으로 차별하고 세련되게 디자인되는 추세이다.

아파트 지하주차장의 크기가 점점 깊고, 넓어질수록 안전에 대한 이슈가 커진다. 비상벨은 위급한 상황에 찾기 쉽도록 인지성이 강한 고채도의 레드 컬러 사용 비율이 높았다. 또한 운전자의 주의를 요하는 교차점이나 출입구 부근에는 콘트라스트가 강한 배색 활용이 많았다. 주차장 바닥 컬러는 단순화 하는 추세이다. 주행구간의 경우 그레이 컬러로 통일되어 고채도의 컬러 사용이 지양되고 있다. 주차공간과, 보행자 통로는 뉴트럴 계열로 톤 다운 되고 이와 대비하여 기능적 공간의 색상 인지성은 더욱 높아졌다.

[그림 14] 주차장 컬러 사용 변화(2014~2018)



주차장의 그래픽과 사인 계획에서는 확실한 정보 전달을 위해 텍스트와 아이콘 활용이 두드러졌다. 또한 아웃라인으로 처리한 단순 그래픽과 도트패턴의 선호도 증가로 배수판 위에 추가적으로 도장하는 사례도 있다.

[그림 15] 주차구획 도장 컬러 적용 사례





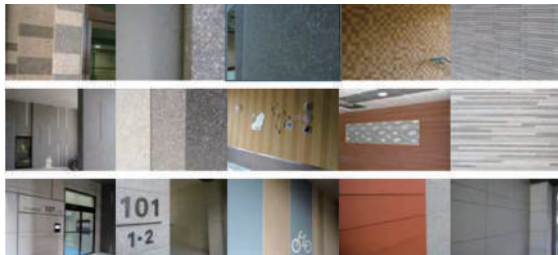
[그림 16] 주차장 Signage 적용 사례



## 2.8 필로티(Pilotis) 공간

필로티 내부는 전보다 더 다양한 마감재가 사용되고 있다. 이종의 화강석의 색상차이에 의한 면분할 표현 이외에도 스톤코트나 스타코와 같은 도장재가 화강석을 대체해 다채로운 표현을 하고 있다.

[그림 17] 필로티 공간 마감재



### ※ 참고문헌

1. A.C.T (Architecture Color Trend) Ver.12, KCC Color & Design Center
2. 아파트 저층부 특화디자인에서 석재의 사용 및 재료 색 표현에 관한 연구 (2018, 이예지)
3. 색채 환경을 고려한 서울시 아파트 외관 색채 계획에 대한 연구 (2016, 신혜인)
4. 2019 국내부동산 시장리뷰(2019, KB금융연구소)
5. 컬러의 말 (2018, Kassia St Clair)

### ※ 분석의 도구

1. 2017 KCC 컬러뱅크,
2. IRI Hue & Tone Color System
3. 사진 자료 : 현장 방문 촬영

### WRITER INTRODUCTION



유상준 차장은 건축기술팀에서 건축설계 담당하고 있으며, 토탈디자인 및 "더 플래티넘" 브랜드 리뉴얼을 위한 특화업무를 함께 수행하고 있다.



# 공동주택 단열설계기준 현황 및 과제

글 박철용 / 건축기술팀 차장 / 전화 02-3433-7731 / E-mail cypark@ssyenc.com

## 1. 머리말

건축물의 단열설계기준은 1975년 “건축법”으로 규정한 이래 1992년 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”이 제정되면서 이관되었으며, 2008년 저탄소 녹색성장 국가정책기조에 맞춰 건축물 에너지 관리의 중요성이 부각되면서 “건축물의 에너지절약 설계기준”을 별도 제정하여 하위 기준으로 운영하다가, 2013년 9월 “녹색건축물 조성 지원법”이 제정되면서 설비기준 규칙에서 조문을 삭제하고 “건축물의 에너지절약 설계기준”으로 기술기준을 단일화하였다.

이 과정에서 제로에너지 건축물 국가 로드맵을 제시하면서 주거용 건축물(특히 공동주택)과 비주거용 건축물을 구분하여 에너지 절감률을 제시하였으며, 이에 따라 2009년 10월 공동주택만을 위한 에너지 설계기준으로 “친환경 주택의 건설기준 및 성능”을 제정하여 별도로 운영하게 되었으며, 이와 같이 건축물의 단열성능과 기밀성능이 급격하게 향상되면서 실내의 습도 조절이 원활하게 이루어지지 않아 결로 발생이 심각한 사회문제로 대두되면서 2013년 12월 “공동주택 결로 방지를 위한 설계기준”을 제정하기에 이르렀다.

본 고에서는 공동주택의 단열설계기준인 “친환경 주택의 건설기준”을 중심으로 살펴보니 그 간간이 되는 “건축물의 에너지절약 설계기준”과의 비교 분석을 통하여 제로에너지 건축물 국가 로드맵에 근거하여 유럽의 패시브 설계기준 이상으로 강화된 국내 단열기준에 대하여 살펴보고, 이러한 에너지 손실 최소화 측면 뿐 아니라 쾌적한 열환경, 건강한 생활공간 구현을 위한 결로방지 설계기준까지 포함하여 패시브하우스 기준과의 비교를 통하여 국내 단열설계기준의 개선을 도모하고자 한다.

## 2. 단열설계기준 현황

### 2.1 건축물의 에너지절약 설계기준

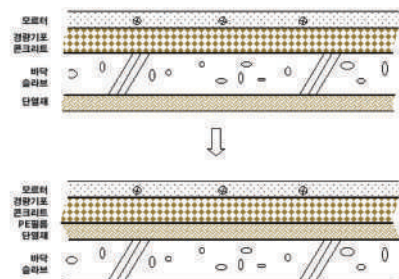
해당 기준은 연면적 합계 500㎡ 이상인 건축물에 적용되며, 건축물의 열손실방지, 에너지절약계획서 및 설계검토서 작성기준, 건축기준

완화, 건축물 에너지소비총량제로 구성되어 있으며, 본 고에서는 단열설계에 해당하는 건축물 열손실방지에 국한한다.

건축물 열손실방지에서는 건축물 외피, 즉 거실의 외벽, 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕, 최하층에 있는 거실의 바닥, 바닥난방을 하는 층간바닥, 거실의 창 및 문 등의 열관류율 기준<표 1> 또는 단열재 두께 기준<표 2>를 준수하도록 하고 있다. 다만, 1)지표면 아래 2m를 초과하여 위치한 지하부위(공동주택의 거실 제외)로서 이종벽의 설치 등 하계 표면결로 방지조치를 한 경우 2)지면 및 토양에 접한 바닥부위로서 난방공간의 외벽 내표면까지의 모든 수평거리가 10m를 초과하는 바닥부위 3)외기에 간접 면하는 부위로서 당해부위가 면한 비난방공간의 외피를 <표 1>에 준하여 단열조치를 하는 경우 4)공동주택의 층간바닥(최하층 제외) 중 바닥난방을 하지 않는 현관 및 욕실의 바닥부위 5)방풍구조(외벽 제외) 또는 바닥면적 150㎡ 이하의 개별 점포의 출입문에 해당하는 경우 열손실방지 조치를 하지 않을 수 있다.

바닥난방 부위에 설치되는 단열재는 바닥난방의 열이 슬래브 하부 및 측벽으로 손실되는 것을 막을 수 있도록 온수배관 하부와 슬래브 사이에 설치하고, 온수배관 하부와 슬래브 사이에 설치되는 구성 재료의 열저항의 합계는 층간바닥인 경우에는 해당 바닥에 요구되는 총열관류저항(<표 1>에서 제시되는 열관류율의 역수)의 60%에 해당하는 1.235㎡·K/W 이상, 최하층 바닥인 경우에는 중부1지역은 60%, 중부2지역은 65%, 그 외 지역은 70% 이상이 되어야 한다.

[그림 1] 최하층 온돌의 단열재 설치위치 예시



<표 1> 지역별 건축물 부위의 열관류율<sup>1)</sup>

(단위 : W/m<sup>2</sup> · K)

| 건축물의 부위                    |                             |                | 지역     | 중부1지역                | 중부2지역    | 중부3지역    | 중부4지역    |
|----------------------------|-----------------------------|----------------|--------|----------------------|----------|----------|----------|
| 가실의<br>외벽                  | 외기의 직접<br>면하는 경우            | 공동주택           |        | 0.150 이하             | 0.170 이하 | 0.220 이하 | 0.290 이하 |
|                            |                             | 공동주택 외         |        | 0.170 이하             | 0.240 이하 | 0.320 이하 | 0.410 이하 |
|                            | 외기의 간접<br>면하는 경우            | 공동주택           |        | 0.210 이하             | 0.240 이하 | 0.310 이하 | 0.410 이하 |
|                            |                             | 공동주택 외         |        | 0.240 이하             | 0.340 이하 | 0.450 이하 | 0.560 이하 |
| 최상층에 있는<br>가실의 반자<br>또는 지붕 | 외기의 직접 면하는 경우               |                |        | 0.150 이하             |          | 0.180 이하 | 0.250 이하 |
|                            | 외기에 간접 면하는 경우               |                |        | 0.210 이하             |          | 0.260 이하 | 0.350 이하 |
| 최하층에 있는<br>가실의 바닥          | 외기의 직접<br>면하는 경우            | 바닥난방인<br>경우    |        | 0.150 이하             | 0.170 이하 | 0.220 이하 | 0.290 이하 |
|                            |                             | 바닥난방이<br>아닌 경우 |        | 0.170 이하             | 0.200 이하 | 0.250 이하 | 0.330 이하 |
|                            | 외기의 간접<br>면하는 경우            | 바닥난방인<br>경우    |        | 0.210 이하             | 0.240 이하 | 0.310 이하 | 0.410 이하 |
|                            |                             | 바닥난방이<br>아닌 경우 |        | 0.240 이하             | 0.290 이하 | 0.350 이하 | 0.470 이하 |
| 바닥난방인 충전바닥                 |                             |                |        | 0.810 이하             |          |          |          |
| 창 및 문                      | 외기에 직접<br>면하는 경우            | 공동주택           |        | 0.900 이하             | 1.000 이하 | 1.200 이하 | 1.800 이하 |
|                            |                             | 공동주택 외         | 창<br>문 | 1.300 이하<br>1.500 이하 | 1.500 이하 | 1.800 이하 | 2.200 이하 |
|                            | 외기에 직접<br>면하는 경우            | 공동주택           |        | 1.300 이하             | 1.500 이하 | 1.700 이하 | 2.000 이하 |
|                            |                             | 공동주택 외         | 창<br>문 | 1.600 이하<br>1.900 이하 | 1.900 이하 | 2.200 이하 | 2.800 이하 |
| 공동주택<br>세대현관문<br>및 방화문     | 외기에 직접 면하는 경우<br>및 가실 내 방화문 |                |        | 1.400 이하             |          |          |          |
|                            | 외기에 간접 면하는 경우               |                |        | 1.800 이하             |          |          |          |

<비 고>

- 1) 중부1지역 : 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척 제외), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주), 충청북도(제천), 경상북도(봉화, 청송)
- 2) 중부2지역 : 서울특별시, 대전광역시, 세종특별자치시, 인천광역시, 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주 제외), 충청북도(제천 제외), 충청남도, 경상북도(봉화, 청송, 울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산 제외), 전라북도, 경상남도(거창, 함양)
- 3) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시, 전라남도, 경상북도(울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산), 경상남도(거창, 함양 제외)

<표 2> 단열재의 두께<sup>1)</sup>

[중부 1지역]

(단위 : mm)

| 건축물의 부위              |               | 지역          |  | 단열재 등급별 허용 두께 |     |     |     |
|----------------------|---------------|-------------|--|---------------|-----|-----|-----|
|                      |               |             |  | 가             | 나   | 다   | 라   |
| 가실의 외벽               | 외기의 직접 면하는 경우 | 공동주택        |  | 220           | 255 | 295 | 325 |
|                      |               | 공동주택 외      |  | 190           | 225 | 260 | 285 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 공동주택        |  | 150           | 180 | 205 | 225 |
|                      |               | 공동주택 외      |  | 130           | 155 | 175 | 195 |
| 최상층에 있는 가실의 반자 또는 지붕 | 외기의 직접 면하는 경우 |             |  | 220           | 260 | 295 | 330 |
|                      | 외기에 간접 면하는 경우 |             |  | 155           | 180 | 205 | 230 |
| 최하층에 있는 가실의 바닥       | 외기의 직접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    |  | 215           | 250 | 290 | 320 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 |  | 195           | 230 | 265 | 290 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    |  | 145           | 170 | 195 | 220 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 |  | 135           | 155 | 180 | 200 |
|                      | 바닥난방인 충전바닥    |             |  | 30            | 35  | 45  | 50  |
|                      |               |             |  |               |     |     |     |

[중부 2지역]

(단위 : mm)

| 건축물의 부위              |               | 지역          | 단열재 등급별 허용 두께 |     |     |     |
|----------------------|---------------|-------------|---------------|-----|-----|-----|
|                      |               |             | 가             | 나   | 다   | 라   |
| 거실의 외벽               | 외기의 직접 면하는 경우 | 공동주택        | 190           | 225 | 260 | 285 |
|                      |               | 공동주택 외      | 135           | 155 | 180 | 200 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 공동주택        | 130           | 155 | 175 | 195 |
|                      |               | 공동주택 외      | 90            | 105 | 120 | 135 |
| 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 | 외기의 직접 면하는 경우 | 220         | 260           | 295 | 330 |     |
|                      | 외기에 간접 면하는 경우 | 155         | 180           | 205 | 230 |     |
| 최하층에 있는 거실의 바닥       | 외기의 직접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    | 190           | 220 | 255 | 280 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 | 165           | 195 | 220 | 185 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    | 125           | 150 | 170 | 185 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 | 110           | 125 | 145 | 160 |
| 바닥난방인 충전바닥           |               | 30          | 35            | 45  | 50  |     |

[남부지역]

(단위 : mm)

| 건축물의 부위              |               | 지역          | 단열재 등급별 허용 두께 |     |     |     |
|----------------------|---------------|-------------|---------------|-----|-----|-----|
|                      |               |             | 가             | 나   | 다   | 라   |
| 거실의 외벽               | 외기의 직접 면하는 경우 | 공동주택        | 145           | 170 | 200 | 220 |
|                      |               | 공동주택 외      | 100           | 115 | 130 | 145 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 공동주택        | 100           | 115 | 135 | 150 |
|                      |               | 공동주택 외      | 65            | 75  | 90  | 95  |
| 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 | 외기의 직접 면하는 경우 | 180         | 215           | 245 | 270 |     |
|                      | 외기에 간접 면하는 경우 | 120         | 145           | 165 | 180 |     |
| 최하층에 있는 거실의 바닥       | 외기의 직접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    | 140           | 165 | 190 | 210 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 | 130           | 155 | 175 | 195 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    | 95            | 110 | 125 | 140 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 | 90            | 105 | 120 | 130 |
| 바닥난방인 충전바닥           |               | 30          | 35            | 45  | 50  |     |

[제주도]

(단위 : mm)

| 건축물의 부위              |               | 지역          | 단열재 등급별 허용 두께 |     |     |     |
|----------------------|---------------|-------------|---------------|-----|-----|-----|
|                      |               |             | 가             | 나   | 다   | 라   |
| 거실의 외벽               | 외기의 직접 면하는 경우 | 공동주택        | 110           | 130 | 145 | 165 |
|                      |               | 공동주택 외      | 75            | 90  | 100 | 110 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 공동주택        | 75            | 85  | 100 | 110 |
|                      |               | 공동주택 외      | 50            | 60  | 70  | 75  |
| 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 | 외기의 직접 면하는 경우 | 130         | 150           | 175 | 190 |     |
|                      | 외기에 간접 면하는 경우 | 90          | 105           | 120 | 130 |     |
| 최하층에 있는 거실의 바닥       | 외기의 직접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    | 105           | 125 | 140 | 155 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 | 100           | 115 | 130 | 145 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우    | 65            | 80  | 90  | 100 |
|                      |               | 바닥난방이 아닌 경우 | 65            | 75  | 85  | 95  |
|                      | 바닥난방인 충전바닥    |             | 30            | 35  | 45  | 50  |
|                      |               |             |               |     |     |     |

기밀 및 결로방지 등을 위한 조치로는 다음을 만족시켜야 한다.

(1) 벽체 내표면 및 내부에서의 결로를 방지하고 단열재의 성능 저하를 방지하기 위하여 단열조치를 하여야 하는 부위(창 및 문과 난방공간 사이의 층간 바닥 제외)에는 방습층을 단열재의 실내측에 설치하여야 한다.

(2) 방습층 및 단열재가 이어지는 부위 및 단부는 이음 및 단부를 통한 투습을 방지할 수 있도록 다음과 같이 조치하여야 한다.



① 단열재의 이음부는 최대한 밀착하여 시공하거나, 2장을 엇갈리게 시공하여 이음부를 통한 단열성능 저하가 최소화될 수 있도록 조치할 것

② 방습층으로 알루미늄박 또는 플라스틱계 필름 등을 사용할 경우 이음부는 100mm 이상 중첩하고 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

③ 단열부위가 만나는 모서리 부위는 방습층 및 단열재가 이어짐이 없이 시공하거나 이어질 경우 이음부를 통한 단열성능 저하가 최소화되도록 하며, 알루미늄박 또는 플라스틱계 필름 등을 사용할 경우의 모서리 이음부는 150mm 이상 중첩되게 시공하고 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

④ 방습층의 단부는 단부를 통한 투습이 발생하지 않도록 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

(3) 건축물 외피 단열부위의 접합부, 틈 등은 밀폐될 수 있도록 코킹과 가스켓 등을 사용하여 기밀하게 처리하여야 한다.

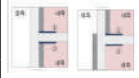
(4) 외기에 직접 면하고 1층 또는 지상으로 연결된 출입문은 방풍 구조로 하여야 한다. 다만, ①바닥면적 300㎡ 이하의 개별 점포의 출입문, ②주택의 출입문, ③사람의 통행을 주목적으로 하지 않는 출입문, ④너비 1.2m 이하의 출입문에 해당하는 경우 예외로 한다.

(5) 방풍구조를 설치하여야 하는 출입문에서 회전문과 일반문이 같이 설치되는 경우 일반문 부위는 방풍실 구조의 이중문을 설치하여야 한다.

(6) 건축물의 거실의 창이 외기에 직접 면하는 부위인 경우에는 기밀성 창을 설치하여야 한다.

한편, 에너지성능지표 검토서(EPI)의 평가항목으로 외피 열교부위별 선형 열관류율을 도입하고 있으며, 내단열일 경우만을 정리하면 다음과 같이 6가지 종류가 제시되어 있지만, EPI에서 배점을 얻기 위해서는 최소 0.55W/m.K 이하가 되어야 하므로 내단열일 경우에는 배점을 받기 어렵다는 것을 알 수 있다.

<표 3> 외피 열교부위별 선형 열관류율 기준<sup>1)</sup>

| 구분       | 구조체 열교부위 형상                                                                         | 단열 보강 유무 | 선형 열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K) | 구분  | 구조체 열교부위 형상                                                                         | 단열 보강 유무            | 선형 열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K) |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------------|
| T-7      |  | 없음       | 0.700                         | L-4 |  | 없음                  | 0.580                         |
|          |                                                                                     | ① 또는 ②   | 0.650                         |     |                                                                                     | 없음                  | 0.700                         |
|          |                                                                                     | ①+②      | 0.600                         |     |                                                                                     | ① 또는 ②              | 0.550                         |
| T-9      |  | 없음       | 0.580                         | X-4 |  | 없음                  | 0.600                         |
|          |                                                                                     | ① 또는 ②   | 0.555                         |     |                                                                                     | ① 또는 ②              | 0.655                         |
|          |                                                                                     | ①+②      | 0.515                         |     |                                                                                     | ①+②                 | 1.065                         |
| X-10     |  | 없음       | 1.090                         | I-2 |  | 없음                  | 0.655                         |
|          |                                                                                     | ① 또는 ②   | 1.065                         |     |                                                                                     | ① 또는 ②              | 1.065                         |
|          |                                                                                     | ①+②      | 0.915                         |     |                                                                                     | ①+②                 | 1.065                         |
| 평가 대상 예외 |  |          |                               |     |                                                                                     | 커튼월 부위 또는 샌드위치 패널부위 |                               |

## 2.2 에너지절약형 친환경 주택의 건설기준

해당 기준은 30세대 이상 공동주택에 해당되며, 설계방향, 설계조건, 친환경 자재의 사용, 에너지사용량 정보확인시스템 설치, 건물녹화, 신재생에너지의 설치를 포함하여 친환경 주택 성능기준 및 평가 등으로 구성되어 있으며, 본 고에서는 단열설계에 해당하는 설계 조건을 충족하는 방법에 국한한다.

설계조건을 만족시켜야 하는 내용은 창의 단열(<표 4> 참조), 벽체 등 단열(<표 5> 참조), 고단열 고기밀 강재문(<표 6> 참조), 발코니 외측창 단열(2.4W/m<sup>2</sup>·K 이하), 외기에 직접 면하는 창의 기밀 성능(1등급 이상, 단 발코니의 내측에 설치되어 있는 창은 제외) 등과 그 외의 일반사항에 대해서는 앞절의 “건축물의 에너지 절약 설계기준”의 의무사항을 이행하는 것으로 되어 있다.

