

K타워 V.E.

Value Engineering of K Tower

이창남 / (주)센구조연구소 대표이사
by Lee Chang-Nam

2002년 가을 현장에 부임한 K 건설회사 직원이 첫 날 출근했다 돌아오자마자 걱정이 태산 같다고 투덜댄다. 건설공사 현장에서는 휴일도 반납해야 한다는데 그것도 모자라 밤낮도 없이 일해야 할 판이라고 한다. 본사 영업부에서 모기업인 건축주와 당초 약속한 공기는 21개월인데 크리티컬 패스를 이리저리 돌려가며 공정표를 조정해 봐도 절대 공기가 24개월은 필요함을 확인한 것이다.

영업부에서는 벌써 입주자들과 100% 분양계약을 맺었으며 분양 대금의 30%는 미리 받아 놓은 상태였다. 분양자들이 장기저리융자를 받을 수 있는 좋은 조건이라 그런 사태가 벌어진 것이라고 한다.

현장에는 비상이 걸렸다.

지하 1층 지상 15층 연건평 17,000평의 철근콘크리트 건물이다. 기초는 직경 450mm인 PHC 말뚝지정에 독립기초로 설계한 것이고 말뚝 박기는 당연히 소음진동을 방지하기 위해 구멍을 뚫어 심어야 하는 형편이다.

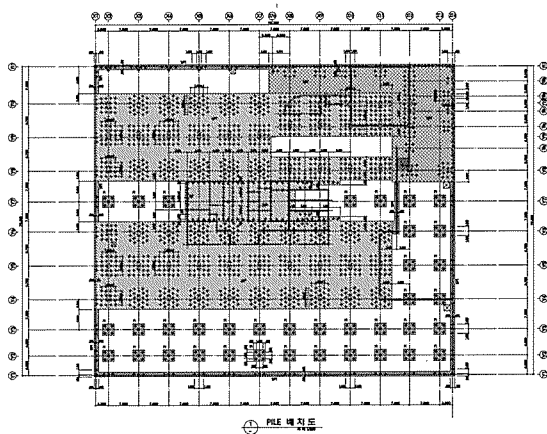
설계한 건축사사무소는 국내 우수업체이고 구조설계도 유명 구조기술사사무소에서 담당했으며 부지 지반 조사보고서는 보기 드물게 컬러로 복사된 두꺼운 것이었다.

현장에서는 직접공사비가 다소 더 드는 한이 있어도 공사기간을 줄이는 방법을 찾고 있는 중이었다. 공사기간을 1개월 단축하면 금융비용까지 감안하여 약 3억원정도의 경비가 절감되기 때문이기도 하다.

첫 번째 희망 사항이 말뚝 개수를 몇 개라도 줄였으면 좋겠단다. 구조 도면을 얼핏 보아도 말뚝이 너무 촘촘한 것 같아 보였다. 하지만 건물 용도가 적재하중이 큰 아파트 형 공장이라니 그럴 수도 있을 것이다.

의사가 히포크라테스 선서를 했어도 환자가 없으면 굶어야 하며 10년 동안 불이 나지 않으면 소방수는 사직서를 내야 한다. 마찬가지로 건설 현장에 그런 문제점이 없으면 우리 사무실은 문을 닫아야 할 판이다. 우리 사무실의 주요 업무 중 하나가 이른바 Value Engineering이기 때문이다. 따라서 어쩌면 미안하지만 위와 같은 문제점이 있음을 발견하면 눈동자가 반짝거리기 시작한다.

구조설계에서 가장 어려운 일 중 하나는 설계가 진행되는 동안은 말할 것도 없고 도면 납품 후 시공 중에도 수시로 설계변경을 요구해 오는 것이다. 만약 처음부터 구조 설계를 여유 있게 해 두었다면 다소간의 변경은 부담 없이 수용할 수 있으나, 아슬아슬하게 경제적으로 설계한 것이라면 하중 추가가 불가능하다. 이럴 때는 처음으로 되돌아가서 검토하는 수고를 해야 하며 거기에 맞물려서 도면까지 수정하는 수고를 감수해야 한다.



- 기초 형식 : Pile 기초
- 기초 두께 : MF1(THK.=1800) MF2(THK.=1200) F1,F2,WF1(THK.=800) FS(THK.=400)
- 사용철근 : 주철근 HD29(SD50)

그림 1 말뚝기초 평면도

우리나라 건축계의 사정은 선진 외국과 달라 설계변경비를 추가로 받아내기가 쉽지 않으니 처음부터 아예 튼튼하게 설계해 두는 것이 마음 편하다.

또한 시공 정밀도를 제대로 보장하는 성실업체가 시공하는 것이 아니면 후에 안전사고가 발생하는 경우까지를 감안하여 처음부터 여유 있게 설계해 두는 것이 신상에도 유리하다.

누누이 얘기하지만 골조공사비가 조금 싸진다고 해도 칭찬해 주는 사람은 별로 없다. 그러므로 시공자가 특별히 신경 쓰지 않고 적당히 공사해도 안전이 보장되도록 넉넉하게 설계해 두면 모두가 좋은 것이다. 감리자도 마음씨 좋은 아저씨처럼 어슬렁어슬렁 왔다갔다 세월만 보내도 된다.

건축주에게는 또한 얼마든지 그럴듯하게 설명하여 설득할 수 있다.

“다른 것은 몰라도 기초가 약하면 건물에 치명적인 문제가 발생할 수 있고 더구나 혹시라도 후에 건물 사용 중 증축을 하거나 이리저리 변경할 일도 생길 것인데 그

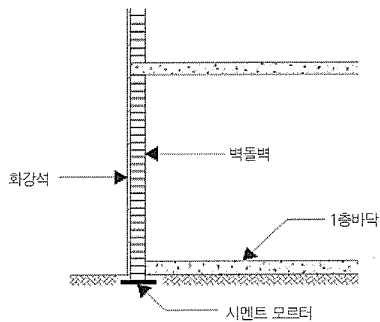


그림 2 기초 없이 지은 벽돌 집

때를 대비해서 기초에는 다소 여유 있게 투자해 두는 것이 현명하다.” 고 설명하면 그만이다.

또한 “혹시 지진 등 예기치 못했던 불상사가 일어나더라도 기초가 튼튼하면 큰 사고는 방지된다.” 고 하면 누가 감히 그런 걱정 말라고 고집을 부릴 것인가?

기초가 튼튼해야 한다는 말은 귀가 아프게 들어왔다.

오죽하면 영어공부도 기초가 튼튼해야 한다고 말하겠는가?

이렇게 이리저리 생각하다 보면 기초는 아무리 튼튼해도 미흡한 것 같은 불안감이 들게 된다. 따라서 어제도 오늘도 영원히 회수할 수 없는 필요 이상의 기초공사비가 끊임없이 땅속에 묻히고 있다.

이상과 같이 낭비가 심한 기초가 있는 반면에 어찌면 벼랑 끝에 매달린 소나무처럼 위험한 기초도 있다. 요즘에는 그런 현상이 별로 없지만 20-30년 전에 지은 집들 중에는 기초가 아예 없는 것들도 수두룩하다. 물론 지금도 그때 지은 집들이 많이 남아 있다.

폭과 깊이가 20-30cm 정도 되도록 도랑을 파고 5cm 정도 두께의 시멘트 모르타를 깐 후 그 위에다 벽돌 벽을 쌓고 바닥 슬래브를 시공하여 2-3층 집을 짓는 것이다. 물론 외벽에는 화강석을 붙여서 이른바 돌집으로 둔갑시키고 담장이나 대문에는 청기와를 얹는 것을 잊지 않는다.

