

“P”빌딩 구조설계에 얽힌 이야기

Structural Designed Procedure of “P” Building

李昌男/센구조건축사사무소

by Lee, Chang - Nam

건축사지에는 매달 회원작품이 소개된다. 총 천연색으로 찍은 사진이 아름답고, 설계를 담당했던 건축사의 설명문이 매끄럽다.

가끔 설계 과정에서의 어려웠던 일, 작품구상 경과나 목표로 했던 생각 등을 정리한 명문들로 인하여 감격했던 경험도 있다.

그러나 한가지 아쉬웠던 점은 분명히 사진을 촬영하기 이전, 비록 볼품은 없었을지라도 그 건물을 안전하게 지탱할 수 있도록 하는 뼈대가 있었고 이 뼈대를 위하여 애쓴 구조설계를 담당했던 자가 있었을 터인데도 간혹 몇몇 인심 좋은 건축사를 제외하고는 구조설계자의 이름조차 밝히지 않는 것이 일반화되어 있는 실정이다. 하기가 서울역 앞을 지나가던 버스 안에서 약간은 남루한 차림의 사람이 “저 건물(대우센터) 내가 지은건데” 어찌고 하길래 유심히 엿들어 본즉 시공 당시의 미장공이었음이 확인된 적이 있다.

요즘에는 건물 하나에 들어가는 전문 분야가 수십 수백종이 되니 누구는 밝히고 누구는 빼기도 어려운 점이 있을 것이다. 하지만 그래도 구조, 기계설비, 전기설비 등 건물의 근간이 되는 설계자의 이름 정도는 적어 두는 것이 좋을 듯하다.

언젠가 대한교육보험 천안연수원 설계를 담당했던 재미건축가 김태수씨가 미국 CSA/AIA에서 작품상을 받은 적이 있는데 구조설계자인 센구조에도 덩달아 상장을 보내주는 것을 보고 오히려 당황했던 기억이 난다.

High-Tech 건축이라는 이름으로 구조방식과 재료가 외부에 노출된 건물도 가끔 있기는 하나 대부분의 건물 구조는 마감재로 뒤집어 씌우고 나면 사람들의 시선과 기억에서 사라지고 말게 된다. 오직 그 일에 참여했던 구조장이나 시공자들만 추억으로 간직하여 때때로 반추하는 것이다.

건축사지를 읽는 독자들 중에는 마감재로 포장된 천연색 사진 보다는 오히려 그 전의 과정에 관심을 가지고 알고 싶어하는 분들도 분명히 있을 것이고 구조에 관심있는 분들은 오히려 거추장스러운 마감재를 벗겨서 알몸 뿐인 골조(뼈대) 사진이기를 바랄지도 모른다.

이제 사진 촬영 기술도 없고 감언이설로 건축주의 주머니 끈을 풀게하는 실력도 없는 둔탁한 글로 여러분을 구조장어의 현장으로 안내해 볼까 한다.

오늘은 우선 최근에 마친 “P”빌딩 구조설계를 예로 들어 설명해 보고자 한다.

마치 화장술과 웨딩드레스로 한껏 멋을 낸 신부의 원래 모습을 확인한다는 기분으로 읽어 주시기를 바란다.

1. 구조 계획의 주체(구조계획은 누가 하는 것인가?)

구조계획은 구조 전문가에게 맡기라고 부르짖어 왔다. 그래야 합리적이고 경제적인 집이 된다는 구실을 삼았음은 물론이다.

그러나 날이 갈수록 그런 주장을 해도 씨가 먹혀 들어가지 않게 되었고 이제는 거의 포기상태에 이르렀다는 것이 정확한 표현인듯 싶다.

기둥과 보 사이 적당한 부위에 구멍을 내고 유리창을 붙이는 것이 건물의 외형이고, 창 구멍을 뚫고 남은 벽에다 타일을 붙일 것인가 아니면 값비싼 돌을 다듬어 붙일 것인가를 고민하는 건축사에게 기둥 간격은 이래야 건축비가 줄어들고, 보 높이는 저래야 층고가 줄어든다는 얘기가 설득력이 있었다.

그러나, 요즘 건축사들의 생각은 그게 아니다. 건물 총 공사비 중에서 골조 공사비가 차지하는 비율이 30%에서 점점 줄어들더니 이제는 20%대로

내려간 것이다. 따라서 예컨대 골조 공사비를 줄이고 줄여서 30%를 남겼다는 치더라도 총 공사비로 따지면 $0.2 \times 0.3 = 0.06$ 즉 총 공사비의 6%밖에 안되니 그게 뭐 대수냐?는 논법이다.