<표 4> 창의 단열성능 기준<sup>2)</sup>

| 부위                  | 지역            | 평균열관류율(W/m <sup>2</sup> ·K) |         |         |         |
|---------------------|---------------|-----------------------------|---------|---------|---------|
|                     |               | 중부1                         | 중부2     | 남부      | 제주      |
| 창<br>(발코니 내측 창호 포함) | 외기의 직접 면하는 경우 | 0.90 이하                     | 0.90 이하 | 1.00 이하 | 1.50 이하 |
|                     | 외기의 간접 면하는 경우 | 1.20 이하                     | 1.50 이하 | 1.70 이하 | 1.70 이하 |

<표 5> 벽체 등의 단열성능 기준<sup>2)</sup>

| 부위                   | 지역            | 평균열관류율(W/m <sup>2</sup> ·K) |         |         |         |
|----------------------|---------------|-----------------------------|---------|---------|---------|
|                      |               | 중부1                         | 중부2     | 남부      | 제주      |
| 창<br>(발코니 내측 창호 포함)  | 외기의 직접 면하는 경우 | 0.90 이하                     | 0.90 이하 | 1.00 이하 | 1.50 이하 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 1.20 이하                     | 1.50 이하 | 1.70 이하 | 1.70 이하 |
| 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 | 외기의 직접 면하는 경우 | 0.15 이하                     |         | 0.18 이하 | 0.25 이하 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 0.21 이하                     |         | 0.26 이하 | 0.35 이하 |
| 최하층에 있는 거실의 바닥       | 외기의 직접 면하는 경우 | 0.15 이하                     | 0.17 이하 | 0.22 이하 | 0.29 이하 |
|                      | 외기의 간접 면하는 경우 | 0.21 이하                     | 0.24 이하 | 0.31 이하 | 0.41 이하 |
| 바닥난방인 층간바닥           |               | 0.81 이하                     |         |         |         |

<표 6> 세대 내 강재문의 단열성능 기준<sup>2)</sup>

| 부위       | 지역            | 평균열관류율(W/m <sup>2</sup> ·K) |     |    |    |
|----------|---------------|-----------------------------|-----|----|----|
|          |               | 중부1                         | 중부2 | 남부 | 제주 |
| 세대 현관문   | 외기의 직접 면하는 경우 | 1.4                         |     |    |    |
|          | 외기의 간접 면하는 경우 | 1.8                         |     |    |    |
| 거실 내 방화문 |               | 1.4                         |     |    |    |

## 2.3 공동주택 결로방지를 위한 설계기준

해당 기준은 500세대 이상 공동주택에 적용되며, 다음 표와 같이 건축물 부위별 온도차이비율(TDR)로 평가하는데, 창 및 문의 경우 KS F 2295 등의 시험방법으로 국가공인기관(KOLAS)에서 측정을 하거나 ISO 15099에 적합한 컴퓨터 프로그램(PHYSIBEL 등)을 활용한

시뮬레이션을 이용할 수 있으며, 벽체 접합부의 경우 “공동주택 결로 방지 상세 가이드라인”의 벽체 접합부의 상세에 따라 설계하는 경우에는 성능평가를 하지 않을 수 있도록 되어 있다.

온도차이비율(TDR)이란 실내온도와 적용 대상 부위의 실내표면온도 차이를 실내온도와 외기온도 차이로 나눈 값을 말하며, 여기서 실내온도는 상대습도 50%일 때 25℃를 기준으로 하고, 외기온도는 다음 표에서와 같이 지역 구분에 따라 지역 I 은 -20℃, 지역 II는 -15℃, 지역 III은 -10℃를 기준으로 한다.

<표 7> 건축물 부위별 결로 방지 성능기준<sup>3)</sup>

| 대상부위         |          |    | TOR값       |            |            |
|--------------|----------|----|------------|------------|------------|
|              |          |    | 지역 I       | 지역 II      | 지역 III     |
| 출입문          | 현관문      | 문짝 | 0.30       | 0.33       | 0.38       |
|              | 대피공간 방화문 | 문틀 | 0.22       | 0.24       | 0.27       |
| 벽체접합부        |          |    | 0.25       | 0.26       | 0.28       |
| 외기에 직접 접하는 창 | 유리 중앙부위  |    | 0.16(0.16) | 0.18(0.18) | 0.20(0.24) |
|              | 유리 모서리부위 |    | 0.22(0.26) | 0.24(0.29) | 0.27(0.32) |
|              | 창틀 및 창곽  |    | 0.25(0.30) | 0.28(0.33) | 0.32(0.38) |

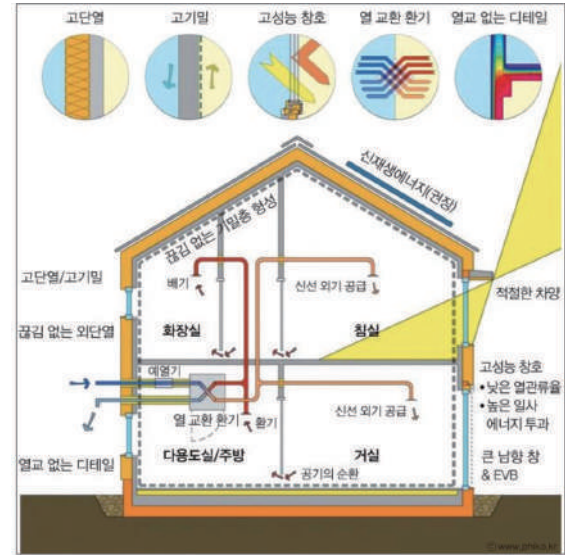
| 지역     | 지역구분                                                                                                                                                        |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 지역 I   | 강화,동두천,이천,양평,춘천,홍천,원주,영월,인제,평창,철원,태백                                                                                                                        |
| 지역 II  | 서울특별시,인천광역시(강화제외),대전광역시,세종특별자치시,경기도(동두천,이천,양평 제외),강원도(춘천,홍천,원주,영월,인제,평창,철원,태백,속초,강릉 제외),충청북도(영동제외),충청남도(서산,보령 제외),전라북도(임실,장수 제외),경상북도(문경,안동,의성,영주),경상남도(거창) |
| 지역 III | 부산광역시,대구광역시,광주광역시,울산광역시,강원도(속초,강릉),충청북도(영동),충청남도(서산,보령),전라북도(임실,장수 제외),전라남도,경상북도(문경,안동,의성,영주 제외),경상남도(거창 제외),제주특별자치도                                        |

주) 지역 I, 지역 II, 지역 III은 최한월인 1월의 월평균 일 최저외기온도를 기준으로 하여, 전국을 -20℃, -15℃, -10℃로 구분함

## 2.4 패시브하우스 기준

독일에서 태동한 결로가 발생하지 않는 쾌적한 저에너지 주택 건설 기준인 패시브하우스 기준은 1)연간 난방에너지 요구량 15kWh/m².a 이하 또는 최대 난방부하 10W/m² 이하, 2)연간 난방 에너지 요구량 15 kWh/m².a 이하(필요시), 3)재생에너지를 위한 1차에너지 소요량 60 kWh/m².a 이하(난방, 냉방, 조명, 급탕, 환기, 콘센트), 4)기밀성 테스트 0.6/h 이하(ACH 50) 등을 만족할 것을 요구하고 있으며, 이를 위해서 열교가 없는 설계, 고단열 창호, 열교환형 환기장치, 고성능 단열, 기밀시공 이상 5가지 원칙을 제안하고 있다(그림 2 참조).

[그림 2] 패시브하우스 개념도



아일랜드에서는 이러한 패시브하우스 기준을 만족시키기 위해서는 다음과 같은 시방기준(<표 8> 참조)을 따르도록 요구하고 있으며, 실무적으로는 건축물 외피의 단열재 요구 두께를 8개 등급으로 구분하여 제시(<표 9> 참조)하고 있는데, 3등급 이상 3개 등급만 패시브하우스의 연간 난방에너지 요구량을 만족시키는 것을 알 수 있다.

<표 8> 패시브하우스 시방기준(아일랜드)<sup>6)</sup>

| Measure/Solution                                      | Passivhaus Standard for the Prototype House in the Irish Climate |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Super Insulation</b>                            |                                                                  |
| Insulation Walls                                      | $U \leq 0.175 \text{ W/(m}^2\text{K)}$                           |
| Insulation Roof                                       | $U \leq 0.15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$                            |
| Insulation Floor                                      | $U \leq 0.15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$                            |
| Window Frames, Doors                                  | $U \leq 0.8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$                             |
| Window Glazing                                        | $U \leq 0.8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$                             |
| Thermal Bridges                                       | Linear heat Coefficient $\Psi \leq 0.01 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ |
| Structural Air Tightness                              | $n50 \leq 0.6 / \text{air changes per hour}$                     |
| <b>2. Heat Recovery/ Air Quality</b>                  |                                                                  |
| Ventilation counter flow air to air heat exchanger    | Heat Recovery Efficiency $\geq 75\%$                             |
| Minimal Space Heating                                 | Post heating ventilation air/ Low temperature heating            |
| Efficient small capacity heating system               | Biomass, compact unit, gas etc.                                  |
| Air quality through ventilation rate                  | Min 0.4 ac/hr or 30m³/pers/hr                                    |
| Ventilation Supply Ducts Insulated                    | Applicable                                                       |
| DHW Pipes Insulated                                   | Applicable                                                       |
| <b>3. Passive Solar Gain</b>                          |                                                                  |
| Window Glazing                                        | Solar energy transmittance $g \geq 50\%$                         |
| Solar Orientation                                     | Minimal glazing to north                                         |
| Thermal Mass within Envelope                          | Recommended                                                      |
| <b>4. Electric Efficiency</b>                         |                                                                  |
| Energy Labelled Household Appliances                  | A rated appliances                                               |
| Hot water connection to washing machines/ dishwashers | Recommended                                                      |
| Compact Fluorescent or LED Lighting                   | Recommended                                                      |
| Regular maintenance ventilation filters               | Recommended                                                      |
| Energy Efficient Fans/Motors                          | Recommended                                                      |
| <b>5. On-site Renewables</b>                          |                                                                  |
| DHW Solar Heating                                     | Area to be dictated by house size and occupancy                  |
| Biomass system                                        | Recommended                                                      |
| Photovoltaics                                         | Application in a case by case basis                              |
| Wind Turbine                                          | Application in a case by case basis                              |
| Other including geothermal                            | Application in a case by case basis                              |

Table 1. Technical Definition of the Passivhaus Standard for Ireland.

<표 9> 건축물 외피의 등급별 단열재 요구 두께<sup>6)</sup>

| Option | U-values of ext. wall | U-values of roof | U-values of floor | Average U-value of windows and doors | Space heating requirement |
|--------|-----------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 1      | 0.10 W/(m²K)          | 0.10 W/(m²K)     | 0.10 W/(m²K)      | 0.80 W/(m²K)                         | 7 kWh/(m²a)               |
| 2      | 0.15 W/(m²K)          | 0.15 W/(m²K)     | 0.15 W/(m²K)      | 0.80 W/(m²K)                         | 12 kWh/(m²a)              |
| 3      | 0.175 W/(m²K)         | 0.15 W/(m²K)     | 0.15 W/(m²K)      | 0.80 W/(m²K)                         | 13 kWh/(m²a)              |
| 4      | 0.10 W/(m²K)          | 0.10 W/(m²K)     | 0.10 W/(m²K)      | 1.50 W/(m²K)                         | 20 kWh/(m²a)              |
| 5      | 0.27 W/(m²K)          | 0.16 W/(m²K)     | 0.25 W/(m²K)      | 0.80 W/(m²K)                         | 20 kWh/(m²a)              |
| 6      | 0.10 W/(m²K)          | 0.10 W/(m²K)     | 0.10 W/(m²K)      | 2.00 W/(m²K)                         | 31 kWh/(m²a)              |
| 7      | 0.15 W/(m²K)          | 0.15 W/(m²K)     | 0.15 W/(m²K)      | 2.00 W/(m²K)                         | 37 kWh/(m²a)              |
| 8      | 0.27 W/(m²K)          | 0.16 W/(m²K)     | 0.25 W/(m²K)      | 2.00 W/(m²K)                         | 68 kWh/(m²a)              |

Sensibility analysis of the prototype passive house in belated outdoor test results for eight options. Source: Muehle Architecture

### 3. 제도 비교 분석

국내 에절(건축물의 에너지절약설계기준)과 친주(에너지절약형 친환경 주택의 건설기준)의 중부2지역 기준값과 아일랜드의 패시브하우스 기준 중 2등급(독일의 패시브하우스 기준과 동등 수준)을 상호 비교하면 다음과 같다(<표 10> 참조).

<표 10> 건축물 외피의 등급별 단열재 요구 두께<sup>6)</sup>

| 건축물의 부위 | 제도의 종류 | 에절   | 친주   | 패시브   |
|---------|--------|------|------|-------|
|         |        | 중부2  | 중부2  | 2등급   |
| 거실의 외벽  | 외기 직접  | 0.17 | 0.17 | 0.15  |
|         | 외기 간접  | 0.24 | 0.24 |       |
| 최상층 지붕  | 외기 직접  | 0.15 | 0.15 | 0.15  |
|         | 외기 간접  | 0.21 | 0.21 |       |
| 최하층 거실  | 외기 직접  | 0.17 | 0.17 | 0.15  |
|         | 외기 간접  | 0.24 | 0.24 |       |
| 충간바닥    | 바닥난방   | 0.81 | 0.81 | -     |
| 창       | 외기 직접  | 1.00 | 0.90 | 0.80  |
|         | 외기 간접  | 1.50 | 1.50 |       |
| 문       | 외기 직접  | 1.40 | 1.40 | 0.80  |
|         | 외기 간접  | 1.80 | 1.80 |       |
| 열교      |        | 0.55 | -    | 0.01  |
| 기밀성     | 창 및 문  | 5등급  | 1등급  | -     |
|         | 세대 전체  | -    | -    | 0.6/h |

국내 기준과 패시브 기준의 차이는 1)외기 직접과 외기 간접의 구분 여부, 2)연간 난방에너지 소요량 규정 여부, 3)열교 방지 설계방법, 4)기밀성 고려방법 등으로 정리할 수 있다.

#### 3.1 외기 직접 및 외기 간접의 구분 여부

국내 기준은 열손실에 근거한 등가 열관류율 개념으로 외기에 간접 면하는 경우의 열관류율을 외기에 직접 면하는 경우와 비교하여 70% 정도 완화된 값으로 고려하고 있는데 반하여, 패시브 기준에서는 외기 직접 수준으로만 고려하고 있다. 이와 같이 건축물

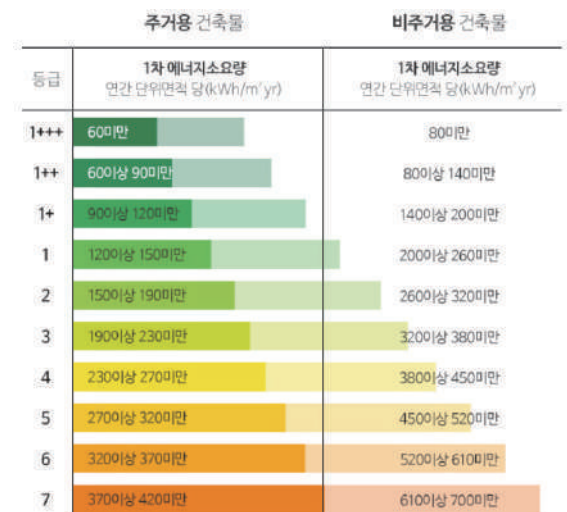
외피의 열관류율은 국내 기준이 패시브 기준을 어느 정도 준용하는 수준이지만, 문의 경우 국내 기준은 화재안전기준에 따른 내화성능을 동시에 만족시켜야 하는 난제가 있어 패시브 기준과 비교하여 낮은 수준으로 설정되어 있다.

특이하게 패시브 기준은 일반적으로 개별 주택을 대상으로 하기 때문에 층간바닥에 대한 열관류율 기준이 없는 반면, 국내의 경우 서로 다른 소유자들의 집합체로 이루어진 공동주택이라는 특성 때문에 난방 가동 특성이 가가호호 다를 수 있어 이를 고려하여 층간바닥의 경우에도 열관류율 기준을 설정하고 있다.

#### 3.2 연간 난방에너지 소요량 규정 여부

앞서 언급한 건축물 부위에 따른 열관류율을 설정함에 있어 패시브 기준에서는 연간 난방에너지 소요량에 근거하도록 규정하고 있는 반면, 국내 기준은 뚜렷한 목표가 제시되어 있지 않은 실정이다. 다만, “건축물 에너지효율등급 인증(이하 예효) 및 제로에너지 건축물 인증에 관한 규칙”에 의거하여 1차에너지 소요량 기준으로 1+등급 수준에 해당하는 것으로 알려져 있으며, 국가 로드맵에 의거 제로에너지 건축물 인증을 받기 위해서는 1++등급 이상을 획득하여야 한다(<표 11> 참조).

<표 11> 건축물 에너지효율등급 인증 기준



다만, 단열설계 뿐 아니라 기계설비, 전기설비, 신재생에너지 등 건축물의 총 에너지를 고려한 1차에너지 소요량이 아니라 단열설계기준만을 고려하여 패시브 기준처럼 난방에너지 소요량에 대한 규정으로 정리될 필요가 있다.

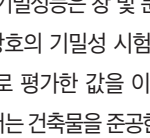


### 3.3 열교 방지 설계방법

열교에 대한 국내 기준은 2017년 6월 개정된 에절에서 권장사항으로 고려되고 있는데, 정량적인 해석을 통한 방법이 아니라 다양한 부위에 대한 열교값을 목록으로 제시하고 있으며, 그 값들을 종합적으로 계산하여 에너지성능지표에서 배점을 받을 수 있도록 되어 있지만, 선형 열관류율의 합계가 최소 배점기준에 해당하는 0.55W/m.K 미만을 만족하지 못할 경우 배점을 받지 않아도 된다. 이에 반하여 패시브 기준에서는 국내 기준과 달리 열교부위 선형 열관류율을 0.01W/m.K 이하로 아주 엄격하게 권고하고 있으며, 이러한 열교방지설계를 하지 않을 경우 2차원 열관류율에 0.1W/m.K를 더한 값으로 기준 적합성을 고려<sup>7)</sup>할 것을 제안하고 있다.

다만, 패시브 기준은 일반적으로 저층 주택을 대상으로 하기 때문에 대부분 외단열이 적용되어 열교방지설계가 가능하지만, 국내의 경우 고층 공동주택을 대상으로 하기 때문에 외단열 시공기술의 적용 한계로 인하여 대부분 내단열이 적용되는 상황에서 어쩔 수 없이 발생하는 열교로 인한 결로를 방지할 수 있도록 결로 방지를 위한 설계기준을 별도로 운영하고 있다는 것과 근본적으로 외단열 구조로 설계되지 않는 한 상대적으로 열교부위를 처리하기 어려운 내단열 구조임을 감안하여 선형 열관류율에 대한 고려가 이루어져야 할 것이다(<표 12> 참조).

<표 12> 선형 열관류율 계산 사례 <sup>3)</sup>

| 단열형태 | 열교 부위                                                                               | 단열 보강  | 선형 열관류율 (W/m <sup>2</sup> ·K) |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------|
| 외단열  |  | 없음     | 0.000                         |
|      |  | ① 또는 ② | 0.000                         |
|      |  | ① + ②  | 0.000                         |
| 내단열  |  | 없음     | 0.700                         |
|      |  | ① 또는 ② | 0.650                         |
|      |  | ① + ②  | 0.600                         |

### 3.4 기밀성 고려방법

국내 기준에서 기밀성능은 창 및 문 제품 단위로 이루어지고 있는데, KS F 2292 : 창호의 기밀성 시험방법에 따라 통기량을 측정 후 기밀성 등급으로 평가한 값을 이용하도록 규정하고 있는데 반해, 패시브 기준에서는 건축물을 준공한 후 기밀테스트를 실시하여 50Pa 압력조건에서 시간당 0.6회 이하의 공기교환이 이루어지는 것을 확인하도록 규정하고 있다.

한편, 국내의 경우에도 앞서 언급한 예호 본인증을 받을 때 현장에서 Blower Door와 같은 압력팬을 이용한 기밀성 테스트를 실시하여 그

값을 해석할 때 이용하도록 규정하고 있지만 한계 요구값을 규정하고 있지 않을 뿐 아니라 임의 제도로 운영되고 있기 때문에 인증을 신청한 건축물에 한해서 실시하고 있는 실정이다.

### 3.5 그 외

국내 기준은 지켜야 할 사항에 대한 구체적인 지침을 제공하는 시방기준(Prescriptive Approach)을 주로 활용하고 있으며, 친주의 경우 에너지 절감률을 정량적으로 평가하는 방법(Performance-based Approach)을 이용할 수 있도록 복합적으로 구성되어 있고, 유사하게 예호에서도 1차에너지 소요량을 평가하여 등급을 인증하는 방법(Performance-based Approach)을 이용하고 있다. 한편 패시브 기준에서는 연간 난방에너지와 최대 난방부하, 연간 냉방에너지 및 신재생에너지 필요량(1차에너지 소요량)을 정량적으로 평가하도록 규정하고 있다(<표 13> 참조). 이 때 1차에너지 소요량을 평가함에 있어 국내 기준은 난방, 급탕, 환기, 조명 이상 4개 에너지 용도를 평가하는데 반해, 패시브 기준은 냉방과 보조 전기 및 콘센트 부하까지 포함하여 평가하고 있다.

