

공기단축형 복합시공기술 개발



임흥철 연세대학교 건축공학과 교수

1. 서론

건설 산업이 대형화, 전문화, 복합화 양상을 보이면서, 가능한 한 빠른 시간 내에 공사를 완성하기 위한 필요성이 증대되고 있다. 특히, 최신 시공기술을 통합하여 공사의 효율성을 높이게 되면, 건설 산업의 경쟁력이 강화되고, 경제적 이득을 향상시킬 수 있다. “공기단축형 복합시공기술 개발” 연구과제는, 지상 및 지하 건축구조물의 복합구조 시공에 관련한 요소기술을 개발하여, 전체적인 공사기간을 단축시키는 것을 그 목표로 하였다.

공기단축형 복합시공기술의 개발은 크게 지상과 지하로 나누어지고, 각각의 연구내용은 다음과 같다.

- 1) 지하구조물 복합시공기술 개발: 지하수직 구조개발, 지하공법 선정방법 개발, 지하수평 구조개발
- 2) 지상구조물 복합시공기술 개발: 거푸집 공법 개발, 철근 조립공법 개발

지하구조물 복합시공 기술개발은 도심지 공사에 유리한 Top Down 공법과 지하 수평구조 시스템 개발로 이루어져 있다. 도심지나 연약지반지역에서 굴토공사를 포함한 지하구조물 시공 시에, 공기단축을 포함하여 안전성, 시공성, 경제성이 우수한 Top-Down 공법기술을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해, Top-Down 공사에 필요한 지하의 벽구조, 바닥구조 및 선기초기둥(Pre-founded Column)의 3가지 기본요소 중, 연직하중을 지지하는 선기초기둥과 바닥구조 및 피어와의 접합방식, 지하외벽과 바닥구조와의 접합방식에 대한 핵심기술 연구가 이루어졌다. 수평구조 시스템 개발은 공사기간이 길고 공사비 투입이 과다한 가설용 지하

흙막이 구조의 성능을 개선시키고, 공사 완료 후에는 영구구조물로 활용이 가능한 신공법을 개발하였다. 또한, 지하 흙막이 가시설 공사 시, 현장에 적합한 공법을 선택하는 소프트웨어 시스템을 개발하였다.

지상구조물 복합시공기술 개발은 RC 지상구조물의 골조공사에, 층당 3일 공정 실현을 위한 요소기술개발 및 복합시공기술개발을 그 목표로 하였다. 연구개발을 통해 현행 선진국대비 71% 수준의 국내 RC 구조물 골조공사 시공기술 경쟁력을 선진국과 대등한 수준으로 끌어 올리고, 대외적으로 수입의존도가 높은 대형 시스템거푸집 등의 요소기술을 국내 시공환경에 맞도록 개량 및 국산화함으로써 대외기술의 존 탈피를 시도하였다. 또한, 최근의 주거형 건축물의 평면 또는 구조형식 등 설계요소의 변화에 따른 기술적용상의 한계를 극복하기위해 요소기술 개발 시, 설계조건에 따른 적용상의 가변성을 최대한 반영함으로써, 개발기술의 실용성 및 현장 적용성의 극대화를 시도하였다. 현장에서 선조립된 철근을 양중하는 장치도 개발하였다.

2. 지하구조물 복합시공기술 개발

2.1 Top-Down 공사용 선기초기둥 연결부

선기초기둥은 Top-Down 공사 시, 굴토 전에 시공하는 기둥으로서, Top-Down 공사의 필수요소이다. 공사 중에는 시공하중을 지지하고, 공사 완료 후에는 지하층의 기둥부재로서 영구 구조체가 된다. 선기초기둥의 부재로 기존에는 H형강 기둥이 일반적으로 사용되고 있는데, 근래에는 시공적, 구조적, 경제적으로 H형강기둥 보다 유리한 원형 CFT

(Concrete Filled Tube) 기둥의 사용이 주목받고 있다.

