



구 서울시청사 보존 및 확장 사용에 적용한 지상플로팅 지하확장공법 기술 소개

Introduction of FUSEM(Floating Underground Space Extension Method) for Preservation and Continuous Utilization of Old Seoul City Hall

박동순 Dong-Soon Park
삼성물산(주)건설부문
건축구조팀 부장

유영기 Young-Kee Lew
삼성물산(주)건설부문
건축구조팀 차장

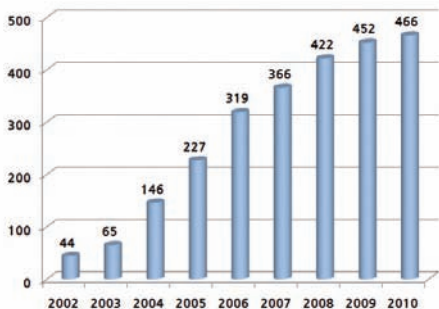
최규용 Kyuyong Choi
삼성물산(주)건설부문
상품기술팀 수석연구원

이종섭 Jongsup Lee
삼성물산(주)건설부문
상품기술팀 전임연구원

1. 머리말

콘크리트는 오래 전부터 구조물 건축에 많이 사용되어 왔으며, 이 중에는 중요한 역사성을 담고 있어 문화재로 지정되어 있는 건물도 다수 존재한다. 우리나라의 경우 구 서울시청사 본관동이 현존하는 철근콘크리트 중 가장 오래된 건물 중 하나로 한국은행 본점(1912년)과 서울역(1925년)에 이어 1926년에 준공된 한국 콘크리트 구조물의 역사를 대표하는 건물이다¹⁾. 현재까지는 이처럼 역사적인 RC구조물들이 잘 보존되기보다 해체되어 새로운 건물로 시공되어진 경우가 많다. 이렇게 보존이 잘되지 않는 이유로 건축물에 대해 역사적 문화재로서의 인식이 부족했던 면도 있으나 한편으로는 부족한 공간을 확장할 때 이러한 역사적 구조물을 보존하면서 시공하는 것은 기술적 한계성이 많이 있었기 때문이기도 하다. 그러나 최근 보수, 보강 및 구조 엔지니어링에 대한 기술이 발전하면서 문화재적 건물에 대한 보존 인식이 확장되고 있다. 이에 오래된 문화재적 건축물을 훼손없이 안전하고 실용적으로 재창출 시키는 공사 기술도 상당히 중요한 상황이 되었다(그림 1).

본 고에서는 문화재 구조물의 보존 및 확장 사용을 위해 개발된 지상플로팅 지하확장공법(Floating Underground Space Extension Method; 이하 FUSEM) 기술에 대해 소개하고자 한다. 이는 정밀 시공이 요구되었던 서울시청사 공사에 적용된 기술로서 이중관 마이크로파일과 동조화 잭업(jack-up) 시스템을 이용해 다층(多層)의 지하구조물을 축조하는 기술이다. 서울시청사 본관동의 구조형식 및 콘크리트 내구성에 대해서는 지난 학회지 기술기사에서 고찰한 바 있으며¹⁾, 이번 기사에서는 서울시청사의 실제 시공을 위해 개발되고 적용된 기술에 대해 전체적으로 소개하고자 한다.



구분	건수	구분	건수
종교시설	53	산업시설	25
업무시설	67	공공시설	65
교육시설	41	인물기념시설	22
주거숙박시설	36	상업시설	5
전쟁관련시설	25	동상	91
문화집회시설	7	기타시설	17
의료시설	12	총계	466

그림 1. 문화재 등록 건축물 현황(표 : 2010년 기준)²⁾

2. 지상플로팅 지하확장공법(FUSEM)