골조 공사비, 올라가 봐야 별거 아니라는 것이다. 게다가 건축 설계비는 총 공사비의 몇 %로 되어 있거나 아니면 공사비 액수에 관계없이 총액 얼마로 계약이 되다보니 눈에 보이지 않는 골조공사에 돈이 다소 많이 들어가건 적게 들어가건 관심이 있을 턱이 없다. 이 사정을 잘 아는 일부 몰지각한 구조 기술자들은 정성들여 시간을 허비해 가면서 이 방법 저 방법 고민할 생각을 버리고 쉽게, 간단하게 형식만 갖춘 구조 계산서 작성만으로 업무를 마치는 것이 횡행하고 있다.

그러므로 이제는 누군가 힘 있는 사람의 주장(목소리)만 크면 그가 원하는 방향으로 가는 것이 구조계획 현장의 실정이다.

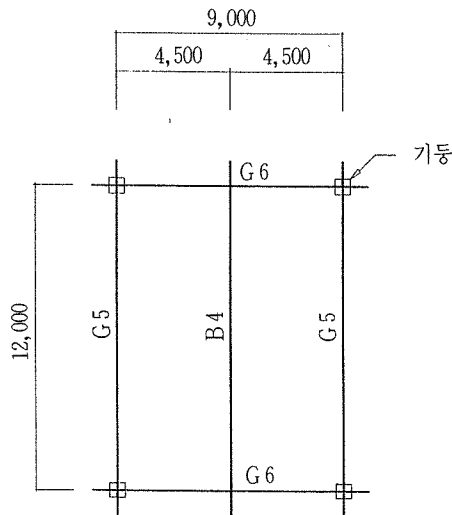


그림 1

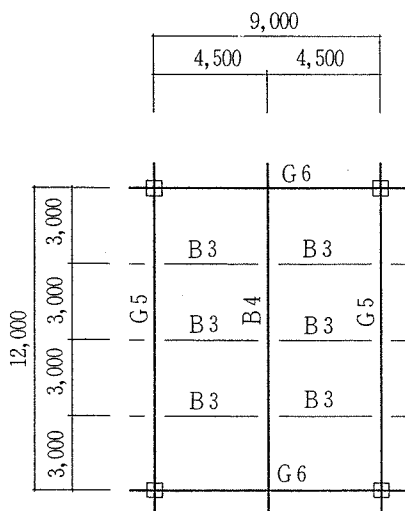


그림 2

이제 P 빌딩 지하실 바닥 골조계획을 예로 들어 설명해 보기로 한다.

무슨 건물이건 간에 수직 지지부재(기둥)의 가로, 세로 간격 결정은 구조계획의 가장 큰 요소이다. 그러나 연건평 약 55,000평이나 되는 거대한 Project 구조설계에 참여하게 된 것이 유감스럽게도 그 같은 기본 계획이 전부 확정된 이후 마지막 단계에서 이를 수용한채 국부적이고, 세부적인 사항, 즉 본 설계 차원에서만 손질을 할 수 있었음을 사전에 밝혀둔다.

원래 전쟁이 일어나면 크게 전략적인 차원에서 작전(기본계획)을 세운 후 그 작전에 알맞는 전술(본설계)이 뒤따름을 알 것이다. 구조계획도 이와 같은 절차를 거치는 것이라면 이해가 될 것이다. 어떤 경로로든간에 전략 차원에서의 작전이 세워졌으면 말단 부대에서의 전술은 그 작전 계획에 맞추어 최선을 다하는 것이 유능한 하급 부대장인 것처럼 기본 구조 계획이 다소 불만스럽다 해도 그 전체 조건을 그대로 수용하면서 거기에 맞는 세부 구조 계획을 발전시켜 나가야 한다는 뜻이다.

사람은 자기가 배우고 경험했던 익숙한 길로 가기를 좋아한다.

그림 1은 이미 정해진 지하실 기둥 배열이고 센 구조가 참여하기 이전에 계획된 초기 단계 골조이다. 그러나 지하실에서도 거푸집을 Deck Plate로 하겠다는 건축주의 의견을 수용하기 위하여 변경, 결정된 안이 그림 2 이었다고 한다.

지하실 바닥 슬래브의 Span이 4.5m 라면 별로 무리한 것이 아니고 Span 9m인 G6보 중앙에 Span 12m의 B4보를 얹는 것은 아무도 나무라지 않을 것이다. 그런데 건축주측에서 Span 4.5m로는 Deck Plate 거푸집이 불합리하다고 했을 때, 이미 설계했던 내용을 그대로 둔 채 가장 쉽게 변경하는 것이 그림 2였을 것이다. Span 4.5m 짜리 작은 보를 G5와 B4에 얹어 놓는다 해도 B4나 G5는 원래 계산했던 부재응력과 별 차이가 없을 것이므로 B3보만 추가하면 되기 때문이다.

