리모델링을 위한 최신 구조 보강 기법

State- of- the- art Structural Reinforcing Devices of Remodeling Buildings

이창남 / 센구조 건축사사무소
by Lee Chang-Nam

10년도 넘었을까 모처럼 유럽을 여행할 기회가 있었다. 우리나라는 온 국토가 공사장이나 진배없던 시절이라 그곳의 풍경이 오히려 이채로웠다. 자동차를 타고 한참을 가야 그것도 별로 크지 않은 공사장을 볼 수 있었고, 그나마 신축공사 보다는 오래된 건물을 보수하는 것들이 더 많았다. 더구나 희한한 것은 대로에 면한 고색 창연한 건물의 외벽만을 텔레비전 세트처럼 남겨두고 그 뒤편에서는 전혀 새로운 공사를 하는 것도 눈에 들어왔다. 조상들의 유적을 외관만이라도 보존하도록 법제화되었으므로 여기저기 떨어져 위치한 100년도 넘은 집에다 따로따로 최신형 공작기계를 설치한 공장에서 제품을 생산하는 비능률을 감수하는 것도 볼 수 있었다. 물론 변두리 신시가지에서는 현대 감각이 물씬한 건물도 신축하고 있었는데, 대체로 리모델링 사업규모가 전체 건축 물량의 50% 정도는 될 것이라는 설명이었다. 필자는 그때 우리도 머지않아 그런 시절이 도래할 것이라는 확신이 있었다. 더구나 그들의 건물들이 100년 이상을 버티는데 반하여 우리네 것들은 수명이 고작 20~30년 밖에 되지 못할 정도로 부실하기 때문이다. 그 때부터 기존 건물의 내력 부족분을 보완하고 용도를 변경하거나 증축을 할 때 어떤 방법이 합리적일까 하는 것에 관심을 가지고 연구하게 되었다. 바닥 슬래브나 보를 잘라버리거나 새로 덧붙이기도 하고 심하면 기둥을 솎아낼 필요가 있을 수도 있다. 그러나 유감스럽게도 대부분의 경우는 그동안 열심히 고안한 방식을 실무현장에 적용할 수 있도록 받아들이는 당사자가 별로 없었다. 첫째 이유는 처음하는 일이라 말하자면 겁이 난다는 것이고, 둘째로는 새로운 방식을 믿고 시행하려 해도 실제로 책임지고 시공하겠다고 나서는 업체를 만날 수 없어서였다. 그래서 그동안 설계뿐만 아니라 시공까지 일일이 간섭하여 어렵게 시행했던 현장 경험들을 소개하여 앞으로 비슷한 조건을 만날 경우 참고할 수 있게 한다. 우선 기둥을 솎아내는 것을 알아보고 앞으로 기둥, 보, 슬래브, 기초 등의 새로운 보강방법을 소개하고자 한다.〈필자주〉

기둥 솎기

건물에서 기둥, 기초는 가장 중요한 구조부재이다. 그러므로 웬만하면 감히 기존 기둥을 솎아내는 일을 하지 않는 것이 현명하겠으나, 건물의 새 용도상 필수적이라면 어쩔 수 없는 일이다. 강당이나 교회, TV 방송국, 상황실의 가운데나, 주차장 통로에 기둥이 가로막고 있으면 당연히 제거해야 기능을 만족할 수 있다. 병원에서는 환자의 병력카드를 대외비로 하고 있다. 아래 거론하는 건물들도 말하자면 외과 수술로 환자를 치료한 것과 다름없으므로 가명으로 하고 약간은 흐려서 설명함을 양해해 주기 바란다.

가. 00 백화점

왜정시대에 지은 백화점 건물 옥상을 주차장으로 활용하기 위하여 카리프트를 마련했지만, 주 진입로에서 카리프트까지 들어가는 통로에 큰 기둥이 가로막고 있다. 처음 몇 년간은 소형차만 이용하도록 하고 전문 운전기사가 주차 서비스를 해 왔다. 그러나 차량 대수가 많아져서 이용객이 늘어나고 인건비가 올라가서 고객에게 주차하도록 개방한 후로는, 수시로 접촉사고가 발생하게 되었다. 그래서 그 문제의 기둥을 아예 제거하는 방법을 모색하게 되었다. 다행히 기둥 간격이 좁기 때문에 기둥을 잘라내도 보강이 어렵지 않았으며, V자로 인장 와이어를 걸어 잘려진 기둥으로부터의 하중을 좌우 기둥에 전달시키도록 하였다. 그 구체적인 방법은 아래 설명하는 00 교회와 동일하므로 별도 설명을 생략한다.

나. 인천 00 교회

8각형 평면의 교회 건물인데 준공하기도 전 성가대석이 마땅치 않음을 알게 되었다. 생각 끝에 외부로 집을 달아내서 성가대석을 배치하였으나, 17년 동안 지휘자가 서야 할 중앙에 600×1,100mm 크기의 기둥이 가로막고 있어서 마치 교인들 눈에 들보가 들어간 기분이었다고 한다. 교회 후면에는 계단식 발코니 슬래브가 있어서 기둥을 횡 방향으로 구속해 주지만 앞쪽은 층고가 높으므로 기둥의 횡 좌굴을 방지하기 위한 공중에 뜬 보(Flying Girder)가 배열되어 있었다.