2.1 개발 배경

지상플로팅 지하확장공법은 기존 건물의 증개축을 위해 기존 건물을 보존한 상태에서 하층을 기존 기초에서 별도의 구조체로 완전히 전이시켜 부상시킨 후 기존 건물 하부에 지하 구조물을 축조하는 공법으로 큰 의미에서 언더피닝 공법이다. 일반적인 언더피닝 공법은 방법에 따라 기존 구조물의 기초바닥 밑에 우물모양의 구멍을 파고 현장 콘크리트 말뚝을 시공하거나 현장 콘크리트 말뚝 대신 강재말뚝을 지지층까지 박고 잭을 이용하여 기존 건물의 기초 또는 기둥을 지지말뚝 위에 지지하는 방법 등이 있으며, 주로 도로 또는 교각 하부에서 지하철 공사나 지하 암거 등의 지하구조물을 구축하는 경우에 적용되어 왔다³⁾. 지상구조물을 사용하거나 존치한 상태에서 지하층을 확장하는 공법은 <그림 2>와 같다. 특히 도심지에 존재하는 역사적 건축물의 경우, 문화재 보존과 필요 공간 확보의 요구가 대립되는 경우가 많다. 이를 해결하기 위한 방법의 하나로 구조물 아래 대규모 지하공간을 창출하는 공법에 관한 공리를 하게 되었다. 그러나 문화재 구조물은 훼손이 엄격하게 제한되기 때문에 상당한 정밀시공이 요구된다. 지상의 문화재 구조물을 가설로 받친 상태에서 지하층을 확장하기 위해서는 가반이 시스템에 대한 특별한 주의가 필요하고, 본 구조물의 작업공간도 상당히 제한적이다. 따라서 더욱 정밀하고 안전한 시공을 위하여 기존의 언더피닝 공법의 개념을 기반으로 많은 요소기술들을 적절히 개선하고 조합한 복합적인 공법 기술 개발이 필요하게 되었다.

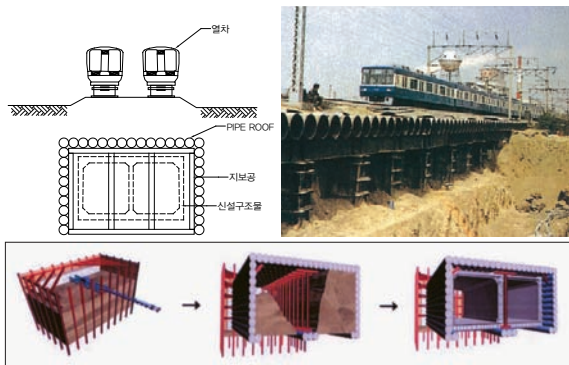


그림 2. 일반적인 언더피닝 공법의 시공 예⁴⁾

2.2 공법의 특징

문화재 구조물의 보존 및 지하 확장 시공에 있어 원 구조물의 훼손을 막고 협소한 공간을 효율적으로 활용하는 것이 매우 중요하다. 따라서 본 공법은 원 구조물의 각 기둥에 대해 하중 및 처짐(침하)을 제어할 수 있으며, 하중의 전달 경로를 명쾌하게 예측할 수 있는 '개별 하중전이 시스템'과 '정밀계측관리 시스템' 기술을 조합하였다.

2.2.1 개별 하중전이 시스템

<그림 3>과 같이 기존 건물 내부에서의 협소한 공간(층고 및 구조 부재간 간격)에서 가능한 마이크로 파일로 보강말뚝을 시공하고, 각 기둥별 잭업 프레임을 적용하여 원 구조물 기둥으로부터 완전하게 하중이 전이될 수 있도록 하는 시스템을 개발하였다. 구조물 다수의 기둥이 존재하고 각기 상이한 하중을 부담하고 있을 경우, 이러한 개별적인 잭업 프레임을 설치함으로써 하중의 전달경로를 최소화하여 구조안전성을 확보할 수 있다.