<표 13> 패시브하우스 기준 <sup>5)</sup> (독일, 2015)

|                                                                                                                     |                                                            | Criteria <sup>1)</sup> |                                              | Alternative Criteria <sup>2)</sup>                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Heating                                                                                                             | Heating demand [kWh/(m <sup>2</sup> a)]                    | ≤                      | 15                                           | -                                                                                                                                   |
|                                                                                                                     | Heating load [W/m <sup>2</sup> ]                           | ≤                      | -                                            | 10                                                                                                                                  |
| Cooling                                                                                                             | Cooling + dehumidification demand [kWh/(m <sup>2</sup> a)] | ≤                      | 15 + dehumidifier contribution <sup>3)</sup> | variable limit value <sup>3)</sup>                                                                                                  |
|                                                                                                                     | Cooling load [W/m <sup>2</sup> ]                           | ≤                      | -                                            | 10                                                                                                                                  |
| Airtightness                                                                                                        | Pressurization test result n <sub>50</sub> [1/h]           | ≤                      | 0.6                                          | -                                                                                                                                   |
| Renewable Primary Energy (PER) <sup>7)</sup>                                                                        |                                                            |                        | Classic Plus Premium                         | ±15 kWh/(m <sup>2</sup> a) deviation from criteria<br>...with compensation of the above deviation by different amount of generation |
| PER demand <sup>4)</sup> [kWh/(m <sup>2</sup> a)]                                                                   |                                                            | ≤                      | 60 45 30                                     |                                                                                                                                     |
| Renewable energy generation <sup>5)</sup> (with reference to projected building footprint) [kWh/(m <sup>2</sup> a)] |                                                            | ≥                      | - 60 120                                     |                                                                                                                                     |

국내 기준에서 냉방이 제외되어 있음은 공동주택의 경우 기계설비를 이용한 냉방이 아니라 개별 세대에서 전기를 이용한 에어컨을 사용하기 때문에 요구량은 계산이 가능하지만 요구량에 따른 에어컨 가동 여부는 개별 세대의 자유의지에 따른 것이므로 보편화 할 수 없음이 반영된 것이라 판단되지만, 콘센트 부하까지 포함하는 패시브 기준을 참고할 때 냉방부하를 콘센트 부하에 포함시키는 방법 등을 포함하여 가전기기 전기 사용량까지 건축물 에너지 평가에 포함하도록 콘센트 부하까지 고려한 평가방법의 선진화 방안이 검토되어야 할 것이다.

## 4. 맺음말

건축물 에너지 기준은 요소기술의 기술 수준을 규정하는 시방기준(Prescriptive Approach)에서 건축물의 에너지 요구량과 소요량을 예측하는 성능기준(Performance-based Approach)으로 진화

하였으며, 최근에는 실제 에너지 사용량에 기반한 설계기준 (Outcome-based Approach)으로 발전하고 있다.

국내 기준은 시방기준에 해당하는 “건축물의 에너지절약설계기준”의 에너지성능지표(EPI, Energy Performance Index)와 “에너지절약형 친환경 주택의 건설기준” 제7조 제2항의 설계조건을 충족하는 방법이 있으며, 성능기준으로는 “에너지절약형 친환경 주택의 건설기준” 제7조 제1항의 1차에너지 소요량 절감율을 계산하는 방법과 “건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증에 관한 규칙”에 의한 1차에너지 소요량 평가 프로그램(ECO2-APT)을 이용하는 방법이 혼용되어 운영되고 있으며, 아직까지 사용량에 기반한 설계기준은 마련되어 있지 않은 상태이다. 패시브 기준은 주된 평가방법이 1차에너지 소요량을 평가하는 성능기준에 기반하고 있으며, 이를 만족시키기 위한 시방기준은 참고자료로 제공되고 있고, 사용용도별 에너지 또한 난방, 급탕, 환기, 조명만을 대상으로 하는 국내와 달리 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명, 콘센트 부하 등 전체 에너지 사용량을 고려하고 있을 뿐 아니라 준공 후 기밀성능 요구기준이 있다는 점에서 사용량 기반의 설계기준으로 변화를 추구하고 있다고 볼 수 있다.

국내 기준이 패시브 기준에 거의 근접하게 강화되었다고 볼 수 있지만, 난방에너지 절감이 주요 목적인 독일 및 북유럽 지역의 패시브 기준은 난방 및 냉방을 동시에 고려해야 하는 국내의 기후환경을 제대로 반영하고 있다고 보기 어렵기 때문에 국내의 기후환경을 고려한 우리만의 에너지 기준을 만들기 위한 노력이 필요할 것으로 판단되며, 특히 개별 세대의 에너지 사용 뿐 아니라 지하주차장, 단지내 가로등 및 부대시설 등 공용공간의 에너지 사용량까지 고려해야 하는 공동주택이라는 특성까지 반영한 단지 규모의 에너지 평가가 이루어질 수 있도록 제도적 기술적 정비가 이루어지길 희망해 본다.

## ※ 참고문헌

1. 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준
2. 국토교통부, 에너지절약형 친환경 주택의 건설기준
3. 국토교통부, 공동주택 결로방지를 위한 설계기준
4. 국토교통부, 산업통상자원부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증에 관한 규칙
5. PHI, Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard, version 9c, 2015
6. SEI, Passive homes - Guideline for the design and construction of passive house dwellings in Ireland, 2008
7. A. Janssens 외 5인, 2008, Development of Limits for the Linear Thermal Transmittance of Thermal Bridges in Buildings, Conference Proceeding by ASHRAE

## WRITER INTRODUCTION



박철용 차장은 건축기술팀에서 녹색 및 에너지 업무를 담당하고 있으며, 녹색건축 인증 및 에너지 효율등급 인증 등 건축물 인증 업무를 함께 수행하고 있다.



# 냉난방 시스템의 이해와 저소음 FCU 환기 개선방법

글 김영준 / 시저스코리아북합리조트 현장 부장 / 전화 032-746-9712 / E-mail ssyjkim@ssyenc.com

## 1. 머리말

건축물의 쾌적한 공기조화를 위해 최근 미세먼지제거를 위한 공기청정기 및 환기유니트의 Filter관련 성능이 큰 이슈화가 되고 있다. 그러나, 공기의 청정화에 따른 실내의 쾌적성도 중요한 요건이지만 온도환경, 습도, 조명, 소음등 그 지표로 활용되는 조건들은 여러 가지가 대상이 될 수 있어 실제로는 종합적인 고른 성능의 표준이 필요하지만 아직 국내에는 이러한 평가 지표가 세부적으로 마련되어 있지 않은 실정이다. 그러나 제품을 생산하는 제조사 입장에서는 초저소음 제품의 생산이 사용자 입장에서 필요하고 이에 따른 가격경쟁력 또한 필요한 부분으로, 시공입장에서 본다면 그에 따른 모든 문제점을 안고 보완 설치해야 하는 어려운 입장에 설 수밖에 없다.

이에 간단한 소음의 기본내용과 제품에 대한 개략적인 검토와 대책방안을 모색해 보는 것으로 각각의 특성과 이에 따른 대책에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 냉난방의 일반적 내용

### 2.1 냉난방의 개요 및 에너지 전달

우선 건축물의 냉난방에는 어떠한 방식으로 이루어 지고 있는지 알아볼 필요가 있다.

주택의 예를 들자면 우리들이 일반적으로 알고있는 지역난방과, 개별난방으로 크게 나뉘어 진다. 주택의 난방은 우리가 알고 있는 에어컨이 일반적인 사용 장비이므로 생략한다. 지역난방은 일정 지역을 구분하여 열원을 배관으로 이동시켜 단지별로 열원을 공급하고 이것을 단지별로 열교환시켜 각세대에 공급하는 방식이다. 개별난방은 세대별로 보일러를 가동시켜 난방을 하는 방식이니 대부분의 사람들이 쉽게 이해할수 있는 방법이다.

그러나 호텔, 오피스는 이런 방법과는 좀더 다른 복잡한 시스템으로 건축물의 냉난방을 가동한다.

우선 건물 자체적으로 이러한 냉난방 열원을 갖추어야 하는 것이다. 그래서 전기를 공급하는 전기실이 있듯이 열원을 공급하는 기계실이라는 공간이 필요한 것이다. 여기에는 열원을 공급하는 보일러, 난방을 위한 냉동기가 있는 것이다. 이러한 냉열원을 공급하는 방식은 무엇이 있을까? 여기서 에너지의 이동에 따른 효율적인 방식을 생각해야 한다. 보일러와 냉동기에서 생산한 냉열원을 어떤 방식으로 운송해야 하는가 생각해보자. 여러가지의 설명이 필요없이 그것은 물이다. 스팀이라고 생각할 수 있지만 스팀은 고열원공급이 필요한 주방이나, 건축물의 가습을 위한 제한적인 사용범위가 있기에 설명은 생략하도록 하겠다.

물의 비열은  $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다. 참고로 철은 얼마일까?  $0.104 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ 이다(참고로 공기는  $0.24$ 이다). 이 수치는 우리에게 많은 정보를 알려주고 있다. 거의 10배나 높다는 것은 적은 부피에 많은 에너지를 이동시킬 수 있다는 것이며, 또한 비압축성 유체로서 반송동력 또한 절감할 수 있다는 것은 에너지 효율적인 면에서 다른 매체를 선택하기에는 쉽지 않은 이유인 것이다. 그래서 기계실에는 펌프가 다수 존재하는 것이다.

### 2.2 냉난방의 조닝 및 시스템

그럼 이렇게 이동시킨 냉열원을 어떻게 재실자에게 전달을 할까 생각해 보자. 기계실에서 건물에 거주하는 실별, 개인에게 각각 전달하기는 불편하다. 그럼 우리가 따뜻함과 시원함을 가장 느낄수 있는 방법은 무엇인가? 바로 공기다. 우리가 현장에서 많이 보았던 공조실이 생각나는 것처럼 기계실에서 보낸 냉열원을 공기와 열전달 시켜서 각실에 보내주는 장비를 우리는 AHU라고 한다. 이것은 공기를 FAN으로 송풍시켜 각 실에 전달해 주는 것으로 위에 언급한 것 처럼 부피가 커지는데 공기를 사용해야 하는지 의문이 있을수 있으나 이유는 냉난방을 하더라도 실내에 필요한 신선한 공기를 공급하고 오염된 공기를 배출시켜야 하는 또하나의 이유가 있기 때문에 필수불가결한 것이다. 그래서 대부분의 공조기는 층별로 위치하면서 각 층의 공조환기와 냉난방의 공급을 동시에 하는거라고



생각하면 이해가 쉽게 갈수 있다. 그러면, 여기서 의문점이 또 한가지 생길 수밖에 없는데, FCU라는 장비를 왜 사용해야 하는지에 대해서다.

이유를 간단하게 말하자면 효율성이다. 특히 호텔과 같은 건물에서는 공용부는 상시 사람이 상주하기 때문에 계절별 통계적인 부하량을 구할수 있다. 그러나 객실 같은 경우 공실률을 감안한다면 100%공기열원을 이용하여 냉난방을 한다면, 장비의 용량뿐만 아니라 열원을 운반하는 덕트의 용량 또한 커지기 때문에 공간활용에 상당히 비효율적 시공이 될수 밖에 없는 것이다. 그래서 앞서 이야기한 환기량을 공급하고 나머지 냉열원에 대한 부하는 에너지 이동이 효율적인 물을 사용하여 각 실별로 열교환 시켜 부하를 전달하는 방식을 활용하는 것이며, 이것을 이용해주는 장비가 바로 FCU인 것이다. 장비는 간단하지만 시공상 인테리어와 코디네이션 하기가 어려운 장비이나, 결국 에너지의 효율적인 활용 면에서 써야만 하는 중요한 장비인 것이다. 여기에 더한다면 부하의 가장 말단에 시공하는 장비이면서 침실에 설치된다는 면에서 소음이 왜 중요한지 충분히 이해가 갈 것으로 생각된다.

### 3. 소음의 일반적 내용

#### 3.1 소음의 개요

이제 말단 부하장비인 FCU의 용도를 이해 했으니 객실에서 발생하는 소음에 대한 내용을 파악해야 시공상 어떤 문제점이 있을지 알 수 있겠다.

사전적인 소음의 정의를 소개한다면 소리는 공기중의 작은 압력 변화에 의해 발생하는 현상으로 이러한 압력변화로 소리가 전파되고, 인체의 청각기관인 귀를 통해서 소리를 인식, 소리는 물리학적으로는 음파라고 하며, 탄성체를 통하여 전달되는 밀도 변화에 의해 발생한다. 소음은 듣기 싫은 소리를 총칭하며, 불쾌감을 주고 작업상 능률을 저하시키는 소리라고 명명하고 있다. 참 어려운 이야기이다. 결국 불쾌감을 준다는 것은 상당히 개인의 주관적 성향이라고 할 수 있다. 다른 사람들은 듣지 못하는 작은 소리도 누구는 이런 소리 때문에 스트레스를 호소하는 경우도 많이 보아 왔다. 이렇게 때문에 기준이 필요한데 간단하게 어떤 것들이 있는지 살펴볼 필요가 있다.

#### 3.2 소음의 기준

인간은 20 ~ 20,000Hz까지의 주파수 영역을 지각할수 있으며, 이 중 가장 중요한 영역은 500 ~ 3,000Hz범위이며 통상 음압레벨을 사용하고, 단위는 우리가 잘알고 있는 dB(decibel)을 사용한다.

우선, 우리 주변의 소리는 그 크기가 어느 정도인지 살펴보자.

<표 1> 소리의 크기

| SPL(dB) | 음악에 따른 소리와<br>역치와의 비 | SPL(dynes/cm <sup>2</sup> ) | 해당 음압의 소리   | 위험도    |
|---------|----------------------|-----------------------------|-------------|--------|
| 0       | 1:1                  | 0.0002                      | 들을 수 있는 한계  |        |
| 12      | 3.16:1               |                             | 낙엽 스치는 소리   |        |
| 20      | 10:1                 | 0.002                       | 조용한 도시의 아파트 |        |
| 30      | 31.6:1               |                             | 속삭임         |        |
| 40      | 100:1                | 0.02                        | 조용한 라디오 음악  |        |
| 50      | 316:1                |                             | 낮은 목소리와 대화  |        |
| 60      | 1,000:1              | 0.2                         | 정상적인 크기의 대화 | 불쾌한 자극 |
| 70      | 3,160:1              |                             | 고급 승용차      | 대화 불가능 |
| 80      | 10,000:1             | 2.0                         | 교통량이 많은 거리  | 위험함    |
| 90      | 31,600:1             |                             | 큰 트럭        | 손상 가능함 |
| 100     | 100,000:1            | 20.0                        | 판금공장        |        |
| 110     | 316,000:1            |                             | 착암기, 전기톱    |        |
| 120     | 1,000,000:1          | 200.0                       | 프로펠러 비행기    | 매우 위험함 |
| 130     | 3,160,000:1          |                             | 교통을 느끼는 한계  |        |
| 140     | 10,000,000:1         | 2,000.0                     | 제트기 엔진      |        |

<표 1> 소리의 크기를 보면 얼마나 우리의 생활 속에서 발생 하는 소리가 작은 차이임에도 불구하고 차이가 많이 나는지 알 수 있다. 낮은 목소리의 대화가 50dB이지만 일상적인 대화는 60dB이면서 주변인에게 불쾌한 자극을 준다고 하니 말이다. 가끔 방송에서 소리지르기 대회를 본 경험이 있을 텐데 정말 귀에 대고 고막이 터지도록 소리를 질러봤자 100dB를 넘기 힘들다. 얼마나 귀가 소리에 대해 민감한지 알 수 있다.

앞서 이야기한 소음의 정의를 이야기 하며 개인적인 판단이 불가하다는 이야기를 했지만 <표 1>을 보아도 엄청난 큰소리의 환경에서도 일상업무를 하는 경우도 봐서는 소음이 아닐 수도 있다.

환경소음기준은 어떤지 <표 2>에서 살펴보자.

<표 2> 특정 환경소음에 대한 세계보건기구 권고기준

| 특정 환경                      | 주요 건강 영향                           | LAeq<br>[dB(A)] | Time Base<br>[hours] | LAfmax<br>[dB]               |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 주거환경 - 실외                  | 심한 불쾌감 - 낮과 저녁<br>중등도의 불쾌감 - 낮과 저녁 | 55<br>50        | 16<br>16             | -                            |
| 주거환경 - 실내                  | 어음인지 방해와 중등도의<br>불쾌감 - 낮과 저녁       | 35              | 16                   | -                            |
| 침실 - 실내                    | 수면방해 - 밤                           | 30              | 8                    | 45                           |
| 침실 - 실외                    | 수면방해 - 청문 개방시(실외값)                 | 45              | 8                    | 60                           |
| 학교(교실) 유치원 - 실내            | 어음인지, 정보 및 의사소통 방해                 | 35              | 수업중                  | -                            |
| 유치원(수면실) - 실내              | 수면방해                               | 30              | 수면시간                 | 45                           |
| 학교(운동장) - 실외               | 불쾌감(외부 요인)                         | 55              | 활동시간                 | -                            |
| 병원 - 병동, 병실 실내             | 수면방해 - 밤<br>수면방해 - 낮과 저녁           | 30<br>30        | 8<br>16              | 40                           |
| 병원 - 치료실 실내                | 휴식과 회복 방해                          | 가능한<br>낮게 유지    | -                    | -                            |
| 공업, 상업, 쇼핑 및<br>교통지역 - 실내외 | 청력장애                               | 70              | 24                   | 110                          |
| 연회, 축제 및 오락장               | 청력장애(참가자는 연 5회 미만)                 | 100             | 4                    | 110                          |
| 공공 장소 - 실내외                | 청력장애                               | 85              | 1                    | 110                          |
| 헤드폰/이어폰을 통한 음악             | 청력장애(자유음장 음압)                      | 85              | 1                    | 110                          |
| 장난감, 폭죽과 사격 등의<br>충격음      | 청력장애(성인)<br>청력장애(아동)               | -<br>-          | -<br>-               | 140<br>Lpeak<br>140<br>Lpeak |
| 공원과 대화 장소 - 실외             | 평온함의 방해                            | 가능한<br>낮게 유지    | -                    | -                            |

얼마나 실내가 조용해야 하는지 우리는 <표 2>를 보면 쉽게 이해할 수 있다. 속삭임 수치인 30dB도 환경소음에 해당된다는 이야기는 냉난방을 위해 얼마나 조용하게 장비를 기동해야 하는지 하물며 바람소리 또한 나지 않게 시공해야 하는지, 최대한 저소음의 장비를 생산하려고 노력하는지 알수 있을 것이다.

이제 FCU의 소개와 저소음 장비의 시공개선방법에 대해서 알아본다.

## 4. Fan Coil Unit의 이해 및 시공개선

### 4.1 FCU의 종류별 특징

우선 FCU는 설치되는 부위별로 천정매입형, 천정카세트형, 바닥상치형(상부/전면 토출)등 크게 3가지로 나눌 수가 있다. 여기서 우리가 자주보고 사용하는 두가지 타입인 천정 카세트형과 바닥상치형을 위주로 알아보기로 한다. 바닥 상치형은 주로 건축물의 외부부하에 대응하도록 창측 하단에 설치하여 Draft현상을 방지하는 목적으로 사용되며 오피스에서 자주보는 타입이므로 생략한다.

다음 천장 카세트 타입을 보자. [그림 1]과 같이 우리가 많이 보아온 천정형 에어컨과 구분이 어려울 정도로 비슷한 면이 많다.

[그림 1] 4way 카세트



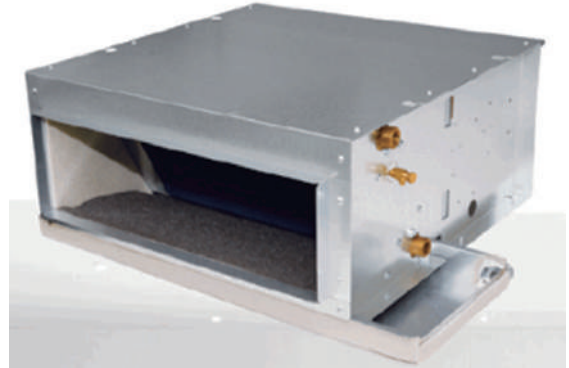
카세트 형은 용량과 방향별로 1/2/4 Way방식이 사용되고 있으며 특징은 다음과 같다.

- 1) 별도의 에어컨을 사용하지 않고 중앙냉난방을 하는 건물에서 사용할 수 있다.
- 2) 장비의 공간이 줄어, 실의 효율적인 사용이 가능하다.
- 3) 무선리모컨으로 간단한 조작이 가능하다.
- 4) 그릴판넬에 필터가 있어 관리가 용이하다.
- 5) 내장콘트롤 패널이 있어 제어가 용이하다.
- 6) 드레인 펌프가 내장된 응축수 배수능력이 탁월하다.
- 7) 단, 높이 3m 이내의 실내에서 가능하다.

통상 EHP사용이 보편적이지만 중앙 냉난방을 하는 건물에서는 배관

연결만으로 효율적인 냉난방이 가능하기 때문에 주로사용한다. 그럼 [그림 2]와 같이 천정 매입형을 보면 천정 내부에 설치되기 때문에 모양이 생소함을 느낄수 있다.

[그림 2] 저소음 천정 매입형



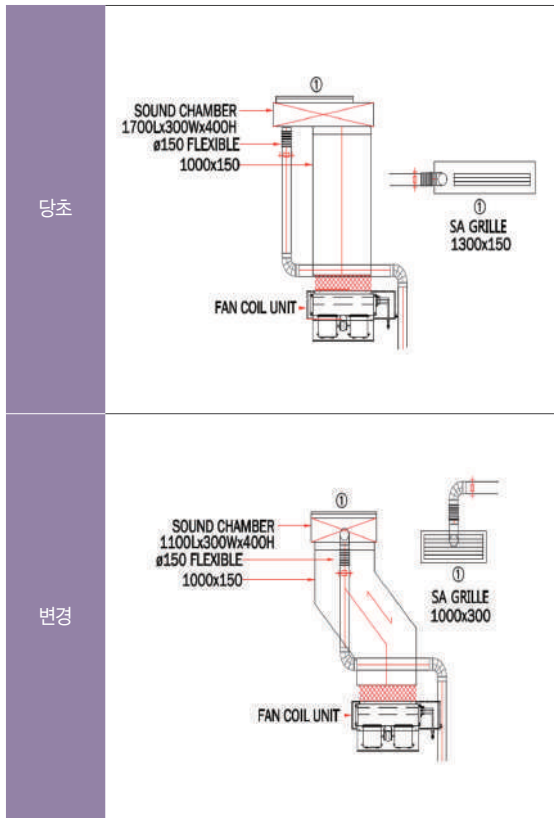
천정에 매입되는 형태로 별도의 드레인 펌프가 없어 자연구배로 시공되어야 하며, 온냉풍은 전면으로 토출되는 방식으로 특징은 다음과 같다.

