www.ssyenc.com

Who made it?

How Was It Built? Who Built It?
A Little Girl Holding Her Father's Hand,
Students With Their Backpacks
Taking Pictures For Fond Memories.
All Curious And Breathless At
The New Symbol Of Singapore
A World-Famous Landmark,
The Pride Of Korean Engineering And Construction.

SSANGYONG
Engineering & Construction Co., Ltd.

건설기술 쌍용

2023년 통권 80호

건설기술 쌍용

CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG

2023 Vol. 80

해외 고급건축 시공실적 1위 기업
쌍용건설

www.ssyenc.com

건설기술

쌍용

CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG

2023 Vol. 80

COVER STORY

아틀란티스 더 로열(Atlantis The Royal)

- 두바이 팜 주메이라(Palm Jumeirah) 인공섬에 44층 초특급 호텔 3개동 795객실과 39층 최고급 레지던스 3개동 231가구가 들어선 초대형 프로젝트
- 총 공사비 12억5400만달러(1조5500억원)에 달하며, 초호화 풀(pool) 등 총 94개의 수영장 및 2km길이의 인공 백사장이 특징
- 하늘에서 보면 'S' 자로 휘어 있으면서도 레고블록을 쌓아 올린 듯한 비정형 외관을 자랑
- 스카이브리지 옥상에는 90m 길이의 스카이 풀(인피니티 풀)이 있어 두바이의 독특한 스카이라인과 걸프만 조망 가능

CONTENTS

준공리뷰/수주리뷰

특집기획

아파트 브랜드 아이덴티티(BI, Brand Identity) 구현 및 강화 ····· 유상준 10
달기지 건설을 위한 달 현지 자원 활용 기술 ····· 신휴성 20
CFRP(탄소섬유복합재) 긴장재 활용 기술 소개 ····· 정우태 29

기술정보

건축

내진 케이블트레이 흔들림 방지시스템 ····· 김형진, 이완희 38
공동주택 단열설계기준의 변천 ····· 박철용 44
리모델링현장 기계설비 적용 기술 소개 ····· 장동민 52

토목

시공단계의 BIM기반 공정 및 기성계획에 대한 시공사 BIM 활용 ····· 김회진, 황준기 57
디지털 경제와 건설산업 플랫폼 ····· 김창수, 최선영 65
콘크리트 보의 깊이에 따른 건조수축의 변화 ····· 김승규 71

현장기술 소개

평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사 현장 소개 ····· 조한택 78
PC공법 적용사례 소개 ····· 이대현 85
동해가스전 육상시설 원상복구공사 현장 소개 ····· 이원택, 이지호 91

현장탐방

해외 현장탐방 ····· 96

기술논문 ····· 108
신기술 · 녹색기술 ····· 113
기술뉴스 ····· 117
편집후기 ····· 120

준공리뷰
COMPLETION

❶ DURAA The Royal Atlantis Resort and Residences
- 준 공 일 : 2023년 7월(예정)
- 공사위치 : Dubai, UAE
- 발 주 처 : Atlantis The Palm 2 Development LLC (ICD 자회사)
- 호텔(44F) 1동, 795 Key, 레지던스(39F) 1동, 231 세대, 포디움(4F), 연면적 : 387,097 m^2
- 공사금액 : AED 4,603Mil.(약 1조 6,300억 원)

❷ DUKIA Kifaf Development Phase II - Plot 5
- 준 공 일 : 2022년 6월
- 공사위치 : Dubai, UAE
- 발 주 처 : Park 1 LLC(Wasl의 SPV)
- 아파트 2개동, 지하 3층 ~ 지상 39층, 753 세대, 연면적 160,131 m^2
- 공사금액 : AED 612Mil.(약 2,170억 원)

❸ DUKOA 2020 Dubai EXPO Korea Pavilion
- 준 공 일 : 2022년 11월
- 공사위치 : Dubai, UAE
- 발 주 처 : KOTRA(대한무역투자진흥공사)
- 엑스포 한국관(사무실, 전시, 공연, 상업시설), 지상 3층, 연면적 6,558m^2
- 공사금액 : AED 53Mil.(약 190억 원)

❹ DUWAA-P112 Deira Waterfront Development, Plot 12
- 준 공 일 : 2022년 2월
- 공사위치 : Dubai, UAE
- 발 주 처 : Deira Waterfront Development LLC (ICD 자회사)
- 아파트 5개동, 지하 2층 ~ 지상 5층, 179세대, 연면적(BUA) : 54,048 m^2
- 공사금액 : AED 220Mil.(약 780억 원)

❺ 인천 주안 3구역 주택재개발 정비사업
- 준 공 일 : 2023년 2월
- 공사위치 : 인천광역시 미추홀구
- 발 주 처 : 주안 3구역 주택재개발정비사업조합
- 공동주택(아파트)(B2F ~ 29F, 13개동), 2,054세대
- 공사금액 : 4,046억 원

❻ 수원 오목천동 주택재개발 정비사업
- 준 공 일 : 2022년 10월
- 공사위치 : 수원시 권선구
- 발 주 처 : 수원 113-12구역 주택재개발 정비사업 조합
- 공동주택(아파트)(B4F ~ 22F, 10개동), 930세대
- 공사금액 : 2,046억 원

❼ 부산 거제동 지역주택조합 아파트 신축공사
- 준 공 일 : 2023년 1월 • 공사금액 : 1,020억 원
- 공사위치 : 부산광역시 연제구
- 발 주 처 : 거제동 지역주택조합
- 공동주택(아파트)(B3F ~ 33F, 5개동), 482세대

❽ LG화학 대전기술연구원 1연구동 리모델링공사
- 준 공 일 : 2022년 10월 • 공사금액 : 289억 원
- 공사위치 : 대전광역시 유성구
- 발 주 처 : ㈜LG화학
- 교육연구시설(B2F ~ 4F, 1개동)

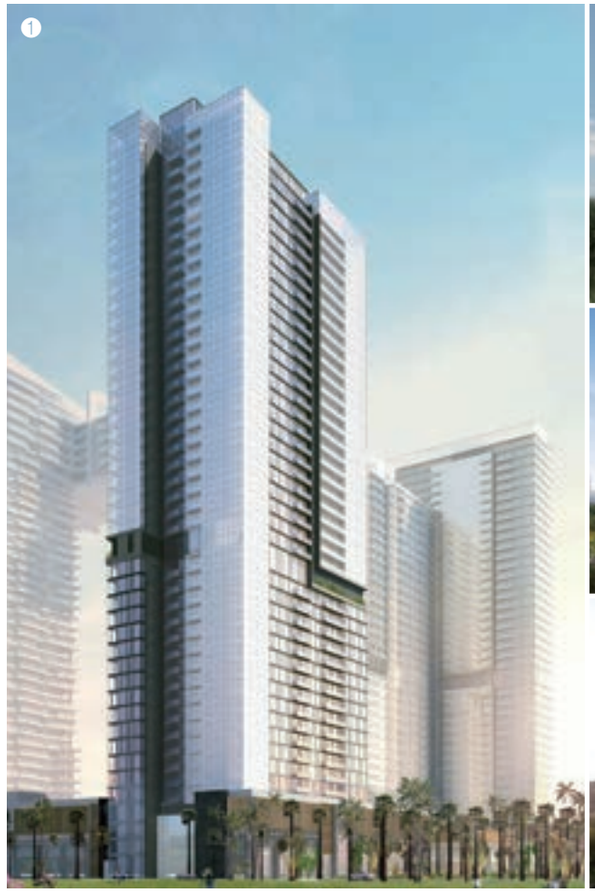
❾ 마곡 엑셈연구소 신축공사
- 준 공 일 : 2022년 11월 • 공사금액 : 307억 원
- 공사위치 : 서울특별시 강서구
- 발 주 처 : ㈜엑셈
- 교육연구시설(연구소)(B2F ~ 8F)

❿ 대화동 지식산업센터
- 준 공 일 : 2022년 10월 • 공사금액 : 707억 원
- 공사위치 : 대전광역시 대덕구
- 발 주 처 : ㈜재우파트너스
- 아파트형공장, 근린생활시설(B2F ~ 12F, 1개동), 근생41실, 공장428실

⓫ 서울 잠실동 오피스텔 개발사업
- 준 공 일 : 2022년 8월
- 공사위치 : 서울특별시 송파구
- 발 주 처 : ㈜려움
- 근린생활시설, 오피스텔(B4F ~ 16F, 1개동), 192실(지하 4층 ~ 지상 9층, 3개동) 129객실
- 공사금액 : 245억 원

⓬ 풍남항 정비공사
- 준 공 일 : 2022년 8월
- 공사위치 : 전라남도 고흥군
- 발 주 처 : 여수지방해양항만청
- 돌제 100m, 파제제 100m, 선양장 43m, 조경시설 1식 등
- 공사금액 : 226억 원

⓭ 공군 광주지역 항공유저장탱크 신축공사
- 준 공 일 : 2022년 11월
- 공사위치 : 광주광역시 광산구
- 발 주 처 : 국군재정관리단
- 유류저장탱크 10,000BBL 1기, 옥외 유류배관 및 기타부대시설
- 공사금액 : 35억 원



수주리뷰
NEW ORDER

❶ DUKIA-2(Wasl, Kifaf Development Phase 3 Plot 6)
- 발 주 처 : Park 1 LLC(Wasl의 SPV)
- 공사위치 : Al Kifaf Development, Dubai, UAE
- 지하 3층~지상 44층 / 1개 동, 레지던스 465세대 및 retail
- 기　　간 : 2023년 3월 ~ 2026년 4월
- 공사금액 : 1,557억 원

❷ EMOHA(Mongomo General Hospital)
- 발 주 처 : GE Proyectos
- 공사위치 : Mongomo, Equatorial Guinea
- 150병상, 국립의료원, 의료진 숙소 등
- 기　　간 : MOB 6개월, 착공 후 24개월
- 공사금액 : 469억 원

❸ PESPA(Przemysl Sports Complex Renovation Architecture Project)
- 발 주 처 : CORE(Community Organized Relief Effort, International NGO)
- 공사위치 : PRZEMYSKI OŚRODEK SPORTU I REKREACJI, Przemyśl, Poland
- 호텔 객실 28실 및 10개 부속실, 숙소시설 개보수 공사
- 기　　간 : 2022년 10월 ~ 2026년 4월
- 공사금액 : 4억 원

❹ 화성 ASML 뉴캠퍼스 신축공사
- 발 주 처 : ASML Korea
- 공사위치 : 경기 화성시 송동 동탄2지구 동탄JC 인접
- 지하 4층~지상 11층, 연면적 22,512평 / 업무 및 교육연구시설
- 기　　간 : 2023년 3월 ~ 2025년 4월
- 공사금액 : 1,888억 원

❺ 부개주공3단지아파트 리모델링
- 발 주 처 : 리모델링 주택조합
- 공사위치 : 인천광역시 부평구 부개동 498-5번지
- 아파트 19개동, 지하 4층 ~ 지상 20층, 1,982세대
- 기　　간 : 실착공일부터 약 38개월
- 공사금액 : 2,401억 원

❻ 명일현대아파트 리모델링
- 발 주 처 : 리모델링 주택조합
- 공사위치 : 서울시 강동구 명일동 251-1외 1필지
- 아파트 2개동, 지하 4층 ~ 지상 19층, 255세대
- 기　　간 : 실착공일부터 약 38개월
- 공사금액 : 835억 원

❼ 문정현대아파트 리모델링
- 발 주 처 : 리모델링 주택조합
- 공사위치 : 서울시 송파구 송이로34길 26
- 아파트 1개동, 지하 3층 ~ 지상 11층(신설 20층), 138세대
- 기　　간 : 실착공일부터 약 37개월
- 공사금액 : 501억 원

❽ 부산 연천시장 시장정비사업
- 발 주 처 : 연천시장정비사업조합
- 공사위치 : 부산 연제구 과정로276번길 28
- 주상복합 2개동, 지하 5층 ~ 지상 30층, 아파트 248세대
- 기　　간 : 2025년 3월 ~ 2028년 10월
- 공사금액 : 846억 원

❾ 대전 용문동 가로주택정비사업
- 발 주 처 : 장미아파트 가로주택정비사업조합
- 공사위치 : 대전 서구 용문동 592-12
- 주상복합 2개동, 지하 5층 ~ 지상 35층, 아파트 252세대
- 기　　간 : 2025년 7월 ~ 2028년 11월
- 공사금액 : 757억 원

❿ 부산 연산동 소규모재건축정비사업
- 발 주 처 : 월성아파트·상가 소규모재건축정비사업조합
- 공사위치 : 부산 연제구 연산동 1359-7
- 주상복합 1개동, 지하 6층 ~ 지상 32층, 아파트 174세대, 오피스텔 54실
- 기　　간 : 2025년 2월~2028년 6월
- 공사금액 : 579억 원

⓫ 부산 온천동2차(공작맨션) 가로주택정비사업
- 발 주 처 : 온천동공작아파트일원가로주택정비사업조합
- 공사위치 : 부산 동래구 온천동 1376-5
- 아파트 2개동, 지하 3층 ~ 지상 27층,아파트 175세대
- 기　　간 : 2024년 3월 ~ 2026년 12월
- 공사금액 : 517억 원

수주리뷰
NEW ORDER

⑫ 평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사
- 발 주 처 : 국가철도공단
- 공사위치 : 세종시 전동면 청동리 ~ 청주시 오송읍 연제리(오송역)
- 연장 L=8.422km, 환기구 총 4개소 등
- 기　　간 : 2023년 3월 ~ 2028년 2월
- 공사금액 : 4,929억 원

⑬ 순창 인계-쌍치(2공구) 도로시설 개량공사
- 발 주 처 : 익산지방국토관리청
- 공사위치 : 전북 순창군 구림면 운북리 ~ 쌍치면 시산리
- 도로확장(L=8.48km), 터널 1개소(L=2,105m), 교량 3개소(L=229m), 교차로 6개소, 부대공 등
- 기　　간 : 2023년 3월 ~ 2029년 2월
- 공사금액 : 842억 원

⑭ 서산지역 전기공급시설 전력구공사(서산-성연)
- 발 주 처 : 한국전력공사
- 공사위치 : 충청남도 서산시 성연면~지곡면
- 전력구 연장 L=2,643m(Shield-TBM L=1,585m)
- 기　　간 : 2022년 4월 ~2024년 8월
- 공사금액 : 400억 원

⑮ 목포내항 여객부두 건설공사
- 발 주 처 : 목포지방해양수산청
- 공사위치 : 전남 목포시 해안동 서산동물양장 전면해상 일원
- 안벽 L=270m, 호안 L=60m, 부잔교 및 기타 부대공 1식
- 기　　간 : 2023년 4월 ~ 2026년 9월
- 공사금액 : 314억 원

⑯ 평택기지~오산 제1공구 천연가스 공급시설 건설공사
- 발 주 처 : 한국가스공사
- 공사위치 : 경기도 평택시 청북읍 ~ 경기도 화성시 양감면 일원
- 주배관 : 18.0 Km, 관리소 : V/S, B/V 각 1개소
- 기　　간 : 2022년 8월 ~ 2024년 10월
- 공사금액 : 392억 원

⑰ 신세종복합 가스공급설비 설치공사
- 발 주 처 : 한국남부발전
- 공사위치 : 세종특별자치시 일원
- 주배관 : 5.3 Km, 관리소 : G/S, B/V 각 1개소
- 기　　간 : 2022년 3월 ~ 2024년 3월
- 공사금액 : 192억 원

⑱ 동해가스전 육상시설 원상복구공사
- 발 주 처 : 한국석유공사
- 공사위치 : 울산광역시 울주군
- 해상플랫폼(해저시설) 및 육상기지 위험물 제거, 육상 가스전 생산시설 부지 원상복구 등
- 기　　간 : 2022년 5월 ~ 2023년 3월
- 공사금액 : 177억 원(VAT 제외)

⑲ 세종지사 5,6 생활권 열수송관 공사
- 발 주 처 : 한국지역난방공사
- 공사위치 : 세종특별자치시 일원
- 이중보온관 : 7.58㎞×2열, 공동구 : 6.79㎞×2열, 세미쉴드 추진 1.6㎞(2개소)
- 기　　간 : 2022년 4월 ~ 2025년 4월
- 공사금액 : 403억 원

마리나베이 샌즈 호텔
싱가포르

특집기획
Special Feature

10 | 아파트 브랜드 아이덴티티(BI, Brand Identity) 구현 및 강화
20 | 달기지 건설을 위한 달 현지 자원 활용 기술
29 | CFRP(탄소섬유복합재) 긴장재 활용 기술 소개

특집기획

아파트 브랜드 아이덴티티(BI, Brand Identity) 구현 및 강화

“더 플래티넘” 아파트 사이니지(Signage) 개발을 중심으로

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

01 서론

우리의 삶과 가장 밀접한 건축공간인 거주공간 그 중에서도 아파트는 우리의 삶과 지속적으로 관계되고 상호작용하고 있는 건축물임이 분명하다. 하지만, 대다수의 주택 구매자들이 보편적으로 만족해야 하는 단위세대, 입면 등의 상품개발 그리고 제한된 부지면적, 사업비 등 경제적 측면의 핵심가치를 충족하는 과정에서 아파트는 공장 생산재처럼 판매의 최적화 및 다수의 소비자를 만족하는 보편적 디자인, 즉, 매우 획일화된 물리적 바탕을 가지게 되었다. 아파트의 이와 같은 획일화된 한계는 역설적으로 아파트 공급자인 주거브랜드가 자신들의 주거상품의 “브랜드 아이덴티티 (BI, Brand Identity)” 강화를 통해 타사의 주거상품과의 차별성, 고객의 인지성 향상, 브랜드 이미지 확보를 위해 자신들만의 외관컬러, 폰트 등 외관기준의 수립과 개발에 노력하는 이유가 되었다.

[그림 1] BI와 CI를 제거한 아파트 외관디자인

아파트 메이커 즉, 자신의 아파트 브랜드로 아파트를 시공, 분양하는 주거 브랜드 보유 시공사들은 경쟁사와 시각적인 구분과 차별성 확보를 위해 **CMF**(**C**olor, **M**aterial, **F**inishing)의 개발 및 적용을 통해 아파트라는 매우 획일적인 형태의 공간에서 차별성을 확보하려는 것이다.

[그림 1]과 같이 각 주거 브랜드의 외관 특화 노력에도 불구하고, 아파트라는 물리적 환경이 공유하는 형태적인 유사성으로 인하여 각각의 브랜드가 고유한 시각적 차별성을 확보하는 것이 용이하지 않다. 직관적인 상표인 BI 사이니지를 제거하면 대부분의 주거브랜드의 외관은 각 사의 차별성보다는 유사성이 크다.

02 “좋은 아파트”의 새로운 패러다임

2.1 주거브랜드의 Brand Identity구현

디자인을 통해 브랜드의 이미지가 지속적으로 소비자에게 인지되는 것은 기업이미지, 즉 Brand Identity의 가장 핵심 가치이다. 기능을 충족해야 하는 상품의 특성상 기술적인 진보와 소비자들의 Needs & Wants에 따른 형태 및 자재가 변경되는 상황에서 기능과 조화를 이룬 디자인의 흐름을 유지하는 것은 결코 쉽지 않다. 특히, 아파트의 경우

[그림 2] BMW 외관변천과 “일관된 Brand Identity”❶

단위세대 평면의 한계 (단위세대의 채광, 환기를 위한 창호, 실외기 루버, 피난창 등)로 디자인을 할 수 있는 물리적 범위가 옥탑부, 측벽 등으로 매우 제한적이다. 특히, 옥탑부, 측벽 등의 과도한 디자인, 자재의 선정은 현장 별 예산과 관계되며, 무엇보다도 시공성 및 공사 중 안전확보에 걸림돌이 될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 아파트의 Brand Identity의 가장 중요한 요소는 BI로고와 통합적으로 디자인된 측벽, 옥탑부, 문주 등 디자인과 전체적으로 인지되는 컬러, 재질이다. 이러한 의미에서 아파트의 외관디자인은 통합적 의미로 “토탈디자인(Total Design)”으로 불리기도 한다.

2.2 디자인을 통한 브랜드 이미지 구현

아파트 브랜드 차별화와 브랜드 이미지가 부각되고 있는 배경과 주거브랜드의 구현, 브랜드 이미지에 대해 알아보고자 한다. 최근 재건축/재개발, 리모델링 등 조합사업의 경쟁이 치열해지고 있고 특히, 주민설명회를 통한 조합원의 시공사 선정의 의결에 있어 사업적인 조건, 내외 마감재 뿐만 아니라, 디자인개선, 외관디자인, 조경특화 등 디자인 특화 대안설계 제안도 시공사 선정의 새로운 기준으로 부각되고 있다.

금융 등 Cash Flow, 원안설계 대비 세대수 추가확보, 평형대 재배치 등 분양/사업성 향상 극대화를 위한 대안 설계의 제안 뿐만 아니라, 차별화되고 완성도 높은 외관디자인도 “좋은 아파트”의 요인이 된 것이다.

[그림 3] 당사 가락쌍용1차 리모델링 시공사선정(안)

[그림 4] 당사 부개주공 리모델링 시공사선정(안)

[그림 5] 당사 문정현대 리모델링 시공사선정(안)

입지여건이 뛰어난 리모델링, 재건축/재개발 조합의 시공사 선정은 주거시장의 경기가 가열, 활성화 된 시점에서는 각 시공사의 기술력, 신용도 등에 따른 금융조달 능력과 금융프로그램의 제안 뿐만 아니라 시공사의 브랜드 순위, 즉 브랜드 가치가 향후의 주택가격 등의 잠재적 가치까지도 중요한 “좋은 시공사”의 선정사유가 되었다❷.

이와 같은 치열한 재건축 등 조합사업의 수주는 “수주전(受注戰)”이라고 불리울 정도로 치열하게 전개되고 있다.

❶ [출처] https://m.cafe.naver.com/ca-fe/web/cafes/olddevil
❷ 「한남3구역 주택재건축정비사업」의 입찰조건(2차)에 따르면, 조합제시 공사금액 일조육천억원(VAT별도).
총세대수 5,816세대, 주차대수 8,696대

시공비 등의 사업 조건이 유사해지고, 변별력이 약해지는 추세에서는 수주경쟁에서 우위를 점하고 경쟁사를 압도하기 위해서는 의결권을 가진 조합원의 니즈를 헤아리고, 만족 그 이상의 충격을 줄 수 있는 "물리적 환경이상의 가치" 즉 새로운 가치를 제시할 수 있는 디자인 제안까지도 시공사에게 요구 되고 있다.

[그림 6] 당사 명일현대 리모델링 시공사선정(안)

무엇보다도 입주자, 조합원 등의 주거 소비자들의 관심이 기능과 프로그램적인 혁신뿐만 아니라, "삶의 질"과 결부해서 새로운 외부특화 디자인을 통한 단지의 차별성도 주거단지를 평가하는 새로운 패러다임이 된 것이다.

최근 재건축/재개발, 리모델링 등 조합사업의 경쟁이 치열해지고 있고 특히, 시공사 선정 주민설명회 및 총회를 통한 의결과정에서 다각적으로 시공사가 평가되며 시공능력, 사업제안, 외관특화 등 대안설계가 평가의 대상이 된다. 개발에 따른 조합들의 이익을 극대화하는 방안이 가장 절대적인 가치이지만, 입찰에 초청된 건설사들의 시공능력, 사업제안이 큰 변별력이 없는 경우에는 브랜드가 가지는 이미지 즉 주거브랜드의 "Brand Identity"가 잘 반영된 특화 디자인이 평가의 중요한 요인이 된다. 조합원들의 입장에서는 내가 사는 삶의 장소가 주변의 랜드마크가 되고, 상품을 평가하는 여러 요인 중 하나가 된 것은 분명한 사실이다. 문주, 주동형태, 외관색채, 옥탑디자인, 세대진입 공용공간, 주차장, 커뮤니티시설의 내외부 디자인이 그것이다.

[그림 7] 당사 철산한신 리모델링 시공사선정(안)

[그림 8] 당사 부산연천 시장재건축 시공사선정(안)

수주경쟁 시 사업제안 중 공사비, 대지여건, 주민들의 Needs & Wants를 분석하여, 경관적으로 부각될 수 있는 디자인의 제안이 필요하므로 경쟁적으로 스카이 커뮤니티 등의 주민공동시설의 다양한 프로그램과 내/외관의 디자인이 제안되고 있다.

소규모재건축, 시장재건축 등 기존의 상권이 활성화된 도시지역에서는 기존 상권의 유지, 상권활성화를 위한 상업시설의 주거영역에서의 편리한 접근과 프라이버시, Security의 확보가 명확히 고려된 건축배치, 외관디자인의 특화 제안이 필요하다. 아파트 브랜드가 지니고 있는 Tone & Manner가 BI/CI 로고와 함께 효과적으로 인지되는 디자인의 제안이 요구된다. 아울러, 디자인 구현과정에서 최근, 탄소저감을 고려한

[그림 9] 건축자재들 지구 온난화 잠재력(GWP)❸
(GWP : Global Warming Potential)

ESG적인 사고의 전환도 요구된다.

아파트 메이커, 즉 자신의 아파트 브랜드로 아파트 시공, 분양하는 주거 브랜드 보유 시공사들은 다른 경쟁사와 시각적인 구분과 차별성 확보를 위해 **CMF**(**C**olor, **M**aterial, **F**inishing)의 정립, 수행과정에서 건설산업이 환경영향 중 직관적으로 실천할 수 있는 건축자재의 선정도 기후위기에 미치는 영향을 고려하여, "탄소발자국"이라고도 불리는'지구온난화 잠재력(탄소배출량 또는 GWP)'중심으로 자재들을 비교하여, 향후 적용할 건축자재의 선택 등 기업의 친환경(ESG, Environmental Social Governance)적인 접근에 대한 시대적 필요성도 언급되기 시작했다.

03 "더 플래티넘" 아파트 사이니지 개발

3.1 통합 주거브랜드 "더 플래티넘"

쌍용건설은 아파트 브랜드인 "예가(藝家)"와 주상복합, 오피스텔 브랜드인 "플래티넘(Platinum)"을 하나의 브랜드로 통합하며, 주거 분양상품의 통합된 브랜드로 "더 플래티넘"으로 일원화해 2018년 새롭게 론칭했다.

고급/일반 주거상품, 아파트/주상복합, 오피스텔 등 상품 그레이드 및 종류에 따라 브랜드 명을 다르게 적용하지 않고 통합 운영, 분양 시 사업의 특성, 그레이드를 설명할 수 있는 서브네임을 같이 적용하여 일관된 주거브랜드의 운영과 상품적 특성을 보완 적용할 수 있도록 운영하고 있다.

통합 주거브랜드 "더 플래티넘(The Platinum)"은 쌍용건설의 정교한 조율이 깃든 완벽한 주거 공간이자, 최적의 삶을 위해 건설 전문가가 세심하게 엄선한 프리미엄 주거 공간을 의미한다.

[그림 10] "더 플래티넘" BI, 컨셉, 칼라

BI는 잘 지어진 아파트의 견고함을 직선 서체에서, 마감의 정교함과 섬세함을 정관사 'The'의 라이트한 곡선에서 각각 표현함으로써 고품질 기술력에 대한 플래티넘의 자부심과 자신감을 워드마크로 표현하였다.

로얄 블루는 플래티넘의 신뢰, 전문성, 자신감을 재해석하여 소비자가 느끼는 고품격의 삶의 가치를 의미한다. "더 플래티넘"은 시공/기술 전문인력의 Professional(전문성), 상품과 품질의 Perfect(완벽함), 소비자와 시공자 모두가 추구하는 주거공간의 가치와 이념인 Proud(자부심)의 3가지 철학으로 정의된다.

❸ 덴마크 왕립 공업화 건축 학술 센터(CINARK: the Royal Danish Academy Center for Industrialized Architecture)에서 건축자재별로 생산 과정에서 온실 기체를 얼마나 발생시키는지를 이산화탄소(CO_2) 환산 배출량으로 정리. GWP 단위는 kg CO_2 eq
[출처: https://www.materialepyramiden.dk]

예시된 그림의 “The PLATINUM”의 심볼은 얇고 세련미 있는 Script의 선(The)과 산세리프체의 단단함과 사선 컷팅된 직사각형의 묵직한 두께(PLATINUM) 서로 다른 두 가지 타이포그래피 스타일의 조합이며, 한글서체는 직사각형 모듈의 심플하고 단정한 요즘 트랜드에 부합한 한글서체 적용, 모서리에 적용된 사선으로 인하여 섬세함과 기술력, 보이지 않는 자신감의 표현을 나타낸다.

3.2 사이니지 디자인 기본방향

1) 사이니지(Signage) 디자인 목표 및 컨셉

“더 플래티넘” 아파트의 사이니지 디자인의 목표는 ① 다채로운 사인에 일관성을 부여하는 디자인 컨셉 ② Platinum 브랜드 아이덴티티 형성 ③ 간단명료하고 일관성 있는 디자인원칙을 통한 강한 시각적 효과 제공이다.

[그림 11] “더 플래티넘” 타이포그래피(상), 픽토그램(하)

[그림 12] “더 플래티넘” Grid System

[그림 13] “더 플래티넘” 메인컬러 및 CMF

2) 타이포그래피

플래티넘 브랜드의 견고함과 섬세함을 표현하고 디자인 일체감을 향상시키는 서체 제안, 자음의 크기를 증가시켜 가독성과 심미성이 높은 Rix 신헤드로 심볼마크 느낌을 유지, 숫자는 가독성이 우수한 Alber new를 적용하였다.

3) 일관성있는 적용을 위한 Grid System 확립

사이니지를 비롯한 모든 공간 정보 및 모듈에 따른 일관적인 비율과 레이아웃을 적용하여, 브랜드 고유의 시각적인 아이덴티티 형성에 기여, 엄격함과 자유로움의 공존, 다양한 공간 정보에 유연하게 대응될 수 있는 “더 플래티넘” Grid System을 확립하여, 사이니지 디자인의 기준으로 적용하였다.

4) 색채 업그레이드 및 CMF❹ 전략

심플하게 정리된 무채색 바탕에 포인트가 되는 브랜드 고유의 로얄 블루의 아이덴티티를 강조하는 화이트, 그레이를 주조로 플래티넘 블루의 가치를 더욱 높여주는 재료 본연의 색상과 그레이 컬러를 조합하여 사용하였다.

절제된 형태와 엄격하게 적용되는 레이아웃 원칙이 형성하는 “더 플래티넘” 고유의 강한 시각적인 아이덴티티는 브랜드 고유의 로얄 블루와 미러, 메탈릭 소재 적용을 기본 방향으로 설정하고 프로젝트의 여건에 따라 유사한 재질로 대체 적용까지 고려하였다.

❹ CMF : Color, Material, Finishing

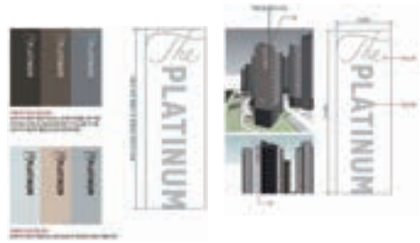
3.3 사이니지시스템(Signage System) 디자인

1) 주동 측벽 브랜드 심볼(Symbol) 적용

심볼의 ‘The’ 스크립트 부분과 ‘PLATINUM’ 텍스트의 단순 중앙 정렬로 인한 원거리에서 스크립트 인지성 저하를 개선하여, 심볼마크와 로얄 블루의 적극적인 사용을 통해 브랜드 아이덴티티를 향상 시키고 재질감이 반영된 ‘Real’ 메탈 미러(Mirror) 마감의 입체문자를 적용하였다.

[그림 14] “더 플래티넘” 측벽 심볼 마감예시

[그림 15] “더 플래티넘” 측벽 심볼적용 기준



측벽의 “BI” 심볼적용은 단지 외부 인지도 및 건물 높이에 따른 가시성 검토 후 적용하여야 한다. 측벽바탕의 컬러가 어두운 톤(Tone)일 경우 실버미러 윈도우 마감 또는 White 조명형 시트를 적용하며, 실버미러 윈도우 필름은 초고층 현장에 적용이 권장된다. 측벽 바탕이 밝은 톤일 경우 블랙윈도우 필름 또는 Smoke Gray 계열의 필름마감을 기준으로 한다.

2) 외부적용 사인(Sign)

① 문주 / 메인게이트 / 방향유도 지주형 사인

공간 마감재와 일체감을 높이는 그레이 패널에 수퍼미러(Mirror) 입체문자 조합으로, 주간과 야간에 색상이 변환되는, 가독성이 향상된 한글 입체문자 사인(Sign)을 고려하였다.

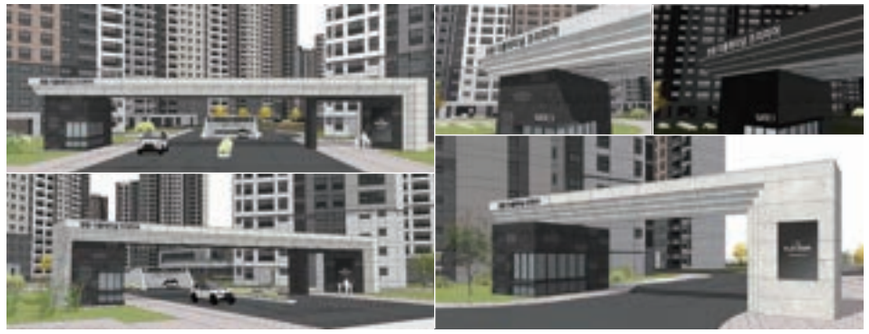
아파트 단지의 주소표기 사인 등 세부적인 아이템도 CMF 및 BI 심볼의 운영대상이 된다. 조경수목의 식재설명판 / 수목명, 단지안내문, 우편함, 무인택배, 소화전 등 단지 전체적으로 토탈 디자인이 인지 될 때 입주민은 본인들이 대우받고, 시공사의 품질과 배려를 느낄 수 있게 될 것이다.

[그림 16] “더 플래티넘” 주소표기

단지배치도의 경우, 각 설계사, 사인 시공업체, 전기 시공업체 등이 공유할 수 있는 서체, 기준양식과 CMF의 기준을 업체선정 시 현설자료와 함께 배포하여 일관된 기준이 통일되게 적용될 수 있도록 관리하며, 시공준비(Mobilization), 자재발주/조달, 시공의 단계별 관

[그림 17] “더 플래티넘” 단지배치도

[그림 18] "더 플래티넘" 메인게이트 /부출입구



리(Flow Control)가 아파트 사이니지 시공의 주요 관리요소이다.

방향유도 지주형 사인의 경우, 각 지점별 다양한 공간 정보 표현을 위하여 설치되며, 인지성의 향상, 내구성, 그리고 입주민의 안전을 고려한 자재선정과 마감의 관리가 요구된다.

[그림 19] "더 플래티넘" 지주형 사인

"더 플래티넘 : Grid System"을 적용하여 일관성 있는 형태가 구현되도록 크기와 비례를 결정하였다. 적용 주동 + 주차장 정보와 각종 커뮤니티시설의 정보를 분리시켜 이용자의 즉각적이고 선택적인 길 찾기(Way finding) 성능을 향상시키고자 하였다.

② 주동출입구

[그림 20] "더 플래티넘" 주동출입구(주/야간)

주동출입구 각 코어별 진입구 벽체를 이용하여 각 주동 출입구 현판을 적용하였다. 주동 문주 중앙에 동 표시를 추가하여 입구의 상징성을 향상시켰으며, 주간의 메탈릭한 재질감, 야간의 조명 투사가 가능한 입체문자 사인을 제안하였다.

3) 주차공간

사인 및 방향표시 시스템을 강조하며 교차로, 주동출입구 등의 조명을 부각시켜 우선적으로 인지될 수 있도록 고려하였다.

무채색 계열의 차분하고 고급스러운 배색을 적용, 차량통로와 주차면의 색상을 구분하여 기능성과 안전성을 향상 시킨다. 출구 및 수직동선의 주동선 통로에 별도의 색상을 부여하여 차량이동 경로를 예측하여, 길찾기(Way Finding)성능을 향상시켰다.

주차장 외곽 및 배수판 벽체에는 은은한 블루애쉬 그레이 색상이 적용되며, 캐노피 구조물에는 높이와 위치를 고려한 로얄블루 컬러 적용 및 선과 면이 강조된 방향 유도 정보를 제공하였으며, 로얄블루(Royal Blue)와 오렌지색의 보색효과로 인지성을 향상 시켰다.

폭발적인 속도의 전기차량 도입 등 새로운 기술개발에 따른 "Life Style" 변화에 대응과 주거관련 법령

[그림 21] "더 플래티넘" 지하주차장 사인시스템

[그림 22] "더 플래티넘" 차량충전기, 주차유도

[그림 23] "더 플래티넘" Elev. Type-A(좌), B(우)

에 따른 필수설비의 추가 등에 따라 전기차량충전기, 차량유도 시스템, 무인택배 등의 전기, 기계설비 등이 추가되고 있다. 그에 따라 재제작, 발주를 위한 설계단계부터 BI심볼의 적용과 **CMF(C**olor, **M**aterial, **F**inishing) Control이 요구되고 있다.

엘리베이터 카(CAR) 내부디자인과 단위세대의 욕실수전, 디퓨저 등 에도 "더 플래티넘" BI 심볼과 브랜드가 가지고 있는 고유의 컬러와 재질 등 디자인이 융합된 "Tone & Manner"가 확보된 디자인을 적용하고 있다.

[그림 24] "더 플래티넘"욕실수전, 디퓨저커버

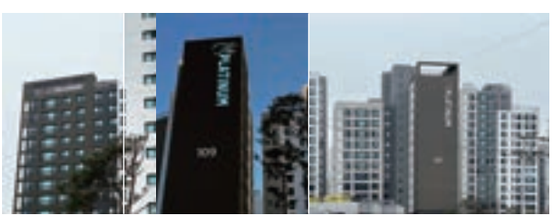
3.4. 적용사례 : "쌍용 더 플래티넘 광주"

1) 주동 측벽 브랜드 심볼(Symbol) 적용

심볼은 'The' 스크립트 부분과 'PLATINUM' 문자의 원거리 인지성 향상, "플래티넘"이 가지고 있는 금속의 이미지를 향상시키기 위하여 'Real' 메탈 미러(Mirror) 마감의 입체문자를 적용하였다.

측벽의 "BI" 심볼은 단지외부 인지도 및 건물 높이에 따른 가시성 검토 후 적용하여야 한다. 측벽바탕의 컬러가 어두운 톤(Tone)인 경우 White 조명형 시트를 적용하였으며, 바탕이 밝은 톤인 경우 블랙윈도우 필름 또는 Smoke Gray 계열의 필름으로 마감하였다.

[그림 25] "더 플래티넘" 측벽 심볼 적용



[그림 26] "더 플래티넘" 측벽 동번호

2) 외부적용 사인(Sign)

① 문주 / 메인 게이트

공간 마감재와 일체감을 높이는 그레이 패널에 수퍼미러(Mirror) 입체문자 조합으로, 주간과 야간 색상을 변환하여 가독성이 향상된 한글 입체문자 사인(Sign)을 고려하였다.

자재발주/조달, 시공의 단계별 관리(Flow Control)는 완성도 높은 아파트 사이니지 시공의 "핵심요소"이다.

해당현장은 당사에서 개발한 사이니지(Signage) 매뉴얼을 최초 적용한 현장으로, 지주형 사인의 표준화된 매뉴얼 적용과 시공에 있어"더 플래티넘 : Grid System"을 적용하여 일관성 있는 형태가 구현되도록 크기와 비례를 결정하였다. 적용 주동 + 주차장 정보와 각종 커뮤니티시설의 정보를 분리시켜 이용자의 즉각적이고 선택적인 길 찾기(Way finding) 성능을 향상시키고자 하였다.

방향유도 지주형 사인은 자재 선정 및 마감에 있어 입주민의 안전성 및 내구성을 우선 고려하였으며, 효과적인 배치를 통한 적정 개소 설치로 경제성 확보와 인지성 향상에 역점을 두어 진행되었다.

사인 시공업체, 전기 시공업체 등이 공유할 수 있는 서체, 기준양식과 CMF의 기준을 업체선정 시 현설자료와 함께 배포하여, 현장운영 시 일관된 기준이 통일되게 적용될 수 있도록 시공준비, 자재발주/조달, 시공의 단계별로 현장 관리 되었다.

입주민 공동시설, 우편함, 무인택배, 게시판 등 의 사이니지 또한 단지 전체의 디자인 일관성을 유지하도록 세심히 고려되어야 한다.

입주민 공동시설의 시설명은 문주 마감재와 일체감을 높이는 그레이 패널에 수퍼미러(Mirror) 입체문자의 조합으로 구성되며, 주간과 야간에 색상이 변환하여 가독성이 향상된 한글 입체문자 사인(Sign)을 적용하였으며, 바탕 금속시트(Sheet)의 컬러를 그레이 계열로 마감하여 가시성 향상을 고려하였다.

주동출입구 각 코어별 진입구 벽체에 출입구 현판을 적용하여 시공성을 개선 하였다.

주동 문주 중앙에 동 표시를 추가하여 입구의 상징성을

[그림 27] "더 플래티넘" 메인게이트 시공사례

[그림 28] "더 플래티넘" 단지명 시공사례

[그림 29] "더 플래티넘" 지주형 사인

[그림 30] "더 플래티넘" 지주형 사인(시설안내)

[그림 31] "더 플래티넘" 지하주차장 출입구

[그림 32] "더 플래티넘" 게시판,우편함,무인택배

[그림 33] "더 플래티넘" 부대시설 사인

[그림 34] "더 플래티넘" 주동출입구 동번호 사인

[그림 35] "더 플래티넘" 주동출입구

향상시켰다. 주간에는 메탈릭한 재질감이 강조되며, 야간에는 조명 투사가 가능한 입체문자로 시공 되었다.

04 결론

소비자의 선택에 의해 상품이 소비되는 주거분양시장에서 "디자인"을 통해 브랜드의 이미지가 지속적으로 소비자에게 인지되는 것은 상품의 정체성을 의미하며, 기업이미지 즉, Brand Identity의 가장 핵심이 되는 가치이다.

획일화된 물리적 바탕을 갖는 아파트의 한계는 역설적으로 아파트 공급자인 주거브랜드가 자신들의 주거상품의 "브랜드 아이덴티티(BI, Brand Identity)" 강화를 통해 타사의 주거상품과의 차별성과 고객의 인지성 향상 및 브랜드이미지 확보를 위해 자신들만의 외관컬러, 폰트 등의 외관기준 수립과 개발에 노력하는 이유가 되었다.

아파트 Brand Identity의 가장 중요한 요소는 BI로고와 통합적으로 디자인된 측벽, 옥탑부, 문주 등 디자인과 전체적으로 인지되는 컬러, 재질이다. 하지만 기능을 충족해야 하는 상품의 특성상 기술적인 진보와 소비자들의 Needs & Wants에 따른 형태, 자재가 변경되는 상황에서 기능과 조화를 이룬 디자인의 흐름을 유지하는 것은 결코 쉽지 않다. 그래서"더 플래티넘" 아파트 사이니지의 일관된 구현을 위해 사이니지를 비롯한 모든 공간 정보에 모듈에 따른 일관적인 비율과 레이아웃을 적용하여, 브랜드 고유의 시각적인 아이덴티티 형성에 기여, 엄격함과 자유로움이 공존, 다양한 공간 정보에 유연하게 대응될 수 있는 "더 플래티넘" Grid System을 확립하였다. 그리고 매뉴얼 제정을 통해 엘리베이터, 욕실수전, 우편함, 무인택배 등에 BI심볼 활용기준을 표준화 하였다. 매뉴얼은 "더 플래티넘" BI 심볼과 브랜드가 갖고 있는 고유의 컬러와 재질 등과 디자인이 융합된 통일성 있는 "Tone & Manner" 확보를 위해 단가, 품질, 시공성을 검증한 표준화된 디자인을 적용을 위한 플랫폼이다. 파일럿 현장 적용을 통해 디자이너, 사인 시공업체, 전기 시공업체 등이 공유할 수 있는 CMF의 기준을 배포하여, 일관된 기준이 공유될 수 있도록 하였다. 설계, 발주/조달, 시공의 단계별 관리가 완성도 높은 아파트 사이니지 시공의 핵심이다. 향후, 전기차량, IOT 등 기술 변화에 유연하게 대응하는 CMF의 정립, 수행 플랫폼의 구축, 지구온난화 잠재력을 고려한 자재, 공법 선정 등 기업의 친환경(ESG, Environmental Social Governance)적인 측면에 대한 추가적 논의도 필요할 것으로 예상된다.

특집기획

달기지 건설을 위한 달 현지 자원 활용 기술

글 신휴성 / 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 선임연구위원
전화 02-910-0651 **E-mail** hyushin@kict.re.kr

01 서론

산업화가 시작된 이래로 인류는 더 많은 자원을 필요로 하고 있으며, 이는 문명이 고도화될수록 심화되고 있다. 그러나 지구의 자원 매장량에는 한계가 있고, 지속적인 자원활용은 향후 자원고갈을 야기할 수 있으며, 희토류와 같이 최첨단 산업분야에서 필수적으로 활용되지만 한정된 지역에서 채취되는 자원의 경우, 이를 타국이 무기화 할 수 있다. 더불어 희토류 및 몇몇 자원들은 채굴과정에서 주변 환경을 심각하게 오염시키기도 한다. 이에 여러 대체 자원을 개발하고는 있지만, 대체 자원도 고갈 문제에서 자유로울 수 없다. 하지만 우주 천체에는 무한한 자원이 존재하고 이를 채굴하고 활용할 수 있다면, 자원고갈 및 분쟁 문제의 근본적인 해결점을 찾을 수 있다.

지구에서 가장 가까운 천체인 달에는 헬륨-3, 희토류, 금속 등의 자원이 풍부하게 발견된다. 헬륨-3는 핵융합, 초유체 극저온, 의료 목적 영상기기 등에 활용되며 미래자원으로서 각광받고 있다. 희토류는 원자번호 57번 La부터 71번 Lu와 Sc, Y 등을 의미하며 다양한 분야에서 활발하게 사용 중이다. 이에 월면토 및 월석으로부터 금속자원을 추출하기 위한 연구도 진행되고 있다. 또한, 달은 지구와 거리가 약 384,400 km으로 비교적 가까우며 대기가 거의 없고 중력은 지구의 1/6 수준으로 발사체가 이륙하기에 매우 유리하다. 따라서, 향후 화성, 소행성 등 태양계 내 여러 천체를 개발하기 위한 전초기지로 알맞다.

이러한 달의 자원을 채굴하고 다시 지구로 반환하기 위해서는 장비 관리 및 운용을 위해 상주하는 인류가 필요하다. 하지만 달의 환경은 초극한 환경으로 대기가 없어 호흡에 필요한 산소와 대기압이 거의 존재하지 않고, 태양으로부터 오는 방사선 및 자외선을 막아줄 자기장도 존재하지 않는 등 인류활동에 제약이 있다. 따라서 달에서 거주하는 우주인이 생활할 수 있는 거주공간 건설이 필수적이며, 방사선 및 운석 충돌을 방호해줄 방호시설이 필요하다. 더불어 상주하는 인류가 필요로 하는 자원을 공급하여야 한다. 예를 들어 인류가 생존하기 위해서는 물과 공기가 필요하고, 식량을 지속적으로 공급받아야 한다. 또한, 인류의 활동에는 문명을 존속시키기 위한 금속 등의 자원을 필요로 한다. 하지만 지구에서 달로 물자를 운송하는 것은 많은 비용을 소모하여 실행에는 어려움이 있다.

따라서, 지속적인 달 탐사 및 자원 채굴 활동을 지원하기 위해서는 달 현지에서 필요한 자원을 조달할 필요가 있다. 이를 현지자원활용(In-Situ Resources Utilization, ISRU) 기술이라고 한다. 달 현지자원활용 기술은 달 탐사 및 자원 채굴뿐만 아니라 향후 우주 식민지를 건설하기 위한 초석이다. 따라서 향후 진행될 화성 탐사 및 인류 이주를 위해서도 연구되고 있다. 특히, 건설재료는 매우 무거워 반드시 현지자원활용 기술이 필요하다.

인류의 문명이 태동할 당시부터 흙은 유용한 건설재료였으며, 이로부터 건설기술이 발달해왔다. 달에도 당연하게도 월면토가 매우 풍부하게 존재하고, 따라서 이를 건설재료로 활용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, 자원을 추출하여 활용하는 기술도 연구되고 있다. 인류는 지속적인 달 탐사 미션을 통하여 달 극지방에 물의 존재를 확인하였다. 물의 존재는 현지에서 인류 활동을 위하여 지속적으로 물 뿐만 아니라 산소와 연료에 필요한 수소를 추출할 수 있음을 의미한다. 이에 2021년 국제 우주 탐사 조정 그룹(International Space Exploration Coordination Group, ISECG)에서는 ISRU Gap assessment report 발간하여 달 탐사를 위한 각 국가 및 기관별 현지자원활용 기술현황을 소개하고 기술발전을 독려하였다. 본 논문에서는 이러한 달 현지자원활용 기술 현황 및 향후 과제에 대하여 서술하였다.