각 개별 잭업 시스템에서는 유압을 통해 각 기둥에서 원 기초가 아닌 마이크로 파일로 하중을 전이시키는데, 이 과정을 프리로딩이라고 한다. <그림 4>와 같이 기둥별 부등변위로 인한 기존 건물의 손상을 방지하기 위하여 기둥별 변위를 동일하게 제어하는 동조화 프리로딩

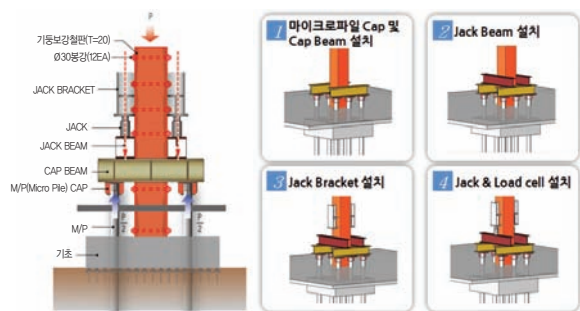
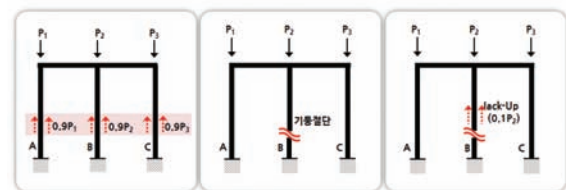


그림 3. 개별 잭업 프레임의 개요



(a) 프리로딩(Pre-loading) (b) 기둥 절단 (c) 잉여하중 전이

그림 4. 동조화 프리로딩의 개념 및 단계

개념을 적용해 순차적인 하중 전이를 실시하고 원 구조물의 충격력을 완화할 수 있다. 특히, 설계도면이 충분히 보존되어 있지 않은 고 건축물과 같은 경우 상부 하중에 대한 정확한 판단이 쉽지 않다. 이렇게 예측이 쉽지 않은 원 구조물의 하중을 효율적으로 순차적 배분하여 충격력을 완화시키고 부동 처짐에 대해 효과적으로 제어하여 매우 정밀하고 훼손이 없는 시공이 가능하다.

2.2.2 하중전이 및 지하굴착 시의 계측관리 기술

상부구조를 프리로딩을 통해 뜯구조화 시키는 시점 및 이후 지하공간 확장을 위해 굴착하는 과정에서 하중과 변위에 대한 상세 모니터링은 매우 중요한 요소이다. 이는 원 구조물의 하중이 제대로 전이되었는지, 굴착 중에 예상치 못한 급격한 하중 재분배가 생기거나 지반 침하가 발생하는 등의 문제를 확인하여 본 구조물의 안전성을 확보하는 것이다. 중요한 계측 요소로는 작업 프레임에 있는 하중계와 구조물 중요 위치의 변위를 확인하는 변위계이다. 이 외에 마이크로 파일에 전달되는 응력을 측정하는 변형률계나 구조물 전체의 기울기를 측정하는 경사계도 활용하여 구조물 전체의 거동을 상호 보완적으로 확인하게 된다. 이 때, 대규모 구조물에서 주요 지점별로 변위를 정확히 계측하기 위하여 고정점 대비 상대 변위를 측정하는 연통관식 침하계를 적용하는데, 고정점의 선정 및 이에 따른 배관 관리가 매우 중요한 요소이다. 이러한 계측기 전체가 예상되는 공정에 따라 효율적으로 배치되어 데이터를 산출해야 하며, 사전 해석에 따라 관리 한계치를 설정하여 이 한계치에 넘을 경우 즉각적인 조치를 취할 수 있도록 실시간 모니터링 시스템 구축이 필요하다(그림 5).

3. 기술 적용 사례

지상플로팅 지하확장공법은 문화재로 지정된 서울 시청사 본관동 공사에 적용되었다. 본관동 중앙홀 부분을 보존한 상태로 지하 4층 규모의 지하구조물을 신규로 형성하기 위하여 약 5,800톤에 해당하는 철근 콘크리트(일부SRC) + 조적조 구조물의 프리로딩과 하부의 굴착, 그리고 지하층 골조시공 과정이 이루어졌다(그림 6).