여기까지가 일반 설계사무실에서 이루어지는 구조계획의 현황이다. 건축주의 의견을 받아 들이면서 이제껏 진행해온 설계도서를 가장 적게 건드려서 변경을 적게하는 것, 그래서 설계상의 추가 비용과 시간을 줄이는 것이다.

여기서 그림 1과 그림 2의 골조공사비를 비교해 볼 필요가 있다. 구체적인 계산 근거는 지면 관계로 게재하지 못하나 철골량만을 비교했을 때 대략 1:1.13으로 확인되었다.

이제 그림 3과 같이 9m Span을 3등분하여 3m 폭마다 12m Span 보를 배열하면 어떨까? 구조전문가가 아니라도 한번쯤은 시도해 보고 싶은 구조방식일 것이다. 군더덕 없이 필요한 곳에 보를 배치한 것으로 널리 활용하는 방법이다. 이것을 그림 1과 비교해 본즉 대략 1:0.96으로 약간 경제적인 것으로 계산되었다. 그림 3을 그림 2와 비교하면

0.85배, 즉 15%의 철골량 절감이 가능해지는 것이다. 그러나 한 단계 더 나아가 Air-Con, 또는 배기 Duct 를 위한 천장속 공간의 활용도까지를 감안한, 그래서 어쩌면 층고까지를 조절하여 공비절감에 큰 역할을 할 수 있는 다른 방법은 없을까?

그림 4의 방법을 시도해 보았다. 얼핏 보기에는 터무니 없는, 말도 안되는 구조로 치부할 수도 있을 것이다. 그러나 길고 짧은 건 대봐야 안다고 했다.

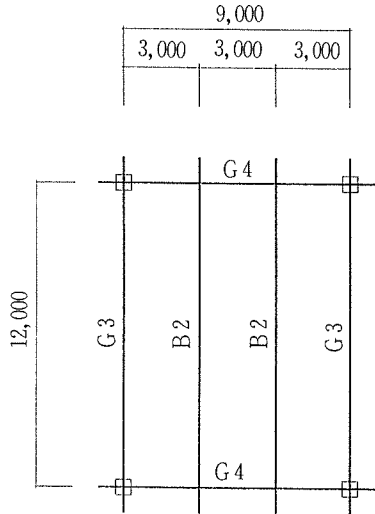


그림 3

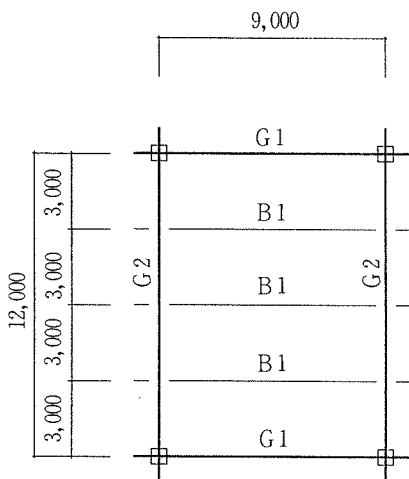


그림 4

결국 그림 1과 그림 4는 1 : 0.85라는 믿어지지 않는 결과를 얻게 된 것이다. 게다가 G 2보의 높이만을 의도적으로 크게 해서 Duct 가 지나갈

구멍을 뚫어주고 B 1과 G 1의 높이를 응력대로 줄여주면 설비, 전기 배관에 큰 도움이 되고 오히려 결과적으로는 층고가 낮아져도 되는 효과를 얻게 되는 것이다.

이렇게 한바퀴 돌아보니 먼저 가려왔던 그림 2와 새로운 안 그림 4와의 철골량 비교는 1 : 0.78로 22%의 절감을 보게 된 것인데 돈으로 환산하면 약 20억원에 달했다면 놀랄 것이다. 물론 그 20억원 중에는 B 1과 G 1을 상부바닥 슬래브와 Shear Connector 로 연결하여 합성설계한 효과도 포함되어 있지만 영원히 아무도 회수할 수 없는 20억원의 돈이 고스란히 남는 즐거움은 실제 고민하며 이리저리 궁리하던 자만이 누리는 특권일 것이다.