이런 기초 없는 집도 짓자마자 입주하면 별로 큰 문제가 발생하지 않으니 이상한 노릇이다. 가을철에 지은 집이 비워둔 채로 겨울을 나면 벽마다 이리저리 균열이 발생하는데 주로 땅이 얼어 부풀어 오름에 따르는 변형이 균열의 주요 원인이며 지내력이 부족하여 가라앉아서 생긴 하자는 오히려 적은 편이다. 그래서 지금도 이런 기초 없는 집이 버젓이 서있다고 감히 말할 수 있다.

우리 조상들은 대부분 주춧돌 위에 통나무기둥을 세워서 집을 지었다. 오래된 절도 그렇고 아흔 아홉 칸 대갓집도 마찬가지다. 기초란 붉은 통나무를 잘라 만든 “달구”를 사용하여 잡석을 다지고 그 위에다 주춧돌을 얹은 것에 불과하다. 옛날 집은 단층집들이니 그럴 수 있다고 생각할

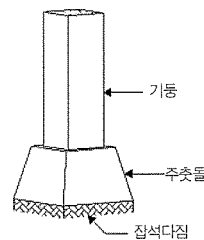


그림 3 주춧돌

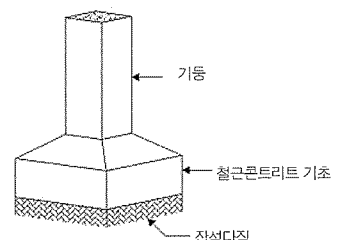


그림 4 잡석지장 위 철근콘크리트 기초

지 모르나 한식 기와집의 아름다운 곡선을 진흙으로 조성한 것을 보면 그 무게도 만만치 않음을 알 수 있을 것이다.

물론 지금도 이렇게 집을 짓자고 주장하는 것은 아니지만 다른 각도에서 음미해 보면 우리가 오늘날 기초공사에 너무 낭비를 하는 것이라는 생각이 든다.

우리나라가 일본의 지배를 받게 되어 일본식 건물이 들어서기 시작했다. 기초는 당연히 잡석을 다진 지정 위에 철근콘크리트독립기초로 시공하는 것이 표준이다 시피 알려져 있었다. 일본 땅은 연약지반이 많은가보다. 특히 동경 지방의 토질이 그렇다. 따라서 그들은 땅을 파고 잡석다짐도 없이 기초 콘크리트를 부어넣는 것은 상상할 수도 없다. 땅을 파면 당연히 구정물이 나와서 장화를 신어야 할 만큼 질척거리므로 잡석을 다져 넣지 않고는 기초공사가 불가능하다. 이런 이유로 관행화 된 일본 기술을 비판 없이 받아들인 결과 우리나라에서는 경질지반도 애써서 파내고 잡석다짐을 한 후 기초공사를 한 건물도 많이 있다.

해방 후 미군들이 사용하는 도면을 보니 그들의 기초는 잡석다짐 없이 땅을 파고 버림 콘크리트만 친 후 그 위에다 직접 철근콘크리트 기초공사를 하는 것을 접하게 되었다. 이를 모방하여 건축도면에서 잡석지정이 사라지게 하는데도 꽤 많은 노력과 시간을 허비했다. 한번 익숙해진 관행을 고치는 것은 중독 된 담배를 끊는 것 만큼이나 어렵다.

연약지반이란 하중이 작용했을 때 조금씩 두고두고 침하하며 최종 침하량의 절대치가 큰 것이 특징이다.

그러므로 같은 연약지반에서 일부분 말뚝기초를 하고 나머지를 직접기초로 공사하면 부동침하가 일어날 것을 염려하는 것이 당연하다. 하지만 예를 들어 대지 절반 한 쪽은 연약지반이라 하는 수 없이 말뚝을 박지만 나머지 부분은 경질지반이어서 직접기초로 설계한다고 하면 무슨 일이 일어날까? 말뚝기초도 가라앉지 않고 경질지반에 시공한 직접기초도 가라앉지 않으면 당연히 두 가지 종류의 기초 사이에는 부동침하도 일어나지 않을 것이다.

그럼에도 불구하고 동일 건물에 두 가지 종류의 기초를 적용하면 절대 안 되는 것으로 알고 있는 애송이 기술자가 너무나 많다.

이 건물이 그 대표적인 예이다.

천연색으로 복사된 지반조사보고서의 토질주상도를 살펴보니 기초 레벨에서 대부분은 표준관입시험치가 50 이고 일부에서는 최소 12인 풍화토이다. 그러나 표준관입시험치가 크지 않은 연약지반도 1-2m 정도만 파고 내려가면 거의 모두의 표준관입시험 값이 25를 넘는 양질의 지반이다.

이런 좋은 지반에 무슨 이유로 말뚝을 박도록 설계를 했을까? 건축구조기술자는 토질에 관한한 토질전

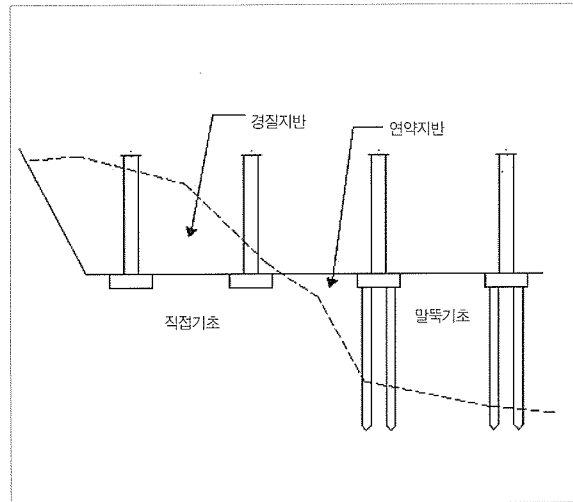


그림 5 하나의 건물이라도 상태가 다른 기초의 종류도 달리 하는 것이 당연하다.

문가 보다는 경험이 부족할 수가 있다. 그래서 대규모 건물을 설계할 때는 토질 전문가에게 용역비를 지불하여 지반조사를 하도록 한 후 그 결과를 참고하여 기초설계에 임한다. 이 경우도 건축구조기술자는 건축주가 미리 발주하여 시행한 토질기술사의 토질조사결과보고서를 넘겨받아 내용에 적혀 있는 대로 기초설계를 한 것이다. 지상 15층+지하 1층 부분과 지상 6층 + 지하 1층의 주차장 부분 및 지하 1층만 있는 부위 모두가 말뚝기초이다.

지상 15층+지하 1층 부분에 말뚝을 박는 것은 그나마 이해할 수 있다. 하지만 지상 6층 지하 1층에 불과한 주차장 부분과 지하 1층뿐인 저층부에게까지 말뚝을 박도

표 1(a) 직접기초 지지력 산정조건

공번	표고 (EL+)	심도 (GL-)	기초 형태	내부 마찰각(°)	단위중량 (tf/m ³)	점착력 (tf/m ²)	군입깊이 (m)	해당지층	적용N값
BH-1	12.4m	8.8m	직접기초	33°	1.9	0	1.0m	풍화토	50회
BH-2	12.4m	8.8m	"	31°	1.8	0	1.0m	풍화토	36회
BH-3	12.4m	8.7m	"	26°	1.7	0	1.0m	풍화토	12회

표 1(b) 직접기초 지지력 계산결과

공번	표고 (EL+)	심도 (GL-)	지지력산정방법	허용지지력 (tf/m ²)	허용지지력 적용값 (tf/m ²)	비고
BH-1	12.4m	8.8m	Terzaghi	23	21	
			Meyerhof	30		
			Brinch Hansen	21		
BH-2	12.4m	8.8m	Terzaghi	16	15	
			Meyerhof	20		
			Brinch Hansen	15		
BH-3	12.4m	8.7m	Terzaghi	11	11	
			Meyerhof	13		
			Brinch Hansen	12		

록 설계하는 것은 지나친 것이다. 이 같은 설계가 오히려 자연스럽게 통용되는 이유는 앞에 설명한대로 한 건물에 여러 가지 다른 기초 형식을 채택하는 것을 꺼리는 관행 때문이기도 하다. 물론 대지 전체를 파서 지하실을 짓도록 설계한 것이어서 건물의 높낮이에 관계없이 모든 기초는 서로 같이 연결되어 있다.