본 연구를 통하여 개발한, 선기초기둥과 피어기초 철근망 연결공법은 기존 H형강에 철근망을 거치하는 방법을 개량하여 (그림 1-a), 원형 CFT와 철근망을 커플러로 연결하게 된다 (그림 1-b). 선기초기둥과 피어기초의 연결은 구조 및 시공 측면에서 문제를 발생시킬 수 있는 부분으로 구조적 신뢰성이 높고 효율적이며, 경제적인 연결공법의 개발이 필요하다. 따라서, 일반적으로 사용되는 스테드가 부착된 H형강에 피어철근망을 거치하는 형태에서, 원형 CFT와 커플러로 연결한 피어기초 철근망을 개발하였다. 이는 기존 형태에 비해 하중을 직접적으로 전달하고, 철근망의 연결로 인해 발생하였던 기존공법의 시공오류에 대해서도 안정성을 확보하였다.



(a) 거치식 연결을 이용한 기존 H형강 선기초기둥 (b) 커플러를 적용한 원형 CFT 선기초기둥

그림 1. Top-Down 공사용 선기초기둥

2.2 Top-Down 공사용 테두리보 일체형 슬래브

Top-Down 공사는 크게 흙막이벽 설치, 선기둥 매립, 굴토와 슬래브 타설로 진행된다. 수직재에 해당하는 흙막이벽과 선기둥 설치가 끝나면, 노출된 흙막이벽에 대한 토압을 지탱하고 각 층의 바닥형성을 위한 수평재의 설치가 필요하다. 수평재 설치시 철골 역타의 경우, 철골보와 흙막이벽의 하중전달 연결을 위해 RC 테두리보가 사용된다. RC 테두리보 공법은 추후 지하외벽 타설시 필요한 수직방향 철근을 미리 매립해야 하고, 거푸집 설치와 해체 작업이 복잡하여 공기 지연의 원인이 될 수 있다.

본 연구에서는, RC 테두리보를 지하층 슬래브의 일부로 포함시켜, 테두리보의 위치에 해당하는 슬래브 외곽에 개구부를 만들어 수직방향 철근 배근을 용이하게 한 새로운 방식

을 제안하였다 (그림 2). 이 방식을 적용한 결과 기존공법에 비해 공사비의 약 23% 절감, 공기를 약 14% 단축하는 효과와 함께 시공성과 품질의 향상효과를 얻을 수 있었다.

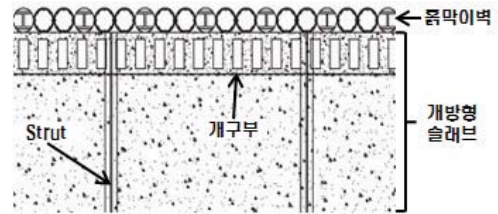


그림 2. 개방형 슬래브 공법의 평면

2.3 Top-Down 공사용 무지주 거푸집

Top-Down 공사에서는 슬래브가 횡지대 역할을 함과 동시에 영구 구조체가 된다. 이러한 슬래브를 형성하는 데 있어서 필수적인 거푸집 공법은 RC조 공사의 공기 및 공사비용에 큰 영향을 미치므로, 그 중요성이 크며, 현장의 규모와 토질조건, 주변 여건등의 다양한 조건에 따라 적용가능한 지하 슬래브 시공공법의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 Top-Down 공법에 적용되는 거푸집 공법의 일종으로, 지지대와 현수재를 이용하여, 시공성 향상을 목표로 한 Easy Down 공법을 제시하였다 (그림 3). Mock-up Test와 현장적용 사례의 분석을 통해, 사용되는 현수재의 수를 줄여 시공 상의 편의를 도모하였다. 거푸집 상부의 고정단과 하부의 이동단을 분리 구성하여, 하부의 이동단만을 하강시킴으로써 브라켓의 해체와 조립 등의 반복 작업을 없애 공기단축을 시도하였다.