또한, 행성 현지재료 활용 인프라 건설 기술은 우주에서 건축물 및 인프라를 건설할 때 필요한 원자재를 현지에서 채취 및 가공하여 우주기지 건설에 활용하는 기술로, 가용한 에너지와 환경조건 하에서 저전력 마이크로웨이브를 블록형태의 건설재료를 소결해 내는 기술을 개발하고 있다. 행성 지상 건설공간 정보화 기술을 통해서는 우주에서 건축물을 건설할 때 필요한 지상의 지형정보를 실시간으로 모델링하고, 무인 무반력 시추장비 개발을 통해 달 지하의 지반특성을 정보화 하는 기술 개발도 진행하고 있다. 본 글에서는 상기한 기술개발 내용에 대해 구체적으로 소개해 보고자 한다.

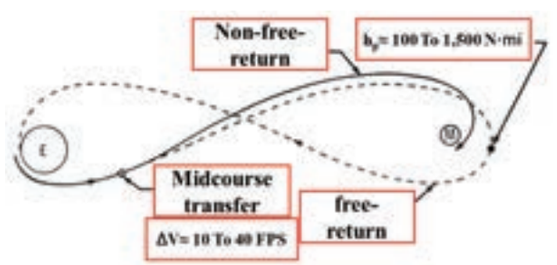
02 달 지반 성분

2.1 달 환경 조건

달은 지구와 거리가 약 384,400 km로 비교적 가깝다. 따라서, 가장 빠른 거리로 갈 경우 2-3일 정도 걸려서 달에 도달할 수 있으며, 실제로 Apollo 미션들이 해당 경로로 미션을 수행하였다[그림 1(a)]. 그러나 해당 경로는 많은 에너지를 필요로 한다. 반면 다누리의 경우, L1 라그랑주 점을 통과하여 달 궤도에 진입할 예정이며, 해당 궤적은 연료 소모를 최소화하여 다누리의 임무기간을 늘려줄 것으로 예상되지만 달에 도달하기까지 무려 4.5개월이 걸린다[그림 1(b)].

달의 중력은 지구의 1/6 수준으로 낮고 대기압이 강한 지구와는 다르게 고진공 환경으로 기압이 0.3 nPa에 불과하여 인류의 필수 생존조건인 대기가 거의 존재하지 않는다. 또한, 대기가 거의 존재하지 않으므로 대부분의 운석이 대기진입 중에 소멸하는 지구환경과 달리 달에서는 미세한 운석도 막지 못해 지표면에 강하게 충돌한다. 대기와 더불어 자기장이 없으므로, 태양으로부터 오는 방사능 물질 및 방사선에 그대로 행성 표면이 노출된다. 또한, 대기의 부재로 인해 태양열을 순환시킬 수 없어 달 표면의 일교차는 200℃이상으로 매우 크고, 운석충돌에 의해 부서진 월면토는 풍화작용이 없어 달의 먼지는 매우 미세하고 날카로우며 태양풍에 의해 월면토가 대전되어 정전기를 띄기 때문에 쉽게 운용장비에 달라붙을 수 있다. 이런 달의 가혹한 조건은 달에서 활용하는 장비 및 우주인에게 피해를 줄 수 있다. 따라서, 인류가 달

[그림 1] The trajectories of (a) Apollo 11 and (b) Korean pathfinder lunar orbiter



(a)

(b)

에서 장기거주 및 자원채굴을 수행하기 위해서는 달의 극한환경으로부터 우주인과 장비를 보호해줄 방호벽과 지구 환경을 모사한 거주공간이 필요하다.

2.2 달 지반 특성

달의 표면은 월면토 불리는 행성표토(Regolith)로 덮여있다. 여기서 행성표토란 행성표면의 부드러운 토양을 의미하며, 달의 경우 미세운석 충돌로 인해 잘게 부수어져 표토가 생성되었으며, 지구와 달리 물리적 풍화현상을 겪지 않아 매우 날카로운 입자 형상을 유지하고 있다. 더불어 태양풍이 대기의 방해 없이 달 표면에 도달하여 월면토를 대전시키고 이로 인해 탐사장비에 월면토가 접착되어 장비를 마모시키고 열화시킬 수 있다.

[그림 2] The grain size distribution of sample 15290 returned by Apollo 15 mission

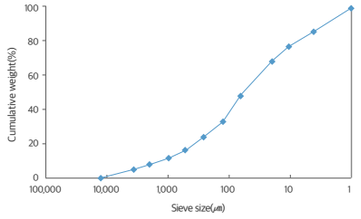


그림 2는 Apollo 15 미션에서 해들리 열구로부터 가져온 15290 월면토 샘플에 대한 입경분포이다. 월면토는 미세한 운석충돌로 인해 잘게 쪼개진 형태로 존재하며, 평균 입경이 50~160 μm로 매우 곱고 입경이 작다. 월면토의 성분은 그 기원이 달의 저지대(Mare)와 고원지대(Highland)에 따라 다르고, 저지대의 표토는 다시 티타늄의 함량에 따라 High-Ti Mare와 Low-Ti Mare로 나뉜다. 표 1은 이 세 구분에 따른 월면토의 성분비를 나타냈다(National Aeronautics and Space Administration, 2012). 저지대와 고원지대의 지반성분의 가장 큰 차이점은 사장석(Anorthite, $CaAl_2Si_2O_8$)으로 인한 Al_2O_3의 성분량이다. 따라서 Al_2O_3의 함량이 월면토의 기원 지표로서 제안되었다. 또한, 고원지대의 표토 성분은 저지대에 비해 철의 함량이 적다.

[표 1] The main compositions of lunar regolith(NASA, 2012)

	Missions	Chemical Compositions (wt.%)									
		SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
Low-Ti Mare	Apollo 12	41.0	2.6	16.0	16.0	0.23	11.0	11.5	0.54	0.39	-
Highland	Apollo 16	44.7	0.54	27.1	5.1	0.06	5.9	16.0	0.45	0.13	0.1
High-Ti Mare	Apollo 15	41.5	7.58	13.2	15.8	0.2	7.8	12.1	0.4	0.1	0.1

03 달 현지 자원 활용 기술 및 향후 과제

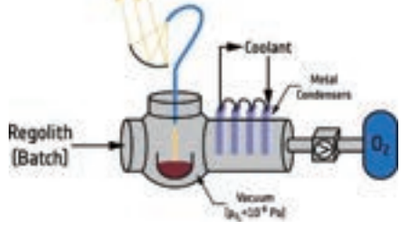
3.1 자원 추출

물과 산소는 인류가 생존하는데 필수적이며 수소는 추진체의 연료로 사용 가능하다. 그렇기 때문에 이들을 확보하는 것은 매우 중요하다. 현재 달 기지 건설에 최우선시 되는 후보 장소는 달의 극지방과 영구 음영지역이다. 이곳에는 물이 얼음 및 수산화기(-OH)형태로 풍부하게 존재하여 우주인들의 활동지원에 큰 이점이 있다. 현재 달에서 물을 추출하는 방법으로는 물이 포함된 광석을 가열하여 기화된 물을 포집 하는 방법과 산화금속에 수소를 가해 물을 화학적으로 제조하는 방법이 논의되고 있다. 가열법은 얼음을 포집하기 위한 온도가 150℃정도이지만, 수산화기 형태로 분자에 결합된 물을 포집하기 위해서는 약 250℃가 필요하다. 이 과정에서 많은 불순물들이 발생하기 때문에 이에 대한 정제가 필요하다.

산소 및 수소는 물로부터 전기분해를 통해 쉽게 추출할 수 있다. 이를 활용하여 산소 및 수소를 얻는데 필요한 에너지는 6.0 ~ 9.0 kWh/kg으로 예상된다. 이 방법은 쉽고 편리하지만 채굴 및 처리과정이 복잡한 단점이 있다. 반응성 가스(수소, 메탄, 황산 등)을 활용하여 환원 및 치환을 통해 산소를 추출하는 방법이 있다. 특히, 일메나이트($FeTiO_3$)에 수소를 가하여 물을 얻고 이를 전기분해 하는 방법이 많은 연구가 이루어지고 있다. 수소 환원법은 금속(Fe, TiO_2)을 동시에 얻을 수 있다는 장점이 있지만 효율이 일메나이트 함량에 따라 크게 좌우되고 원재료에 황이 존재할 경우 황화수소로 용출되어 정제과정이 추가로 필요하다는 단점이 존재한다. 탄소환원법은 메탄을 활용하여 각종 광석에서 산화규소 및 산화철 등을 환원시켜 산소를 추출하는 방법으로 대부분의 월석 및 월면토로부터 산소와 수소를 추출할 수 있지만, 약 1,625℃의 높은 온도를 필요로 한다. 황산환원법은 일메나이트에 뜨거운 황산을 반응시키고 이를 물로 희석시킨 후 여과하고 전기 분해하여 철과 산소를 얻을 수 있으나, 공정이 매우 복잡하고 산소 수율이 낮다. 마지막으로 증기상 열분해법이 있다[그림 3]. 이 기술은 진공에서 표토를 매우 높은 온도로 가열(약 2,500℃)하여 기화와 동시에 산화금속에서 산소가 분리되는 현상을 이용한 방법이다. 이 기술은 산소를 얻기 위해 오로지 에너지와 월면토만 필요하고 동시에 금속을 생산할 수 있는 장점이 있지만, 산소를 생산하기 위한 에너지가 약 40.0 kWh/kg으로 높다는 단점이 있다.

달에서 산소를 추출하는 기술은 많이 진보되어, 2021년 미항공우주국에서 태양열을 활용하여 연간 약 7 tons 이상을 생산할 수 있는 구체적인 방안이 제시된 바 있다. 하지만 지속가능한 탐사를 위해서는 연간 10 tons의 산소가 필요하며, 제시된 방안은 이상적인 상황을 가정하였기에 목표에는 도달하지 못했다. 이 외에도 현재 필요 자원에 대한 다양한 추출 및 생산공정이 연구되고 있으나, 아직 필요한 효율에는 도달하지 못하였으며, 계속해서 다양한 방안이 제시되고 있다. 또한, 환원법의 경우 공정에 필요한 원소들의 조달방법에 대한 구체적인 방안이 필요하다.

[그림 3] Schematics of the vapor phase pyrolysis from lunar regolith



3.2 건설 재료

앞에서 소개한 현지자원활용 기술을 구현하는 것만이 아니라 향후 달의 자원을 채굴하여 지구로 반환하기 위해서는 장비들을 보호해줄 방호벽이 존재해야 하고 운용하기 위한 인원이 거주할 수 있는 공간이 필요하다. 따라서, 이를 위한 전초기지 건설이 필요하다. 달로 지구의 물질을 수송하기 위해서는 많은 비용이 소모된다. 건설을 위한 자재들은 매우 무겁기 때문에 지구에서 건설자재를 옮겨 달에 설치하는 것은 불가능에 가깝다. 따라서, 현지자원을 활용하여 달 기지를 건설하는 기술이 필요하다.

칼슘과 알루미늄은 월석 및 월면토에도 풍부하다. 따라서 월석 및 월면토를 활용하여 시멘트 조정물을 추출하고 콘크리트를 제조하는 아이디어 이미 오래 전부터 제시되어 왔다. 해당 방법은 현재 지구에서 사용중인 콘크리트와 비슷하여 강도가 높지만 물의 증발을 막기 위한 가압 챔버가 필요하고 높은 에너지를 필요로 한다는 단점이 있다.

낮은 황의 녹는점을 활용하여 황 콘크리트를 제조하는 방법이 제안되어져 현재까지도 연구가 이루어지고 있다. 이는 월면토와 황을 섞고 가열하여 황이 녹도록 유도한 후, 이를 바인더로 활용하는 방법이다.

그러나 황 콘크리트 역시 진공에서 제조가 불가능하므로 가압 챔버가 별도로 필요하다. 그리고 제조된 황 콘크리트는 진공에 노출되면 시간이 지날수록 황이 기화되어 빠져나가며 질량손실 및 기공생성의 문제가 발생한다.

고분자 폴리머를 바인더로 월면토와 섞어 제조하는 고분자 콘크리트도 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 이는 제조가 간단하고 방사선 차폐능이 뛰어나며 인장강도가 높다. 그러나 달 현지에서 폴리머를 제조하는 것은 불가능하므로 지구에서 달로 폴리머를 수송해야 하는 문제가 발생한다.

하지만 이런 다양한 달 현지자원활용 건설기술에도 불구하고 대부분의 기술들이 물질의 승화를 막기 위해 가압챔버가 필요하거나 일부 물질은 지구로부터 옮겨야 하는 단점이 있어, 달에서 바로 적용하기 힘들다. 이에 대한 대안으로 월면토를 소결하여 건설재료를 제조하는 방법이 있다. 소결은 진공에서는 액상의 물질이 존재하기 극히 어렵기 때문에 고체상을 유지하며 재료를 고형화 시키는 방안이다. 따라서, 물질의 승화를 방지할 수 있어 가압챔버가 필요 없으며 월면토만을 활용하기 때문에 지구로부터 건설재료를 수송할 필요가 없다. 이 소결기술 구현을 위해 다양한 방법이 제시되고 있는데, 방사열/태양열/스파크 플라즈마/레이저/마이크로파 소결 기술 등이 연구되고 있다.

방사열을 활용한 소결(Conventional Sintering)은 방사열로(Furnace)에서 소결체를 제작하는 방법으로 온도 변화 속도 조절이 쉽고 공정이 간단한 장점이 있는 반면 많은 에너지를 필요로 한다. 태양열 소결은 태양열을 모아 그 에너지로 월면토를 소결하는 기술로 3D 프린팅 방식을 활용한다. 이 기술은 형상제조가 자유롭고 플랫폼이 충분할 경우 대규모 건설에도 쉽게 활용이 가능하지만, 현재 이 기술로 제조된 블록의 강도가 약하다.

[표 2] Lunar development technology comparison

Nations	Technologies	TRL Class	Notes	Details
USA	Lunar explorer	TRL 9	Apollo/Artemis Missions	Lunar manned exploration
	Resources extraction	TRL 5~6	Sanders, 2018; Schlüter and Cowley, 2020; Linne et al., 2021.	Production of 10 tons of oxygen per year Demonstration of ISRU with 6 m diameter chamber for Mars
	Construction material	TRL 5	Clinton Jr, 2022	Demonstration of construction material from lunar soil in a zero-gravity environment at ISS
China	Lunar explorer	TRL 9	Chang'E Missions	Robor exploration Lunar soil return
	Resources extraction	TRL 5	Shi et al., 2022	Extraction of oxygen from lunar soil through melt electrolysis of CaCl2 in an electrolytic bath
	Construction material	TRL 3	Ding et al., 2018	Laser sintering with 3D printer
Europe	Lunar explorer	-	-	-
	Resources extraction	TRL 4	ISECG, 2021	Research is in progress to extract oxygen and metals from lunar soil
	Construction material	TRL 5	Fateri et al., 2019	Solar sintering with 3D-printer
Korea	Lunar explorer	-	Danuri Mission	Lunar orbital exploration
	Resources extraction	TRL 2	김정수 등, 2013	Research on methane/oxygen binary liquid propellants
	Construction material	TRL 4	Kim et al., 2021	Microwave sintering
Russia	Lunar explorer	TRL 9	LUNA Missions	Lunar exploration
	Resources extraction	-	-	-
	Construction material	-	-	-

스파크 플라즈마 소결 기술은 강력한 전력을 바탕으로 월면토에 스파크 플라즈마를 발생시켜 소결체를 얻는 방식이다. 이 기술은 높은 강도의 소결체를 얻을 수 있지만, 아직 소결체의 크기가 매우 작고 크기를 키우기가 어려워 보다 많은 연구가 필요하다. 레이저 소결은 태양열 소결과 비슷하게 3D 프린팅 방식으로 건설재료를 제조하지만, 에너지원이 레이저인 기술이다. 마이크로파 소결 기술은 마이크로파를 활용하여 소결체를 얻는 기술로 제조된 소결체의 강도가 높고 제조가 간편하다는 장점이 있지만, 소결체의 특정 지점에서 온도가 급상승하여 균질성을 저해하는 열폭주(Thermal runaway)를 제어할 필요가 있다.

다른 한편으로, 이러한 건설재료의 경우, 지구에서 활용하는 것처럼 강도를 중점적으로 평가하는 것 보다 방사능 차폐, 운석충돌 보호 등 다양한 평가지표를 통해 연구가 수행되어야 한다.

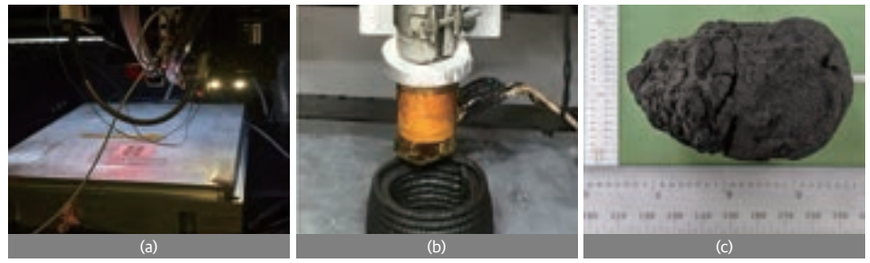
04 기술 현황

4.1 국제 현황

표 2는 현재 각 선진국의 우주개발 및 ISRU 현황을 나타냈다. 미항공우주국은 향후 인류를 달에 거주시키고 달에 대한 개발을 실시하고자 현재 아르테미스 계획을 활발히 추진 중이다. 이를 위해 1990년대에 화성에서 사용할 현지자원활용 산소생산 기술을 지구에서 시연하였으며, 2010년대에 수소 및 메탄을 활용한 환원법을 통해 산소 현지 생산 기술이 TRL 5에 도달하였다.

물과 수소를 생산할 수 있는 시스템도 이미 2018년에 TRL 5에 도달한 것으로 평가되었으며, 연간 10톤 분량의 산소와 물을 생산할 수 있는 월면 공장에 대한 구상을 내놓아 현재는 TRL 6에 도달한 것으로 판단된다. 또한, 직경 6 m의 화성 환경 모사 챔버를 제작하여 현지자원활용 기술을 실증하고 있다.

[그림 4] (a) Lase sintering machine, (b) Regolith/Polymer 3D printer, and (c) Block synthesized by microwave sintering



건설기술에 있어서는 이미 국제우주정거장(International Space Station; ISS)에서 인공월면토를 활용하여 각종 소결기술을 통한 건설재료제조 기술과 폴리머 바인더와 월면토를 섞어 건설재료를 제조하는 기술을 활발히 연구 중이다[그림 4(a,b)]. 특히, 소결 기술을 활발히 연구 중이며, 마이크로파 소결을 통해 건설재료를 생산하는 기술을 적극적으로 연구 중이며[그림 4(c)], 충분히 건설재료로 활용 가능한 큰 사이즈의 소결체를 제조하기 위하여 노력 중이다. 이와 별개로 NASA는 인류의 거주공간 및 장비 격납고/창고를 건설하기 위한 개념설계 방안을 지속적으로 연구 중에 있으며, 시공방안에 대해서도 고민 중에 있다[그림 5(a)].

중국은 2004년 Chang'E 프로젝트를 발족하여 2030년까지 달에 기지를 건설할 예정이다(Hong and Shin, 2018). 이에 레이저 소결기술을 활용한 3D 프린팅 방식이 연구되고 있으며, 제조된 건설블록을 계획대로 로봇팔이 달에서 적조하는 기술을 활발하게 연구 중에 있다. 더불어 Chang'E-5 미션에서 $CaCl_2$

[그림 5] Construction method on the moon (a) using laser sintering technology and (b) with sintered blocks

(a) (b)

를 전해조에서 용융 전기분해법을 통해 월면토로부터 산소를 직접 분리해내는데 성공하였다. Chang'E-5에서 시행된 산소추출법은 $CaCl_2$ 전해조에서 월면토를 용융 전기분해하여 CO_2를 생산한 뒤, 이를 다시 전기분해하여 산소를 얻었다. 또한, 차후 미션을 통해 달의 극지에 착륙하여 극지 월면토 샘플의 구성성분을 분석할 예정이다.

유럽에서는 2016년에 달과 화성에 기지를 세우고 우주개발을 위한 중간기지로서 활용할 예정이며, 유럽우주국의 PROSPECT 프로젝트를 통해 달 극지에서 월면토를 채취하고 분석할 예정이며 이를 통해 극지 자원을 확인할 것이다. 동시에 수소 환원 반응을 실증할 예정이다. 더불어 ISRU-DM 프로젝트를 통해 월면토로부터 산소 및 금속을 추출하기 위한 연구가 진행되고 있다. 인류가 거주할 수 있는 기지를 건설하기 위해 태양열 소결 기술을 활용한 건설재료제조 기술을 활발하게 연구 중이며, 240 mm×120 mm×50 mm 크기의 블록제조에 성공하였으며 그 외에도 다양한 형상의 블록을 제조하는데 성공하는 고무적인 성과를 냈다. 또한, 만들어진 월면토 소결블록을 활용하여 달 기지를 짓기 위한 공법 연구도 진행 중이다[그림 5(b)].

또 하나의 전통적인 우주기술 강국인 러시아도 LUNA 프로젝트를 통해 착륙선과 궤도선을 달에 보내고 여러 탐사 기술을 실증할 예정이다. 더불어 유럽우주국의 PROSPECT 프로젝트와 연계하여 LUNA 27호를 달 극지에 보내 향후 인류 거주를 위한 자원탐사를 시행할 계획이다.

4.2 국내 현황

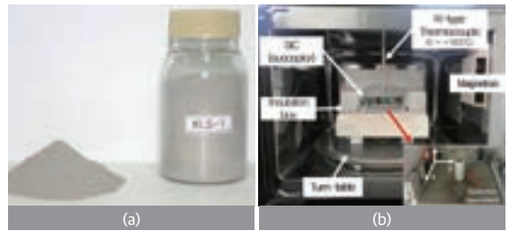
2022년 나로호 발사가 성공하고, 달 탐사 궤도선 다누리를 달로 쏘아 보냈다. 이 다누리에는 달 착륙지 후보 탐색을 위한 고해상도 카메라, 우주인터넷 시험장비, 달 표면 자원 탐사를 위한 감마선 분광기, 달의 생성 원인 연구를 위한 자기장 측정기 등 다양한 측정장비가 장착되어 있다. 하지만 여전히 우리나라는 우주개발경쟁의 후발주자로서 많은 우주 관련 기술 연구 및 그 기반이 부족하다. 또한, 현재 대부분의 연구 인력은 우주 발사체 및 달 탐사선 개발에 치우쳐 있다. 특히 산업계에서는 아직 이익 창출이 어려운, 달 자원 활용 투자에 소극적이다. 하지만 최근 한화 에어로스페이스가 6개의 국내 정부출연연구원과 협약을 맺고 현지자원활용을 위한 플랜트 구축을 위한 현지자원활용 기술에 대한 연구를 수행 중이다.

학계에서도 ISRU에 대한 연구가 진행되고 있다. 한양대학교에서는 폴리머 바인더에 월면토를 혼입한 건설재료를 이용하여 3D 프린팅 기술로 달 기지 건설에 관한 연구를 진행하고 있다. 부경대학교에서는 ISRU로 생산 가능한 메탄/산소 이원액체추진제에 관한 연구를 수행 중이다.

한국지질자원연구원은 우주자원개발센터를 신설하여 NASA와 협력을 하고 있으며, 2022년 발사한 달 궤도선 다누리에는 한국지질자원연구원에서 개발한 감마선 분광기(KPLO Gamma-Ray Spectrometer)가 장비되어 있다. 감마선 분광기는 달의 원소 및 자원 분포를 확인하는 임무를 갖고 있다. 이는 달 탐사의 1차 목표가 자원 채굴이므로, 다누리로부터 얻은 정보는 달 착륙지 선정, 달 개발 우선순위 등에 유용하게 활용 가능하다. 더불어 지오폴리머를 활용한 달 건설재료에 대한 연구도 진행하고 있다. 또한, 한국항공우주연구원에서 개발한 고해상도 카메라 LUTI(Lunar Terrain Imager)가 다누리에 장착되어 착륙 후보지를 촬영할 예정이며, 수전해 산소발생기, 플라즈마 공기정화 장치 등, 우주인의 생명 유지장치에 관한 기초적인 연구를 수행하고 있다.

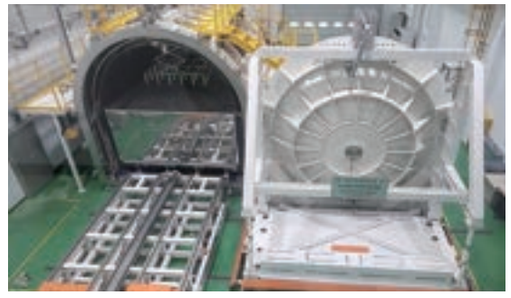
한국건설기술연구원에서는 달 탐사를 위한 전초기지 건설을 위해 지반탐사 및 건설에 관한 연구가 진행중이다. 특히, 지반탐사 미션을 수행하기 위하여 대량생산 가능한 인공월면토인 KLS-1[그림 6(a)]을 개발하여 공학적 목적으로 활용하고 있고, 50m^3 크기로 세계최대 크기이며 유일하게 월면토와 같은 미세입자를 넣고 가동할 수 있어 달과 유사한 환경을 모사할 수 있도록 설계된 대형 진공챔버(Dirty Thermal Vacuum Chamber)를 구축하여 운용 중이다[그림 7]. 지반탐사는 자원의 분포를 확인하고 채굴하는데 매우 중요한 정보를 제공한다. 또한, 한국건설기술연구원은 KLS-1을 이용하여 월면토와 마이크로파 소결기술을 활용한 건설재료 제조기술을 개발 중에 있다[그림 6(b)]. 더불어 태양열 소결기술 기반의 소결체 제작에 관한 연구도 진행 중이다[그림 8]. 한국건설기술연구원에서 개발 중인 시추장비는 모든 지반을 한 종의 비트로 채굴 가능하도록 제조되었으며, 저반력으로 채굴이 가능하도록 하여 달 지반탐사에 적합하게 개발되고 있다. 마이크로파를 활용한 건설재료 제조 기술은 현재 일반 콘크리트 강도(약 24 MPa 이상)를 확보하였으며, 기존에 국제적으로 연구되어 온 마이크로파로 제조한 소결체 중 가장 균질하게 최대크기로 제조할 수 있는 기술을 갖추었다. 태양열 소결 기술에서 자연광을 활용한 소결체 획득에 성공하였으

[그림 6] (a) KLS-1(Ryu et al., 2018) and (b) Blocks synthesized by microwave sintering from KLS-1

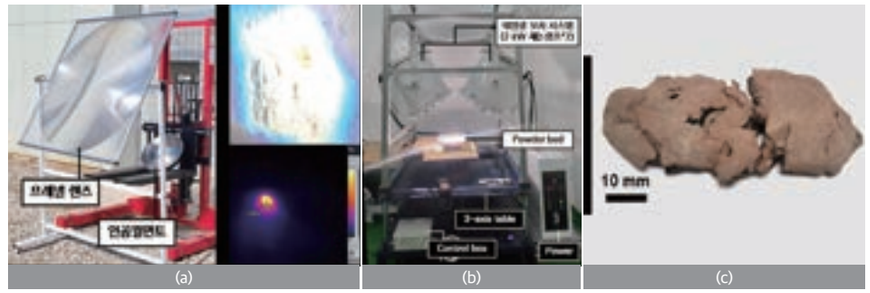


(a) (b)

[그림 7] Dirty thermal vacuum chamber in Korea institute of civil and building technology



[그림 8] (a) Solar sintering with the Solar light, (b) The artificial sunlight sintering machine, and (c) Sintered material from KLS-1 by Solar sintering



(a) (b) (c)

나, 대기현상으로 인해 균일한 에너지 조사가 어려워 인공태양광 시스템 및 3D 프린터를 구축하여 실험을 진행하고 있다. 또한, 한국건설기술연구원과 한국과학기술원이 협력하여 달에 거주공간을 구축하기 위한 연구가 진행 중에 있다.

05 결론

본 고에서는 달에서 인류활동을 지원하기 위한 현지자원활용 기술에 대하여 서술하였다. 달에는 물을 포함한 많은 자원이 존재하여 현지자원활용 기술을 통해 인류를 상주시키는 것이 가능하다. 또한, 현재까지 기술적 진보를 통하여 현지자원활용 기술의 기초적인 기반을 갖추었다. 물, 산소, 수소, 금속 등을 달 지반에서 추출하기 위한 기술들이 제시되고 실험에 성공하였으며, 건설 기술 역시 막대한 자재를 지구로부터 수송하지 않고 달 기지를 건설하기 위한 방법이 제안되었다. 동시에 미세중력 하에서 식물 재배에도 성공했다. 하지만 자원 추출기술은 여전히 목표하는 효율에 도달하지 못하였고, 건설 기술 역시 대규모로 건설 자재를 만들어내지는 못하고 있다. 따라서 향후 자원 추출기술의 효율을 높이고 건설자재를 대규모로 제작하거나 건설 자체를 3D 프린팅 기술을 통해 수행하는 방법이 연구될 것으로 보인다.

또한, 현지자원활용 기술은 달에서뿐 아니라 향후 개발하게 될 화성 등의 다양한 행성에서도 유용하게 활용될 기술이다. 따라서, 향후 달 기지를 전초기지로 하여 시작될 우주개발 경쟁에 있어 필수적으로 선점해야 할 기술이므로, 정부 차원에서도 활발한 지원이 필요할 것으로 보인다.

※ 참고문헌

01. Hong, S. and Shin, H.S. (2018), Trend Analysis of Lunar Exploration Missions for Lunar Base Construction. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 7, pp. 144-152.
02. ISECG (2021), In-Situ Resource Utilization Gap Assessment Report, research report, USA, pp. 1-124.
03. Ju, G. (2016), Development Status of Domestic & Overseas Space Exploration & Associated Technology. Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 44, No. 8, pp. 741-757.
04. Kim, J.S., Jung, H., and Kim, J.H. (2013), State of the Art in the Development of Methane/Oxygen Liquid-bipropellant Rocket Engine, Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 17, No. 6, pp. 120-130.
05. Leonard David (2016), Moon village' planned by European Space Agency, Space.com.
06. Li, C., Wang, C., Wei, Y., and Lin, Y. (2019), China's present and future lunar exploration program, Science, Vol. 365, No. 6450, pp. 238-239.
07. Linne, D.L., Sanders, G.B., Starr, S.O., Eisenman, D.J., Suzuki, N.H., Anderson, M.S., O'Malley, T.F., and Araghi, K.R. (2017), Overview of NASA technology development for In-Situ resource utilization (ISRU), Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, pp. 10372-10381.
08. National Aeronautics and Space Administration (2012), The Lunar Sample Compendium, National Aeronautics and Space Administration. Available at: https://curator.jsc.nasa.gov/lunar/lsc/.
09. NASA Public Affairs Office. (1969), Apollo 11 Press Kit.
10. Ryu, B.H. (2022b), Research Trend and Engineering Approach on Extraterrestrial Soil Sampling Technology. Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 23, No. 7, pp. 11-20.
11. Sanders, G.B. (2018), Overview of past lunar in situ resource utilization (ISRU) development by NASA, in European Space Agency (ESA) Workshop: Towards the Use of Lunar Resources.
12. Schlüter, L. and Cowley, A. (2020), Review of techniques for In-Situ oxygen extraction on the moon, Planetary and Space Science, Vol. 181, No. April 2019, pp. 104753.
13. 한국건설기술연구원 (2021), 극한건설 환경구현 인프라 및 TRL6 이상급 극한건설 핵심기술 개발 (VI), 건기연 21-074, 연구보고서.

특집기획

CFRP(탄소섬유복합재) 긴장재 활용 기술 소개

글 정우태 / 한국건설기술연구원 구조연구본부 연구위원
전화 031-910-0580 **E-mail** woody@kict.re.kr

01 서론

기후변화에 따른 지구 온난화는 전 세계적 문제로, 이를 극복하기 위해 각국에서는 온실가스 배출에 대한 지속적인 관리와 책임을 이행하려는 노력을 하고 있다. 온실가스의 90% 이상은 이산화탄소이며 우리나라의 탄소 배출량은 전세계에서 9위(2020년 기준)로 상위를 기록하고 있다.❶ 따라서 정부는 2050년까지 탄소순배출량 0을 목표로 탄소중립을 선언하고 2050 탄소중립 시나리오를 수립 중이다.❷

산업부문은 국가 온실가스 총배출량의 약 37%를 차지하고 있으며, 여기에서 생산되는 철강과 시멘트는 건설분야에서 중요한 건설자재로 활용되고 있다.❸ 건설분야에서 정부의 탄소중립정책에 이바지하기 위해서는 탄소배출 저감형 건설자재를 사용하거나 새로운 설계 및 시공을 통해 시설물을 장수명화하는 방안이 있을 것이다.

대부분의 건설 구조물은 철근과 콘크리트로 이루어져 있다. 구조물은 시간이 경과함에 따라 노후화되고 주기적인 유지관리를 통해 수명을 연장해 가고 있다. 도로교량 1,321개, 철도시설 531개, 공항건축물 57개, 취수탑 8개 등의 유지관리예산은 2016년 541억 원에서 2017년 1,712억 원으로 216% 증액되었고, 교량 등 주요 SOC 시설물의 유지관리 시장은 확대될 전망이며, 2030년 준공 후 30년 이상된 시설물은 전체의 44.3% 달할 것으로 예상된다. 2019년 말 기준 30년 이상된 도로는 전체의 50.7%, 2017년 기준 30년 이상된 철도, 교량, 터널은 전체의 38.6%로 나타났다.❹❺

노후된 건설 구조물은 철근, 긴장재(강연선) 등의 강재로 된 건설자재의 부식으로 성능이 저하된다. 긴장재의 부식문제를 살펴보면, 서울 내부순환로 정릉천고가의 결함 원인이 교량을 받치고 있는 긴장재의 부식 때문이며, 현재 긴장재의 응력상태를 확인할 수 있는 실용기술이 거의 없는 것으로 나타났다. 정릉천고가는 준공 이후 초기점검 1회, 정밀점검 6회, 정밀안전진단 2회를 실시했지만 긴장재 내부에 대한 조사 · 점검은 이뤄지지 않았고 긴장재에 대한 유지관리 지침도 없는 것으로 나타났다.❻ 대만 Nanfangao 아치교는 케이블 파단으로 붕괴되었는데, 전문가들은 피로와 바닷가 염분에 의한 긴장재(케이블) 부식을 의심하였다.❼ 이렇듯, 노후 시설물에 대한 수명연장과 안전에 대한 원천기술 확보가 필요하며, 특히 긴장재의 부식을 방지할 수 있는 비부식 특성과 추가적인 부착센서 없이 재료자체에 계측 기능이 있는 신개념 재료 개발 필요하다.

❶ KBS NEWS, '"개도국 피해"…우리나라, 기후 불평등 위치와 책임은?', 2022.11.08.
❷ 탄소중립위원회(관계부처 합동), 2050 탄소중립 시나리오안, 2021.10.18
❸ 대한민국정부, 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략, 2020
❹ News1, '교통사고 사망자 3천명대까지 감축한다…내진보강도 강화', 2017.01.05
❺ 국토일보, '"2030년 30년 이상 노후 시설물 전체 44.3%…노후 인프라, 새 투자 방안 마련 시급하다"', 2021.05.13
❻ 헤럴드경제, '"정릉천고가 결함은 강연선 부식 탓"…설계~관리 문제투성이' 2016.10.27.
❼ AFP, '台湾で橋崩落 12人負傷、6人が下敷きになった可能性', 2019.10.01

탄소배출을 많이 하는 건설자재인 강재의 부식문제를 원천적으로 해결하기 위해 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer, 이하 CFRP(탄소섬유복합재))를 활용하여 건설자재를 대체하는 노력들이 진행되고 있다. 탄소섬유복합재에 사용되는 탄소섬유는 고강도, 고탄성 소재로서 항공기, 우주 왕복선 등에 핵심소재로 활용되고 있으나 고가의 소재인 관계로 건설 분야에서는 거의 활용되지 못하고 있는 실정이다. 국내에서는 2011년부터 탄소밸리 구축사업을 통해 전주에 탄소특화 국가산업단지, 첨단벤처단지 등을 조성하였고, 탄소섬유 국산화 기술개발에 성공했다. 2018년 일본은 탄소섬유를 수출규제대상에 포함시킴에 따라 정부는 탄소섬유 국산화 및 지원 정책을 장려하였고, 효성은 탄소섬유의 일본 의존을 줄이기 위해 2028년까지 탄소섬유 산업에 총 1조원을 투자해 현재 2,000톤인 생산규모를 12배 확대하기로 하였다.

탄소섬유 시장은 연평균 11% 규모로 성장하고 있으며, 일본기업이 전세계 시장의 50% 이상 공급하고 있다. 일본은 건설분야에서도 정부의 지원을 받아 보강재 및 긴장재를 상용화하고 있으며, 유럽 및 미국도 건설분야에 탄소섬유복합재를 활용하려는 노력이 이어지고 있다.

이 글은 탄소섬유복합재의 이해를 돕고 건설분야 활용 가능성에 대한 내용으로 한국건설기술연구원에서 수행된 탄소섬유복합재(긴장재)관련 연구에 대해 소개한다. 탄소섬유복합재가 처음 건설분야에 도입된 보강분야의 공법개발과 현재 수행하고 있는 고기능성 케이블 개발, 마지막으로 탄소섬유복합재의 향후 활용 방안에 대해 서술하였다.

02
탄소섬유 복합재(CFRP)

2.1 복합재료

복합재료(Composite Materials)란 성분이나 형태가 다른 두 종류 이상의 소재가 거시적으로 조합되어 유효한 기능을 갖는 재료를 일컫는다. 섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Polymer Composites, FRP 복합재료)는 보강섬유(Reinforcing Fiber)와 결합재(Matrix)를 조합시킨 복합재료로서 [표 1]과 같은 특징이 있다.

복합재료에 사용되는 보강섬유로는 유리섬유(Glass Fiber), 아라미드섬유(Aramid Fiber), 탄소섬유(Carbon Fiber) 등이 주로 이용되며, 용도에 따라 연속섬유, 단섬유, 분말섬유 형태로 사용된다. FRP 긴장재 또는 보강근 용도로는 연속섬유가 이용된다. 결합재로는 에폭시 또는 불포화 폴리에스테르 등과 같은 열경화성 수지 또는 포화 폴리에스테르와 같은 열가소성 수지가 이용된다([그림 1]).

건설분야에서 복합재료를 긴장재로 활용하기 위해서는 높은 하중수준을 지속적으로 견뎌야 하기 때문에 역학특성 및 내구성능이 좋은 탄소섬유가 주로 활용되고 있다([표 2]).

[표 1] 복합재료 장단점[8]

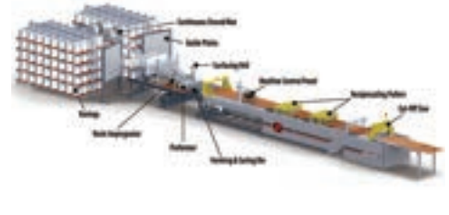
장점	단점
- 경량성 - 높은 비강도(high strength-to-weight ratio) - 높은 비강성(high modulus-to-weight ratio) - 내부식성, 내후성, 비자성, 낮은 열전도성 - 유연성(특정 방향, 부위의 강도 조절 가능) - 치수 안정성, 저유지관리, 고내구성	- 저탄성계수 - 항복점 없는 취성 파괴 - 낮은 횡방향 강도 - 가격 고가 - Stress-rupture (유리, 아라미드섬유)

[표 2] FRP 긴장재의 역학특성

구 분	철근	PS 강연선	GFRP 보강근	CFRP 긴장재	AFRP 긴장재
밀도 (g/cm³)	7.9	7.9	1.25 ~ 2.10	1.50 ~ 1.60	1.25 ~ 1.40
항복응력 (MPa)	276 ~ 517	1350	N/A	N/A	N/A
인장강도 (MPa)	490	1800	483 ~ 1600	1900 ~ 3690	1400 ~ 1800
탄성계수 (Gpa)	210	210	35 ~ 51	130 ~ 150	50 ~ 70
항복변형률 (%)	1.4 ~ 2.5	0.7 ~ 1.0	N/A	N/A	N/A
파단변형률 (%)	6.0 ~ 12.0	6.0	1.2 ~ 3.1	0.5 ~ 1.7	2.0 ~ 4.0
릴렉세이션율 (%)	-	0.7 ~ 2.0	-	1.5 ~ 3.0	5 ~ 15
종온도팽창계수 (x 10-6/℃)	11.7	11.7	6 ~ 10	0.6	-5 ~ -2
횡온도팽창계수	11.7	11.7	21 ~ 23	22 ~ 23	60 ~ 80

[그림 1] 다양한 형상의 복합재료[9]

[그림 2] 펄투르전 방식 개요도[9]



2.2 탄소복합재 생산

복합재료 생산 방식은 RTM(Resin Transfer Molding), 압축성형, 필라멘트 와인딩, 펄트루전 등으로 다양하다. 이중 펄트루전 방식은 섬유의 직진성을 높여 생산하기 때문에 복합재의 성능을 향상시킬 수 있어서 길이방향으로 긴 철근이나 긴장재 생산이 유리하다.

펄투르전 방식은 [그림 2]와 같다. 다수의 탄소섬유 로빙(Rovings)은 가이드 플레이트를 지나 수지에 함침되며 이후 금형을 통과하면서 단면이 형성된다. 이후 가열을 통해 경화되고 마지막으로 운반에 적합한 길이로 절단하여 생산된다. 탄소복합재의 단면은 금형에 따라 결정되는데 대부분 판형이나 봉형으로 생산되며, 봉형의 경우, 생산업체의 기술력에 따라 다양한 모양의 피복을 만들 수 있다([그림 3]).

2.3 탄소복합재 개발 및 활용 과정

탄소복합재는 새로운 건설 재료이다. 새로운 재료를 현장에 활용하기 위해서는 재료의 장단기 물성파악과 활용분야에 맞는 성능평가를 거쳐야 한다. 새로운 건설 재료는 활용목적에 적합한 목표 물성을 달성하기 위해 섬유와 수지를 선택하고 섬유 함유량을 목표에 맞게 설계하여 생산해야 한다. 이렇게 생산된 탄소복합재는 인장, 전단, 부착 등 다양한 단기성능과 크리프, 피로, 릴랙세이션과 같은 장기성능 실험을 수행하여 안전성을 확보한다. 재료실험을 통해 다양한 데이터가 확보되면 활용분야에 맞게 구조실험을 수행하여 성능 및 시공성을 검증한 후 현장에 적용한다([그림 4]).

[8] 국토해양부, 사장교용 FRP 케이블 시스템 기초 연구, 2011.03
[9] https://slideplayer.com/slide/232985/
[10] https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16402

[그림 3] 국내 생산 CFRP 긴장재

[그림 4] FRP 개발 과정 및 활용

03
보강분야 활용

3.1 국내외 기존 보강공법

콘크리트 구조물의 성능향상에 사용되는 보강공법은 일반적으로 치환공법, 단면증설공법, 부재추가공법, 지점추가공법, 부착공법, 긴장보강공법 등으로 분류할 수 있다. 치환공법은 손상된 부재를 새로운 부재로 교체하는 공법이며, 단면증설공법은 노후화된 표면 콘크리트를 제거하고 새로운 콘크리트로 대체하는 공법으로서 주로 슬래브, 벽체 등에 적용된다. 부재추가공법은 기존 주형들 사이에 새로운 주형을 추가하여 성능을 향상시키는 공법이며, 지점추가공법은 교각 사이에 새로운 교각을 추가함으로써 경간 길이를 짧게 하여 내하성능을 향상시키는 공법이다. 부착공법은 콘크리트 면에 강재 또는 Fiber Reinforced Polymer(FRP) 재료를 부착하여 구조물의 성능을 향상시키는 공법으로서 콘크리트 구조물 보강 시 가장 많이 활용되는 공법이며, 이를 응용한 다양한 기술들이 개발되고 있다. 긴장보강공법은 PS 긴장재 또는 FRP 긴장재 등을 긴장하고 정착하는 공법으로 구조물에 상향력을 제공함으로써 내하성능 및 사용성을 개선시킬 수 있는 공법이다. 이 중에서 가장 많이 이용되는 공법은 부착공법과 긴장보강공법이며, 국내에서도 콘크리트 교량의 보강공사 시에 이 공법들이 대부분 적용되고 있다. 대표적인 보강공법들의 연도별 흐름은 [그림 5]와 같다.

1990년대 이후로 FRP 표면매립 보강방법이 도입되었다. 표면매립보강을 제외하면 대부분 보강재는 외부에 노출되기 때문에, 구조물 보강후 화재, 충돌 등 외부로부터 다양한 손상을 받을 수 있다. 표면매립보강은 이러한 단점을 최소화하는 공법으로 보강재를 콘크리트 하단 홈에 매립하는 것으로 보강재를 외부의 직접적인 손상으로부터 보호한다.

표면매립보강은 미리 제작된 홈 안에 보강재를 고강도 에폭시나 그라우트를 사용하여 매립하기 때문에, 강판 또는 탄소섬유 부착보강과는 달리 표면 준비 작업이 필요하지 않다. 표면매립보강의 적용은 콘크리트 덮개에 따라 좌우되며, 표면매립보강에 사용된 보강재는 시공 후에 외부적인 손상으로부터 보호될 수 있다. 콘크리트 구조물을 능동적으로 보강하기 위해서는 외력이 도입되는 긴장보강이 필요하며, 표면매립보강에 긴장력을 도입하는 연구가 진행되고 있다.

[그림 5] 보강공법의 흐름

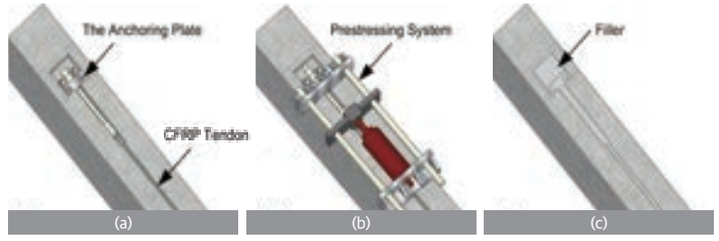
3.2 CFRP 표면매립 긴장보강공법 개발

표면매립 긴장보강을 위해서는 긴장장치가 필요하다. 많은 연구자들이 기존 PSC 구조물의 프리텐션방식과 유사한 방식으로 구조물과 별도로 설치된 반력대를 이용하여 구조물에 긴장력을 도입하였다. 이런 방식은 긴장력을 도입하기는 편리하나, 현장적용 등 실용화에는 적합하지 않은 방식이다. 한국건설기술연구원은 현장적용이 가능한 긴장력 도입 방법을 개발하였는데, 기존 프리텐션방식과 달리 긴장력 도입후에 긴장장치 해체가 가능하기 때문에 보강기간을 단축할 수 있는 장점을 가지고 있는 방법이다([그림 6]).

표면매립 긴장보강공법을 개발하기 위해 다수의 재료실험을 수행하여 CFRP 긴장재 및 정착구 물성을 확보하였다. 그리고 현장적용을 위해 모형시편 실험과 실대형 구조실험으로 보강성능을 파악하고 시공성을 검토하였다. 개발된 공법은 [그림 7]과 같이 실교량에 적용하여 현장적용성을 검증하였다.

표면매립 긴장보강공법의 특징은 비부식 보강재료를 사용하여 부식 문제를 근본적으로 해결하고, 긴장력 도입으로 사용성을 개선하였다. 또한 보강된 긴장재가 구조물의 표면에 매립되기 때문에 교량 하부에서 발생하는 차량 충돌 및 화재로부터 직접적인 손상을 받지 않는다. 표면매립 FRP 긴장 보강 기술을 개발하기 위하여 목표 긴장력을 안전하게 FRP에 도입하고 매립 가능한 크기를 갖는 압착형 정착구 개발, 그리고 긴장력을 보강 구조물에 도입할 수 있는 긴장 시스템 개발이 핵심기술이며, 개발된 기술은 실대형

[그림 6] 표면매립 긴장장시스템 개요 (a) 정착구 설치 (b) 긴장시스템 (c) 충전 및 양생



[그림 7] 표면매립 긴장장시스템 현장 적용

실험 및 현장적용을 통해 성능 검증을 완료하였다. 향후 개발 기술은 DB-18 이하의 교량성능을 DB-24로 개선하고, 성능이 저하된 DB-24 교량을 복원하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

04 센싱 케이블 개발

4.1 기존 긴장재의 문제점

건설분야에 사용되는 긴장재는 PSC (Pre-Stressed Concrete) 거더교량 뿐만 아니라 케이블을 활용하는 사장교나 현수교 등 다양한 구조물에 사용되고 있다. 교량분야에 긴장재를 사용하면서 경간길이를 길게 할 수 있을 뿐만 아니라, 철근콘크리트의 경우 단면을 줄일 수 있는 장점이 있어 긴장재가 적용된 국내교량은 30% 이상이 PSC 거더이다.