지반조사보고서 내의 “기초형태의 선정”이라는 난에 다음과 같은 내용이 기재되어 있다.

“구조물의 설계하중을 40tf/m²로 가정할 때 예정 기초면에 해당하는 지반의 허용지지력은 이 조건을 만족하지 못하므로 직접기초보다는 말뚝기초가 적합하다.”

또한 그 아래 “지지력 검토” 난에는

“지지력: 'N' 값이 12-50회인 풍화토의 경우 11-21tf/m² 내외” 라고 써 있으며 그 계산 결과를 표 1로 제시하였다.

표준관입시험치에 따라 Terzaghi, Meyerhof 및 Brinch Hansen 공식에 각종 조사 자료를 대입해서 그 중 가장 작은 지지력 값들을 골라낸 결과 표준관입시험치 N=50인 지반은 장기허용지지력이 21tf/m², N=36일 때는 15tf/m²이고, N=12일 때 11tf/m²이라고 판정하였다. 또한 PHC 파일로 설계할 경우 풍화암까지 SIP로 매입시키라고 제시하고 있다. 이 주상도에서는 N=50/12 이상은 풍화암으로 분류하고 50/13 이하는 풍화토로 취급하고 있다.

토질 및 기초기술사가 용역비를 받아 시행하여 정식 보고서를 제출한 위의 내용을 건축구조기술사가 무시하고 다르게 설계하는 것은 쉽지 않았을 것이다.

이렇게 해서 직경 450mm인 90tf 내력의 PHC 말뚝을 1,962개나 박는 기초설계도서(그림 1 참조)가 작성된 것이다.

토질 조사는 공사를 시작하기 전에 굴토공사의 난이도를 알아보려는 목적도 있겠지만 우선 건축 기초설계 방향을 정하기 위하여 시행한다. 그렇다면 토질조사 시행 전에 구조설계자와 상의를 해야 옳을 터이지만 대부분 그런 절차를 거치지 않고 건축주나 건축사의 지시를 받아서 시행한다. 이 경우는 어떤 경로로 지반조사가 이루어졌는지 모르겠으나 앞에 구조물의 설계하중을 40tf/m²로 가정한 것을 보면 아마도 사전에 구조설계자와 심도 있는 상의를 한 것으로 보이지는 않는다. 지하 1층 지상 15층 건물 기초를 위하여 40tf/m²의 지내력이 필요하다는 근거가 무엇인지 알 수 없다. 물론 기초를 크기가 작은 독립기초로 설계하려고 마음먹기만 하면 40tf/m²이 아니라 100tf/m²의 지내력도 모자랄 수 있다. 기초 크기를 줄이고 줄이다 마지막 단계가 되면 기초가 아예 없어지는 지경에 이를 것이다. 전주는 구멍을 뚫어서 심

어놓은 것에 불과하므로 기초가 아예 없다. 시트파일이나 연속벽(slurry wall)을 수직 구조부재로 겸용하는 경우에도 기초가 따로 없는 것이다. 그러므로 도심지에 짓는 건물은 매트 기초로도 해결할 수 없는 최악의 연질지반일 경우에 한해서 말뚝기초로 설계하는 것이 현명할 것이다.

이제는 도심지에서 말뚝을 때려 박는 공법이 용납되지 않는다. 소음과 진동공해 때문이다. 또한 때려 박는 공법의 말뚝이 가능하다고 해도 무려 90tf/m²나 되는 큰 용량의 말뚝을 박는 장비를 구하는 것이 쉽지 않다. 예를 들어 흔히 말하는 디젤해머를 알아보기로 하자. 세상에서 가장 간단한 말뚝 공식은 5S 공식이다. Ra=F/(5S+0.1)에서 Ra 즉 말뚝의 장기허용지지력이 90tf/m²일 때 말뚝이 들어가지 않을 정도(최종관입량 S=0)까지 박기 위한 최소 규격 디젤해머의 F는 9tf/m이다. 즉 10tf/m 정도의 대용량 디젤해머가 필요하지만 그런 것은 항만 공사 등에서나 쓰는 것이어서 건축공사장에서는 별로 사용하지 않는다. 따라서 싫어도 사전에 구멍을 뚫어서 심는 방법을 적용하여야 한다. 이렇게 되면 당연히 동재하시험이나 정재하시험 등으로 지지력을 확인하는 절차를 거쳐야 기초공사를 속행할 수 있다. 그 공사 기간이 아무리 짧게 잡아도 2달은 걸리고 말뚝 재료값이 6억원이며 말뚝 박는 공임은 3억원이 필요하다. 그러므로 만약 말뚝공사를 생략할 수만 있다면 공사기간 2달 단축에 따르는 간접비 6억원+말뚝값 6억원+공임 3억원을 합하면 15억원이 된다.

지금까지 수많은 건물을 설계했으며 그대로 시공하여 사용 중이지만 표준관입시험치가 40 이상인 경질 지반에는 말뚝을 때려서 박기가 쉽지 않으며 또한 그럴 필요도 없다. 그러므로 설사 그런 땅에 말뚝을 박으라는 설계도서라도 시공하는 과정에서 말뚝이 들어가지 않으므로 설계변경을 하게 된다. 그러나 이번 경우처럼 구멍을 뚫어서 말뚝을 심으라고 한 경우는 그런 부당성도 발견되지 않는다.

앞에서 부분적으로는 1-2m 정도 파고 내려가야 경질 지반이 나타난다고 했다. 그래서 최악의 경우 그 부분을 좋은 흙으로 치환할 생각으로 말뚝 전부를 삭제하는 대신 매트기초로 설계변경 할 것을 건의했다. 구조계산을 확인한 결과 매트기초로 설계할 경우 15층 부분에서 필요한 최대 지내력은 25tf/m²이고 저층부의 소요지내력은 10tf/m²에 불과함을 확인하였다. 즉 앞의 40tf/m²는 아무런 근거가 없는 것이다.

가끔 치환하라고 하면 빈배합콘크리트를 부어 넣는 방법으로 설계하는 것을 보는데 이는 너무나 큰 낭비를 조장하는 행위다. 예를 들어 지내력 40tf/m²이라는 것은 불과 4kgf/cm²라는 뜻이므로 허용압축강도가 10배도 넘는 값비싼 콘크리트로 대체할 필요는 없는 것이다. 따라서 가능하

면 모래물다짐이 적합하다.

모래는 진흙과 달라서 물을 부어가며 다지면 체적이 줄어드는 특징이 있다. 그러나 이 현장에서는 모래 대신 폐골재를 사용하기로 했다. 폐골재는 본 건물을 짓기 전 창고로 사용하던 옛날 건물을 헐어내는 과정에서 나오는 콘크리트를 현장에서 분쇄하는 것을 보았으므로 그것을 사용 하라고 한 것이었는데 현장 사정이 허락하지 않아 일단 장외로 반출해서 팔았다가 다시 다른 곳에서 사다 쓰게 되었다. 하지만 이번 일을 하는 과정에서 폐골재가 모래보다 훨씬 싸다는 것을 알게 된 것도 소득이다. 폐골재의 값이 그렇게 싸 이유는 건축폐기물 처리장으로 가면 돈 주고 버려야 하는데 이를 잘게 부셔서 팔면 정부에서 보조금까지 받는 모양이다. 주로 도로포장에서 보조기층으로 활용한다고 한다. 폐골재만을 그대로 다지는 것이 불안했는지 현장에서는 시멘트 물을 부어가면서 다졌다고 한다.