본 공법의 적용은 <그림 7>과 같이 이루어졌다. 우선 지상 1층에 마이크로 파일을 시공한 후, 기존 노후 기둥구조물을 강판으로 보강하여 마이크로 파일과 기둥을 철골 가설 프레임으로 연결하였다(그림 7-(a)~(d)). 가설 프레임과 마이크로파일 사이에는 오일잭과 로드셀을 설치하여 하중 전이(프리로딩)와 모니터링을 수행하였다. 하중 전이가 완료된 후, 지하층 굴착공사를 착수하였고, 굴착과 동시에 세장한 마이크로 파일의 좌굴을 방지하기 위한 브레이스 보강공사를 수행하였다(그림 7-(e)). 최하층까지 굴착한 후, 최하층으로부터 지하 1층까지 상향 방식으로 순타 골조공사를 하였고(그림 7-(f)), 지하 1층 기둥과 지상 1층 기둥의 구조연결공사를 수행한 후, 브레이스 및 가

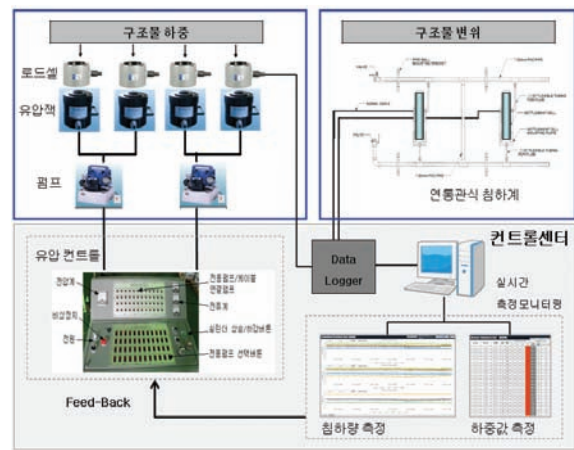


그림 5. FUSEM 공법 적용 계측관리 개념

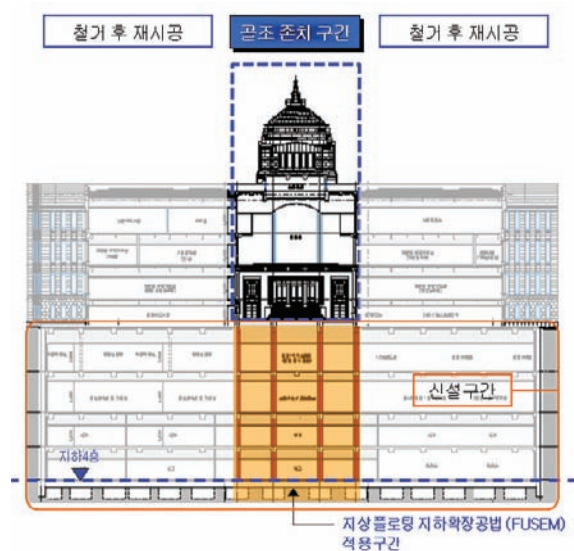


그림 6. 서울시청사 본관동 보존 및 지하확장 개요

설 프레임 해체공사를 수행하였다(그림 7-(g)). 전체 시공 중 특별한 주의와 관리가 필요한 단계는 <그림 7-(d)>와 <그림 7-(e)> 사이에 실시되는 프리로딩이라고 할 수 있다. 이 때, 구조물의 하중이 완전히 마이크로 파일 기초로 전이되어야 하며, 구조물의 변위 또한 적절히 제어되어야 한다. 이후 <그림 7-(e)>의 터파기 과정에서 발생하는 하중 재분배 및 침하량도 완벽히 제어 되어야만 기존 구조물 안전성을 보장할 수 있다. 전체 공정 약 2년여 기간 동안 지속적인 안정성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하였다. 구조물의 하

중 및 처짐 관리를 위하여 사전 해석을 통해 공사 중 관리 기준을 설정하였는데, 하중은 1차 관리기준(주의)을 예상하중대비 $\pm 20\%$, 2차 관리기준(위험)을 $\pm 30\%$ 로 설정하였고, 처짐은 1차 관리기준을 프리로딩 가압 시 변위 대비 3mm 침하, 2차 관리기준을 5mm 침하로 설정하였다.