[그림 8] 상부구조형식별 교량현황(2020)

[그림 9] 센싱 케이블 연구 개요 (2021~2025)⓫

구조물이 노후화됨에 따라 철근, 강연선(긴장재)의 부식으로 인해 구조물이 붕괴되는 사례가 종종 발생하고 있다. 2016년에 서울 내부순환로 정릉천고가가 긴장재의 부식으로 파단되었고, 2017년에는 평택국제대교 붕괴, 2019년은 대만 아치교 붕괴 등 긴장재의 부식으로 최악의 경우 붕괴로 이어지기 때문에 시설물 대형사고가 우려되고 있는 실정이다. 이러한 긴장재는 시공 이후 적정한 힘을 유지하고 있는지 현재상태를 파악할 수 있는 기술이 미흡하기 때문에 사전관리가 불가하여, 긴장재 파단이나 구조물 붕괴 이후 사후관리만 가능한 실정이다. 또한 향후 노후 시설물이 급증하여 유지관리 시장이 확대될 것으로 예상되기 때문에 고성능 고기능성 건설자재 개발이 필요하다.

4.2 광섬유 센서 내장 탄소섬유 케이블

케이블의 응력을 측정하기 위해 [그림 10]과 같이 케이블 생산시 직경 0.3 mm 광섬유 센서를 케이블 중앙에 매립하여 생산하였다. 광섬유는 중심부에 굴절률 높은 유리 코어, 바깥은 굴절률이 낮은 유리 클래딩으로 구성되어 중심부를 통과하는 빛을 전반사시키는 광학적 섬유로서, 일반적으로 사용하는 변형률 게이지보다 영구적 사용이 가능하고, 전자기 간섭 없고 리드선 처리가 용이한 장점이 있다.

긴장재로 사용되는 탄소섬유 케이블에서는 긴장력 확인을 위하여 변형률을 계측해야 하므로 광케이블의 코어 내부에서 1개의 모드만을 전반사시킬 수 있는 단일모드 광섬유 케이블을 사용하였다.

⓫ 한국건설기술연구원, 탄소기반 고기능성 건설 재료 기술개발, 2021.12

[그림 10] 센싱 개요 및 탄소섬유 케이블

긴장재용 탄소섬유 케이블 제작에 사용되는 FBG(Fiber Bragg Grating) 센서는 국부적인 부분의 변형률을 계측할 수 있는 센서로서 베어(Bare) 상태의 광케이블을 이용하며, 원하는 위치를 지정하여 자외선에 노출시키는 방법으로 제작하였고 또한 정확성과 1kHz이상의 고속측정이 가능하기 때문에 동적계측에도 활용될 수 있는 장점이 있다.

센싱케이블의 계측가능성을 검증하기 위해 인장실험을 수행한 결과, 모든 센싱용 케이블의 파괴모드는 섬유가 한가닥씩 파단되는 형태로 나타났다. 센싱 케이블은 인장강도에 도달할 때까지 선형거동을 보이며 인장하중 240 kN 이상, 인장강도는 약 3,000 MPa 이상, 탄성계수는 170 GPa를 나타냈다([그림 11]). 케이블 외부에 부착한 변형률 게이지의 값과 광섬유 측정값의 차이를 변형률 게이지 측정값으로 나눈 FBG 센싱용 케이블의 오차는 5% 미만으로 나타나 센싱 케이블의 성능을 검증할 수 있었다.

[그림 11] 센싱 케이블 응력-변형률 그래프와 파단 형상

케이블의 성능은 활용분야에 따라 고하중을 요구하기도 한다. 따라서 싱글 정착장치 결과를 바탕으로 3멀티용 및 7멀티용 앵커헤드를 제작하고 각 싱글 정착장치로 제작된 케이블 3개와 7개로 만들어진 멀티 케이블의 인장실험을 수행하였다. 실험결과, 3멀티 시편의 평균하중은 약 740 kN, 7멀티 시편은 평균 약 1,640 kN으로 개별 인장강도의 99% 이상의 성능을 보이므로 높은 하중이 필요한 사장교나 현수교의 케이블로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

[그림 12] 멀티 케이블 시편 및 파단 형상

05
건설분야 활용 및 추진방안

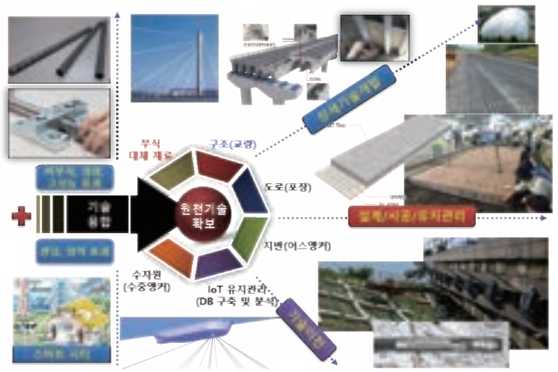
탄소섬유복합재는 항공, 우주, 자동차 분야에서 많이 활용되고 있지만, 건설분야는 보강재 정도로 미미하다. 강연선 대체재료로 개발된 CFRP 긴장재는 긴장력이 필요한 다양한 분야에 활용할 수 있다. 앞서 서술된 보강분야뿐만 아니라 거더교, 사장교, 현수교 등의 케이블을 사용하는 신설 교량에도 적용할 수 있을 것이다. 교량 이외에도 콘크리트 도로포장분야, 어스앵커 등의 지반분야, 원전 구조물 등에 사용될 수 있다.

전세계적으로 탄소중립 목표를 달성하기 위해 탄소저감형 건설자재개발에 착수해서 상용화하고 있다. 국내의 경우, 유리섬유 보강근이 상용화되고 있지만, 새로운 건설자재를 현장에 활용하기 위한 표준 시험방법과 건설기준은 미비한 실정이다.

국내 건설분야에서 탄소산업을 활성화하기 위해서는 기존 규정을 개정할 수 있는 제도개선이 포함된 과제가 추진되어야 현행 제도의 미비점을 개선할 수 있을 것이다. 이를 위해 표준화된 시험법에 따른 인검증으로 탄소 활용 건설자재, 설계 및 시공관련 신뢰성을 향상시키고 국가 표준 및 설계기준을 마련하여 탄소 건설자재 현장적용을 촉진하고 관련연구를 활성화시킬 수 있을 것이다.

탄소활용 연구성과물들이 사장되지 않고 다수의 건설현장에 지속적으로 활용되어 강재 건설자재를 대체할 수 있는 새로운 재료로 활성화되기를 기대해 본다.

[그림 13] CFRP 긴장재 활용 방안



※참고문헌

01. KBS NEWS, '"개도국 피해"…우리나라, 기후 불평등 위치와 책임은?', 2022.11.08.
02. 탄소중립위원회(관계부처 합동), 2050 탄소중립 시나리오안, 2021.10.18
03. 대한민국정부, 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략, 2020
04. News1, '교통사고 사망자 3천명대까지 감축한다…내진보강도 강화', 2017.01.05
05. 국토일보, '"2030년 30년 이상 노후 시설물 전체 44.3%...노후 인프라, 새 투자 방안 마련 시급하다"', 2021.05.13
06. 헤럴드경제, '"정릉천고가 결함은 강연선 부식 탓"…설계~관리 문제투성이' 2016.10.27.
07. AFP, '台湾で橋崩落 12人負傷、6人が下敷きになった可能性', 2019.10.01
08. 국토해양부, 사장교용 FRP 케이블 시스템 기초 연구, 2011.03
09. https://slideplayer.com/slide/232985/
10. https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=16402
11. 한국건설기술연구원, 탄소기반 고기능성 건설 재료 기술개발, 2021.12

서울지하철 9호선 923
고속터미널역

기술정보
Technical information

- 건축
38 내진 케이블트레이 흔들림 방지시스템
44 공동주택 단열설계기준의 변천
52 리모델링현장 기계설비 적용 기술 소개
- 토목
57 시공단계의 BIM기반 공정 및 기성계획에 대한 시공사 BIM 활용
65 디지털 경제와 건설산업 플랫폼
71 콘크리트 보의 깊이에 따른 건조수축의 변화

내진 케이블트레이 흔들림 방지시스템

글 김형진 / 건축기술팀 차장
전화 02-3433-7762 **E-mail** kkam0906@ssyenc.com
글 이완희 / 건축기술팀 대리
전화 02-3433-7760 **E-mail** lwh6293@ssyenc.com

01. 머리말

최근 튀르키예와 시리아를 덮친 규모 7.8의 강진으로 사상자가 급증하는 가운데 다시금 건축물 내진설계에 대한 중요성이 강조되고 있습니다.

한국도 더 이상 지진 안전지대가 아닙니다. 환태평양 지진대에 걸친 일본과 고산지대에 근접한 중국에 비해 우리나라는 상대적으로 지진 발생 빈도가 낮은 편에 속하지만 2017년 전국에 두려움을 안긴 경북 포항 지진의 규모는 5.4, 올해 들어서도 규모 2.0 이상의 지진이 일곱 차례 발생하는 등 피해에 대한 불안감은 가중되고 있습니다.

지진 빈도가 갈수록 잦아지면서 건축물 비구조요소의 내진설계에 대한 관심 또한 나날이 높아지고 있습니다. 특히 현재까지 내진설계가 정확히 적용되지 않고 있는 케이블트레이의 경우 약한 지진으로도 인명사고와 더불어 정전 등 경제적 피해까지도 발생시킬 수 있습니다.

본 고에서는 전기설비 비구조요소 내진설계 케이블트레이 관련 내진 케이블트레이 흔들림 방지시스템을 알아보고자 합니다.

[그림 1] 튀르키예 지진피해 현장

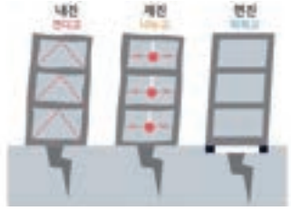
[그림 2] 국내 지진 발생추이, 기상청 2022년

02. 내진설계란?

우선 기본적인 이해를 돕기위해 내진설계의 개념부터 간략하게 알아봅니다.

'내진설계'라 통용되는 건축구조 설계법은 지진 발생 시 건축물의 완전 붕괴를 방지해 기능을 유지하거나, 인명 손실을 막는 수준의 설계를 뜻하고, 그 안에서 크게 내진(耐震), 면진(制震), 제진(制震) 등 3가지 방법으로 나눌 수 있습니다.

[그림 3]



· 내진구조는 흔들림을 견디는 것을 목적으로 건물 자체를 튼튼하게 해서 지진을 견디는 구조를 말합니다. 구체적으로 뼈대안에 내진구조물을 넣거나 기둥이나 들보 등의 접합부분을 튼튼한 철물로 고정하는 방법이며 보통 지진에서는 큰 손상이 없고 대지진의 경우에도 무너지지 않은 구조입니다. 다만 건물전체를 강하게 만들기 때문에 흔들림에 대한 유연성은 기대할 수 없습니다.

· 면진구조는 기초와 건물 사이에 면진장치를 설치함으로써 흔들림을 흡수하여 건물에 전해지는 흔들림을 줄이는 구조를 말합니다.

· 제진구조는 지진의 힘과 반대방향으로 힘을 주어 흔들림을 흡수하는 구조입니다. 내진성이 있는 벽 안에 제진장치를 설치함으로써 건물의 흔들림을 장치가 흡수합니다. 이렇게 제진장치가 건물의 강성, 감쇠 등을 제어해서 건물의 피해를 줄이게 됩니다.

03. 내진설계 의무기준

3.1 건축물 내진설계 의무기준

우리나라 건축물 내진설계는 1988년 2월 건축법 시행령 제16조가 개정되며 의무 도입 규정이 신설된 이후 규정이 지속적으로 강화되어 왔습니다. 포항 지진이 발생한 해인 2017년 12월 이후 건축물 지진안전성 제고에 대한 요구를 반영하고 기존의 건축구조기준 지진하중의 내용을 확대개편하고자 국토교통부의 요청에 따라서 대한건축학회에서는 2년여 기간의 연구를 통하여 건축물내진설계기준(KDS 41 17 00)을 2019년 3월 제정·고시하였습니다.

비구조요소 전기설비 관련 건축물 내진설계 의무기준의 주요 내용은 다음과 같습니다.

[건축물 내진설계기준 (KDS 41 17 00) : 2019]

▶ 18. 비구조요소

18.1.1 적용범위

다음의 비구조요소는 18장의 규정에 따라 내진설계가 수행되어야 한다.

(1) 중요도계수 Ip가 1.5인 비구조요소

(2) 상기 (1)에 속하지 않으면서, 다음에 해당하는 전기 및 기계비구조요소는 18장의 규정에 따른 설계가 요구되지 않는다.

▶ 18.1.2 중요도계수

비구조요소의 중요도계수 Ip는 1.0으로 한다. 단, 다음에 해당할 경우 Ip를 1.5로 한다.

(1) 소화배관과 스프링클러 시스템, 소화수조 등 인명안전을 위해 지진 후에도 반드시 기능하여야 하는 비구조요소. 또한 피난경로상의 계단, 캐노피, 비상유도등, 칸막이벽 등 손상시 피난경로확보에 지장을 주는 비구조요소와 대형 창고형 매장 등에 설치되어 일반대중에게 개방된 적재장치

(3) 표 2.2-1의 내진 특등급에 해당하는 구조물에서 시설물의 지속적인 기능 수행을 위해 필요하거, 손상 시 시설물의 지속적인 가동에 지장을 줄 수 있는 비구조요소.

[표 2.2-1] 내진등급과 중요도계수

건축물의 중요도	내진등급	내진설계 중요계수
중요도(특)	특	1.5
중요도(1)	I	1.2
중요도(2),(3)	II	1.0

▶ 18.4.2.2 전기 비구조요소

(1) 지진 시 비구조요소 사이의 부딪힘으로 인해 충격이 발생하지 않도록 설계되어야 한다

(2) 서로 다른 구조물 사이에 연결된 설비 및 관로에서 발생하는 하중을 평가하여야 한다.

(3) 선반 위의 축전지는 낙하하지 않도록 둘러싸는 고정장치로 고정되어야 하며, 고정장치와 축전지사이에 스페이서를 두어 용기의 충돌로 인한 손상을 방지하여야 한다. 선반은 충분한 횡하중 저항능력을 가져야 한다.

(4) 건식 변압기의 내부코일은 용기내 하부지지 구조에 적절히 고정되어야 한다.

(5) 돌출 미닫이선반을 가진 전기설비제어장치, 컴퓨터장비, 혹은 그 밖의 장비들은 각 부분을 제자리에 고정시키기 위한 걸쇠장치가 있어야 한다.

(6) 전기 캐비넷은 관련 산업규격에 따라 충분한 강도를 가지도록 설계되어야 한다.

(7) 450N을 초과하는 장비의 정착부는 제조사가 인증하지 않은 경우 개별적으로 안전성을 검토하여야 한다.

(8) 면진구조물에서 면진층을 통과하는 도관, 케이블 트레이 혹은 이와 유사한 배선 장치들은 18.2.3에 의한 상대변위 요구량을 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

▶ 18.4.2.3 지지부

지지부의 종류로는 구조부재, 가새, 골조, 스커트형 하부덮개, 지주, 안장, 케이블, 버팀줄 등과 주물 혹은 단조로 제작된 설비의 일부분 등이 있다.

(1) 기계 및 전기비구조요소의 지지부가 표준규격을 따를 경우, 지지부는 실험을 통해 결정된 정격하중 혹은 기준에 의한 지진하중 중의 하나를 사용하여 설계할 수 있다. 또한 설계시 가정과 같이 하중이 전달되게 하기 위해 필요할 경우 지지부의 강성도 설계되어야 한다.

(2) 지지부는 18.2.3에 의해 산정되는 각 지점사이의 상대변위를 수용할 수 있게 설계되어야 한다.

(3) 중요도계수가 1.5인 비구조요소에서 지지부가 일체형(즉, 주물이나 단조 등으로 제작된 경우)이 아닌 부착형일 경우 부착된 지지부와 본체사이의 하중전달에 문제가 없는지 검토되어야 한다. 지지부의 재료는 비구조요소의 작동환경(예를 들어 저온환경)에 맞는 적절한 재료로 구성되어야 한다.

(4) 얇은 판에 볼트 접합부가 사용될 경우 하중전달에 문제가 없도록 스티프너 혹은 스프링와셔로 보강하여야 한다. 18.1.3.2 혹은 18.1.3.3에 따라 인증을 받은 비구조요소일 경우 인증시 적용된 앵커볼트와 그 밖에 고정에 필요한 부품을 제조자가 고지한 절차에 따라 설치하여야 한다. 인증을 받지 않았거나 설치절차가 고지되지 않은 경우 내진설계책임기술자가 보강 상세를 제시하여야 한다.

(5) 지지부에서 지진하중이 냉간성형된 강재 부재의 약축방향 휨을 통해 지지될 경우 지지부의 안전성을 개별적으로 검토하여야 한다.

(6) 진동격리장치를 가진 비구조요소는 수평방향으로 변위제한장치(범퍼)를 가져야 하며, 전도방지를 위해 필요할 경우 수직방향으로도 구속되어야 한다. 진동격리장치의 덮개와 변위제한장치는 연성이 있는 재료를 사용하여야 한다. 범퍼와 비구조요소사이에는 충격하중을 감소시키기 위해 적절한 두께를 가진 점탄성 혹은 이와 유사한 재질의 패드가 사용되어야 한다.

▶ 18.4.4 도관, 케이블 트레이 및 전선로

케이블 트레이와 전선로는 18.2의 설계지진력과 상대변위에 대해 설계되어야 한다.

60 mm 이상의 규격을 가진 도관으로 패널, 케비넷, 혹은 지진에 의해 상대변위가 발생하는 요소에 연결된 경우 18.2의 설계지진력과 상대변위를 만족하도록 설계되거나 유연한 연결부를 가져야 한다. 단, 다음의 경우는 예외로 한다.

(1) Ip가 1.0인 전선로로써 상대변위를 수용할 수 있도록 유연한 연결부 혹은 그 밖의 장치가 적용되고, 케이블트레이나 전선로가 구조물에 튼튼히 고정된 경우 설계지진력과 상대변위를 고려하지 않을 수 있다.

(2) 중요도계수와 상관없이 도관의 크기가 60 mm 미만의 규격을 가지는 경우 설계지진력과 상대변위를 고려하지 않을 수 있다.

(3) 내진 조인트를 지나가는 도관, 케이블 트레이 및 전선로로서 Ip가 1.5인 경우 규격과 상관없이 상대변위에 대해 설계되어야 한다.

[표 18.4-1] 기계 및 전기비구조요소의 설계계수

기계 및 전기 비구조요소	증폭계수	반응수정계수	초과강도계수
발전기, 배터리, 인버터, 모터, 변압기 및 고변형재료로 구성된 전기요소	1	2.5	2
모터 컨트롤 센터, 패널 보드, 스위치 기어, 계기 캐비닛 및 그 밖의 금속판금으로 이루어진 유사한 비구조요소	2.5	6	2
통신 장비, 컴퓨터, 계측기 및 제어 장치	1	2.5	2
질량중심 아래에서 횡지지된 냉각 및 전기타워, 지붕에 설치된 굴뚝	2.5	3	2
질량중심 위에서 횡지지된 냉각 및 전기타워, 지붕에 설치된 굴뚝	1	2.5	2
조명기구	1	1.5	2
기타 기계 또는 전기 비구조요소	1	1.5	2

▶ 18.5 비구조요소의 정착부

비구조요소의 정착은 다음에 따라야 한다.

(1) 비구조요소 정착부에 작용하는 하중은 18.2에 의해 산정된 지진하중과 상대변위로부터 구한다. 단, Rp는 6을 초과하지 않아야 한다.

(2) 콘크리트에 묻히는 정착부의 내력은 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준에 따르며, KDS 14 20 54에서 규정하지 않은 사항은 공인된 설계기준에 따를 수 있다.

(3) 조적조에 묻히는 정착부의 내력은 공인된 설계기준에 따라 구한다.

(4) 콘크리트에 설치되는 후설치 앵커의 뽑힘 인장강도, 부착강도, 전단강도는 KDS 14 20 54의 규정에 따라 모의지진실험에 근거하여 평가되어야 하며, 공인기관의 인증서에 의해 공개된 것이어야 한다. 또한 조적조에 설치되는 후설치 앵커는 공인된 설계기준의 규정에 따라 내진인증된 것이어야 한다

(5) 정착부의 내력은 편심과 프라잉효과의 영향을 고려하여 정한다.

(6) 앵커 그룹의 경우 그룹내 개별 앵커간의 하중분배를 고려하여야 한다. 앵커그룹의 설계는 KDS 14 20 54에 따르며, KDS 14 20 54에서 규정하지 않은 사항은 공인된 설계기준에 따를 수 있다.

3.2 전기설비 내진설계기준 제정(안) 검증연구

건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)이 제정되었고, 비구조요소(전기 등)도 내진설계를 하여야 한다고 정하고 있으나, 비구조요소 관련 전기설비 적용범위가 불명확하고, 설계 방법의 부재로 인한 건설기준 사용자의 혼란을 경감시키고자 전기설비 내진설계기준 제정(안) 마련을 위한 검증연구가 2022년 12월까지 진행되었고, 최종 규제심사위원회 심의 등을 거쳐서 2023년내에 제정고시 예정입니다.

전기설비 내진설계기준 제정(안)의 개략적인 주요내용은 다음과 같습니다. (규제심사 진행중)

[전기설비 내진설계기준 (KDS 32 17 10)]

1.1 목적

(1) 이 기준은 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)에 의거 인명안전을 위해 반드시 지진 후에도 기능을 유지해야 하는 전기설비 분야 내진설비에 대한 표준적 설계방법을 제공하여 합리적인 계획, 설계를 도모하는데 목적이 있다.

1.2 적용범위

(1) 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)에서 정하는 Ip가 1.5인(내진특등급 건축물) 전기설비 비구조요소는 내진설계가 수행되어야 한다. 다만, (1)에 속하지 않으면서 (3)과 같은 경우에는 설계가 요구되지 않는다.

(2) 중요도 계수 Ip가 1.5 미만 건축물인 비구조요소 중 소방부하 및 비상부하에 해당하는 전기설비 비구조요소는 내진설계가 수행되어야 한다. 다만, (2)에 불구하고 (3)과 같은 경우에는 설계가 요구되지 않는다.

(3) 다음과 같은 전기설비의 비구조요소는 설계가 요구되지 않는다.

① KDS 41 17 00의 18.1.1항 (2)에서 정한사항

4. 설계

4.2 내진지지대의 설계

(1) **케이블 트레이**, 버스덕트, 전선관을 지지하는 양쪽행거와 단일행거는 **고정 내진지지대 또는 케이블 내진지지대로 고정하여야 한다.**

(중략)

4.3 수평 및 수직 내진지지대의 설계

(1) 횡방향 고정&케이블 내진지지대

(2) 종방향 고정&케이블 내진지지대

(3) 4방향 고정&케이블 내진지지대

4.4 전산볼트보강대의 설계

(중략)

04. 내진 케이블트레이 흔들림방지 시스템 소개

전기설비 내진설계기준 제정(안)에서 정하고 있는 케이블트레이 양쪽행거를 지지하는 내진지지대 고정방식및 수평 및 수직방향 내진지지대 설계기준을 만족하는 내진케이블트레이 시스템을 간략하게 알아봅니다.

4.1 케이블 트레이 내진지지대 종류

(1) Rigid(U-CHANNEL) 방식

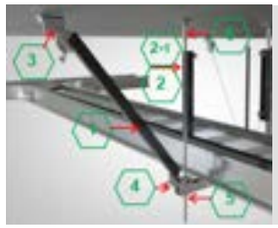
고정된 지지대로 사용, 지진의 허용하중을 견딜 수 있는 U-CHANNEL을 주로 사용하며 가벼운 전기 비구조요소일 경우 다른 자재를 사용할 수 도 있습니다. 설치높이(H)는 천정 또는 구조물에서 3m 이내로 설치하며, 이는 제조사가 제시하는 성적서, 내진승인기관 승인 성적서를 기준으로 하되 국제기준을 초과할 경우 승인을 얻어야 합니다. 설치 방법에는 횡방향 지지대, 종방향 지지대, 4방향 지지대가 있습니다.

(1) 횡방향 지지대 : 1POINT 지지대 설치

(2) 종방향 지지대 : 2POINT 지지대 설치

(3) 4방향 지지대 : 횡방향 지지대 설치 1POINT
+ 종방향 지지대 설치 2POINT

ex) 설치상세 예시도



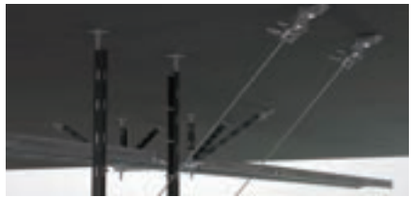
1. Cable Tray 내진 횡방향 지지대.
2. 전산볼트 보강 지지 STIFFENER.
2-1. STIFFENER 보강 볼트
3. 상부고정대
4. 하부고정대
5. Cable Tray 고정 U-CHANNEL
6. 전산볼트

(2) Non-Rigid(케이블) 방식

지진의 허용하중을 견딜 수 있는 케이블을 사용하여 설치합니다. 설치높이(H)는 천정 또는 구조물에서 3 m 초과 설치 가능하며, 이는 제조사가 제시하는 성적서, 내진승인기관 승인 성적서를 기준으로 하되 국제기준을 초과할 경우 승인을 얻어야 합니다. 설치 방법에는 횡방향 지지대, 종방향 지지대, 4방향 지지대가 있습니다.

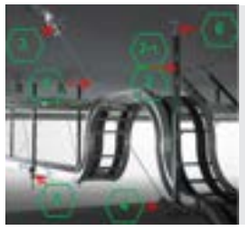
(1) 횡방향 지지대 : 2POINT 지지대 설치

(2) 종방향 지지대 : 4POINT 지지대 설치



(3) 4방향 지지대 : 횡방향 지지대 설치 2POINT
+ 종방향 지지대 설치 4POINT

ex) 설치상세 예시도



1. Cable Tray 내진 종방향 지지대.
2. 전산볼트 보강 지지 STIFFENER.
2-1. STIFFENER 보강 볼트
3. 상부고정대
4. 하부고정대
5. Cable Tray 고정 U-CHANNEL
6. 전산볼트

4.2 기타 내진관련자재

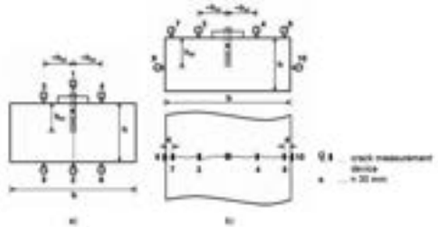
(1) 내진앵커(SEISMIC ANCHOR)

케이블트레이/버스덕트/전선관 양쪽 행거 내진 지지대에 매우 중용한 요소 중 하나로써 내진앵커(SEISMIC ANCHOR)를 사용 하여야 합니다.

그 이유는 지진 발생 시 구조물과 케이블트레이/버스덕트/전선관 양쪽 행거와 연결해주는 역활을 하고 있기 때문입니다. 일반 앵커를 사용할 시 그 기능을 보장할 수 없으므로 반드시 내진 승인된 앵커를 사용해야 합니다.

ICC-ES(미국 ACI)과 ETA(유럽 ETAG)에서는 일반 앵커와 별도로 내진앵커 테스트 규정을 만들어 승인 사용하고 있습니다. TEST 규정은 다음과 같습니다.

[그림 5] 내진앵커 TEST 규정 예



(2) 전산볼트 보강대(STIFFNER)

전산볼트 보강대란 케이블트레이/버스덕트/전산볼트를 지지하기 위해 설치한 전산볼트가 지진 발생 시 가장 취약하므로 여기에 보강 장치를 해줌으로써 케이블트레이/버스덕트/전산볼트를 보호해주는 장치입니다.

설치 방법은 다음과 같습니다.

① 전산볼트 길이에 맞게 U-CHANNEL을 절단한다.
② 전산볼트와 U-CHANNEL을 연결해줄 FIG-98B를 설계에 맞게 설치한다.
③ 케이블트레이 버스덕트 전산볼트 단일 행거 또는 양쪽행거 모두 보강해 준다.
④ [그림 6]에서 보듯 FIG-98B 너트를 이탈 시까지 조여 준다.
⑤ FIG-98B 설치 간격 및 수량은 설계 매뉴얼에 따라 설치한다.

[그림 6] 전산볼트 보강대(STIFFNER)

05. 맺음말

본 고에서는 현재 우리나라 내진설계 의무기준인 **건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)**중 비구조요소 전기설비 의무기준의 주요내용을 확인해보면서, 이를 보다 보완하고 구체화한 **전기설비 내진설계기준(KDS 32 17 10) 제정(안)**의 주요내용에 대해서도 알아보았습니다.

전기설비 내진설계기준 제정(안)중 핵심사항인 케이블 트레이 양쪽행거 내진지지대 고정방식및 수평/수직 설계방안을 만족하고 국제적기준에도 부합하는 내진 케이블트레이 흔들림방지 시스템을 미리 검토해보면서, 향후 기준제정(안) 고시 후에 바로 설계 및 예산편성/현장시공이 이루어질수 있는데 조금이나마 도움이 될 수 있도록 본고를 작성해보았습니다.

우리나라는 물론 전세계적으로 지진의 빈도가 더욱 잦아지고, 그 강도 또한 계속 커지고 있는 만큼 전기설비관련 구체적이고 전문적인 내진설계기준의 도입 및 정착은 이젠 선택이 아닌 필수인 상황임을 다시 한번 강조하며, 건설사 전기인의 한 사람으로써 전기설비 내진설계기준 관련업종에 종사하는 사람 모두가 지금은 하나로 마음을 모아야할 때라고 소망해보면서 이 글을 마칩니다.

※참고문헌

01. 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)
02. 전기설비 내진설계기준(KDS 32 17 10) 제정(안)
03. [출처] 튀르키예를 덮친 강진, 지진에 미리 대비할 수는 없을까? [작성자 한미글로벌]

공동주택 단열설계기준의 변천

단열설계 개념의 도입부터 제로에너지 시대까지

글 박철용 / 건축기술팀 차장 **전화** 02-3433-7741 **E-mail** cypark@ssyenc.com

01. 머리말

1970년대부터 이어져온 환경론자와 개발론자들 사이의 갈등은 1992년 리우데자네이루에서 '지속가능한 개발'에 대한 세계 각국의 논의와 선언으로 건축에도 그 영향을 미치게 되었다. 이에 각국은 '생태환경', '지속가능한 건축', '환경친화 건축' 등 다양한 친환경 건축에 대한 연구를 시도하기에 이르렀다. 초기의 친환경 건축은 건축의 활동 자체가 환경을 파괴하는 행위이므로 건축 활동을 최소화시켜야 한다는 소극적 친환경 건축과 건축의 환경에 대한 부하를 인정하되 건축활동을 수행함과 동시에 그로 인해 파괴된 환경의 복원을 함께 하는 적극적 친환경 건축의 두가지 서로 다른 개념이 대립하는 양상이었으나 점차 지속가능한 건축이라는 통합적 개념으로 발전하게 되었다.

지속가능한 건축이란 건축물의 생산에 있어서 자재의 원료 추출과 생산, 건물의 시공과 사용 및 폐기 단계까지 전생애기간 동안 에너지와 자원을 절약하고, 수명이 다한 건물의 재사용 또는 부품의 재활용을 통하여 자원절약과 환경오염 방지를 할 수 있는 건축을 말하며, 이 과정에서 건축물을 생태계의 일부로 만들어 물, 공기, 토양 등 자연의 순환체계를 거스르지 않는 것은 물론 지역의 문화와 장소성을 보전하고 보다 쾌적한 실내환경을 유지하도록 하는 것까지 포함한다. 더 나아가 이러한 건축개념을 토대로 1990년 영국 'BREEAM'을 시작으로 1998년 미국 'LEED', 2002년 국내 '친환경건축물 인증제도(2013년 녹색건축 인증제도:G-SEED로 개정), 2006년 싱가포르 'Green Mark' 등 건축물의 환경성능에 대한 평가기준이 마련되어 각국의 실정에 맞게 시행되고 있다.

특히 UN IPCC 제5차 기후변화평가보고서(2014년)에 따르면 21세기 말까지 산업화 이전에 대비해 지구의 평균기온 상승을 2℃ 이내로 억제하기 위해서는 전세계 온실가스 배출량을 2050년까지 2010년 대비 최대 70%까지 감축해야 하는 것으로 나타났고, 이와 같이 기후변화로 위협받는 지구와 인류의 지속가능성을 확보하기 위해 세계 각국이 '기후변화협약'(1994년)을 비준하였으며, 각 나라마다 온실가스 배출량 감축목표를 설정하고 이를 이행하는 조치를 시행하고 있다. 이에 대한 건축물 분야의 대책으로 제로에너지 건축물이 주요 정책으로 대두되고 있다.

이에 본 원고에서는 제로에너지 공동주택을 구현함에 있어 가장 기본이라 할 수 있는 단열설계기준의 변천과정을 살펴보고, 단열설계기준의 변천이 건축물 에너지절약설계 및 제로에너지 공동주택 구현에 미치는 영향 등을 살펴보았다.

02. 단열설계기준의 변천

2.1 건축법 시행규칙, 1979.9.5.

국내 단열설계기준은 1979년 9월 5일 건축법 시행규칙 제25조(건축물의 열손실 방지를 위한 조치) 개정을 통하여 최초로 신설되었다. 이 규정에서는 별표에서 정하는 두께 이상의 단열재를 사용하거나 또는 주거용 건축물의 외벽은 열관류율 0.9 kcal/㎡h℃ 이하, 주거용 건축물 이외의 건축물의 외벽은 열관류율 1.8 kcal/㎡h℃ 이하, 최상층의 반자는 열관류율 0.9 kcal/㎡h℃ 이하, 난방을 필요로 하는 최하층의 바닥은 열관류율 1.5 kcal/㎡h℃ 이하가 되는 구조로 규정하였으며, 주거용 건축물의 경우에는 외기에 면하는 창은 이중창 또는 복층유리로 시공하도록 규정하였다.

2.2 건축법 시행규칙, 1980.12.22.

1980년 12월 22일 개정을 통하여 주거/비주거 구분을 없애고 부위별 기준으로 통일하고 기준값을 상향하는 방향으로 강화하였다. 거실의 외벽과 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕은 열관류율 0.5 kcal/㎡h℃ 이하 또는 별표 두께, 최하층에 있는 거실의 바닥은 열관류율 1.0 kcal/㎡h℃ 이하 또는 별표 두께의 1/2 이상, 거실의 외기에 면하는 창은 이중창 또는 복층유리 그리고 열관류율 3.0 kcal/㎡h℃ 이하를 신설하였다.

2.3 건축법 시행규칙, 1982.10.30.

1982년 10월 30일 전면 개정을 통하여 제19조로 변경되었으며, 건축물의 열손실방지조치 완화구역을 설정하여 연면적 1,000㎡ 미만은 적용 제외하였으며, 거실의 외기에 면하는 창, 출입문 및 공동주택의 세대별 출입문은 기밀성능을 확보하도록 하였다.

2.4 건축법 시행규칙, 1984.3.28.

1984년 3월 17일 제19조의 전면 개정을 통하여 완화구역을 제주도로 한정하였으며, 열관류율 기준과 두께 기준을 구분하여 별표로 규정하였고, 온수온돌로 난방을 하는 공동주택에서 세대별 온수보일러를 설치하는 경우에는 거실의 바닥은 열관류율 1.0 kcal/㎡h℃ 이하 또는 단열재 20㎜를 시공하도록 규정하였다.

[표 1] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(1984.3.28.) (단위 : kcal/㎡h℃)

부위별 \ 지역별	제주도 이외	제주도
거실의 외벽 최상층 거실의 반자 또는 지붕 최하층 거실의 바닥	0.5 이하	1.0 이하
공동주택의 측벽	0.4 이하	0.8 이하

2.5 건축법 시행규칙, 1987.7.21.

1987년 7월 21일 개정을 통하여 지역 구분을 중부, 남부, 제주도로 3개 지역으로 틀을 갖추었으며, 외기에 면하는 창의 열관류율 기준 또한 3개 지역을 다르게 규정하였을 뿐 아니라 연면적 5,000㎡ 이상인 비주거 건축물의 창 및 출입문에 대한 기밀성능을 신설하였고, 에너지절약계획서 서식을 최초로 규정하였다.

[표 2] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(1987.7.21.) (단위 : kcal/㎡h℃)

부위별 \ 지역별	중부	남부	제주도
거실의 외벽 최하층 거실의 바닥	0.50 이하	0.65 이하	1.00 이하
최상층 거실의 반자 또는 지붕	0.35 이하	0.45 이하	0.65 이하
공동주택의 측벽	0.40 이하	0.60 이하	0.70 이하
거실의 외기에 면하는 창	2.90 이하	3.10 이하	5.00 이하

2.6 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 1992.6.1.

1982년 6월 1일 건축설비의 설치에 관한 기술적 기준과 건축물의 열손실 방지 및 에너지의 합리적인 이용 등에 관한 사항을 규정하고자 본 규칙이 제정되었으며, 건축물의 열손실방지에 대한 규정은 제21조(건축물의 열손실방지)로 전체 이관되었다.

2.7 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2001.1.17.

외기 직접 및 외기 간접, 바닥난방인 경우와 바닥난방이 아닌 경우 등과 같이 현재와 같은 틀을 갖추었을 뿐 아니라 ISO 단위로 통일한 시기이다. 더불어 열관류율표만 남기고 용도별 8종의 에너지절약설계기준을 "건축물의 에너지절약설계기준"으로 통합하고 단열재 등급 구분에 따라 두께 기준을 신설하는 등 체계를 갖추게 되었다.

[표 3] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(2001.1.17.) (단위 : W/㎡·K)

부위별		지역별	중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접		0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하
	외기 간접		0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접		0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하
	외기 간접		0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	바닥난방	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		그 외	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기 간접	바닥난방	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		그 외	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
공동주택의 측벽			0.35 이하	0.47 이하	0.58 이하
공동주택 층간바닥	바닥난방		0.81 이하		
	그 외		1.16 이하		
창 및 문	외기 직접		3.84 이하	4.19 이하	5.23 이하
	외기 간접		5.47 이하	6.05 이하	7.56 이하

2.8 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2008.7.10.

큰 변화없이 창 및 문의 열관류율을 공동주택과 공동주택 외로 구분하였으며, 상대적으로 낮게 설정되어 있던 열관류율 기준을 강화하였다.

[표 4] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(2008.7.10.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별			중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접		0.47 이하	0.58 이하	0.76 이하
	외기 간접		0.64 이하	0.81 이하	1.10 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접		0.29 이하	0.35 이하	0.41 이하
	외기 간접		0.41 이하	0.52 이하	0.58 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	바닥난방	0.35 이하	0.41 이하	0.47 이하
		그 외	0.41 이하	0.47 이하	0.52 이하
	외기 간접	바닥난방	0.52 이하	0.58 이하	0.64 이하
		그 외	0.58 이하	0.64 이하	0.76 이하
공동주택의 측벽			0.35 이하	0.47 이하	0.58 이하
공동주택 층간바닥	바닥난방		0.81 이하		
	그 외		1.16 이하		
창 및 문	외기 직접	공동주택	3.00 이하	3.30 이하	4.20 이하
		그 외	3.40 이하	3.80 이하	4.40 이하
	외기 간접	공동주택	4.30 이하	4.70 이하	6.00 이하
		그 외	4.60 이하	5.30 이하	6.30 이하

2.9 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2009.10.20.

사업계획승인을 받아야 하는 공동주택을 대상으로 기존 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 및 건축물의 에너지절약설계기준과는 별도로 본 고시를 제정하였으며, 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 15% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 다음 조건을 충족하도록 하였다. 다만, 최상층, 최하층 및 층간바닥에 대한 요구조건이 없어 기존 법규를 따르는 이중적인 형태로 운영되었다.

[표 5] 친주 열관류율표(2009.10.20.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		혹한지역 중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.36 이하	0.45 이하	0.58 이하
	외기 간접	0.49 이하	0.63 이하	0.85 이하
공동주택의 측벽		0.27 이하	0.36 이하	0.45 이하
창	외기 직접	1.80 이하	2.10 이하	2.80 이하
	외기 간접	2.80 이하	3.10 이하	3.70 이하

2.10 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2010.10.1.

2010년 6월 30일 개정을 통하여 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 20% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 다음 조건을 충족하도록 강화되었다. 다만, 여전히 최상층, 최하층 및 층간바닥에 대한 요구조건이 없어 기존 법규를 따르는 이중적인 형태로 시행되었다.

[표 6] 친주 열관류율표(2010.10.1.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		혹한지역 중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.30 이하	0.37 이하	0.55 이하
	외기 간접	0.40 이하	0.55 이하	0.70 이하
공동주택의 측벽		0.22 이하	0.30 이하	0.37 이하
창	외기 직접	1.40 이하	1.60 이하	2.00 이하
	외기 간접	2.80 이하	3.00 이하	3.30 이하

2.11 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2012.11.1.

2012년 9월 27일 개정을 통하여 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 30% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 다음 조건을 충족하도록 강화되었으며, 세대 현관문 및 세대 내 방화문에 대한 기준을 신설하였다. 다만, 여전히 최상층, 최하층 및 층간바닥에 대한 요구조건이 없어 기존 법규를 따르는 이중적인 형태로 시행되었다.

[표 7] 친주 열관류율표(2012.11.1.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		혹한지역 중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.25 이하	0.32 이하	0.50 이하
	외기 간접	0.32 이하	0.47 이하	0.62 이하
공동주택의 측벽		0.20 이하	0.28 이하	0.35 이하
창	외기 직접	1.20 이하	1.50 이하	1.80 이하
	외기 간접	2.10 이하	2.30 이하	2.80 이하
세대 현관문 세대내 방화문	외기 직접	1.40 이하		
	외기 간접	1.80 이하		

2.12 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2015.3.31.

2014년 12월 30일 개정을 통하여 전용면적 60㎡ 초과하는 경우 단위세대의 에너지 사용량 또는 이산화탄소 배출량을 40% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 최상층 및 최하층까지 포함하여 다음 조건을 충족하도록 강화되었는데, 아직까지 층간바닥에 대한 기준은 생략되었다.

[표 8] 친주 열관류율표(2015.3.31.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별			중부	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접		0.21 이하	0.28 이하	0.46 이하
	외기 간접		0.28 이하	0.43 이하	0.58 이하
공동주택의 측벽			0.17 이하	0.25 이하	0.32 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접		0.18 이하	0.22 이하	0.28 이하
	외기 간접		0.26 이하	0.31 이하	0.40 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	바닥난방	0.23 이하	0.28 이하	0.33 이하
		그 외	0.29 이하	0.33 이하	0.39 이하
	외기 간접	바닥난방	0.35 이하	0.40 이하	0.47 이하
		그 외	0.41 이하	0.47 이하	0.55 이하
창	외기 직접		1.00 이하	1.20 이하	1.60 이하
	외기 간접		1.90 이하	2.10 이하	2.50 이하
세대 현관문 세대내 방화문	외기 직접		1.40 이하		
	외기 간접		1.80 이하		

2.13 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2017.12.15.

2017년 6월 15일 개정을 통하여 평균전용면적 70㎡ 초과하는 경우 단지 내 단위면적당 1차에너지소요량 또는 이산화탄소 배출량을 60% 이상, 60~70㎡인 경우 55% 이상, 60㎡ 이하인 경우 50% 이상 절감하는 성능기준을 만족하거나 시방기준 중 단열설계는 층간바닥까지 포함하여 다음 조건을 충족하도록 강화되었다.

[표 9] 친주 열관류율표(2017.12.15.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		중부1	중부2	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접	0.15이하		0.18 이하	0.25 이하
	외기 간접	0.21 이하		0.26 이하	0.35 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
바닥난방인 층간바닥		0.81 이하			
창	외기 직접	0.90 이하	1.00 이하	1.20 이하	1.60 이하
	외기 간접	1.30 이하	1.50 이하	1.70 이하	2.00 이하
세대 강재문	외기 직접	1.40 이하			
	외기 간접	1.80 이하			

2.14 친환경 주택의 건설기준 및 성능, 2018.9.3.

2018년 9월 3일 개정을 통하여 거실 내 방화문을 외기에 직접 면하는 세대 현관문과 같은 열관류율(1.4 이하)로 규정하였다.

2.15 에너지절약형 친환경 주택의 건설기준, 2019.7.1.

2018년 12월 26일 개정을 통하여 고시명을 개정하였으며, 평균전용면적에 따라 절감률을 다르게 규정하고 있던 것을 전용면적에 관계없이 60% 절감하도록 통일하였으며, 창의 열관류율 및 제주도 기준을 강화하였다.

[표 10] 친주 열관류율표(2019.7.1.) (단위 : W/㎡·K)

부위별 \ 지역별		중부1	중부2	남부	제주도
거실의 외벽	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.25 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.35 이하
최상층 거실 지붕	외기 직접	0.150이하		0.18 이하	0.25 이하
	외기 간접	0.21 이하		0.26 이하	0.35 이하
최하층 거실 바닥	외기 직접	0.15 이하	0.17 이하	0.22 이하	0.29 이하
	외기 간접	0.21 이하	0.24 이하	0.31 이하	0.41 이하
바닥난방인 층간바닥		0.81 이하			
창	외기 직접	0.90 이하		1.00 이하	1.50 이하
	외기 간접	1.20 이하	1.50 이하	1.70 이하	
세대 현관문	외기 직접	1.40 이하			
	외기 간접	1.80 이하			
거실 내 방화문		1.40 이하			

2.16 에너지절약형 친환경 주택의 건설기준, 2021.7.1.

2021년 6월 3일 개정을 통하여 단지 내 1차에너지소요량을 건축물 에너지효율등급 1+등급 이상(120 kWh/㎡·yr 미만)으로 규정하였다.

2.17 제로에너지 건축물 인증기준, 2017.1.20.

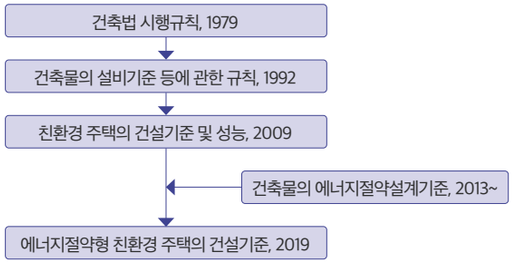
2017년 1월 20일 제정된 제로에너지 건축물 인증기준에 따르면, 건축물 에너지효율등급 1++등급 이상을 만족하고, 건물에너지관리시스템(BEMS) 또는 원격검침전자식계량기 등 에너지 모니터링 시스템이 설치된 건축물에 대해 신재생에너지를 통한 에너지 자립률을 기준으로 5개 등급으로 평가하고 있다.

[표 11] 지역별 건축물 부위별 열관류율표(1984.3.28.)

등급	에너지 자립률
1	100% 이상
2	80% 이상
3	60% 이상
4	40% 이상
5	20% 이상

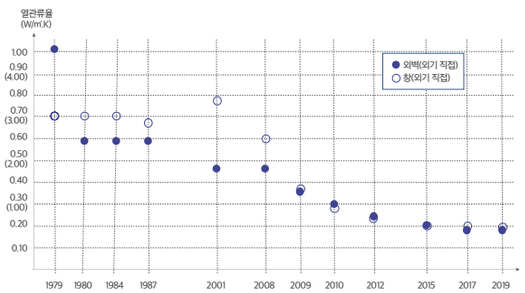
이상과 같이 공동주택의 단열설계기준은 [그림 1]에 나타나 있듯이 건축법 시행규칙의 조항으로 최초 규정된 이래 에너지 절약형 친환경 주택의 건설기준으로 온전한 고시로 시행되기에 이르렀다.

[그림 1] 단열설계기준의 변천사



이러한 과정에서 주요 부위라 할 수 있는 외벽(외기 직접)과 창(외기 직접)만을 대상으로 시기적으로 열관류율의 변화를 정리하면 [그림 2]와 같이 2001년 개정을 통하여 외벽의 열관류율은 대폭 강화되었지만 창호의 열관류율은 완화된 것으로 나타났으며, 2008년 개정을 통하여 창호의 열관류율이 강화되는 방향으로 조정되었고, 2012년 개정을 통하여 큰 폭으로 강화된 이후 경미하게 강화되는 경향을 보이면서 현재에 이르고 있다.