원래의 독립기초를 매트기초로 바꾸고 외벽을 합리적으로 수정하는 것으로도 철근콘크리트 공사에서 1 억원정도를 추가로 절약하였는데 꼭 필요한 부분의 환토(치환)를 위하여 소요된 비용은 600만원에 불과하였다.

이 같은 V. E.를 시행하는 과정에서 부딪치는 가장 큰 저항은 원 설계자와의 갈등이다. V. E.의 기본은 "원 설계"라는 기본 바탕이 있어야 한다. 즉 처음부터 말뚝을 사용하지 않은 설계였다면 삭제할 말뚝도 없으므로 V. E. 자체가 성립되지 않는다. 이럴 때 원 설계자를 못마땅하게 여겨서 설계비를 깎으려 하는 건축주도 있다. 또한 대부분의 경우는 원 설계자에게 이 같은 설계변경(도면 변경 및 변경 허가 등)에 따르는 수고비를 주지 않으려 하는 건축주도 있다. 그렇게 되면 V. E. 프로젝트 하나를 시행할 때마다 원수가 하

나씩 생겨나는 부작용을 각오해야 한다. 그런 일은 절대로 있어서는 안 된다.

어느 대지에 집을 짓는다는 것은 대단히 뜻 있는 일이다. 우주의 어느 한 점에 불과하지만 그 대지는 유일한 것이다. 그 건물을 짓고 나면 앞으로 수명을 다하여 헐어버릴 때까지 수십 년간 그 땅을 홀로 독점하는 어마어마한 특권적인 행위이다.

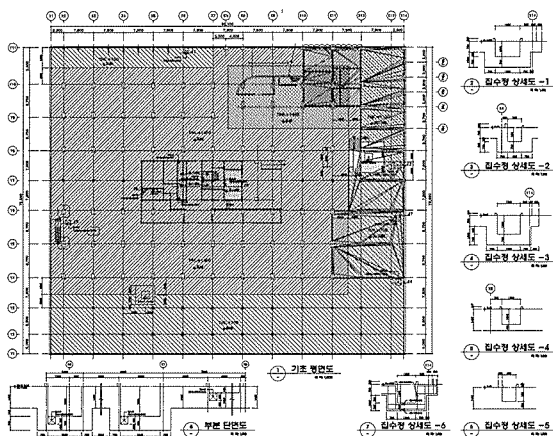
그런 건물을 설계하는 것이므로 2번 3번 설계해도 부족하며 쥐꼬리만한 설계비를 10번 지불해도 아깝게 여기지 말아야 한다. 공사비에 비하면 설계비의 비중이 너무 적기 때문이다. 누가 설계해도 다른 사람이 다른 시각에서 보면 개선할 점이 발견되기 마련이며 자기가 설계한 것이라도 다른 각도에서 연구해 보면 더 좋은 방법이 생각나는 것이 설계의 속성이기 때문이다. 그러므로 V. E.가 이루어질 기본 조건은 기존 설계도서를 다른 방법으로 변경함으로써 얻을 수 있는 이익 중 변경 설계비를 지불하고도 발주자나 시공자에게 돌아갈 몫이 충분해야 한다.

위 프로젝트는 앞에 거론한 바와 같이 당초에는 공사비가 다소 증가하는 한이 있어도 공사 기간을 줄일 수만 있다면 시행할 생각이었는데 말뚝 공사를 생략함으로써 인하여 공사 기간도 단축되고 공사비까지 절감되는 효과를 얻게 된 것이다.

길거리에서 현금이 들어있는 지갑을 주웠을 때 주인을 찾아 돌려주면 민법상 10%를 보상금으로 받을 수 있는 권리가 있다고 한다. 정부에서는 시공자가 대안을 제시하여 공사비를 절감했을 때 절감액의 50%를 보상금으로 준다는 법규가 있다. 그러면 위와 같은 V. E.의 대가는 얼마가 적당할 것인가? 사전에 당사자들끼리 약속을 해 두어야 한다.

실제로 공사비가 얼마나 절감되었는지를 계산하는 것도 그렇게 쉬운 일은 아니다. 견적하는 사람에 따라 큰 차이가 나기 마련이다. 그래서 이렇게 제안을 했다. 견적은 시공자가 더 잘할 것이므로 시공자가 양심적으로 하는 것을 전제로 하여 그것을 따르고 공기 절감으로 얻는 이득은 모두 시공자(여기서 시공자는 발주자를 겸함) 몫으로 하되 실제로 직접공사비가 줄어드는 액수의 20%만을 용역비로 지급해 달라는 것이다. 물론 원 설계자에게 변경도면 작성을 시키려면 추가 부담이 되므로 구조도면은 V. E.를 시행하는 자가 작성하고 그로 인하여 원 설계자가 추가로 손을 보아야 하는 건축 도면의 변경 비용은 발주자가 별도로 부담하는 조건을 제시하여 쉽게 승낙을 받았다. 물론 공사 중 일어날 수 있는 여러 가지 문제점은 비상수 감리 형식으로 서비스 하는 것도 조건으로 하였다.

말뚝지정에 독립기초로 설계하면 매트기초보다는 철근콘크리트 공사비가 적게 들어가는 것이 상식에



- 기초 형식 : 지내력기초(Mat Foundation)
- 기초 두께 : 고층부(THK. = 1400, 1100) 저층부(THK. = 700)
- 사용철근 : 주철근 HD29(SD50)
- 허용지내력 : Fe=30tf(정확조 인접구간) Fe=2tf/m²(고층구간) Fe=10tf/m²(저층구간)

그림 6 MAT기초 평면도

속하는 것임에도 불구하고 V. E. 결과 철근콘크리트 공사비도 상승하지 않는 효과를 얻을 수 있었다.

지하실 외벽의 V. E.도 재미있는 아이템 중의 하나이다. 이 현장에서 흙막이 설계는 H형강을 박은 후 이를 제거하지 않고 그대로 방치하도록 되어 있었는데 그것을 철근콘크리트 외벽과 합성설계를 하여 공사비를 절감하는 조치를 취하였다.

H형 말뚝은 영구구조재로 사용한다. 강재가 지중에 묻혀 있는 동안 지중에 함유된 산소와 화학작용을 일으켜서 녹이 나기 마련이지만 부식 속도가 더디므로 2-3mm 정도의 강재 두께만큼 녹이 나서 없어질 것을 감안하여 계산해 두면 건물이 수명을 다할 때까지 안전이 보장될 것이다. 더구나 이 경우는 사전에 뚫어놓은 구멍에다 H형강을 삽입한 후 콘크리트를 부어 넣은 흙막이 가설재인 CIP를 활용하는 것이므로 H형 말뚝은 녹이 날 염려도 없다. 따라서 지하실 흙파기를 마친 후 H형강 주변을 싸고 있는 CIP의 지하실에 면한 콘크리트를 깨내고 H형강 플랜지에 시어코넥터를 용접하여 철근콘크리트 벽체와 일체가 되도록 하는 방법이다. 이는 일반 현장에서 그냥 버리는 흙막이 가설재를 영구 골조로 활용하는 것이므로 철근콘크리트 벽체의 단면이 대폭 줄어드는 장점이 있다.