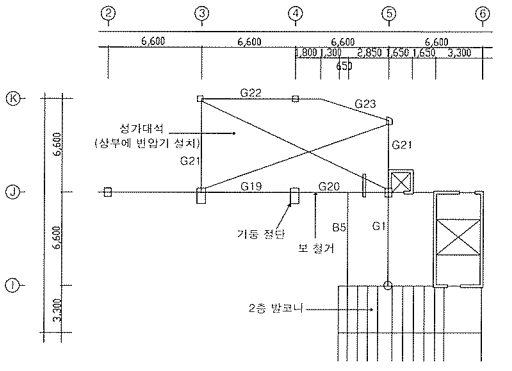
지붕은 철골 트러스에 경량재를 얹은 것인데 불행히도 해당 기둥이 있는 위치 바깥면(성가대석 지붕)에 변압기를 얹은 철근콘크리트 지붕이 추가되어 있어서 기둥 축하중이 늘어나 있었다. 2층 발코니에 앉은 교인들의 눈에는 앞에 설명한 기둥은 말할 것도 없고 공중에 뜬 보(Flying Girder)까지 가로질러 있어서 성가대원이 찬양하는 모습을 내려다 볼 수 없었다(카톨릭 성당에는 성가대석이 뒤에 배치되지만 개신교는 반대임).

이것은 당초 성가대석 증축을 예측하지 못한 상태에서의 설계였으므로 그렇다 치고 다른 일반적인 경우에도 비슷한 불편을 겪는 일이 있다.

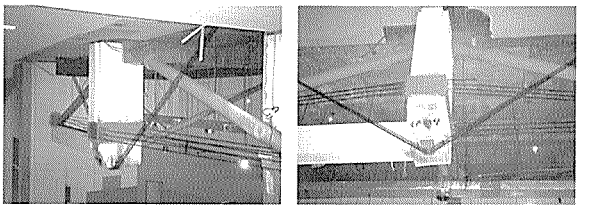
유리창틀은 사람 눈높이를 감안하여 설계하는 것이 상식일 것이다. 물론 어린아이나 키 작은 사람들에게만 해당되는 불편함인지는 알 수 없으나, 한참 일하다가 잠시 나마 피곤한 눈을 쉬려고 바깥을 내다보려 해도 바로 눈 높이에 중간창틀이 가로막고 있어서 허리를 구부려야 한다. 키가 큰 사람들은 중간창틀 위로 넘겨볼 수 있겠으나 이는 너무나 불공평하다. 그래서 공중에 뜬 보(Flying Girder)를 잘라버려도 안전한지를 검토하는 용역이었는데 내친김에 기둥까지 솎아내자고 제안한즉 뜻밖에도 그것은 불가능하다고 한다. 교회 신축 당시에도 그런 부탁을 했었고 그 후에도 전문가들을 초빙하여 여러 차례 검토시켰으나 모두가 불가능하다고 했기 때문이라고 한다.

이렇게 오랜 세월 고정관념화 된 사항을 갑자기 뒤집는 것은 쉽지 않았으며 여러 단계의 절차를 거쳐서야 겨우 성사시킬 수 있었다.

그림 1은 평면도이고 그림 2는 보강현황이다.



〈그림 1〉 인천 00 교회 3층 구조평면도



〈그림 2〉 Post Tension에 의한 기둥 절단부분 보강

기둥이 잘려 없어짐으로 인하여 공중에 뜬 기둥 축하중을 ㅅ자 강관을 추가하여 잘라낸 기둥하중을 들어올리고 ㅅ자 강관 밑의 벌어지려는 수평력를 강선으로 마주잡아 당기도록 조치를 취했다. 강선으로 잡아당기면 길이가 줄어든다. 따라서 ㅅ자 강관 한쪽 밑의 지점은 쉽게 미끄러질 수 있도록 상세 처리를 했다. 이런 일은 임기응변에 능숙한 엔지니어가 현장에 붙어 있어서 사전에 문제점을 발견하여 해결하여야 한다. 신축공사 때와 달라 이 같은 보수, 보강공사에서는 현장 실측이 필수적이다. 도면만 보고 보강 설계도를 작성해서 발주한 현장을 답사한 결과 어쩐지 ㅅ자 강관의 각도가 너무나 예각이다. 그래서 실측해 보니 높이가 턱없이 모자란다. 처음부터 이를 알았다면 더 굵은 강관을 사용했겠으나, 이미 시간은 늦었다. 하는 수 없이 다음과 같은 추가조치를 마련하였다.