[그림 2] 연도별 열관류율 변화



03. 시기별 국내 기준 분석

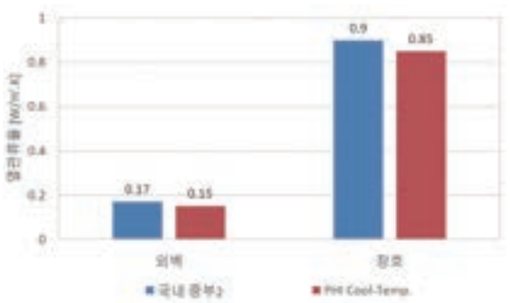
3.1 패시브하우스 기준과의 비교

국내의 단열설계기준은 앞에서 살펴본 바와 같이 최초에는 외벽의 열관류율만을 규정하고 창은 시방기준으로 제시하였는데, 창(외기 직접)의 열관류율은 3.5 W/m².K 이하로 규정된 이래 계속 강화되어 0.9 W/m².K 이하까지 낮춰졌으며, 외벽(외기 직접)의 열관류율 또한 1.04 W/m².K 이하로 규정된 이래 0.17 W/m².K 이하(중부2)까지 강화되었다. 이러한 최근 개정 기준을 [표 12]에 나타나 있는 독일의 패시브하우스 기준과 비교할 경우 외벽과 창호 열관류율은 [그림 3]과 같이 모두 약간 높은 수준임을 알 수 있다. 다만, 패시브하우스 기준에서는 창틀과 유리에 대한 기준(0.8 W/m².K 이하) 을 각각 요구하고 있을 뿐 아니라 태양열 차폐계수(SHGC)를 요구하고 있는데, 국내 기준에서는 별도로 요구하고 있지 않음이 차이가 있다.

[표 12] 독일 패시브하우스 기준(2016)

Climate zone according to PHPP	Opaque envelope1 against…				Windows (including exterior doors)			Ventilation	
	…ground	…ambient air			Overall[4]	Glazing[5]	Solar load[6]		
	Insu-lation	Exterior insulation	Interior in sulation[2]	Exterior paint[3]	Max. heat transfer coefficient ($U_{D(w/state)}$)	Solar heat gain coefficient (g-value)	Max. specific solar load during cooling period	Min. heat recovery rate[7]	Min. humidity recovery rate[8]
	Max. heat transfer coefficient (U-value)			Cool colours					
	[W/(m²K)]			-	[W/(m²K)]	-	[kWh/m²a]	%	
Arctic	Determined in PHPP from project specific heating and cooling degree days against ground.	0.09	0.25	-	0.45 0.50 0.60	Ug-g*0.7≤0	100	80%	-
Cold		0.12	0.30	-	0.65 0.70 0.80	Ug-g*1.0≤0		80%	-
Cool-temperate		0.15	0.35	-	0.85 1.00 1.10	Ug-g*1.6≤0		75%	-
Warm-temperate		0.30	0.50	-	1.05 1.10 1.20	Ug-g*0.28 ≤-1		75%	-
Warm		0.50	0.75	-	1.25 1.30 1.40	-		-	-
Hot		0.50	0.75	Yes	1.25 1.30 1.40	-		-	60 % (humid climate)
Very hot		0.25	0.45	Yes	1.05 1.10 1.20	-		-	60 % (humid climate)

[그림 3] 국내 기준과 패시브하우스 기준 비교



3.2 1개동 단위 평균 열관류율 변화

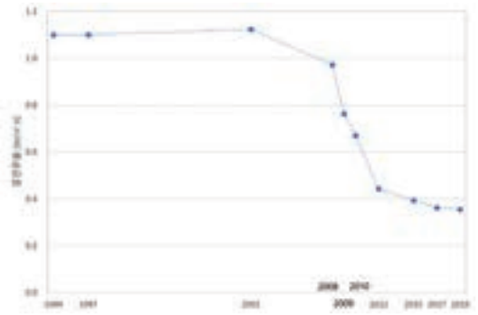
다음 그림과 같은 프로젝트에서 1개층 4호 세대 25층으로 계획된 1개동을 선정하여 외벽(창 포함), 최상층, 최하층을 아우르는 전체 외피의 평균 열관류율을 시기별 국내 단열설계기준을 적용하여 계산한 결과를 분석해 보았다.

[그림 4] 분석 대상 공동주택 개요

세대수 : 727세대
대지면적 :41,066.50m²
건축면적 : 6,775.10m²
연면적 : 100,977.34m²
주거부분 전용면적 : 59,249.11m²
규모 : 지상 18~21층(9개동)

분석결과 [그림 5]와 같이 단열설계기준이 어느 정도 틀을 갖춰진 것으로 평가할 수 있는 1984년에는 1.101 W/m².K 수준이었다가, 현재와 같은 단열설계기준의 시초라 할 수 있는 2001년에는 1.125 W/m².K 수준으로 약간 높아지는 기현상이 발생하였다. 그 이후 저탄소 녹색성장이 국가비전으로 제시되면서 친환경 건축물 이슈가 강하게 대두되었고 더불어 건축물 에너지절약설계의 중요성이 높아져 큰 폭의 개정이 연단위로 이루어졌고, 2012년 정점을 찍었다고 볼 수 있다. 그 이후 2년마다 개정을 통하여 경미한 강화가 이루어져 현재 0.354 W/m².K 수준이며, 1984년과 비교하여 32% 수준으로 낮아졌다.

[그림 5] 연도별 건축물 평균 열관류율 변화



04. 제로에너지 공동주택을 향하여…

국내 제로에너지 건축물 인증은 한국에너지공단에서 수행하고 있으며, 2021년 1월 기준으로 684개 프로젝트가 인증을 받은 것으로 확인되었다.[2] 이 중 약 4%에 해당하는 27개 프로젝트가 준공 후 본인증까지 받았으며, 등급별 프로젝트 개수는 다음 표와 같고, 완전한 제로에너지 건축물에 해당하는 1등급은 19개 프로젝트가 있다. 건축물의 용도별로 구분해 보면, 주거용이 21건이고 비주거용이 663건이며, 주거용은 단독주택, 공동주택, 임대주택 등이고, 비주거용은 업무시설, 수련시설, 근린생활시설, 교육연구시설, 문화 및 집회시설, 공장, 운동시설 등으로 다양하다.

[표 13] 제로에너지 건축물 인증 개수

등급	프로젝트 개수	비율, %
ZEB 1	19 (4)	2.8
ZEB 2	14 (4)	2.0
ZEB 3	40 (5)	5.8
ZEB 4	129 (3)	18.9
ZEB 5	482 (11)	70.5

※ 괄호 안은 본인증 건수임.

상기 684개 인증 프로젝트를 연도별로 정리하면 다음 그림과 같이 2017년 10건으로 시작해서 2018년 30건, 2019년 41건으로 거의 정체되어 있다가 2020년 연면적 1,000m² 이상의 공공건축물이 의무적으로 인증을 받기 시작하면서 508건으로 급증하였으며, 2021년 1월 작년의 20% 해당하는 95건이 인증을 받았다.

[그림 6] Number of ZEB Project by Year

본인증 현황은 2018년 4건, 2019년 6건, 2020년 14건, 2021년 3건 등으로 상대적으로 저조한 실적을 보이고 있는데, 이것은 제도적 미비점으로 설계단계에서 예비인증을 받는 것은 의무이지만, 준공단계에서 본인증을 받는 것은 의무가 아닌 것으로 인식되고 있음을 의미한다고 볼 수 있으며, 따라서 앞절에서 살펴본 외국 인증제도처럼 해석결과가 아닌 1년 사용량을 기준으로 인증을 부여하는 방법을 고려할 필요가 있다.

다만, 외국 인증제도가 정부 정책이 아닌 부가적인 인증제도로 운영되고 있는 것과 달리 국내 인증제도는 정부 정책으로 활용되고 있으므로 예비인증과 1년 사용량을 기준으로 인증해 주는 본인증이 혼용될 수 있는 적절한 방법론이 개발되어야 할 것이다.

주거용 건축물인 세종시 4-2 생활권 내에 위치하고 있는 공동주택을 대상으로 제로에너지 건축물 인증을 구현하기 위한 방법론을 살펴본 자료[3]에 따르면, 먼저 다음 그림과 같은 기본 모델을 대상으로 에너지절약형 친환경 주택 건설기준을 따를 경우 1차에너지 소요량은 122.7 kWh/(㎡.a)로 평가되어 에효 1등급 수준으로 나타났다.

[그림 7] Overview of Reference Model

Master plan	Outline
	Location: Sejong-si 4-2block Lot area: 32,026㎡ Gross area: 84,670㎡ -Underground: 28,634㎡ -Ground: 56,035㎡ Basement 2story, ground 29story Number of household: 9 buildings 612 units (60㎡이상) Parking: 782 cars Basic Design Performance Flat-type 6 buildings Tower-type 2 buildings percentage of sunshine: 88.23% window areas rate 20%

여기에, 추가 투입비용을 1차에너지 소요량 절감수치로 나눈 비용효율지수(CEI, Cost Efficiency Index)라는 개념을 도입하여 우선순위를 산출한 결과는 다음 표와 같다. 이로부터 제로에너지 건축물을 구현하기 위한 기술적 접근은 LED 조명기기 등을 사용하여 조명밀도를 낮추는 것이 최우선이며, 그 다음으로 신재생에너지 적용으로 나타났고, 패시브 기술에 해당하는 고성능 단열재와 고단열 창세트 등은 비용효율지수가 낮은 것으로 나타났다.

이러한 기술적 접근의 우선순위 분석결과를 이용하여 제로에너지 건축물(ZEB) 인증을 받기 위한 시뮬레이션을 수행한 결과는 다음 표와 같다. 조명밀도 5 W/㎡ 이하 및 태양광 발전용량을 조명전력의 100% (372 kW)까지 고려한 CASE 5가 ZEB 인증 5등급(20% 이상)을 만족하는 것으로 나타났고, ZEB 인증 4등급(40% 이상)을 획득하기 위해서는 조명밀도 5 W/㎡ 이하를 유지한채 단열 기준을 중부2 기준인 0.17 W/(㎡.K) 이하에서 중부1 기준인 0.15 W/(㎡.K) 이하로 하고, 태양광 발전용량을 지붕 전체에 적용(580 kW)해야 할 뿐 아니라 추가로 BIPV 265 kW 를 설치해야 하는 것으로 나타났다.

[표 14] Proioritization by CEI

Contents			application standard		variable	cost-efficiency index	additional cost	priority
Passive	A	Insulation	1st deal	insul. standard (0.15)	A-1	1.44	2.45 eak	6
			2nd deal	insul. standard (0.13)	A-2	2.01	2.41 eak	9
			3rd deal	insul. standard (0.11)	A-3	2.70	3.51 eak	10
	B	Window & Glass	1st deal	K-value(0.9)	B-1	1.89	2.64 eak	8
			2nd deal	K-value(0.8)	B-2	7.50	9.75 eak	11
			3rd deal	K-value(0.7)	B-3	9.65	13.51 eak	12
Active	C	Lighting Density (LD)	1st deal	LD (below 8)	C-1	0.15	1.39 eak	1
			2nd deal	LD (below 5)	C-2	0.17	2.25 eak	2
Renewable	D	Sunlight Capacity	1st deal	50% of LD	D-1	0.57	3.90 eak	3
			2nd deal	100% of LD	D-2	0.57	6.40 eak	4
			3rd deal	PV 580kWp (maximum rooftop area)	D-3	0.57	5.70 eak	5
			4th deal	PV 580kWp + BIPV 880kWp	D-4	1.70	51.85 eak	7

※ K-value : coefficient of over-all heat transmission
eak : one hundred million won

[표 15] Result of Case Studies

Items	Combination Review	Energy Demand Quantity	Energy Efficiency Rating	Self-reliance ratio
	Basic Model	122.7kWh/㎡	1 Grade	3.59%
CASE1	C-1,2	102.4kWh/㎡	1+ Grade	2.21%
CASE2	C-1,2/D-1 (sunlight 101kW)	99.0kWh/㎡	1 + Grade	5.44%
CASE3	C-1,2/D-1,2 (sunlight 202kW)	93.3kWh/㎡	1+ Grade	10.83%
CASE4	C-1,2/D-1,2 sunlight 260kW	90.0kWh/㎡	1++ Grade	14.00%
CASE5	C-1,2/D-1,2 sunlight 372kW	83.7kWh/㎡	1++ Grade	20.01%
CASE6	C-1,2/D-1,2,3 sunlight 580kW	72.0kWh/㎡	1++ Grade	31.25%
CASE7	C-1,2/D-1,2,3/A-1 sunlight 580kW	70.3kWh/㎡	1++ Grade	31.77%
CASE8	C-1,2/D-1,2,3/A-1/+BIPV 265kW	62.8kWh/㎡	1++ Grade	40.01%
CASE9	C-1,2/D-1,2,3/A-1/+BIPV 270kW	59.58kWh/㎡	1+++ Grade	41.42%
CASE10	C-1,2/D-1,2,3/A- /+BIPV 820kW	40.4kWh/㎡	1+++ Grade	60.20%
CASE11	C-1,2/D-1,2,3/A-1/ D-4 (BIPV 880kW)	38.4kWh/㎡	1+++ Grade	62.25%
CASE12	C-1,2/D-1,2,3,4/A-1,2,3/B-1,2,3	33.7kWh/㎡	1+++ Grade	65.65%

05. 결론 및 제언

이상에서 살펴본 바와 같이 국내 단열설계기준은 제로에너지 공동주택을 목표로 꾸준히 강화되어 왔으며, 특히 '제로에너지 공동주택'은 더이상 이룰 수 없는 기술적 한계가 아닌 갈 수 있는 목표이며, 무조건 가야 할 길임은 자명하다. 다만, 제로에너지 공동주택을 실현하기 위한 우선순위를 고려함에 있어 단열설계기준은 거의 종착역에 다다랐기에 그 중요도가 낮아지고 있고, LED 조명기기, 열원설비의 고효율화, 신재생에너지 설비 설치를 통한 자립률 향상 등이 주요 기술요소로 대두되고 있음을 주지해야 할 것이다.

특히, 제로에너지 공동주택은 중고층임에도 대지면적이 좁아 신재생에너지를 충분히 설치할 수 없음을 감안하더라도 실현이 쉽지 않은 것은 ① 정의의 불명확성, ② 경제성 문제, ③ 유지관리 문제 등을 들 수 있다.

제로에너지 건축물 정의의 불명확성이란 앞에서 살펴본 바와 같이 다양한 의미로 정의되고 있는데, 특히 국내의 경우 난방, 냉방, 급탕, 환기, 조명 이상 5개 용도별 1차에너지 소요량 합계를 이용하여 신재생에너지를 이용한 에너지 자립률 20% 이상일 경우로 정의된다고 볼 수 있는데, 이는 현재 선진국에서 플러그 부하 및 프로세스 에너지 등을 감안한 Net ZEB, 온실가스 배출을 제로로 한다는 Zero emission, 에너지 비용 제로까지 고려한 Cost Zero와 같은 개념까지 논의되고 있는 것과 비교하면 갈 길이 멀어 보인다.

이러한 정의와 연계하여 경제성 문제는 크게 2가지로 볼 수 있는데, 첫째는 시장에서는 Cost Zero를 생각하고 에너지 비용을 지불하지 않을 것으로 생각하고 있는데, 기술 수준이 그것에 미치지 못하는 문제와 둘째는 Cost Zero가 되지 못하는데 어느 정도까지 초기 비용을 추가로 지불할 수 있을지에 대한 문제이다.

마지막으로 유지관리 문제는 제로에너지 건축물을 구현하기 위한 요소기술들이 최근 개발되기 시작했기 때문에 장기간 사용에 따른 적정 효율의 유지가 언제까지 가능하며, 그에 따른 기술적 유지관리가 어떻게 이루어져야 하는지에 대한 부분과 기존 건축물과 달리 제로에너지 건축물이기 때문에 필요 불가결하게 실시해야 하는 유지관리 사항은 없는지 등에 대한 내용이 명확하게 규정되어 있지 않다는 것이다. 이에 대한 대책으로 단순하게 준공단계에 장비의 효율 확인에 그치는 TAB가 아니라 제로에너지 건축물의 기획단계부터 설계단계, 시공단계 전체 프로세스에 관여할 뿐 아니라 최소 1년 단위의 모니터링을 통한 최적화 사용 스케줄까지 고려하는 커미셔닝 개념이 중요해지고 있다.

국내 단열설계기준의 변천이 건축물의 열손실방지를 통한 에너지절약설계에 기여해 왔으며, 향후 패시브하우스 설계기준과의 부합성을 통한 제로에너지 공동주택을 실현하고자 함에 있어 이러한 문제들에 직면해 있음에도 지속 가능한 공동주택 단지를 조성하기 위해서 단지와 세대 내부에 다양한 제로에너지 건축기술을 적용하려고 부단히 시도할 뿐 아니라 향후 입주자의 생활 패턴을 분석해 시간과 상황에 따라 에너지 손실을 최소화하는 등 최적의 주거환경을 제공하기 위한 기술까지 개발하기 위해 노력하여야 할 것이다.

※ 참고문헌

01. 국가법령정보센터, https://www.law.go.kr
02. 제로에너지 건축물 인증시스템, https://zeb.energy.or.kr
03. 사용기, 한찬훈 (2019), 공동주택 제로에너지빌딩 인증을 위한 적정가산비 산정에 관한 연구, 한국건설관리학회 논문집, pp.21-30

리모델링현장 기계설비 적용 기술 소개

글 장동민 / 오금아남아파트리모델링현장 차장
전화 010-9147-7276 **E-mail** min0612.jang@ssyenc.com

01 시작하며

리모델링 프로젝트는 세대내 천장고를 유지하면서기계설비공사에 필요한 배관, 덕트 등을 최적화된 MEP Service 루트를 찾아 한정된 공간에서 설치하여야 한다.

30년 이상 된 골조(층고 2.6m)를 유지하며 시공되는 리모델링 공사는 천장고 2.2m이상을 확보하기 위한 MEP CSD(Combined Services Drawings) 가 매우 중요하다.

또한, 기존골조(존치&철거)와 신설골조에 따라 이용하는 공법 또한 여러 방면으로 고려하여야 하며, 이러한 특성을 고려하여 활용 가능한 공사 방법에 대하여 소개하고자 한다.

02 스리브 설치 방법개선

2.1 MEP LAYOUT 활용

MEP LAYOUT 장비은 기준선 입력으로 위치 설정하고 연결된 TABLET에서 시공상세도를 이용하여 Sleeve, 코어링, Insert 위치 등을 레이저포인트로 시각적으로 표현 주는 장비로, 기존방식인 도면치수를 확인하고 작업자가 기준선을 찾아 줄자로 측정하여 시공하는 재래식 방법에 비해 허용오차가 0.2mm~0.5mm이내로 정확하다.

Human Error를 차단하여 정확성을 기반으로 마감간섭에 따른 재시공을 방지하고 Spool 모듈화 제작으로 작업량 성과를 향상시킬 수 있다.

[그림 1] RTS MEP LAYOUT 장비

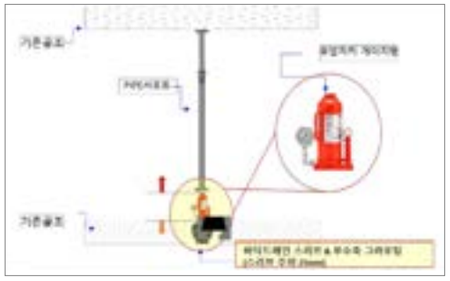
[그림 2] MEP LAYOUT 활용 예시

사용효과
작업비용감소 재작업 감소, 공장 제작, 현장조립 가능
빠른 작업 작업량 향상, 건축 기준먹선과 크로스 체크가능
쉬운 작업 2D도면, 3D모델을 배경도면으로 작업 작업결과를 바로 도면화
치수의 정확성 최소허용오차 0.2mm~0.5mm 이내 정확성

03 코아링 후 SLEEVE 고정 방식

기존골조를 활용하는 리모델링 공사의 특성상 코어링 부위에 고정으로 Mortar 사춤 할 경우, Mortar 양생시 체적변화로 기존골조와 일체화되지 않아 배관설치 하중에 의한 Sleeve의 처짐이나 탈락의 위험을 방지하기 위하여 무수축그라우팅(Non-Shrink mortar Grouting)을 사용하여 배관하중에 대한 대응성을 높여야 한다.

[그림 3] 스리브 그라우팅 강도 시험



설치한 Sleeve에 PIPE 서포트와 유압자키 게이지형을 이용하여 4.0ton의 하중을 가하여 TEST한 결과, 무수축그라우팅 부분의 파단 및 기존골조 부착면의 탈락이나 Sleeve 변형이 없어 배관하중에 대한 Sleeve의 안전성을 확보하였다.

[그림 4] 무수축 그라우팅

[그림 5] 스리브 강도 시험결과

04 SPOOL, 모듈화 제작

4.1 PVC 원팩시스템

세대내 화장실 하부배관 PVC 오배수관을 공장재단 및 가공하여 세대별로 하나의 팩에 담아 제공 반입되어 현장에서 세대별로 운반하여 단순 조립 설치하므로 기존방식대비 시공성 향상으로 설치 인건비 절감과 자재 LOSS(약8%)가 발생되지 않는다. 또한 부지가 협소하고 자재운반이 어려운 리모델링 현장 특성상 적재공간, 샵장, 절단, 가조립, 소운반 공정이 사라져 안전사고를 예방 할 수 있는 방법이다.

[그림 6] PVC 원팩 시스템

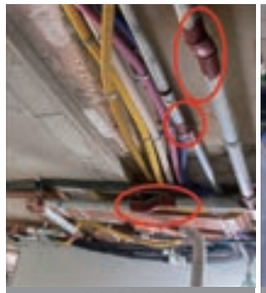
하지만, 기존골조의 층간 편차로 도면 기준으로제작된 원팩제품은 현장 설치 시 스리브 위치의 오차가 발생되어 일부 배관을 연장 또는 축소하고 별도의 부속이 필요한 등 재작업의 위험이 있다. 따라서, 앞서 소개한 MEP LAYOUT 장비를 활용한 스리브 설치 위치의 측정으로 해결할 수 있다.

4.2 SP배관 C-PVC적용 및 모듈화 제작

30년이전에 시공된 골조는 15층 이하에 스프링클러배관 미적용 대상이며, 골조의 수직·수평도가 불량하여 천장공간 부족으로 소화배관을 백강관 적용시 공간확보를 위하여 배관 굴곡의 연결부속을 규격품으로 설

치가 난해하며 과도한 용접개소 발생으로 시공성과 인건비의 투입이 문제가 될 수 있다.

[그림 7] 소화배관 시공 사진


타사 백강관 적용

C-PVC 배관 적용

천장 속 각종 시설물의 배열이 선행되어야 하며 각 층, 각 실마다 상이한 설치공간의 상황에 유연하게 대처할 대안으로 소화배관의 재질을 C-PVC로 적용하였고, C-PVC 배관의 주요 하자인 배관 연결부의 탈락에 의한 누수 하자를 방지하고자 세대별 공작제작으로 모듈화하여 현장에서 연결하는 접합개소를 줄였으며, 현장 접합 시 동절기 (영상5℃ 이하) 작업 제한, 접합부의 시공지침을 마련하였다.

[그림 8] C-PVC 모듈화 제작 과정

원자재입고

파이프 절단작업

면취 작업

본드 도포작업

조립작업 후 양생

포장작업

완성품적재

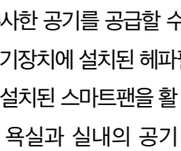
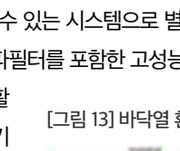
출하·운송

05 ALC블록 위생도기 설치 방법 검토

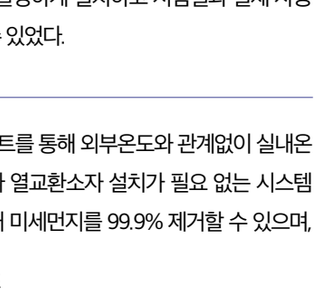
건물의 구조적 하중 경감을 목적으로 기존골조 및 신설골조 내력벽을 제외한 칸막이 벽체는 ALC블록이다. ALC블록에 설치되는 위생도기의 처짐이나 탈락 방지 설치방법으로 케미컬앙카와 기계식앙카를 각각 ALC블록에 시공하여 인발 시험을 통해 적절한 설치 방법을 찾아내고자 했다. 시험결과 기계식앙카는 최대 200Kg, 케미컬앙카는 최대 380Kg의 하중까지 적합하였으나 모재인 ALC블록이 먼저 파괴되었다. 기계식앙카를 사용하여 ALC블록에 세면기를 설치 후 약 200kg의 하중을 세면기에 가하였을 때 앙카 시공부위의 접합분리나 처짐이 발생되지 않았다. 케미컬앙카가 기계식앙카 보다 견고한 성능을 보이지만 모재의 인장강도보다 케미컬앙카의 강도가 강하여 모재가 먼저 파괴되는 것으로 확인이 되어 과도한 시공이라고 판단이 되며 기계식앙카로 시공하여도 200kg의 하중을 견디므로 재료비가 50%이상 저렴하여 가성비가 있고 추후 하자가 없을 것으로 기대되는 기계식앙카 사용이 적합 할 것으로 판단되었다. 다만 ALC블록의 연결부에 근접한 부위는 국소적으로 케미컬앙카 사용을 추가로 검토하고 있다.

[그림 9] 앙카 인발시험

[그림 10] 앙카 인발시험 결과

구분	메카니컬 앙카		케미컬 앙카		비고
	A(1차)	B(2차)	A(1차)	B(2차)	
결과치	1.5KN (150kg)	2KN (200kg)	3.3KN (330kg)	3.8KN (380Kg)	케미컬 앙카 시공 후 30분 경화
하중시험	레미탈 5포(200kg)		N/A		
사진					

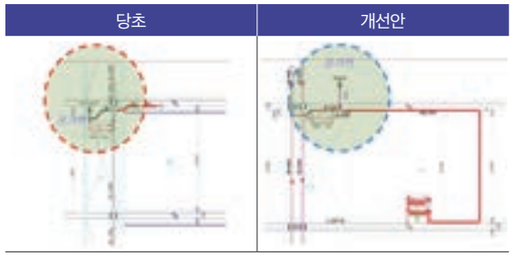
[그림 11] 세면기 하중 시험



06 세대난방배관 검토

신축공사의 경우 난방배관을 골조에 이중관으로 매립하여 온수분배기로 연결되어 특이사항이 없으나 기존골조를 활용하는 리모델링 공사의 특성상 노출배관으로 시공하여야 하며 난방배관이 세대 천정에 노출배관으로 설치되어 건식벽체 등을 통해 바닥으로 설치되므로 배관 내 공기발생으로 난방수가 순환이 되지 않아 하자가 발생할 우려가 있어 설치 방법에 대하여 검토하였고 샘플시공을 통해 난방수 순환 시험 결과 기존 설계인 입상배관 말단에 설치되는 에어벤트로는 공기배출이 원활하지 않았다. 따라서 에어벤트를 각 세대입상 별로 추가 설치하였으며 난방배관은 최상단에 설치하여 배관높이를 일정하게 설치하고 시험결과 실제 사용유량인 4LPM기준으로 4~5분이내 공기배출이 되는 것을 확인 할 수 있었다.

[그림 12] 난방배관 설치 검토



07 바닥열을 이용한 세대 환기 시스템

바닥열 환기란 바닥 모르타르 하부(기포콘크리트)에 매립된 급기덕트를 통해 외부온도와 관계없이 실내온도와 유사한 공기를 공급할 수 있는 시스템으로 별도의 프리히터나 열교환소자 설치가 필요 없는 시스템으로 급기장치에 설치된 헤파필터를 포함한 고성능 3중필터를 통해 미세먼지를 99.9% 제거할 수 있으며, 욕실에 설치된 스마트팬을 활용하여 욕실과 실내의 공기를 동시에 환기할 수 있는 시스템이다. 바닥열을 이용하여 별도의 히터나 열교환소자가 없이 외기를 실내온도와 유사

[그림 13] 바닥열 환기시스템 개념도

[그림 14] 바닥매립 덕트 설치 상세

[그림 15] 급기장치

[그림 16] 3중필터 (헤파필터 적용)

[그림 17] 욕실환기팬

하게 도입할 수 있어 운영비는 경제적이나 덕트가 기포콘트리트에 매립이 되므로 현장에 상주하지 않는 업체 특성상 기포 및 방통 타설 등 마감작업에 지장이 없도록 시공관리에 유의하여야 하며, 매립부분의 파손이나 누기 등으로 인한 하자에 주의하여 시공하여야 한다.

08 마치며

리모델링공사는 전체 공기 32~35개월 중 50% 이상을 내부 철거 및 토목 구조보강공사에 할당되므로 실제 MEP 및 마감 공사기간은 신축에 비하여 현저하게 짧다. 이를 극복하기 위해서 일반전기 및 일반설비 협력업체 선정을 서둘러 현장에 특성을 먼저 파악하여야 하고 설계도서 검토를 통해 문제점을 도출하고 협의하는 과정이 필요하다.철거기간 동안 MEP CSD도면 협의가 선행되어 도면을 확정한 후 신규골조 공사 이전에 기존골조 부위의 코어컷팅 및 슬리브 설치 입상배관 설치 등 선행공사를 통해 신규골조 이후 작업과 연계되어야 마감공사 시간을 확보할 수 있으며, 품질 또한 향상시킬 수 있다. 이를 위해서 타 부서간의 긴밀한 업무 협의가 무엇보다 중요하다 생각된다.

현장마다 상황과 조건이 다른 리모델링공사 이기에 모든 리모델링공사에서의 해답이 될 수는 없겠으나 당 현장에 적용한 사례를 참고하여 타 현장의 리모델링 공사를 수행하는 실무자에게 도움이 될 수 있는 자료로 활용 될 수 있기를 기대한다.

기술정보 | 토목

시공단계의 BIM기반 공정 및 기성계획에 대한 시공사 BIM 활용

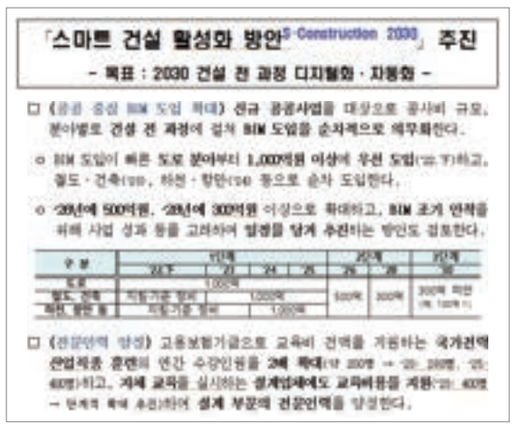
글 김회진 / 토목기술팀 차장
전화 02-3433-7768 **E-mail** kimhj20@ssyenc.com
글 황준기 / 토목기술팀 대리
전화 02-3433-7776 **E-mail** jungi.hwang@ssyenc.com

01. 머리말

BIM 이란 무엇인가? 라는 학문적 정의부터 설명해야 BIM을 이해하는 단계는 지나 이미 다수는 BIM을 실무에서 직접 활용해 보았거나, 적어도 BIM이 무엇인지 들어는 보았을 것이다.

최근 이러한 BIM의 도입과 활용에 가장 적극적인 주체는 정부이다. 22년 7월에 국토교통부가 보도한 자료에 따르면, 신규 공공사업을 대상으로 BIM 도입을 순차적으로 의무화하는 계획을 발표하였다. BIM 도입이 빠른 도로 분야부터 1,000억 이상에 우선 도입('22 下)하고, 철도 및 건축('23), 하천 항만('24) 등으로 순차 도입하며, '26년에 500억원, '28년에 300억원 이상으로 확대하는 방안이다.

[그림 1] 국토교통부 보도자료(2022/7)



「스마트 건설 활성화 방안(S-Construction 2030)」 추진

- 목표 : 2030 건설 전 과정 디지털화 · 자동화 -

□ (공공 중심 BIM 도입 확대) 신규 공공사업을 대상으로 공사비 규모, 분야별로 건설 전 과정에 걸쳐 BIM 도입을 순차적으로 의무화한다.

○ BIM 도입이 빠른 도로 분야부터 1,000억원 이상에 우선 도입('22. 下)하고, 철도 · 건축('23), 하천 · 항만('24) 등으로 순차 도입한다.

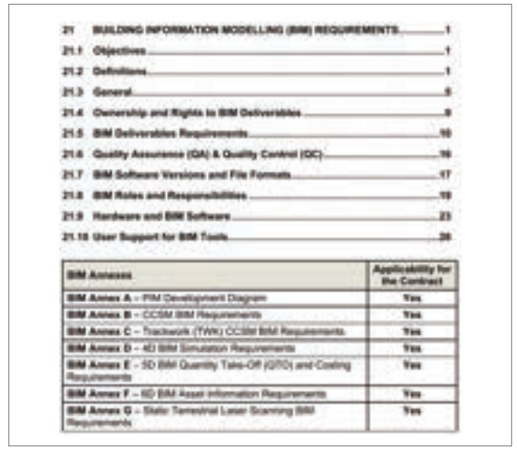
○ '28년에 500억원, '28년에 300억원 이상으로 확대하고, BIM 초기 안착을 위해 사업 성과 등을 고려하여 발생률 탄력 추진하는 방안도 검토한다.

구 분	1단계				2단계		3단계
	'22.下	'23	'24	'25	'26	'27	'28
도로	1,000억						
철도, 건축	적용기준 발표	1,000억			500억	300억	300억 이상
하천, 항만 등	적용기준 발표	1,000억					(예: 100억 이상)

□ (전문인력 양성) 고용보험기금으로 교육비 전액을 지원하는 국가전략 산업직종 훈련의 연간 수강인원을 2배 확대('21 2만명 → '22. 3만명, '23. 4만명)하고, 지속 교육을 실시하는 설계업체에도 교육비용을 지원('22. 40개 → 단계적 확대 추진)하여 설계 부문의 전문인력을 양성한다.

이러한 움직임은 국내 BIM 부분이 많이 벤치마킹 하고 있는 싱가포르에서 더 뚜렷히 나타나고 있다. 2023년 당사가 입찰을 추진하고 있는 싱가포르 지하철 현장의 BIM Requirement(BIM 과업지시서)를 보아도 알 수 있다. 일반적으로 우리가 보는 3D Model인 3D BIM 뿐만 아니라, 4D BIM, 5D BIM, 6D BIM까지 활용과, 현장마다 최소 4명 이상의 BIM 전문인력 상주를 의무사항으로 명시하였다.

[그림 2] CR205, BIM Requirement(싱가포르, '23)



21 BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) REQUIREMENTS 1
21.1 Objectives 1
21.2 Definitions 1
21.3 General 5
21.4 Ownership and Rights to BIM Deliverables 9
21.5 BIM Deliverables Requirements 10
21.6 Quality Assurance (QA) & Quality Control (QC) 16
21.7 BIM Software Versions and File Formats 17
21.8 BIM Roles and Responsibilities 19
21.9 Hardware and BIM Software 23
21.10 User Support for BIM Tools 26

BIM Annexes	Applicability for the Contract
BIM Annex A – PIM Development Diagram	Yes
BIM Annex B – CCSM BIM Requirements	Yes
BIM Annex C – Trackwork (TWK) CCSM BIM Requirements	Yes
BIM Annex D – 4D BIM Simulation Requirements	Yes
BIM Annex E – 5D BIM Quantity Take-Off (QTO) and Costing Requirements	Yes
BIM Annex F – 6D BIM Asset Information Requirements	Yes
BIM Annex G – Static Terrestrial Laser Scanning BIM Requirements	Yes

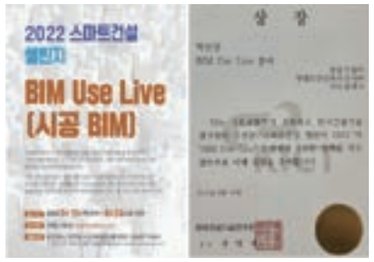
02. 스마트건설 챌린지

국내는 아직 시공단계의 BIM 활용에 대하여 구체적이고 체계적 관리를 준비하는 단계이며, 이를 위하여 다양한 시범사업과 연구가 이루어지고 있다. 그 한 예로 국토교통부는 '스마트 건설 챌린지' 라는 대회를 통해 스마트 건설기술의 보급 및 확산을 위해 건설업체와 전문기업의 성과를 공유하고 기술의 현장 적용을 확대하기 위한 목적으로 매년 개최하고 있다.

크게 5가지 부분이 있고 그 중 건설기술연구원이 주관하는 BIM 부분의 올해 주제가 '시공단계의 BIM기반 공정 및 기성

계획에 대한 시공사 BIM 역량평가'였고, 당사는 이 부분에 참가하여 혁신상을 수상하기도 하였다.

[그림 3] 2022년 스마트건설 챌린지 혁신상 수상



다른 부분에는 10개 넘는 팀이 참가한 것에 비해 BIM 부분에는 가장 적은 총 4팀 만이 참가하였다.

이는 이번 과제인 BIM 기반 공정 및 기성관리가 대형 시공사들도 쉽게 접근하기 어려운 내용이었을 뿐만 아니라 짧은 챌린지 기간 내에 수행해야 할 과업량 또한 상당하였기 때문에, 참가신청 마감일을 연기해가며 참가자를 모집할 정도로 쉽지 않은 대회 주제였음을 대변한다 하겠다.

당사가 본 챌린지에 참가하여 수행한 내용 중 공정 및 기성관리에 대한 내용 위주로 설명하기에 앞서 먼저 4D BIM, 5D BIM이 무엇인지에 대하여 간단히 알아보고자 한다.

03. 4D, 5D BIM 의 개념

3.1 개념

숫자 뒤에 붙는 D는 차원이라는 Dimension 을 의미한다. 2차원인 2D는 우리가 현재 일반적으로 사용하는 X,Y 값을 갖는 평면적인 Cad 도면이다. 일반적으로 2D에는 BIM을 붙이지는 않고 Z값을 추가한 3차원 형상을 가진 3D 도면부터 BIM이라 불리운다. 단순하게 3차원의 형태만 가지는 것이 아니라 BIM의 BI인 Building Information(정보)가 M인 Model 에 들어있는 것이 중요하다.

3D에서 정보가 하나씩 추가되면서 차원도 한 단계씩 상승한다. 4D는 3D에 Time(시간)의 차원을 더한 것이고, 5D는 4D에 Cost(비용)의 차원을 추가한 것이다. [그림 4]의 개념도를 보면 좀 더 쉽게 이해가 될 것이다.

[그림 4] 3D, 4D, 5D의 개념도 (출처 : 특허청)

3.2 4D BIM

4D BIM은 3D 객체에 Time(시간) 정보가 추가된 BIM이다. 건설에서 Time은 다시 말해 공사 스케줄인 공정을 의미하고, 이를 통하여 효율적인 공사 일정 관리를 통해 원가 절감 및 건설생산성을 향상시키는 것을 목표로 한다. 예를 들어 교량의 4D BIM은 시공 순서에 따라 말뚝, 기초, 교각, 교대, 거더, 포장 등의 순서로 표현될 것이다.

단순히 이 가시적 효과만 고려한다면 누구나 쉽게 아는 이 과정을 굳이 3차원 모델을 만들어 여기에 수고스럽게 시공 순서까지 지정해 주는 것이 무의미하다 생각될 것이다. 하지만 수차례 교통 우회가 필요한 도심지 공사의 경우 단계별로 공사 가능 지역이 확보되는 경우가 많은데, 이처럼 타 공종과 연계하여 볼 때 한눈에 공정 상의 오류를 알아보기 쉬워 큰 효과를 볼 수 있다.

[그림 5] 4D BIM _ 교량 시뮬레이션

3.3 5D BIM

5D BIM은 4D BIM에 Cost(비용) 정보가 추가된 BIM이다. 건설에서 Cost는 공사 금액을 의미한다. 공사 금액이 명시되는 내역서는 다시 수량과 단가로 구분되기에, 5D BIM을 구현하기 위해서는 내역서의 수량과 BIM의 연결이 첫걸음이라 할 것이다.

개념으로만 보면 BIM을 활용한 수량 산출로 생각되어 간단하게 보일수도 있지만, 현재 국내 수량 산출서와 내역서의 복잡한 구분 양식에 맞추어 BIM을 작성하는 작업은 다양한 BIM S/W들에 대한 지식과 더불어 내역의 수량을 볼 줄 아는 현장 경험을 바탕으로 많은 시간과 노력을 기울여야 하는 난이도 높은 작업이다.

5D BIM을 활용하면 공사 기간 동안 작업 진척 상황에 따른 공사 비용을 파악하여 현장을 관리할 수 있게 되어 기성관리의 수단으로 보기도 한다.

[그림 6] 5D BIM (출처 : uscost.com)

04. 3D BIM 수행

4.1 사업 개요 및 수행 계획

챌린지 대회를 위한 1단계 수행 과업은 주어진 도면을 기반으로 한 3D BIM 제작이다.

[표 1] 사업개요

발주자	국토교통부, 건설기술연구원
사업명	스마트 도로 건설공사
공사기간	2018.11.01~ 2023.12.31 (62개월)
대상시설	도로 : L=3.9km, 2차로 교량 : 4개소, L=818m (장대교 721m/1개소, 소교량 97m/3개소) 터널 : 1개소, L=924m 외 토공, ED교, 부대 등 모든 시설
BIM 단계	시공단계

[표 2] 주요 BIM 활용목적

구분	수행내용
설계변경 BIM모델링	설계변경 사항에 대한 BIM모델 업데이트
수량산출서내역서작성	BIM기반 수량산출 및 상세내역 작성
4D BIM 시뮬레이션	WBS 기반 4D 예상 공정 시뮬레이션 모델 작성
5D BIM 시뮬레이션	CBS 기반 5D 시뮬레이션 모델 작성
기성 관리	5D BIM모델 활용한 진척도 및 기성관리
장비운영 시뮬레이션	3D 모델 장비배치 및 시공성 사전점검
3D 프린팅 목업	설계변경사항 및 시공성 검토용 3D목업 작성
현장관리 플랫폼	클라우드 현장관리 BIM플랫폼 운영
VR / AR	VR/AR 실감형 장비를 활용한 설계/시공성 검토

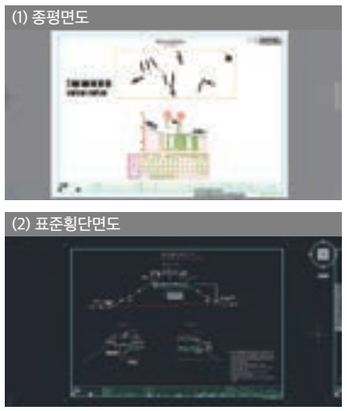
[표 3] 목적물별 BIM 데이터 작성범위

분야	요소	LOD
토공/도로	선형	300
	지형/지층	
	쌓기/깎기	
교량	슬래브	300
	벽체	
	기둥	
터널	굴착	300
	숏크리트	
	라이닝	

4.2 BIM 작성

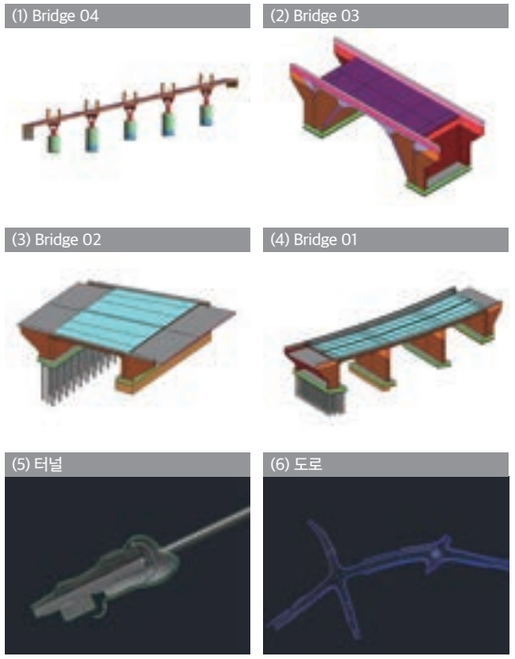
BIM 작성을 위하여 제공된 2D 도면들이다.

[그림 7] 2D 도면



2D 도면을 기반으로 하여 교량, 터널, 건축물 등에 대하여 3D BIM을 작성하였다.

[그림 8] 3D BIM



05. BIM 기반 수량 산출

5.1 기성관리 수행용 BIM 정보 작성(WBS/CBS)

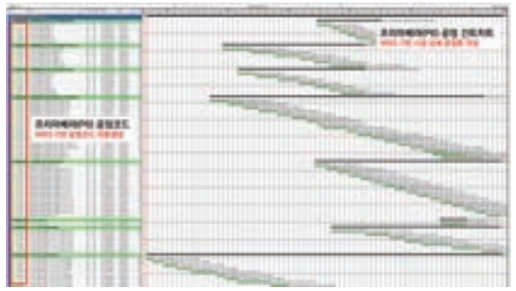
BIM S/W REVIT의 공유파라미터 기능을 활용하여 WBS (Work Breakdown Structure) 및 CBS(Cost Breakdown Structure)에 대한 정보를 입력할 수 있는 정보창을 생성한다. WBS CODE는 건설 CALS(건설사업정보화)를 기반으로 생성한 데이터를 입력하고 CBS CODE는 설계내역서의 데이터를 기준으로 정보 입력을 한다.

[그림 9] WBS/CBS 코드 입력

5.2 WBS 기반 상세 공정표 작성

프리마베라(P6) S/W를 활용하여 앞서 생성하여 BIM에 입력한 WBS CODE와 매칭되는 공정으로 분류하여 각각의 WBS CODE별 시공 상세 공정표를 작성한다. 간트 차트 기반으로 작성된 공정표는 공정코드가 자동으로 부여되며 추후에 해당 코드를 사용하여 공정관리를 진행한다.

[그림 10] 공정표 작성



5.3 CBS 기반 REVIT 수량산출서(일람표) 작성

BIM S/W REVIT의 일람표 기능을 활용하여 CBS CODE 기반 BIM 정보 데이터를 EXCEL로 추출한다. REVIT의 카테고리(기초/기둥/일반모델 등)별 수량 추출을 진행하며, BIM 객체에 포함되어 있는 재질별 자동물량과 CBS로 연계된 연동/수동물량도 함께 추출을 진행한다.

[그림 11] Revit 일람표 작성

5.4 DYNAMO 기반 WBS-CBS 자동연계

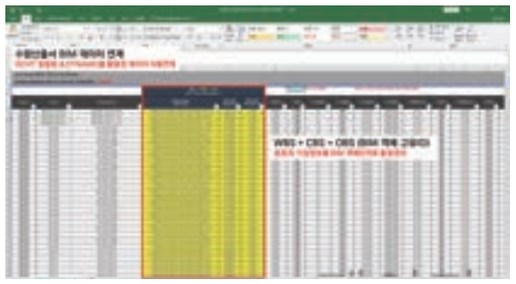
BIM S/W REVIT의 파이썬 알고리즘 ADD-IN인 DYNAMO를 사용하여, Primavera P6에서 작성된 공정코드와 날짜데이터를 WBS CODE 정보창에 자동으로 입력하여 CBS CODE와 연계한다. 추후에 BIM 객체의 고유 ID를 OBS CODE로 치환하여 객체단위 기성 프로세스를 확립한다.

[그림 12] WBS-CBS 자동연계

5.5 BIM 데이터 기반 수량산출서(BOQ) 작성

REVIT DYNAMO를 통해 BIM 객체의 WBS-CBS 정보의 일원화 작업이 완료되면 객체의 고유 ID를 활용하여 공종별 수량산출서에 수식(SUMIF)을 통한 데이터 자동 업데이트 알고리즘을 실행한 후, 총괄수량집계표(BOQ)를 작성한다.

[그림 13] 수량산출서 작성



5.6 BIM 수량산출서(BOQ) 기반 설계내역서 연계

BIM 데이터와 연동된 총괄수량집계표(BOQ)와 기존 내역서의 단가를 활용하여 공사비를 산출한다. 더불어 데이터 자동 업데이트 알고리즘이 구축되어 있기에, 추후 BIM 데이터의 변동이 생길 경우 데이터가 자동으로 업데이트 될 수 있도록 구현되었다.

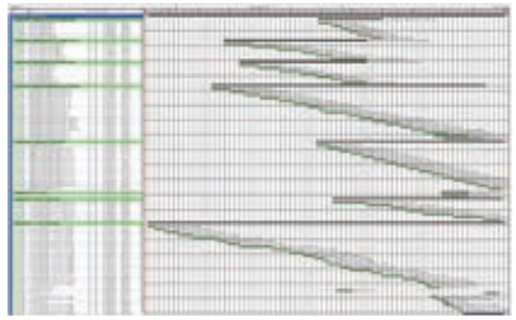
[그림 14] 설계내역서 연계

06. 4D/5D BIM 작성

6.1 공정표 기반 WBS 및 BIM 객체 연계

각 공종별 담당자는 총괄 BIM매니저와 협의 하에 공종별 상세 공정계획을 작성한다. 총괄 BIM매니저는 전체 공정계획을 취합하여 공유하고 변경사항이 업데이트 되도록 관리한다.

[그림 15] 전체 공정표



공정표는 Primavera P6로 작성하여 Activity Code를 WBS기반 4D 시뮬레이션의 기준 파라미터로 활용할 수 있도록 한다. 총괄 BIM매니저는 WBS/CBS 관련 속성정보가 정의된 공유파라미터 정의 파일을 확인한다.

