摩天樓 건설 공사…어떤 장비가 사용되나

- 장비의 선택이 성패 좌우, 높이에 따라 장비 능력도 진화 -

현존하는 세계에서 제일 높은 건물은 대만의 국제금융센터 빌딩(TAIPEI 101)으로 그 높이가 무려 508m이다. 하지만, 이건물의 세계 최고 높이 자랑은 올 7월 경 끝날 것으로 예상된다. 삼성건설이 시공하고 있는 두바이 타워빌딩이 140여층 콘크리트를 타설하면 기록을 넘어서기 때문이다. 또한, 연말에는 700m 이상 높이에도 달하여 현존하는 최고 높이의 약 1.5배에 달할 것으로 알려져 있다. 당분간 이 기록은 쉽게 추월당하지 않을 것으로 보인다.

적절한 장비의 선택이 성패 좌우

그런데, 이렇게 높은 건물을 짓자면 온갖 자재 및 크고 작은 기계장치와 작업자를 짧은 시간 안에 안전하게 해당 높이까지 올려야 하는데 과연 어떠한 장비들이 사용되고 있을까. 또한 고용 창출이 우선 목적이라서 넉넉한 공사기간을 갖고 느긋하게 시공하는 공사라면 최소한의 장비를 사용하겠지만, 가능하면 빨리 건물을 완공하고 자층당 골조 공사 기간을 2일 또는 3일로 추구하는 현재의 속도 경쟁 체계에서는 장비의 선택과 조합이야말로 공사의 성패를 좌우하는 핵심 요소가 될 것이다.

초고층 건물 시공에서는 수직 물류가 수평 물류에 비하여 상대적으로 주목을 받을 수밖에 없다. 이러한 수직 물류에 사용되는 장비로는 철근 거푸집 철골 등 사람의 힘으로 다루기에는 벅찬 무겁고 큰 물건을 들어 올리는데 유용한 '타워크레인'과 벽체와 기둥, 바닥과 보의 골조를 구성하는 레미콘(굳지 않은 콘크리트)을 쏘아 올려 주는 '콘크리트 펌프', 이 레미콘을 구석구석 해당 장소로 분배해 주는 'CPB'(콘크리트 플레이싱 붐), 수십층 높이까지 작업자들을 날라주는 건설현장용 엘리베이터인 '리프트카'가 대표적인 장비이다.

이러한 장비는 초고층이 아닌 중저층의 일반 건축물 축조에도 사용되고 있으나, 건물의 높이가 기록을 갱신할 때마다 장비의 능력도 새롭게 거듭나고 있다. 그 밖의 다양한 장비 또는 장치 공도구들이 사용되고 있다.

초고층용 타워크레인

무겁고 크고 긴 자재를 필요한 장소로 들어서 옮기는 데 사용되는 타워크레인은 건물의 높이가 올라갈수록 들어올려야 할 자재의 양이 많아지며, 자재의 무게도 점점 무거워지고 운반거리도 길어지므로 그 중요성이 더욱 커진다.

공기 단축을 위하여서 많은 양의 자재를 되도록이면 빨리 올려야 하고, 올리는 횟수를 줄이기 위하여서는 여러 자재를 한꺼번에 묶거나 한 곳에 담아서 올려야 하므로 무거운 것도 가뿐이 올릴 수 있는 대형 장비를 찾게 된다.

또한, 되도록이면 멀리 있는 자재까지 다룰 수 있는 팔(작업 반경)이 긴 장비를 찾는다. 높이가 올라가면 바람의 속도가 지상에 비하여 월등하게 빨라지므로 장비 자체도 그에 걸맞는 견고성이 요구되므로, 크레인 제작을 위한 순간 풍속의 설계 기준이 초속 40여m에서 50여m로 올라간다.

두바이 타워빌딩 현장의 경우, 크레인의 크기를 인체에 비유하자면 몸통(마스트) 높이는 50m, 머리(탑 헤드) 높이는 15m, 팔(붐) 길이는 50m, 엉덩이(데크) 길이가 10m, 몸통 굵기는 3m 정도, 몸무게는 대략 200톤 정도가 된다.

