

가설 Engineering의 이해



손영진
(주)콘스텍 대표이사



장광식
(주)콘스텍 부설
시스템폼연구소 소장

1. 서언

기업의 경쟁력 확보를 위한 원가절감 압박은 대형화, 고층화 되어 가는 국내 건설현장에 있어서 숙련공 부족에 의한 인력투입의 한계 및 양중장비의 상용화와 더불어 건설현장의 새로운 Paradigm을 요구한다. 따라서 건설공사를 수행함에 있어 기계화, 공업화, 대형화의 노력은 피할 수 없는 현실로 받아들여지고 있다.

이와 같은 경험은 1970년대 이후 북미의 경우가 좋은 모델일 수 있는데, 기계화 시공을 통해 현장작업의 최소화를 유도할 뿐만 아니라 계획된 공사기간의 안정적 운영이라는 성과를 내고 있기 때문이다. 이제 대형화된 건설현장은 대량의 인력투입만으로 운영될 수는 없으며, 치밀한 시공계획에 의한 현장운영만이 대안일 것이다. 특히 국내 건설현장의 대부분이 주거용이며 주로 철근콘크리트조로 건설되는 점과 개개의 시공사별로 내세우는 브랜드명 이외에는 차별화될 수 있는 요인이 거의 없는 점을 감안하면, 시공단계에서 존재하게 되는 System Formwork과 그에 따른 가설 Engineering의 중요성이 부각되는 시점이라 하겠다.

2. 새로운 공정관리의 필요성

건설현장에서 공정관리의 대부분은 골조공정이 좌우한다고 해도 과

언이 아닐 것이다. 더욱이 인력수급의 문제와 작업공간의 협소함 등으로 인해 인력 투입계획을 확대하는 것에는 더욱 한계에 부딪히고 있다. 따라서 골조공사의 실질적인 기계화, 생력화(省力化), 즉 현장작업량을 줄이기 위한 다양한 Prefab 기법이 소개되고 있는데, 그 중에서도 골조공사의 핵심 공정인 형틀공사(Formwork)와 관련한 대형 Prefab화는 기계화, 생력화 시공기술의 핵심요소로서 System Formwork이라고 불리고 있다.

대형 형틀을 적용하는 System Formwork의 운영은 인력과 Handset Form으로 운영되던 종래의 관리패턴과는 차별화되며, 성공적인 과업의 수행을 위해서는 치밀한 공정계획과 운영계획이 수립되어야 한다. 이를 통해서 돌관작업이 배제된 진정한 의미의 3~4 Day-Cycle 공정관리를 적극적으로 구현해 나갈 수 있을 것이다.

기계화 및 대형화 시공을 전제로 한 안정적인면도 체계적인 공정관리는 골조공사의 공사기간을 대폭적으로 줄여줄 수 있어서 공기 단축에 따른 커다란 이익을 예상할 수 있게 한다. 예를 들어 30개월로 산정된 30층 규모의 아파트 공사를 15개월 이내로 단축시킬 수 있는 방법이 제안될 수 있다면 15개월에 해당되는 금융비용이나 간접비의 절감 효과를 얻을 수 있다는 단순한 셈의 논리뿐만 아니라, 건설사로서는 같은 기간 안에 2개의 공사를 시행할 수 있는 기회이윤도 얻을 수 있는 여건이 마련되는 셈이다.

3. System Formwork의 범주

건축구조물에 적용되는 System Formwork은 타워크레인 등의 양중장비를 전제로 대형화되는 추세인데, 일반적으로 양중부하와 단위 골조부재의 크기를 고려해서 제작하게 된다.

Flying Table Form으로 대표되는 슬래브용 System은 바닥판의 구조형식과는 무관하게 기둥의 배치와 간격에 맞추어 UNIT별로 1~2개 조의 대형 판구조물로 구성되며, 기둥용 System은 단위 층고에 맞추어 길이가 결정된다.

지하외벽용 Jumping Form이나 합벽용 Soldier System 역시 양중부하와 Zoning 계획에 따라 그 크기와 수량이 결정되며, 수직벽체용 Climbing System이나 엘리베이터 내벽용 Shaft Form 등은 현장여건에 따라 적용여부가 결정된다.

최근 상용화되어 있는 R.C Top-Down공사에 적용되고 있는 NSTD 공법, BRD 공법 등도 또한 넓은 범주에서 System Formwork에 포함된다 하겠다.