- 1) 취출구를 위한 별도의 덕트, 그릴공사가 필요하다(저소음형 성능저하의 이유).
- 2) 일반적으로 호텔 객실에 많이 사용 한다.
- 3) 냉온수 별도 코일이 가능해 4-Pipe 냉난방을 구분한 시스템이 가능하다.
- 4) 객실 제어 시스템과 연동하여 냉난방 공실제어가 가능하다.
- 5) BLDC모터를 사용하여 소음을 억제 한다.
- 6) 덕트 정압이 일반형보다 0~3mmAq로 작아 취출구 덕트의 굴곡과 개구율이 큰 토출그릴을 필요로 한다.
- 7) 장비의 기동소음은 30dB 미만이다.

### 4.2 FCU의 시공개선 방법

저소음 FCU는 소음에는 유리하지만 풍량 제어에서는 무척 제어하기가 어렵다. 토출구 측에 작은 저항만 발생해도 바람이 나오지 않는다. 공기를 전방으로 불어낸다고 보다는 밀어내는 타입이기 때문이다. 전방의 닥트가 직선구조이면 어느 정도 성능을 유지할 수 있으나, 시공상 닥트를 틀어진 구조로 시공해야 하기 때문이다. 이유는 개인의 사생활 보호차원에서 입구가 틀어져 있기 때문이다. [그림 3]에서 당초 현황과 변경 현황을 보면 그 차이를 알 수 있다.

[그림 3] FCU 닥트 전후 도면



당초 도면은 직선형에 좌측면에서 원형닥트가 실내공기를 공급하며 주변 공기의 흐름을 당기면서 실내 안쪽까지 밀어 줄 수가 있다. 그럼에도 불구하고 닥트 우측의 막힘 현상으로 공기의 흐름을 방해하고 있다. 물론 인테리어 벽면과 간섭이 있기 때문에 시공상 불가능하다. 물론 그릴의 크기도 통로길이와 상이하여 해당규격으로는 시공이 불가능한 상태였다(욕실이 위치한 벽면은 천정 상부까지 벽이 시공되기 때문이다).

변경 도면은 사각닥트의 중앙으로 원형닥트를 관통시키고 그릴의 규격을 조금 늘려 공기의 흐름이 원활하도록 개선하였다. 이런 방법으로 닥트 안쪽에서 공기의 흐름을 전방으로 취출하여 후방의 냉온공기가 당겨 오도록 하는 방법으로 개선했던 사례이다.

실제 유체역학 난류흐름 시뮬레이션을 구현하고 확정해야 하나 TAB 검토 결과 공기흐름 개선에 효과가 있다는 의견으로 현장에 반영 시공예정이며, 관련 Sample Test후 본공사를 진행할 예정이다.

## 5. 맺음말

FCU의 취출구 개선을 위해 냉난방 시스템의 전반적인 설명과 소음에 대한 이야기를 하는 것이 이상하게 느껴질 수도 있으나 전반적인 시스템을 이해하며 문제를 해결하고 아울러 설비 시스템을 보다 잘 이해할 수 있는 계기가 되었으면 하는 바람에서 이 글을 기고하게 되었다. 난류의 특성과 토출기구의 개구율 등 좀더 자세한 내용으로 설명하였으면 하는 욕심이 있었으나 좀더 쉽게 읽고 이해하기를 바라는 심정으로 설명하였으며, 많은 호텔을 시공하는 당사의 입장에서 실무자가 관련 공정과 코디네이션 할수 있는 있는 자료로 활용 될수 있기를 기대한다.

### ※ 참고문헌

1. 보건복지부, 대한의학회 자료 참조

### WRITER INTRODUCTION



김영준 부장은 독산동 노보텔 현장, 창원엔진공장 현장, 부산사직1차/대구범어동아파트 현장 등 다수의 건축현장 및 본사 설비담당 PM으로 근무하였다. 현재 시저스 코리아북한리조트 현장에 재직 중이며 설비팀장 업무를 담당하고 있다.





# QR Code를 이용한 현장관리

글 이성윤 / 두바이 Royal Atlantis 현장 대리 / 전화 +971-4-390-4556 / E-mail esyoon@ssyenc.com

글 김상훈 / 건축기술팀 차장 / 전화 02-3433-7774 / E-mail madmax91@ssyenc.com

글 한승표 / 두바이 Royal Atlantis 현장 소장 / 전화 +971-4-390-4556 / E-mail mailsphan@ssyenc.com

## 1. 들어가며

호텔 건축에 있어서 마감공정에 대한 현장관리는 골조공사와는 다르게 복합공정으로 이루어져 있으며, 관리상 한눈에 진행사항이 보이는 것도 아니다. 이는 공정 및 공사 관리를 어렵게 하는 요인중에 하나이다.

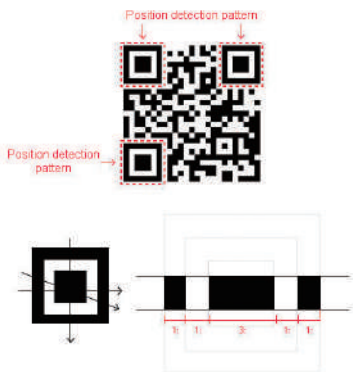
기존의 공정 및 공사관리의 기법은 각 실에서 발생하는 Activity를 공정관리 부서 및 공사부서에서 MS-Excel로 정리해서 각각 확인하는 방법을 택하고 있어서, 각 부서의 Communication에 있어서의 문제점이 발생되었다. 이를 해결하기 위하여 QR Code 및 Management Tool을 도입 하게되었다.

## 2. QR코드

### 2.1 QR코드 개요

바코드(Bar Code)란 컴퓨터가 판독할 수 있도록 고안된 것으로 크기가 다른 흑색막대를 조합하여 만든 전통적인 1차원 바코드와, 바코드는 아니지만 커다란 사각형 형태에 사각형 점을 배열하여 이루어진 2차원 바코드가 있다.

[그림 1] QR Code<sup>①</sup>



## 3. 적용시스템

### 3.1 Sablono Platform

QR Code의 연동의 Management Program으로는 SABLONO Platform을 이용하였다. 이 프로그램은 P.C와 Mobile에서 연동되는 프로그램으로 현장에서 발생하는 모든 Activity를 단순하게 요약된 Dashboard나 Visual Reporting으로 보여주는 기능이 있다.<sup>②</sup>

### 3.2 Sablono Platform의 특징

모든 현장의 자료를 Real Time으로 볼 수가 있으며, 계획사항과 실제사항 및 S-Curve등을 볼 수 있다.<sup>③</sup>

[그림 2] Real Time Task Monitoring



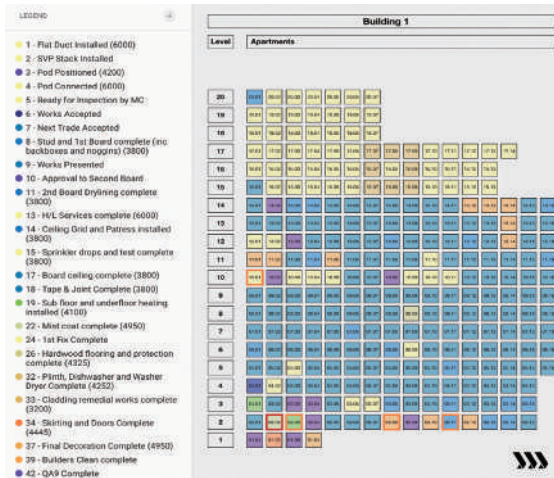
현장회의에 필요한 각종 Monitoring Tool을 제공한다. 이러한 Tool은 자동생성된 [그림 3]의 형태로 제공되며, 다양한 색상으로 Real Time 상황을 보여준다.

① www.densowave.com

② www.sablono.com

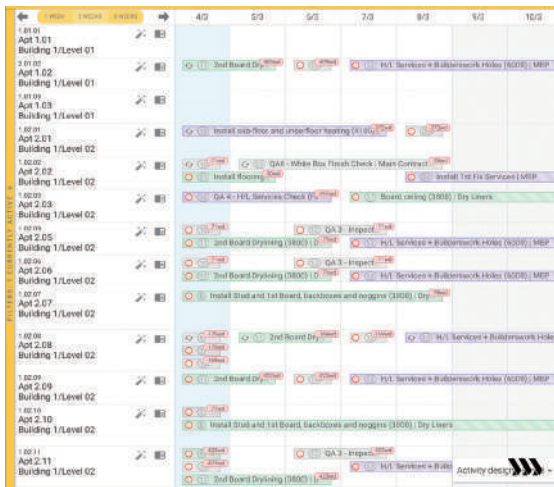
③ 조영식 김창덕, QR코드를 활용한 유지관리 프로세스 수립에 관한 연구 -초고층 공동주택을 중심으로 -, 대한건축학회논문집 구조계, 2014.05, pp100

[그림 3] Real Time Visualization

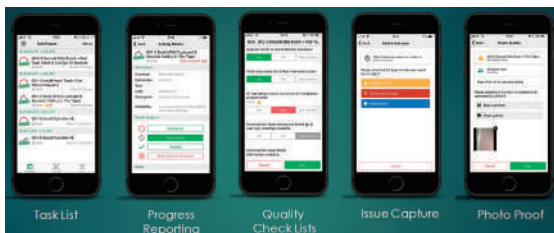


공정에 관하여서는 자동생성된 3주간의 예정공정표를 보여주는 기능이 있다.

[그림 4] 3주간 예정공정표



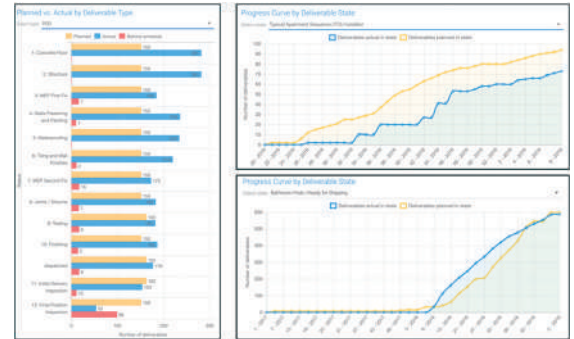
[그림 5] Mobile연동



이러한 모든 기능들은 P.C와 더불어 Mobile에도 연동되어서 나타나며, 각각의 기능을 Mobile에서도 확인가능하며, 필요한 데이터의 입력 또한 Mobile에서 충분히 가능하다.

이러한 모든 자료 및 데이터들은 [그림 6]의 Dashboard의 형태로 필요한 사람들에게 전달되어진다.

[그림 6] Dashboards



## 4. 현장적용

당현장은 마감공사에 있어 각 실의 작업현황을 확인하고 각 작업의 착수, 진행, 완료 및 검측, 이슈/간섭사항등을 입력하는 공정 Tracking System으로 운영을 하고 있다.

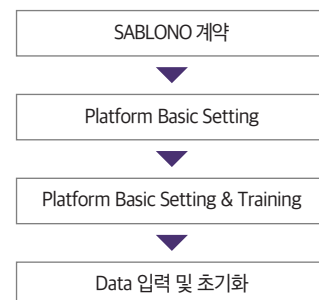
### 4.1 Platform Setting

당 현장은 초기 Setting을 위하여 Sablono 본사 직원 5명과 현장의 Planning 관련 Team 5명이 2주 간 작업을 하였다.

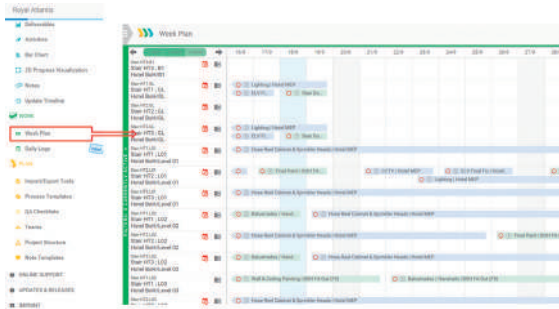
기존 예상했던 3,300개의 Deliverables보다 증가된 4,484개의 Deliverables와 거기에 속한 68,500개의 Activity를 생성하여 관리하고 있다. Set-up에 필요한 자료는 기존의 공정관리 Programme인 Primavera 및 각종 Room Data, Layout자료(Elevation, Plan등) 및 Activity(마감작업)의 일반적인 순서등을 Setting 하였다.

공정작업의 경우, Primavera에 입력된 Baseline자료에서 정보 추출 후 필요한 Platform 정보에 알맞게 변환하여 기본정보 및 세부정보를 입력하였다. Work Flow는 아래 [그림 7]과 같다.

[그림 7] 현장초기 Setting Work Flow



[그림 8] 당현장 Schedule 입력후 화면



[그림 8]은 공정관리 프로그램에서 추출한 정보를 Management 시스템으로 변환된 화면이다.

당 현장의 경우, 마감 시공 도중에 시행하게 되어, 각 Activity에 대한 기존 자료 입력에 일시적으로 추가 시간과 노력이 소요되었다.

## 4.2 시스템 운영

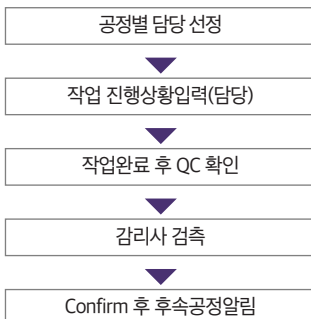
초기 Setting 된 시스템의 운영을 위하여, 3개의 Zone(Hotel, Residence, Podium)공간적으로 분할하여 운영하고 있으며, 각각의 공사담당,QA/QC담당 Sub-Contractor 직원들이 실시간 자료를 입력하여 운영하고 있다(그림 9) 참조).

[그림 9] 직원운영방안

| Operation | Planning Team : Manager 및 Planner 4명                     |                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Hotel     | Main contractor<br>(공사담당 및 QA/QC<br>입력 13 (및 Viewer 4명)) | Sub contractor<br>6개 업체 34명<br>(입력직원 + Viewer) |
| Residence | Main contractor<br>(공사담당 및 QA/QC 3명<br>(및 Viewer 7명))    | Sub contractor<br>5개 업체 42명<br>(입력직원 + Viewer) |
| Podium    | Main contractor<br>(공사담당 및 QA/QC 4명<br>(및 Viewer 3명))    | Sub contractor<br>5개 업체 25명<br>(입력직원 + Viewer) |

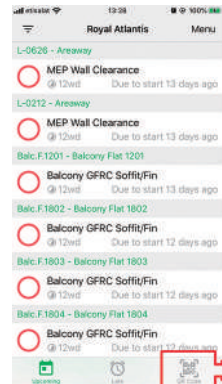
공사진행시 입력 및 업데이트의 절차는 각 공종별 담당업체와 관리자를 선정하여 [그림 10]과 같은 절차로 관리하고 있다.

[그림 10] 업데이트 Work Flow

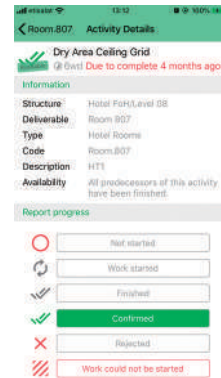


각 공정의 작업시작전에 스마트폰에서 QR Code로 로그인하여 작업 시작과 작업현황을 입력하여 진행현황을 입력하게 된다(그림 11~12) 참조).

[그림 11] Login 화면



[그림 12] 입력화면



또한 이러한 작업사항을 Personal Computer에서도 작성 및 열람이 가능하게 하였다(그림 13) 참조).

[그림 13] PC 입력화면



이와 같은 절차를 통하여 입력된 사항의 관리는 위에서 언급된 Dashboard, Deliverables 및 Visualization으로 표시하여 관리하고 있다.

[그림 14] 당현장 Dashboard

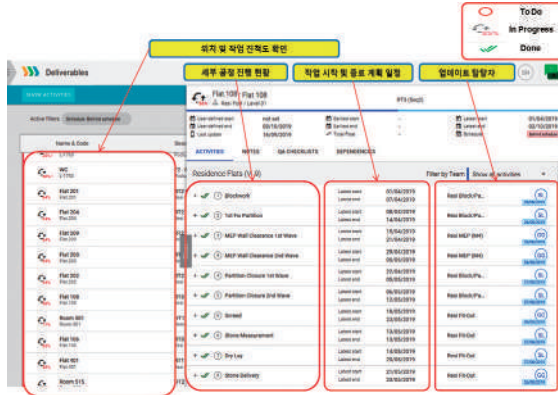


당 현장은 Structure 및 팀별로 Filtering을 통하여 계획, 품질, 기타 메모사항 등을 파악할 수 있으며, 최근 업데이트 사항 및 진행사항을 관리 가능하게 되었다.



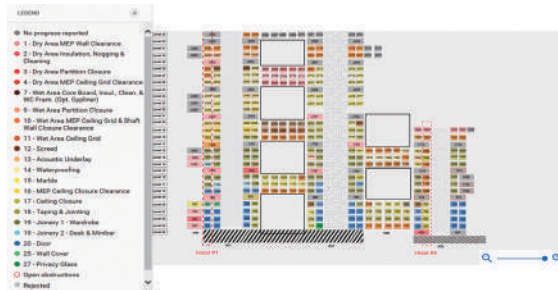
또한 각 동,층별 위치별 작업의 세부 진행현황 및 작업 시작 종료 계획일정을 한꺼번에 파악하여 관리 할 수 있다(그림 15) 참조).

[그림 15] 당현장 Deliverables

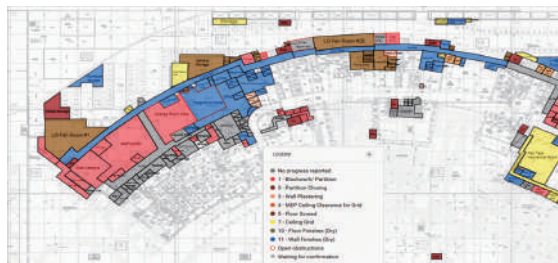


전체관리를 위하여 Realtime Visualization으로 각각의 Section 및 동별 진행사항을 한눈으로 파악할 수 있는 화면을 구성하여 주/월간 회의시 사용할 수 있도록 하였다(그림 16~17) 참조).

[그림 16] Hotel Section Visualization



[그림 17] Podium Plan Visualization



## 5. 타 현장 적용시 유의 사항

### 5.1 Activity의 분할 수준

각 Project의 특성을 고려하여 관리 포인트를 지정하여야 하며, 필요한 부분을 선택적으로 세분화하여 Activity를 상세화 할 필요가 있다.

### 5.2 사용목표의 설정

Management의 사용 목표 효과를 확실히 정해두고 적용할 필요가 있다. 해당 플랫폼 자체만으로 설계변경 등을 관리하기에는 한계가 있으며, 도입현장에서 발생하는 부수효과나 장단점을 잘 살펴서 기존관리기법과의 차이점을 파악하여 취사선택이 필요하다.

## 6. 맺음말

당현장은 Smart 건설의 일환으로 생산성 향상을 위하여 QR Code와 Management 시스템의 Collaboration의 도입으로 생산성 향상을 꾀하고 있다. 국내 도입시 한국어 버전을 제공하는 업체와 협업하는 방안도 필요하다.

호텔, 병원 등의 건축은 복잡다단한 공정을 가지고 있으며, 이러한 공사 및 공정관리에 대단한 노력이 필요하다. 이러한 노력을 최대한 줄일 수 있도록 하는 점에서 IT기술의 발전을 최대한 이용하여 생산성을 높이도록 하는 노력이 지속적으로 진행될 필요가 있다.

### ※ 참고문헌

1. 조영식 김창덕, QR코드를 활용한 유지관리 프로세스 수립에 관한 연구 - 초고층 공동주택을 중심으로 -, 대한건축학회논문집 구조계, 2014.05
2. www.densowave.com
3. www.sablono.com
4. Digital Task Management Platform-Royal Atlantis Hotel(2019), SABLONO

## WRITER INTRODUCTION



이성운 대리는 포시즌스 호텔&컨벤션센터 현장에서 근무하였다. 현재 두바이 로얄 아틀란티스 호텔&레지던스 현장에 재직 중이며 공정 업무를 담당하고 있다.



김상훈 차장은 투스카니힐스 현장, 세인트 레지스 랑가 위 호텔&컨벤션센터 현장, 건축기술팀 등 국내의 현장과 본사 건축기술팀에서 근무하였다. 현재 건축기술팀에 재직 중이며 CM업무를 담당하고 있다.



한승표 상무는 싱가포르 W호텔, Tan Tock Seng Hospital, 싱가포르 예일대학 현장 등 다수의 해외 건축 현장에서 근무하였다. 현재 두바이 로얄 아틀란티스 호텔&레지던스 현장 현장소장 재직 중이다.