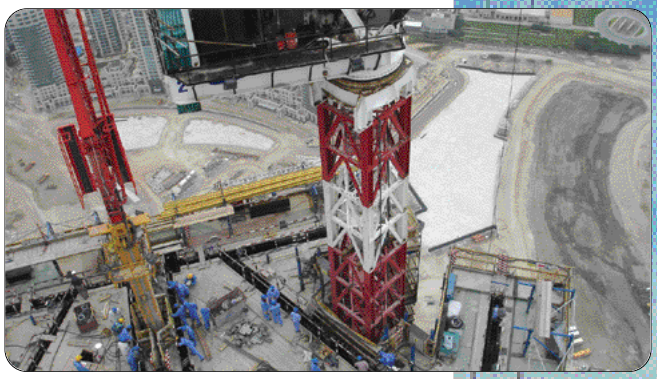
데크 위에 설치된 윈치에 감긴, 900m 길이에 굵기가 탁구공만한 직경 36mm의 한 줄 와이어로프로 들어올릴 수 있는 최대 무게는 25톤, 들어올리는 최대 양중 속도는 1분당 220m, 360도 한 바퀴를 회전하는 속도는 1분 정도이다. 양중 속도는 초고층일수록 중요하다. 땅바닥에 있는 어떤 자재를 높이 700m 위로 옮겨 놓고 다음 자재를 옮기려고 다시 땅으로 로프가 내려오는 데 최소한 30분이 걸리며, 아무 물건을 들지 않은 빈 와이어로프만 땅바닥까지 늘여 놓는 데도 그 무게가 6톤이나 된다.

최대 양중 능력 25톤에서 로프 무게 6톤을 빼면 실제로는 19톤까지 만들 수 있다. 가장 무거운 엘리베이터 전기모터의 무게가 19톤을 넘지 않는 것을 전제로 장비를 선정한 것이다. 건물 높이가 4 내지 5개 층씩 올라갈 때마다 타워크레인도 그에 맞추어 올라가야 한다.

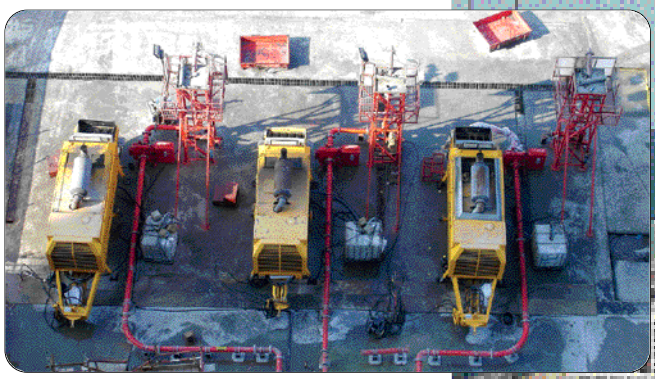
이러한 작업을 타워크레인의 상승작업이라고 하는데 빠를 때에는 15일에 한 번씩 상승이 필요하며, 그 때마다 반나절의 시간이 소요된다. 생산성 향상을 위하여 크레인 운전자가 생리적인 욕구를 해결하고자 오르내리는 시간을 절약하고 근무 환경을 개선시

초고층 빌딩 건설에 사용되는 각종 장비들

타워크레인.



CPB와크레인.



콘크리트펌프배치.

콘크리트펌프.

켜 주고자 화장실, 냉장고, 에어컨과 TV까지도운전석에구비해두는경우도있다. 심지어필리핀에서는출퇴근시간을절약하고 24시간운전대기를위하여크레인위에임시 숙소를 지어놓고 사용하는 것을 본 적이 있다.

크레인을움직이는동력으로는대부분전기를사용하지만, KLCC, TAIPEI 101, 두바이타워등, 당대최고높이의현장에서는대용량의 전기를 가설로 공급하는 것이 시공 관리상 쉽지 않기 때문에 디젤 엔진을 동력으로하는장비가사용되었다.

초고압 콘크리트 펌프

초고층 시공에서는 레미콘을 어떻게 수백 미터 높이까지 올리느냐가 핵심 기술이다. 쉬운방법은바가지(콘크리트호퍼)에담아서타워크레인으로올리면되는데시간이 많이 걸려서 보편적으로는 사용하지 않는다. 최소한시간당 20㎥는연속적으로운반되어야 시공 생산성을 확보할 수 있기 때문이다.

이러한 조건을 맞추기 위하여서는 두 가지운반방법이있다. 전용바가지를와이어로프에 연결하여 고속 윈치로 감아 당겨 올리는콘크리트호이스트방법과펌프의압력으로콘크리트를쏘아올리는콘크리트펌프압송 방법이 있다. 말레이시아의 KLCC 쌍둥이 빌딩 시공 당시, 일본의 하자마건설은 호이스트 방법을, 한국의 삼성건설은 펌프압송방법을사용하였다. 현재세계최고높이의 건물인 TAIPEI 101 빌딩도펌프 방법을사용하였다.