마치 농부가 가래질하는 것과 같은 원리를 활용하여 잘라낸 기둥을 좌우 기둥에 달아매는 것이다. 즉, 가운데 기둥을 타고 내려오던 연직하중을 V자형 강선으로 끌어 올려서 좌우 기둥에 전달시키는 것인데 대각선 와이어의 힘이 꼭대기에서 서로 가까워지려는 힘으로 분리된 수평력은 상부 바닥슬래브가 부담해야 한다. 앞에서 설명한 좌우 기둥에 추가된 하중은 기둥들 뿐만 아니라 그 밑의 기초들도 추가 하중에 견딜만한 내력을 지니고 있지 않을 경우 보강하여야 하나 이 경우는 기둥, 기초 모두가 충분한 여유를 갖고 있어서 보강이 불필요했다. 와이어를 걸어서 유압실린더로 긴장하는 과정에서 기둥에 편심하중이 작용하면 옆으로 구부러질 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 와이어와 기둥이 이루는 면에 직각 방향으로 강관을 버텨서 보강하였다. 이들 모든 보강재들은 천장 속에 숨겨진다. 공중에 뜬 보(Flying Girder)를 절단한 것은 말할 것도 없다.

다. 서울 00 교회

준공 한지 보름만에 6.25 사변이 일어났고 공산당이 들어와 본부로 사용하려는 것을 저지하던 장로님이 사살당한 기막힌 사연이 있는 건물이다. 후에 교인이 불어나자 계단식으로 된 2층 발코니를 앞으로 연장하여 예배공간을 최대한으로 늘렸는데 아래층에 앉는 교인들의 머리가 닿지 않도록 철골 보의 높이를 최소한으로 줄여 설계한 것 같다. 그런 대로 잘 버티다가 어느 날 갑자기 "꽝" 소리가 나면서 발코니가 아래로 주저앉기 시작했다. 하마터면 대형 사고가 날 뻔했다. 즉시 강관 기둥 6개를 보 밑에다 고이고, 그 아래 지하실 방에도 기둥을 추가하여 불편한대로 사용하게 된 것이다. 일반 교회는 사용빈도가 적다. 특히 2층 발코니는 주일 대예배 때나 교인들이 올라가므로 아마도 단기 하중으로 인정해도 될 정도라 그만큼이나마 견뎠을 것이다.

오래된 집이라 지붕에서는 물이 새고 화강석을 붙인 외벽도 불안하여 구조 안전진단을 의뢰해 왔다.

눈을 감아도 목사님의 설교는 들을 수 있다. 하지만 앞에 기둥이 가로막고 있으면 답답할 것 같아 이를 제거하자고 제안했다. 역시 어찌 그것이 가능하겠는가를 되묻는다. 솎아내도 되는 기둥이라면 당초 세운 것이 잘못된 것인가 질문한다. 교회는 수많은 사람들의 헌금으로 운영하는 것이므로 의견수렴이 쉽지 않다.

어떤 카톨릭 교회에도 이와 비슷한 경우가 있어서 신부님에게 기둥을 제거하자고 말했더니 그럴 필요가 없다고 단호하게 거절했다. 성당에 오는 신도들 중에는 신부님과 얼굴 마주치는 것을 거북해 하는 분도 있고, 때로는 미사 도중 졸고 싶은 사람도 있을 것이므로 기둥 뒷자리가 명당일 수도 있다는 설명이다.

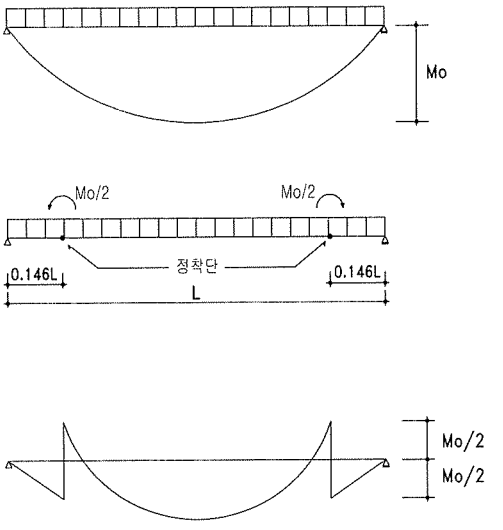
하기는 공군에 있을 때 재미있는 얘기를 들은 기억이 난다. 당시만 해도 미군은 돈을 얼마든지 써도 되는 것으로 믿고있던 우리 공군아저씨가 미 고문관에게 기발한 아이디어를 제안했다. 그 공군 비행장에는 활주로 좌우에 지원 시설이 산재해 있어서 빤히 보이는 건너편으로 가기 위해서는 활주로 끝까지 8km나 돌라 가야 하는 불편함이 있으니 활주로 밑에 터널을 뚫으면 좋겠다고 제안한 것이다. 그러면 유사시 작전상에도 도움이 되고 평상시 휘발유 값도 절약된다는 내용이었다. 그러나 그 고문관은 한마디로 거절했는데 그 이유는 다음과 같았다.

원래부터 공군 지원시설이 서로 8km 거리를 두고 떨어져서 배치되어 있는 것이라고 생각하면 될 것을 너는 왜 빤히 보인다고 해서 건너편을 넘보느냐는 것이다. 우리 조상들은 불가능한 것을 숙명적으로 또는 팔자 소관으로 돌리는 경향이 있었는데, 그들에게도 그런 면이 있음을 발견한 것이다. 터널을 뚫는 기술이 없어서가 아니라 사정이 허락지 않으면 포기할 줄도 아는 그들의 성숙된 습관이 밀리는 가운데도 교통질서를 잘 지키는 민주시민으로 정착된 동기라고 인정해야 한다. 아마도 보는 눈만 없으면 건너편까지 활주로를 건너질러 짚차를 몰고 가고 싶은 충동을 느끼는 우리들의 성급함을 꼬집는 말이었을 것이다.