<그림 8>은 서울시청사 본관동의 여러 프리로딩 기동 중 측정된 데이터를 나타내며 전체적으로 관리 한계 이내로 하중 및 처짐을 효과적으로 제어할 수 있었다.

4. 맺음말

본 고에서는 문화재로 지정된 구 서울시청사를 보존하고 확장 사용하기 위해 적용된 지상플로팅 지하확장 공법을 전체적으로 소개하였다. 기술의 개별 요소로는 기존에 적용되었던 보강 공법과 유사한 점이 있으나 원 구조물을 훼손시키지 않는 정밀한 시공을 요하는 특수한 목적에 맞게 엔지니어링적 고안을 통하여 여러 기술이 종합적으로 적용된 공법 기술이라 할 수 있겠다. 여러 세부 기술들에 있어서도 개선이 수행되었으

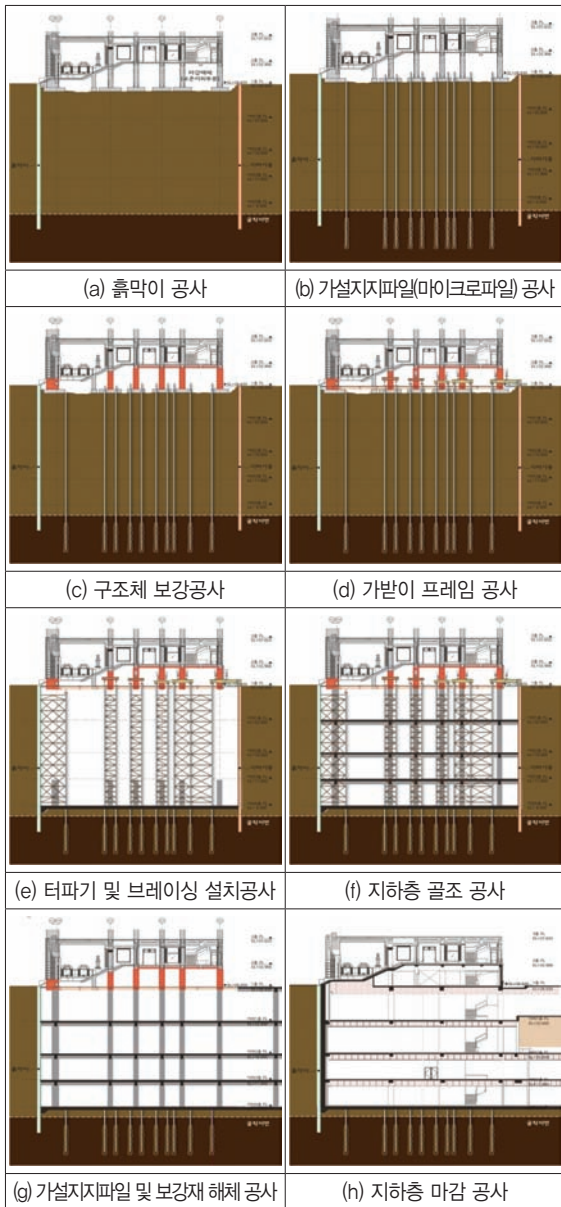
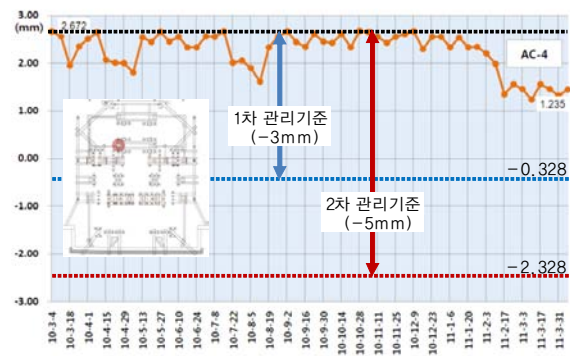
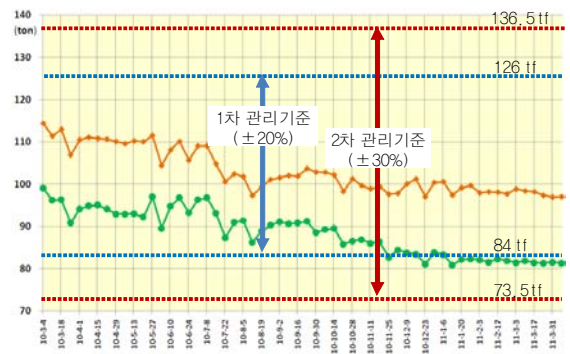