# 옥슬리 타워 복합개발 현장 기술 소개

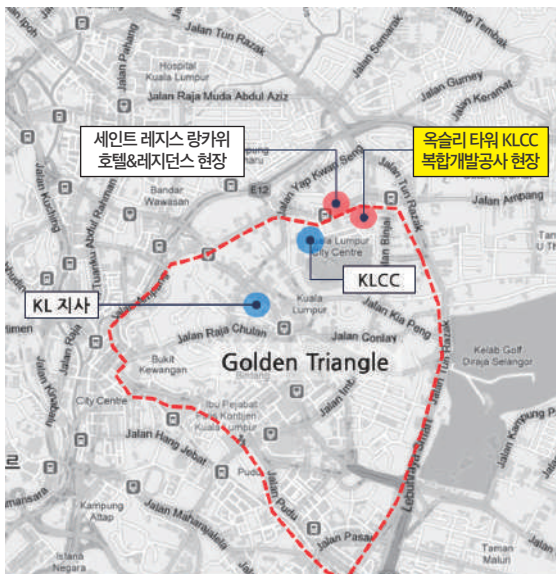
글 김현경 / 옥슬리 타워 KLCC 복합개발공사 현장 공무 팀장 / 전화 +60-12-326-6052 / E-mail tommy1115@ssyenc.com

글 유동규 / 옥슬리 타워 KLCC 복합개발공사 현장 소장 / 전화 +60-12-772-002 / E-mail dkyew@ssyenc.com

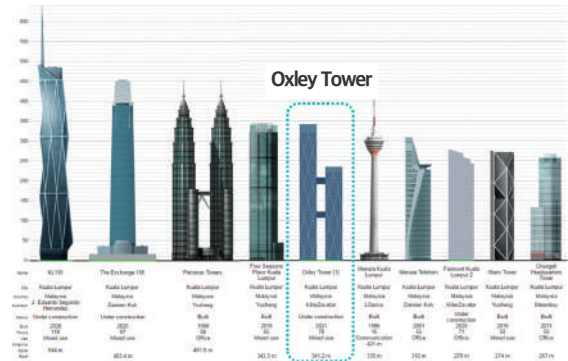
## 1. 머리말

Oxley Tower Mixed Development는 최고급 호텔체인인 Jumeirah, S.O Sofitel 브랜드별로 각각 호텔과 레지던스를 복합한 2개의 타워 동과 오피스 타워 1개동 그리고 이 3개동을 건물 높이 200m 상공에서 잇는 Sky Bridge 등으로 구성된 복합개발 공사이다. 당 공사의 부지는 말레이시아 쿠알라룸푸르의 심장부인 KLCC(Kuala Lumpur Center City) 페트로나스 트윈타워에서 불과 100여 미터 떨어져 위치하며, 특히 최 고층인 79층(최상부 338m) 타워는 완공 시 말레이시아 내 초고층 건물 5위에 해당하는 높이를 갖는다.

[그림 1] Project 위치도



[그림 2] 말레이시아 초고층 건물 순위



총 건물은 지하 5개층, 포디움 7개층, 각 타워별 79층, 49층, 29층의 규모로서, 타워의 형상은 상층부로 갈수록 바닥면적이 줄어들어 경사외벽을 갖는 비정형 건물 형태이다. 이 외벽을 따라 LED Lighting이 삽입된 Curtain Wall이 건축물 전면을 둘러싸게 되며, Diagonal Stainless Fin이 대각선 형태로 Panel사이에 배치되어 다이아몬드 형상의 패턴으로 이를 장식하게 된다.

<표 1> 공사개요

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공사명  | Oxley Tower Mixed Development                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 공사기간 | 2018. 12. 17 ~ 2022. 05. 16 (41개월)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 발주처  | Oxley Rising Sdn. Bhd.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 설계사  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architect : Veritas Architects Sdn. Bhd.</li> <li>Civil/Structural Engineer : TYLin Sdn. Bhd.</li> <li>MEP Engineer : Meinhardt (Malaysia) Sdn. Bhd.</li> <li>Interior (Sofitel) : Soda Architecture &amp; Interiors</li> <li>Interior (Jumeirah) : Aedas Architecture</li> <li>Landscape Consultant : Pentago Sdn. Bhd.</li> <li>Quantity Surveyor : Perunding Kos T &amp; K Sdn. Bhd.</li> </ul> |
| 대지면적 | 12,583 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 연면적  | 175,980 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 공사규모 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tower1: 79-storey / Tower2: 50-storey / Tower3: 29-storey</li> <li>Service Suite 857 Unit / Hotel 388 Room / Office 274 Unit</li> <li>Two Link Bridges : 33 &amp; 44 Storey</li> <li>Facilities : Swimming Pool, Sauna &amp; Steam Room etc.</li> </ul>                                                                                                                                            |

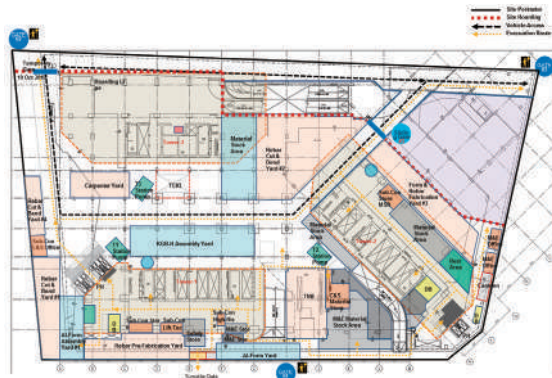
[그림 3] 조감도



## 2. 공통가설 시공 계획

전체적인 Logistic 계획은 매우 협소한 현장 부지의 사정을 감안하여 필수적인 작업공간 및 자재이동 루트 확보에 중점을 두었다. 또한 작업공간 배치는 단계별 부지인수인계 및 Tower와 Podium구간 공정진행에 따라 유기적으로 변동되고 있으며, 현재는 타워크레인 4대 및 Hoist 2대가 운영 중이나 총 3대의 Hoist가 추가적으로 운영 될 예정이다.

[그림 4] 공통 가설 계획



[그림 5] 현장 사진(2019. 12)

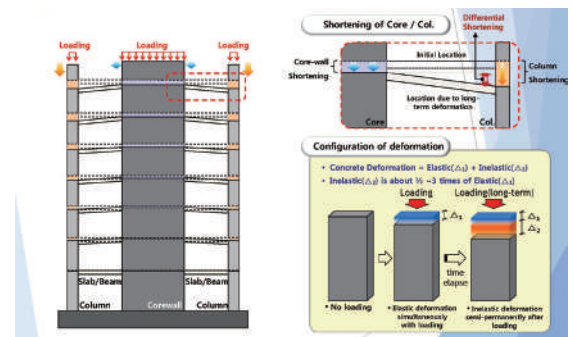


## 3. 주요공사 시공 계획

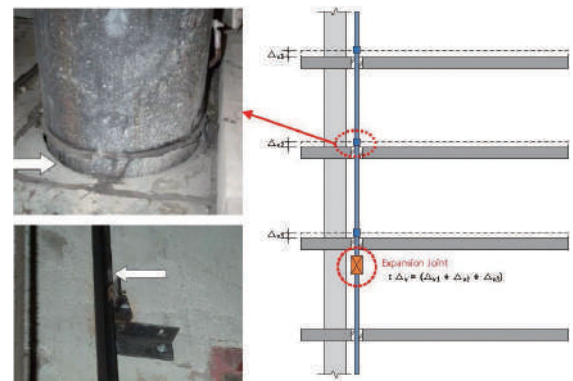
초고층 프로젝트는 건축물의 벽체나 기둥과 같은 수직부재에서 작용하는 하중에 의해 탄성축소가 발생하며, 탄성축소 외에도

건조수축(Shrinkage)과 크리프(Creep) 등 재료에 따른 비탄성 효과에 의한 장기적인 축소량이 발생된다. 보통 100층 정도의 초고층 건축물에서 콘크리트 기둥과 벽체의 축소량은 층당 2~3mm 정도로 발생하므로 층에 따라서 축소량을 예측할 수 있다. 축소량은 작용되는 하중에 따라 발생하는 탄성 축소량이 40~50%, 콘크리트의 건조수축(Shrinkage)과 크리프(Creep)로 인한 비탄성 축소가 50~60% 정도가 포함된다. 이론적으로 보정을 하지 않을 경우, 전체 축소량이 최소 150mm 이상 발생하여 시공 후 건축물 레벨이 설계레벨과 차이가 발생하며, 장기적으로 총 축소량은 외장재, 파이프나 엘리베이터 레일과 같은 비구조재에 영향을 주게 되는 것과 같은 사용성의 문제가 발생한다.

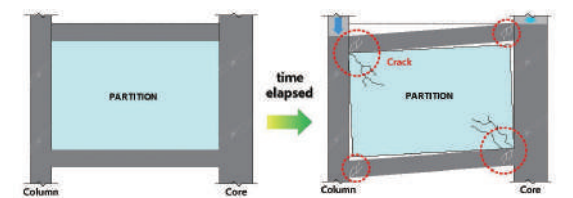
[그림 6] 축소량에 대한 기본 개념



[그림 7] 축소량에 의한 배관/리프트 샤프트 영향



[그림 8] 축소량에 의한 비구조 벽체 영향



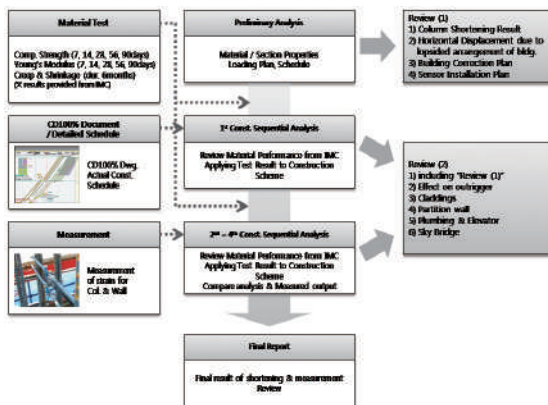
당 초고층 프로젝트는 타 초고층 프로젝트와 달리 설계자의 디자인 면이 강조된 프로젝트라서 코어가 중앙부에 있지 않고 건물의 외곽



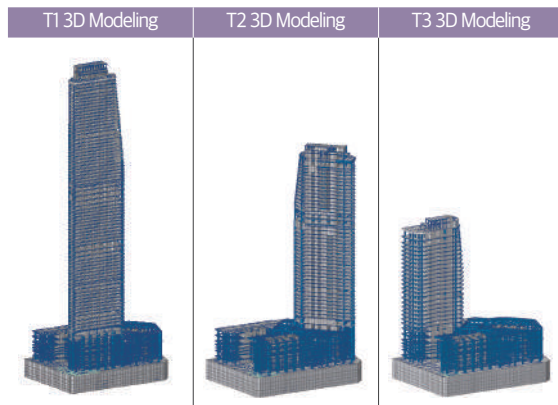
부에 있어 수직에 대한 기둥의 축소량과 코어 편심에 대한 시공단계의 수평 변위 또한 발생하고 있다.

본 프로젝트는 3차원 모델링으로 사전해석 및 하중과 재료의 실험 결과를 가지고 4번의 시공단계해석을 통해 수축량을 예상하고, Strain Sensor를 통해 얻은 결과와 측량 결과를 비교하여 수축량 보정방법을 제안할 예정이다.

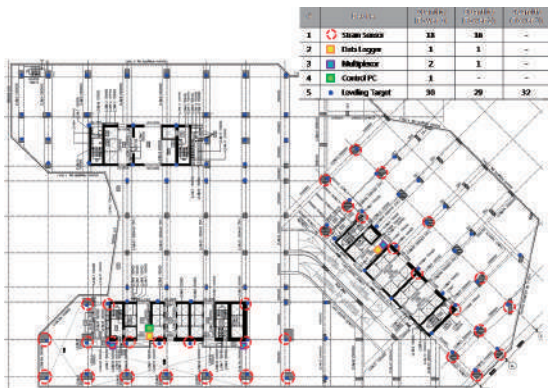
[그림 9] 수축량 검토 프로세스



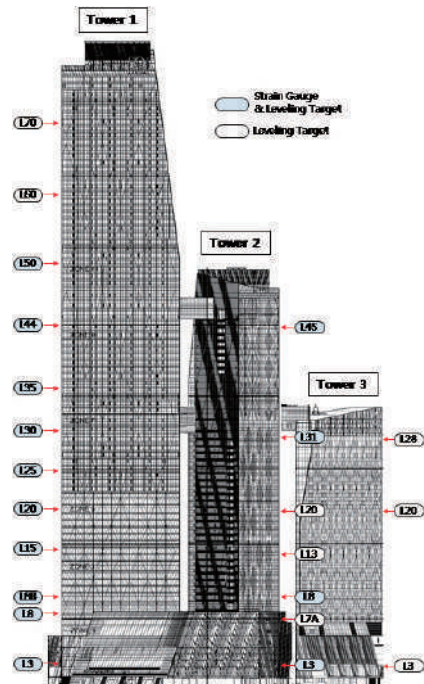
<표 2> 타워별 3D 모델링



[그림 10] 센서 및 측량 계획도-1

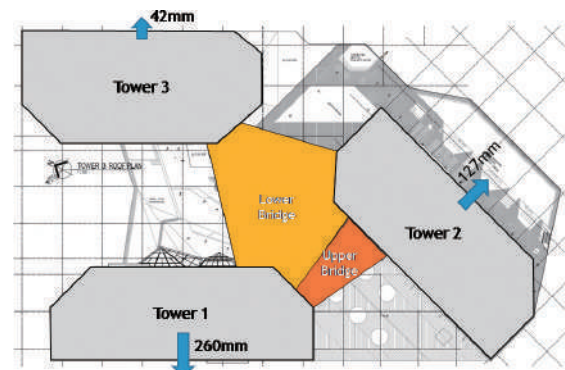


[그림 11] 센서 및 측량 계획도-2



사전해석의 결과 최대 수직 수축량은 T1 77.1mm, T2 61.3mm, T3 43.2mm이고, 장시간 수평 변위는 T1 260mm, T2 127mm, T3 42mm로 앞서 이야기한 것과 같이 수직 수축량보다 편심에 따른 수평 변위량이 건축물에 큰 영향을 주었다.

[그림 12] 코어 편심에 대한 수평 변위(7년후)

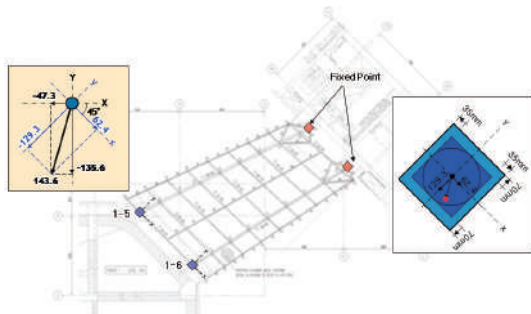


당 초고층 프로젝트는 T1과 T2를 연결하는 상부 브릿지, T1 T2 T3를 연결하는 하부 브릿지가 있다. 각 타워를 연결하는 스카이 브릿지는 T2를 고정단으로 두고 나머지 타워들은 풍하중에 대한 변위를 받아들일 수 있도록 자유단으로 설계가 되었다.

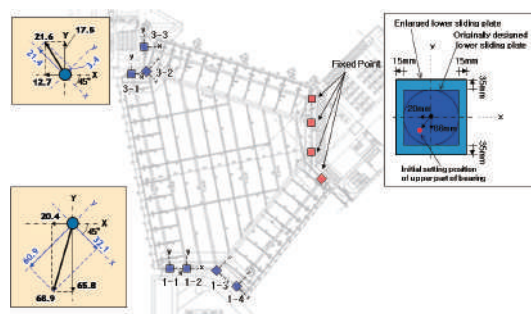
풍하중에 대한 변위는 상부 ±800mm 하부 ±450mm이고 쇼트닝에

의한 수평변위는 상부 -143.6mm, 하부 -68.9mm로 베어링패드 설계 시 모든 조건에 만족할 수 있도록 플레이트를 확장할 예정이다.

[그림 13] 상부 브릿지



[그림 14] 하부 브릿지



## 4. 맺음말

당 현장 프로젝트를 수행하면서 초고층 건축물에 대한 이론적인 사항 및 공통가설 계획, 설계, 구조, 설비, 시공 등 모든 실무분야의 초고층 요소기술의 기술 데이터와 시공 노하우를 축적하여 당사의 초고층 공사 시공역량을 진일보시키는 계기가 되었으면 한다.

또한 초고층 프로젝트의 분야에서 경쟁력을 확보하여 현재 국내외 추진중인 초고층 프로젝트를 적극 공략하고 새로운 시장 활로를 개척하는 기반 마련에 일조를 했으면 한다.

### WRITER INTRODUCTION



김현경 부장은 두바이 그랜드 하얏트 호텔, 경희궁의 아침, 다만사라 시티2 레지던지 현장 등 다수의 국내외 현장에서 근무하였다. 현재 옥슬리 타워 KLCC 복합개발공사 현장에 재직 중이며 공무팀장 업무를 담당하고 있다.



유동규 상무는 The Scotts Tower 현장, 부산대학교 병원, 인천국제공항, 리비아 Benghazi Central Hospital 현장 등 다수의 국내외 현장에서 근무하였다. 현재 옥슬리 타워 KLCC 복합개발공사 현장 현장소장으로 재직 중이다.



# 2020 DUBAI EXPO KOREA PAVILION 현장 소개

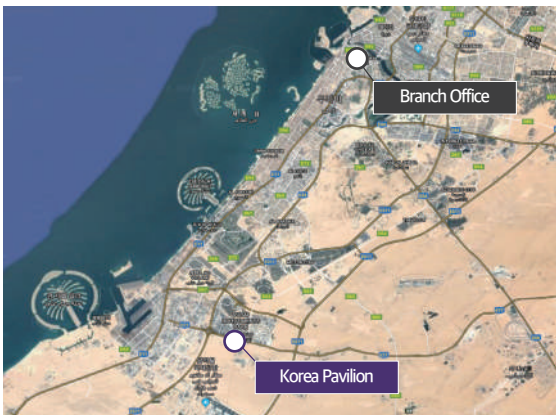
글 권철우 / 두바이 엑스포 한국관 현장 과장 / 전화 +971-56-577-4039 / E-mail churoo@ssyenc.com

글 조옥제 / 두바이 엑스포 한국관 현장 소장 / 전화 +971-56-891-5595 / E-mail guessu@ssyenc.com

## 1. 현장개요

2020 두바이 엑스포 한국관 공사는 두바이 제벨알리 엑스포 지구에 엑스포 행사기간 동안 한국 관련 전시 및 공연을 위한 한국관을 신축하는 건축물 프로젝트이다(엑스포 폐장 후 철거 예정).

[그림 1] Project 위치도

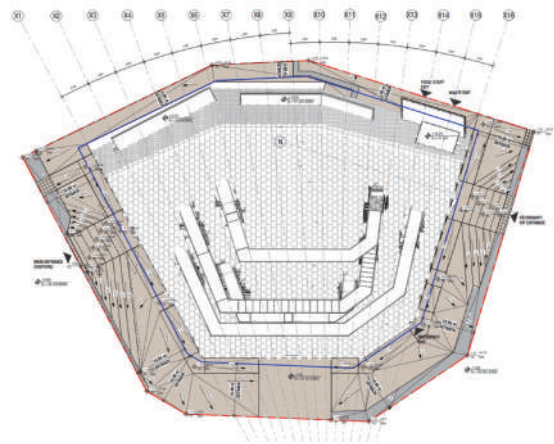


한국관은 약 80개에 달하는 개별 국가관 가운데 엑스포 내에서 주요위치에 배치 되어있는 중요 4개 국가관(한국, 독일, 쿠웨이트, 사우디) 중 하나이다.

[그림 2] 한국관 위치도



[그림 3] 건물 배치도



건축물은 수직방향으로는 지하 1층에서 3층까지 있으며 지하 철근콘크리트조, 지상 철골조(건물 최대높이 : 약 27m)로 구성되어 있다. 전체적인 건물외관은 삼각 모양을 기본으로하는 기하학적인 형태이며 건물의 주요 디자인 컨셉은 'MOBILE MASS\_ITY'로 Mass(군중)와 City(도시)의 합성어이며 '신나서 다 함께 춤추는 모습'을 뜻한다.

[그림 4] 조감도





주요 공사개요는 다음과 같다

<표 1> 주요 공사개요

|       |                                                                                                                                                    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공사명   | 2020 Dubai EXPO Korea Pavilion                                                                                                                     |
| 공사기간  | 2019.12.01 ~ 2020.09.19 (9.6개월)                                                                                                                    |
| 공동도급  | 당사 단독                                                                                                                                              |
| 발 주 처 | KOTRA (대한무역투자진흥공사)                                                                                                                                 |
| 설 계 사 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lead Architect : MOOYUKI Architects</li> <li>Architecture/MEP : Archcorp</li> </ul>                         |
| 감 리 단 | <ul style="list-style-type: none"> <li>PM : HanmiGlobal</li> <li>Supervision : Al Hilal Engineering Consultants</li> <li>AOR : Archcorp</li> </ul> |
| 공사범위  | 골조공사, 마감, PS 공사                                                                                                                                    |
| 대지면적  | 4,651 m <sup>2</sup>                                                                                                                               |
| 연 면 적 | 6,843m <sup>2</sup>                                                                                                                                |
| 공사규모  | 지하층 ~ 지상3층 전시 및 공연 공간                                                                                                                              |

당 프로젝트는 현재 공정을 7.5% 정도로 지하층 철근콘크리트 공사가 진행 중이며, 본 고에서는 건물의 골조(지하층 RC & 지상층 철골) 공사계획 및 제약된 현장 여건에서 주요 공종인 철골 공사 계획이 어떻게 수립되었는지에 대해 상세히 설명 하고자한다.

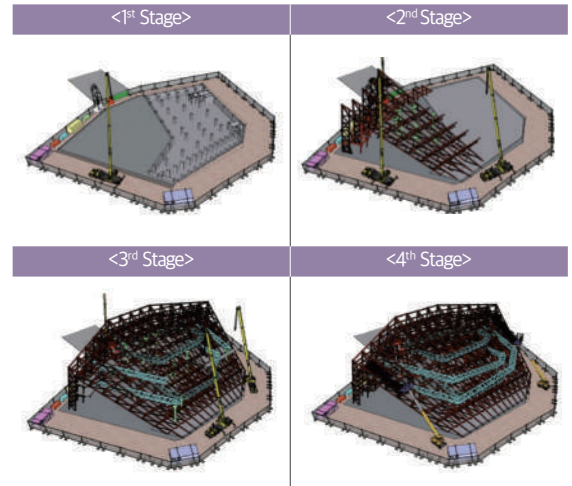
[그림 5] 현장전경



## 2. 시공 계획

시공과정은 다음의 4단계로 계획하였다. 기초 터파기 공사를 시작으로 지하층 철근콘크리트 공사를 완료한다(1<sup>st</sup> Stage). Ground Floor Slab 가 완료되면 지상층 Roof Truss 철골공사를 시작한다(2<sup>nd</sup> Stage). Roof Truss 진행에 따라 내부 철골공사 및 Ramp 철골 공사를 진행한다(3<sup>rd</sup> Stage). 철골공사가 완료되면 내부 마감 공사 및 외부 공사를 진행한다(4<sup>th</sup> Stage).