철골보의 길이는 24m와 17m로 2가지며 단면 규격은 H-708×302×15×28과 H-594×302×14×23인데 보 밑으로 천장까지는 단 10cm도 여유 공간이 없다. 또한 적어도 매주 예배를 드려야 하므로 보강 공사를 한다는 이유로 천장을 모두 뜯어놓고 장시간 기다리는 등의 방법으로 작업을 하는 것은 용납되지 않았다.

여기서 "철골 보의 모멘트 반감 방안"이라는 이름으로 특허를 받은 새로운 보강 공법이 태동하게 되었다. 보의 하중 상태와 양단 지지 조건에 따라 각각 다른 요령을 구사하지만 가장 간단한 등분포 하중을 받는 단순보를 예를 들어 설명한다. 휨 모멘트는 단부에서 0이고 중앙에서 최대치이지만 실무 현장에서 사용하는 보 단면의 형상과 크기는 대부분 단부도 중앙과 마찬가지인 경우가 많다. 안전을 위하여 전 단면 중 가장 큰 중앙부 휨 모멘트에 능히 견디도록 큰 단면을 사용하는 것이다. 이는 철골 보(주로 H형강)가 공장에서 균일 단면으로 압연하여 출하되기 때문이다.

그림 3은 등분포 하중을 받는 단순 보의 양단에서 적당한 위치의 하부 플렌지에다 정착 블록을 부착하고 거기에다 강선을 끼워 유압잭으로 서로 당겨주면 카플링 모멘트가 유발되어 보의 최대 휨 모멘트가 1/2로 줄어들게 됨을 표시하고 있다.



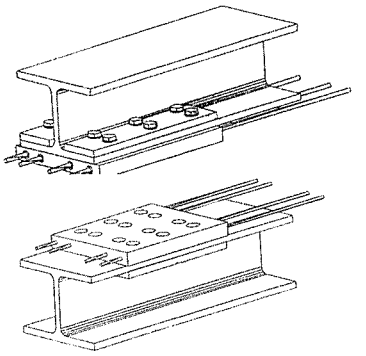
〈그림 3〉

다시 말하면 기존 단순 보의 내력이 부족하거나 건물을 용도 변경할 때 더 큰 하중에 견디도록 하기 위하여 위 방법을 적용하면 간편하다는 것을 설명하는 것이다.

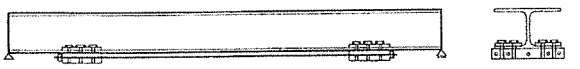
이상의 기본 개념은 오래 전부터 파악하고 있었으나 실제 현장에서 적용하기 위한 시공 방법이 마땅치 않았었다. 하중이 작용하고 있는 기존 철골 보에 용접열을 가하는 것은 집을 무너뜨리는 위험을 초래할 수 있음에 주의하여야 한다. 철골 보에 용접을 한다는 뜻은 일부분을 가열하여 녹이는 것이 되므로 그 부위를 일시적으로 도려내는 것과 마찬가지이기 때문이다. 따라서 그런 위험을 미연에 방지하기 위해서는 보 하부 적당한 위치에다 가설 서포트로 받혀야 하는데 가설 서포트를 지지하는 하부 보의 내력에 여유가 있는지 여부를 사전에 검토하는 번거로움이 있으며 어떤 때는 하부 보까지 가설 서포트로 보강하여야 하는 불편함도 감수하여야 한다.

또한, 현장에서 보의 하부 플렌지에 철판으로 제작한 정착단을 용접하려면 상향 용접이 필수적이나 그 시공성이 좋지 않아 품질보장이 어려우며, 좁은 공간에 여러 개의 철판을 이리저리 용접하여 제작하는 과정에서 뒤틀리는 변형이 생기는 부작용도 발생하게 된다. 그래서 이런 공사를 위해서는 용접공 한 사람에 감시 감독하는 엔지니어가 하나씩 붙어 다녀도 품질보증이 어려운 형편에 처하게 됨을 경험하게 된다.

위 특허 공법은 이상 어려움을 해소하는 것으로 정착블록을 공장에서 정밀 제작하여 현장에서는 보의 하부 플렌지에 볼트 구멍을 뚫어 고력볼트로 조립하는 것이다. 구멍 뚫는 작업은 강력한 자석이 부착된 드릴을 사용하며, 플렌지 두께가 얇을 때는 유압펀치를 사용할 수도 있다. 정착블록은 여러가지 형태가 있으며, 플렌지 하부에 40mm의 여유만 있어도 표준형의 정착블록을 하부 플렌지의 아래면에 부착할 수 있으나, 그만한 여유도 없으면 하부 플렌지의 윗면에 부착하는 것도 있고 하부 플렌지의 위아래 모두에 장애물이 있으면 플렌지 측면을 이용하는 방법도 있다. 이들 모두를 설명하는 것은 번거로우므로 가장 많이 사용하는 표준형을 소개하는 것이 그림 4-1, 4-2이다.