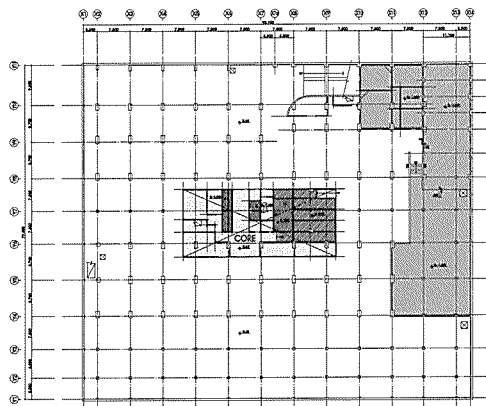


그림 7(a) 지하1층 RC기둥 - 기본안

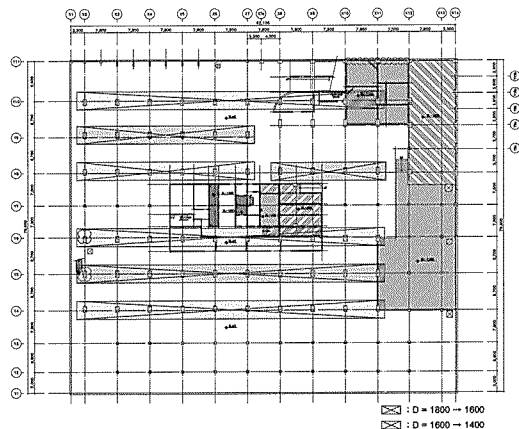


그림 7(b) 지하 1층 RC기둥 - 변경안

본 프로젝트에서는 흙막이 설계도면에 이미 엄지말뚝과 지하실 외벽과를 시어코넥터로 긴결하도록 되어 있음에도 불구하고 건축구조설계에서는 엄지말뚝을 영구구조재로 취급하지 않음으로 인하여 벽체 두께를 350-550mm로 설계하였으나 엄지말뚝을 영구 구조재로 활용한 결과 벽체 두께가 250-350mm로 줄어드는 효과를 얻게 되었다. 시어코넥터의 굵기와 수량도 필요이상 이어서 22mm-@200이었던 것을 19mm-300@로 줄였다. 직경 22mm와 19mm의 차이가 3mm 차이라 별 것 아닌 것으로 생각할 수 있지만 시어코넥터를 현장 용착하는 데 필요한 최대 전기 용량이 192/222=75%로 줄어드는 효과가 있을 것이다. 현장에서 대구경의 시어코넥터를 용착하는 순간 전기 용량 부족으로 타워크레인 작동에 문제가 발생하는 경우는 흔히 있는 일이며 이런 상황에서는 시어코넥터의 용착이 제대로 이루어지지 않아 작업화로 걸러차도 떨어지는 현상이 벌어지는 이유가 된다.

지하실 외벽 두께가 250-350mm이며 첫 번째 기둥까지의 간격이 멀지 않으면 외벽에 구태여 기둥을 추가할 필요가 없다. 이는 외벽이 기둥 구실도 겸할 수 있기 때문이다. 지하실 외벽 내부 면에 기둥이 없이 평활하다면 방수공사도 편하고 지하실 활용 면에서도 유리하다. 더구나 결로방지를 위하여 2중벽을 쌓으려면 기둥이 없는 편이 훨씬 유리할 것이다. 그러나 이런 간단한 것도 절대로 받아들이지 않는 기술자가 의외로 많다.

지금은 원공하여 입주를 마친 H 건설회사 아파트현장 소장에게 이를 건의했었으나 다음과 같은 이유를 들어 원강하게 반대하는 바람에 성사시키지 못한 적이 있다. 즉 지하 외벽에서 기둥을 삭제하면 외벽 배근이 이어지는 부분에서 균열이 발생하는 하자가 발생한다는 억지 논리를 펴는 것을 설득하지 못하여 포기한 것이다. 위 주장이 맞는다

표 2 지하 1층 RC기둥 변경

항 목	내 용		적용N값
	기둥삭제	기둥추가	
기둥삭제	-	Y1×X1~X14열	14
	-	X1×Y2~Y10열	9
	-	X12×Y8~Y11열	3
	-	X14×Y2~Y5열	4
	-	X2, X13×Y2, Y3열	4
기둥크기축소 (지하 1층)	800×1800	800×1600	19 ¹⁾
	800×1600	800×1400	35 ²⁾
	φ 1200	φ 1100	1 ³⁾
기둥크기 변경	1000×1000	900×900, 800×1000, 850×1000	12 ⁴⁾
	600×1800(C5A) 600×1500(C5B)	300×1450(BT1)-X3~X6×Y11열 600×600(C5)-X2~X3×Y11열	7 1
기둥위치 변경	지하 1층 하역장내 존재 (C7)	하역장 효율성을 위해 공장 외벽으로 이동(C5)	1
기둥추가	-	지하외벽과 1층 보의 일치화를 위해 기둥추가(X2×Y11)	1

면 지하철 터널이나 공동구 외벽에도 기둥을 추가해야 하지 않겠는가?

지하 외벽뿐만 아니라 구조상 없어도 되는 기둥 몇 개까지 합하여 모두 34개의 기둥을 삭제할 수 있었다. 삭제한 기둥 중에는 주차장의 주차를 원활하게 하는 효과를 얻는 것도 있었는데 이는 건축설계 하는 과정에서 구조 전문가가 단지 건축사의 시너 노트만으로 만족하는 대부분의 설계 과정에서 탈피해야 한다는 평소의 생각을 실무에 적용한 것이다. 기둥 위치를 변경하여 주차장을 시원하게 변경한 것도 있다. 어떤 것은 기둥의 크기를 대폭 줄인 것도 있다. 이런 모든 것은 설계를 건축사에게만 맡기는 것이 아니라 구조기술자도 건물 사용자의 입장에서 조언하고 문제를 풀어내야 함을 웅변적으로 설명하고 있다. 이런 과정을 보람과 긍지로 느끼는 것이 건축을 천직으로 하는 우리들이 가져야 할 자세가 아니겠는가?

보기에 좋은 떡이 먹기도 편하다는 옛 말이 있다. 같은 기둥 배치라고 해도 보를 걸치는 요령에 따라 가지런하게 모양새가 좋은 집으로 변화시킬 수가 있다. 부득이한 사정이 아니라면 가급적 보를 같은 방향으로 배열하면 거푸집 설치도 쉽고 슬래브 배근도 원활해진다. 데크플레이트를 사용하면 하도 통일된 어느 한 방향을 주 응력 방향으로 정하는 것이 재료 손실을 줄일 수 있으며 설치 작업도 쉬워진다. 이런 것들