[그림 6] 공사 진행 계획

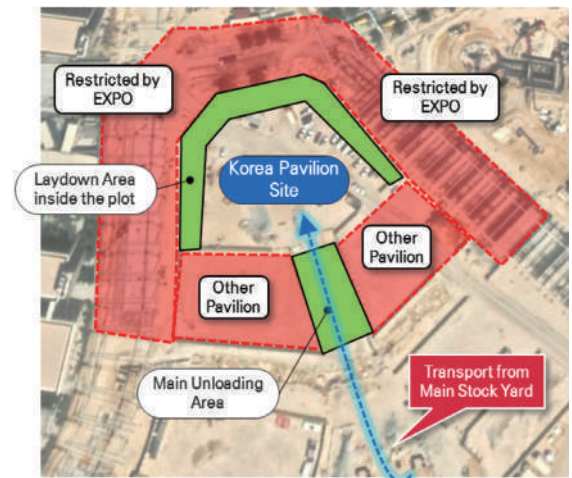


## 3. 철골 공사 공법 소개

### 3.1 철골 공사 개요

당 현장은 부지 주변으로 사방에서 EXPO 관련 다른공사가 진행되어 Access가 절대적으로 제한되어 있는 상황에서 약 1,400톤에 달하는 철골 물량을 3개월 내에 설치 완료해야하는 프로젝트이다.

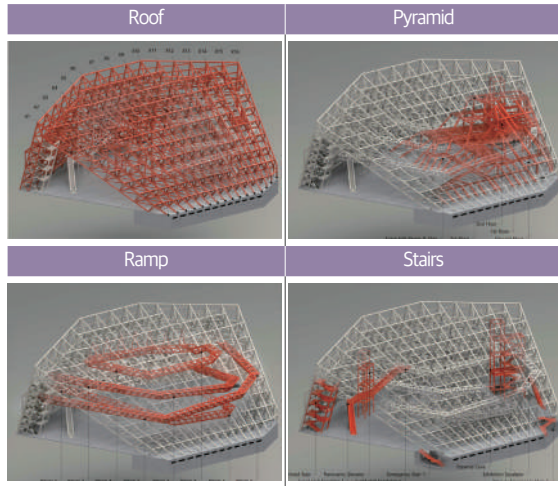
[그림 7] 현장 부지 주변 상황



따라서, EXPO Team과 현장 인접 Pavilion 현장과의 긴밀한 협의를 통한 Mobile Crane 배치 위치 확보 및 자재 야적장 확보가 공기 달성에 중요한 해결 과제였다.

또한 [그림 8]에서 보여지는 것과 같이 다양한 부위가 철골로만 이루어진 기하학적인 외관 및 내부 설계로 인하여 철골 설치 순서 및 접합에 대한 심도있는 고민이 필요하였다.

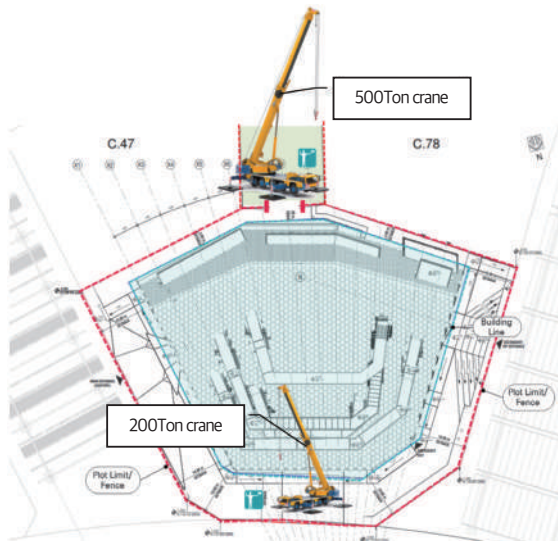
[그림 8] 철골 공사 범위



### 3.2 양중 장비 배치 계획

주어진 여건에서 Mobile Crane의 Outrigger 위치 및 Swing 반경을 고려한 가장 적합한 Mobile Crane 용량을 결정하였다. 그 결과, 현장 남측의 Main Access 위치(부지외부)에 최소 500Ton의 대형 크레인을 배치하여 주요 철골 부재(Roof Truss) 설치를 전담하고 북측에 최대 200Ton의 크레인을 배치하여 부속 철골 설치를 수행하는 계획을 세우게 되었다.

[그림 9] 양중 장비 배치 계획

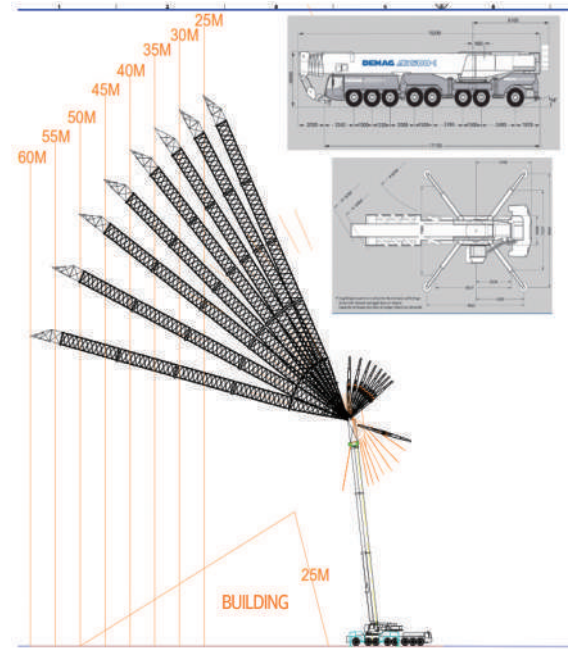


### 3.3 철골 분절 및 설치 계획

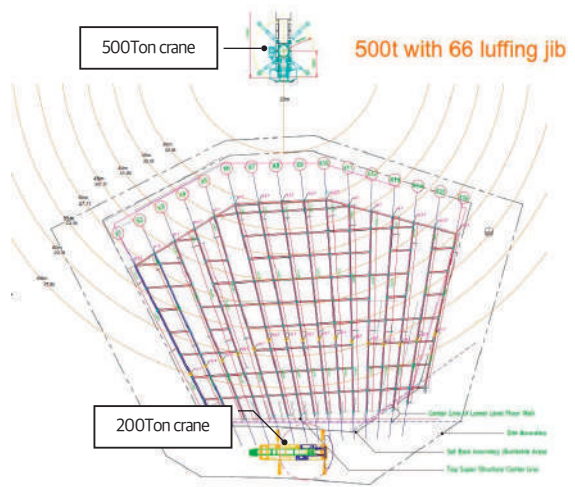
500Ton Mobile Crane의 거리별 최대 양중 용량에 따라 Roof Truss를 분절계획 하였다. 접합 공정을 줄이기 위하여 분절 개소를 최소화

하였고 이에 따라 설치를 위한 Temporary Supporting Tower가 계획되었다.

[그림 10] 양중 장비 용량 검토



[그림 11] 양중 장비 용량 검토



Roof Truss는 500Ton Mobile Crane을 이용하여 최대 20Ton 중량의 한 분절을 Temporary Supporting Tower를 이용하여 지지 후 다음 분절을 현장 불팅하는 방식으로 접합하여 이어가며 설치한다.

Ramp Structure 역시 500Ton Mobile Crane의 거리별 최대 용량을 고려하여 분절 후 Temporary Supporting Tower를 이용하여 1차 지지 후 불팅 접합하여 설치를 이어간다.

[그림 12] Temporary Supporting Tower(예)



내부 철골 부재 및 Roof Truss 간 이음철골은 현장 북측에 배치되는 250Ton Mobile Crane으로 설치하며 필요시 더 작은 용량의 Crane을 추가 배치하여 철골 잔부재의 설치를 진행한다.

#### 4. 맺음말

당 프로젝트는 조감도에서 볼 수 있듯이 건물 입면이 기하학적이고 많은 철골 부재들이 동시에 접합을 하는 등 작은 규모임에도 공사기간이 짧은 것을 포함하여 공사 난이도가 높은 프로젝트이다. 또한 2020년 10월에 개최하는 EXPO의 계획상 현장 주변에서

동시 다발적으로 공사가 진행되어 실시간으로 변화되는 상황에서 즉각적인 Logistic Plan 및 공사계획 수립이 프로젝트의 성패를 좌우한다고 볼 수 있다.

본 고에서는 당 현장의 공기달성에 절대적인 영향을 주는 공종인 철골공사 시공방법을 중심으로 전체적인 시공계획을 살펴보았다.

비록 공사 규모가 크지 않으나 국가를 대표하는 한국관을 건립하는 국위선양 프로젝트이며 중동지역에서 한류가 팽창하는 가운데 EXPO에서도 많은 관심을 가지고 있는 Pavilion으로서(4개의 대표 Pavilion들 중 한개) 이를 성공적으로 마무리하여 두바이 지역에서 당사의 위상을 높임과 더불어 수주에 이바지 할 수 있기를 기대해 본다.

#### WRITER INTRODUCTION



권철우 과장은 구리문화예술회관, 두바이, 로얄 아틀란티스 호텔&리조트 현장, 두바이 지사 등 국내외 교육문화 시설 및 호텔 현장에서 근무하였다. 현재 두바이, 엑스포 한국관 현장에 재직 중이며 공무업무를 담당하고 있다.



조옥제 부장은 대전태평동쌍용아파트, 세이트 레지스랑 카워 호텔&레지던스 현장, 두바이, ICD 브룩필드 플레이스 현장 등 다수의 국내외 건축현장에서 근무하였다. 현재 두바이, 엑스포 한국관 현장 현장소장으로 재직 중이다.







## 현장탐방

On-site Interview

99 | 싱가포르 현장탐방

105 | 국내 현장탐방

# 싱가포르 우드랜드 종합병원

## Woodlands Health Campus



싱가포르 금융중심지구에서 북쪽으로 약 30km 떨어진 도심지대에 위치한 싱가포르 우드랜드 종합병원 (Woodlands Health Campus, WHC).

싱가포르 최북단에 신도시로 조성된 우드랜드(Woodland) 지역은 이름 그대로 녹지가 풍부하게 조성된 곳이자 하루 약 45만명의 말레이시아 건설, 서비스 근로자들이 오가는 출입국 관문으로 통한다. 1,800병상 규모의 미래형 종합병원이 들어서게 되면 싱가포르에서 다시 한 번 우리회사의 기술력을 인정 받는 사례이자, 고용창출과 더불어 자족형 의료도시로서 지역의 새로운 성장동력이 될 것으로 보인다.

당시 입찰을 위해 우리회사는 주간사로서 40%의 지분을 보유하고 대우건설 40%, 코 브로더스(Koh Brothers) 20%와 조인트 벤처(Joint Venture)를 구성했다. 이 공사는 단순한 가격 경쟁이 아니었다. 싱가포르 보건부가 ADS(Alternative Design Solution)와 PQM(Price Quality Method) 방식으로 발주한 이 프로젝트에서 PQ를 통과한 JV사는 우리회사를 포함해 국내 2개사와 시미즈(Shimizu) JV, 오바야시(Obayashi) JV 단 4곳에 불과했다. 수주일을 기점으로 수주 배경에는 그동안 우리회사가 쌓아왔던 국내외 병원 시공

실적과 차별화된 공법 제시를 꼽을 수 있다. 싱가포르 내 6,000만 인시 무재해를 기록하는 등 안전관리 능력도 긍정적인 결과에 힘을 실었다. 특히 네 차례에 걸친 평가 미팅(1:1 Discussion 2회 / Due Dilligence Site Evaluation 1회 / Post Tender Evaluation 1회)에서 JV사 중 우리 측이 유일하게 CEO가 참석해 발주처의 기대치를 적극 파악하고 3사 컨소시엄에 대한 우려를 해소하는 등 맞춤형 영업 전략이 수주 성공의 요인이었다.

### 싱가포르 우드랜드 종합병원 (Woodlands Health Campus)

- 발 주 처 : 싱가포르 보건부 (Ministry Of Health, MOH)
- 공사기간 : 2018. 04 ~ 2021. 08
- 공사내용 : 지하4층 ~ 지상7층, 8개동, 1,800병상
- 현장직원 : 현장소장 엄경륜 상무 외 글로벌 스태프 포함 320여명 근무
- 현장위치 : Woodlands Avenue 12 (Woodlands 2 planning area), Singapore

※ 특이사항 : 쌍용건설이 3사 JV의 리더사로 싱가포르 최대 규모의 IT 첨단 의료 병원을 구축





## 기술을 말하다!

### 직원 인터뷰 Q&A

**Q.**

당 현장의 BIM 적용과 조직 운영에 대해 설명해 주십시오(Design과 BIM을 합쳐 100여명의 대규모 설계조직이 운영되고 있는데 그 이유는 무엇입니까?).

▶ 김현중 과장(BIM 관련) : 당 현장은 싱가포르 BCA에서 정의한 VDC(Virtual Design and Construction) 단계를 넘어서 IDD(Integrated Digital Delivery) 단계를 목표로 하고 있습니다. IDD란 디지털 기술을 사용하여 작업 프로세스를 통합하고 프로젝트를 수행하는 이해 관계자를 연결하는 것을 말하며, IDD를 실현시키기 위해 BIM을 기반으로 Digital Design, Digital Fabrication, Digital Construction, Digital Asset Delivery & Management 업무를 진행하고 있습니다.

현재 현장에서는 Digital Design, Digital Fabrication 부분에 업무가

집중돼 있으며, 건물 모든 구역에 대해 BIM을 활용한 디자인 코디네이션 업무를 진행하고 모든 Shop Drawing을 BIM Base로 작성합니다. 이 과정에서 디자인 코디네이션을 실시하고 디자인 승인을 받지 못하면 Shop Drawing 제출을 할 수 없기 때문에 BIM 코디네이션 과정에 110명이 넘는 대규모 설계 조직이 투입되고 있습니다.

**Q.**

당 현장에서 'Roombook'의 작성이 중요한 이유는 무엇입니까? (Roombook의 정의와 어떻게 활용되고 있는지 설명 해 주십시오)

▶ 김현중 과장(BIM 관련) : Roombook은 룸에 대한 평면도, 천장평면도, 입면도, 3D뷰, Map 서비스 리스트 등 모든 정보를 담고 있는 As-built Drawing 입니다. 당 현장은 약 12,000개의 룸으로 구성되어 있으며, 발주처와 협의를 통해 약 5,800개의 룸북을 작성하고 있습니다.

일반적으로 시공 시 Concrete Body Plan, Wall Setting out Plan, Ceiling Plan, MEP Shop Drawing 정도로 마감공사를 진행하는데, 병원 현장의 경우 많은 서비스와 장비들이 배치되기 때문에 실제와



동일한 Digital Mock-up을 활용한 코디네이션이 필요합니다. 당 현장은 발주처의 요청에 따라 현재 Roombook을 활용하여 디자인 코디네이션을 진행하고 있으며, 코디네이션이 완료된 Roombook을 공사 참고 도면으로 활용하고 있습니다.

## Q.

**당 현장은 PC, PBU와 같은 Modular 공법이 적용된 현장입니다. 이와 관련한 현장에서의 주요 관리 포인트는 무엇이었습니까? (공법 적용의 이유, 장단점, Buildability Score 충족, 적기 제작 및 배송/설치 등에 관하여 설명해 주십시오)**

▶ 송호준 차장(PC PBU) : PC 및 PBU 같은 Modular 공법의 가장 중요한 포인트는 설계 관리입니다. 초기에 설계가 확정되어야 해당 분야에 대한 세부 도면 작성, 생산 스케줄 협의, 반입 및 설치 계획을 세울 수 있습니다.

당 현장은 구조 PC, 외장 PC 및 PBU 등과 같이 주요 Modular 적용을 통해 공기 단축 및 까다로운 싱가포르 건설 현장 규제 중 하나인 Buildability Score를 충족할 수 있도록 기획되어 있고 전 직원이 합심하여 전력 투구 중입니다.

Modular 공법의 가장 큰 장점은, 사전 협의 및 결정을 통한 조기생산이 가능해 JIT를 통한 공기 단축을 할 수 있다는 점이며 까다로운 병원 현장의 Fast track 요구 조건을 충족할 수 있습니다.

특히 PBU는 화장실의 모든 마감이 완료된 후 배송되어 단순 설치만 하는 방식으로 상대적으로 시간이 오래 걸리는 화장실 공정을 획기적으로 단축시킬 수 있는 공법입니다.

하지만, 초기 설계 관리가 실패하거나 결정 지연이 발생할 경우, 오히려 잦은 수정 또는 변경으로 인해 큰 Risk로 부각될 수도 있습니다.

Buildability Score 산정 기준은 구조체 50%, 벽체 40%, 기타 기준 10%로 되어 있으며, 구조 PC의 경우 사이즈가 커서 운송이 불가능한 Big Panel을 포함한 80% 이상의 구조체가 PC로 이뤄져 있으므로 B-score 관리에 필수적입니다.

평균적으로, PC 공법은 설계관리부터 배송까지 최대 6개월 정도 걸립니다. 이 중 설계는 약 3개월 내 결정하여 세부 디테일 결정을 해야하며, 생산 및 배송은 2개월, 그리고 현장 반입 후 설치하는 1개월 소요됩니다.

당 현장은 잦은 설계사의 변경 및 16,000개가 넘는 PC부재 관리를 위해 약 12,000㎡ 면적의 저장 장소를 현장 인근에 마련해 적시에 현장에 배송될 수 있도록 관리하고 있습니다.





## Q.

싱가포르 병원 프로젝트에 처음으로 적용하는 PMU 공법에 대해 설명해 주십시오. 이와 관련한 현장에서의 주요 관리 포인트는 무엇이었습니까? (공법 적용의 이유, 장단점, Buildability Score 충족, 적기 제작 및 배송/설치 등에 관하여 설명해 주십시오)

▶ 한정성 부장(PMU) : PMU 공법은 Prefabricated Modular Unit 의 약어로, 확정된 CCSD(Combined Coordinated Service Drawing)를 바탕으로 작성된 PMU Shop Drawings을 가지고 Offsite 공장에서 PMU Frames을 포함한 M&E Services(설비 배관, 덕트, 전기 트레이) 등을 한번에 제작해 현장에 설치하는 공법입니다.

주요 관리 포인트는 첫째, 도면 확정 후 공장에서 조립된 PMU Module에 한해 추후 설계 변경에 따른 Module 수정이 불가하므로 발주처 및 협력업체와의 사전 도면 협의 과정에서 긴밀한 커뮤니케이션 및 하자 발생과 관련한 사전 모니터링에 철저해야 합니다(제작시 하자보수 Access 공간 확보 포함).

둘째, 공장에서의 PMU 제작 관리, 공장 제작된 PMU의 안전한 현장

조달, 현장에서의 Lift 장비를 이용한 최종 PMU 설치까지 PMU 관리에 대한 삼박자가 바로 이루어지도록 꾸준한 담당자의 관리가 필요합니다.

셋째, PMU Mock-up을 제작하여 타 공정 특히 건축 Wall 마감과 Coordination 및 Cable Pulling 방법, 하자보수 공간 확보 등을 사전에 검토해야 합니다.

공법 적용 이유는 싱가포르 건설청인 BCA(Building Construction Authority)의 건설 정책의 일환이며, 외국 근로자의 현장 상주 인원을 줄이기 위해 입찰 시방서에 다음 두 가지 이유가 명기돼 있습니다.

- 1) 사전 Module 제작에 따른 Manpower 절약
- 2) 공장 PMU 제작과 현장 설치의 공정 분리에 따른 공사 기간 단축

PMU 공법의 장점은 복잡한 복도 M&E 공사 공정을 공장에서 제작해 설치함으로써 공사 기간 단축 및 Manpower를 절약할 수 있으며, 단점은 설치된 PMU 수정 불가하며, 6m Module 현장 반입시 Logistic Plan 작성에 주의해야 하는 점입니다.



# 싱가포르 포레스트 우즈 콘도미니엄

## Forest Woods Condominium



싱가포르 북동쪽 주거지역인 세랑군(Serangoon) 초역세권. 이곳에는 쌍용건설이 단독으로 수행 중인 포레스트 우즈 콘도미니엄 현장이 있다. 쌍용건설은 1984년에 싱가포르 민간주택 실적으로는 첫 선을 보인 호라이즌 타워즈 준공 이후 아홉 번째로 이름을 올리게 됐다.



### 싱가포르 포레스트 우즈 콘도미니엄 (Forest Woods Condominium)

- 발 주 처 : Serangoon Green Pte Ltd (CDL & TID JV SPC)  
\* CDL (City Developments Limited)
- 공사기간 : 2017. 02 ~ 2020. 01
- 공사내용 : 지하 2층~지상 12층, 7개동 519 가구, 수영장, 클럽하우스 등 부대공사
- 현장직원 : 현장소장 김응주 부장 외 글로벌 스태프 포함 37명 근무
- 현장위치 : Serangoon Planning Area, Singapore

※특이사항 : 발주처의 높은 만족을 이끌어 낸 Design & Build 계약방식의 시공 현장



# 기술을 말하다!

## 직원 인터뷰 Q&A

### Q.

Forest Woods Condominium은 초역세권(Serangoon MRT)에 인접한 최고급 주거시설로서 고품질 확보를 위하여 싱가포르 정부에서 운영하고 있는 CONQUAS와 QM 인증을 추진하고 있다고 들었습니다. 이와 관련하여 품질 확보를 위한 현장만의 노하우는 무엇이 있을까요?