〈그림 4-1〉



〈그림 4-2〉

와이어텐션 공법에서 가장 어려운 점은 유압실린더로 강선을 긴장 정착하는 과정에서 발생하는 쐐기와 정착머리간의 미끄러짐 손실과, 쐐기의 불균형 압입으로 인한 긴장력의 손실이다. 어스 앵커 등 토목에서 사용하는 것들은 일반적으로 강선을 한 곳에서 여러 가닥을 긴장하여 사용하고 강선의 길이가 비교적 길므로 미끄러짐 손실이 전체 손실에서 차지하는 비중이 크지 않으나, 건축에서 도입하는 와이어텐션 공법은 그 적은 손실도 보강효과에 큰 영향을 줄 수 다. 즉, 토목구조 보다는 더 정밀시공을 해야 한다.

그래서 이를 해소하기 위하여 "유압쐐기압입기"를 개발하여 특허 출원 중에 있다. 기존 유압실린더는 강선을 물고 긴장할 때 기존 표준형의 3 조각으로 분리된 쐐기 조각들 내면에 조성된 톱날 같은 돌기가 미끄러지다가 긴장을 풀면 늘어났던 강선이 다시 줄어드는 과정에서 쐐기의 돌기가 강선을 물어주는 원리를 이용하고 있다. 그러므로 강선과 쐐기간의 마찰 저항의 크기에 따라 미끄러짐의 크기가 서로 달라 3개의 쐐기 조각이 가지런히 배열되지 못한 불안한 상태에서 강선을 물게 되는 경우가 발생한다.

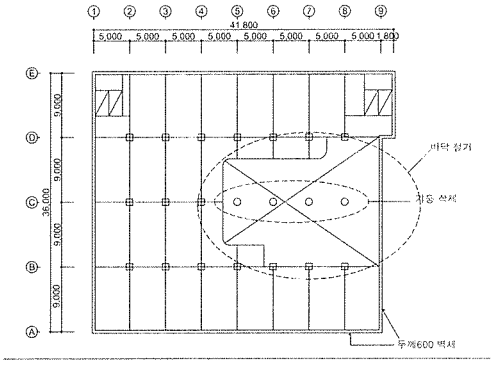
유압쐐기압입기는 유압실린더가 강선을 물고 긴장하고 있는 상태에서 쐐기 머리를 유압으로 강제 압입시켜 미끄러짐 손실을 사전에 차단하고 쐐기 머리가 동일 평면에 오도록 유도하는 역할을 한다.

라. 지하 구조물

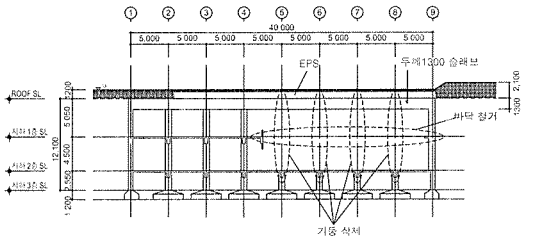
지하 구조물로 설계 시공하여 22년 정도 사

용하다가 용도 폐지 된 건물이다. 기둥 간격은 가로 9m×4개, 세로 5m×8개이고 1,200mm 두께의 흙을 덮어 나무를 심은 지붕 슬래브는 플래트 플레이트로 두께가 1,300mm나 된다. 층고는 4.5m로 지하 2개 층이고 밑에는 쓰지 않는 피트층이 있다. 아마도 물이 샐까 염려하여 빈 공간을 마련한 것 같다. 지하 외벽두께는 600mm이다.

그림 5-1과 5-2는 용도를 바꾼 지하 구조물의 평면도와 단면도이다.



〈그림 5-1〉 지하 1층 구조 평면도



〈그림 5-2〉 단면도

C 건축사사무소로부터 이 구조물을 헐어버리고 신축해야 하는지 또는 개조해서 쓸 수도 있을지의 문의를 받고 개략 검토를 하는 과정에서 다음과 같은 조건을 제시한 적이 있다.

즉, 강당 개념의 넓은 무주 공간을 필요로 한다니 중앙 기둥을 절단하는 것은 필요하겠으나, 지하 외벽까지 보강하려면 번거로우므로 최외곽 면에서 적어도 1개 스팬의 바닥 판은 남겨두는 것이 바람직하다고 했다. 그렇게 되면 잘라 낼 수 있는 기둥은 C열의 3-7 기둥이며 1-2열과 8-9열의 폭이 5m에 불과하니 C열의 4, 5, 6 기둥만 제거하면 더 좋겠다고 제안했었다. 그렇게 되면 20m×18m의 무주 공간이 형성되며, 그 부분 지하1층 바닥도 철거하면 층고도 9m가 되어서 웬만한 회의를 하는데는 지장이 없을 것이라는 생각에서였다.

그 후 C 건축사사무소에서 아무런 소식이 없다가 건축주 측에서 설계 심의를 해 달라는 요청을 받아 가본즉 바로 그 건물의 개조 설계 도서였다. W건축사사무소가 입찰하여 수주한 것이고 구조설계는 W 건축사의 친구인 구조 기술자가 담당한 것이다.