그림 3. 무지주 거푸집 Mock-up Test

2.4 지하공법 선정시스템 Dr. Underground

지하 구조 공사에 관련된 다양한 시공 사례들의 체계적인 관리 및 분석을 통하여 현장여건에 적합한 지하 구조 공법의 선정을 지원할 수 있는 지하공법 프로세스 및 웹 기반 지하공법 선정 시스템 (Dr. Underground)을 개발하였다 (그림 4).



그림 4. Dr. Underground

Dr. Underground는 사용자로부터 입력받은 현장 여건 정보에 따라, 적정 지하 터파기 관련 공법을 제시해주는 웹 기반 의사결정 지원 시스템으로, 기존 터파기 사례에 대한 정보가 적은 경우에도, 신뢰할 수 있는 분석결과를 얻기 위하여 로지스틱 회귀분석 (logistic regression)을 적용하여 개발되었다. Dr. Underground는 적정 지하 터파기 공법을 제시할 뿐만 아니라, 데이터베이스에 저장된 시공 상세와 시공법에 대한 정보도 제공하며, 적정 공법을 제공받은 사용자의 의견을 데이터베이스에 저장하여 지속적인 시공 자료의 수집과 공법선정 프로세스 (그림 5)에 대한 사용자의 의견을 수렴할 수 있는 특징이 있다.

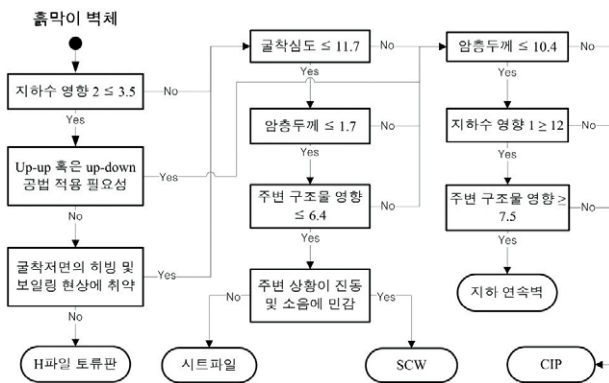


그림 5. 적정 공법선정 프로세스

Dr. Underground는 현장여건에 대해 보다 객관적으로 시공성이 높은 시공방법들을 제시할 수 있으며, 제시된 시공 방법에 대한 시공 및 유지관리의 상세정보를 제공할 수 있도록 하였다. 이를 통해 실제 시공경험이 없는 초보자도 일련의 시공과정에 대해 이해할 수 있으며 관리 감독을 하기 위한 보조 역할을 할 수 있도록 한다.

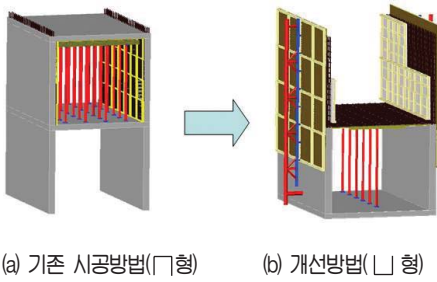
또한, 지하 구조 공사 시공 사례, 새로운 공법, 새로운 장비 및 전문가의 시공 경험 등을 지속적으로 수집하고 관리할 수 있으며, 최종적으로는 그 자료들이 프로젝트 참여 주체들 간에 공유되어 효과적으로 활용될 수 있다. 이 과정에서 제시된 정보는 토공사 전문업체와 종합 건설업체에게 객관적인 가이드라인을 제공할 수 있으며, 이를 바탕으로 미리 최적의 공법을 선정하고 향후 발생할 수 있는 의견대립과 설계 변경을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 지상구조물 공기단축형 복합화 시공기술 개발

3.1 시스템 거푸집 공법

벽식구조 건축물 골조공사는 내력벽과 상부 슬래브에 콘크리트를 동시에 타설하는 방법으로 시공된다. 이러한 시공 방법은 외벽거푸집에 있어 갭 폼 등의 시스템화 된 거푸집 사용이 가능하나, 내벽거푸집은 시스템화 된 거푸집 사용에 상당한 제약이 따라, 인력으로 운반이 가능한 유료 폼을 사용하고 있다. 그 이유는 벽체와 천정 슬래브에 콘크리트를 동시에 타설함으로써 천정 슬래브로 인하여 기계화된 내부 거푸집 수직 인양이 불가능하기 때문이다.