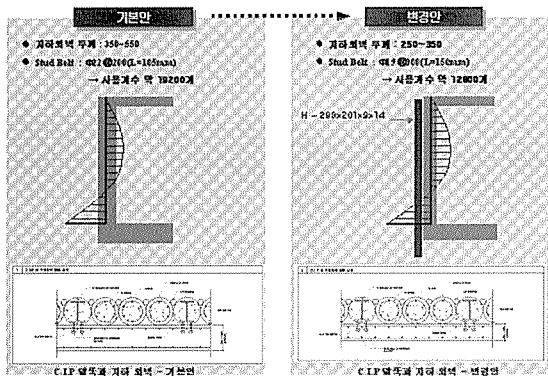


그림 8 휴막이용 H형강을 본 구조체로 활용하여 지하실 외벽 단면을 줄임

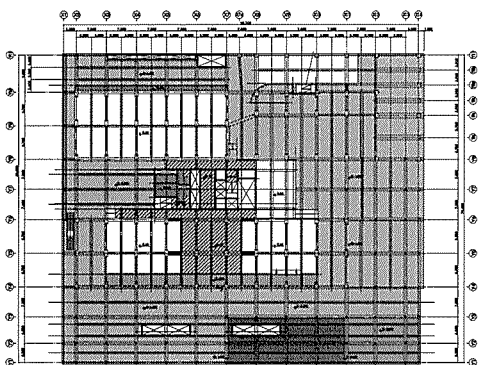


그림 9(a) 지상1층 구조 평면도-기본안

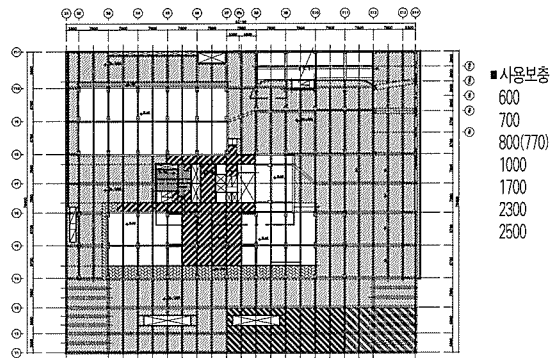


그림 9(b) 지상1층 구조 평면도-변경안

기본안				변경안			
● 구조 형식 : 불연속관례의 구조(R.C)	● 구조 형식 : 불연속관례의 구조(R.C)	● 평면 거중 시스템 : 보-보멘트 관례(R=2.5)	● 평면 거중 시스템 : 보-보멘트 관례(R=4.5)	● 보 굵기 : D = 250	● 보 굵기 : D = 250	● 보 굵기 : D = 250	● 보 굵기 : D = 250
● 기상 중립 계통 크기				● 기상 중립 계통 크기			
C1	C2	C3	C4	C1E3	C1E4	C2	C4
1~2층	300x1400	300x1100	300x1400	300x1000	300x1200	300x1000	300x800
3~5층	300x1400	300x1100	300x1400	300x1000	300x1200	300x1000	300x800
6~8층	300x1100	300x900	300x1100	300x800	300x1000	300x800	300x800
9~11층	300x900	300x650	300x900	300x800	300x1000	300x800	300x800
12~15층	300x650	300x650	300x650	300x800	300x1000	300x800	300x800

그림 9(c) 지상층 구조시스템 변경방안

은 공사비 산정에서 별로 차이가 나지 않으므로 발주자는 무관심하기 십상이지만 실제로 시공하는 일꾼들의 입장에서는 심각한 일일 수도 있다. 같은 깊이면 일하는 일꾼들이 그 현장에서 일을 함으로 인하여 고생도 덜 하면서 소득이 많았다는 생각을 기질 수 있도록 하는 것이 사람 된 도리라고 생각한다.

이상과 같은 V. E.는 국내 현장에서 수없이 접할 수 있는 것임에도 불구하고 10번 시도해야 한두 번 성공하는 드문 일이다. 이번에는 여러 가지 여건이 제대로 맞아 떨어져서 실제 공사까지 이어질 수 있었다. 처음 담당자 3명을 만났을 때 제안한 전제 조건이 "seminar"를 하지 말자는 것이었다. 원 설계도와 터무니없이 다른 방법으로 변경하기 위해서는 관련된 모든 사람으로부터 양해를 구하여야 한다. 그러면 그들도 재차 검토를 하여야 하고 때로는 자문위원이나 전문 분야 교수들을 초청한 설명회를 거쳐야 한다. 그러면 애써 얻을 수 있는 공기단축 효과가 이 seminar로 인하여 소실되고 말 수가 있는 것이다. 따라서 V. E. 책임자의 첫째 조건은 과거의 경력과 신용도가 절대적이어야 한다. 대개 건축구조 전문가들도 다른 공학계열과 마찬가지로 자존심, 자부심이나 응고집이 보통 이상이다. 다른 사람이 설명하는 것에 반대 의견을 내세우는 것은 어렵지 않으며 "안전"을 방패로 삼아 반대하는 것을 설득하는 것은 쉬운 일이 아니다.

어쨌든 우여곡절 끝에 이번 V. E.는 성공적으로 끝을 맺었다. 그러나 본 현장에서의 2-3개월의 단축은

최소 요구조건이었으며 앞으로 생각하지 못했던 변수가 나타나면 이를 소화할만한 여유가 전혀 없는 것이 문제였다. 최근 건설현장에서 전문 인력을 구하기가 어렵다. 특히 거푸집 목수와 철근공은 건축분야에서도 젊은 사람들이 꺼리는 직종이어서 중국 조선족들을 데려다 쓰는 형편이다. 목수의 정부 노임단가는 6만6천원 인데 대규모 건설현장에서는 10만 원을 주고 다가구주택 같이 규모가 작은 현장에서는 무려 15만 원이나 준다고 한다. 일자리가 별로 없을 때는 고정적으로 장기간 일 할 수 있는 큰 현장을 선호하지만 요즘같이 바쁜 시절에는 작은 현장을 찾아다니며 계속 일할 수 있으므로 큰 현장에서 일꾼 구하기가 오히려 더 어렵다. 실제로 작년 여름 큰 현장들에서 인부들이 갑자기 무더기로 빠져 나가는 바람에 오랫동안 공사를 진행하지 못하는 것도 본 적이 있다.

그래서 원 설계가 철근콘크리트조로 설계되어 있는 것을 철골조로 변경할 것을 제안했다.

철골조가 철근콘크리트조에 비하여 20-30% 비싸다는 것은 잘 알려진 사실이다. 그러므로 어찌먼 터무니없는 제안일 수 있으나 TSC 구조를 사용하면 별로 큰 돈을 추가하지 않아도 가능하다고 설명했다.

이미 기초공사에서 공사비를 줄여놓았으므로 어렵지 않게 받아들였다. 물론 이것도 제안자를 전적으로 신임하기 때문에 가능한 일이다. 어느 집단을 막론하고 마지막 결정할 위치에 있는 사람의 판단은 참으로 중요하다. 아무리 손에 잡히는 이익이 있을 것 같다고 해도 이를 채택하지 않으면 효과가 없다. 그래서 나를 신뢰하고 선선히 받아들인 현장 소장을 비롯한 관련자 모두에게 감사하며 그 때문에 더 열심을 다해 엔지니어링 서비스를 할 것을 다짐한다.

결과는 너무나 성공적이다. 공사 도중 타워 크레인이 고장을 일으켰고 공사 하청업체의 부도로 공사 기간이 지연되었으며 유난히도 많이 내린 비로 인하여 일 하지 못한 날이 많았음에도 불구하고 골조공사 기간을 앞의 2개월 외에 3개월을 더 단축할 수 있었다.

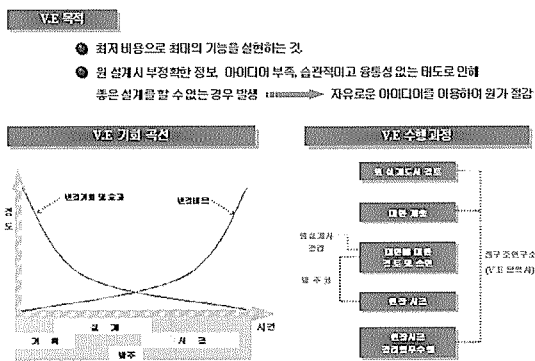


그림 10 V. E. 기회곡선

다만 몇 가지 아쉬운 점을 들면 아래와 같다.

첫째로 건축설계도를 완성하여 입주자들과 계약으로 약속했던 것을 도중에 설계변경하는 것이므로 TSC 공법을 적용하여 보의 높이를 줄였음에도 불구하고 층고를 그대로 둘 수밖에 없었다. 하지만 아마도 냉난방 및 전기설비 공사는 작업 조건이 많이 좋아졌을 것이다. 모든 기능을 그대로 유지한 채 층고를 낮추면 공사비가 대폭 절감된다는 것은 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 우리는 관습상 건물의 규모 표시를 바닥 면적을 기준으로 하지만 사실은 건물의 체적으로 따지는 것이 오히려 합리적일 것이다.