[그림 1]과 같은 System Formwork의 대형화는 형틀의 운영은 물론, 철근 및 콘크리트의 타설계획 등과 연계되어 조율된 치밀한 사전계획을 필요로 한다.

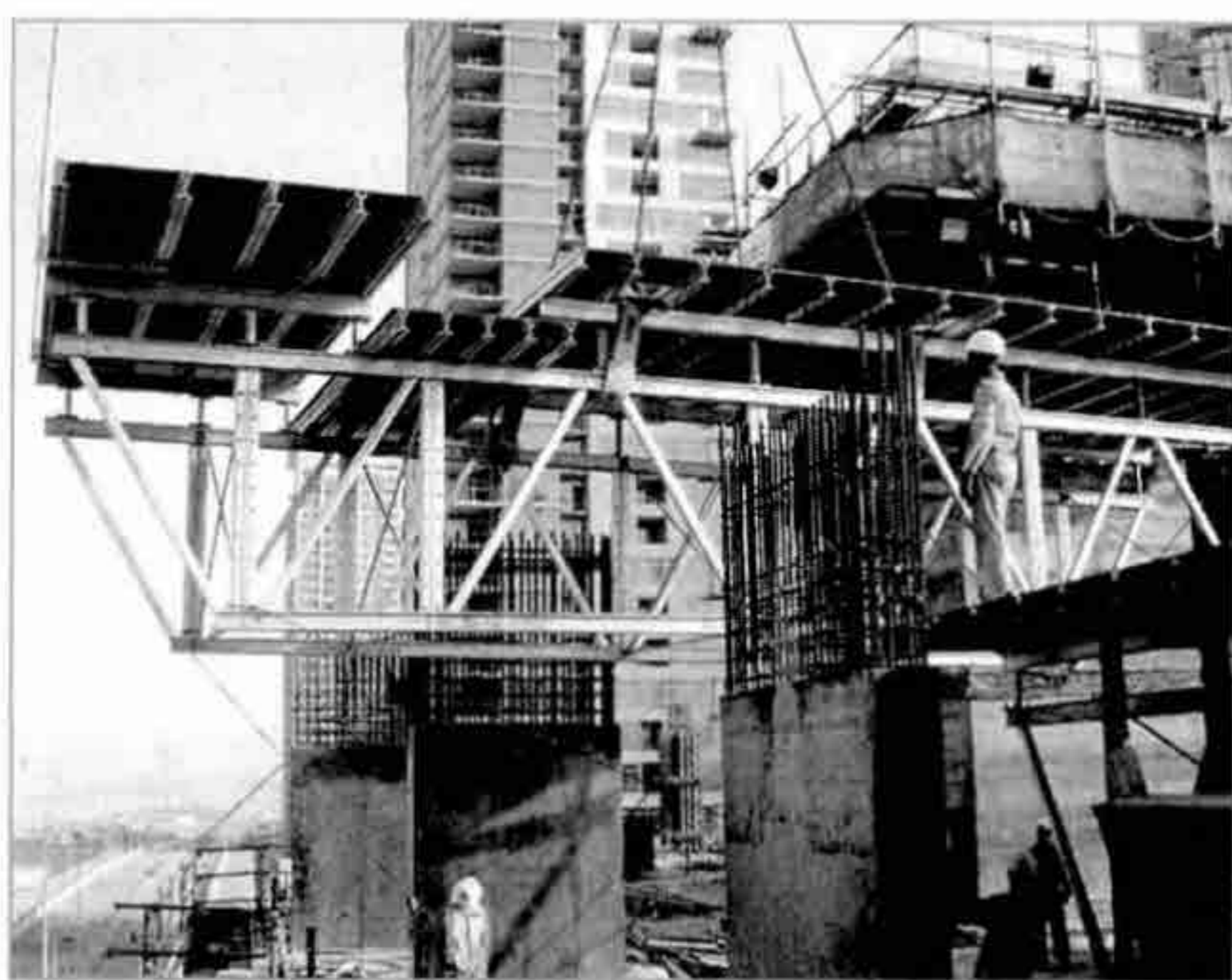
System Formwork에 적용되는 소재는 많은 적용회수나 양중부하와 연관되어 있으므로 경량하면서도 높은 내구성을 필요로 하며, 작업자의 안전과도 직접적인 연관이 있기 때문에 시공 시 안전에 관한 차원 높은 엔지니어링이 제공되어야한다.