▶ 이정훈 사원(품질관리) : 품질관리를 위해서는 여러 방법이 있겠지만 가장 핵심적인 품질관리의 포인트는 적절한 시퀀스에 맞춰 공사를 진행시키는 게 가장 중요합니다. 품질이 나빠졌다면 그 이유가 무엇인지 항상 생각하며, 적절하지 않은 시퀀스, 예를 들어 시퀀스가 뒤바뀐다든지 페인트 작업 후 다시 해킹하고 미장하는 등의 소모적인 과정이 있는지 등 품질이 저하될 수 있는 부분을 항상 체크해야 합니다.

우리 현장은 사전에 이 같은 과정을 방지하기 위해 마감 공정 관련 시퀀스를 최대한 디테일한 방식으로 구체화하고 있으며 모니터링 테이블을 별도 제작해 데일리로 관리하는 등 많은 노력을 기울이고 있습니다.

### Q.

당 현장은 Design-Build 계약방식에 의해 수행되고 있습니다. 현장 운영 및 관리 측면에서 Design-Bid-Build 방식과 가장 큰 차이점은 무엇이 있을까요? (Design-Bid-Build PJT에 비해 더욱 강조되는 역할과 조직, 관리의 어려움과 Main Con으로서의 기회 등에 관하여)

▶ 김기수 부장(Design-Build) : 싱가포르에 비해 한국은 공사과정에서 자재 선정만큼은 좀 더 유연한 것 같습니다. 예를 들면 자재 선정을 시공사에 맡기는 경우가 해당되었지요. 그에 비해 싱가포르는 이와 관련한 법이나 규제가 상당히 타이트한 편입니다. Developer 또한 그 룰에 맞춰 건물을 지어야 하고, 계약상 상당히 많은 Condition도 포함돼 있습니다. 현장에서는 Local을 통해 이 같은 사항을 면밀히 검토하고 Follow-up 하지 않으면 공사 중간에 문제가 발생할 수 있는 소지가 있기 때문에 현지에서는 다양한 공사 경험이 상당히 중요한 요소로 작용하고 있습니다.



## 넥센타이어 R&D센터



서울지하철 9호선 마곡나루역 사거리. 방화대교 방면으로 1분 남짓 걸어가다 보면 마치 타이어 표면의 본을 떠놓은 듯한 8층 높이의 독창적인 비정형 건물이 시선을 사로 잡는다.

### 넥센타이어 R&D센터

- 발 주 처 : 넥센타이어㈜
- 설계감리 : 해안건축 종합건축사무소
- 공사기간 : 2017. 10 ~ 2019. 03
- 공사내용 : 지하2층 ~ 지상8층 1개동(1만7,294평)

2019년 4월 30일 공식 개관을 마친 넥센타이어 R&D센터는 약

5만7,171㎡ 면적에 지하2층 ~ 지상8층 규모로 건립됐으며, 각 시설을 하나로 이어주는 나선형의 산책로와 아트리움, 옥상녹화 외에 친환경 에너지 활용시설(녹색건축 우수등급, 건축물 에너지효율 1등급)이 탑재됐고, 이노베이션 라운지, 북카페 등 직원 복지공간도 마련됐다.

이 프로젝트는 넥센타이어가 2013년부터 추진한 글로벌 R&D 컨트롤 타워 구축의 일환으로 진행됐으며, 넥센타이어가 미국, 독일 기술연구소, 체코 공장과 함께 회사의 미래 성장을 이끌 4대 거점으로 키운다는 구상이다.

발주처가 단계별로 시공을 분리 발주한 데 따라 쌍용건설은 17년 10월 1단계 공사(터파기)가 완료된 현장을 넘겨 받은 뒤 ▶ 17년 10월 골조공사 ▶ 18년 2월 철골공사 ▶ 18년 12월 인테리어 공사 ▶ 19년 3월 사용승인을 완료했다.





## 기술을 말하다!

### 직원 인터뷰 Q&A

Q.

당 현장은 PC, RC, SRC가 적용돼있는 복합구조 현장입니다. 이와 관련해 현장에서의 주요 관리포인트는 무엇이었습니까?

▶ 현웅진 대리(골조 담당) : 당 현장은 지하층의 경우 PC, RC가 혼합돼 있으며, 지상층은 PC, RC, SRC가 혼합돼 있는 복합구조입니다.

짧은 공사기간을 대비해 초기 대안입찰로 PC를 적용했으며, 자재 적기 생산, RC / SRC 공정에 맞춘 Embedded Plate 검토 및 설치, 양중장비 사전검토 등 철저한 도면 및 일정 검토가 관리 포인트였습니다.

RC / SRC의 경우, 발주 전 철저한 사전검토를 통해 협력업체 조기 선정이 가능했었고, Shop, DWG, 출력관리, 일정 등에 대한 검토 및 빠른 의사결정이 주요한 포인트였습니다.

Q.

당 현장은 짧은 공기(18개월)에도 불구하고 약 1,600건에 달하는 설계변경을 통해 준공했습니다. 시간적 여유가 없었텐데, 레이아웃, 외장 전체변경 등에 대한 대체는 어떻게 했습니까?



연구동 3층 이노베이션 휴게공간

▶ 박재민 대리(설계변경 담당) : 최초 입찰 당시 입찰 도면만으로 수주를 한 프로젝트이기에, 설계변경은 필수적이었습니다.

전체공정 선검토 및 빠른 발주를 통해 협력업체와 유기적으로 설계변경에 대응하였으며, 발주처의 빠른 결정이 이루어질 수 있도록 실정보고 자료를 즉각 제안 및 제출함으로써 설계변경에 대응할 수 있었습니다. 전체 외장변경의 경우, 설계와 국내 시공업체선정을 위한 사전검토를 동시 진행하였으며, 일본에서 기본설계 후 협력업체 선정을 통한 실시설계 및 시공을 할 수 있었습니다.

이러한 선제적 대응과 함께 전직원의 협업이 있었기에 가능한 일이었습니다.



Q.

당 현장은 바닥공조 시스템이 적용됐는데, 바닥공조 적용의 장단점은 무엇입니까?

▶ 김현수 사원(설비 담당) : 등압식 바닥공조 시스템의 도입을 통해 아래 2가지의 효과를 볼 수 있었습니다.

첫째, 바닥 액세스 플로어 하부 전체를 덕트의 개념으로 사용함으



로써 여름에는 냉방 기류를, 겨울에는 난방 기류를 보내어 상대적으로 바닥 FTU를 창가에는 많이, 내부에는 적게 배치해 더위와 추위에 관한 고객의 우려를 해소시킬 수 있었고, 동시에 외부와 내부의 온도 차 발생을 약 2도 안팎으로 줄일 수 있었습니다.

둘째, 악세스 플로어의 바닥 마감재와 FTU의 이동이 상대적으로 자유롭기 때문에 사무동 및 연구동에서 근무하는 직원들의 책상 배치 및 내부 용도 변경이 손쉽게 가능하도록 했습니다.

시공을 하면서 어려웠던 점은, 악세스 플로어 하부의 공조 Ceiling형 공조 환수 방식의 공조 시스템에 따라 벽체 부분 및 바닥 마감의

틈새가 생기지 않도록 하기 위해 보다 정밀한 시공 및 검측이 필요했습니다.

또한, 사무동 8층은 특별히 소음 절감에 대한 발주처의 강력한 요청이 있어 이에 대한 공사를 진행했고, VIP실은 높은 천정과 많은 시스템 적용을 요청했기 때문에 덕트가 없는 Ceiling형 공조 환수 방식이 아닌 덕트를 이용하는 공조 리턴 방식을 적용하는 공사를 진행하는 등 발주처의 다수 까다로운 요청에 맞게 공사를 진행해야 하는 어려움이 있었습니다.



로비 1층 북카페



로비 2층 휴게공간



연구동 3층 이노베이션홀



연구동 3층 이노베이션홀



연구동 3층 이노베이션홀



연구동 3층 이노베이션홀



연구동 3층 이노베이션홀



연구동 3층 이노베이션 휴게공간



연구동 3층 이노베이션 휴게공간

## 차병원 일산 글로벌 라이프센터



반듯하게 뻗은 일산대로 너머로 우뚝 솟은 건물이 바로 올 초 개원한 '차병원 일산 글로벌 라이프센터'다.

차병원 일산 글로벌 라이프센터는 지하8층 ~ 지상13층 규모의 첨단 의료시설과 상업시설로 구성된 라이프 스타일 융합병원으로 지하 35m까지 지하층을 건설해야 하는 고난도 공사로 알려져 있다.

쌍용건설은 2016년 8월 차병원 그룹에서 발주한 이 사업을 단독 수주했다. 국내 대형 건설사들을 제치고 수주할 수 있었던 배경에는 첨단병원 시공 실적과 특화된 기술력도 주효했지만 1995년 분당 차병원을 성공적으로 준공했던 경험 등이 있었기에 가능했다.

현장이 위치한 일산은 1989년 분당, 부천, 평촌, 산본 등 4개 도시와 함께 1기 신도시로 지정되면서 성장을 거듭했고 30년 만에 자족도시로서 전환을 꾀하고 있다. 100만평 규모 용지에 약 5조원의 자금을 투입해 일산테크노밸리, 방송영상밸리 등 대규모 시설과

광역교통망을 확대해 인구유입을 늘리고 도시안정화에 기여하고 있는 일산에 본 공사가 완료되면 특화된 의료서비스를 기반으로 수도권 서북부의 중심에 성장동력을 더할 것으로 기대된다.

### 차병원 일산 글로벌 라이프센터

- 발 주 처 : (의)성광의료재단, ㈜케이에이치그린
- 설 계 사 : K.M.D, ㈜해안종합건축사무소
- 감 리 사 : ㈜해안종합건축사무소
- 공사기간 : 2016. 10 ~ 2019. 10
- 공사내용 : 판매시설(1~3F), 의료시설(4 ~ 7F), 병동(7 ~ 10F), 산후조리원(11 ~ 13F), 지하주차장(B3 ~ B8F)



## Q.

**당 현장은 FULL TOP DOWN 공법이 적용된 현장입니다. 공법의 특징 및 현장에서의 주요 관리 포인트는 무엇이었습니까?**

▶ 김현수 대리(FULL TOP DOWN 공법 담당) : 당 현장은 TOP DOWN 공법 중 비용이 많이 드는 FULL TOP DOWN 공법이 적용된 현장입니다. 보통 TOP DOWN 공법 설계시 비용 및 공기 최적화를 위해 DOWN-UP, UP-UP 등 지하 기초공사 완료 후 지상층 구조물 공사를 후속으로 진행하도록 설계되지만, 당 현장은 판매시설의 조기 준공을 위해 지하 기초가 완료되지 않더라도 지상층 구조물 전체를 시공할 수 있는 FULL TOP DOWN 공법을 적용했습니다. 그만큼 지하 기둥 PRD 철골부재가 H-498×432×45×70 등 상당히 큰 부재들로 시공됐습니다.

TOP DOWN 공법의 주요관리 포인트는 매우 많습니다. 특히 TOP DOWN 공사의 시작이라 할 수 있는 PRD 공사에서는 지하 구조물에 심각한 문제가 발생할 수 있기 때문에 지하 천공 시 수직도 관리를 1/500로 해야 합니다.

그리고 공정 하나라도 지연될 경우에는 전체 공기가 지연되므로 지하층 공사 시에는 철골공사 → 데크플레이트 → 철근공사 → CONC 타설 → 양생 → 굴착공사 순서가 유기적으로 돌아갈 수 있는 ZONING을 만들어 공정관리에 만전을 기해야 합니다.

## Q.

**당 현장은 대안설계입찰로 수주했으며 또한 병원공사 특성상 설계변경이 상상을 초월한 정도로 많은 변경이 있었던 걸로 압니다. 각 사안별 설계변경을 어떻게 대처하였는지요?**

▶ 조성주 과장(설계변경 담당) : 최초 입찰 당시 입찰 도면 기준으로 대안설계 입찰을 통해 15.9억의 공사비를 절감시켜야 하는 원칙이 있었습니다.

공사 착공 전 MOB시 설계변경 Item을 발책하여 건축기술팀 및 협력업체와 사전 협의를 통해 공사 착공 후 발주처 및 감리단을 조기에 설득했으며, 흙막이 벽체 및 철골구조변경, AL커튼월 단중 변경 등 빠른 결정으로 공사진행에 문제가 없도록 진행했습니다. 그 결과, 마감재 변경 중 일부를 진행하지 못했음에도 불구하고 목표한 금액을 절감하는데 성공했습니다.

입찰도면은 병원시설이 없는 미완성 도면이었고, 공사 착공 후 병원시설이 반영된 전체 도면을 접수했으나, 이후 9차에 걸쳐 도면이 변경됐습니다. 2017년부터 2018년 5월까지 거의 2달에 한번씩 새로운 도면을 접수한 꼴이죠. 매번 도면 변경사항을 알 수 없는 관계로 매주 설계사를 포함한 설계회의를 통해 변경된 내용의

실정보고 및 하도급 입찰시 선반영하여 대응해 나갔습니다.

인테리어공사 및 최종마감공사 진행시에는 다소 많은 설계변경이 진행되었습니다. 병원시설 Slab에 배관공사를 위해 2,500여개의 코어링을 실시했고, Sample Room 또한 3차에 걸쳐 재시공 했습니다. 매주 인테리어 설계회의를 통해 결정된 사항도 다음날 해체하고 재시공하는 등 거의 매일 전쟁 같은 설계변경과의 싸움이었습니다. 건축, 전기, 설비, 설계직원들의 유기적인 협조관계가 없었다면 공사를 완료하지 못했을 것입니다. 현장에서 밤낮 가리지 않고 뛰어준 직원들 덕분에 가능했습니다.



핵의학과



회의실



휴게공간



## Q.

당 현장은 공조실 공간을 최소화하기 위해 1층 중층 철골조 필로티에 공기조화기를 설치하였습니다. 공기조화기에서 발생하는 소음을 어떻게 대처하였는지요?

▶ 김중서 대리(장비소음 담당) : 일반적으로 장비는 콘크리트 PAD 상부에 설치하고 JACK-UP이나 방진매트를 바닥에 설치하여 장비소음이 구조체로 전달되는 것을 방지합니다. 하지만, 당 현장은 철골조 상부에 장비가 설치되어 철골조에 의한 구조체의 소음전달이 문제시 되었고, 이에 대한 대책이 필요했습니다.

공기조화기에서 발생하는 소음은 장비 가동 시 발생하는 장비소음 진동과 공기이송에 의한 덕트 내 소음으로 볼 수 있습니다.

장비 소음은 송풍기 가동 시 90dB정도가 발생하고 공기조화기의 Casing을 통과하면서 61dB로 감소하지만, 의료시설에서 요구하는 실내권장 소음치는 40dB이므로 이에 대한 대책이 필요했습니다.

공기조화기 설치 전에 NX Nastran을 이용한 Simulation을 통하여 송풍기 하부 Base에 스프링마운트 방진장치와 공기조화기 하부에 코니칼 마운트 방진장치를 설치했고, 송풍기의 공기 이송시 발생하는 소음을 감소시키기 위하여 소음 Chamber와 소음기를 소음기준치 이하로 선정해 설치함으로써 기준치 이하로 소음을 줄일 수 있었습니다.



휴게공간



휴게공간



# 기술논문



## ■ 토목

|      |                                                                                                                       |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 논문명  | 현장 도로사면의 불포화 수분특성에 관한 사례 연구<br>Field Monitored Unsaturated Hydraulic Behavior on a Roadside Soil Slope : a Case Study |
| 저자명  | 부산북항제기개발사업배후도로건설공사현장 김정수 대리 외 3인                                                                                      |
| 수록사항 | 한국도학회 논문집, Vol.21 No.1 (2019-02)                                                                                      |
| 키워드  | 불포화 함수특성, 현장 모니터링, 현장 도로사면                                                                                            |

|      |                                                                                              |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 논문명  | 양생 조건의 변화에 따른 콘크리트의 크리프 거동 특성 연구<br>A Study on Creep of Concrete Cured in Various Conditions |
| 저자명  | 토목기술팀 김재연 대리, 선우윤호 대리 외 1인                                                                   |
| 수록사항 | 한국전산구조공학회 학술심포지엄 논문집 (2019-11)                                                               |
| 키워드  | 크리프, 콘크리트, 장기거동                                                                              |

## ■ 건축

|      |                                                                                                                                     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 논문명  | 공동주택 에너지 성능 평가제도와 사용량 비교 분석 연구<br>A Study on Relationship Analysis between Energy Assessments and Consumption for Apartment Complex |
| 저자명  | 건축기술팀 박철용 차장, 전현도 과장                                                                                                                |
| 수록사항 | 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.39 No.1 (2019-04)                                                                                            |
| 키워드  | 친환경 주택 건설기준 시행기준, 성능기준, 에너지효율등급, 에너지 사용량                                                                                            |

|      |                                                                                                                                       |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 논문명  | 건축물의 창틀과 벽체 사이 열교방지공법의 LCC 분석<br>A Study on Life Cycle Cost Analysis of Thermal Bridge Barrier Between Window Frame and Concrete Wall |
| 저자명  | 건축기술팀 박철용 차장 외 4인                                                                                                                     |
| 수록사항 | 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집, v.19 n.1(통권 제36호) (2019-05)                                                                                   |
| 키워드  | 열교, 창틀 주위 열교 차단기술, 전생애비용                                                                                                              |

|      |                                                                                                                                                                  |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 논문명  | 에어로젤 기반 복합 기능성 페인트의 발코니 벽체 결로방지성능 실험 연구<br>A Experimental Study on Condensation Resistance Performance of Balcony Wall Using Multi-functional Paint with Aerogel |
| 저자명  | 건축기술팀 박철용 차장, 전현도 과장                                                                                                                                             |
| 수록사항 | 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.39 No.1 (2019-04)                                                                                                                         |
| 키워드  | 에어로젤 페인트, 결로                                                                                                                                                     |

|      |                                                                                                                                                         |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 논문명  | 트러스 단열 프레임을 이용한 건식 외단열 시스템의 외피 종합 성능 평가<br>Evaluation of Building Envelope Performance of a Dry Exterior Insulation System Using Truss Insulation Frame |
| 저자명  | 건축기술팀 전현도 과장, 박철용 차장 외 4인                                                                                                                               |
| 수록사항 | 대한건축학회논문집 구조계, Vol.35 No.06 (2019-06)                                                                                                                   |
| 키워드  | 열교, 트러스 단열 프레임, 건식 외단열 시스템, 외피 성능, 에너지 성능                                                                                                               |

# TECHNOLOGY NEWS

## 싱가포르 SHARP Awards 동시 수상



싱가포르 노동부(MOM, Ministry of Manpower)가 주관하는 안전보건 시상식에서 쌍용건설의 도심지하철 T308 현장과 Forest Woods 콘도미니엄 현장이 동시에 SHARP Awards를 수상했다.

SHARP(Safety & Health Award Recognition for Projects) Awards는 싱가포르 노동부 산하 안전보건위원회가 매년 싱가포르 내 모든 건설현장을 대상으로 노동부가 요구하는 수준 이상의 안전보건시스템을 갖춘 시공사에게 수여하는 상으로, 수상시 싱가포르 공공사 입찰에 가산점이 부여되는 특전도 주어진다.

쌍용건설은 이번 수상으로 2010년 이후 총 22회에 걸쳐 이 상을 수상하는 대기록을 달성했다. 또한 전세계 건설업체의 각축장이 된 싱가포르에서 토목현장과 건축현장이 동시에 상을 수상해 세계적인 수준의 안전관리 능력을 인정받게 됐다.

## 한국수자원공사 감사패 수상

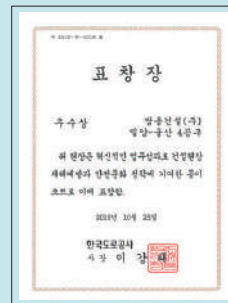


2019년 11월 20일 쌍용건설 수도권 광역상수도 2공구 건설공사 현장이 한국수자원공사로부터 감사패를 수상했다. 이번 수상은 9월 13일 추석 당일 경기도 안양시 인덕원역 인근에서 발생한 공업용수관 누수

사고를 신속하게 복구한 공로를 인정받아 수상하게 됐다. 복구 방법에 대한 효과적인 기술을 지원하여 사고 이틀 만에 임시포장 복구까지 완료함으로써 쌍용건설의 기술력과 시공능력을 다시 한 번 발주처에 각인시키는 성과를 거두었다.

현재 우리회사는 국내 대형상수도관의 갱생분야 최고실적(수도권 1단계 금강광역상수도, 수도권 2단계 1,2공구)을 보유하고 있다.

## 한국도로공사 건설안전 혁신대상 경연대회 우수상 수상



2019년 10월 25일 한국도로공사 인력 개발원에서 개최된 '2019 건설안전 혁신대상 경연대회'에서 쌍용건설 밀양-울산 4공구 현장이 혁신기술 및 홍보·캠페인 부문 우수상을 각각 수상했다. 이 행사는 혁신사례 및 관리기법 등 공유·전파로 고속도로 건설현장 안전 문화 확산, 관리수준향상, 안전한 근로 환경조성을 위해서 한국도로공사가 주최하는 행사이다. 이번 수상으로 쌍용건설 안전관리의 우수함을 인정 받았으며, 이와 더불어 시공 평가가점 등의 우대사항을 적용받게 됐다.