둘째로는 원래 철근콘크리트조로 시공하기 위하여 계약했던 것을 TSC 구조로 바꿈으로 인하여 철근콘크리트 물량이 대폭 줄기 때문에 공사비 단가를 올려달라고 요구하는 협력업체의 주장을 무시할 수 없음으로 인한 손실이 있었다. 건물의 규모나 질에 따라 적합한 전문 단종 업체를 선정하는 것이 현장 관리의 기본 요령인데 마치 10톤 트럭을 불러 놓고 1톤 무게의 짐을 싣고 가라고 주문하는 것과 마찬가지로의 경우가 된다.

셋째로 원래부터 철골조로 계획했으면 타워 크레인의 배치와 용량도 달리 하고 미리부터 코어 콘크리트 공사를 서둘렀을 것인데 그렇게 하지 못했음으로 인한 코어 벽체 돌관 작업 비용을 추가로 부담해야 한다.

넷째로 시어코넥터 등 현장 용접 물량 증가에 따르는 임시 전기 용량도 추가로 늘려야 하는 번거로움이 있었다. 실제로는 엄지말뚝에 Ø22 시어코넥터를 현장 용착하는 공정이 있었으나 이를 감안하지 못했던 것으로 추측된다.

다섯째는 당초부터 TSC 구조로 설계했다면 모든 건축상세를 철골구조와 어울리도록 설계하였을 것이나 보 밑에 매달린 수벽 등 여러 부분에서 격에 맞지 않는 상세도가 그대로 남아 있어서 이를 조정하는 비용도 추가되었다.

그림 10은 잘 알려진 V. E. 기회곡선이며 위 부작용이 있었던 이유가 공사 발주 후 V. E.를 시도하였기 때문임을 설명하고 있다.

이상과 같은 부작용을 감수하면서도 현장에서는 과감하게 TSC 구조로 변경했던 것이다.

공사 현장에서 처음 접하는 일을 시행하려면 서투르기 마련이다. 그러므로 새로운 일을 하기 위해서는 일단 공사 기간과 공사비를 여유 있게 책정해 두는 것이 혹시라도 있을 수 있는 실수를 만회할 때 도움이 된다. 초기에 가장 많은 질문을 받은 대목은 현장에서 TSC 보를 기둥에다 설치하는데 소요되는 노력이 얼마나 될까 하는 것이었다. 그러나 실제로 기둥 브라켓에 보를 얹는 상세도를 그려서 보낸 결과 놀랍게도 조립 작업이 너무 수월하다는 평을 받게 되었

다. 일반 H형 보를 조립하는 데도 하루에 보 30개가 표준이었는데 이 TSC 보는 70개를 시행하고도 여유로워서 75개도 가능하므로 오히려 공장에서 TSC보 생산이 미처 따라오지 못하는 실정이라고 한다. 우리는 과거에 사용하던 철골 디테일을 비판 없이 답습하고 있다. 그래서 이번에 개발한 방법을 일반 H형강 구조에도 적용할 수 있도록 새로운 상세도를 연구하는 중이다.

철골 보를 기둥에 부착하기 위해서는 크레인으로 보를 들고 있는 상태에서 양단을 상하 동서남북 입체적으로 이동시켜서 구멍에다 볼트를 끼워 너트를 조여야 한다. 말은 간단하다 하지만 기둥에 매달려서 이 작업을 하는 일꾼은 조금만 실수해도 떨어져 죽을 수 있으므로 안전벨트를 매