4. 가설 Engineering 적용사례

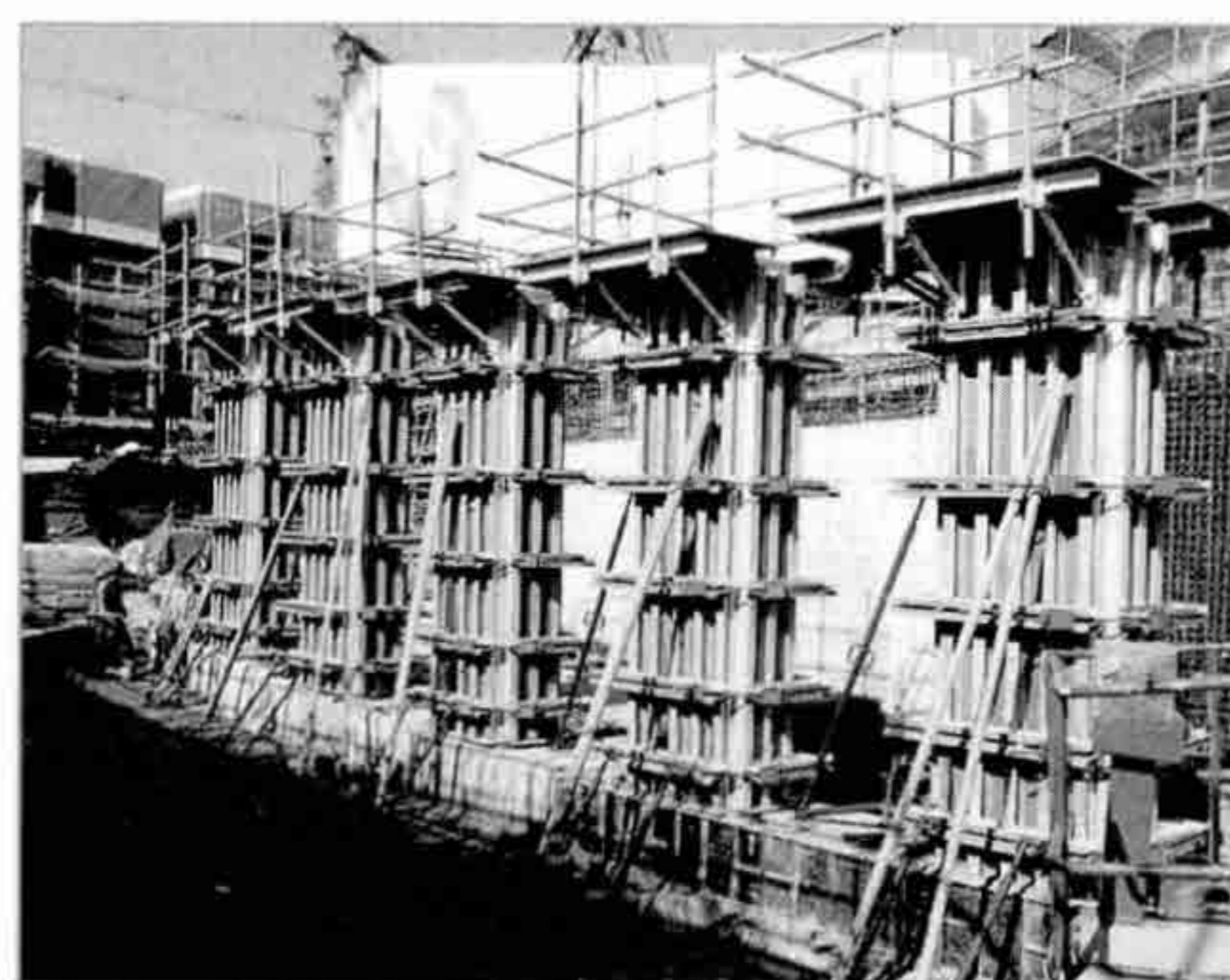
가정된 건축물에 대한 공정계획을 예시함으로써 가설 Engineering을 이해해본다.