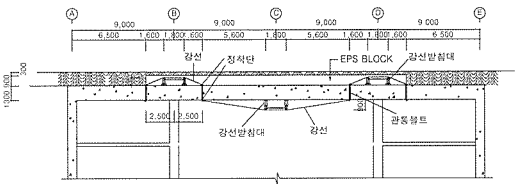
건물의 기둥을 잘라내는 것은 마치 사람의 다리를 자르는 것과 같이 어려운 일이다. 하지만 지금까지의 경험과 시공 실적을 통해 확신 있는 공법을 보유하고 있으므로 자신 있게 제시한 것이었다. 그러나 실제로는 공사를 발주하여 시공 도중 여러 가지 문제점이 발견되어 공사를 중단하고 원점으로 돌아가 설계 심의를 하게 된 것인데 도면을 검토한 결과 그 보강 안대로 공사를 계속하라고 할 자신이 없었다.

제시된 보강 방안은 지붕 위의 조경용 흙 두께 1,200mm중 900mm를 EPS블록(비중이 0.1 정도의 스치로폼 같은 제품)으로 대체하고 외벽 주변도 토압으로 작용하는 역삼각형 쐐기형(상부 폭 11m 깊이 6.9m) 흙을 파내고 대신 EPS블록을 채워서 작용 하중을 줄이고 기둥과 지하 2층 바닥판을 제거함으로 인한 응력 초과 부위 중 슬래브와 외벽 상단에는 철판을, 슬래브 중앙 하단에는 탄소섬유를 부착하는 방법이다. 철판을 부착하기 위하여 수천개의 HILTI HVA M24 볼트를 210mm 이상 깊이에 박아야 하는데 기존 슬래브의 철근 배근이 조밀하므로 이들을 피하여 볼트 구멍을 뚫는 것은 불가능하다. 콘크리트용 드릴로는 철근을 뚫을 수 없고 철판용으로는 콘크리트가 뚫리지 않기 때문이다. 겸용이 있다고는 하나 일회용으로 값도 비싸므로 비효율적이다.

일반적으로 기존 구조물 표면에 철판이나 탄소섬유를 부착하여 보강하는 공법은 이미 변형량이 허용 범위에 다다르거나 초과한 상태의 구조물에다 새 구조 부재를 추가하는 것이 대부분인데다 새로 부착한 보강재는 기존 구조부재가 추가로 변형을 일으켜야 비로소 제 기능을 발휘하기 시작하는 속성이 있다. 건전지 4개를 끼워야 재대로 빛을 발하는 손전등의 불빛이 어두워졌을 때 새 건전지 1-2개를 추가해도 별로 밝아지지 않는 것이나 마찬가지다. 그러므로 방전된 건전지에 충전기를 연결하여 재충전하면서 필요하면 건전지를 추가하여 전압을 상승시켜야 더 밝은 빛을 얻게 되는 것과 같은 보강 방법을 제시하였다.

과정에서 여러 가지 다른 방안도 거론되었다. 잘라낸 기둥 하중을 지지하기 위하여 지붕 슬래브 밑에다 철골 트러스를 추가하거나 지붕 위에다 교량같은 트러스를 지상에 노출시키고 거기서 기둥 하중을 달아매서 보강하는 방법이다. 밑에다 트러스를 추가하는 것은 지하실 진입통로가 좁아 큰 부재의 반입이 불가능하여 현장에서 조립해야 하는데, 용도상으로도 천장 높이를 줄여야 하는 불편함을 감수하여야 한다. 또한 트러스를 지상에 노출시키는 방법은 미관상 받아들이기가 어렵다는 것이다.

그림 6은 가운데 기둥을 잘라냄으로 인하여 원래의 9m 스팬이 18m로 늘어난 것을 보강하는 와이어텐션 공법의 기본 개념도이다.



〈그림 6〉

하중이 같을 때 스팬이 2 배로 늘어난 슬래브의 휨 모멘트는 4배로 커지며, 처짐은 16배가된다. 그러므로 처짐을 제어하기 위해서는 위에서 잡아당기든지 아니면 아래서 밀어 올리는 조치를 취하지 않고는 안전한 구조물의 구실을 하기가 어렵다. C열 기둥을 잘라냈으므로 그 자리에다 강선 받침대를 설치하고 B열과 D열 좌우 2.5m 위치에 코어보링을 하여 특수 제작한 대구경 고력볼트를 관통시키고 상하 단에 특수 제작한 정착단을 너트로 고정시켜서 강선을 긴장 정착할 수 있게 한 것이다.

B열과 D열 좌우 2.5m에 구멍을 뚫어 정착단을 부착하도록 위치를 선정하는 것은 기존 플래트 플레이트의 배근 상태와 변경된 하중, 지점 상태에 따라 달라지는 휨모멘트도를 감안하여 정밀 구조계산으로 정한다. 또한 앞에 거론한 바와 같이 위 플래트 플레이트에는 철근이 5단으로 배근되어 있으므로 대구경 코어보링을 하는 과정에서 일부 철근이 절단되는 것을 각오하여야 한다. 따라서 그런 경우에도 별도 보강작업 없이도 안전하거나 보강작업이 최소화되도록 하기 위하여 휨모멘트이 값이 크지 않은 위치를 찾아내는 것이 정밀 구조계산의 과정이기도 하다. 다행히 선정된 위치에서는 기존 철근 중 절반이 없어져도 안전상에는 지장이 없는 부위인데 실제로 잘려 나간 철근은 별로 많지 않았다.