이상이 전략 차원에서 정해진 큰 테두리를 벗어나지 않는 범위내에서의 전술적 계획 효과라는 것을 알았다면 근본적인 구조계획까지를 감안한 변경이 허용될 때 얼마나 더 많은 이득이 있을지를 미루어 짐작할 수 있을 것이다. 실제로 골조공사비 20~30%가 왔다 갔다 하는 것은 항상 접하는 일이고 심하면 50%에 달하는 낭비를 무지 또는 무관심 때문에 자행하는 일들이 지금도 계속해서 일어나고 있다.

그러나 한가지 더 아쉬운 일은 구조안전진단 업무를 하는 과정에서 느끼는 일들인데 이같이 공사비를 필요 이상 낭비했는데도 안전성에는 큰 구멍이 나는 건물들이 너무나 많다는 것이다.

재료를 많이 쓰고 공사비를 많이 투입하면 집이 튼튼해지는 것이 당연해야 할텐데 그게 아니니 답답한 일이다. 키가 크고 체중이 많이 나간다고 해서 다 힘세고, 오래 사는 것이 아닌것과 마찬가지로.

구조는 필요한 곳에 필요한 크기의 부재가 합리적인 방법으로 연결 부착되어야 튼튼하다. 균살이 없어야 하고 균형잡힌 구조라야 한다는 뜻이다. 실제로 나의 친구 하나는 185 cm 키에 건장해 보이는 체격의 미남인데도 단지 무릎관절의 약함 때문에 제대로 뛰지도 걷지도 못하는 병신노릇을 하고 있다. 어떤 보는 필요이상 큰데 다른 것은 어렵없이 부족하기도 하고, 보는 튼튼한데 기둥이 약하기도 하다. 다 잘 나가다가 마지막 단계인 Bracket, Base Plate 나 기초, 때로는 접합 Detail 의 하자로 말썽이 나기도 한다. 구조계획, 계산은 Fashion Designer 나 무슨 Interior Designer 처럼 어느 부분에 액센트를 주고, 기분나쁜 크기도, 작게도 조작하는 것이 아니라 우직스럽고 성실하게 힘의 흐름 경로를 파악 대처하는 지루한 싸움의 산물이어야 한다.

2. 없으면 만들어 내야 한다.

게으른 주부는 인스턴트 식품을 좋아한다. 하기는 요즘은 슈퍼마켓에 가면 물 붓고 끓이기만 하면 먹을 수 있는 생선매운탕까지 있으니 서투른 솜씨로 이것저것 만들다가 실패하는 것 보다 나올지도 모른다. 그러나 P 빌딩의 경우는 기둥 하나의 축하중이 6천여톤이나 되므로 만족할 기제품

철골부재가 없음은 말할것도 없고 용접제작으로도 국내에서는 그같은 것을 경험한 적이 없다. 일반적으로 철골구조로 계획하는 건물의 설계하중은 고정하중과 적재하중을 합해서 바닥면적 1m² 당 1톤을 넘지 않도록 유도한다. 간벽도 경량으로 하고 외국에서는 바닥 콘크리트도 경량으로 설계한다. 이렇게 하중을 줄이고 줄여서 예컨대 0.8t/m²으로 해결된다면 기둥이 6m × 12m로 배열된 평면에서 가운데 기둥의 축력은 한층당 0.8 × 6 × 12 = 57.6톤이며 이것이 100층이면 1층 기둥 축하중이 5,760톤이 된다. 여의도 63빌딩의 최대 기둥 축력이 3천톤이고 55층 한국종합무역센터의 최대 기둥 축력이 2,800톤이니 약 2배의 값이 된다.

63빌딩의 기둥은 최대 외곽 크기 600 × 700의 Box로서 강판 두께는 100 mm의 수입 자재인데 한국종합무역센터는 국산 자재 사용을 조건으로 했기 때문에 800 × 800 Box에 50 mm 두께로 설계했다. 당시만 해도 POSCO에서 50 mm를 넘는 강판의 품질을 보장하지 못했었기 때문이다.

이제 P 빌딩의 기둥을 두께 80 mm까지 품질보장한다는 POSCO 강판으로 외곽 Size 800 mm가 넘지 않게 되도록 설계하려면 어떻게 할 것인가?

한편 Box Column의 단점은 Box 내부의 Diaphragm 부착을 위하여 CES 용접법이 도입되어야 하는데 그 설비와 경험을 갖고 있는 업체가 국내에 2개소(63빌딩 공사 경험 현대와 무역센터 시공자 삼성) 뿐이라는데 문제가 있다. 그래서인지 몰라도 가급적 Box 이외의 방법으로 설계해 주기를 바라는 눈치이다. 선구조가 처음 참여했을 당시 건축주측에서는 당연히 H형강으로, 부족한 단면은 HH 또는 HHH으로 보강 계획한 것을 보았다. H 또는 HHH형으로 제작하기 위하여는 접합 용접 개스가 많아지게 마련이다. 용접열로 뒤떨어짐을 방지하기 위한 특별한 조치가 마련되어야 하며 위아래 기둥 이음에서도 어려움이 뒤 따른다.