1) 건축물 개요

- 개요-50개 층 2개동, Flat Plate 구조
- 기준층 층고-3.4m
- 슬래브 두께-250mm
- 층당 바닥면적-약 1,000m²(core 포함)
- 층당 콘크리트 부피-약 600m³
- 층당 목표 공기-4일(Working Day 기준)
- 콘크리트 강도-4일 공정 운영시 36시간 내 탈형 강도 발현을 위해 조강 Con'c 사용



1. Flying Table Form



2. Column Form



3. Tunnel Form



4. Shoring

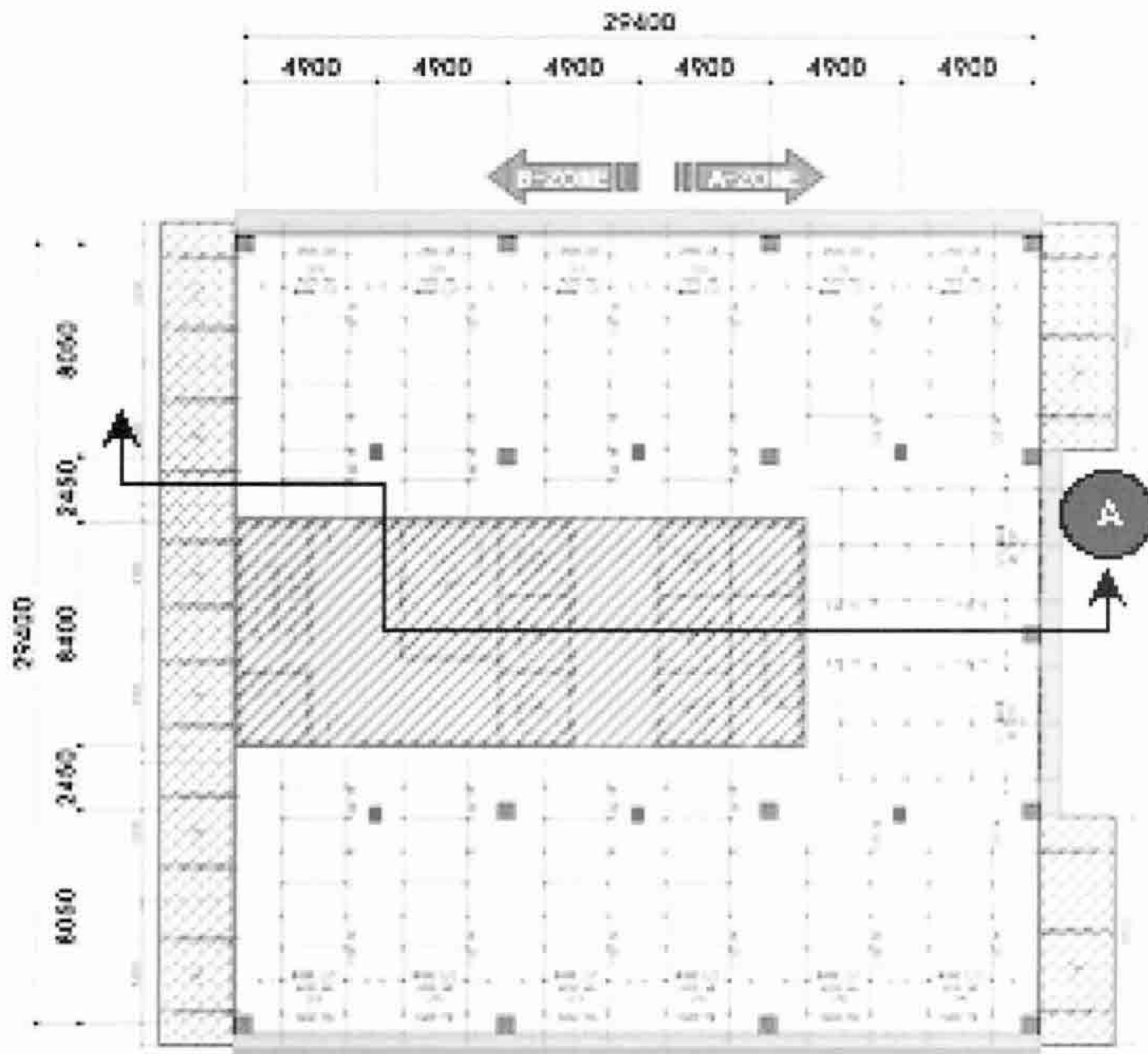


5. Climbing System



6. Core Shaft Form

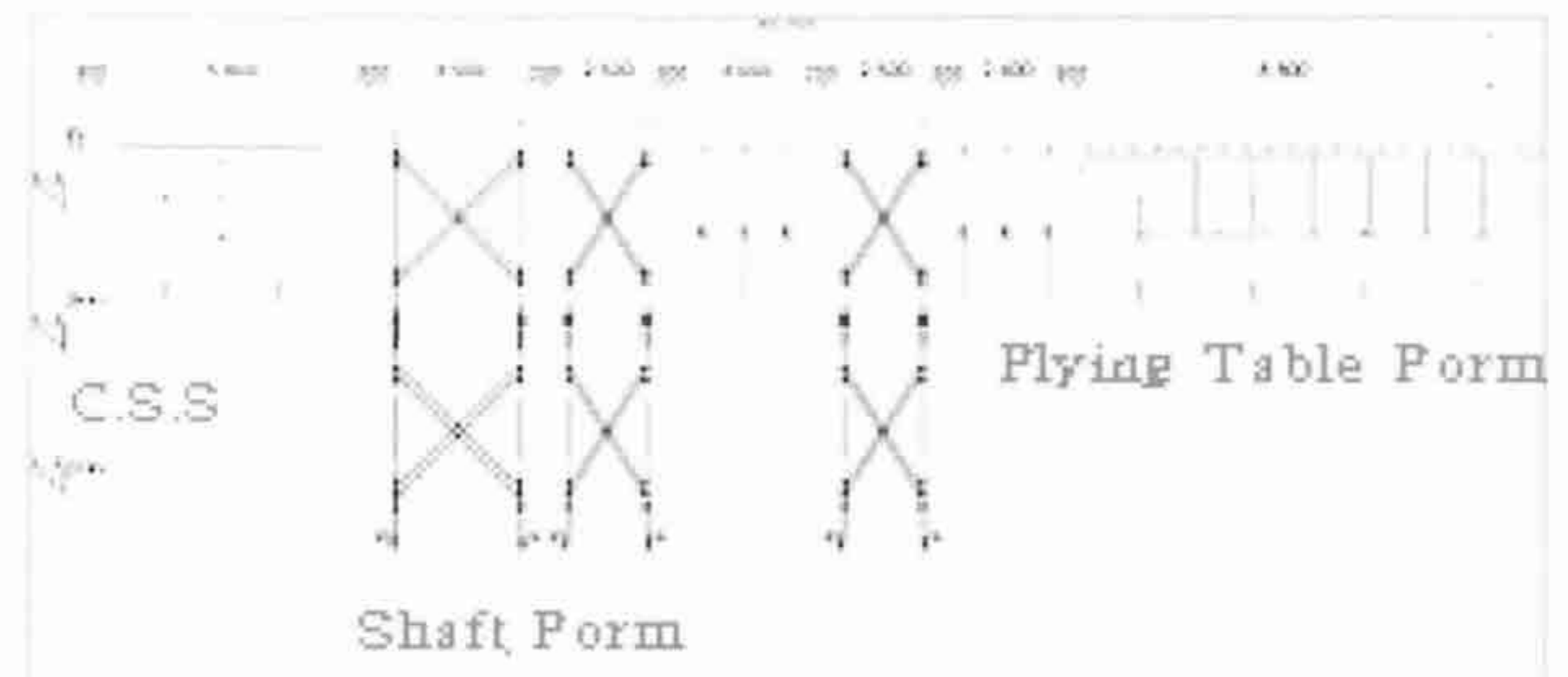
[그림 1] 각종 System Formworks



1. System Formwork Layout



2. Core Shaft FormFlying Layout



3. System Formwork Section A-A

[그림 2] Zoning 및 부위별 System Formwork 세부 적용 계획

2) 공정계획