따라서, 콘크리트 타설 순서를 벽체와 바닥 슬래브에 동시에 타설하면, 내벽거푸집의 시스템화가 가능할 수 있다. 수직 상승형 대형벽체 거푸집은 크게 외벽거푸집과 내부거푸집으로 구성이 되고, 외부 거푸집의 경우 기존의 A.C.S 거푸집을 응용하여, 자체 인양시스템을 설치하여 자주식 인양이 가능하도록 하였다. 내벽거푸집의 경우, 최초 공사 시 현장에서 조립을 하여 상승 시 세부단위 unit으로 해체를 하지 않고, 벽 경간단위로 해체한다. 내벽 거푸집 수직인양 시스템을 이용하여 수직 인양시킴으로써 대형화 된 시스템화 거푸집 사용이 가능하도록 하였다 (그림 6).



(a) 기존 시공방법(門형) (b) 개선방법(L형)
그림 6. 골조공사 시공방법 개선방향

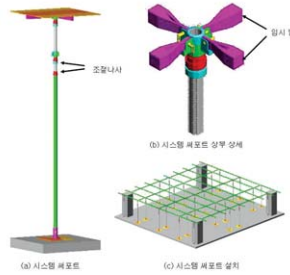


그림 7. 시스템 써포트



그림 8. 개발한 지그의 형태 및 주요부위의 명칭

3.2 개선형 시스템 서포트

기존의 바닥거푸집 경우, 콘크리트 타설 시 붕괴와 거푸집 존치를 위한 동바리는 철제형 동바리를 사용하고 있으며, 철제형 동바리를 사용하기 위해서는 하중의 분산을 위한 동바리 위에 멩에와 장선 설치의 부가적인 작업이 이루어지고 있다. 또한, 동바리의 수직하중지지 능력과 좌굴현상에 의한 층의 슬래브를 지지하는데 다수의 동바리가 소요되고 있다. 따라서 본 공법에서는 강성을 높이고, 장선, 멩에를 동바리에 간단하게 조립 지지될 수 있도록 개선형 시스템 써포트 개발과 동시에 기존의 장선, 멩에의 역할을 대신할 수 있는 합성 가변 빔을 개발하여 설치 및 해체를 손쉽게 할 수 있도록 하였다 (그림 7).

3.3 벽체 및 기둥 선조립 철근 양중용 지그

본 기술은 인력 중심의 건설공사 작업 중 철근 콘크리트 벽체 및 기둥 작업을 보다 빠르게 하기 위한 것으로, 건축시공분야에 속하는 기술이다. 건축물의 주요 구조 부재인 철근 콘크리트 부재를 시공할 때, 공사기간을 줄이고자 사용되는 선조립 철근의 크기에 따라 인양기구를 제작하여 1회용으로 사용하고 있고, 선조립 철근의 크기에 맞지 않은 보조 기구 사용할 경우, 뒤틀림이나 휨이 발생하여 부재를 조립할 때 부적합한 형태를 보이는 경우가 있다. 또한, 선조립 철근의 위치에 설치 후, 크레인으로부터 분리할 때 고소작업으로 인한 작업자의 안전사고가 발생해, 안전한 공사환경 구축에 장애요인으로 작용된다. 이 같이 종래에 가지고 있는 문제점을 해결하는 중요한 기술이다 (그림 8).