필요는 발명의 어머니라고 한다. 이번 P 빌딩 구조설계에서 얻은 것이 있다면 최초로 H형 기둥 단면을 고안해서 사용했다는 점이다. 알고보면 간단한 것이고 누구나 생각해 낼 수 있는 형태의 단면이다. 만들어 놓고 보니 H형강을 2개 나란히 붙여 놓은 것과 같은 형상이고(ㄱㄱ) 한글에서 ㄱ형이라고나 할까? Double Web라 해도 좋고 Double H라고 해도 좋을 단면이다.

말 만들기 좋아하는 사람 같으면 P 빌딩 즉 한글로 ㄱ자를 따서 ㄱ형 기둥을 썼다고도 할만 하다. 이 새로운 단면 형태는 X방향 단면 성상이 H형강의 Web를 절반 두께짜리 2개라고 생각하면 다를바 없으며 Y방향 단면 성상은 H형강의 경우보다 분명히 유리하다. 즉 Web가 도심에서 멀어졌기 때문에 단면계수와 단면 2차 모멘트가 크다. 즉 H형강의 Y방향에 대한 무력함을 보완해주는 장점이 있다. 단면적은 Box형과 다를바 없으며 H형강과 비슷하여 재래식으로 제작이 가능하다. 어느 면에서는 H형강보다 제작상

간편하다고 할 수 있을 것이다. 다만 H형 기둥 이음이 Bolt로는 불가능한데, 두께 80 mm 정도의 강판을 사용한 대형 기둥의 이음은 그 단면형태에도 불구하고 어차피 용접이음이야 하므로 그것이 단점으로 취급되지는 않는다.

기타 보와의 접합상세는 일반 H형강과 다를바 없는 것으로 "누이 좋고 매부 좋은" 새로운 단면이다.

이것이 지금까지 발명, 고안되지 않은 것이 이상할 지경이며 앞으로 널리 사용될 것임을 확신한다.

3. T.M.C.P.(Thermo Mechanical Control Process) 강의 사용

강구조계산 규준에 의하면 강판 두께가 40 mm를 초과하면 허용 내력이 10%로 줄어들게 되어있다. 응력이 커서 강판 두께를 늘였더니 자재의 허용 내력이 줄어들어서 두께를 더 많이 키워야 하는 약올리는 규준이다. 규준을 만든 사람들이 누구를 골탕먹이려고 그런 것이 아니니 어쩔 수 없이 지켜야 한다. 같은 단면부재 중 어느 부위는 40 mm 이하이고 기타는 40 mm를 초과할 때(예를 들면 그림 5와 같이 H형강의 Flange 두께는 40 mm를 초과하고 Web 두께는 얇을 때) 그 처리가 난감하다. 마치 고강도철근(Hi-Bar)과 보통 철근을 섞어서 배근할 때와 같은 골치아픈 현상이다. 그런데 포항종합제철에서는 최근에 T.M.C.P. 강이란 새로운 질의 강판을 제작 공급하게 되었다는 반가운 소식이다. 아직은 우리나라 설계규준에 반영되지 않았으므로 Project마다 심의를 받아야 가능한 단계이나 이 Project에서는 이미 사용해도 좋다는 승인을 받아 놓은 상태라 어려움 없이 적용할 수 있었다. 즉 두께가 40 mm를 초과해도 40 mm 이하의 강판과 같은 허용 응력도를 인정하여 설계한다는 뜻이다.

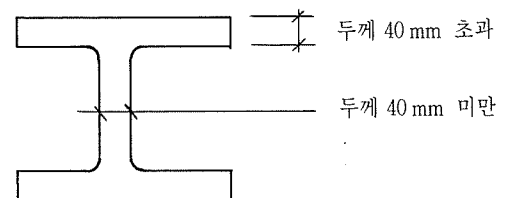


그림 5

T.M.C.P.의 뜻을 문의했다.

전문용어라 무슨소리인지는 잘 모르겠으나 "제어압연과 제어냉각 공정을 병용하여 제조한 것으로서 주로 선박이나 해양구조물용 소재로 사용하는 것인데 용접성이 좋고 강도, 인성이 크게 향상된 강판"이라는 설명이다. 본 Project에 두께 40 mm가 넘는 강판은 T.M.C.P.로 설계한 바 편하기도 하고 신기하기도 했다.

(다음호에 계속)