- ① 기둥 1일, 슬래브 3일 등 4 Day-Cycle을 기본 안으로 하고, 그에 맞춘 Core 계획을 하는 것으로 설정
- ② 슬래브가 Critical-Path인 점을 고려하여 대형 형틀인 Flying Table Form을 선정하고, 운영은 V/H 분리 타설로 결정
- ③ 바닥면적, 철근 작업량, 콘크리트 타설량 등을 고려하고, 작업인력의 반복 작업 유도, 적용되는 System Formwork의 효율 극대화를 위해 동당 2개 Zone으로 분리
- ④ 기둥
 - 기둥의 크기는 1,000x1,000mm 이고, 기둥의 개소는 15개/동으로, 2개 동 30개 적용
 - 동 평면이 Core를 중심으로 대칭인 형태이고, 2개 동의 평면이 동일한 조건, 타워크레인의 Jib 길이가 동 서로 간에 미칠 수 있도록 계획되는 조건
 - 기둥용 Column Formwork은 1개 동의 1/2층 분으로 2개 동 대상 층당 4회 전용 계획
 - 기둥 Form의 탈형 및 설치시간은 4인 1조 기준으로 Set당 약 10분가량이 필요하며, 본 프로젝트에서는 오전 기둥 철근 작업을 시작으로 오후 기둥 콘크리트 타설까지가 Zone당 1일 작업량