[그림 16] 거푸집자동화_Dynamo

6.2 BEXEL Manager 4D/5D 시뮬레이션

3D Model을 활용하여 4D BIM 또는 5D BIM을 수행하기 위해서는 별도의 S/W가 필요하다. 다양한 S/W가 있으나 이번 경연에서는 BEXEL을 이용하였다. Bexel Manager에서 규칙기반 분류체계 자동연동(WBS-CBS)과 계획공정의 시뮬레이션을 통한 설계/시공성 검토를 통하여 시공 리스크 사전 검토 및 대안 검토를 실시하였다.

[그림 17] Bexel Manager 운용

(1) Bexel Manager 생성 공정

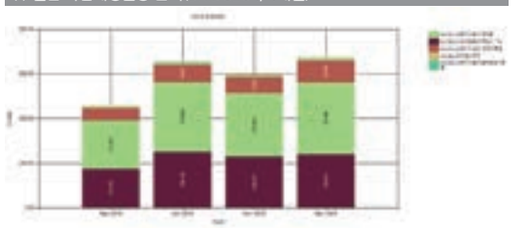
(2) 정의된 비용 항목

6.3 계획 공사물량 및 비용 분석

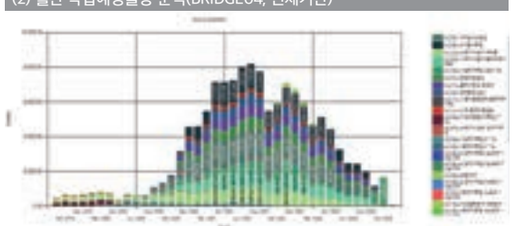
BIM모델의 속성정보에 지정된 공사물량과 P6에서 생성된 공정코드를 연동하여 기간별 계획공사물량을 분석하였다. BRIDGE04 모델의 4개월간 및 공사 전체 기간동안 수행예정인 태스크의 공사물량을 시각화하여 공사관리에 활용할 수 있도록 하였다.

[그림 18] 작업예정물량 분석

(1) 월간 작업예정물량 분석(BRIDGE04, 4개월)



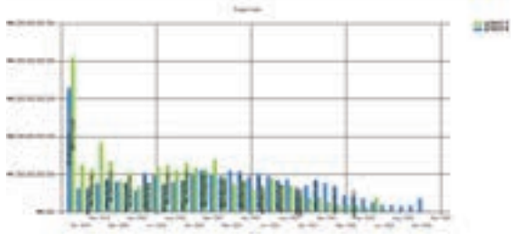
(2) 월간 작업예정물량 분석(BRIDGE04, 전체기간)



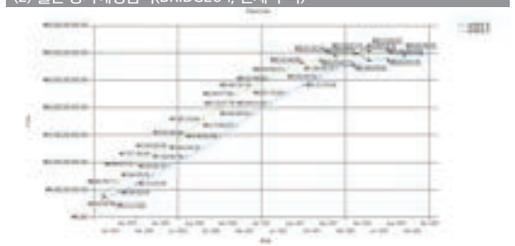
공사물량 분석자료에 단가정보를 연동해 설계변경 전/후의 누적 공사비용 추이를 분석하였다. 앞선 작업예정물량과 동일한 범위(BRIDGE04, 4개월)의 투입비용을 분석하여 설계변경으로 인한 비용변화를 분석하였다.

[그림 19] 월간 공사예정금액 분석

(1) 월간 공사예정금액(BRIDGE04, 전체기간)



(2) 월간 공사예정금액(BRIDGE04, 전체 누적)



07. 설계변경 전후 대비표

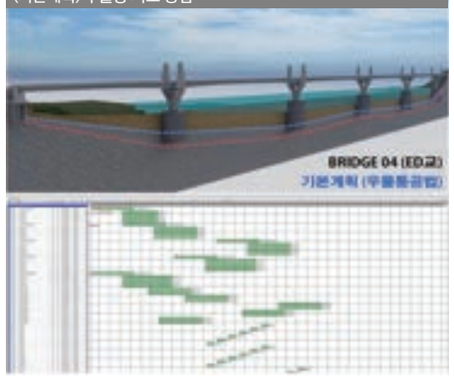
챌린지의 평가 항목 중, 하기의 2개 주제에 대한 설계변경을 경연기간 중 수행하고 관련 성과물 제출하는 것이 포함된다.

7.1 BRIDGE04(ED교) 주탑 하부 기초 설계변경

- 주제1 : ED교 주탑 하부 기초 변경 : ED교 주탑 하부 지반조사 중 하부 지반 암선이 기존 지반조사 결과(지질주상도)와 비교하여 10m 이하에서 발생하여 시공위험이 발생될 수 있으므로 지반암선을 변경하고 기초 형식, 기초 말뚝 간격과 개수 등에 대한 설계 변경을 수행하여 이에 대한 지반 안전성 검토, 변경된 BIM기반 공정 및 기성계획을 수립(전·후 비교 반영)하시오 .

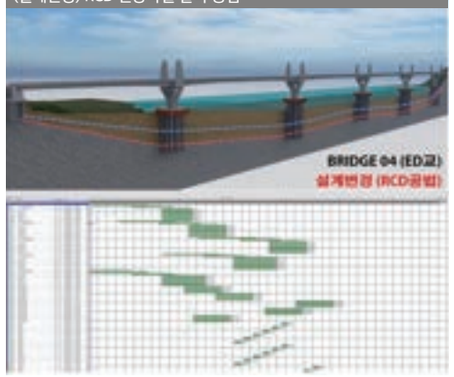
[그림 20] 주탑 하부 기초 설계변경

(기본계획) 우물통 기초 공법



우물통 기초 공법 : 총 공사기간 737일(2019/09/09-2022/07/05)

(설계변경) RCD 현장타설 말뚝 공법



RCD 현장타설 말뚝 공법 : 총 공사기간 845일(2019/09/09-2022/12/02)

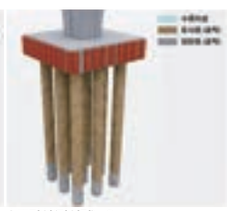
(변경상세) 교량기초 공법변경

변경 전

변경 후

교량기초 공법변경(우물통기초 공법 → RCD 현장타설 말뚝 공법)
공사비(우물통기초 공법 307억 → RCD 현장타설 말뚝 공법 297억)
공사기간(우물통기초 공법 737일 → RCD 현장타설 말뚝 공법 845일)

수중타설(타설량) : 418.39㎥
토사층(굴착량) : 2040.98㎥
암반층(굴착량) : 636.18㎥



수중타설(타설량) : 0㎥
토사층(굴착량) : 610.512㎥
암반층(굴착량) : 97.18㎥

7.2 TUNNEL 시점부 연장 설계변경

- 주제2 : 터널부 시점 및 지보패턴 변경 : 터널의 시점부 지반을 현장조사한 결과 기 실시설계(BIM)와 달라 천단부 붕락 등 시점부 갱구사면 붕괴가 발생되어 공사지연이 야기될 수 있으므로, 시점부의 길이를 연장하고 시점부 지보패턴을 변경하는 것으로 설계 변경을 수행하여 이에 대한 선형 검토, 변경된 BIM기반 공정 및 기성계획을 수립(전·후 비교 반영)하시오.

[그림 21] TUNNEL 시점부 설계변경

(기본계획) 시점 STA.1+748

터널 기본계획 : 총 공사기간 1024일(2019/10/01-2023/01/08)

(설계변경) 시점 STA.1+730

터널 설계변경(최종) : 총 공사기간 987일(2019/10/01-2022/12/12)

08. 스마트건설기술 활용

최적의 설계변경안을 도출하고 검토하기 위한 방안으로 그동안 당사가 시범 적용하며 운용 기술을 축적한 다양한 스마트 건설기술도 활용하였다.

8.1 SABU(Ssangyong All-in-one BIM Utility)

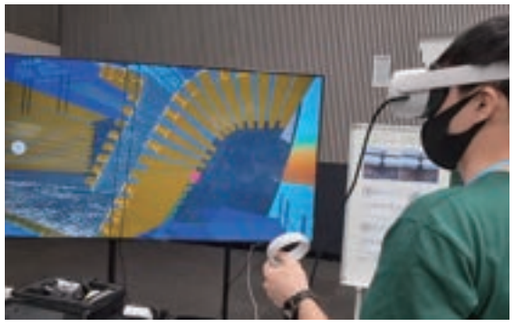
Unity기반으로 당사에서 자체적으로 개발한 공사 계획 검토 솔루션인 SABU를 통해, 건설장비 동적 시뮬레이션으로 현장 작업 사전 검토를 수행하였고, 드론 측량 수치표면모델(DSM) 연동으로 현장여건을 현실적으로 반영되도록 하였다.

[그림 22] SABU 사용자 환경

8.2 VR(가상현실) 설계검토

SABU와 Oculus를 사용하여 ED교량 F/T시공방법 상세검토와 원형교차로 도로부분 경관성 및 주행성 검토를 가상현실 기반으로 수행하였다.

[그림 23] ED교량 F/T시공방법 검토



8.3 AR(증강현실) 설계검토

SiteVision를 사용하여 설계 변경 전/후 3D BIM을 현장에서 AR을 통해 시각적 검토를 수행하였다.

[그림 24] SiteVision 인터페이스 상세

09. 맺음말

기본적인 3D BIM의 다음 단계는, 4D BIM과 5D BIM으로의 확장이다. 서두에서도 언급했듯이 우리보다 앞선 싱가포르 사례를 보아도 몇 년 전까지 3D BIM만을 다루다, 현재 4D, 5D, 6D BIM으로 확장을 추진하고 있다. 국내 또한 많은 발주처가 시범 현장 운용을 통해 활용을 적극적으로 모색함과 더불어 권장하고 있다.

아직 우리에게는 현장에서의 3D BIM 활용조차 요원한 이야기처럼 느껴질 수 있다. 하지만 국가 정책으로 BIM도입을 법적 의무화해가며 활용을 적극 권장하고 있는 상황에서 이를 마냥 먼 이야기로만 치부하여 이에 대한 대비를 하지 않는다면, 향후 이를 미리 대비한 상대와는 큰 차이가 벌어질 수밖에 없을 것이다. BIM과 다양한 스마트 기술에 대하여 당사는 높은 수준의 기술력을 보유하고 있다고 자부하며, 신규 기술에 대하여도 적극 수용할 예정이다. 이를 바탕으로 현장과의 협업을 통해 생산성 향상과 안전사고 예방에 앞으로도 지속적으로 노력할 것이다.

기술정보 | 토목

디지털 경제와 건설산업 플랫폼

글 김창수 / 토목기술팀 차장
전화 02-3433-7767 **E-mail** conshot@ssyenc.com
글 최선영 / 토목기술팀 대리
전화 02-3433-7789 **E-mail** sychoi21@ssyenc.com

01. 시작하며

최근 디지털 기술이 빠르게 발전하면서 경제활동에 미치는 영향도 점차 커지고 있다. 산업 디지털화의 국제적 관심이 높아지면서 다양한 산업 도메인에 IT가 접목된 핀테크, 프롭테크, 에듀테크와 같은 서비스가 등장하고 있고, 건설산업에서도 콘테크를 통한 디지털화가 업계의 고착된 경제구조에 역동성을 줄 수 있는 해결책으로 제시되고 있다.

드론, 로봇, IoT와 같은 콘테크 시장은 최근 몇 년 사이 가파른 성장세를 보여주고 있는데, 이에 따라 기업의 디지털 기술 채택도 최근 매우 증가하였다. 2022년 산업 디지털 전환촉진법이 국회에 통과되었으며 코로나 대유행 이후 건설업계 60% 이상은 디지털 전환이 가속화될 것으로 조사되었다.❶

많은 기업이 급속도로 성장한 기술의 발전과 변화에 맞추어 데이터 활용기술을 현장에 시범 적용하고 소프트웨어 교육을 진행하고 있는데, 이러한 최근 분주한 움직임에도 건설산업의 생산성과 수익성에는 기대만큼 두드러진 성과를 보여주지 못하고 있다. 첨단기술이 방대해지고 기술 간의 융합화가 복잡해지면서 적용 이후 실제 효과를 느끼기까지 시간이 더 많이 소요되고 있다.

지금의 경제 성장동력을 이끄는 기술들은 과거의 디지털혁명 때와 적용방식에서 매우 다르다.

인터넷 보급을 통해 1인 1PC 시대를 맞이하며 컴퓨터 간 기본 네트워크 서비스를 통해 이루어졌던 첫 번째 디지털화 물결과 대조해볼 때, 현재의 디지털화 물결은 자원과 기술서비스를 관리하고 소비하는 통합서비스 방식인 일련의 플랫폼생태계로 확장되었다. 즉, 성장동력을 이끄는 현재의 기술들은 단일 연결보다는 융합된 상호의존적 형태의 생산 가치사슬과 함께 연결되어야만 실리적 효과를 가질 수 있다.

디지털 기술적용과 건설 생산성과의 인과관계는 단순하지 않기 때문에 어떻게 시작하고 적용해야 하는지에 대해 명확한 해답을 가지기 어려워 많은 건설 기업들이 시행착오를 겪을 수밖에 없는 과도기 상태에 있다. 새로운 기술, 장비의 사용 이상의 본질적인 디지털화가 가져오는 경제적 의미의 생산적 가치에 대해 고민이 필요한 시점이다.

산업의 디지털 전환을 촉진하고 산업 데이터를 생성, 활성화를 위해 국토교통부는 스마트 건설 활성화 방안을 발표했으며, 플랫폼 구축을 포함한 스마트 건설 기술 연구개발에 2025년까지 약 2,000억 원을 투자계획을 발표하였다. 산업 데이터를 새롭게 생성한 자에게 이를 활용해 사용·수익할 권리를 인정하는 제도가 최초 도입되면서 건설산업 데이터가 거래, 가치 창출이 가능한 '비즈니스'로서도 주목되기 시작되었다. 디지털 경제 환경에 맞는 새로운 디지털 비즈니스 모델과 업무환경은 앞으로 건설산업의 전략적 과제가 될 것이다.

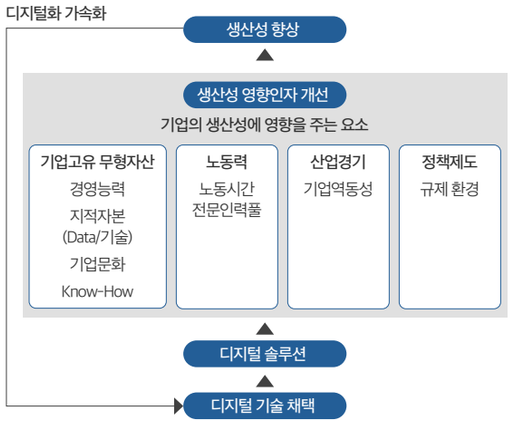
02. 디지털 경제와 생산성

건설 디지털화의 정도가 생산성 향상과 높은 연관 관계를 맺고는 있지만 디지털 기술과 생산성과의 인과관계는 매우 복잡하다. 기업에서 새로운 디지털 기술을 채택한다고 해서 디지털화가 이뤄졌다고 할 수 없는 이유는 실제 많은 인자가 서로 영향을 주고 있어서 기술적용에 의한 결과로서 생산성이 향상했다는 인과관계를 측정하기가 쉽지 않기 때문이다.
건설 생산성은 상호 연관된 노동, 기술, 제도, 산업경기 변화에

❶ McKinsey&Company 2020, 『The next normal in construction』.

따라 영향을 미치는 정도가 크게 달라진다.❷ 이중 건설산업 종사자의 고령화 및 근로시간 단축과 같은 노동 구조적 특징들이나 원자재 가격 급등, 경기 위축 같은 전 산업에 공통으로 영향을 받는 경기 동향은 건설산업만의 주요 둔화 원인이 되기 어렵다. 건설산업의 비효율적인 생산과정을 개선하고 새로운 성장동력을 가지기 위해서는 기업 고유의 무형 자산과 기술 적용을 위한 보완적인 추가 투자에 따라 변화되어야 한다.

[그림 1] 디지털기술과 생산성의 상관관계



건설 생산성에 관한 OECD 리포트에 따르면 디지털 기술을 사용하는 결과로써 생산성이 높아지는 것이 아니라 기본적으로 생산성이 좋은 기업이 낮은 기업보다 디지털 기술을 많이 사용하면서 디지털화의 혜택을 본다는 분석 결과를 보여준다.❸ 근본적으로 생산성이 좋지 않은 기업은 기업 고유의 제도, 시스템, 제정, 관리 요소들도 불안정하고 디지털 기술을 받아들이고 개선하는데 더 오랜 시간이 걸리게 된다. 이 격차가 가속화가 될 때 생산성에서 큰 차이를 보여주게 되는 것이다.

디지털 기술의 역할은 생산성에 영향을 주는 요소들을 보조적으로 개선해주는 도구로서 기능을 한다고 볼 수 있으며 그 개선의 방법이 디지털솔루션을 통한 업무 효율화가 되어야 한다. 근본적으로 기술 자체는 생산성을 향상시킬 수 있는 직접적인 해결책은 아닐 수 있다는 점에서 기업 고유의 무형적 가치개선을 통해 생산성 향상이 이루어지도록 디지털 경제 체제의 본질을 먼저 이해하여야 하며 기술 및 경영 혁신 등을 통한 신사업(기술) 발굴과 프로세스 개선 등으로 거시적인 관점으로 접근하는 것이 필요하다.

[표 1] 건설사의 콘테크 기업 투자 및 개발사례

공동개발	쌍용건설+ 현대두산인프라코어	공사계획 검토 솔루션(SABU) 공동개발
	한화건설+ 창소프트아이앤아이	'H-BIMS(Hanwha BIM Solution)' 공동개발
	롯데건설+직방	메타버스기술 '메타폴리스'를 견변주택 적용
	현대건설+텐일레븐	AI기반 공동주택 3D 자동설계시스템 개발. 지분의 6%를 투자
	현대건설+이엔지소스트	공사관리플랫폼(SCMP) 공동개발
투자	현대건설+호반건설+ 바이브컴퍼니	텐일레븐 20억 공동투자
	GS건설, 삼성물산	엔젤스윙 지분투자
	GS건설	엑스틀로인베스트먼트를 설립 지분 100%
	우미건설	직방, 홈즈컴퍼니, 카사, 큐픽스, 어반베이스 투자
	호반건설+대한전선	벤처투자조합(플랜에이치벤처스) 결성 지분 100%. 스타트업발굴 및 투자
	대우건설	아스트로엑스 지분(30%) 투자

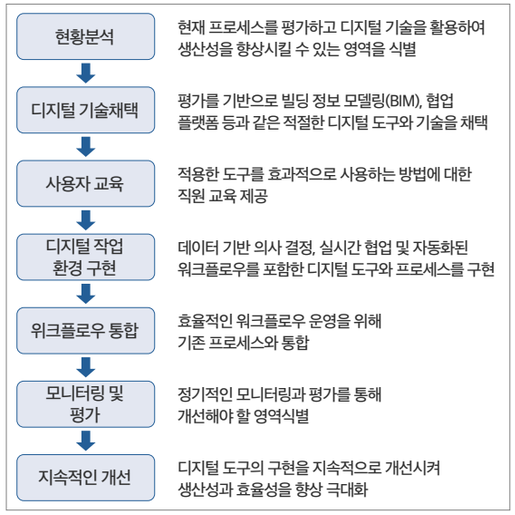
건설사에서도 IT 전문기업과 손을 잡고 공동개발 참여하거나 지분투자로 신사업 발굴을 위해 열린 기술혁신에 참여하는 사례가 늘어나고 있다. 스마트 건설기업지수(SCCI) 조사에서 집계된 자료에 따르면 주요 상위 20개 건설사가 최근 3년간 15개 콘테크 기업에 투자한 것으로 나타났는데 이러한 기술투자와 신기술 적용은 중·장기적인 경영전략으로 전사 차원으로 진행되어야 성공률을 높일 수 있다. 현장 시범 적용만이 아닌 전체 실효성을 위해서는 전사적인 업무 협업과 공감대가 필요하다.

03. 웹기반 디지털 건설 솔루션

웹 기반 플랫폼이란 웹에 기반한 솔루션이나 콘테크를 개발하기 위해 공개되는 인터페이스의 집합이라고 정의되어 있다.❹ 컴퓨터, 태블릿 또는 스마트폰과 같은 다양한 형태의 플랫폼 환경에서 사람, 기계, 재료, 방법 및 환경의 연결을 통해 건설 프로세스가 시스템으로 통합되고 이해관계자 모두 쉽게 접근할 수 있다. 인터넷 속도가 빨라지고 클라우드 서버, 포맷 호환 기술도 지속해서 발달하면서 문서, 로그 및 일정을 다른 팀과 빠르게 공유하며 업무의 디지털전환 속도도 가속화되고 있다.

❷ 2022.11. 한국 건설산업 연구원『한국건설산업 생산성 분석』
❸ OECD ECONOMIC OUTLOOK, VOLUME 2019 ISSUE 1: PRELIMINARY VERSION
❹ 백영란. "웹의 플랫폼화에 따른 플랫폼 및 소프트웨어 개발전략." 한국지능정보시스템학회 학술대회논문집 (2007): 101-110.

[그림 2] 디지털기술 워크플로우 메커니즘



다양한 서비스를 제공하기 위한 웹 기반 플랫폼과의 상호 의존적인 콘테크 기술은 참여자들이 같은 프로젝트 내에서 협력할 수 있는 새로운 방식의 경험을 제공해주고 있다. 국내는 BIM 적용 현장이나 대규모 프로젝트를 중심으로 사용성이 확장되어가고 있다. 건설산업에서 필요한 모든 정보와 서비스를 제공할 수 있는 가치교환이 한곳에서 이루어진다는 점에서 콘테크 기술산업은 적용 가능한 범위가 무한한 데이터 중심의 웹 기반 디지털 건설솔루션으로 자리를 잡아가고 있다.

근본적으로 디지털 기술들은 기업들의 프로젝트를 생산하고 관리하는 방식을 변화시킨다. 건설 정보통신, IT 분야의 성장에 따라 스마트 건설 기술로 취득하거나 처리한 정보는 이미 완료된 형태의 디지털데이터이거나 쉽게 전환할 수 있어 디지털 업무환경으로 빠르게 연결된다. 새로운 기술을 채택함에 따라 업무 프로세스가 변화될 수 있는데 기존업무 방식과의 최종 통합이 이후에 이뤄지지 않는다면 간헐적 효과 또는 이중업무가 되면서 기대했던 적용 효과를 볼 수 없는 경우도 생길 수 있다.

따라서 관리대상과 적용목적에 부합하는 기술 채택을 통해 디지털 업무 흐름을 일체화 시키는 과정이 필요하다. 지속성을 가지는 건설업무 프로세스에서의 디지털시스템 통합은 디지털화가 가져올 수 있는 수많은 혜택을 누릴 수 있는 기초적인 준비 항목이다.

[그림 3] 디지털 플랫폼의 주요 구성요소

디지털 통합은 근본적으로 조직의 운영 방식을 바꾸고, 사용자에게 가치를 제공하며, 시장에서 경쟁하기 위한 다양한 디지털 기술 내재화가 진행된다. 건설산업에서 일반적인 디지털 솔루션을 구현하기 위해서는 다음과 같은 주요 디지털 플랫폼의 구성요소가 필요하다.

첫째, 디지털 기술

디지털 기술은 플랫폼이 작동할 수 있도록 하는 기본 소프트웨어와 하드웨어를 말한다. 건설공사의 생산성, 안전성, 품질 등을 향상시키기 위한 공법, 장비, 시스템 등으로 인공지능, 머신러닝, 사물인터넷(IoT), 장비 자동화 기술 등이 포함될 수 있다.

둘째, 디지털 관리

데이터, 애플리케이션 및 기술 인프라를 이용하여 조직의 디지털 자산 및 자원을 관리하는 대상을 말한다. 디지털 기술이 효과적이고 효율적으로 사용되도록 보장하고 기업, 현장의 인력, 품질, 원가, 안전 등이 전략적인 비즈니스 목표로써 관리 되어야 한다.

셋째, 디지털 서비스

정보통신기술을 가지고 제공할 수 있는 기본적인 데이터 활용 기술들을 의미한다. 다양한 데이터를 추출, 변환 및 로드하는데 도움이 되는 소프트웨어 기술 기술들을 포함하여 정보 관리에 필요한 수집, 생산, 가공, 보존, 전달, 활용하는 모든 방법들이 포함된다.

디지털 기술, 디지털 관리, 디지털 서비스는 상호 연관되어 있고 서로 의존적이다. 디지털 기술은 디지털 관리와 디지털 서비스의 기반을 제공하고, 디지털 관리는 디지털 기술이 효과

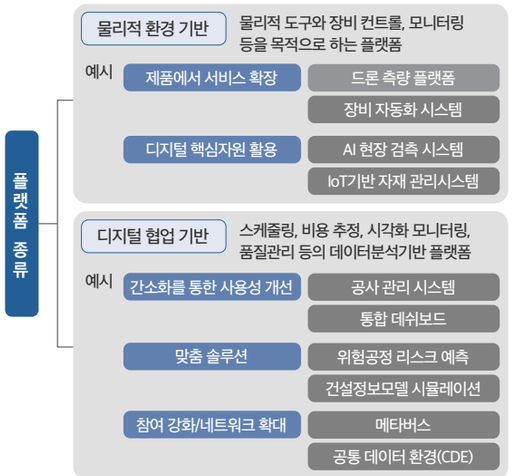
적으로 사용되도록 하며, 디지털 서비스는 사용자 가치를 창출하여 기존의 업무 경험을 향상시킨다. 디지털 플랫폼은 이러한 핵심 요소에 집중함으로써 사용자와 조직의 요구를 충족하는 가치 있는 디지털 서비스와 솔루션이 제공되어야 한다.

04. 건설 디지털 솔루션의 종류와 적용사례

플랫폼이 지원하는 기술유형에 따라 크게 물리적 환경기반과 관리 협업 기반으로 구분될 수 있다.

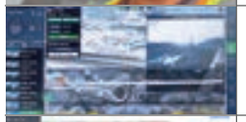
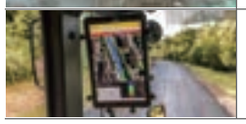
물리적 환경기반 플랫폼은 디지털 기기나 장비를 중심으로 물리적 환경과 연동되어 현장관리 서비스가 가능한 플랫폼이다. 현장의 물리적 정보를 조사하고, 수집하거나 실시간 현장 정보를 모니터링하는 등의 '실시간' 공간 데이터 관리가 가능한 이점이 있다. 드론, AR 같은 스마트 기기들이 전통적으로 하드웨어 산업 중심이었지만 GPS, IoT, 센서 등이 탑재된 장비를 제어하고 시각화, 데이터를 활용할 수 있는 웹 기반 소프트웨어 기술개발로 고도화되면서 부가적 기능을 구현하고 사용자가 쉽게 이용할 수 있는 물리적 환경과 연결된 플랫폼들이 현장관리에 적용되고 있다.

[그림 4] 디지털 플랫폼의 종류



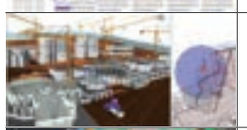
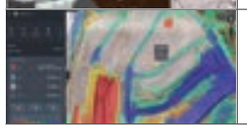
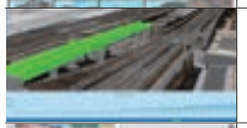
관리 협업 기반 형태는 주로 소프트웨어 기반의 도구와 서비스를 제공하여 사용자들이 협업하고 작업을 관리할 수 있는 디지털 환경을 제공한다. 현장에서 수집된 2차 가공데이터를 활용하거나 건설데이터를 이용하여 프로젝트 관리, 작업 일정 관리, 업무 협업, 문서 공유 및 팀 커뮤니케이션 등을 지원한다. 누적된

[표 2] 물리적 환경 기반 플랫폼 사례

물리적 환경 기반	
	Dusty Robotics 도면 레이아웃 현장출력
	Burns & McDonnell AR Platform
	**현대건설 HIBoard** IoT위치, CCTV, 360카메라이미지 모니터링
	Assignar 장비트랙관리
	Infrakit 여러 밴더사 제품의 건설중장비 자동화제어 시스템이 통합된 단일 플랫폼.
	대우건설 DW-CDS 자율비행 기능이 탑재된 실내 점검 및 감시 정찰용 소형 드론 기술 관제시스템을 접목한 패키지 상품개발
	**BOMAG** BOMAP system 태블릿, 스마트폰에 설치가능한 모든 롤러 장비 호환 무료 자동화플랫폼

수많은 데이터로부터 의미 있는 수치를 보여주는 시각화 된 통합 데시보드나 현장 리스크 AI 예측 분석 등이 사용될 수 있다. 건설산업에 특화된 아이디어 발굴로 다양한 형태의 플랫폼이 꾸준히 개발되면서 이용 가능한 건설솔루션이 다양해지고 있다.

[표 3] 협업 환경 기반 플랫폼 사례

협업 환경 기반	
	Alice AI 기반 건설 시뮬레이션 플랫폼 효율적인 자원을 최적화를 위한 일정, 비용검토
	**대림코포레이션** 공사계획 검토 솔루션
	**Komatsu** 토공관리 플랫폼
	쌍용건설 MirSmart (공통) 스마트 건설기술과 관련된 오픈 가능한 작업사례, 기술동향, 뉴스 등 정보공유, 교육 목적의 플랫폼 (현장전용) 현장별 데이터 스토리지와 기본 템플릿제공. 현장별 맞춤개발 확장이 가능한 현장관리 플랫폼
	**Esri** 지리공간엔진기반(GIS) 5D 디지털트윈 솔루션
	대우건설 SM.ile 사업성 검토플랫폼 라이선스 판매 공급 예정
	동부건설 메타동부 본사와 현장으로 나눠 가상 업무공간이 구현. 실시간 회의 가능
	쌍용건설 SABU : 게임엔진기반 공사계획 검토솔루션. 크레인 장비배치, 검토기능탑재.

05. 건설 웹 플랫폼 시장의 확장

현장에서 취득, 생성된 건설 소스 데이터를 활용하기 위한 목적으로 많은 건설사에서 플랫폼 맞춤 개발에 직접 참여하고 있다.

각각의 콘테크 기술을 현장에 활용하기 위해서는 IT 장비와 운용 소프트웨어 프로그램 외에도 건설 프로젝트의 복잡성을 관리하는 방법으로 더욱 정교한 건설 플랫폼 솔루션이 요구되고 있다. 로컬 장치에 설치해서 사용하는 독립 실행형 소프트웨어와 비교해 웹 기반 소프트웨어와 플랫폼은 사용자의 동시 협업과 실시간 호환에 유리한 이점 때문에 조금 더 선호되는 추세이다.

웹 플랫폼은 제공하는 솔루션의 적용개수에 따라서 특정 작업에 적합한 기능을 제공하는 단일특화 그룹과 다양한 기능의 방대한 목록을 제공하는 다중 건설 관리 그룹으로 분류될 수 있다.

단일특화 플랫폼은 단일 목적에 맞춤 개발되어 높은 기술집중성과 전문성을 가진다. 기기 특화된 메커니즘이 포함된 건설장비나, 드론, AR, 로보틱스 기술을 운용 조작하거나 BIM 뷰어, MAP 기반 전문 웹 소프트웨어 등도 주로 단일특화 형태의 플랫폼으로 적용되는 경향이 있다.

[표 4] 적용솔루션에 개수에 따른 플랫폼 구분

단일 특화 (독립형)	전문화	특정 작업을 위해 특별히 설계되어 더 나은 성능과 더 최적화된 사용자 경험제공
	사용 편의성	일반적으로 사용하기가 쉬움
	집중 개발	여러 요구 사항을 해결하는 대신 특정 작업에 가장 적합한 솔루션을 제공하는 데 집중
다중 관리 (통합형)	유연성	다양한 유형의 작업을 수행해야 하는 사용자에게 적합한 기능을 제공
	확장성	다른 도구 및 서비스와의 통합을 제공하므로 사용자가 사용하는 다른 도구 및 서비스와 연결된 사용자 환경제공
	효율성	사용자가 다양한 작업을 위해 여러 도구를 개별 구입하고 관리할 필요가 없는 단일 환경 제공

웹 소프트웨어 플랫폼처럼 독립된 2개 이상의 솔루션을 함께 묶어 단일 사용자환경을 제공하는 **다중 플랫폼이** 존재한다. 다양한 도구와 기능을 단일 환경으로 통합하여 사용자가 작업을 완료하는 데 필요한 리소스에 쉽게 액세스하여 사용할 수 있으며 필요한 서비스를 선택하거나 조합하여 현장 맞춤 관리가 가능한 플랫폼을 개발하는 데도 적합하다. 이러한 다중 기능 형태의 솔루션은 서로 다른 모듈에 대해 포괄적인 협력과 통합을 제공하는 경향이 있어, 독립형 소프트웨어를 각기 사용하는 것보다 이해관계자 간의 업무 상호 작용을 훨씬 더 쉽게 만든다.

아직은 데이터의 거래원칙과 기준이 명확하게 정립되지 않았지만 공공데이터 오픈소스처럼 이용 가능한 데이터가 다양해지면서 이를 이용한 건설 기술 활용이 다양하게 진행될 수 있는 기반이 점차 마련되어 가고 있다.

기존 로컬 소프트웨어로 설치하여 사용하던 응용 프로그램들이 점차 클라우드 기반 오픈소스를 제공하면서 기능들이 확장되고 있다. 예를 들어 드론 플랫폼은 단일로도 사용할 수 있지만 기본 지형 확인 이상의 도면 추출, 토공 물량분석 등과 같은 추가 서비스로 토공 물량산출 산출플랫폼으로나 현장 장비 트랙 서비스 등으로 확장할 수 있다.

이런 확장성은 각 상황에 맞는 적합한 디지털 플랫폼을 채택하는데 중요한 고려사항이 된다. 건설산업은 일정 기간 협업을 통해 일회적 단위생산을 하는 산업적 특징을 가지고 있기 때문에 다양한 전문분야별 분할된 생산주체 간 획일화된 시스템을 적용하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 따라서 프로젝트별 조직 구성, 계약 방식, 업무 범위, 프로세스 등 모든 것이 다르므로 프로젝트 특수성을 고려하여 각기 다른 건설솔루션의 구성이 필요하다.

프로젝트 관리대상을 선정하고 디지털 워크플로우를 적용하는 방법으로는 상용플랫폼 서비스를 구매하거나 또는 자사 개발로 진행될 수 있다. 개발을 통해 시작할 시에는 원하는 기능으로 구성된 맞춤형 플랫폼으로 기획될 수 있지만, 비용과 기간이 많이 소요되며 원하는 형태가 구현되기에 전문성을 요구하기 때문에 잠재적인 리스크가 있다. 많은 기능이 통합되어있는 것이 무조건 좋은 플랫폼이 아니기 때문에 필요한 기능들로 조합된 기본형 플랫폼을 우선 사용하면서 운용 가능한 수준의 필요한 모듈을 조합해 나가는 것도 좋은 방법이 될 수 있다. 구독, 임대가 가능한 건설 관리 SaaS(Software-as-a-Service) 플랫폼 서비스들도 다양해지고 원하는 소프트웨어와 기능들을 부분, 선택적으로 구성할 수 있는 커넥티드 플랫폼도 출시되고 있어 앞으로는 기술 자체의 우수성보다도 어떻게 왜 사용해야 하는지에 대한 고민이 더 중요해 보인다.

06. 맺음말

현대 경제에서 디지털화는 산업과 서비스 전반의 생산성 성장을 견인하고 있는 핵심 요소이다. 기업은 디지털 기술과 플랫폼을 채택함으로써 프로세스를 간소화하고, 비용을 절감하며, 의사 결정을 개선하면서 더 나은 건설산업에 필요한 서비스를 제공할 수 있다. 장기적으로는 디지털화 전략을 성공적으로 구현하는 기업이 경쟁 우위를 확보하고 각 산업의 성장을 견인할 잠재적인 가능성을 높일 수 있다.

디지털 건설 기술들이 초기비용과 투자를 상쇄할 만큼 충분히 크지 않아 건설산업에선 아직 부정적인 시각으로 바라보는 부분도 있다. 하지만 분명한 것은 주요 기술, 관리 및 조직 기술에 더 잘 접근할 수 있는 기업이 그렇지 못한 기업보다 생산성을 더 높일 수 있는 기반을 갖출 수 있으며 그로 인해 산업경제 주도권을 잡을 수 있다는 점이다. 일부 선구적인 건설기업들이 디지털플랫폼을 현장업무 개선에 적용하거나 이미 신사업 아이템으로써 추진하고 있으며, 당사 또한 중·장기적인 비전을 가지고 디지털 플랫폼 도입을 진행하고 있다.

이러한 디지털생태계 안에서 플랫폼은 광범위한 기술 시스템에 필요한 솔루션을 제공해줄 수 있고 업계의 비즈니스 문제를 해결하는 데 도움이 될 수 있다. 새로운 기술들이 등장함에 따라 플랫폼이 담을 수 있는 기능과 데이터의 종류도 점점 다양화되고 있는 만큼 디지털 기술 기반의 건설 관리 솔루션 채택과 새로운 아이디어를 모색하는 것이 중요한 시기이다. 다양한 목적의 디지털 서비스와 애플리케이션은 사용자에게 새로운 디지털 경험을 제공하고, 디지털 기술이 발달함에 따라 제공할 수 있는 서비스 또한 점점 수준이 높아지고 있다.

건설산업에서 디지털화의 의미는 BIM, IoT, 자동화 및 인공지능과 같은 디지털 기술을 사용하여 건설 프로젝트 운영을 능률화하고 최적화하여 전통적인 건설 프로세스를 디지털 프로세스로 전환하는 방식 이상의 경제적 의미를 내포하고 있다. 즉각적인 비용 개선의 효과를 보여주지 않을 수도 있지만, 건설 프로젝트 관리와 이해관계자 간의 협업을 쉽게 하려고, 프로젝트의 특정 요구사항을 충족하기 위해 앞으로는 다양한 플랫폼 기반의 솔루션들이 필수적인 도구로 인식될 것이다. 디지털 건설 기술이 적용된 서비스들은 계획, 설계, 시공 및 유지관리를 위한 새롭고 혁신적인 솔루션을 제공함으로써 중·장기적인 건설산업을 점차 변화시켜 나가고 있다.

이러한 기술적용을 통한 건설의 디지털화는 사고방식, 문화 및 작업 관행의 변화를 수반하여 건설에 대한 보다 협력적이고 데이터 중심적인 접근 방식을 요구하기 때문에 앞으로 풀어야 할 기술적인 문제와 더불어 문화적 적응 문제들이 존재한다. 이런 풀어야 할 숙제들에도 불구하고 건설산업에서 디지털 플랫폼과 도구의 사용에 점점 익숙해지고 협업이 강화되어 디지털 효과를 조금이나마 체감하고 변화되는 것을 느낄 수 있게 된다면 그 속도는 가속화되어 긍정적인 값진 결과로 이어질 것이다.

※ 참고문헌

01. OECD, Ed. "Digitalisation and productivity: A story of complementaries. Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD)." (2019).
02. Zulu, S., et al. "A thematic analysis of the organisational influences on digitalisation in construction firms." Journal of Engineering, Design and Technology (2022).
03. IDC 인포브리프, 디지털 트랜스포메이션: 한국 건설 산업, 커넥티드 컨스트럭션의 미래 (2020)
04. Aghimien, Douglas, et al. Construction Digitalisation: A Capability Maturity Model for Construction Organisations. Routledge, 2021.

기술정보 | 토목

콘크리트 보의 깊이에 따른 건조수축의 변화

글 김승규 / 토목기술팀 대리
전화 02-3433-7771 **E-mail** sgkim89@ssyenc.com

01. 서론

콘크리트는 수화작용에 필요한 수량보다 많은 물을 사용하여 배합한다. 수화하고 콘크리트 내부에 남은 물을 자유수라 하며, 이 물은 콘크리트가 대기 중에 방치될 때 증발한다. 그 결과 콘크리트는 건조수축을 일으킨다. 건조수축 변형률에 영향을 주는 인자로는 물-시멘트 비와 같은 배합특성과 부재의 크기 및 주변의 상대습도 등이 있다. 콘크리트의 건조수축을 예측하는 모델 중 가장 많이 사용되는 모델은 ACI모델, CEB-fib 모델 등이 있다. 각 모델들은 물/시멘트비와 같은 배합특성과 부재의 크기, 상대습도, 양생조건 등을 고려하여 건조수축을 예측할 수 있다.

예측모델들은 조건에 따라 수축 변형률 곡선이 결정되면 모든 부재단면 내에서 균일하게 발생하는 것으로 가정한다. 하지만 실제 보의 건조수축은 보 구조물 전체에 균일한 품질의 콘크리트를 타설하고 전단면(상부, 중앙부, 하부)에서 동일한 대기조건에 노출되어도 보의 상단에서 가장 크고 하단으로 갈수록 건조수축량이 줄어든다.

본 고에서는 콘크리트 보 실험체의 단면 깊이에 따른 콘크리트 보의 건조수축 변형률 실험결과를 소개한다. 실험을 통해 변형률 변화의 발생원인에 대해 콘크리트 구성성분의 반응과정을 고려하는 미시적 관점이 아닌 골재체적 집중 및 블리딩 현상과 관련된 거시적 관점에서 보의 깊이 내 건조수축 변형률의 분포 발생원인을 알아본다. 추가적으로 발생원인을 고려하여 건조수축량을 예측하는 방법에 대해 소개하고자 한다.

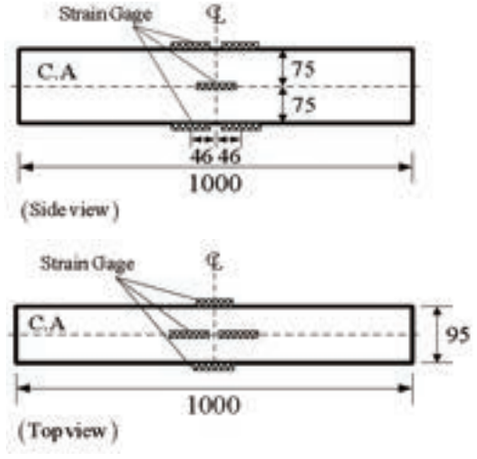
02. 콘크리트 보의 건조수축 실험

단면 깊이에 따른 콘크리트 보의 건조수축 변형률의 변화를 알아보고자 총 3번의 실험을 수행하였다. 첫번째 실험(실험A)과 두번째(실험B) 실험의 경우 각각 4개의 보 실험체를 제작하였고 세번째 실험(실험C)의 경우 6개의 보 실험체를 제작하였다. 실험 A, B 및 C의 실험기간은 재령 85, 63, 100일까지 계측을 수행하였다.

2.1 실험계획

보 실험체는 [그림 1]과 같이 폭 95mm, 높이 150mm, 길이 1,000mm의 제원을 갖도록 제작하였고 단면 깊이에 따른 변형률의 변화를 달라지는 것을 확인하기 위해서 상면, 중앙면 및 하면에 각각 2개씩 총 6개의 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 계측하였다. 변형률 게이지는 굵은 골재의 최대치수인 20mm보다 2~2.5배 이상의 차이를 갖는 길이 60mm인 변형률 게이지를 사용하였다. 이는 불균질한 콘크리트의 굵은 골재 등에 의해 발생하는 응력집중으로 인한 특이 변형률 데이터를 최소화하고 계측 데이터의 신뢰도를 높일 수 있기 때문이다.

[그림 1] 무근 콘크리트보의 제원 및 변형률 게이지 부착위치



2.2 실험수행

모든 실험은 [표 1]과 같이 28일 강도 28MPa, 슬럼프 180mm의 배합강도로 설계하였다. 굵은 골재는 최대 치수는 20mm의 자연석(강자갈)을 사용하였다.

[표 1] 콘크리트 보 실험체의 배합

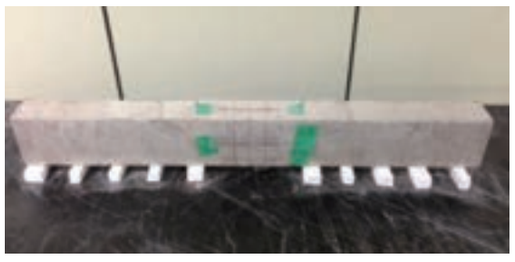
Test sets	Max. size of aggr., (mm)	W/C ratio (%)	Slump (mm)	Unit Weight, (N/m^3)			
				Water	Cement	Fine aggr.	Coarse aggr.
A	20	57	200	2,116	3,720	9,447	7,608
B	20	54	180	2,072	3,837	9,615	7,647
C	20	55	150	2,005	3,714	9,771	7,771

타설을 위해 보 실험체의 제원을 내경으로 갖는 합판 거푸집을 [그림 2]와 같이 제작하고 내부에는 탈형을 용이하게 하기 위해 박리유로 도포하였다. 타설 시에는 동일한 다짐효과를 위해 모든 실험체 마다 동일한 전동 다짐기를 활용하여 7~8초의 시간으로 다짐작업을 수행하였다.

[그림 2] 합판거푸집

양생 2일 후 거푸집을 탈형하여 실험체의 표면에 수분이 날아갈때까지 항온항습실에서 건조하고 실험 A, B와 C 각각 재령 8, 9 및 7일에 [그림 3]과 같이 변형률 게이지를 부착하여 계측을 시작하였다.

[그림 3] 변형률 계측

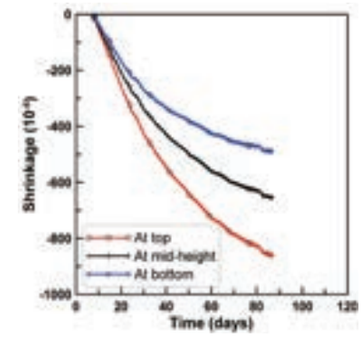


2.3 실험결과

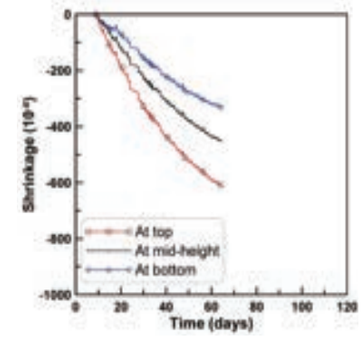
[그림 4]의 (a), (b) 및 (c)는 각각 콘크리트 보 실험 A, B 및 C의 평균 건조수축 변형률을 나타낸다. 모든 실험에서 상면의 건조수축이 가장 크고 중앙, 하면 순으로 건조수축 변형률이 깊이에 따라 감소하는 것을 확인할 수 있다.

[그림 4] 콘크리트 보의 건조수축 변형률:

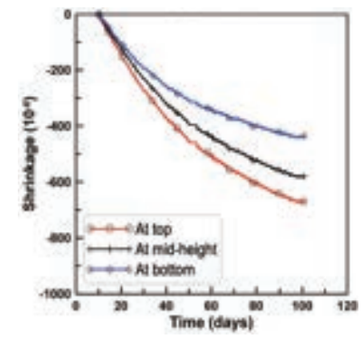
(a) 실험 A



(b) 실험 B



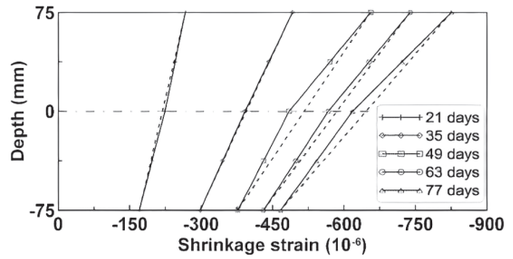
(c) 실험 C



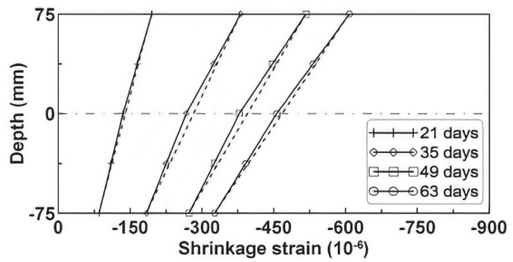
[그림 5]의 (a), (b) 및 (c)는 실험 A, B 및 C에 대해 각기 다른 재령에서 상면, 중앙면 및 하면에서의 계측된 건조수축 변형률을 나타낸다. 세 위치의 건조수축 변형률을 연결하여 선으로 이어보면 이 선들의 기울기는 점점 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 콘크리트 보 단면의 깊이에 따른 변형률의 변화가 시간에 따라 점점 커지는 것을 나타내고 이는 보의 양쪽 끝단이 위로 말려올라가는 곡률을 발생시킨다.