강선 받침대의 간격과 높이도 가장 합리적인 값이 얼마인지를 정밀 구조계산으로 정하고 EPS블록으로 경감시키는 하중 범위도 사전 확인하여 정했다. AB, DE 구간의 상재 하중(흙 두께)을 줄이는 것은 오히려 해로운 것으로 판명되었으며 이는 이른바 Pattern Load를 감안하여 계산하는 과정에서 확인한 것이다.

정착단을 철판으로 용접 제작하는 것은 용접열로 인한 뒤틀림을 제어하기가 어려울 뿐만 아니라 수많은 제품 제작상의 균질성이 보장되지 않으므로 주형을 떠서 제작하였고 사전에 시험 긴장으로 안전성을 확인하였다.

기둥을 잘라내면 프레임은 그 순간부터 전혀 다른 구조 응력으로 변화하면서 변형도 달라지게 된다. 이를 현장에서 검측하고 앞으로도 오래도록 구조 안전성 여부를 계측하기 위하여 Monitoring System을 도입하였다.

이 같은 새로운 공법이나 방식을 현장에 적용하고자 기술자가 제아무리 열심히 설명하고 설득하려 해도 이를 받아들이는 위치에 있는 실력자의 안목과 아량과 기술 소화 능력이 없으면 시행이 불가능하다. 그래서 나는 이런 일이 성사되게 해 준 건축주나 관련자에게 항상 빚진 자와 같은 심정으로 감사하며, 존경하는 마음을 갖고 있다. 그런 사람들로 인해서 우리의 기술도 발달하고 경제도 살아나는 것이다.

실제로 기둥을 잘라내는 순간 긴장감이 감돌았으나, 절단 순간 슬래브가 약간 솟아오르는 현상을 감지할 수 있었다. 이는 강선이 프리텐션으로 잔뜩 긴장하고 있는 상태였기 때문이다.

최초 주문했던 것과는 달리 실시 설계 단계에서는 8열 기둥까지 제거하도록 평면 계획을 함으로 인하여 9열 외벽이 큰 초과 응력에 접하는 지경에 이르게 되었다. 지하실 외벽은 토압과 수압에 저항하는 중요한 구조 부재인데 이를 지지하는 것은 주로 바닥 슬래브이다. 그런데 8열 기둥을 삭제함에 따라 9열 벽체를 지지하고 있던 지하 1층 바닥 슬래브도 철거된 것이다. 그래서 지하 외벽이 밀려들어오지 못하도록 지지하던 바닥 슬래브 대신 외벽에다 구멍을 뚫고 어스앵커링을 하는 방법을 적용하였다. 초기에는 지하실 통로가 좁아 천공 장비의 진입이 불가능할 줄 알았으나 별 어려움 없이 시공할 수 있었다. 이 역시 앞으로 지하수위 변동 등 주변 환경 변화에 따라 어떤 변형이 일어날지 모르므로 어스앵커의 정착단에 로드셀을 부착하여 강선에 작용하는 하중 변화를 측정하고, 벽체가 혹시라도 구부러져 들어오지 않는가를 측정하는 계측기를 설치, 관리하고 있다.

혹, 그런 위험한 짓을 왜 하느냐고 걱정하는 기술자도 있다. 헐어 버리고 다시 짓는 것이 최상이라고 주장하기도 한다. 하지만 그런 생각을 하는 사람들만 있다면 세상에는 Golden Gate Bridge도 없고 남해대교, 영종대교나 서해대교도 케이블로 매다는 방식이 채택되지 못했을 것이다.

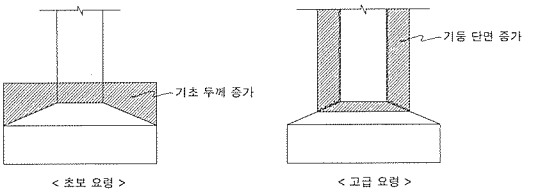
산이 있으므로 오른다고 한다. 우리도 애로사항이 있으면 그것을 극복하여 해결하는 방법을 연구하여 시행하는 것을 본 업으로 삼는 것이 바람직하다고 굳게 믿고 있다.

기둥을 잘라내면 그 기둥이 받던 하중을 다른 경로를 찾아 기초로 전달하게 된다. 마치 을지로가 데모로 차단되면 자동차들이 종로나 퇴계로로 돌아가는 것과 마찬가지로 기둥 축하중도 결코 하늘로 사라져 없어지는 것이 아니라 다른 기둥을 찾아 돌아가게 되는 것이다. 즉, 종로와 퇴계로가 그 교통량을 감당할 수 있도록 사전에 조치를 취해줘야

무리 없는 교통 소통이 이루어질 수 있다.