150층 500m 높이에콘크리트 펌프를 이용하여 콘크리트를 직접 타설한다면, 지상층에콘크리트펌프를앉히고, 150층에콘크리트분배기인 CPB를설치한후, 이두개의 장비 사이를 내경 125mm의 강관 파이프로 연결하는데그파이프의길이가최소 600m 소요된다. 연결이완료된후레미콘차에실려온레미콘을펌프의호퍼에쏟아내면, 펌프가 이를 고압으로 밀어 올린다. 500m 높이에 시간당 20㎥의 콘크리트를 올리기 위하여서는 약 200kgf/㎠정도의 압력이 필요한데, 이 압력은 물을 한라산 높이인 2,000m까지올릴수있는압력이다.

이 정도의 압력을 견뎌내려면 파이프의 두께는 11mm가 되어야 하며, 설치 해체와 운반을 위해서 작업자가 다룰 수 있도록 한 개의길이는3m 이하이며, 파이프끼리의연결은 커플링을 사용한다. 두바이 현장에서는 압력을 줄이려고 내경 150mm의 파이프를사용하고있다. 콘크리트가지상층의펌프를통과하여 150층 파이프 끝에서나오기까지는약 30분이걸리며, 약 7,000㎥정도의 콘크리트가 파이프를 통과하면 두께는 1mm 정도마모가된다.

최초 사용한 두께에서 3mm 정도가닳아지면 새로운 파이프로 교체하여야 한다. 만약, 이를 무시하고 계속 사용한다면 파이프가 일순간에 찢어지거나 터져서, 파이프 안에있던골재가하늘에서쏟아질수도있다. 초음파두께측정기를사용하여두께관리가 필요하다.

콘크리트 타설이 끝나면 파이프 안을 깨끗하게 청소하여야 한다. 펌프 근처에 설치된파이프유압차단기로파이프를막고, 펌프와 차단기 사이의 파이프를 풀어서 그 끝을사전에준비된빈호퍼에연결한후차단기를열면, 중력에의하여파이프안에남아있던 콘크리트가 비워지게 된다. 이때 150층 위 파이프 끝에서 공기 압축기로 불어내면깨끗하게청소를할수있다.

초고속 리프트 카

현재 110층정도진행중인두바이타워현장의 경우, 출역하는 작업자가 약 4,500 여명인데, 이많은사람들을몇분안에각자의 일터인 각층에 올려 보내야 할까. 1시간 안에 해결하고자 한다면 몇 대의 승강기를 설치하여야 하는가. 점심 시간에 한꺼번에 내려와서식사하고한꺼번에올라간다면손실되는작업시간은얼마나될까.

건설 현장에서 사용되는 리프트 카는 일반빌딩에서사용하는엘리베이터와는구조가 다르다. 엘리베이터는밀폐된 수직 공간 내에서와이어로프를감았다풀었다하면서 케이지를 운반하지만, 리프트 카는 사각형의 철제 구조물(마스트)을 탑처럼 쌓아올리고, 여기에톱니가있는직선형철제가이드레일을 붙인 후, 케이지에 붙어있는 동그란 톱니바퀴가 이 직선 톱니를 따라 돌면서 상하로운행한다.

동력으로는 전기를 사용한다. 건물 높이가 올라갈수록 케이지는 대형으로 운행 속도는 고속으로 요구된다. 한번에 3톤의 짐을 실을 수 있고, 사람의 경우에는 40명 정도를 태울 수 있으며, 최고 속도는 1분에 110m까지운행할수있다.

현재까지는 TAIPEI 101빌딩 시공 당시 392m 높이까지운행한실적이최고의기록이며, 두바이타워빌딩현장에서는400여m까지 올라가는 것을 목표로 장비가 운영되고 있다. 그 이상의 층에는 일단 내려서 다른 리프트 카로 갈아타고 올라갈 계획이다. 케이지와추를와이어로프로연결하고마스트 꼭대기의 도르레에 걸어 반대로 오르내리도록 균형을 맞춤으로써 중력에 대한 부담을 줄이는 것이 보편적이지만, 최근에는 균형추가없이전기모터의힘만으로운행되는장비도있다.

센서와 IT 기술의 발전으로 전자동 운전이점차적으로적용됨으로써고급빌딩의승객용엘리베이터와동일한기능외에도탑재무게 표시와 어느 부분에 무슨 고장이 발생하였는지 스스로 진단하여 모니터 화면에 띄워주기도한다.

정삼룡
삼성건설기술연구소수석연구원