⑤ 슬래브

- 슬래브용 System Formwork인 Flying Table Form은 동별로 1개 층 분량이 필요 - Flying Table Form 역시 기둥 Form과 마찬가지로 탈형과 동시에 인양, 설치됨
- Flying Table Form 크기의 결정은 인양과정 중 대지경계선과의 관계 및 타워크레인의 최단부 양중능력에 의해 결정
- Flying Table Form의 운영은 12인 1조 기준으로 Set당 순수 인양 시간이 약 7~10분가량이 필요하며, 철근 작업 및 전기, 설비작업을 포함하여 Zone당 2일 작업량(콘크리트 타설 제외)

⑥ Core

- Core 내,외벽면은 기둥 및 슬래브와 관련된 작업량과 양중 분석 결과 Handset Form을 적용 하여 동시 타설로 운영
- Elev. 는 안전 확보를 위해 별도의 타워 크레인 인양 Type의 Shaft Form을 적용 하고, 벽체 형틀은 Hanging Rollback Type으로 운영
- 콘크리트 타설을 제외한 1개 층의 운영은, 1일차에 외벽면 벽체 철근 작업, 2~3일차에 내부 벽체 철근 작업, Shaft Form 인양 및 Fixing, Core 슬래브의 Handset Form설치 및 철근 작업으로 구성

⑦ 콘크리트 타설

- Zone별 콘크리트 타설일은 1일차 오후의 기둥 타설과 4일차 Core 및 슬래브의 타설로 구분
- 2개 동, 4개 Zone으로 운영되므로 매일 약 300m³의 콘크리트 타설 작업 진행

5. New Paradigm

위에 예시한 공정계획은 종래의 골조공사와 대비되는 새로운 형태의 외관을 볼 수 있게 한다. 2개 동, 4개 Zone은 기둥 작업을 하는 Zone, Truss Table Form의 인양 설치 작업을 하는 Zone, 슬래브 철근작업을 하는 Zone, 콘크리트 타설을 하는 Zone 등 항상 4종류의 작업 모습을 보여주게 된다. 따라서 작업자의 입장에서는 Zone만이 바뀐 채 매일 같은 작업을 반복하게 되므로 높은 숙련도를 보이게 되며, 관리자의 입장에서는 현장의 상황을 쉽게 파악할 수 있게 된다.

거푸집, 콘크리트, 철근공사로 구성된 골조공사에 있어서 콘크리트의 일일 타설량을 기준으로 공정관리를 하고 것이 종래 국내 건설현장의 일반적인 현장관리인 점은 예시와 같은 새로운 Paradigm이 정착되기 어려운 근본적인 원인이 되고 있는 듯하다. 그러나 '거푸집공사의 비중이 전체 골조공사 중 60% 가량을 차지하는 점(Simplified Design 3rd Edition Lyad M Alsamsam외 PCA 2004, Chapter 9, Design Consideration for Economical Formwork)을 감안한다면 거푸집공사를 기준으로 하는 공정계획이야말로 구조에 따라 원가 절감이 직.간접비 포함 최대 25% 될 수 있으며(Formwork for Concrete structures 3d Edition, Peurifoy & Oberlander, McGraw-Hill), 또한 공기단축의 첩경이 될 것이다.

따라서 원가절감, 공기단축을 위한 현장운영을 위해서는 공정계획이나 설계에 있어서 종래와는 다른 몇 가지 접근방식이 필요하다. 대표적인 것으로 첫째, 구조 패턴에 따라 차이가 있으나 형틀 일일작업량은 슬래브 기준으로 450~600m²으로의 Zoning(작업구획 분할)이 필요하다.