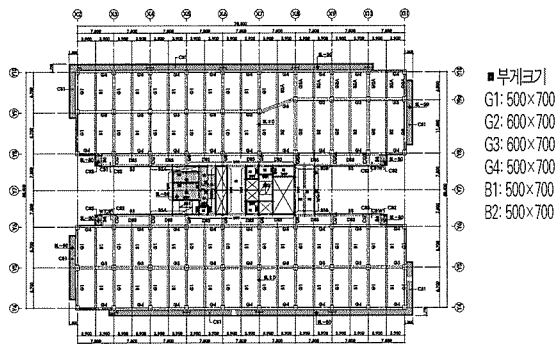


그림 11(a) 기준층 구조 평면도-기준안

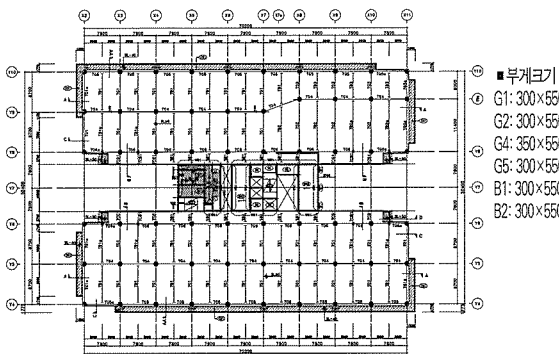


그림 11(b) 기준층 구조 평면도-변경안

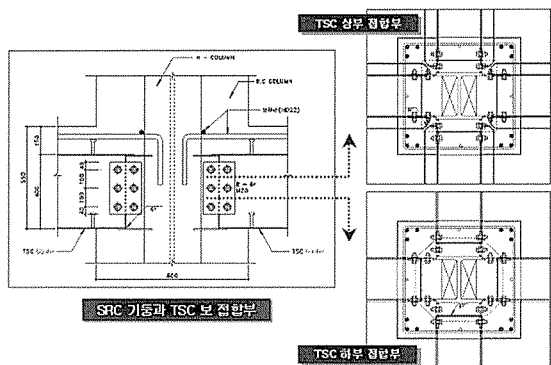


그림 12(a) SRC 기둥과 TSC 보 접합부

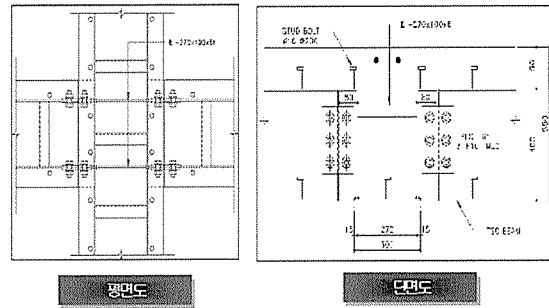


그림 12(b) TSC 보 핀접합 상세도

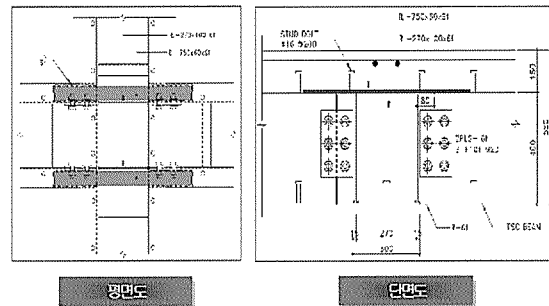


그림 12(c) TSC 보 강접합 상세도

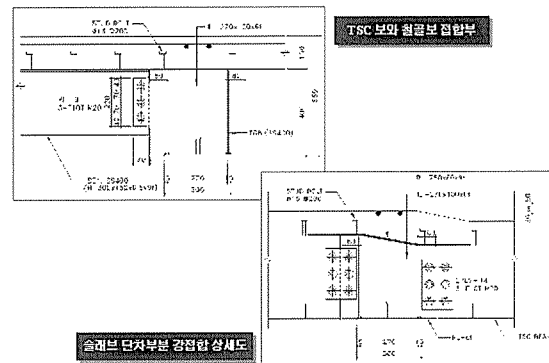


그림 12(d) TSC 보 접합 상세도

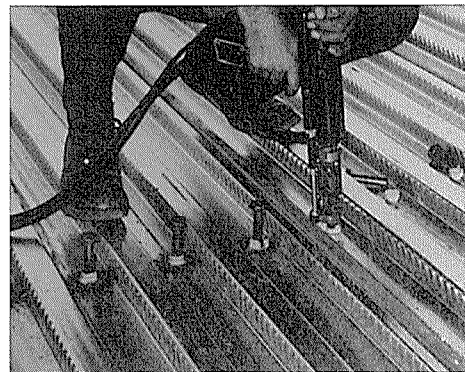


그림 13 시어코벤티터 시공

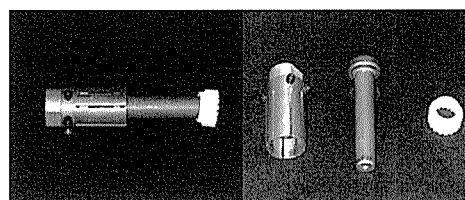


그림 14 척, 시어코벤티터, 열차단재

고도 위험한 작업을 해야 한다. 그러나 그림 12(a)와 같이 기둥에 턱을 내 두면 우선 턱에다 보를 얹어 놓은 상태에서 평면상에서만 조금씩 이동하여 구멍을 맞추면 볼트너트를 채울 수 있으므로 쉽게 조립할 수 있는 것이다. 이런 일은 구조 설계하는 자 스스로가 현장 작업을 한다는 생각을 가지고 있으면 간단히 생각해 낼 수 있는 일이다.

철골보와 슬래브가 협동하여 하나의 보 역할을 할 수 있도록 묶어주는 데 있어서 가장 손쉽게 활용하는 것이 시어커넥터이다. 그러나 이를 시공하기 위해서는 대용량의 전기 공급이 필요하다. 시어커넥터를 철골 부재에 부착하는 정식 방법은 그림 13과 같다. 시어커넥터의 머리를 척(원통형 양도체에 슬리트를 조성하여 시어커넥터의 머리를 손쉽게 끼웠다 뺄 수 있도록 한 것)으로 물고 시어커넥터 끝에 마련된 뾰족한 전극을 붙이고자 하는 철골 부재에 밀착한 채 척에다 전원을 연결하면 전극에 순간적으로 대용량의 전류가 흐르게 되고 그 과정에서 고온이 발생하여 시어커넥터와 붙이고자 하는 철골부재가 녹아 붙게 된다. 열이 밖으로 새는 것을 방지하고 녹아 붙는 모양새가 동그랗게 되도록 하기 위하여 그 부분에는 도자기로 만든 열 차단제재 소모품을 사용하여야 한다.

시어커넥터는 공장에서 철골 부재에 용착해서 현장에 반입하는 것이 바람직하지만 철골 보에 데크플레이트를 얹어야 하는 경우에는 싫어도 현장에서 시공해야 한다. 그러나 이런 상황에서는 시어커넥터가 데크플레이트를 뚫고 그 아래 철골부재까지 용접해야 하기 때문에 더 정성 들여 시공하지 않으면 부실 용착 되는 수가 많다. 앞에 말한 대로 안전화로 걸어도 떨어지는 일도 일어난다. 그 때문에 감리자는 이들 하나하나 모두를 강관에 끼워서 구부러 보는 수고를 하는 경우도 있다.

또한 철골 보를 걸쳐놓고 그 위를 곡예사처럼 걸어 다니면서 일을 하는 현장 일꾼들의 입장에서는 이 시어커넥터가 더할 수 없이 미운 걸림돌이 된다. 더구나 TSC 보에서 폭이 좁은 양 날개에 한 줄씩 시어커넥터를 용착하고 보니 그 위를 걸어 다니는 것은 불가능하므로 추가로 TSC보 양 날개 사이에 ㄱ형강이라도 부착해야 할 판이다. 그래서 아예 시어커넥터 구실도 하면서 작업자가 걸어 다니기에 편한 ㄷ형강이나 ㄱ형강을 용접하는 방법을 고안하게 되었다.

TSC 보는 H형강과 달라 상부 플랜지 단면이 작은 것이 특징이다. 따라서 합성 보의 압축재 역할을 하는 슬래브 콘크리트가 양생되기 전까지는 가설 서포트로 받쳐 줘야 한다. 기둥에 접합되는 큰 보(Main Girder)는 작지만 상단 플랜지를 용접하였으므로 반강접보 구실을 하게 된다. 따라서 큰 보에서는 가설 서포트를 생략하고 작은 보에만 중앙에 1개

소씩 설치하도록 하였다. 그러나 이 역시 번거로운 것이므로 상부 보와의 사이에 강선을 연결하여 2개층 이상의 보가 1개층의 콘크리트 슬래브 시공하중에 견디도록 변경하였다. 물론 지붕 슬래브는 그 위에 철골보가 없으므로 최상층 바닥 콘크리트 양생 후 가설 서포트로 지붕보를 받쳐 줘야 한다.

철골구조가 철근콘크리트조에 비하여 단점으로 알려진 사항 중 처짐과 진동 문제는 잘 알려진 사항이다. TSC 구조를 설명할 때마다 이 질문을 받으므로 이번 기회에 진동시험을 하기로 했다. K 타워뿐만 아니라 시공 중인 L 빌딩에서도 거의 동시에 진동시험을 실시한 결과 매우 우수한 결과를 얻게 되었으며 S 고등학교 현장에서도 진동시험을 실시하여 좋은 결과를 얻었다.

이런 모든 사항의 새 버전들은 현장 상황을 계속적으로 모니터링 하며 관심을 가지고 연구해야 얻게 되는 산물이다. 이번 경우는 현장 담당자들과 당사 실무자들이 혼연일체로 뜻이 맞아 좋은 효과를 얻게 되었으며 특별히 감사한 것은 이를 다른 현장에 적용하기 위하여 현장 견학을 시킬 때마다 K타워 현장에서 번거로움을 마다하지 않고 협조해 준 것이다. 실제 적용한 현장 당사자가 장점을 한번 설명해 주는 것은 센구조가 열 번 자랑을 늘어놓는 것보다 효과가 큰 것임을 실감하게 되었다.

이번 일을 계기로 K 건설에서는 제2, 제3, 제4 K 타워 공사를 TSC 구조로 시행하기로 하였으며 시원스럽게 골조공사를 완성한 K 타워를 눈여겨 본 현장 건너편 S 공사 시행자도 원래의 철근콘크리트 구조를 TSC 구조로 변경하는 한편 부산에 시행하는 다른 프로젝트도 TSC 구조로 변경하기로 한 것은 고무적인 일이다.

이상 K 타워의 V. E. 경과를 설명했으나 T.S.C 구조는 계속 버전업해 가고 있으며 내년 초부터는 공장에서 코일을 연속포밍 작업으로 대량생산한 T.S.C.보를 구입 사용할 수 있도록 준비 하고 있다. ㉠

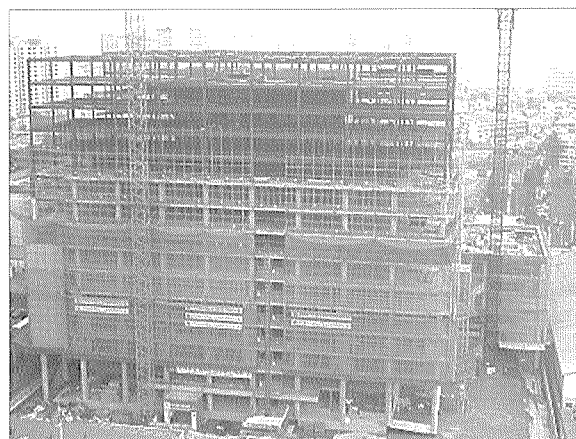


그림 15 TSC로 골조공사가 완료된 K 타워의 외관