그림 7. 서울시청사 본관동 FUSEM 적용 시공 순서




(a) 처짐



(b) 하중

그림 8. 서울시청사 본관동 보존 및 지하확장 개요

나 이에 대한 자세한 내용은 다음 기회에 다루어 보고자 한다. 성장과 개발의 논리에 의해 그동안 조금은 묻혀있었던 문화재 건축물의 보존 및 발전적 활용에 있어 기술 발전과 더불어 그 중요성이 다시금 조명되고 있다. 본 기술이 앞으로 더욱 활발해질 문화재 건축물 재시공에 있어 하나의 좋은 사례가 되며, 다른 많은 구조물에 활발히 적용될 수 있기를 기대한다. 

담당 편집위원 : 최경규(숭실대학교) kkchoi@ssu.ac.kr

참고문헌

1. 강승호, 조영열, 박동순, 오흥영, 서울시청사 본관동 구조 형식 및 콘크리트 내구성 고찰, 한국콘크리트학회지, Vol. 22, No. 5, 2010, pp. 64 ~ 67.
2. 2011년도 등록문화재 길라잡이, 문화재청 근대문화재과, 2011.
3. 언더피닝공법 설계·시공 매뉴얼, 일본 기보당 출판, 2007.
4. 비개착공법 소개자료, www.sambu04.com, 삼부굴착(주).



박동순 부장은 구조설계사 및 건설사 구조설계부서, 현장 등에서 다년간 구조설계업무를 수행하였다. 2008 ~ 2011년간 서울시청사 현장에서 구조계획 및 언더피닝공법을 수행하였으며, 현재 삼성건설 건축구조팀에서 구조설계업무를 담당하고 있다.
dsp815@samsung.com



유영기 차장은 건설사 구조설계부서에서 다년간 복합구조공법 설계업무를 수행하였다. 서울시청사 언더피닝공법에 참여하였으며, 현재 삼성건설 건축구조팀에서 하이테크프로젝트 구조설계를 담당하고 있다.
lewyk@samsung.com



최규용 수석연구원은 일본 동경대에서 RC 인장부재의 균열 후 거동에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 2003년부터 삼성건설 기술연구센터에서 구조설계 관련 연구를 수행중이다. 주 관심 연구 분야는 PSC교량 설계, 균열거동 해석 등이며, 최근 해상 풍력을 포함한 해양구조 연구를 수행중이다.
kyuyong.choi@samsung.com



이종섭 전임연구원은 서울대에서 PSC교량 신뢰도 기반 최적설계 연구로 석사학위를 취득하였다. 2008년부터 삼성건설 기술연구센터에서 근무하며 국내외 현장의 구조 해석 및 계측 관련 업무를 수행하고 있으며, 장대교량 관련 연구 및 초고강도 콘크리트 관련 연구를 수행하고 있다.
jongsup1.lee@samsung.com