[그림 5] 콘크리트 보의 깊이에 따른 건조수축

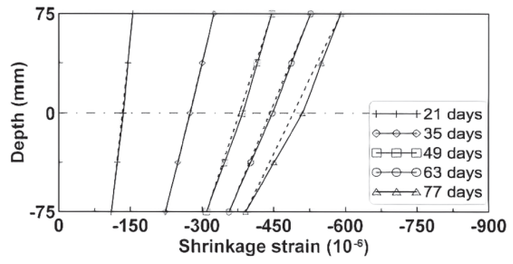
(a) 실험 A



(b) 실험 B

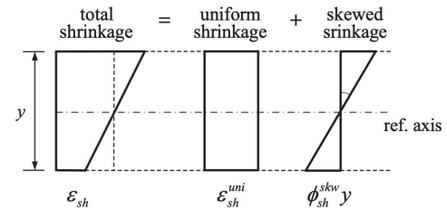


(c) 실험 C



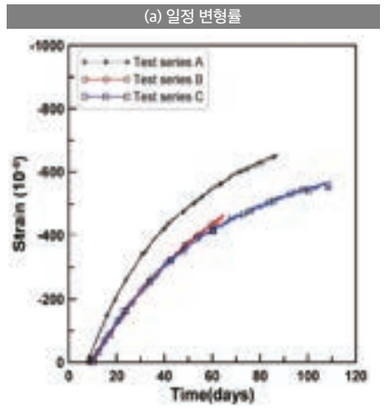
그동안 예측모델에서 고려되지 않았던 보의 깊이에 따른 건조수축 변형률의 변화를 수학적 모델로 고려하기 위해서 [그림 6]과 같이 단면전체에서 일정하게 작용하는 일정 변형률 성분과 상면과 하면의 건조수축 변형률 차이에 의해 발생하는 휨 변형률 성분으로 구분하여 [그림 7]에 나타내었다.

[그림 6] 콘크리트 보 건조수축 변형률의 구분

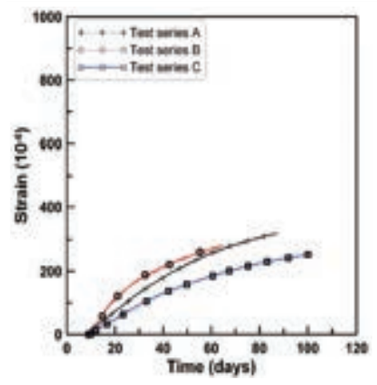


[그림 7] 콘크리트 보 건조수축 변형률의 구분결과

(a) 일정 변형률



(b) 휨 변형률



2.4 실험결과의 평가

콘크리트 보의 실험결과에서 볼 수 있는 보의 깊이에 따른 건조수축 변형률 변화는 기존의 콘크리트 보의 장기거동 해석에

서 고려되지 않았다. 이를 고려하고 일정 변형률과 휨 변형률을 간단히 비교, 분석하기 위해서는 수학적 모델이 필요하다. 가장 많이 활용되는 건조수축 예측식은 ACI 모델로 식 (1)과 같다.

식 (1)

$$\varepsilon_{sh}(t,t_0) = \frac{(t-t_0)^{\alpha}}{\beta+(t-t_0)^{\alpha}} \times \varepsilon_{shu}$$

[그림 7]의 일정 변형률 데이터와 휨 변형률 데이터를 각각 회귀분석하여 ACI 모델식에서 권장하는 분수 함수의 형태로 정의하여 나타내었다. 여기서 ε_{shu}은 극한 건조수축값으로 0.78×10^{-3}mm/mm의 변형률을 가진다. 회귀분석으로 구한 식 (1)의 계수 α, β의 값은 [표 2]와 같다.

[표 2] 일정 및 휨 변형률 건조수축의 α, β

Coefficient		Test A	Test B	Test C
β	β_{uni}	39.4	73.7	71.3
	β_{skew}	180.4	133.6	301.2
α		1.13		

모든 실험에서 β_{skew}값이 β_{uni}값 보다 큰 값을 나타내었다. 정량적으로 비교하면 실험 A와 B에서는 4.5배였고 실험C에서는 1.8배로 나타났다. 이는 일정 변형률이 휨 변형률 보다 보의 건조수축 변형률에 지배적인 것을 나타낸다.

이는 기존의 콘크리트 보의 장기거동 해석방법에서 휨 변형률을 무시하여 검토되었을 때 실제 거동과 비교적 큰 차이를 갖지 않았던 이유가 될 수 있다. 그러나 시간에 따라 휨 변형률이 증가하고 이에 따라 장기거동 해석의 정확도가 무시할 수 없는 오차를 발생 시킬 수 있다.

03. 보의 깊이에 따른 건조수축 변형률 변화 원인

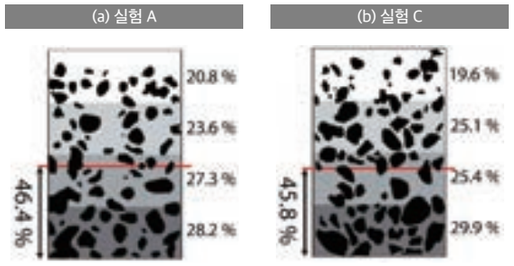
3.1 단면 내 골재의 농도 분포

실험이 종료되고 1,000mm 길이의 실험 A, C의 실험체를 임의로 선정하여 각 250mm 길이로 총 4등분하여 절단하였다. 절단된 단면을 높이 37.5mm, 폭 95mm의 동일한 4개의 영역으로 구분하고 각 영역의 골재 농도를 측정하였다. 각 영역의 골재농도는 [표 3]에 나타내었고 그림 3.1에서 평균 골재 농도와 골재영역의 도심축의 위치를 나타내었다. 골재영역의 도심축은 각 절단면의 골재 면적의 단면 1차모멘트를 통해 계산하였다.

[표 3] 골재의 영역별 농도

Test sets	Percentage ratio (%)							
	Test A				Test C			
	A-1	A-2	A-3	Aver.	C-1	C-2	C-3	Aver.
top	21.5	21.3	18.9	20.8	21.8	19.8	17.4	19.6
Top-mid	26.1	23.2	24.0	23.6	21.1	27.0	30.3	26.1
Bot-mid	34.6	26.8	24.4	27.3	26.6	21.8	27.8	25.4
bottom	33.1	28.6	32.8	28.2	30.5	31.4	27.8	29.9
G_{area}	47.8	46.8	44.8	46.4	46.0	46.3	45.1	45.8

[그림 8] 영역 별 골재의 농도 및 골재영역의 도심



4개의 영역에서 상단영역에서 골재의 농도가 가장 낮으며 하단으로 갈수록 증가하였고 절단면에서 골재영역의 도심축은 실험 A와 C에서 각각 하단의 46.4%, 45.8% 위치로 계산되었다.

일반적으로 골재집중도와 골재강성의 변화가 건조수축량의 변화를 일으키는 것으로 알려져 있는데 이는 골재강성에 따라 콘크리트가 수축할 때 콘크리트의 수축이 골재입자에 의해 억제되기 때문이다. 따라서 보의 단 깊이에 따라 상부에는 상대적으로 건조수축 변형률에 저항하는 골재량이 작고 하부에는 많아 건조수축 변형률에 변화가 발생한 것을 확인할 수 있었다.

3.2 골재의 농도 분포 원인

실험체의 절단면을 통해 골재 농도의 단면 깊이에 따른 변화는 타설 시에 발생하였다는 것을 알 수 있다. 타설 시 골재 농도의 변화는 물의 블리딩(bleeding)현상과 다짐작업의 2가지 원인으로 설명할 수 있다.

먼저 블리딩은 골재가 침강하고 물이 상승하여 상면에 모이는 현상으로 단면 내 불균일한 물-시멘트 비율과 골재농도 변화를 발생시킨다. 이는 보 실험체의 상부 영역에서 골재농도를 낮추게 되고 상부에는 물-시멘트 비율이 늘어 건조수축 변형률이 증가하게 된다.

단면 깊이에 다른 골재농도 변화의 2번째 원인은 다짐작업이다. 타설 시 다짐봉과 바이브레이터 등의 물리적작용에 의해 상대적으로 크고 무거운 골재가 하부로 이동하게 되는 것이다. 다짐작업은 특히 골재의 침강과 상호 관련있는 물의 블리딩 현상을 더더욱 증가시킬 수 있다.

04. 보의 깊이에 따른 건조수축 변형률 예측

보의 깊이에 따른 건조수축 변형률의 예측은 건조수축 변형률에 대한 골재 체적 집중도의 영향을 고려하는 식 (2)의 Hobbs의 방정식을 활용하였다.

식 (2)

$$C_c = C_m \left[\frac{1-D_a}{1+D_a}\right]$$

여기서 C_c, C_m및 D_a은 각각 일정 건조수축 변형률, 시멘트 페이스트 부분의 건조수축 변형률, 골재체적의 집중도를 나타낸다.

C_m은 실험결과의 일정 건조수축 변형률 C_c와 [표 1] 배합설계의 골재체적 집중도 D_a값을 각각 대입하여 계산하였다.

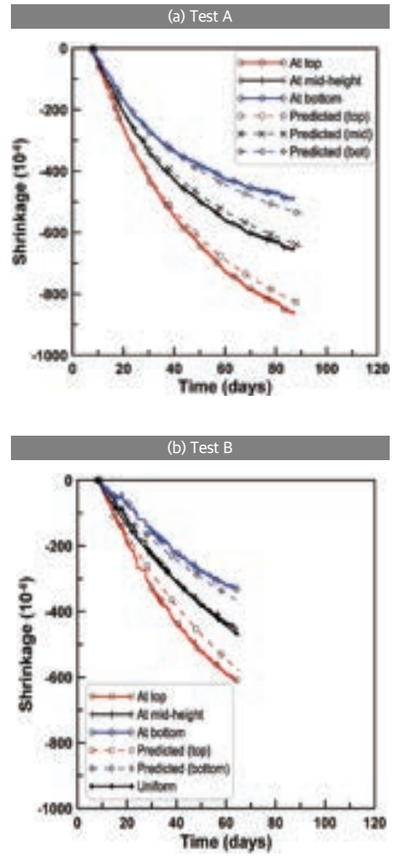
계산한 C_m값은 각 영역에서 같은 값을 사용하고 실험 A, B 및 C의 각 4개 영역에 대한 D_a는 배합설계에서 결정된 전체 골재 체적에서 [표 3]에 정리한 골재 농도에 해당하는 체적 집중도로 환산하여 계산하였다. 각 영역의 골재 체적(V_a)과 4개 영역에 대한 D_a를 [표 4]에 나타내었다. 실험 B의 경우 골재의 농도가 측정되지 않았기 때문에 중앙을 기준으로 상위영역과 하위영역 2개의 영역으로 구분하고 D_a값을 상위에는 -5%, 하위에는 +5%의 변동폭을 임의로 적용하였다.

[표 4] 실험들의 골재 체적 집중도(D_a)

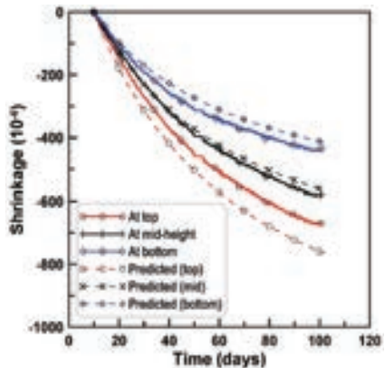
Test sets	Test A		Test B		Test C	
	V_a	D_a	V_a	D_a	V_a	D_a
Top	6,340	0.69	-	0.70	5,950	0.68
Top-mid	7,190	0.73	-		7,620	0.75
Bot-mid	8,320	0.78	-	0.80	7,710	0.76
Bottom	8,590	0.79	-		9,070	0.81
Average	-	0.75	-	0.75	-	0.75

[그림 9]에서 상면, 중앙면 및 하면의 위치에서 계측된 건조수축 변형률 실험결과와 Hobbs의 방정식을 기반으로 예측된 건조수축 변형률을 비교하였다.

[그림 9] 보 건조수축 변형률 실험결과와 예측결과의 비교



(c) Test C



05. 결론

콘크리트 보의 깊이에 따라 건조수축 변형률이 변화하는 현상을 소개하고자 하였다. 콘크리트 보 실험체의 실험결과와 변형률 변화의 발생원인 및 예측방법에 대해 정리하면 다음과 같다.

① 보 실험체에 대한 실험결과 보의 깊이에 따른 건조수축 변형률은 상면에서 가장 크고 하면에서 가장 작은 것을 확인하였다.

② 변형률 변화의 발생원인은 보의 단면 깊이에 따라 균일하지 않은 골재 농도 분포로 확인하였다.

③ 콘크리트 보의 단면을 따라 골재 농도가 균일하지 않은 이유는 콘크리트 타설 시 블리딩 현상 및 다짐작업 등의 영향으로 판단되고 골재농도는 보 단면의 상부에서 하부로 갈수록 증가하는 것을 확인하였다.

④ 보의 깊이에 따른 건조수축 변형률을 골재 농도의 변화를 고려할 수 있는 Hobbs의 방정식으로 예측하였다. 예측된 건조수축 변형률과 측정된 건조수축 변형률의 비교결과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 골재 농도 분포가 건조수축 변형률의 변화에 많은 영향이 있다고 판단할 수 있었다.

※ 참고문헌

01. Jeong, J. H., Park, Y. S., & Lee, Y. H. Variation of shrinkage strain within the depth of concrete beams. Materials, 2015, 8.11: 7780-7794.
02. ACI Committee 209. Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete (ACI 209R-92); ACI: Farmington Hills, MI, USA, 2008.
03. Hobbs, D.W. The dependence of the bulk modulus, Young's modulus, creep, shrinkage and thermal expansion of concrete upon aggregate volume concentration. Mater. Struct. 1971, 4, 107-114.
04. Hobbs, D.W. Influence of aggregate restraint on the shrinkage of concrete. ACI 1974, 71, 445-450.

마리나 해안 고속도로
싱가포르

현장기술 소개

On-site Technical Introduction

78 | 평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사 현장 소개
85 | PC공법 적용사례 소개
91 | 동해가스전 육상시설 원상복구공사 현장 소개

현장기술소개

평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사 현장 소개

글 조한택 / 평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사 과장
전화 02-3433-7715 **E-mail** herotaek@ssyenc.com

01. 시작하며

평택~오송 2복선화 건설공사 사업은 경부고속선 평택분기점~오송 구간 선로용량(1일 190회) 포화상태 해소를 위해 추진된 사업으로, 총 연장은 46.95km 중 34.0km가 경부고속선 하부 최대 170m 지하에 2027년 완공을 목표로 현재 실시설계가 진행중이다.

평택분기점~오송 구간은 위로는 서울/수서행, 밑으로는 광주/부산행이 이 길로 전부 모이면서 현재 병목현상이 심한 구간이다. 1일 190회가 운행가능한 이 구간은 현재 KTX 및 SRT 운행으로 이 횟수를 다 채우고 있으나, 향후 인천/수원발 KTX, 남부내륙선 등이 운행을 시작하게 되면 병목현상이 더욱 심해지게 될 것이다. 신규 노선 운영을 위해서는 기존 고속열차 운행편수를 축소하지 않는 이상 불가능하여 이를 해결하기 위해 추진되는 사업이다.

[그림 1] 사업 위치도

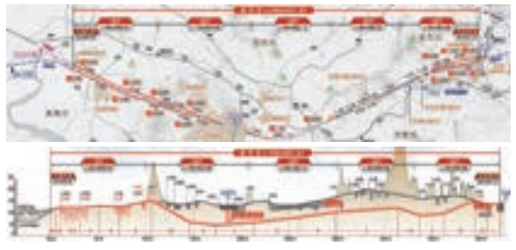
평택~오송 2복선화 건설공사 사업은 "제3차 국가철도망 구축계획(2016~2025), 2016, 국토교통부"에 근거하여 추진되었으며, 2023년 상반기에 설계 준공 및 공사 착공이 될 예정이다.

[표 1] 평택~오송 2복선화 추진 경위

2017.09	예비타당성조사 착수
2019.01	국가균형발전 프로젝트 사업으로 예비타당성조사 면제 사업 선정
2019.11	타당성조사 및 기본계획 수립 용역 착수
2021.06	총사업비 협의 완료 및 기본계획 고시
2021.09	설계시공 일괄입찰(T/K)공사 입찰 공고
2022.04	실시설계 적격자 선정 및 실시설계 착수
2023.	설계준공 및 착공 예정

평택~오송 2복선화 건설사업은 경기도 평택시 팽성읍~충청북도 청주시 흥덕구 오송읍 일원에 걸쳐 총연장 46.95km를 5개공구로 분할하여 설계시공 일괄입찰(T/K)로 발주되었다.

[그림 2] 공구 분할도



각 공구별 약6개월에 걸친 설계 성과물에 대해 2일간의 평가를 시행하여 각 공구별 실시설계 적격자를 선정하였다.

[표 2] 공구별 선정 시공사 및 대표 설계사

구분	1공구	2공구	3공구	4공구	5공구
연장(km)	9.999	10.625	9.262	8.060	9.004
공사비(억원)	4,770	6,674	3,471	3,964	4,924
시공사	대우건설	SK에코플랜트	태영건설	동부건설	쌍용건설
설계사	삼안	서현	서현	KRTC	동부E

02. 철도 계획

2.1 평면 선형계획

평택~오송 2복선화 건설공사 중 5공구는 인접 4공구와 복선터널로 연계하여 경부고속선(KTX) 오송역 접속을 위해 터널구간에서 단선병렬로 분기하여 경부고속선 좌·우측을 교량으로 통과하여 오송역에 접속하는 노선을 계획하였으며, 평택~오송 2복선화 사업의 핵심인 오송역 접속계획을 포함하고 있다.

[그림 3] 평면선형 개요

이를 위해 당사는 경쟁입찰설계(T/K) 당시 입찰안내서 추가 질의를 통한 과업 종점부 위치 변경 불가 제약사항을 해소하였으며, 완전한 2복선화의 기능을 구현 가능토록한 오송역 접속계획을 수립할 수 있는 기반을 마련하였다.

2.2 종단 선형계획

경부고속선 안전성 확보 및 오송역 접속을 위한 종단선형 계획으로 경부고속선 하부 통과구간은 대심도 터널로 계획하고, 터널 갱구부는 종단계획고 하향으로 경부고속선과의 안전 이격거리를 확보하였으며, 연제천에 근접한 교량 구간은 경부고속선 계획고를 준용하여 오송역 직결 접속 가능한 종단계획을 수립하였다.

[그림 4] 종단선형 개요

기본계획시 23‰의 종단 선형 계획으로 토피고 6.7m의 저토피 구간 발생 및 터널 종점 갱구부구간에 경부고속선 및 철도시험선 침범 등의 문제가 확인되었다. 이에 당사는 종단 기울기를 19‰로 하향하고 터널 갱구를 종점 방향으로 50m 연장하여 토피고 12.2m(5.5m 추가 확보) 확보 및 경부고속선, 철도시험선 터널과 이격거리를 1.0~2.4m 추가 확보하여 터널 안정성을 확보하였다. 또한 운행시간 단축과 연간 소비에너지 135만kWh를 절감하였다.

[표 3] 종단 선형 계획

구분		기울기	종단선형 계획
부터	까지		
37km947	38km707	-15‰	경부고속선 하부 대심도 통과 계획
38km707	41km082	+3‰	
41km082	44km317	+19‰	경부고속선 근접 구간 TBM계획
44km317	45km639	-12‰	경부고속선 종단 기울기 준용
45km639	49km951	Level	오송역 접속 고려한 종단 계획

2.3 주요 통과구간

2.3.1 광역상수도 이설구간

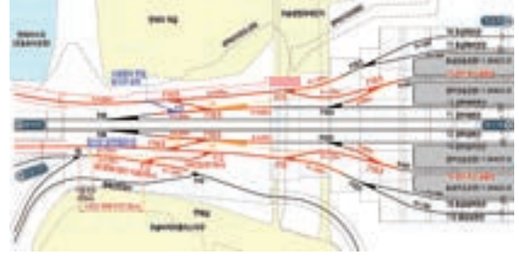
연제교 하선 측 2km구간은 오송바이오산업단지계획 및 대청댐 2단계 광역상수도 저촉구간이다. 공사기간이 촉박한 평택~오송 2복선화 과업의 특성을 고려해 실시설계 단계에서 광역상수도 이설을 위한 노선협의 및 오송바이오산업단지 저촉에 따른 대체부지 협의 등 상세설계를 시행하였다.

[그림 5] 광역상수도 이설 계획

2.3.2 오송역 접속구간

오송역은 평택~오송 2복선 철도가 접속하는 구간으로 경부고속선과 신설고속1선, 2선으로 분리 접속되도록 계획하여 오송역 통과 후 경부고속선과 호남고속선이 선구별로 운영 가능토록 계획되어야 하는 특성을 가지고 있는 2복선화 사업의 핵심구간이다.

[그림 6] 오송역 배선 계획



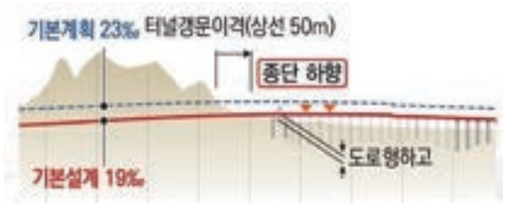
한국철도공사 배선협의 및 각종 설계 행정절차(설계자문, 설계심사)를 통해 시점부 건넘선 추가, 운행선을 고려한 단계별 시공계획 등, 기본설계 대비 추가 협의사항을 충실히 반영하였다. 평택~오송 2복선화 사업의 궁극적인 목적인 고속철도 병목구간의 선로용량 부족문제를 완벽하게 해소 가능하므로 2복선화의 완전한 기능구현을 가능하게 하였다.

03. 교량 계획 및 설계

3.1 교량형식 선정

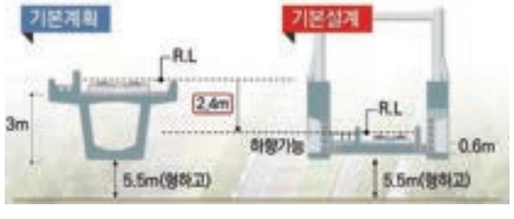
신설 연제교 시점부는 터널 종점부와 연계되는 구간으로 신설 터널 갱문과 경부고속선 터널 갱문의 이격거리를 확보하면서 오송바이오 산업단지 진입도로의 시설한계를 만족하는 최적의 교량형식 선정이 필요하였다.

[그림 7] 종단선형 개요



기본계획시 적용된 PSC BOX 교량은 3.0m 거더 형고가 필요하나 오송바이오 산업단지 진입도로 시설 한계 5.5m를 만족하기 위해 0.6m형고의 하로교를 선정하였다. 신설 하선은 경부고속철도와 충분한 안전거리 확보로 대형장비의 진입이 가능하여 도로개방감 및 관문 상징성을 고려한 강사재교를 적용하였다. 신설 상선은 경부고속철도와 시험선 중간에 위치하여 근접하므로 하부 개방감이 불필요하여 시각적 거부감을 해소한 2경간 콘크리트 하로교를 적용하였다.

[그림 8] 교량형식 선정



3.2 경관성을 고려한 강사재교 적용

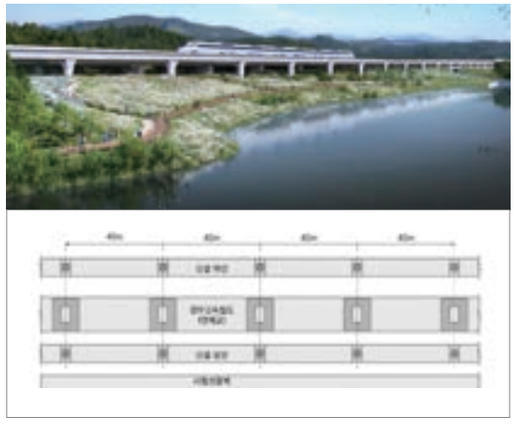
신설 하선구간은 오송바이오산업단지 진입도로를 통과하는 차량의 주행안전성을 위한 개방감을 확보할 수 있도록 상선(2경간 25m)과 달리 중간 교각을 배제한 장경간(1경간 50m) 교량형식이 필요하므로 강사재교의 복합교량으로 계획하여 개방감과 경관성을 향상하였다.

[그림 9] 강사재교 조감도

3.3 경부고속선 교량과 조화되는 경간계획

신설되는 교량은 경부고속선 교량 병행구간으로 경부고속선 교량과 동일한 40m경간장을 적용하고, 단일현장타설말뚝을 적용하여 저수지 생태공원 이용자들에게 경관적인 위화감을 주지 않도록 개방감을 확보하였으며 저수지 주변 조경계획으로 이용자 편의를 도모하였다.

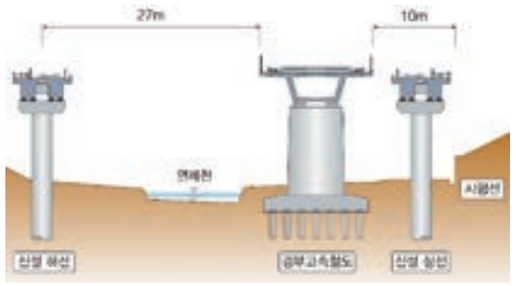
[그림 10] 신설 연제교 경간 계획



3.4 초협소공간을 고려한 교량 형식 선정

신설교량 상선은 경부고속철도 교량과 시험선 옹벽 사이 초협소공간에 설치되어 근접공사가 불가피하였다.

[그림 11] 경부고속선 병행구간 횡단현황

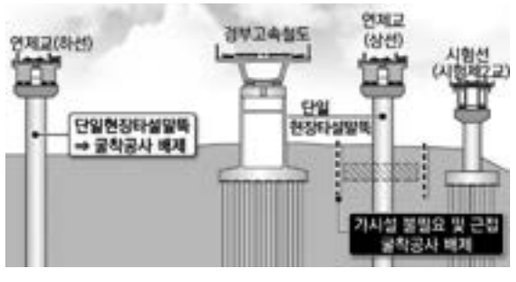


대형 크레인 및 벤트설치가 불가능하므로 거더가설이 용이한 교량형식 선정이 필요하였다. 인근 제작장에서 프리캐스트로 분할 제작이 가능하고 운반이 용이하며, 저중량, 저형고의 WPC 거더를 적용하여 시공성 및 안정성을 확보하였다.

[그림 12] 운반 및 가설이 용이한 WPC 거더

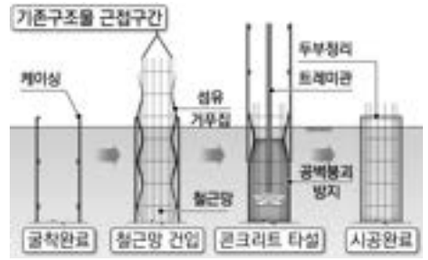
신설 연제교는 경부고속철도 교량, 시험선 교량 및 시험선 옹벽 근접공사로 확대기초 가시설은 경부고속선과 저촉이 되어 계획이 불가하였다. 경부고속선 구조물 안정성 확보를 위하여 근접굴착공사를 원천 배제할 수 있는 단일현장타설말뚝을 적용하여 시공성 및 구조안전성을 확보하였다.

[그림 13] 굴착공사를 배제한 단일현장타설말뚝



또한, 단일현장타설말뚝 시공시 콘크리트 유실 및 공벽붕괴를 방지하기 위하여 시험선 옹벽 근접구간 및 연제저수지 통과 일부구간에 섬유거푸집을 적용하여 말뚝의 균일한 품질확보가 가능하도록 하였다.

[그림 14] 섬유거푸집 시공



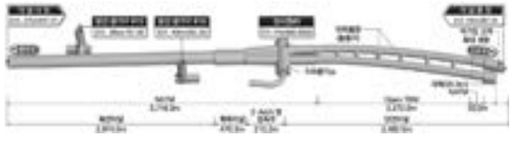
04. 토질 및 기초 설계

4.1 터널 분야

4.1.1 용와터널 설계

본 과업구간의 용와터널은 400km/h의 고속철도가 운행되는 총연장 30km이상의 초장대터널로 계획되어, 고속철도의 공기압 저감과 방재 안정성 향상을 위한 시설 및 안전대책을 고려하여 설계하였다.

[그림 15] 용와터널 5공구 현황

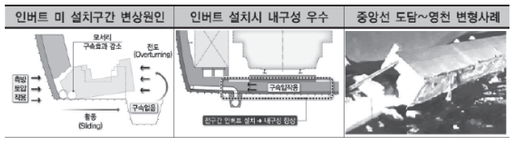


구분	복선터널				단선터널				합계
	복선	확폭	2-Arch	확폭	PILOT	TBM	PILOT	개착	
하선	2,974.0	470.3	187.5	29.3	36.9	2,392.0	30.0	20.0	6,140.0m
상선		470.3	187.0	29.3	237.4	2,202.0	30.0	20.0	6,150.0m

경부고속선 하부 공사를 고려하여 열차 진동 및 변위 억제를 위한 굴착 및 보강계획을 수립하였다.

또한, 터널 전구간 인버트 설치로 콘크리트 라이닝의 구조 안정성 및 궤도 콘크리트 침하 억제 등 장기 안정성을 향상시켜 유지관리성을 증대하였다.

[그림 16] 전구간 인버트폐합 적용



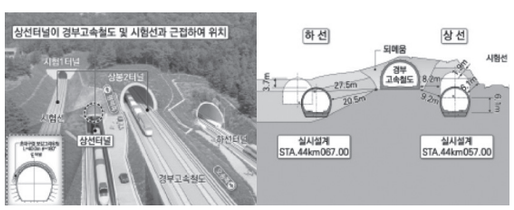
4.1.2 오송역 진입을 위한 단선터널 분기계획

오송역 진입을 위한 단선선로 분기를 위해 복선 및 확폭, 단선터널 등의 단면을 계획하였으며, 경부고속선 및 철도시험선과 인접하는 종점부의 입지여건을 고려하여 경부고속선의 영향을 최소화할 수 있도록 OPEN TBM을 활용한 터널 굴진 계획을 수립하였다.

[그림 17] 단선터널 단면계획

터널 종점부는 상선터널이 경부고속선과 매우 인접하고 협소한 지형에 위치하여 선형개선을 통한 이격거리 확대를 계획하였으며, 적극적인 갱구부 보강공법 도입과 LED계측기 및 자동화계측을 적용하여 공사중 경부고속선의 안전성을 확보하였다.

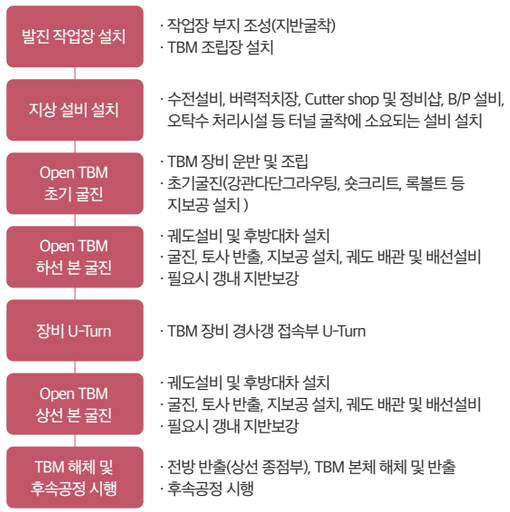
[그림 18] 경부고속선 영향 최소화



4.1.3 TBM 장비운용 계획 수립

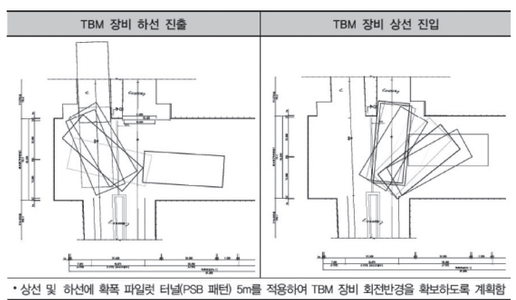
단선터널 굴진에 적용되는 OPEN TBM은 대형장비(직경11m)로 [그림 19]와 같은 7단계의 시공순서로 계획하였다. TBM 조립장 설치부터 해체까지 일련의 시공순서에 대한 사전계획 수립을 통하여 시공 중 안정적인 장비운용이 가능하도록 계획하였다.

[그림 19] OPEN TBM 시공순서

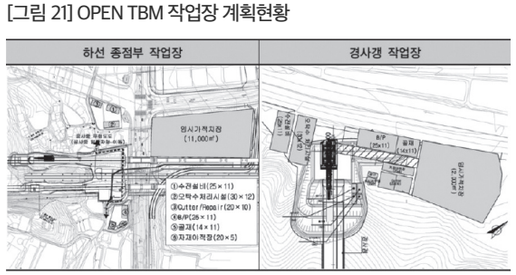


TBM장비는 기자재에 미치는 영향이 최소화 되도록 종합적인 요인을 검토하여 운반하도록 하였으며, 하선 종점부 작업장에서 조립할 수 있도록 작업장을 계획하였다. 또한 하선굴진 완료 후 갱내에서의 장비 U-Turn 및 상선굴진을 위한 구조물계획과 버력반출 및 기자재 공급에 필요한 경사갱 작업장 운영계획을 수립하여 안정적인 장비운용이 가능하도록 계획하였다.

[그림 20] TBM장비 갱내 U-Turn 검토



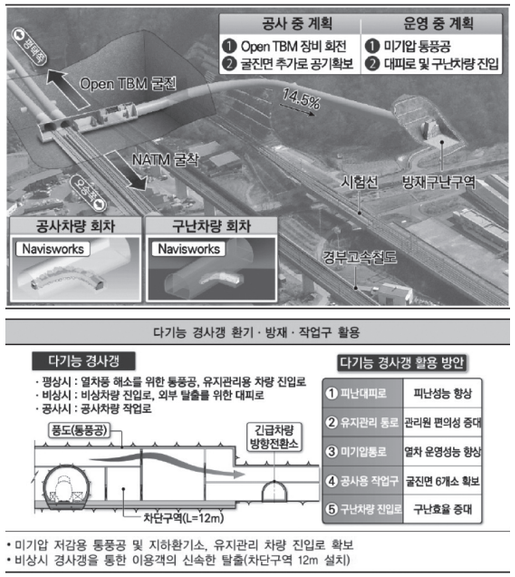
[그림 21] OPEN TBM 작업장 계획현황



4.1.4 공사중/운영중 경사갱 활용 극대화방안

기본계획시 용와터널 5공구 구간은 수직구 2개소로 계획되어 있었으나, 경부고속선 근접시공 및 단선선로 분기에 인한 소요단면 증가 등에 따른 공기 확보 및 방재 안정성 확보가 필요하였다. 당사는 공기 확보 및 방재 안정성 증대를 위하여 초장대터널 본선으로 구난차량 및 유지관리차량 진입이 가능한 다기능 경사갱을 추가 계획하였다.

[그림 22] 다기능 경사갱



4.2 가시설 및 경부고속선 보강 계획

4.2.1 경부고속선 인접구간 가시설 계획

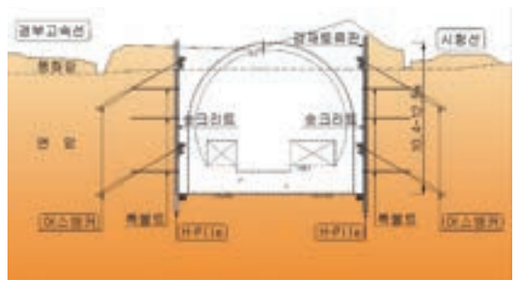
평택~오송 2복선화 제5공구 건설공사 사업구간 중 상선터널 종점부 개착터널 및 U-Type구간 좌, 우측에는 시험선 및 경부고속철도가 인접되어 있어 경부고속선 근접 굴착공사가 불가피하며, 터파기 굴착 시 경부고속선에 대한 안전성 확보가 무엇보다 중요한 구간이다.

또한, 개착터널구간의 경우 TBM 장비 반출입을 위한 공간 확보와 개착터널의 라이닝콘크리트 타설을 위한 시공성 등을 고려한 종합적인 가시설 계획이 필요하였다. 따라서 종단선형 하향조정을 통해 경부고속선 구조물과 터널 갱구부 이격거리를 최대한 확대시켰으며, 갱구위치를 50m 이동하여 경부고속선 터널구간과 간섭이 최소화 되도록 가시설 계획을 수립하였다.

[그림 23] 상선터널 종점부 현황

터널종점부 상선 개착구간 상세 가시설 계획으로는 개착터널 구간에는 라이닝콘크리트 타설시 원형거푸집의 지보재 간섭배제 및 작업공간 확보를 위해 어스앵커를 적용하였고, U-Type구간은 토사층이 깊게 분포하고 경부고속선 비탈면이 개착구간 좌, 우측에 위치하고 있으므로 경부고속선 안정성 확보를 위해 벽체변위가 최소화될 수 있도록 고강도CIP(Φ600)+강관버팀보를 적용하여 굴착에 따른 영향이 최소화 되도록 하였다.

[그림 24] 개착터널구간 가시설 계획단면

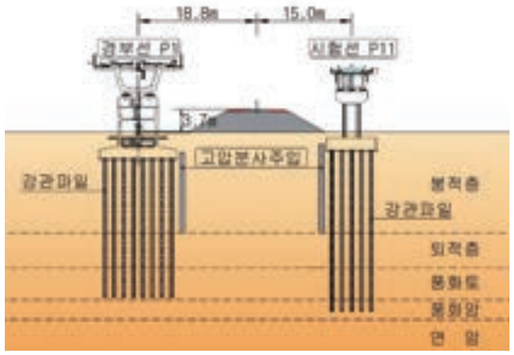


4.2.2 경부고속선 교각 보강계획

상선터널 종점부 개착구조물 U-Type 구간을 지나 연제교 교대 시점 사이에는 본선토공 흙쌓기가 2.2~4.4m 정도의 높이

로 계획되어 있고, 쌓기노반 하부 원지반은 붕적토 및 퇴적토층이 최대 23m 정도의 두께로 분포하고 있다. 따라서 흙쌓기 하중으로 인한 경부고속선 교각부에 미치는 영향을 최소화하기 위해 경부고속선 교각 주변부에 대해 고압분사공법(Φ800)을 통한 그라우팅 보강계획을 수립하였다.

[그림 25] 경부고속선 교각 보강계획



05. 마치며

당 현장은 쌍용건설 창사 이래 역대 최대 공사비 4,924억을 수주한 국내 토목 현장이며, 국내 공공 기술형 입찰 사업중 단일 공구 지분으로는 역대 최고 수주금액(당사 지분 65%, 3,201억)이며, 2021년 9월 ~ 2022년 3월까지 약 7개월간 기본설계를 수행하여 수주에 성공하고, 2022년 4월 ~ 현재까지 약 12개월간 실시설계를 진행중입니다.

기존 운행선인 경부고속선과 철도시험선에 근접하여 공사를 수행하여하는 열약한 현장으로 시공시 안전이 최우선 되어야 하며, 착공후 36개월이라는 짧은 기간내에 노반분야 시공이 완료 되어야하므로 공정관리가 중요한 현장입니다. 현재 실시설계 마지막인 적격심의 및 설계준공을 앞두고 있으며, 남은 기간 동안 발주처, 설계사, 관계기관, 유관부서와 긴밀한 협의를 통하여 유종의 미를 거둘 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

마지막으로 기본설계부터 현재까지 완벽한 설계를 위해 동고동락해주신 총괄 및 철도계획분야 동부엔지니어링 철도부, 구조설계분야 수성엔지니어링 구조부, 터널설계분야 서하기술단, 토질및기초분야 선구엔지니어링 지반터널부 임직원분들께 감사 드립니다.

※ 참고문헌

01. 평택~오송 2복선화 건설공사 기본계획 보고서

02. 평택~오송 2복선화 건설공사 제5공구 기본설계 보고서

현장기술소개

PC공법 적용사례 소개

대전 대화동 지식산업센터 신축현장

글 이대현 / 건축공사팀 대리

전화 042-639-6141 **E-mail** ssydh@ssyenc.com

01. 시작하며

몇 년간 지속된 코로나-19, 우크라이나-러시아 전쟁 등 사회적인 이슈로 인하여 각종 원자재비 상승, 노무비 상승, 인력난 등 건설업계에 많은 문제들이 발생되고 있다.

더욱이, 최근 건축물의 대형화, 초고층화로 인하여 시공과정, 공법은 복잡해지고 고도화되고 있으나, 기술 인력은 부족하고 인건비는 상승되어 건설산업의 상황은 날로 악화되고 있는 듯하다. 이러한 상황속에서 건설업계는 다양한 공법들을 적용하여 이와 같은 문제를 해결해 나가야 할 것이며, RC구조를 PC구조로 적용하는 것 또한 그중 하나이다.

PC공법은 공장에서 제작한 고품질 콘크리트 부재를 현장에서 조립만 하면 되므로 공기단축, 정밀시공, 안전시공 등이 가능하다. 또한, 대부분 공장 기계화 제작이 되므로 현장 인력 투입이 절감되며, 따라서 안전을 확보할 수 있으며, 폐자재 발생이 적어 기존 골조공사 방식보다 환경친화적인 공법이다.

PC공법은 이러한 장점에도 불구하고 접합부 처리, 내진성능 저하, 높은 생산단가, 현장 작업자의 숙련도 저하 등으로 현장에 완전히 정착/적용 되기에는 아직 풀어야 할 여러 과제들이 있다. 하지만 인력과 자재공급이 불안정하고, 품질에 대한 사용자들의 눈높이가 점점 높아지고 있는 시점에 PC공법은 효과적인 대안이 될 수 있으며, 당 현장에서 PC공법을 적용하며 직접적으로 체감한 PC공법에 대하여 설명해보고자 한다.

02. 현장소개

공사명 : 대전 대화동 지식산업센터 신축공사

대지면적 : 10,630.00㎡(3,215.6평)

건축면적 : 8,103.85㎡(2,451.4평)

연면적 : 69,597.25㎡(21,053.2평)

용도 : 지식산업센터(아파트형공장),
근린생활시설(지원시설)

규모 : 지하2층, 지상12층

구조 : 철근콘크리트(RC+PC)조

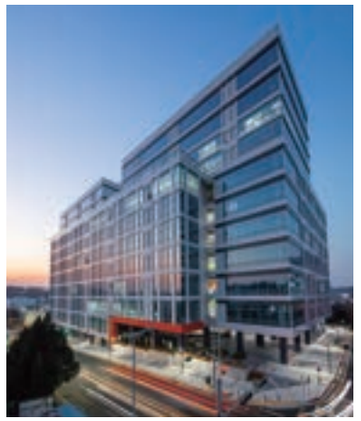
공사기간 : 21.02. ~ 22.11.(20개월)

PC공사 규모 : 5,868매 / 13,323㎡(지상층 골조의 약 65%)

※ 당사 국내건축현장에서 최초 대규모 PC공사 적용현장

[사진 1] 현장 준공사진(주경)

[사진 2] 현장 준공사진(야경)



03. PC공법

3.1 PC공법 개요

PC공법은 건축물의 구조부재인 기둥, 보, 슬라브의 기존 RC현장작업을 공장 콘크리트 PC 제품으로 시공하는 조립식 건축공법을 말한다.

공장생산 후 현장조립하여 완성되는 철근콘크리트 구조시스템은 각종 부재가 접합부에서 일체화되어야 하므로 현장타설공법(RC)과 비교하여 보-기둥-슬라브 접합부의 구조적 안정성 및 현장에서의 정밀시공이 굉장히 중요하다.

이에 대전 대화동 지식산업센터 신축현장에서 기존 RC구조에서 RC+PC 복합 철근콘크리트구조로 변경한 사례를 통해 공기, 원가, 품질 등 PC공법을 적용하는 것이 효과적인지 그 적용 타당성에 대하여 검토해보고자 한다.

3.2 PC공법 장/단점

장점

① 공기단축

PC공법은 각 구조재를 공장에서 만들어 현장조립하므로 RC공법 대비 기후 및 현장여건에 영향을 적게 받아 공기단축 기대효과가 있다.

RC공사는 가설공사에 많은 시간/비용이 소비되고, 층고가 높을 경우 시스템동바리 설치 및 존치로 인하여 골조공사 지연 및 후속공정 지연이 발생되나, PC공법은 특히 높은 층고일수록 가설공사가 최소화되어 시공이 간편하고, 하부층 공간 확보에 유리하여 공기가 단축된다. 또한 이로 인하여 인력투입이 감소되어 안전관리에도 굉장히 용이하다.

② 품질

PC공법은 현장타설 콘크리트보다 높은강도(f_{ck}=27~40MPa)의 고품질 구조물로 시공할 수 있으며, 기능공의 숙련도 차이에 의한 품질저하 우려가 적고, 균일 품질의 콘크리트 면을 확보할 수 있어 노출콘크리트 마감으로도 사용가능하다.

또한, PC 제작 시 Pre-Stress 부재로 인하여 RC대비 처짐 및 균열에 유리하여 장스판 구조에도 적합하다.

③ 시공성

PC공사는 기계화 생산되어 현장의 형틀 및 동바리작업이 최소화되어 후속공정의 투입과 시공성이 개선된다.

이와 연계되어 가설재 사용량이 적어져 폐기물 발생량이 현저히 줄어들게 되며, 현장 인력 투입도 RC 대비 절감할 수 있어 안전사고 위험성도 낮아진다.

단점

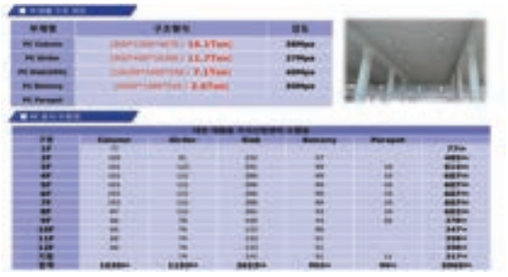
① 원가상승

PC기계화 시공 역시 공장에서 표준화된 거푸집, 철근배근, 레미콘 타설 등의 RC 고유 업무가 진행 되고, 이에 추가하여 중량부재의 운반비와 양중설치비가 추가로 발생하므로 단순 골조 공사비만 비교한다면 일반적으로 공사비는 상승되나, PC적용에 따른 구조변경, 공기절감 등 복합적인 원가는 면밀히 분석해보아야 할 것으로 판단된다.

② 시공의 유연성

PC구조는 공장생산 표준 규격에 맞지 않는 형태에는 대응하기 어렵다. 현장타설 방식의 RC구조는 복잡한 골조 형태의 디자인을 구현할 수 있지만, 공장에서 미리 규격을 맞춘 형틀을 이용한 PC는 제작에 있어 유연함이 적은 편이다. PC공법을 적용하고자 하는 현장에서는 계획시 대량생산/표준화 규격 등을 고려하는 것이 좋다.

[그림 1] 대화동현장 PC부재 규격표



③ 콘크리트 접합부 발생

현장타설되는 콘크리트는 기둥, 보, 슬라브를 한덩이로 볼 수 있다. 하지만 PC는 미리 완성한 부재를 현장조립하는데서 문제가 생긴다. 접합부를 꼼꼼히 시공하지 않으면 누수와 단열에 문제가 발생될 수 있다. 따라서 접합부위를 세심하게 고려한 계획과 시공이 필요하다.

[사진 3] 기둥, 보, 슬라브 부재 접합부

3.3 추진배경

당 현장은 기준층 층고가 약 5.4M로 층고가 높아 현장 시공성 저하, 안전사고위험 증가 및 다수의 시스템동바리 설치/존치로 인한 하부3개층 작업불가로 RC구조로는 기간내에 준공하는 것이 힘들것으로 검토되었다. 또한, 지식산업센터의 모듈화된 평면도는 PC공법으로 변경하기에 좋은 환경이었기에 공기단축을 목표로 PC공법으로 변경하게 되었다.

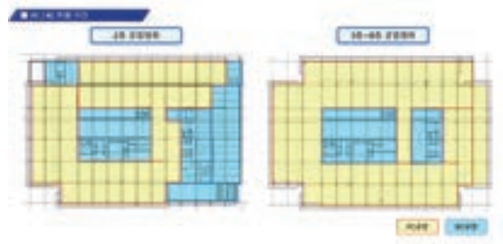
3.4 사전검토사항

① 적용범위

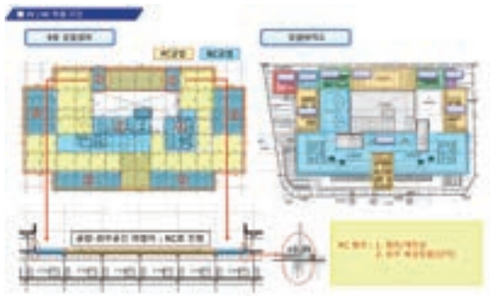
대전 대화동 지식산업센터 현장은 수주시부터 20개월이라는 짧은 공사기간내 준공을 하기 위하여 시행사와 시공사간 RC설계를 PC공법으로 변경하는 것으로 사전 협의하였고, PC업체 선정, 설계, 제작기간 까지는 RC공사로 진행(기초부터 지상1층슬라브)하면서 PC변경 업무를 병행하였다.

PC변경을 검토하면서 PC공법으로 시공성이 좋지 않은 코어부, 주차장램프, 옥상 조경구간 슬라브 단차부위, 화장실 구간 등을 제외한 표준화가 비교적 용이한 나머지 전체공간을 PC공법으로 변경하여 진행하였다.