둘째, 콘크리트의 강도는 건축물 사용시 부재설계를 위한 기본요소이면서 거푸집의 해체를 위한 중요요소이다. 위의 예시에 따르기 위해서 기둥은 12시간, 슬래브는 36시간 만에 거푸집의 해체가 허용되어야 하는데, 규준에서 제시하는 기둥 5MPa, 슬래브 14MPa 이상의 강도발현이 될 수 있는 정도 이상의 콘크리트로 설계하거나, 그 이하의 강도에서는 균열모멘트를 산정하여 안전을 확인하는 엔지니어링이 필요하다. 이는 슬래브의 경우 조강콘크리트를 사용함으로써

해결할 수 있다.

셋째, 골조부재의 단순화, 모듈화 설계이다. 대형 형틀의 기본적인 목적이 현장작업의 최소화 있으므로 한번 조립된 형틀을 반복사용하기 위해서는 골조부재의 내력과 무관할 수 있는 날개벽, 수벽 등은 Open Housing System으로 처리 간소화하거나 Cladding개념으로 처리하여 후속 공정에 의거 시공할 수 있도록 유도하여야 하며, 다양한 부재의 치수는 기계화시공에 장애요인이 될 수 있다.

6. 건설기술의 최근 동향

최근 건설프로젝트의 규모가 커지고 복잡화되면서 발생한 변화 중에 구조설계나 가설 Engineering에 연관된 주목할 만한 요소 몇 가지를 거론할 필요가 있다.

우선 새로운 Tool의 현실화이다. 다루어지는 정보나 참여하는 이해관계자의 수가 많아지면서 이를 통합적으로 관리할 수 있는 Tool의 필요성에 따라 주목받고 있는 BIM(Building Information Modeling) 등을 가리키는 것으로, Modeling 과정에서부터 Information을 포함한 Building 시뮬레이션을 한다는 개념은 종래의 설계도서나 구조계산서, 물량산출 등이 부산물 정도의 성과로 도출될 수 있음을 의미하는 것이다.

또한 건축물에 대한 관심사의 변화이다. 초고층 건축과 도시 건축에 관한한 최고 권위의 국제단체인 CTBUH(Council on Tall Building and Urban Habitat, 국제초고층학회)의 지난 10년간 관심사의 추이를 살펴보면 'Technology'에서 'Design'으로, 이제는 'Sustainability'로 변화하고 있다. 'Sustainability'에는 "초고층빌딩은 친환경적이며 지속가능한 건물 및 도시개발 맥락에 맞추어야 한다."는 의미를 내포하고 있다.

구조설계기술에 있어서 'Sustainability'와 관련된 CTBUH의 가이드라인은 대체로 자원 소비의 저감과 유지보수 비용의 저감, 저비용 리모델링 등에 초점이 맞추어져 있는데, 그와 관련된 세부 항목은 다음과 같이 해석할 수 있다.

재료적 측면에서는 고강도 철근이나 콘크리트를 사용해서 부재의 부피나 재료의 양을 줄이거나, 한걸음 나아가서 PT공법(Post-tensioning)을 이용한 원천적 저감을 제시한다. 구조형식에 있어서는 Flat Plate Slab등 가설재의 재활용이 가능한 System Formwork이 쉽게 적용될 수 있는 형식을 추천하고 있다.

또한 유지보수나 리모델링을 위해서는 수벽이나 날개벽 등을 대신할 수 있는 APC (Architectural Precast Panel)의 사용을 권장하고 있다.

7. 결론

가설 Engineering은 변화하고 있는 건설 현장에서 더욱 중요한 핵심기술이 되어가고 있으며, 보다 구체적으로는 현장작업을 최소화 할 수 있는 대형 System Formwork의 합리적 운영 방안을 제시하는 기술에 그 초점이 있다고 할 것이다.

또한 전술한 바와 같이 가설 Engineering에 있어서 시대적 흐름에 발맞추기 위해서는 구조설계 분야의 결과물 또한 중요한 요소 중의

하나가 되어야 한다는 것이다. 그것은 종전부터 행해져 왔던 부재 slim화를 위한 노력의 가치가 아닌, 단순화, 모듈화, Flat Plate, 고강도콘크리트 등등의 현장운영과 최신의 건설기술 동향에 적합하기 위한 적극적인 동참을 통해서만 그 가치에 부합될 수 있을 것이다.

System Formwork과 연관된 구조 설계에서부터 시공 기술에 대한 건축구조 엔지니어의 역할과 적극적인 활동을 통해 변화하는 건설현장의 새로운 Paradigm을 기대한다.