검토 결과 주변 B, D열 기둥은 당초 설계에 여유가 있어서 별도로 보강하지 않아도 되나, 기초는 내력이 부족함을 확인할 수 있었다.

예를 들어 애당초 시공된 기초가 지반 지내력을 평방미터당 30톤으로 가정해서 설계했던 것인데 준공 후에 조사해 보니 지반 상태가 좋아, 50톤도 가능하다고 하면 증축이 용이한 것은 말할 것도 없다. 하지만 여기서 간과하면 안되는 것은 지내력이 아무리 크다고 해도 기초 자체의 단면 설계가 더 큰 하중을 받을 수 있도록 보강되어 있지 않으면 안된다는 것이다. 이번 경우 역시 지내력이 큰 것은 다행인데 기둥 하중이 커지면 기초의 두께도 부족하고 철근도 부족함이 확인되었다. 일반적으로 이런 경우는 부족한 부분을 보충하고자 하는 것이 보강의 "초보 요령"이다. 그러나 한편 다른 각도에서 살펴보면 앞에 거론한대로 지하 2층 밑에는 쓰지 않는 빈 공간이 있다. 기초 두께를 추가하는 대신 기둥 크기를 증대시키는 것이 훨씬 수월하다. 기존 기둥 주변에 철근을 배근하고 콘크리트를 부어 넣으면 되기 때문이다. 앞에서 기둥 단면은 부족하지 않다고 했으나 이렇게 하면 기초의 위험 단면이 외곽으로 나가게 되므로 기초 두께가 얇아도 되며, 또한 기둥 표면에서 외부로 나갈수록 철근의 응력도 줄어들게 되므로 기초 보강이 없이 이른바 간접 보강만으로 안전성이 보장되는 것이다. 이 같은 보강 방법은 앞의 "초보 요령" 과 구분하여 "고급 요령"이라 불러도 손색이 없을 것이다. (그림 7 참조)



〈그림 7〉 기초 보강요령

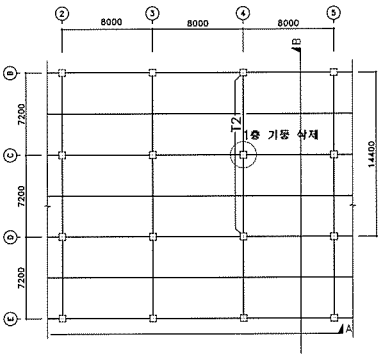
마. 00 방송국

94년도에 창고 건물을 방송국으로 개조한 구조물이다. 대대적인 보강과 증축이 이루어진 것인데 기둥을 잘라낸 부분만을 발췌해서 설명하기로 한다. 원래의 지하 1층, 지상 4층의 철근콘크리트 라멘조에다 1개층을 증축하고 지상 1층의 C-4열 기둥을 절단, 삭제하여 16m×14.4m의 무주 공간을 확보하는 것이다. 그렇게 되면 2층 바닥에서 지붕까지 5개층의 바닥 하중이 다른 경로를 통하여 주변 기둥에 전달되도록 조치를 취하여야 한다.

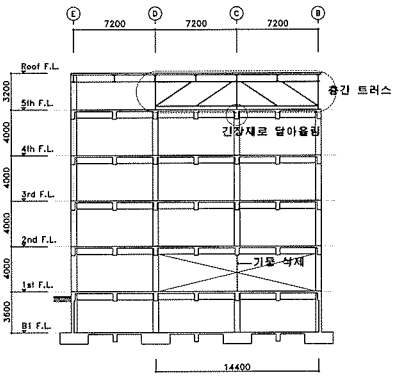
구체적인 해결 방안은 4열 B-D열 5층에서 6층 구간 한 개 층에 층 간 트러스를 설치하여 C-D열 5개층의 기둥 하중을 부담하게 하여 그 하중을 4열의 B, D열 기둥에 이관하는 것이다. 이런 공사에서 주의하여야 할 사항은 사전에 트러스를 걸고 긴장재로 기둥 하중을 달아 올리도록 한 후에 기둥을 잘라내는 것이다.

즉, 정확한 하중을 계산하여 필요한 하중을 유압 잭으로 당겨야 처짐 발생으로 인한 하자를 미연에 방지할 수 있다(그림 8-1, 8-2, 8-3 참조).

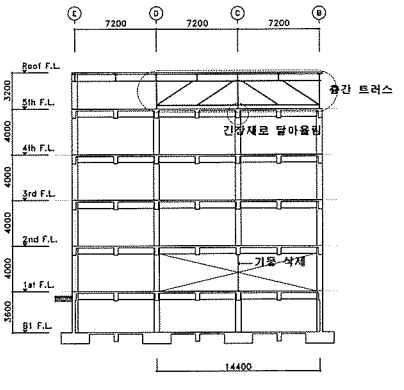
현재 서울에 있는 대형 호텔에서도 이 같은 기둥 절단을 위한 설계를 진행중이며, 현장 여건상 강선을 이용한 보강 방법을 활용하도록 구상 중에 있다.



〈그림 8-1〉 지붕층 구조평면도



〈그림 8-2〉 A 단면도



〈그림 8-3〉 B 단면도