## 서울특별시 안전관리 최우수 현장 수상

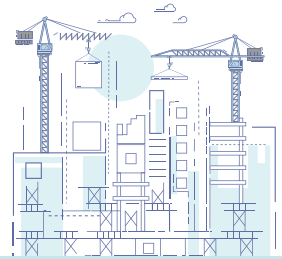


2018년 3월 29일 서울 프레스센터에서 개최된 '2018 해외건설대상' 시상식에서 쌍용건설이 특별상을 수상했다. 머니투데이가 주최하고 국토교통부, 해외건설협회, 대한 건설협회가 후원한 이 행사는 대한민국 건설산업 을 세계화하고 '건설 강국 코리아'의 기상을 심어준 기업을 발굴하는 시상식이다.

## '2019 대한민국 건설상' 토목 부문 대상 수상

2019년 12월 13일 서울 롯데호텔에서 개최된 '2019 대한민국 건설상' 시상식에서 쌍용건설이 시공종인 싱가포르 남북 고속도로 사업(102, 111공구)이 토목부문 대상을 수상했다. 이 행사는 건설 현장에서 혁신적인 신기술과 경영 활동을 통해 건설업 발전에 기여한 기업과





기업인을 격려하고 한국 건설산업의 제2의 도약을 이끌기 위해 만든 시상식이다.

싱가포르 남북 고속도로 사업은 싱가포르 남부 마리나베이에서 최북단 우드랜드 지역을 연결하는 도로(약 21.5km) 프로젝트로 102공구는 쌍용건설이 85% 지분을 가진 합작법인으로 111공구는 단독으로 수주해 시공하고 있으며, 총 수주액은 약 8,000억원이다.

### ‘대한민국 그린건설대상’ 건축부문 대상 수상



2019년 12월 4일 서울 중구 한국프레스센터에서 개최된 서울신문이 주최 ‘제10회 대한민국 그린건설대상’ 시상식에서 쌍용건설이 건축부문 대상에 선정됐다. 수상작은 서울 강서구 마곡산업단지에 준공한 넥센타이어의 연구개발(R&D) 센터인 넥센중앙연구소 ‘더 넥센 유니버시티’다. 이 행사는 국가 발전의 신성장동력인 녹색건설산업 분야에서 두각을 나타낸 건설사를 수상자로 선정하고 있다.

### ‘아시아투데이 그린건설대상’ 리모델링부문 최우수상 수상



2019년 10월 30일 서울 영등포구 CCMM빌딩에서 개최된 ‘2019 아시아투데이 그린건설대상’ 시상식에서 쌍용건설이 리모델링부문 최우수상을 수상했다. 이 행사는 친환경 건설기술을 장려하며 건설산업 경쟁력을 높이고 녹색기술을 통한 삶의 향상에 크게 기여한 기업을 발굴하는 시상식이다.

### 두바이 1(one) 레지던스 등 3건 수주

쌍용건설이 두바이에서 약 2,000억원 규모의 1(one) 레지던스, 약 720억원 규모의 Deira Waterfront Dev't Phase 1-Plot 12, 그리고 약 170억원 규모의 두바이엑스포 한국관 공사를 단독으로 수주했다.

두바이 1 레지던스는 지하3층 ~ 지상44층의 트윈 타워로 두바이 최고 중심 주거지인 Kifaf 지역에 들어설 최고급 레지던스이다. 숫자 '1'이 서로 마주보고 있는 듯한 외관이 특징이며, 두바이 최대 부동산 개발 및 관리 회사의 하나인 Was(와슬)에서 발주한 프로젝트이다. 쌍용건설은 지난해 Hyatt 계열의 Luxury Boutique 브랜드인 Andaz(안다즈) 호텔을 수주한 바 있다.

Deira Waterfront Dev't Phase 1-Plot 12 공사는 두바이 Deira Creek 지역개발 프로젝트 중 12번째로 발주된 공사로 지하2층 ~ 지상5층 규모의 건물 5개 동을 짓는 공사이며, 공사기간은 24개월이다.

두바이엑스포 한국관 공사는 2020 두바이 엑스포 행사기간 동안 한국 관련 전시 및 공연을 위한 지하1층 ~ 지상3층 규모의 전시관을 신축하는 공사이며, 공사기간은 9.6개월이다.

### 적도기니 BATA 국제공항 공사 수주

쌍용건설이 적도기니 정부에서 발주한 BATA 국제공항 공사를 약 2,000억원에 단독으로 수주했다.

쌍용건설은 2011년 적도기니 진출 이래 몽고메인 국제공항, 호텔, 식당 등 다수의 프로젝트를 성공적으로 수행하며, 적도기니 정부로부터 고품질 건설을 통해 국격을 한 단계 높였다는 평가를 받고 있다. 특히 공항터미널 분야에서 적도기니의 몽고메인, 바타 실적은 전 세계 공항발주 추세를 감안할 때 높은 평가를 받고 있다.

디자인 & 빌드 방식의 적도기니 BATA 국제공항은 지하1층 ~ 지상

# TECHNOLOGY NEWS

3층 규모의 공항청사 터미널과 부속동 등을 신축하는 프로젝트로 공사기간은 36개월이다.

## 부산북항 재개발사업 배후도로(지하차도) 건설공사 대안설계 수주

쌍용건설이 주간사로 참여한 컨소시엄이 해양수산부 부산항건설 사무소가 기술형입찰(대안설계 턴키) 방식으로 발주한 부산북항 재개발사업 배후도로 공사를 약 2,256억원(우리지분 45%, 1,021억원)에 수주했다.

이 공사는 부산광역시 중구 중앙동에서 동구 초량동 일원에 이르는 지하차도 신설(1.87km, 4차로) 및 상부도로 개선(1.98km, 6~8차로) 등을 건설하는 공사로, 당사는 지하차도의 직선화 적용 등 경쟁사와의 설계 차별화를 통해 수주에 성공할 수 있었다.

## 인천검단 택지개발사업 조성공사(2-2공구) 수주

쌍용건설이 한국토지주택공사(LH)에서 발주한 인천검단 택지개발사업 조성공사(2-2공구)를 약 468억원(우리지분 90%, 421억원)에 수주했다.

본 사업은 2006년 건설교통부가 발표한 '2020 인천도시기본계획'에 따라 수도권 서북부지역의 자족형 신도시 건설 및 발전을 도모한다는 목적으로 추진됐다. 2020년부터 2023년까지 총 3단계로 나눠 진행되며, 2단계에 해당하는 본 사업(2-2공구)의 경우 아파트 건설을 위한 기초가 되는 곳으로 총 22,612가구가 공급될 예정이다.

## 안성-평택지역 전기공급시설 전력구공사 수주

쌍용건설이 한국전력공사가 발주한 안성-평택지역 전기공급시설 전력구공사(고덕-서안성, 원암리)를 약 434억원에 단독으로 수주했다.

이 공사는 안성시 원곡면에서 용인시 처인구에 이르는 터널 전력구(3,782m), 개착식 전력구(111m) 및 수직구(4개소)를 건설하는 공사로, 공사기간은 35개월이다.

## 광주 대쌍령1지구 B2블록 공동주택 신축공사 수주

쌍용건설이 광주 대쌍령리 지역주택조합 사업을 약 1,364억원에 단독 수주했다. 경기도 광주시 초월읍 대쌍령리 산 7-2번지 일대 15개 동(지하3층 ~ 지상19층) 총 873가구 규모로, 2019년 7월 착공해 2022년 2월 완공할 계획이다.

## 신답 극동 리모델링 수주

쌍용건설이 신답극동 리모델링 시공사 선정 총회에서 시공사로 선정되었으며, 총 도금액은 약 598억원이다.

이 공사는 서울시 동대문구 서울시립대로 5, 신답역 인근에 위치한 15층 2개동 225가구를 수평증축 리모델링을 통해 지하 3층~지상 15층 2개 동 254가구로 탈바꿈할 예정이다.

쌍용건설은 국내 단지전체 리모델링 1~4호 준공을 포함한 누적 수주실적이 1만 가구를 돌파하는 등 업계 1위의 자리를 굳건히 지키고 있다. 업계 최초 엘리베이터 지하 연장과 지하 2층 주차장 신설, 2개층 수직증축 성공 및 댐퍼를 통한 내진보강 등 차별화된 기술력을 바탕으로 입지가 우수한 리모델링 프로젝트 수주에 주력할 계획이다.

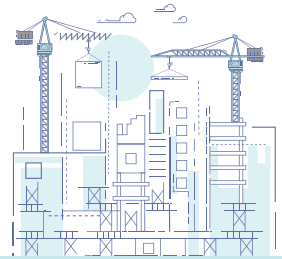
## 구로구 오류동 미래빌라 소규모재건축정비사업 수주

쌍용건설이 오류동 미래빌라 소규모재건축정비사업 시공사 선정 총회에서 시공사로 선정되었으며, 총 도금액은 약 478억원이다.

이 공사는 서울시 구로구 오류동 68-12일대에 아파트 및 오피스텔 3개동(지하3층 ~ 지상35층) 총 272가구를 건설하는 공사로, 공사기간은 36개월이다.

## 싱가포르 우드랜드 종합병원(WHC) 현장 뉴스레터 발간

쌍용건설 싱가포르 우드랜드 종합병원(WHC) 현장에서 프로젝트의 주요 소식과 공법 등을 담은 'Woodlands Health Campus Story' 뉴스레터를 발간하고 있다. 뉴스레터는 현장 직원, 발주처, 협력업체를 포함해 싱가포르 지역민을 대상으로 현장의 기술력과 일상적인 소재를 공유하고, 싱가포르의 미래 첨단 병원으로서 성공적으로 준공되길 바라는 마음을 담아 제작하고 있다. 다양한 의견과 아이디어를 발굴해 소통 창구로 적극 활용할 계획이다.



## 건축·토목 기술세미나 개최



## 2019 스마트 건설기술·안전 EXPO 참가



쌍용건설은 스마트 건설기술 활성화와 첨단기술 산업 트렌드 공유 등을 목적으로 열린 '2019 스마트 건설기술·안전 EXPO'에 참가했다.

전시관 내 홍보 부스를 설치하여 각 현장에 기 적용했던 스마트 설계·시공 기술인 BIM, VR, AR, 드론, QR코드 기반 공사관리 플랫폼 등과 스마트 안전 기술인 지능형 안전모, 에어백 일체형 안전벨트, 액션캠, QR코드 기반 장비관리 등을 전시했으며, 국내외 토목건축 시공실적 및 새롭게 론칭한 더 플래티넘 브랜드도 함께 홍보했다. 특히, 방문객들이 직접 참여할 수 있는 VR 안전교육 프로그램 체험 공간을 설치해 방문객들로부터 큰 호응을 얻었다.

이번 전시를 통해 쌍용건설은 타사 대비 한발 앞선 스마트 건설기술 및 안전관리 시스템 적용 등을 선보여 4차산업시대를 맞이하는 쌍용건설 기술력을 대외에 홍보했다.

쌍용건설 건축기술팀 및 토목기술팀 주관으로 기술의 공유와 숙지를 통한 분야별(영업/건설/공사/안전 등) 전문성 제고, 입찰경쟁력 향상 및 수주경쟁력 강화를 목적으로 기술세미나를 매월 본사 10층 대회의실에서 개최하고 있다.

2019년 3월부터 2019년 12월까지 개최된 기술세미나에서 건축 분야의 경우 '서울시 녹색건축물 설계기준 개정에 따른 영향 및 당사 대응방안', '공동주택 분양성 향상을 위한 특화설계', '기술안전을 통한 구조 지원 방안', '조경공사 시공 관리', 'BIM기반 초기 공사계획시스템', '제로에너지빌딩'을 주제로 발표가 있었으며, 토목 분야의 경우 '자립식 흙막이 공법 소개', 'Cable Strayed Bridge', '우리나라 지진특성과 내진기준 변화에 따른 시설물의 내진대책'을 주제로 사내외 전문가의 발표가 진행됐다.

본 기술세미나는 건설 산업 전반의 최신 기술정보와 국내외 입찰견적 시 필요한 설계 및 시공 기술을 전파하는 등 유관팀 임직원들의 업무역량과 기술경쟁력을 강화시킴으로써 각 분야의 수주경쟁력 제고에 기여하고 있다.

## '2019 외단열 건축기술세미나' 주제 발표

한국외단열건축협회가 주최하는 '2019 외단열 건축기술세미나'가 건축물의 에너지절약과 안전을 위한 외단열 설계 및 시공기술을 주제로 2019년 11월 13일 서울 송파구 래미안갤러리에서 개최됐다. 쌍용건설 건축기술팀 전현도 과장이 참가하여 '외단열공법 기술동향 및 시장성 확대를 위한 제언'을 주제로 발표했다.



# Do You Know That?

해외 고급건축 실적

## No.1



세계적인 건설 전문지인 美 ENR誌에 98년 **호텔부문 세계 2위**에 기록된 이래 계속 상위권을 유지하는 등 세계적으로도 보기 드문 **약 1만 6천 객실의 최고급 호텔과 약 1만 2천 병상에 달하는 병원** 시공 실적을 보유한 '해외 고급건축 시공실적 1위 기업'입니다.

■ W 호텔 (싱가포르) | 완공일 : 2012.04

21세기 건축의 기적

## 52°



마리나 베이 샌즈 호텔은 피사의 사탑보다 약 10배 기울어진 **현존하는 최고 난이도의 건축물**로 52도 기울어진 호텔과 길이 340m, 중형 승용차 43,000대 무게의 스카이라프를 구성했으며, 57층 (스카이라프 포함) 3개동 총 2,561 객실 포함 **전 공정을 27개월 만에 완료**했습니다.

■ 마리나 베이 샌즈 호텔 (싱가포르) | 완공일 : 2010.03

도심지하철 32km 시공

## Subway



서울, 부산, 대구, 인천 등 **주요 도시에서 약 32km의 실적**을 보유한 '대한민국 지하철 시공실적 최상위권 기업'의 명성과 기술력을 바탕으로 현재 싱가포르, 서울, 부산, 인천지하철의 공사를 수행하고 있습니다.

■ 도심지하철 2단계 (싱가포르) | 완공일 : 2016.03

지하철 공사의 기적

## 15cm



서울지하철 9호선 923 고속터미널역은 **기존 지하철 3호선 15cm 아래에서 진행된 국내 지하철 공사 중 최고 난이도의 구간**으로, 세계 최초로 TRcM 공법과 CAM 공법을 동시에 적용해 성공적으로 공사를 완료함으로써 영국 토목학회 브루넬 메달을 수상하였습니다.

■ 서울지하철 9호선 923 고속터미널역 (서울 서초) | 완공일 : 2009.07



### 영국 토목학회 브루넬 메달

1818년 설립된 이래 150여 개국 8만여 명의 회원을 보유한 세계적 권위의 영국 토목학회(ICE)가 매년 토목공학 발전에 기여한 건설환경 분야의 개인이나 단체 중 한 곳을 선정해 수여하는 상

그린마크, 신재생 에너지

## Eco-friendly



환경에 대한 중요성이 점차 강조되는 추세에 맞춰 **미국의 리드 (LEED), 싱가포르 BCA 그린마크 등 세계적 권위의 친환경 인증** 추진을 비롯해 지열, 태양광, 태양열 등 신재생 에너지 활용 및 제로 에너지 건축물 등 친환경 건설 기술 개발에 앞장서고 있습니다.

■ **오션프론트 콘도미니엄 (싱가포르)** | 완공일 : 2010,03

리모델링 사업 선도

## Leader



쌍용건설은 싱가포르의 국보급 호텔인 래플즈 싱가포르, 남산 타워호텔을 서울의 새로운 명소로 재 탄생시킨 반얀트리 클럽 & 스파 서울, 청담동 루이비통 뉴 컨셉트 스토어 등 **국내외에서 풍부한 리모델링 실적과 기술력을 보유하고** 있습니다. 또, 대한민국 단지 전체 리모델링 사례 1, 2, 3호를 모두 성공적으로 완공하는 등 주택 리모델링 분야를 선도하고 있습니다.

■ **래플즈 싱가포르 (싱가포르)** | 완공일 : 1991,04

신기술 분야 차별화된 경쟁력 확보

## BIM



쌍용건설은 건설 전 과정의 정보를 디지털화에 관리하는 최첨단 3D 설계 기반인 BIM (Building Information Modeling) 분야에서 차별화된 경쟁력을 확보하고 있습니다. 쌍용건설은 싱가포르 건설청 (BCA) 주관 'BCA BIM Awards 2014' Project 부문에서 최고 등급인 Gold Plus, BCA BIM Awards 2015' Organization 부문에서 Gold를 수상했습니다.

■ **호남고속철도 (전북 정읍)** | 완공일 : 2014,12

세계 최대 담수화 플랜트

## Largest



2009년 쌍용건설이 완공한 **사우디 주베일 담수화 플랜트**는 연면적 157,336㎡ 부지에서 2,750MV의 발전시설과 27기의 증발기를 통해 250만 명이 하루 동안 사용하는 수돗물과 맞먹는 1일 약 80만 톤의 식수를 생산할 수 있는 **세계 최대 규모의 담수화 시설**입니다.

■ **주베일 담수화 플랜트 (사우디 아라비아)** | 완공일 : 2009,07

무재해 기록

## Champion



쌍용건설은 건설 법규가 까다롭기로 유명한 **싱가포르에서 세계 지하철 시공 역사상 최장 무재해 기록인 1,675만 인시**를 달성해 **싱가포르 안전대상에서 최고 명예의 Champion**을 수상했습니다. 또한, 싱가포르에서만 무재해 약 6,500만 인시 달성을 포함해 해외에서 총 약 1억 5,000만 인시 달성을 이어가는 등 차별화된 안전관리 능력을 인정받고 있습니다.

■ **마리나 해안 고속도로 (싱가포르)** | 완공일 : 2014,08

## 건설 기술인 여러분의 관심과 참여를 부탁드립니다.

국내·외 건설현장에서 땀 흘려 일하시는 건설 기술인 여러분의 건강과 행복을 기원합니다.

금번 77호 특집기획에서는 '노후 인프라 유지관리' 및 '두바이 엑스포 2020'이라는 2가지 주제에 대하여 외부 전문가의 고견을 실었습니다.

그 밖에도 '국가 건설기준의 현황과 발전 방향' 및 '모듈러 건축의 고도화 방안'에 대한 외부 전문가의 '기술기사', 주요 현장의 설계, 시공 사례 및 주요 VE 사례를 소개한 '현장기술소개'와 국내·외 현장의 보유 기술을 인터뷰 형식으로 소개한 '현장탐방' 등을 게재하였습니다.

앞으로도 건설분야 새로운 정보, 기술 및 공법 등 양질의 기술정보를 건설 기술인 여러분들과 공유하기 위해 더욱 매진하겠습니다.

여러분들의 많은 성원과 관심을 부탁드립니다.

### 『건설기술/쌍용』을 함께 만드는 편집·실무위원들

|        |                                                                                                                                                                               |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 편집위원장  | 김우상 상무(02-3433-7080, uskim@ssyenc.com)                                                                                                                                        |
| 부위원장   | 이타 부장(02-3433-7773, yita@ssyenc.com)                                                                                                                                          |
| 토목기술팀  | 김창수 차장(02-3433-7767, conshot@ssyenc.com)<br>김준호 과장(02-3433-7418, jykim@ssyenc.com)<br>정지희 대리(02-3433-7882, jhjung@ssyenc.com)<br>김재연 대리(02-3433-7776, jaeyeon.kim@ssyenc.com) |
| 건축기술팀  | 장석권 차장(02-3433-7713, jjanggwon@ssyenc.com)<br>김재성 차장(02-3433-7712, jssj0416@ssyenc.com)                                                                                       |
| 플랜트사업팀 | 황학수 과장(02-3433-7811, hssy@ssyenc.com)                                                                                                                                         |
| 기전팀    | 이창열 대리(02-3433-7423, changyeol.lee@ssyenc.com)                                                                                                                                |
| 홍보팀    | 김혜영 차장(02-3433-7757, hykim@ssyenc.com)                                                                                                                                        |

건설기술 **쌍용**

CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG

2020년 통권 제77호(비매물)

발행인 김석준 / 발행일 2020년 3월 27일 / 발행처 쌍용건설(주) 서울특별시 송파구 올림픽로 299 / 홈페이지 [www.ssyenc.com](http://www.ssyenc.com) / 편집디자인 디그루(02-547-9726)

※ 기 발간 기술지(1995년 Vol.1 ~ 2020년 Vol.77) 열람 : 쌍용건설 홈페이지 접속([www.ssyenc.com](http://www.ssyenc.com)) → 혁신기술 메뉴 클릭 → 건설기술/쌍용 클릭



쌍용건설은 자산규모가 2,396억 달러 (2018년말 기준)에 달하는 세계적 국부펀드 두바이 투자청을 최대주주로 맞이함으로써 국내외 신인도가 대폭 상승하는 것은 물론, 안정적인 재무구조까지 갖추게 되었습니다.

이제 쌍용건설은 고도의 기술력에 재무적 안정성까지 갖춘 글로벌 초우량 건설사로 거듭나고 있습니다.



두바이정부 (Government of Dubai)의 투자기관인 두바이투자청 (ICD : Investment Corporation of Dubai)은 미래를 선도하는 투자철학과 선진적인 투자관리 시스템을 바탕으로 에미리트 항공, 에미리트 국영석유공사, UAE 자산기준 최대은행인 에미리트 NBD 등 50여개의 투자처를 세계적인 유수회사로 발전시켜 나가고 있습니다.



쌍용건설이 만드는  
새로운 주거 브랜드

# The PLATINUM

## 더 플래티넘

### Professional

마리나 베이 샌즈 호텔, 래플즈 시티 등을  
성공적으로 완성한 쌍용건설의 프로들이  
독보적 기술과 노하우를 주택에 적용시킵니다.

### Perfect

더 플래티넘만의 독보적이고 차별화된  
'더 플래티넘 디자인 플랜'을  
통해 완벽한 주거공간을 완성합니다.

### Proud

차별화된 설계와 디자인은 물론  
행복한 시간까지도 고려한  
완벽함으로 최고의 자부심을 만듭니다.