4. 지하 수평구조 개발

최근 건축물이 대형화 됨에 따라 지하층 면적은 커지고, 지하 굴착 깊이는 깊어지고 있는 추세이다. 이에 따라서 피장과 버팀대를 사용하는 터파기 공법에서 버팀대의 단면성능을 향상시키는 시스템들이 개발되고 있다. 현재, 국내에서 널리 사용되는 수평버팀대 공법은 가설재의 설치 및 해체로 인해 공기와 공사비 면에서 불리하다. 반면, 지하 수평구조의 설치 시 그림 9과 같이 두 병렬 H형강을 강축의 수직 방향에 대해서 띠판으로 연결한 조립보를 버팀대로 사용하면 구조적으로 약축 방향의 세장비를 줄여 구조적인 효율을 높일 수 있으며, 이를 구조물의 지하 골조로 영구적으로 사용하도록 하여 시공성을 개선시킬 수 있다.

이를 DBS (Double Beam Strut) 공법이라 하고, 두 병렬 H형강이 서로 만나는 교차 부분은 정(#)형을 이루고 그 사각형 가운데 위치하게 된다 (그림 10). 시공 중 하중전달과정을 살펴보면, 지하층에서의 수직하중은 두 병렬 H형강 조립보를 통하여 정(#)자형 접합부의 내부공간에 위치한 기둥으로 전달된다. 조립보와 기둥 사이에는 콘크리트가 타설되는데, 플랫폼 슬래브에서의 일반적인 두 방향 전단거동과는 달리 이러한 정(#)자형 접합부의 내부공간은 4개의 H형강에 의하여 구속된다.

H형강이 접합부를 충분히 구속할 수 있는 경우 하중 전달이 효과적이고, 풀림 파괴하중보다 더 큰 내력을 받을 수 있다. 또한 이 공법으로 시공 시, 지하층 터파기 공사가 완료되고 기초가 완성되기까지 시공하중을 지지해주는 센터파일의 최적 간격과 지지력을 산정하여 실용화를 위한 설계기술자에게 도움이 되도록 하였다.

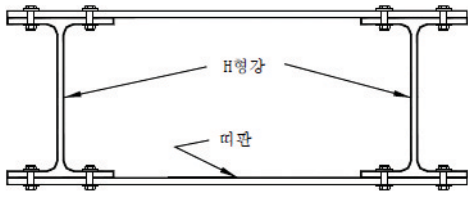


그림 9. DBS시스템의 조립보 상세

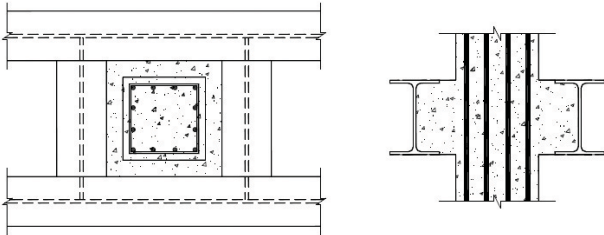


그림 10. DBS 시스템의 정(≠)자형 접합부

5. 감사의 글

공기단축 복합건설기술 개발 연구는 2-1 세세부 연세대학교 건축공학과 임홍철, 이 강 교수, 2-2 세세부 서울대학교 건축공학과 이현수 교수, 고려대학교 건축사회환경공학부 강정인교수, 그리고, 위탁과제 한국콘크리트학회의 참여로 진행되었다. 또한, 15개 참여기업의 적극적인 연구활동에 감사드리며, 이 특집기사는 지난 5년 2개월간의 연구성과와 보고서에 근거하였음을 알려드립니다.

6. 결론

공기단축형 복합시공기술 개발에 대한 연구 내용의 개요를 소개하였다. 본 연구는 학문적인 고찰은 물론, 건설현장에서의 경제성 및 효율성을 높여 국내외 건설 산업의 기술경쟁력 확보를 목표로 하여 진행하였다. 본 연구과제에서 수행한 많은 공기단축 복합시공기술이 다양한 현장에서 널리 활용되고, 더욱 발전되어, 향후 국내 건설산업의 경쟁력 향상에 기여할 것을 기대한다.

· 임홍철 e-mail : hcrhim@yonsei.ac.kr