[그림 2] PC적용범위(기준층)



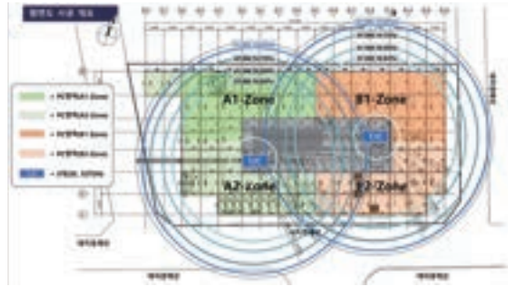
[그림 3] PC적용범위(외부 조경 단차구간)



② 장비계획

PC공사를 계획할 때 가장 중요한 부분중 하나는 바로 장비(T/C)계획이다. 당 현장의 PC부재 중량은 슬라브가 평균적으로 약 6톤에서 가장 무거운 기둥부재는 약 16톤으로 이와 같은 고중량 부재를 시공하기 위해서는 대형 T/C설치가 필수 조건이다. 또한, PC를 설치하는 동안은 RC에서 T/C사용이 어려운 것을 감안하여 PC+RC공사 공정진행에 차질이 발생되지 않는 효율적인 장비대수를 산정하여 배치계획하여야 한다. 당초 검토시에는 PC와 RC공종의 원활한 작업을 위하여는 T/C이 3대가 적정한 것으로 판단하였으나, 원가, 현장내 설치장소, T/C간 간섭(발주시 러핑크레인 품귀상황) 등의 문제로 일반적인 건축현장에서 거의 사용하지 않는 20TON, 32TON 대형 타워크레인 2대를 코어부 내부에 설치하여 운영하도록 계획하였다.

[그림 4] 타워크레인 배치도



③ 공정 및 조닝계획

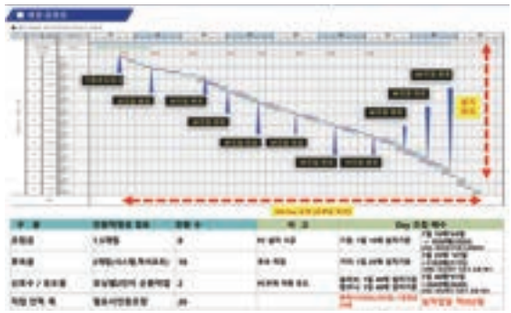
PC생산은 부재별로 생산공장이 상이하고 현장에 여유부지가 없는 상황에서 하루에 반입하여 양중할 수 있는 부재수는 곧 현장 공사기간과 연결된다.

따라서, 일일 반입·양중 가능수량, 현장 RC공사 진행 일정 및

현장 일일 타설 가능 수량 등을 종합적으로 고려하여 조닝을 계획한다.

[그림 5] TOPPING CON'C일일타설량을 고려한 현장조닝계

[그림 6] 생산량 및 설치개수를 고려한 공정계획



04. PC공사 현장사례

4.1 시공순서

① 레벨체크 및 먹매김

PC부재 설치전 골조 기준점으로부터 레벨 및 위치 확인 후 Base Plate를 설치한다

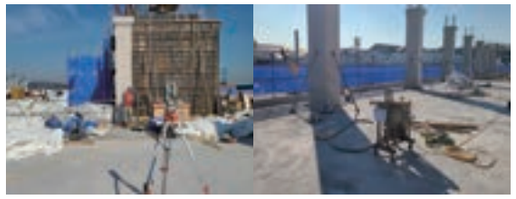
[사진 4] 레벨확인 / 기둥자리 먹매김작업

② PC기둥 설치 및 그라우팅 작업

PC기둥부재는 부재 중 가장 큰 중량물(10~16TON)로 기둥 양중시 양중고리 확인(전용고리 사용), 신호수 배치 및 와이어 긴결상태는 필히 확인 후 양중하여야 하며, 기둥 설치시 Base Plate 철근에 맞춰 양중 기둥을 정확히 시공하고, 지지 서포트는 최소 2개소 이상 설치하여 수직도를 확인하여야 한다.

부재 연결부는 기둥 설치후 가능한 당일내 슬리브 주입구를 통해 고강도 모르타르를 주입하여 하부와 일체화 작업을 진행한다.

[사진 5] 기둥 수직도 확인 / 그라우팅작업



③ PC보 및 PC슬라브 설치

PC기둥 설치 후 보 조립방향 및 접합상세도를 확인하여 기둥 헌치에 걸침길이(190mm 이상)를 확보하여 보를 설치하고, 보 하부에 처짐 방지용 잭서포트를 설치한다.

이후 PC슬라브를 보와 보사이에 걸침길이(100mm 이상)를 준수하여 설치한다. PC보, PC슬라브 설치 시 걸침길이 미준수로 인한 낙하, 붕괴 및 작업자 추락사고 발생 시 중대재해 발생 확률이 높으므로 중점 관리대상으로 안전관리하여야 한다.

[사진 6] PC보 설치 및 PC슬라브 설치

④ PC발코니 설치

발코니 설치전 하부에 PC발코니 부재를 지지할 시스템 서포트를 설치하고, 그 위에 PC발코니를 설치 한다. 발코니는 단부에 위치하므로 부재간 결합, 슬라브와의 용접등을 확인하여 안전사고에 유의하여 설치한다.

⑤ TOPPING CON'C 타설

발코니까지 설치가 완료되면 상부근 배근 및 각종 배관, 슬리브 설치 후에 TOPPING CON'C를 타설하면 1개층 CYCLE이 완료된다.

콘크리트 양생 후 후속공정으로 슬라브 하부 기둥, 보, 슬라브 조인트부분에 코킹 또는 미장처리하여 조인트 마감처리 진행한다.

[사진 7] PC발코니 설치 및 TOPPING CON'C 타설

4.2 현장사례를 통한 보완필요사항

① 도면확정

PC공법은 납품업체별로 PC공법이 상이하여 업체선정 후 공법 및 설계가 확정되고, 또한 이에 따른 공사비 편차가 클 수 있다.

당 현장은 RC에서 PC로 변경하는 과정에서 PC업체별로 공법 및 구조설계가 상의하여 PC물량/TOPPING용 철근 및 레미콘 수량파악이 곤란하여 예산 산정에 상당한 어려움을 겪었다.

따라서 향후 PC공법 적용 시에는 발주 전 PC도면 확정 후 발주가 필요하며, 그러하지 못할 경우 시공 또는 정산시 분쟁 발생이 우려되므로 정확한 설계 및 시공지침이 필요하다.

② 현장여건

첫째, 당 현장은 건물길이가 장변 약 110M, 단변 약 65M로 T/C을 건물외부에 설치 시에는 중량물 양중을 위하여 엄청난 대형T/C 설치가 되어야 함으로 어쩔 수 없이 건물 코어내부에 T/C을 설치하였고(그럼에도 일반적이지 않은 20TON, 32TON 대형 T/C 설치) 해체시에는 700TON이상의 이동크레인으로 약 3~4일간(1대당) 해체를 진행하였다. 이와 같이T/C대형화로 인한 임대료, 설치/해체비용 및 가설전기용량을 사전에 충분히 검토하여야 할 것으로 판단된다.

둘째, 현장내 여유부지가 많지 않아 PC부재 반입시 반입차량 동선 및 부재 야적공간 부족으로 세밀한 동선계획이 필요하였다. PC공법을 적용코자 하는현장에서는 여유부지 확보가 원활한 공정 진행에 많은 도움이 되리라 판단된다.

[사진 8] 현장전경사진

[사진 9] 타워크레인 해체 전경사진(700TON 크레인)

[사진 10] CPB설치 및 내부 타설동선 현황

셋째, PC공법을 대규모로 적용할 경우에는 상대적으로 RC공사의 범위가 줄어들어 RC공사 업체의 시공단가가 상승될 것을 고려하여야 할것이며, 전기/설비공종 업체에서 익숙하지 않은 PC부재에 사전 매립 및 슬리브 타공에 따른 원가 및 시공성 검토를 하여야 한다.

[사진 11] PC슬라브 설치 후 배관 및 상부철근 설치

건축마감에 있어서는 PC적용 시에는 단열재 타설부착이 불가하여 단열재를 후시공하여야 하므로, 이에 따른 가설비용 검토와 단열재 탈락 등 하자 예방에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

4.3 PC시공시 추가 검토사항

첫째, 하절기 레미콘 타설시 PC슬라브의 수분 흡수로 타설 전 물축임과 레미콘 슬럼프 상향을 검토하여야 하며, 동일 슬럼프 적용시 레미콘 WORKABILITY 저하로 TOPPING CON'C 품질 저하가 발생될 수 있다. 또한, 동절기 레미콘 타설시에는 일반적인 하부층에서의 가열 양생이 곤란하므로, 상부층 열풍기를 운영하는 방식으로 동절기 양생계획을 준비하는 것이 좋을 것이다.

[사진 12] 동절기 TOPPING CON'C타설 후 천막보양 및 열풍기 양생

둘째, 당 현장에서는 PC설계 검토시간이 충분치 않아 같은 레벨의 기둥, 보, 슬라브만 PC로 변경설계하여 시공하였고, 단차 구간과 그 접합부는 RC로 시공하게 되어 시공 시 많은 애로사항이 있었다. 당 현장에서도 시간적 여유가 조금 더 있었다면 단차 부위 또한 사전 검토하여 PC로 설계하는 것이 시공성 및 품질에 더 좋은 방향으로 작용했을 것 같다고 생각한다.

또한 기둥부 헌치로 인하여 AL창호 또는 설비 배관 및 천장시공이 간섭될 수 있으므로 사전에 시공 디테일부분까지 충분히 검토되어야 할 것이다.

05. 맺음말

당 현장은 20개월의 촉박한 공기로 인하여 공기단축을 위해 RC구조를 PC+RC(코어부) 철근콘크리트 형태로 변경설계하여 진행하였으며, PC공법 적용에 따라 골조공정 단순화 및 가설공사 최소화로 작업공간이 확보되어 후속공정에서 공기지연을 최소화할 수 있었으나, 그럼에도 불구하고 여러 대외변수(급격한 원자재 가격 상승, 레미콘 파업, 화물연대 파업, 철콘업체 태업 등)들로 인하여 골조공사가 약 2개월 지연되어 공정관리에 애로사항이 많았으나, 민간분양 사업의 특성상 입주일정을 맞추기 위하여 9월에 T/C을 해체하고 10월말 임시사용승인(본 승인 11월 15일)을 받을 정도로 어렵게 공사를 완료할 수 있었다. 준공까지 본사 및 인근 현장의 많은 지원에 대하여 지면을 통해 다시 한번 감사인사를 전하는 바이다. 당 현장의 시공 경험을 바탕으로 PC공법의 장점 활용 및 접합부분 누수, 방음, 단열문제와 초기비용 상승 등에 대한 단점을 극복하여 적용한다면 PC공법은 앞으로 나아갈 좋은 대안이 될 수 있으며, 최근 PC업체들도 이러한 단점을 극복한 다양한 형태의 PC를 개발하고 있어 앞으로 공사기간을 단축하고, 품질을 향상시킬 수 있는 모듈러 기술인 PC시장규모는 앞으로 더욱 더 커질 것으로 예상된다.

현장기술소개

동해가스전 육상시설 원상복구공사 현장 소개

글 이원택 / 동해가스전 육상시설 원상복구공사 현장 대리
전화 010-9921-3283 **E-mail** wt.lee@ssyenc.com
글 이지호 / 동해가스전 육상시설 원상복구공사 현장 과장
전화 010-9901-8243 **E-mail** leejyo@ssyenc.com

01. 머리말

동해가스전 육상시설 원상복구공사는 한국석유공사에서 1998년 7월 울산 남동쪽 58km 지점에서 양질의 천연가스층 발견을 시작으로 2004년 7월 생산을 개시하여 2021년 12월 가스공급을 종료한 생산시설을 철거하는 공사이다.

당 현장은 [그림 1]과 같이, 육상생산시설과 해상플랫폼(해상생산시설)으로 크게 두 구역으로 구분된다. 두 생산시설 사이에는 해저배관 약 61km, 육상배관 약 7km의 이송배관이 설치되어 있다.

본 공사 중, 육상생산시설 철거공사의 계약기간은 약 10개월('22.05.26~'23.03.25)이지만 위험물제거 공사를 위해선 기존 설비(Condensate Tank, Flare Stack 및 배관 등)가 사용되어야 하여 위험물제거(Pigging) 공정이 완료되는 9월 이후에 철거가 가능했으며, 철거부지는 '23. 2月 중에 신설예정인 석유화학 사업단지 공사가 착수가 예정되어 있어, 육상생산시설 철거공사의 경우 실제 공사가 가능한 기간은 약 5개월('22.09~'23.01)로, 이를 준수하기 위하여 야간, 주말작업 등을 실시하며 공기를 맞추기 위한 공정관리를 철저히 하고 모든 직원이 일정을 맞추기 위해 부단히 노력하였다.

또한 해상플랫폼은 태양광 설비 및 선박자동식별장치(AIS) 설비 등을 추가로 설치하여 임시 폐쇄 후, 해상풍력발전/CCS사업 시행 전까지 무인시설로 운영될 예정이다. 특이사항으로 해상플랫폼 공사의 경우 육상과 약 60Km 떨어진 곳에 위치하고 있기 때문에 접근성이 좋지 않고 자재이동을 위한 보급선 및 인원이동을 위한 헬기를 발주처에서 공급하나, 주 1회, 제한적인 공급으로 기상여건 및 자재공급 업체의 일정을 맞추기 위해 공정관리에 어려움이 많았다.

상기에서 언급한 바와 같이 여러 어려움이 있었으나 본 공사는 2005년에 수주한 "평택 지상탱크 건설공사" 이후 한국석유공사로부터 17년만에 수주한 공사이며 향후 동해가스전에서 한국석유공사가 진행 예정인 해상풍력발전, CCS(이산화탄소 포집 및 저장기설)사업 참여를 위한 영업 교두보로 큰 역할이 기대되는 사업으로써 그 의미가 있다.

[그림 1] 동해가스전 조감도

02. 현장개요

2.1 공사개요

공사명	동해가스전 육상시설 원상복구공사
발주처	한국석유공사
설계사	벽산엔지니어링㈜
감리사	벽산엔지니어링㈜
공사위치	울산광역시 울주군 온산읍 온산로 147 한국석유공사 가스운영소 및 해상플랫폼 (대륙붕 6-1광구 가스전)
공사기간	2022.05.26~2023.03.25 (약 10개월)

2.2 육상생산시설 주요 공사내용

공종	주요물량
토목/건축	건축물 18개동 철거
	폐콘크리트 및 폐아스콘 약 35,500 TON 철거
기계/배관	LPG Tank 2기 및 Condensate Tank 1기 등 약 1,950 TON의 기기류 철거
	옥외배관 약 12,600 m 및 매설배관 약 6,000 m 등 약 1,400 TON의 배관류 철거

2.2.1 육상생산시설 공사 개요도

[그림 2] 육상생산시설 개요도

2.3 해상플랫폼(해상생산시설) 주요 공사내용

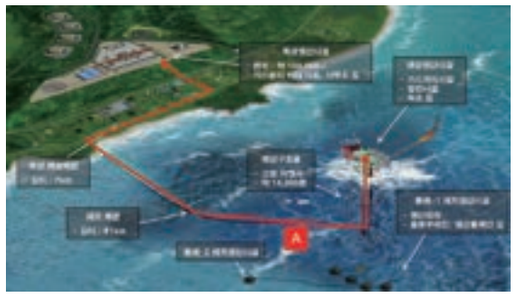
공종	주요물량
기계/배관	해저배관 위험물제거 약 68km
	디젤발전기 급유시스템 1식
전기/계장	태양광 발전설비 44.4kW
	ESS 설비 800kWh
	발전기 설비 1식
	AIS 및 FOG HORN 등 경보설비 1식

03. 현장에 적용된 주요 공법

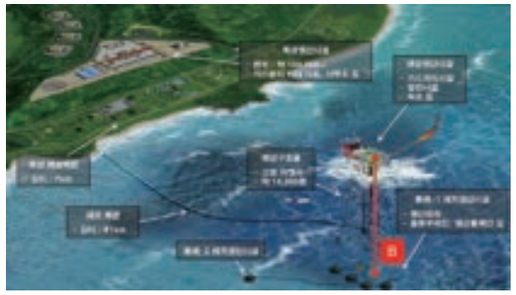
3.1 위험물제거(Pigging)

본 공정은 2020년 11월 초, 동해상에 위치한 가스정(해상플랫폼)이 순차적으로 생산중단 됨에 따라 해저배관(68km)의 잔류한 위험물(Condensate + Water)을 육상기지로 이송(Pigging) 및 해저생산시설 보존을 위한 Flushing 작업 후 주입된 폐수를 제거하는 공사로서, [그림 3] 및 [그림 4]와 같이 크게 두가지 공정으로 구분되며, Pigging 공법은 Initial Pigging / Disc Pigging / Dewatering Pigging / Dry Pigging 순으로 진행된다.

[그림 3] 해저배관 위험물제거



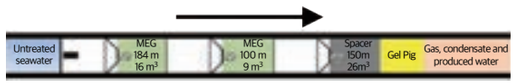
[그림 4] 해저시설 Cleaning 및 보존



3.1.1 Initial Pigging (Foam Pig)

Foam Pigging은 해수를 Pig Driving Source로 이용하여 해상플랫폼에서 육상터미널 방향으로 실시하며 배관 내의 잔류 Condensate를 육상으로 이송한다. Foam Pig 내부에 위치추적기를 부착하여 육상터미널 도착 전(7km 전) Land Fall지역에서 Pig내부 위치추적기를 통해 잔류 Condensate가 끝나는 지점을 추적한다.

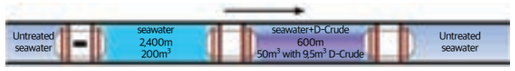
[그림 5] Initial Pigging 관내 배열



3.1.2 Disc Pigging (해상→육상)

1차 Pigging 완료 후 D-Crude, MEG, 탈지제, 방청제 등 약품을 해수와 희석시켜 해상플랫폼에서 육상터미널 방향으로 주입한다. 세척수는 육상에서 폐수처리설비를 통해 폐수처리 후 방류한다.

[그림 6] Initial Pigging 관내 배열



3.1.3 Dewatering Pigging (육상→해상)

배관 내 존치하고 있는 해수는 육상 Pig Launcher에서 Foam Pig + Sponge Pig를 통해 육상→해상으로 Dewatering을 실시하며 해상플랫폼에서 폐수처리 후 바다에 방류한다.

[그림 7] Dewatering Pigging 관내 배열

3.1.4 Dry Pigging

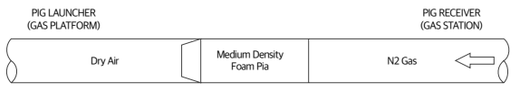
배관 내 해수를 모두 방류한 이후 Sponge Pig를 통해 배관 내 수분을 제거한다.

Sponge Pig 체적 변화율 5%미만까지 반복 수행한다.

Sponge Pig 완료 후 해저배관에 N2 Purge 실시한다.

[그림 8] Dry Pigging 관내 배열

[그림 9] N2 Purge 관내 배열



[그림 10] Pigging 작업

[그림 11] 발생한 폐수 처리를 위한 처리시설

3.2 해상플랫폼 무인화시설(태양광 발전시설)

해상플랫폼의 무인화가 진행됨에 따라 통신시설, 보안시설, 비상등, 항공장애 등 및 그 외 필수 전기부하의 상시운전을 위하여 태양광 발전 및 ESS 시설을 설치한다.

[그림 12] 해상플랫폼 전경

[그림 13] 해상플랫폼 태양광전지 설치

[그림 14] 해상플랫폼 태양광 Panel 설치

3.3 육상터미널 철거공사

육상시설 내, Tank 및 기기류 내부의 Condensate 등 위험물 처리를 위해 Steam Blowing 으로 제거 및 세척 후 압쇄기 및 산소절단으로 절단 및 철거한다.

[그림 15] Condensate Tank 및 Equipment 철거

04. 맺음말

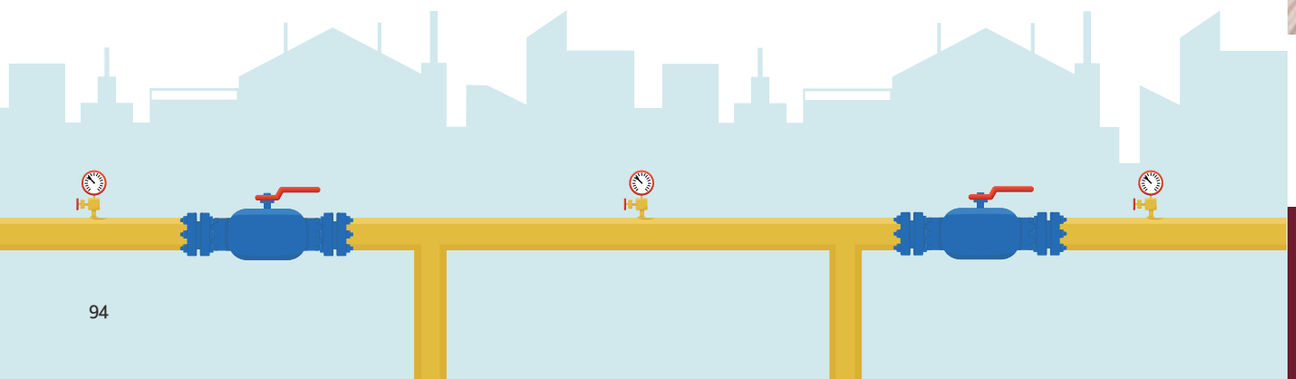
본 고에서는 동해가스전 육상시설 원상복구공사 현장의 소개 및 주요 공법에 대하여 개략적으로 설명하였다. 2022년 5월 착수한 당 현장은 여러 번의 유찰로 인해 실 공사기간이 줄어든 상태로 발주가 되어 이를 준수하기 위해 만전을 기하고 있다.

공사 착공 이후 현장소장을 필두로 전 직원이 현장의 공기단축 및 시공성 개선을 위해 노력하고 있으며, 안전시공을 위하여 육상 및 해상에도 안전직원이 상주하여 안전사고를 방지하기 위해 적극 노력하고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 당 현장은 육상과 해상으로 공사구간이 나누어져 있기 때문에 제한적인 인원으로 효율적인 투입관리가 필요하였다. 특히 해상의 경우 장소의 제약으로 인한 기본적인 숙식, 상주 인원 및 이동의 제한 등에 따른 어려움으로, 공사에 필요한 최소 인원만 투입하며 당사 및 협력업체 모두 순환근무를 통해 공사를 수행하였다. 이에 본사에서도 현장의 열악한 업무환경을 고려하여 울산지역 현장임에도 불구하고 오지수당을 지급하는 등의 지원을 아끼지 않음에 감사를 드린다.

또한 짧은 공사기간 및 열악한 업무환경에도 불구하고 현장직원들의 노력과 본사의 적극적인 협조 덕분에 현재 매우 양호한 원가율로 공사가 진행되고 있으며, 마지막까지 현장 전 직원이 노력하여 플랜트공사 중 기존의 수행해 왔던 공사와는 성격이 다른 이번 공사의 성공적인 준공으로 쌍용건설의 위상을 더욱 더 알리는 계기가 되기를 바란다.

끝으로 본 고가 당 현장을 이해하는데 조금이나마 도움이 되었기를 바라며, 동 공사를 통해 한국석유공사가 진행 예정인 사업 참여를 위한 영업 교두보로써의 큰 역할이 되기를 기대하고 있다.



아틀란티스 더 로열
두바이

현장탐방
On-site Interview

해외 현장탐방

아틀란티스 더 로열

Atlantis The Royal

2015년 12월 아랍에미리트(UAE) 두바이에서 수주해 Pre-Construction을 끝내고, 이듬해 7월부터 본 공사를 시작한 '아틀란티스 더 로열'은 약 80개월간의 공사 끝에 지난 2월 10일 호텔이 개장되었고, 레지던스를 포함한 Project의 준공을 앞두고 있다. 이 프로젝트는 2015년 당시 쌍용건설의 최대주주였던 세계적인 국부펀드 두바이 투자청(ICD)이 발주했으며, 쌍용건설은 프로젝트 주관사로서 2015년 12월 벨기에 베식스와 공동으로 수주했다.

아틀란티스 더 로열은 아랍에미레이트 두바이 팜 주메이라 인공섬에 44층 초특급 호텔 3개 동 795객실과 39층 최고급 레지던스 3개동 231세대가 들어선 초대형 프로젝트다. 이 호텔의 총 공사비는 12억5400만달러(1조5500억원)에 달하며, 초호화 풀(pool) 등 총 94개의 수영장과 외부에는 2km길이의 인공 백사장을 갖추고 있는 게 특징이다. 호텔 로비 등에는 방

아틀란티스 더 로열

- 규　모 : 6개동 / 지하1층~44층, 호텔 795객실 / 레지던스 231세대 / 408,074㎡ / 123,442평
- 위　치 : 팜 주메이라(Palm Jumeirah) 크레센트 로드
- 발 주 처 : The Atlantis Palm 2 Limited (ICD 산하의 Kerzner International)
- 준 공 일 : 2023 / 02

문객들의 눈길을 사로잡는 4개의 화려한 수족관이 설치됐으며, 그 중 Jelly Fish 수족관은 세계 최대 규모이다.

최고급 호텔 및 레지던스를 위한 설계 작업에는 14개 국가에서 54개 컨설턴트가 참여했다. '아틀란티스 더 로열'은 하늘에서 보면 'S' 자로 휘어 있으면서도 레고블록을 쌓아 올린 듯한 비정형 외관을 자랑한다. 이 호텔의 압도적인 외관은 세계에서 찾아볼 수 없는 독특한 구조로, 마리나베이 샌즈 호텔과 함께 또다른 세계적인 랜드마크가 될 것으로 예상된다. 호텔과 레지던스는 지상 82m 높이에 설치된 '스카이브리지'로 연결된다. 이 거대한 스카이브리지는 선조립후 Strand Jack으로 들어올려 설치하는 특수공정을 거쳤다. 옥상에는 90m 길이의 스카이 풀(인피니티 풀)이 있어 두바이의 독특한 스카이라인과 걸프만 전경을 경험할 수 있도록 설계됐다.

또한, 건물 파사드 전면에는 약 33,000 장에 달하는 치장용 GFRC 판넬이 설치되어, 우아한 중동의 정취를 느끼게 하는 외관을 갖추고 있다. 호텔 내부에는 3,655㎡의 공간에 17가지의 음식코너를 갖춘 All Day Dinning을 위시하여, 총 17개의 식당 및 Bar가 운영되고 있으며, 그 외에도 5,045㎡의 SPA/Fitness 시설, 1,000명을 수용하는 대형 Ballroom이 그 위용을 자랑한다.

기술을 말하다!
직원 인터뷰 Q&A

Q.

호텔 22층 옥상 수영장은 외관이나 전망이 왜 Royal Atlantis인가를 보여주는 Top Pick 공간으로 생각됩니다. 22층 Main Sky Bridge 시공 시 골조공사/마감공사에서 기술적인 어려움은 어떤 부분이었나요?

▶ 김태훈 부장 (공사 담당) : 첫째, 공법확정에 어려움을 겪었습니다. 호텔과 레지던스 타워를 가로지르는 52m 길이의 Main Bridge 철골구조는 골조공사의 최대 난공사인 동시에 마감 공기를 좌우하는 Critical Path 공종이었습니다. 입찰 당시에는 지상층 Slab 골조 완료 후 이 공간에서 Bridge 철골을 선조립하여 22층으로 Lifting하는 계획이었으나, 상세 공정표 작성 결과, 호텔 Lobby의 마감공기를 확보할 수 없는 문제점이 발견됐습니다. 따라서 호텔 Lobby의 지붕공사를 우선 시공하고, 그 위에서 Bridge 철골을 조립하여 Lifting하는 공법으로 변경하게 되었습니다. Bridge 선조립시에는 향후 마감 공사 시에 대규모의 가설 비계를 사용하지 않기 위해서, Brigde 최하부면에 설치되는 기전 Pipe/GFRC 300장을 미리 시공하여 양중하는 공법을 채택했습니다. 결과적으로 Bridge 철골 자중 984톤외에, 기전 및 GFRC 사전 부착물, 양중 마찰력, 풍하중 등 총 1,503톤의 구조물을 양중하는 난공사였습니다.

둘째, 도면 확정/대관 승인에 어려움을 겪었습니다. Bridge와 양쪽 타워가 구조적으로 커플링 되어있는 특수한 구조, 특수한 공법(Strand Jack)으로 진행되는 Bridge 골조 실시도면은, 발주처 Consultant 및 3rd Party Engineer, JV 및 하도업체 기술팀 및 Connection Design을 검토하는 3rd Party Consultant, 관청 Trackhees의 면밀한 설계 검토가 필요했습니다. 발주처 철골설계의 구조에 대한 JV팀의 검토 결과, 상당한 양의 구조 보강이 Bridge 철골 등에 추가되었고, 철골 선조립시 철골 자중을 분담할 양쪽 타워의 구조보강, 양중후 자중을 받아 줄 양쪽 타워 18층~22층의 구조 보강 등 많은 설계 보완을 거쳐서 대관 승인을 득할 수 있었습니다.

셋째, 철골 선조립 및 양중에 어려움을 겪었습니다. 공법 변경에 따른, Lobby 지붕의 가설 지지력 확보를 추가 보강, 추가하중에 대한 기초 파일의 지지력 재검토, Lifting에 필요한 양쪽 타워동 지지력 확보 Modeling 검토, Strand Jack 장비 용량 증가(8대 총2,080톤 능력. 사용 2개월전 예약필요)가 필요했으며, 지붕위에서 Bridge 철골 조립 작업을 위한 대형 Crane 장비 투입, 가설작업 등이 필요했습니다. 한편 Bridge 양중 시 철골의 변형을 방지할 구조물의 보강 외에도, 순간 변형에 따른 GFRC의 깨짐(당초 5mm의 open joint를 10mm로 변경)을 방지해야 하는 다양한 기술적 검토가 없이는 52m L × 24m D × 15m H 체적의 Bridge 양중을 평면상 4개 모서리의 수평 허용오차 50mm 이내로 유지하면서, 지상 82m 높이까지 50m를 들어올리는 것이 아예 불가능했습니다. 이에 양중시에 발생될 각종 변수를 사전에 시뮬레이션 하여 대처했고, VSL의 Bravo 시스템을 이용한 Monitoring을 하면서 6m~8m/시간 속도로 양중, 25mm 수평 오차로 마감재의 파손 없이 성공적으로 양중을 완료했습니다.

넷째, 마감 공사의 어려움을 겪었습니다. 양중된 Bridge 구조물을 양 타워의 골조와 연결하는 골조 완료 후, 마감 공사가 진행되었습니다. 89m 길이의 Infinite 수용장에 사용될 GRP 판

넬 제작 설치 외에도, 22층 Deck의 기본설계는 현란하고, 복잡하기로 유명한 David Mexico(USA)의 설계였기에 상세설계에 섬세한 검토가 필요했고, 결국 많은 설계변경을 거쳐서 최종 도면을 완성했습니다. 한편, 특수구조의 조명, DJ Skull, Lotus Bar, Trumpet 등의 주요 자재가 발주처로부터 공급이 지연되었고, Lotus Bar 등 중부재를 양중하기 위하여, Tower Crane #5 해체 일정을 연기해가면서, 마무리 공사를 완료할 수 있었습니다.

Q.

외벽 파사드에는 GFRC 자재가 사용되었는데, 공사의 특이점/난이점에 대해 소개 바랍니다.

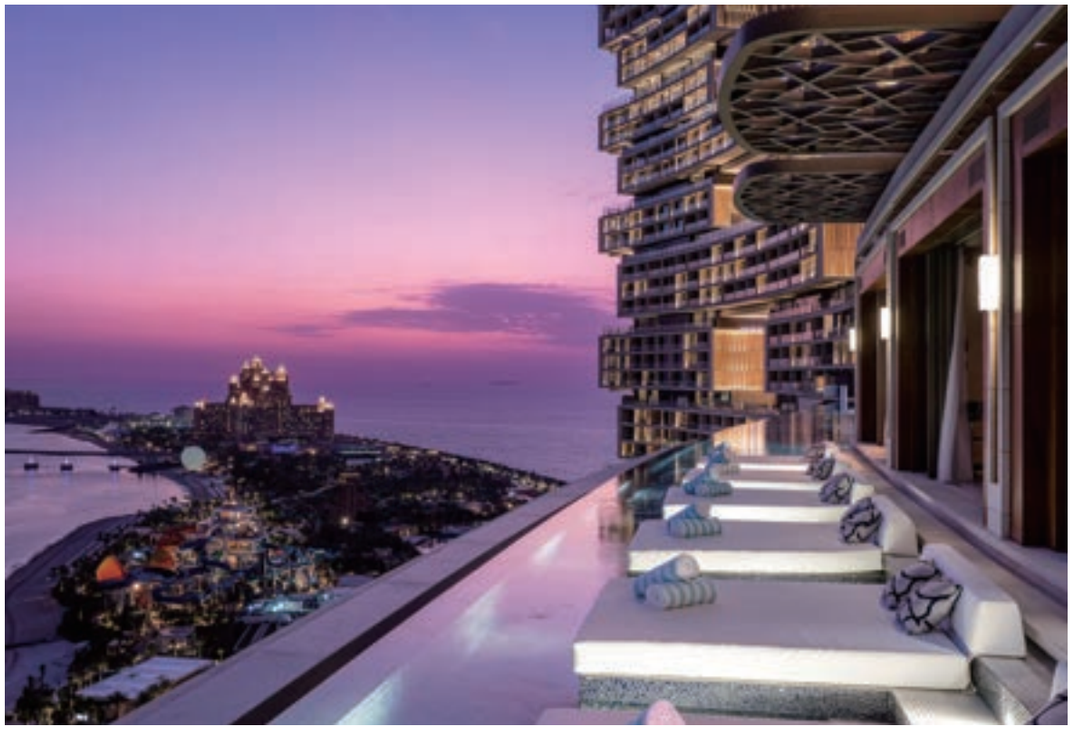
▶ 허성녕 과장 (공사 담당) : 파사드 마감설계에 GFRC(Glass Fiber Reinforced Cement) 판넬이 전면적으로 적용되었습니다. 타워 및 포디움에는 총 32,879장의 GFRC 판넬이 연속된 형태로 치장되어 있습니다. 전체 외벽을 한가지의 중부재로 일관되게 치장하는 작업은 자재 설계 및 제작뿐만 아니라, 선후 공정인 골조/창호/BMU 설계와의 Interfacing 및 품질관리가 총체적으로 잘 진행되어야 가능한 것이었습니다.

특히 건물의 형상이 'S'의 유선형으로 되어있고, 부착되는 모든 GFRC 판넬이 직선 Segment의 조합이 아니라 곡선자재의 조합으로 되어 있고, 부재별 치수와 형상도 제 각각이었습니다. 전세계적으로도 유사 사례가 없는 디자인이며, 이러한 제각각의 부재를 차곡차곡 이어 붙이면서, 5mm의 open joint 간격을 좌우/상하로 일정하게 유지하는 것은 철저하고 정밀한 품질시공이 요구되는 작업이었습니다.

자재 제작을 위해서는, 골조 및 창호 도면과 Coordination 된 GFRC 도면이 1차로 생성되었으며, 선행 공정인 골조, 창호 및 난간대 Frame이 시공된 후 100% 현장 실측을 통한 GFRC 부재별 생산 도면이 2차로 생성되었습니다. 한편, 현장으로부터 2시간 거리의 생산공장에서의 Mould 제작, GFRC 제작 및 양생의 품질 검수 관리와 반입일정 관리도 정밀하게 진행되어야 했습니다. 반입된 각 부재는 개별 무게가 200kg~450kg로써, 현장반입 후에는 야적관리, 양중관리에 만전을 기하고, 설치에는 특수한 장비를 사용하여 안전과 생산성을 도모하면서, GFRC 시공 시 충격에 의한 모서리면의 훼손을 방지하면서, 설치 순서에 따라 이어 붙이는 시공과정을 진행했습니다. 행여나 판넬이 한개라도 심하게 파손될 경우, 그 자재의 재 제작뿐만 아니라, 이어 붙이기를 할 수 없게 되면 후속 부재의 설치가 같이 지연되므로 더욱 세밀한 관리를 하면서 한땀 한땀 시공을 진행해야 했습니다. 가설 작업으로는 안전한 작업 발판 확보를 위해서, 이동식 안전 작업틀을 고안했으며, Sky Court

의 Void와 면한 가장 끝단 외벽면의 시공은 전면 비계를 설치하여 별도의 시공관리를 진행했습니다.

시공시의 문제점으로는, Sky Bridge 하부층의 과도한 Pre-Camber 설계였습니다. 수직 타워를 연결하고 있는 수평 Skybridge Tier의 최하단층 (Sky Court Void에서의 천정층)의 바닥은 철골-철근콘크리트로 시공되었고, 시공 후 진행될 처짐을 고려한 Pre-Camber가 사전에 반영되었으나, 구조계산과는 다르게, 약간의 처짐만 발생되어, 발주처/컨설턴트와 미팅하여 영향을 최소화하는 대처방안을 도출하였습니다. 그 당시 저층부에서는 이미 수직 타워의 창호/난간대/GFRC를 기설치하고, Sky Bridge층과 마감 연결을 위한, Sky Bridge층의 처짐을 대기하고 있던 상황이었습니다. 결국 해당부위는 GFRC 설치 레벨 및 일부 형상을 수정하고, 기 설치된 양쪽동의 창호/난간대/GFRC 수평 높이를 Sky Bridge 실제 처짐에 맞추는 수정 작업이 진행하여, 외벽 전체가 입면상으로, 모든 층에서 수직/수평이 일치하는 당초 설계 의도 대로의 시공결과를 만들 수 있었습니다.



Q.

호텔 로비의 수족관 시설은 흔치 않은 특수 공사인데, 어떤 공법으로 설치되었는지 설명바랍니다.

▶ 김진욱 부장 (공사 담당) : 호텔 로비에는 총 4개의 수족관(Fish Tank)이 있으며 재질은 아크릴이며 아래와 같은 재원으로 구성되어 있습니다.

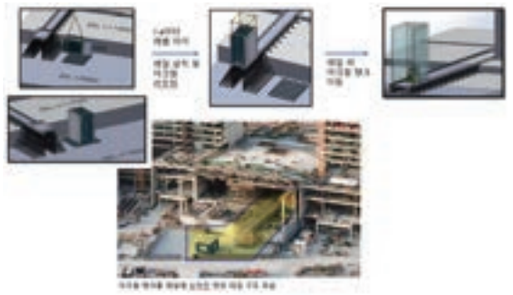
구분	규격 (W×L×H×THK)	조망	중량
수족관 #2	4.208m×7.427m×6.650m×0.30m	4면 조망	59 Ton
수족관 #3	4.331m×6.543m×7.679m×0.34m	3면 조망	56 Ton
수족관 #4	4.280m×6.575m×9.670m×0.39m	3면 조망	79 Ton
수족관 #5 (Jelly Fish Tank)	8.913m× 1.819m×6.800 m×0.38m	1면 조망	8.5 Ton

수족관 공사는 특수 공종에 속하기 때문에 전세계적으로 수족관 시공 전문업체는 많지 않으며, 그 중 Top 3는 이탈리아, 미국, 일본 정도입니다. 저희 현장은 해상 운송시간 등을 감안하여 지리적으로 가장 가까운 이탈리아 업체가 적격이었고 아크릴 접합 기술이 가장 뛰어난 이탈리아 업체(M/s Clax Italia)를 선정하였습니다.

이탈리아 현지 공장에서 상기 규격으로 제작 후 아크릴 접합부위 강도 테스트 및 수밀 테스트를 걸쳐 운송 시 아크릴의 변형 및 파손이 발생되지 않도록 아크릴 보양 및 철골틀로 보강

하여 두바이까지 해상으로 운반하였고 통관절차 통과 후 현장까지 육로 운반시에는 경찰차들의 에스코트를 받아 3개차로를 활용해서 무사히 운반하였습니다.

현장까지 성공적으로 운반된 수족관을, 공간 제약이 있어 크레인 등의 중장비 사용이 제한되는 현장 환경에서 한치의 오차도 없이 호텔 로비 내 정확한 위치까지 운송하는 것이 가장 큰 도전이었습니다. 여러 방안 중 현장에서 최종적으로 선정, 수행한 방법은 임시 가설 레일 설치하여 레일 위에 스케이트 보드 플레이트를 설치하고 그 위에 수족관을 올려서 지게차를 이용하여 천천히 밀어서 호텔 로비 내 수족관 위치 앞까지 운반했습니다.

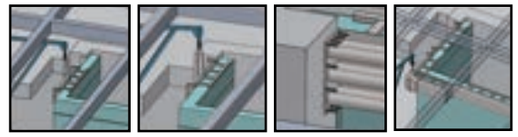


수족관 위치 앞까지 운반 후, 정확한 위치에 안착시키기 위해서 다운된 슬라브 바닥에 기 설치된 레일과 똑같은 레벨로 레일과 유압잭을 레일 하단에 설치하고 기 설치되어 있던 바깥쪽 레일을 철거한 후 이동방향 쪽으로 레일을 재 설치한 후 지게차를 사용하여 천천히 밀어 넣었습니다. 정확한 위치까지 도달시킨 후 기 설치된 유압잭을 사용하여 레일을 철거하고 셋팅 블록과 Pillow를 설치하여 수직 수평을 정확하게 맞추는 미세조정 작업을 걸쳐 정확한 위치, 수평과 수직도를 확인한 후 Pillow에 공기를 제거하여 안착시킨 후 하단부를 고정시켰습니다.

그리고 나서 상단부를 콘크리트 벽체에 기 매립시켜 놓았던 앵카와 수족관 상층부 고정을 위해 특수 제작된 Connection Frame을 사용하여 고정하였습니다.

슬라브 바닥에 레일과 유압잭 설치 → 바깥쪽 레일 철거 후 이동방향으로 레일 재 설치 → 지게차로 밀어서 이동

유압잭 사용 및 레일 제거 → 셋팅 블록 및 Pillow 설치 → Pillow 공기주입 및 유압잭 제거 → Pillow 공기제거 및 안착



매립앵카에 Connection Frame으로 벽체와 고정 → 코너 Connection Frame으로 코너 부위 고정

Q.

수많은 Design Consultant사가 이 프로젝트에 참여하였고, 발주처의 많은 설계 변경이 진행되었는데, 설계 코디네이션 업무를 수행하면서 겪었던 애로사항 및 이에 대한 해결방안은 무엇이었는지 소개 바랍니다.

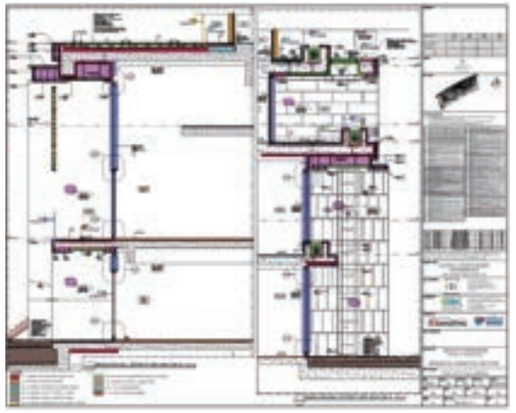
▶ 김종호 과장 (설계 담당) : 우선 DURAA현장의 설계팀 조직 및 인원 현황을 소개하자면, 당 현장의 설계팀 조직은 Engineering Director 1명, Manager 7명, Engineer 33명, Draftsman 21명인 총 62명으로 구성되었습니다. 이 정도의 규모는 보통 해외현장 1,000억 정도의 규모를 수행할 수 있는 현장 조직과 거의 같습니다.

일반적인 현장 설계팀 주요 업무를 크게 3가지로 분류하자면 1) IFC(Issue for Construction, 시공도면) 도면 검토 및 불명확한 Design Clarification, 2) Shop DRW/As Built DWG 작성 및 제출, 3) 각종 기술서류 검토, 작성 및 제출입니다. 하지만 당 현장은 2016년 7월 공사 착수 시점 당시, 골조공사만을 위한 IFC 도면 외에 건축 마감공사, MEP(Mechanical, Electrical and Plumbing) 공사, 인테리어(Fit-out) 공사를 위한 IFC 도면이 준비돼 있지 않았습니다. 이런 상황에서 골조 공사를 시작했고 발주처가 제공해야 할 IFC 도면 발급은 Milestone 대비 계속적으로 지연되었으며, 지연된 주요 원인은 14개국 54개 Design Consultant사들간의 Coordination에 상당한 시간이 소요되었기 때문입니다. 여기에 발주처의 잦은 설계 변경으로 인해 설계팀에서 해야 할 업무들이 기하급수적으로 증가했습니다. 수치상으로 설명 드리면 공사 착공 시점부터 최근까지 RFI(Request for Information, 자료요청서) 답변서가 약 15,000 건 정도이며, 약 4,400 건 정도의 설계변경과 IFC 도면 발급이 있었습니다.

일반적인 해외현장의 경우에는 Provisional Sum Packages(PS 항목 - 도급 계약시 IFC 도면 미흡 등으로 인해 정확한 수량 없이 총액 계약 방식으로 진행 후 패키지별로 IFC 도면 및 수량 확정한 후 발주처가 업체를 선정하는 방식)가 통상 2~5개이고 전체공사금액의 40% 이내인 반면 당 현장의 경우 총 44개 항목이며, 전체공사금액의 약 70%에 해당되는 규모입니다. 앞에서 설명 드렸듯이 IFC 도면 발급이 지연되어 PS 항목에 대한 업체 선정이 지연되었을 뿐만 아니라, 설상가상으로 발주처가 PS 업체 선정 시 업체의 시공능력 및 회사 재무 상태보다는 금액을 우선시함으로써 발주처가 선정한 업체들 중 일부는 검증되지 않은 시공능력, 엔지니어링 능력 부족 및 재무적으로 부실한 업체들이 있었습니다. 이로 인해 PS업체들이 제출한 시공도면 및 기술서류가 컨설턴트가 승인할 수 있을 정도의 수준에 못 미쳤고, 그 부족한 부분을 설계팀이 채웠습니다. 프로젝트의 품질은 시공오류를 최소화함으로써 얻을 수 있고, 시공오류를 최소화하기 위해서는 도면 품질(IFC 도면 품질 및 시공도면 오류 최소화) 확보가 선행되어야 합니다. 즉, 설계팀 조직 및 인원 현황을 우선 언급했던 이유이며, 설계팀의 애로사항이었습니다.

추가적으로 이 현장에서만 수행하였던 설계팀 업무를 소개하겠습니다. 앞서 언급했듯이 이 현장은 PS 항목이 총 44개(건축마감 21개, MEP 11개, Fit-out 12개)입니다. 현장직원, 발주처 및 컨설턴트가 각 패키지별로 업무 영역을 이해하는데 도움을 주고자 Scope Demarcation Booklet을 제작하였습니다.

구분	Engineering Director	Manager	Engineer/ Architect	Draftsman	합계
Concrete		1	4	12	17
BBS/ PT		1	4	4	9
Steel Structure		1	2		3
MEP		2	10	1	13
Façade		1	1		2
Architecture		1	12	4	17
합계	1	7	33	21	62



총 450 여 페이지로 C package(건축마감), F package(Fit-out), G package(External)를 IFC 평면도와 단면도에 표현을 하였습니다. 일반적으로 현장관리는 Area/Zone/Building 별로 수행되고, 도면 표현도 같은 방식으로 표현됩니다. 이 점을 착안하여 현장관리가 좀 더 효율적으로 운영되는데 도움을 주고자 하였으며 실제 현장에서 잘 활용되었습니다.

Q.

대형 골조 공사 및 복합 공정으로 이루어진 마감공사의 공사 관리에는 어떠한 관리 기법이 적용되었고, 협력업체와의 공사 코디네이션 및 인력관리는 어떻게 관리되었는지 소개 바랍니다.

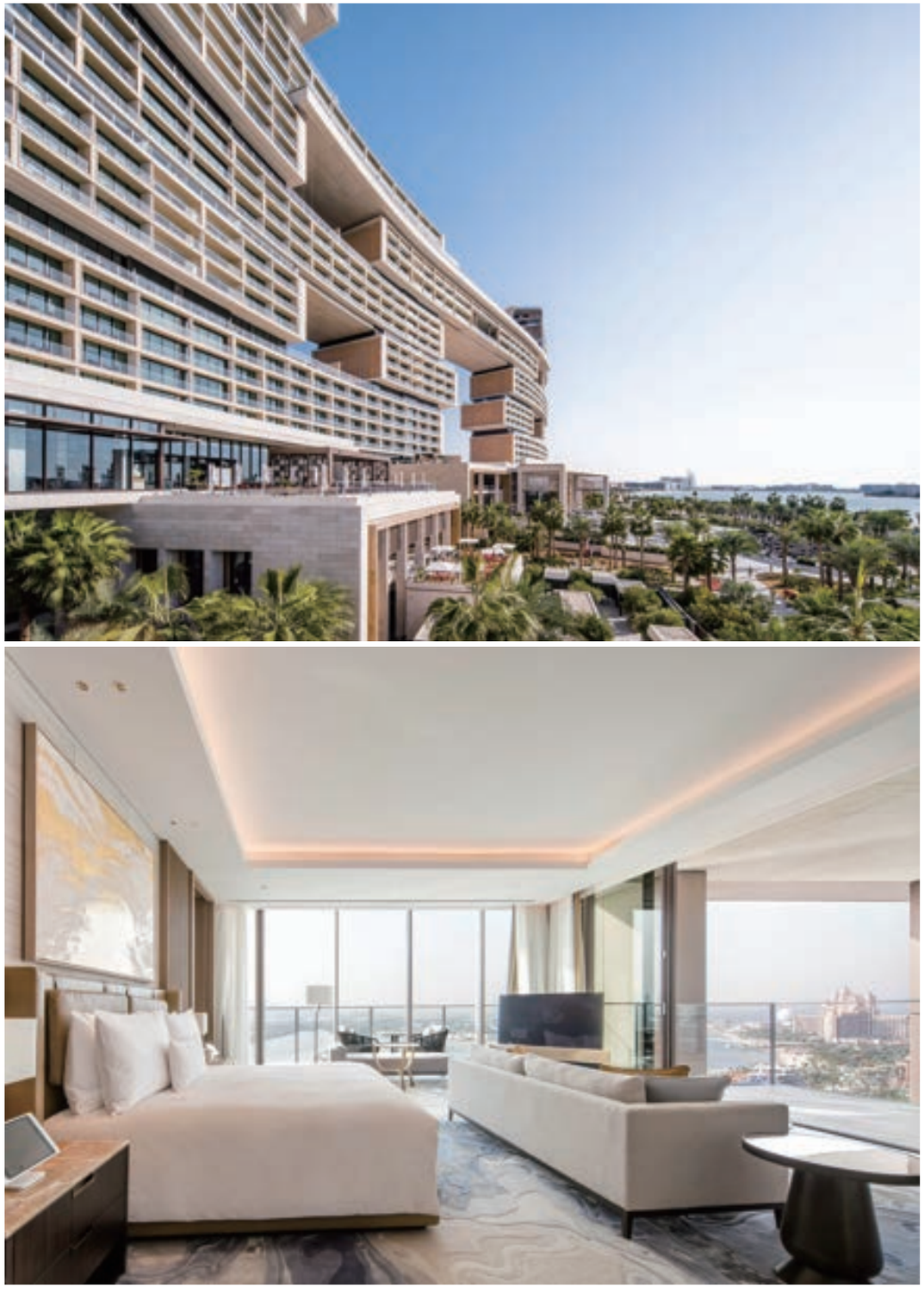
▶ 한승표 소장 : 일부 특수 공정(철골 및 Post Tension)을 제외하고는 모든 골조 공사가 직영으로 시행되었습니다. 직영공사의 경우, 생산성 관리가 공기/원가관리와 직결되므로, 일일/주간 단위의 생산성 분석/검토/개선에 초점을 맞추어 관리하였고, 기능공 그룹별/공구별 KPI 실적을 대비하고, 문제점을 개선해 나가는 과정을 반복했습니다. 관리 Tool로는 JV 파트너사에서 이미 기존 현장에서 적용하여, 인건비 절감의 성과가 있었던 Renoir Consulting의 'Perform System'을 적용하여, 공종별 예산/목표/실적을 일일 단위가 아닌 시간단위로 관리함으로써, 꾸준한 생산성 향상(철근 187kg/인일, 거푸집 5.1m^2/인일, 타설 5.3m^3/인일)을 도모하였고, 직영체제의 리스크를 최소화하여 골조 공사를 완료했습니다.

마감공사 관리를 위해서는 쌍용 건설기술 [2020년 통권 77호, QR Code를 이용한 현장관리] 을 통해 소개한 바 있는

QR Code System이 적용되었습니다. QR Code가 부착된 4,484개 공간의 작업 및 검측 진행 현황을 실시간으로 입력하여, 전 마감 공종을 일목요연하게 모니터링하면서, 연관된 작업이 계획된 Sequence에 맞추어 연속적으로 진행되도록 관리했습니다.

Baseline 공정표는 Primavera Program이 사용되었고, WBS/Activity 작성에 대한 계약 기준을 적용하면서, 68,500개의 방대한 Activity로 구성되어야만 했습니다. 이러한 Baseline 공정표를 공사팀에서 직접 실무에 활용하는 것은 제약이 있어서, 수시로 공사팀에서는 Working Programme 생성이 필요했습니다. Programme 작성 Work Shop에는 공종별 공사 담당자/하도업체가 참여했고, 선후행 Sequence 재정립/ Activity별 Duration 재조정함으로써 공사팀/하도업체가 합의하는 최적의 Working Programme을 수시로 도출하여 공정관리에 사용되었습니다.

공사 계획 수립 후 현장에서의 공사관리에 대해서는, 공구별로 하도업체가 참석하는, 일일 'War Room Meeting'을 시행하여, War Room에 게시된 각종 KPI 계획/실적을 검토하고, 주간 목표 확정 및 실적 Monitoring하면서 인력 및 자재의 적기 투입을 조치했고, 확인된 설계/계약/구매 등 각종 문제점은 사전에 해결조치를 할 수 있었습니다.



기술논문 | 토목

대단면 심층혼합처리공법 품질 향상을 위한 장비 개선사례 연구

글 한상수 / 토목기술팀 과장 **전화** 02-3433-7748 **E-mail** sshan@ssyenc.com

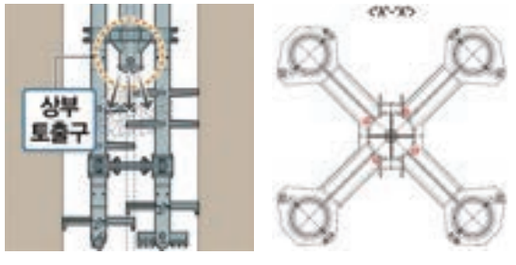
Keywords : 심층혼합처리공법, DCM, 연약지반개량

심층혼합처리공법(Deep Cement Mixing Method : DCM)은 시멘트와 물을 혼합한 고화재를 지반내에 주입 및 교반혼합 함으로써 원지반에 개량체를 형성시키는 연약지반 개량공법이다. DCM공법은 방파제, 호안 및 안벽 등 항만공사의 기초로 적용성이 매우 크며, 최근 시공효율 향상을 위한 대구경 및 다축화 등의 대형화가 되고 있다. DCM공법은 초기 직경 800mm, 단축식으로 시작하여 2축, 4축으로 발전하였고 직경도 1,600mm로 대형화가 되고 있는 추세이다.

[그림 1] 항만공사 DCM 직경 변화 현황

DCM공법은 시공장비 개선으로 개량 면적이 확대되어 시공효율은 향상되었으나 토출구 위치는 개선되지 않아 단면 전체에 고화재를 균일하게 주입하기 어려우며, 단면이 커질수록 균질한 품질을 확보하기가 어렵게 되었다. 따라서 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위하여 가이드 파이프에 위치한 토출구를 DCM단면 중앙에 위치시켜 단면 전체에 고화재를 균일하게 주입하도록 토출구 개선 방안을 [그림 3]과 같이 제안하였다.

[그림 2] 기존의 토출구 위치



[그림 3] 개선된 토출구 위치

또한 가이드 파이프에 소형 교반날개를 추가하여 미개량 구간을 추가 교반함으로써 유효단면 및 중첩부의 신뢰도를 향상시키는 개선 방안을 제안하였다.

[그림 4] 소형 날개 추가로 미개량 구간 개선

DCM공법은 1985년 국내 최초 도입된 이후 항만공사에 매우 많은 공사실적을 보유하고 있으며, 시공장비 개선으로 개량면적이 확대되어 경제적인 시공이 가능하게 되었다. 그러나 토출구 위치는 개선되지 않아 단면이 커질수록 균질한 품질확보가 어렵게 되었다. 따라서 본 연구는 DCM장비의 토출구 위치 변경 및 중앙 소형 날개를 추가하는 장비개선을 통하여 고화재를 균일하게 주입시키고 미개량 구간을 추가 교반 함으로써 고품질의 개량체가 형성할 수 있는 장비개선 방안을 제안하였다.

※ 참고문헌

01. 김창수, 한상수, 김준호 & 만윤빈. (2022), 대단면 심층혼합처리공법 품질향상을 위한 장비 개선 사례 연구, 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, p.101

기술논문 | 토목

싱가포르 톰슨 동부해안선 T308공구 터널 발진기지 설계 사례

글 현정환 / 토목기술팀 과장 **전화** 02-3433-7775 **E-mail** hyun686@ssyenc.com

Keywords : EPB, TBM, Launching Shaft

싱가포르 동부해안선의 터널은 EPB TBM이 적용되어, 연장 약 1.35km의 병렬터널로 시공되었다.

터널은 TBM 1- Changi 방향(CB) 및 TBM - 2 Woodland 방향(WB) 터널로 구성되어 있으며, 정거장 우측에 시공된 발진기지(Launching Shaft)에 2대의 TBM(Tunnel Boring Machine) 장비가 투입되었다. 당 현장(이하 TEL T308)의 터널은 주거밀집지역이며, 발진기지가 위치한 곳은 4차선 도로가 공용 중으로 도로 양쪽으로 아파트가 위치하고 있는 등 공간적 제약으로 인해 발진기지 설계 및 계획에서 다음과 같은 문제점이 대두되었다. 1) 발진기지 위치 선정, 2) 초기 굴진시 터널 back-up gantry 배치계획, 3) 본 굴진시 Muck pit의 계획, 4) 터널 세그먼트 야적 계획

이에 본 고에서는 터널 발진기지의 설계 및 계획에 대해 소개하고자 하였다.

발진기지의 위치는 평면 상 정거장 구조물 가장 오른쪽에 위치하고 있으며, 기존 4차선 도로가 운영중에 있어, 정거장 시공을 위한 도로교통 전환계획과 연관되게 계획하였다.

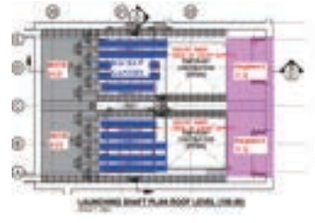
또한, 정거장 출입구 위치가 인접하여 터널 구조물과 출입구 공사기간의 간섭이 없도록 계획되었다. 발진기지 공사는 Top-down 으로 완료하였으며, [그림 1]와 같이 TBM 인양 (약 135톤) 및 굴진을 위한 개구부(10m×9m)의 위치는 750톤 크레인으로 최대 30m 반경을 사용하여 인양이 가능 한 곳으로 배치되었다. 초기굴진시 총 8대의 backup gantry를 배치할 공간은 [그림 2]과 같이 발진기지내 Roof 슬래브 상부로 계획하였다.

이와 더불어 [그림 3]와 같이 Muck pit의 위치도 발진기지 상부슬래브가 하중을 지지할 수 있도록 설계하였고, 굴진 시 필요한 터널 segment 야적도 상부 슬래브 위 일부를 임시 데크 슬래브를 타설하여 적재할 수 있도록 계획 및 설계를 하였다.

본 고에서는 터널 굴진기지의 설계 및 굴진계획에 대하여 현장에서 직면한 어려웠던 사례를 소개하였으며, 추가적으로 gantry crane 기초 및 방음벽 기초의 설계도 발진기지 계획에 고려하는 등 발진기지 상부 Roof 슬래브 전면공간을 활용하여 공간제약을 극복하였다. 현장 여건을 고려한 터널시공 전 구조물 및 위치 계획은 프로젝트의 성공적인 수행에 반드시 필요하다.

[그림 1] 발진기지 개구부 위치

[그림 2] 발진기지 상부슬래브 계획평면도



[그림 3] 발진기지 단면도

※ 참고문헌

01. 양성호, 이타, 배민혁 & 정지희. (2022). 싱가포르 톰슨 동부해안선 T308공구 터널 발진기지 설계 사례. 한국터널지하공간학회 봄학술발표회 논문집

기술논문 | 토목

단선철도 터널단면 시공성 개선사례 연구

글 유광섭 / 토목기술팀 과장 **전화** 02-3433-7715 **E-mail** geoksyu@ssyenc.com

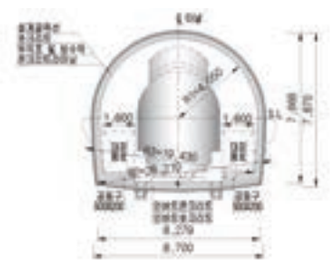
Keywords : 단선철도, 터널단면, 시공성 향상, 굴착효율성, 방재안정성

단선 철도터널은 복선철도터널에 비해 폭(B)이 6.2~7.0M로 좁아 페이로더의 회전이 불가하여 장비교행 시 저속이 발생하고, 충분한 대피로 확보에 어려움이 있어, 기존 단선철도 설계에 적용된 터널단면 검토를 통하여 시공성 측면의 한계를 분석하고 이를 극복하기 위하여 하부단면의 활용을 극대화한 사례에 대하여 알아보고자 한다.

단선철도 터널단면은 건축한계 및 인터페이스 (전차선, 신호, 전기, 통신설비 등)의 설치 공간 및 공기압 (이명감, 미기압) 문제 등 제반규정에 따른 요소와 경제성, 시공성 및 안정성 등을 종합적으로 고려하여 선정한다.

기존 단선철도 터널단면은 하부 바닥폭이 6.783m로 협소하여 갱내 페이로더 회전 및 장비 교행 불가로 굴착효율성이 불량하고, 대피로 폭이 협소하여 방재안정성 또한 불리하다. 이러한 기존 단선터널 단면의 한계를 극복하기 위하여 [그림 1]과 같이 기존터널단면과 비교하여 높이는 7.666m로 작아지고 터널바닥면 폭은 8.279m로 확대하여 경제성 및 안정성을 확보하면서 굴착효율성, 방재안전성을 극대화한 단면을 선정하였다.

[그림 1] 터널 하부 활용 극대화 단면



수치해석 결과 천단변위 및 내공변위가 미소하게 나타났고, 숏크리트 최대 압축력(7.94MPa) 및 록볼트 최대 축력(82.02kN)은 허용치 이내로 안정하다.

[표 1] 페이로더 회전 측면 개선사항

구분	기존단면	개선단면
BIM 검토		
장비	페이로더(3.5m³) + 덤프트럭(15ton)	
검토결과	- 터널내 회전 불가능 - 최대200m후진필요	- 후진 불필요 - 덤프에 직접상차

[표 2] 장비 교행 측면 개선사항

구분	기존단면	개선단면
BIM 검토		
검토결과	- 장비교행 불가능 - 굴착 효율성 저하	- 장비교행 가능 - 굴착 효율성 확보

[표 3] 방재 안정성 측면 개선사항

구분	기존단면	개선단면
BIM 검토		
검토결과	- 장애인/비장애인 간섭 - 병목현상 발생	- 장애인/비장애인간섭배제 - 병목현상 배제

터널하부 활용을 극대화하여 굴착효율성측면에서 갱내 장비교행 가능으로 버력처리 시간을 24% 단축 하였고, 방재측면에서 승객대피시간을 기존 246초에서 194초로 52초(21.1%) 단축시켜 위험도를 최소화 하였다.

※ 참고문헌

01. 유광섭, 최재호, 안동열(2022), "단선철도 터널단면 시공성 개선사례 연구", 2022 한국지반환경공학회 & 한국방재안전학회 공동학술대회 논문집 P127 - 128.

기술논문 | 토목

굳지않은 콘크리트에 의한 지하수오염을 방지하기 위한 섬유거푸집 현장타설말뚝

글 이용주 / 토목기술팀 과장 **전화** 02-3433-7779 **E-mail** yjlee@ssyenc.com

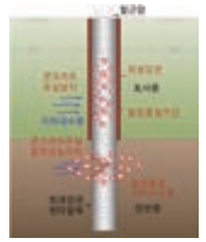
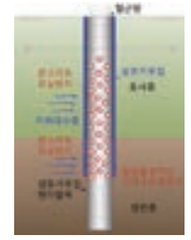
Keywords : 섬유거푸집, 지하수 오염

01. 현장타설말뚝 개요

현장타설말뚝은 지반을 굴착 후 철근망을 근입하고 지중에 콘크리트를 타설 및 양생하여 제작하는 말뚝으로, 큰 지지력을 필요로 하는 대심도의 말뚝기초에 적용성이 우수하다. 그러나 지하수위 아래의 토사층, 절리가 발달한 풍화암층, 암반 파쇄대, 지하공동 구간 등에서 굳지않은 콘크리트에 함유된 중금속에 의한 지하수 오염이 발생하고, 연약 점성토층에서 벌징(Bulging) 현상과 지하 대수층에서의 지하수의 흐름에 의해 콘크리트의 몰탈이 유실되어 말뚝의 품질 확보가 어려운 문제점이 있다.

말뚝의 품질확보 및 지하수 오염 방지에 유리한 섬유거푸집 현장타설말뚝 공법을 소개하고자 한다.

[표 2] Comparison table

희생강관 현장타설말뚝	섬유거푸집 현장타설말뚝
· 희생강관으로 토사층 문제점보완 · 암반층 : 희생강관 적용불가 → 지하수오염, 말뚝성능저하	· 섬유거푸집을 사용하여 토사층 뿐만아니라 암반층 문제점 보완 · 암반층 섬유거푸집 설치 → 지하수오염방지, 말뚝품질확보
	

03. 지하수 오염 방지를 위한 시공법 개선

현장타설말뚝 시공 중, 중금속이 함유된 시멘트를 사용한 콘크리트를 수중에 타설 할 때 굳지않은 콘크리트는 물과 접촉하면 중금속이 용해되어 지하수 오염의 원인이 된다.

지하수 오염방지를 위해 기존에는 희생강관을 적용하였으나 희생강관은 암반층 시공이 불가하여 지하수 오염방지 및 품질확보에 어려움이 있다. 섬유거푸집을 적용 시 암반층까지 시공이 가능하여 지하수 오염을 방지할 수 있고 우수한 말뚝품질 확보가 가능하다.

[표 1] Application effect

말뚝구분	지하수오염방지		말뚝품질확보		자재비
	토사층	암반층	토사층	암반층	
희생강관 현장타설말뚝	○	×	○	×	고가
섬유거푸집 현장타설말뚝	○	○	○	○	비용절감

04. 결론

대심도 기초에서 큰 지지력을 필요로 하는 말뚝기초에 적용성이 우수한 현장타설말뚝에 섬유거푸집을 적용하여, 현장타설말뚝 시공 중 토사층뿐만 아니라 암반층에서도 굳지않은 콘크리트에 의한 지하수 오염을 방지하고, 지하 대수층에서 지하수의 흐름에 의한 콘크리트 유실을 방지하여 말뚝의 품질 확보가 가능하다.

또한, 교량기초 외에도 대형구조물 및 건축물, LNG저장탱크, 유류저장탱크, 풍력발전 등의 다양한 깊은기초에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

※ 참고문헌

01. 환경부령 제979호(2022.3.31) 『자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙』 제2조
02. 국립환경과학원(2022.7.1.) 『국내·외 시멘트 제품의 중금속·방사능 분석결과(2022.6.)』

기술논문 | 건축

바닥충격음 제도 개정(2022.08)에 따른 영향 분석

An Impact Analysis on the Revision of the Floor Impact Sound System

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

Keywords : 바닥충격음, 표준화 바닥충격음 레벨, 임팩트볼

바닥충격음 관련 제도는 2019년 감사원 감사결과를 바탕으로 2022년 8월, 사후측정을 주요 골자로 하는 내용으로 대폭적인 개정이 이루어졌다. 주요 개정내용은 다음 표와 같다.

구분	기존	개정
측정시기	준공단계	-
기준값	경량 58, 중량 50	경량 49, 중량 49
경량 평가방법	규준화 레벨	표준화 레벨
중량 측정방법	뱅머신	임팩트볼
중량 평가방법	역A특성곡선, 단일수치평가량	A특성 소음레벨 [dB(A)]
사전 인정제도	의무	선택

본 연구에서는 경량충격음 평가방법이 잔향시간을 측정한 후 실 체적을 고려한 사빈 공식을 이용하여 실내흡음력을 보정하는 규준화 레벨에서 잔향시간 측정값을 그대로 이용하는 표준화 레벨로 변경됨으로써 경량충격음 측정결과가 어떻게 바뀌는지 여부와 중량충격음 평가방법이 4개 주파수를 대상으로 역A특성곡선을 이용한 500Hz 대역의 단일수치평가량에서 4개 주파수를 대상으로 A특성 소음레벨로 변경됨으로써 중량충격음 측정결과가 어떻게 바뀌는지 여부를 분석해 보았다. 다만, 중량충격음 측정방법이 뱅머신에서 임팩트볼로 변경된 것에 대한 영향은 고려하지 않고 임팩트볼로 측정된 값만을 대상으로 하였다.

먼저, 경량충격음 평가방법으로 규준화 레벨(식 1)과 표준화 레벨(식 2)은 다음 식으로 구할 수 있으며, 실 체적별 측정결과를 비교하면 다음 그림과 같다.

$$L'_n = L_i + 10\log\frac{A}{A_0} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, $A_0 = 10\,\mathrm{m}^2$

$A = 0.16\frac{V}{T}$, V : 수음실 체적, T : 잔향시간

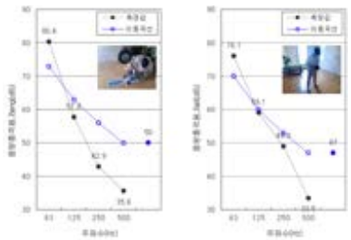
$$L'_{nT} = L_i - 10\log\frac{T}{T_0} \quad \cdots\cdots (2)$$

여기서, T : 잔향시간, T0 = 0.5초

규준화(좌) 및 표준화(우) 보정계수

상기 그림에서 알 수 있듯이 규준화 보정계수는 평형이 클수록 큰 값을 가지는 반면 표준화 보정계수는 규준화 보정계수보다 낮은 값을 보이고 있으며, 전 주파수 대역에서 -3dB 내외의 값을 나타내고 있다.

다음으로, 중량충격음 평가방법으로 역A특성곡선을 이용한 단일수치평가량으로 뱅머신과 임팩트볼을 평가한 결과 아래 그림과 같이 각각 50dB, 47dB로 나타났고, 임팩트볼 측정값을 A특성 소음레벨로 평가한 결과 51.1 dB(A)로 나타났다.



주파수	5점 평균	A특성 보정	소음레벨
63 Hz	76.1 dB	-26.2 dB	51.1 dB(A)
125 Hz	59.1 dB	-16.1 dB	
250 Hz	49.0 dB	-8.6 dB	
500 Hz	33.5 dB	-3.2 dB	

※참고문헌

01. 박철용(2022), "바닥충격음 제도 개정(2022.08)에 따른 영향 분석", 대한건축학회 학술발표대회 논문집 Vol.42 No.2 p.346

신기술·녹색기술

무힌지 폴딩 헤드형 차단판을 이용하는 부단수 차단 공법

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

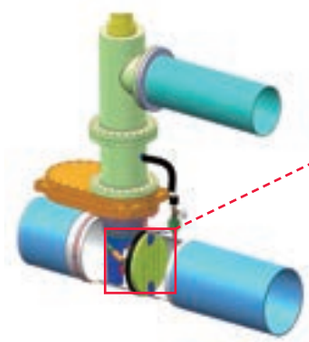
- 기술개발자 : 쌍용건설, 대호스토퍼, 동일기술공사, 동명기술공단
- 보호기간 : 2022.07.29. ~ 2030.07.28. (8년)
- 기술범위 : 마개 역할을 하는 전면판, 전면판의 테두리에 설치되어 지수역할을 하는 합성고무판, 배관의 부식 등으로 올통불통한 내면을 정리하면서 합성고무판의 지수성능을 극대화하는 보강판 및 폴딩 기능을 담당하는 후면판으로 구성된 무힌지 폴딩 헤드형 차단판과 폴딩시 응력을 받지 않는 무응력 실린더로 높은 압력으로 공급되는 급수상태에서도 안전하게 폴딩이 가능하게 하는 부단수 차단 공법

01. 신기술의 개요

본 신기술은 기존 상수도관의 천공경을 축소하기 위해 차단판을 중심부와 좌우 날개의 3개로 분할하여 중심부를 중심으로 접히는 폴딩 헤드 형태로 구성하고, 차단판은 힌지가 없는 경사면 구조의 가변형으로 배관이 타원인 경우에도 높은 차수력을 보장하고, 차단시 수압을 분산시켜 장비의 안전성을 높일 뿐 아니라 보강판을 구비하여 차단시 배관 내부의 미물질 등에 의한 차단사고 방지 및 차수력을 극대화한 부단수 차단 공법이다.

02. 신기술의 주요 내용

구 분	기존 기술	신기술
천공경의 크기	차단판 크기만큼	차단판 크기의 80% 내외
폴딩 헤드형 차단판	힌지 방식	무힌지 방식
차수 역할	고무판	고무판 + 보강판
폴딩 기능	응력을 받는 연결링크	무응력 푸쉬실린더



신기술·녹색기술

제강슬래그 골재 특성을 활용한 아스팔트 도로포장공법

글 이용주 / 토목기술팀 과장 **전화** 02-3433-7779 **E-mail** yjlee@ssyenc.com

- 기술개발자 : 쌍용건설, 에스지이, 현대제철, 케이알산업, 다산컨설턴트
- 보호기간 : 2022.10.18. ~ 2030.10.17. (8년 + 연장 5년)
- 신기술 범위
  1. 1등급 골재 품질 기준에 적합한 제강슬래그 골재를 생산하는 기술
  2. 고비중 제강슬래그의 특성을 활용한 고성능의 아스팔트 혼합물을 제조하는 기술
  3. 제강슬래그 골재의 높은 맞물림 특성을 극복하는 아스팔트 도로포장 시공기술

01. 개발 신기술의 개요

본 신기술은 고밀도, 각진 형상, 높은 표면 공극에 따른 거친 표면 조직의 제강슬래그를 1등급(편장석률 10% 이하) 품질 기준의 골재로 가공하여 아스팔트 도로포장을 시공하는 기술로, 신청기술이 구현하는 제강슬래그 골재는 높은 표면 공극에 따라 아스팔트와 골재의 결합력이 우수하고 각진 형상에 의해 골재 상호간 맞물림 특성이 높아 우수한 소성변형 저항성 및 균열저항성을 발현하는 도로포장을 구현 할 수 있는 장점이 있는 반면, 시공과정에서 제강슬래그 골재의 맞물림 특성으로 인해 높은 다짐에너지를 요구하는 단점이 있어, 이를 극복하고자 기존의 충격 및 진동 하중을 제공하는 아스팔트 포설장비(피니셔)에 유압 및 편심 하중 장치를 추가하여 아스팔트 포설 후 사전 다짐도를 향상시켜 1-2-3차 다짐공정으로 수행하던 도로포장 시공공정을 1-2차 다짐 공정으로 간소화하는 기술이다. 제강슬래그의 높은 밀도를 고려한 배합설계 기술과 시공 기술을 적용한 시공현장의 도로포장상태를 64개월 동안 추적 조사한 결과 기존 일반 아스팔트 포장 대비 2.2배 높은 공용수명이 연장되는 효과가 있으며, 기존 기술 대비 평균 8.6%의 높은 경제성을 확보하는 기술이다.

02. 개발 신기술의 역할

본 신기술은 도로포장에 사용되는 1등급 천연골재를 제강슬래그 골재로 대체하는 기술로 연간 여의도면적(850만㎡)의 103배에 달하는 산림훼손을 저감시켜 환경에 미치는 영향을 최소화 하였으며, 초기 투입비용이 절감되고 공용수명 증가에 따른 유지보수 비용이 감소되어 경제성 확보가 용이하다.

신기술·녹색기술

PHC말뚝 내부에 강관을 삽입하고 콘크리트를 충전하여 구성한 강관 삽입형 복합말뚝

글 한상수 / 토목기술팀 과장 **전화** 02-3433-7748 **E-mail** sshan@ssyenc.com

- 기술개발자 : 쌍용건설, 스마텍엔지니어링, 수성엔지니어링, 디엘건설
- 보호기간 : 2022.08.22 ~ 2027.08.21(5년)
- 신기술 범위
  1. PHC말뚝을 시공 후 말뚝 전 길이 내부에 강관을 삽입하고 콘크리트를 충전하여 사면의 활동하중에 저항하는 복합말뚝 공법
  2. PHC말뚝을 시공 후 말뚝 상부 내부에 강관을 삽입하고 콘크리트를 충전하여 구조물의 말뚝 상부에 작용하는 수평하중에 저항하는 복합말뚝 공법

01. 신기술의 개요

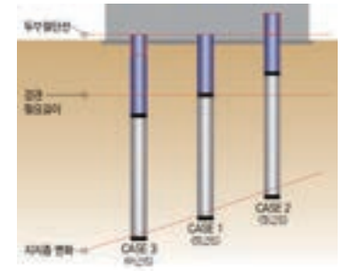
본 신기술은 PCH말뚝 내부에 강관을 삽입하고 콘크리트를 충전하여 구성한 강관삽입형 복합말뚝(SC복합말뚝)으로 사면 활동파괴면을 관통 후 부동지반까지 설치하여 저항하는 억지말뚝 또는 교량 및 구조물 말뚝기초로 설치하여 말뚝의 상부에 작용하는 수평하중 및 모멘트에 저항하도록 하는 복합말뚝공법이다.

02. 신기술의 주요 내용

1) 기존 기술의 문제점

기존 복합말뚝은 강관과 PHC말뚝을 현장에서 이음하여 복합말뚝을 제작한 후 천공 및 말뚝을 매입(또는 항타)하는 시공절차를 갖는데 문제는 지지층의 심도를 정확하게 알 수 없다는 것에서 발생한다. 지지층의 심도가 예측했던 심도보다 얕아서 말뚝이 덜 근입(CASE 2)될 경우에는 강관이 설치되어야 할 위치에 수평저항력이 작은 PHC말뚝이 설치되어 구조적 안정성을 확보하지 못하게 된다. 반대로 지지층의 심도가 예측보다 깊어서 말뚝이 더 근입되(CASE 3)는 경우에는 현장에서 복합말뚝 제작시 이를 고려하여 강관말뚝의 길이를 여유를 두고 제작하거나 강관말뚝상부에 다시 강관을 이음하여 근입해야 하는 문제가 발생한다.

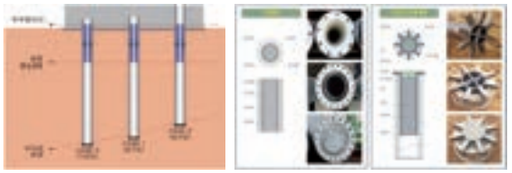
[그림 1] 지지층 변화와 기존 복합말뚝의 시공현황



2) 신기술의 주요 특징

본 신청기술인 SC복합말뚝은 지지층 심도 변화로 인해 시공관리가 어려운 기존 복합말뚝의 문제점을 해결하고자 개발된 것으로 PHC말뚝을 일괄 시공한 후 말뚝 두부를 정리하고 말뚝 중공부 내에 보강길이에 맞게 강관을 삽입, 콘크리트를 타설하여 말뚝공사를 완료한다. 따라서 지지층의 심도변화로 인해 말뚝이 덜 근입되거나, 더 근입되어도 PHC말뚝만으로 단차를 조절한 후, 보강깊이 만큼 강관을 삽입하면 되므로 시공성이 향상되며, 지반조건의 변화에 대한 현장적용이 우수하다.

[그림 2] 지지층 변화와 SC복합말뚝의 시공현황 및 신기술 상세



신기술·녹색기술

앵커콘과 주름형 폐합지수판을 사용한 조립식 프리캐스트 콘크리트 공동구 시공 기술

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

- 기술개발자 : 쌍용건설, KC산업, HJ중공업, 제일엔지니어링
- 보호기간 : 2022.12.30. ~ 2030.12.29. (8년)
- 신기술 범위 : 양방향, 단방향 강연선 정착 기능의 앵커콘과 누수방지 주름형 폐합지수판을 이음부에 적용하여 조립식 연결하는 프리캐스트 콘크리트 공동구 시공 기술

01. 신기술의 개요

본 신기술은 지하 환경의 미세거동과 부등침하에 대응하기 위하여 강연선의 양방향, 단방향 정착 앵커콘과 접합부 누수에 대비가 가능한 주름형 폐합지수판, 무수축 몰탈을 적용하고 페로니켈 슬래그가 혼합된 프리캐스트 콘크리트 공동구를 연결 시공하는 조립식 시스템 공법이다.

02. 신기술의 주요 내용

1) 기존 기술과의 차이점

기존 프리캐스트 콘크리트 암거 기술들은 소켓모양 또는 전단키가 형성된 접합면에 수팽창 지수재를 부착하고 강선으로 긴장하여 제품을 접합하는 구조가 대부분이며, 방수를 위하여 자착식 아스팔트계 방수시트를 프리캐스트 콘크리트 암거 접합부 외부에 부착하고 있다.

본 신기술은 방수를 위하여 수팽창성지수재를 설치하거나, 몰탈을 주입하는 기존 기술을 획기적으로 개선한 국내 최초 프리캐스트 접합부에 지수판을 설치하여 누수를 원천 차단한 신기술이다.

2) 공기단축 효과

본 신기술은 원천적으로 누수를 차단하여 수밀성능을 확보할 수 있는 주름형 폐합지수판을 적용하여 별도 외부방수가 불필요하므로 공사기간 단축이 가능하다.

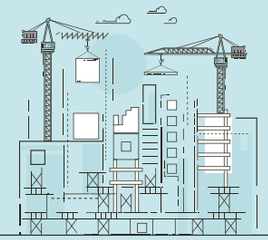
3) 경재성

주름형 폐합지수판을 사용하여 외부방수 공정을 삭제 함으로써 직접재료비, 직접노무비, 산출경비를 기존기술과 비교하였을 때 직접비용 총액에서 약 7.3%의 경제성 절감이 가능하다.

[그림 1] 신기술 개요도

[그림 2] 신기술 시공절차 및 방법

TECHNOLOGY NEWS



디지털 트윈기반 스마트 건설현장 구축 MOU 체결

2022년 7월 7일 현대두산인프라코어와 「Digital Twin 기반 스마트 건설현장 구축 상호협력을 위한 업무협약(MOU)」을 체결했다.

이번 MOU를 통해 당사는 ▲ 장비 자동화 및 관제기술, 드론 측량 등 현대두산인프라코어가 보유한 원천 기술을 활용한 현장 생산성 향상 ▲ 기술형 입찰에 적용되는 현대두산인프라코어의 스마트 기술 우선 적용 ▲ Digital Twin 현장 구축을 통해 2020년부터 추진한 토목본부의 스마트 건설기술 장기 목표 달성에 가까워지게 됐다.

특히 이번 MOU를 통해 현대두산인프라코어가 보유한 우수한 스마트 기술을 당사가 선도적으로 도입하고 활용할 수 있는 좋은 기회가 될 것으로 보인다.

한편, 우리회사는 현재 현대두산인프라코어와 인천검단 택지개발사업 2-2공구에서 토공 플랫폼 활용, 송도 11-1공구 건설공사(1-2구역)에서 장비자동화(MG/MC) 및 장비 관제 기술에 대한 시범 적용을 협업하고 있다. 또한 당사 토목기술팀에서 자체 개발한 SABU(Ssangyoung All-in-one BIM Utility)에 대한 업그레이드를 공동으로 진행하며, 상호간 시너지효과를 기대할 수 있게 됐다.

PC자재 공급 및 기술개발 등 상호협력을 위한 MOU 체결

2022년 8월 25일 반도코어피씨와 「PC자재 공급 및 기술개발 등 상호협력을 위한 업무협약(MOU)」을 체결했다.

이번 MOU를 통해 당사는 ▲ 안정적인 자재 공급선 확보 ▲ 설계 및 생산 기술 향상 등을 밑거름 삼아 스마트 건설기술 발전 및 OSC(Off Site Construction) 건설기술의 적용확대를 대응할 수 있게 됐다.

특히 당사는 정부차원의 OSC건설기술을 선도하고 있는 싱가포르에서 다양한 대형 건축사업을 PC 공법으로 수행하고 있다. 대표적으로 싱가포르 국립대 (Yale-NUS) 5개 기숙사동의 외벽전체, 포레스트 우드 콘도미니엄 대부분의 골조, 싱가포르 최대규모의 미래형 첨단병원시설인 우드랜드 병원(1,500병상 규모) 현장을 PC공법으로 시공하고 있는 등 해외건축시장에서 다양한 시공경험을 갖추고 있다. 또한 국내에서도 마곡 넥센타이어 R&D 센터, 대화동 지식산업센터 등 PC공사 실적을 보유하고 있다.

이번 업무협약을 통해 양사는 지속적인 기술교류 및 현장적용 확대를 도모하고 아울러 PC 관련 신기술 개발을 통한 공기단축, 원가절감 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대한다.

TECHNOLOGY NEWS

제15회 해외건설대상, 건축 최우수상 수상

머니투데이가 주최하는 '제15회 해외건설대상' 시상식에서 우리회사가 건축부문 최우수상을 수상했다. 이 행사는 일류 건설기업을 발굴하고 해외진출 기업과 종사자의 노고를 치하하기 위한 행사로 기업들의 해외 프로젝트에 대한 엄정한 심사를 거쳐 수상회사를 결정하고 있다.

우리회사는 아랍에미레이트 두바이에 초대형 특급호텔을 완공해 해외 고급건축 분야 최강자로서의 위상을 다시 한 번 입증했다. 두바이 새 랜드마크로 자리매김한 '아틀란티스 더 로열'이 전 세계 특급호텔의 기준을 한 단계 상승시켰다는 평가다.

우리회사에서 준공한 앰배서더 서울 풀만 호텔 리모델링 PJT가 한국리모델링협회에서 주관하는 "2022년 한국리모델링건축대전 준공부문"에서 우수상을 수상했다. 참가대상은 2017년부터 2022년 중 준공된 리모델링 건축물로 총 10개 PJT가 건축대전에 참가하였으며, 2위에 해당되는 수상 결과이다.

앰배서더 서울 풀만 호텔은 1955년 금수장호텔로 개업된 65년 역사의 국내 최고(最古)의 민영호텔로 3차례의 증축과 2001년 우리회사에서 외장 리모델링을 진행하였다. 금번 전면 리모델링을 통해 기존 건물의 정확한 진단, 가치의 보존 및 미래 호텔 환경에 부합하는 디자인 등 총 3가지 사항을 포괄하고자 하는 노력이 돋보인 설계로, 최신 트랜드를 반영한 현대 건축물로 재해석하여 공간 구성을 이룬 점을 높이 평가 받았다.

2022년 한국리모델링건축대전 우수상 수상

2022 스마트건설 챌린지 BIM Use Live 부문 혁신상 수상

2022년 스마트건설 챌린지에서 우리회사가 우수한 기술적용성을 바탕으로 'BIM Use Live' 부문 혁신상을 받았다. 이 행사는 스마트 건설기술의 보급 및 확산을 위해 건설업체와 전문기업의 성과를 공유하고, 기술의 현장 적용을 확대하기 위해 국토교통부 주최로 2020년부터 매년 시행되고 있다.

'BIM Use Live' 부문은 시공사 BIM 역량을 평가하기 위하여 BIM모델 공정, 시뮬 레이션작성 등을 통한 1단계 사전공정 및 기성 계획 평가와 2단계 본선 현장 경연 및 현장 발표를 종합하여 평가한다.

'BIM Use Live'는 스마트건설 시공 BIM분야 중에서도 공정 및 기성관리에 대한 향후 적용 방법 발굴과 기술성 확산을 목적으로 진행되었기에 이번 경연을 통해 우리회사의 기술 적용성을 높이 평가받았다는데 매우 의미가 있다.

2022년 사업장 안전보건활동 영상 콘텐츠 공모전 장려상 수상

국내 전 산업장을 대상으로 진행된 "2022년 사업장 안전보건활동 영상 콘텐츠 공모전"에서 우리회사는 응모한 100여 작품 중 장려상을 수상했다. 이 행사는 안전보건공단에서 산업현장 안전한 근로 환경을 만들기 위해 시행하고 있으며, 최우수상 1편, 우수상 2편, 장려상 10편이 선정되었고, 건설업종 중에서는 우리회사와 삼성물산, SK에코플랜트 등 3개사만 수상했다.

금번 수상으로 쌍용건설의 안전에 대한 부단한 노력을 알리는 계기가 되었으며, 앞으로도 다양한 홍보 컨텐츠 제작을 통해 우리회사 직원들의 안전의식 제고와 우리회사의 안전보건 관리시스템 및 현장관리의 우수성을 널리 알릴 수 있도록 최선을 다하겠다.

우리회사 토목·건축 기술세미나 개최

우리회사 토목기술팀 및 건축기술팀 주관으로 기술의 공유와 숙지를 통한 분야별(영업/견적/공사/안전 등) 전문성 제고, 입찰견적능력 향상 및 수주경쟁력 강화를 목적으로 기술세미나를 개최하고 있다.

2022년 3월부터 10월까지 개최된 기술세미나에서 토목 분야의 경우 '당사 토목부문 스마트기술 추진 및 적용 현황', '디지털 건설사업관리 여정(旅程)' 및 '메타버스 사례를 통해 알아보는 현실과 가상세계의 진화'를 주제로 발표가 있었으며, 건축 분야의 경우 '골조공사 품질확보방안 및 관리대책', '국내 건축현장 PC적용 확대 및 개발 현황' 및 'SINWA현장 PC사용현황 및 싱가포르 동향'을 주제로 사내외 전문가의 발표가 진행됐다.

본 기술세미나를 통해 건설 산업 전반의 최신기술정보와 국내외 입찰견적 시 필요한 설계 및 시공 기술을 전파하는 등 업무유관팀 임직원들의 업무역량과 기술경쟁력을 강화시킴으로써 각 분야의 수주경쟁력 제고에 기여하고 있다.

건설 기술인 여러분들의 관심과 참여를 부탁드립니다

국내 · 외 건설현장에서 땀 흘려 일하시는 건설 기술인 여러분들의 건강과 행복을 기원합니다.
금번 80호 특집기획에서는 '스마트 건설 기술' 및 '리모델링 기술' 이라는 2가지 주제에 대하여 외부 전문가의 고견을 실었습니다.
그 밖에도 국내 · 외 현장에서 널리 활용할 수 있는 새로운 "기술정보", 주요 현장의 주요공법, 보유기술,
설계변경사례를 소개한 "현장기술소개", 현장 설계 및 시공 사례를 직원과의 인터뷰 형식으로 소개한 "현장탐방",
당사 보유 기술을 소개 한 "신기술 · 신공법" 및 논문 발표 실적을 소개한 "기술논문" 등을 게재하였습니다.
앞으로도 건설분야 새로운 정보, 기술 및 공법 등 양질의 기술정보를 건설 기술인 여러분들과 공유하기 위해 더욱 매진하겠습니다.
여러분들의 많은 성원과 관심을 부탁 드립니다.

『건설기술/쌍용』을 함께 만드는 편집·실무위원들

편 집 위 원 장	이희국 상무(02-3433-7050, leehk1001@ssyenc.com)
부 위 원 장	이 타 부장(02-3433-7773, yita@ssyenc.com)
토 목 기 술 팀	김창수 차장(02-3433-7767, conshot@ssyenc.com)
	김준호 차장(02-3433-7418, jykim@ssyenc.com)
	현정환 과장(02-3433-7775, hyun686@ssyenc.com)
건 축 기 술 팀	박태일 차장(02-3433-7712 teri0121@ssyenc.com)
	조수연 차장(02-3433-7726, sycho@ssyenc.com)
플랜트사업팀	황학수 차장(02-3433-7811, hssy@ssyenc.com)
전 기 팀	이창열 과장(02-3433-7425, changyeol.lee@ssyenc.com)
설 비 팀	이용구 대리(02-3433-7404, yg.lee@ssyenc.com)
홍 보 팀	김혜영 차장(02-3433-7757, hykim@ssyenc.com)

건설기술 쌍용
CONSTRUCTION TECHNOLOGY REVIEW SSANGYONG

2023년 통권 제80호(비매품)
발행인 김기명 / 발행일 2023년 3월 31일 / 발행처 쌍용건설㈜ 서울특별시 송파구 올림픽로 299 / 홈페이지 www.ssyenc.com / 편집디자인 디그루(02-547-9726)
※ 기 발간 기술지(1995년 Vol.1 ~ 2022년 Vol.79) 열람 : 쌍용건설 홈페이지 접속(www.ssyenc.com) → 혁신기술 메뉴 클릭 → 건설기술/쌍용 클릭

본사 및 국내지사

① 본사
주소 : 서울특별시 송파구 올림픽로 299
전화 : (02) 3433-7114
팩스 : (02) 3433-7111

② 영남 지사
주소 : 부산광역시 연제구 법원남로 9 보은빌딩 5층
전화 : (051) 505-7002
팩스 : (051) 505-0316

해외지사

③ 두바이 지사
주소 : #505 ~ 508, Business Atrium Building, Umm Hurair Road, Oud Metha, Dubai, UAE / P.O. Box 33189
전화 : : 971-4-359-1931
팩스 : 971-4-359-1932

④ 싱가포르 지사
주소 : 20 Science Park Road #03-27/30 Teletech Park Singapore Science Park II Singapore 117674
전화 : 3F : 65-6336-1255
팩스 : 3F : 65-6339-9590

⑤ 아부다비 지사
주소 : Unit No. M2, Ahmed Helel Building C74, Mussafah Shabiya 12, Mohammed Bin Zayed City, Abu Dhabi, UAE / P.O.Box 128839
전화 : 971-4-359-1931
팩스 : 971-4-359-1932

⑥ 쿠알라룸푸르 지사
주소 : Suite 18.05, 18th Floor, Kenanga International, Jalan Sultan Ismail 50250 Kuala Lumpur, Malaysia
전화 : 60-3-2145-4529/39
팩스 : 60-3-2145-4548

⑦ 자카르타 지사
주소 : Suite 2801, 28th Floor, Menara Batavia. Jl. K.H. Mas Mansyur Kav. 126, Jakarta 10220, Indonesia
전화 : 62-21-5795-0377
팩스 : 62-21-5795-0379

⑧ 호치민 지사
주소 : Unit #503, Level 5, Metropolitan Tower, 235 Dong Khoi Street, District 1, Ho Chi Minh City, Vietnam
전화 : 84-28-3822-7125
팩스 : 84-28-3822-7124

⑨ 하노이 지사
주소 : Level 5, 41A Ly Thai To St. Hoang Mai District, Hanoi, Vietnam
전화 : 84-28-3938-8727
팩스 : 84-28-3938-8737

⑩ 카라치 지사
주소 : Sarah Enclave Flat #1103, 11th Floor North Nazimabad Block "H" Karachi

⑪ 뉴델리 지사
주소 : Unit No.803, 8th Floor. BPTP "Park Centra". NH-8. Sector-30, Gurgaon, Haryana, India. PIN-122002
전화 : 91-124-4102-518,9
팩스 : 91-124-4836-409

⑫ 적도기니 지사
주소 : Mongomo Presidential Palace, Mongomo, Equatorial Guinea
전화 : 82 70-5089-2737

⑬ 리야드 지사
주소 : Office No. 1, 2nd Fl., Al-Audhali Building, King Abdulla Road P.O. Box 1453, Al-Khobar 31952, Saudi Arabia
전화 : 966-13-864-8807
팩스 : 966-13-864-4379

⑭ 에르빌 지사
주소 : Land NO.29 / 101, Sector 7 in Aubara Dream Land, Block D, 8th Floor, Apartment No.33, Sulaymaniyah, Kurdistan Region of Iraq

해외법인

⑮ 적도기니 법인
Ssangyong E & C GE S.A.
주소 : Mongomo Presidential Palace, Mongomo, Equatorial Guinea
전화 : 82-70-5089-2737

⑯ 사우디아라비아 법인
Ssangyong Engineering & Construction Co.,Ltd
주소 : Office No. 1, 2nd Fl., Al-Audhali Building, King Abdulla Road P.O. Box 1453, Al-Khobar 31952, Saudi Arabia
전화 : 966-13-864-8807
팩스 : 966-13-864-4379

⑰ 인도네시아 법인
PT. Ssangyong Konstruksi Indonesia
주소 : Suite 2804. 28th Floor, Menara Batavia Jl. K.H. Mas Mansyur Kav. 126 Jakarta-10220, Indonesia
전화 : 62-21-5795-0377
팩스 : 62-21-5795-0379

⑱ 미국 법인
Ssangyong Engineering & Construction(America) Inc.
주소 : 2858 Stevens Creek Blvd. #207, San Jose, CA 95128
전화 : 1-408-346-0500
팩스 : 1-408-346-0504

⑲ 리비아 법인
Ssangyong Libya Engineering & Construction JSC
주소 : Gagaresh Road (behind of Saraef Mosque), Tripoli, Libya