

건축구조 안전과 향간의 소문들

Rumors Surrounding the Safety of Architectural Structures

인천 국제공항 여객터미널을 중심으로

이창남 / (주)센 구조연구소
by Lee Chang-Nam

사람 몸에서 가장 중요한 부위가 어디가를 물어보면 여러 가지 답이 나온다. 어떤 사람은 머리라고 하고 또 어떤 이는 심장이라고 한다. 눈이 없거나 이가 없다면 어떻게 될까?. 그렇게 따지다 보면 중요하지 않은 것은 하나도 없다. 하지만 앞의 질문에 “뼈대”라고 대답하는 사람은 본 적이 없다.

분당에서 분양하는 아파트 모델하우스에 들러본 적이 있다. 평당 단가가 530만원이라고 한다. 서울의 어떤 호화 아파트에 비하면 1/3에 불과하지만 거기에도 거품 맛사지 욕조, 대형 냉장고에다 오디오 시스템까지 붙박이로 되어 있다. 물론 전부 외국산이다.

가설 건물인 모델하우스는 눈이 휘둥그레질 만큼 호화스러우며, 방문객들에게는 늘씬한 도우미들이 방문기념품이라며 선물도 건네준다.

그러면 앞으로 수십 년간 이 아파트를 지탱할 뼈대를, 안전하면서도 값싸게 짓도록 계획을 하고, 기둥·보·기초 등 각종 주요 구조 부재들을 설계하는데 든 비용은 얼마나 될까? 의외의 사실일지 모르나, 평당 1천 원 정도이다. 감(感)이 잘 오지 않을까 싶어 설명을 덧붙이자면, 32평형 아파트에 투입된 구조계산 비용이 세대당 3만2천원-320만원이 아니라 3만2천원이다에 불과한 것이다. 시공회사가 집집마다 서비스로 깔아둔 현관 매트 가격도 이보다는 비싼 것이다.

이렇게 터무니없이 싼 값에 일하면서도 갖은 비난과 성토의 대상이 되고 있는 구조 기술자들 스스로가 자기들이 하는 일을 3D라고 생각한다. 그러면서도 “배운 게 도둑질”이라는 말대로 다른 뽀족한 수가 없으므로, 동료·선배들과의 경쟁에서 살아남기 위해 덤핑 행위를 일삼고 있다. 이런 과정에서 약화가 양화를 구축한다는 말대로 과다 설계로 인한 낭비와 불안정한 건축물들이 양산되고 있는 실정이다.

그 동안 여러 차례 붕괴 사고로 등골이 오싹해지는 경험을 한 시민들은 건축계 전체를 불신하는 경향으로 치달고 있으며, 소문은 소문대로 눈사람처럼 불어나서 국민의 불안감과 불신을 부추기는 풍토로 이어지고

있는 실정이다.

물론 구조기술자들 중에는 지금도 “허준” 처럼 묵묵히 자기 일에 전념하고 있는 이들이 없지는 않다. 그러나 요즘과 같은 상황에는 그들까지 도매금으로 사방에서 날아드는 억울한 비난의 화살에 맞아 피를 흘리면서도, 변명이나 해명할 기회조차 주어지지 않고 있다.

필자도 가끔 구조 관련 사고 또는 의혹에 관한 소문의 진위를 설명해 달라는 요청을 받는다. 그 때마다 하도 마음이 답답하여, 어디 아무도 없는 산속에 가서 “임금님 귀는 당나귀 귀!”라고 큰 소리로 부르짖고 싶은 심정이다.

요즘은 누구나 바쁜 세상이라, 말이 좀 길어지거나 복잡해지면 아예 외면해 버리는 경향이 있다. 하지만 앞에서 언급했던 바, 건축 구조란 건축 전공자들 사이에서도 골치 아픈 3D 분야이므로 만화처럼 쉽고 재미있게 설명할 도리가 없는 것이 유감스럽다.

하지만 간혹 주변 친지들의 물음에 답하는 과정에서, 일반 국민들의 건축구조에 대한 인식이 극히 부족하고, 이로 인해 근거도 없는 잘못된 소문이 어떠한 여과도 없이 그대로 “분노와 걱정거리”로 각인되어 왔다는 것을 깨닫게 되었다. 이는 건축구조 기술자로서 안타깝고 억울한 일일 뿐 아니라 국민의 알 권리를 박탈하는 것이 되므로, 최소한의 설명이 필요함을 절감하게 된 것이다.

이제 그간의 관심거리 몇 가지의 실상을 살펴보기로 한다. 우선 이런 글을 쓰게 된 나의 입장에서 정리해 두어야 할 것 같다.

법정에 증인으로 서 본적이 있다. 가장 먼저 하는 것은 오른 손을 들고 선서서를 낭독하는 것이다. “양심에 따라...”-하지만 원고 측과 피고 측 증인 모두가 분명히 그같은 선서를 마쳤음에도 불구하고 같은 질문에 서로 다른 대답이 나오는 것은 무슨 이유일까? 하물며 인천 국제공항에 관련하여 근간에 소위 ‘양심선언’이라는 폭탄선언으로 나라를 들끓게 한 내용도, 자세히 들여다보면 도무지 납득할 수 없는 구석이 너무나 많다는 것을 발견하게 되었다. 진실을 알면서도 그랬다 해도 심각한 문제이고, 만약 몰라서 그같은 발언을 했다면 정말 한심스러운 일일 것이다.

물론 우리 모두는 불완전할 수 밖에 없는 인간임을 전제로 해야 한다. 소위 ‘양심선언’을 한 사람도, 또한 여객터미널 신축에 관여한 사람도, 이 글을 쓰고 있는 필

자도 결코 완벽하지는 못함을 인정해 주시기를 바란다.

“국내 최대 규모의 건축물인 여객터미널의 건축구조가 부실하다?”

최근 제기된 의혹의 구체적인 내용 및 그에 대한 해명

소문 내용 1:

건물의 구조에도 심각한 문제가 있다. 먼저 여객터미널 루프 트러스(지붕 뼈대)의 불량 용접으로 인한 균열이다. 사실 루프 트러스는 여객터미널의 주요 구조이며, 응력을 많이 받는 곳이라 용접을 해서는 안된다는 것이 전문가들의 공통된 시각이며, 부득이 용접을 할 경우 용접 가운데에 철심을 박고 특수 용접을 해야 한다는 것이다.—중략— 이미 용접 부위에 균열이 간 곳도 없이 많다는 데서 문제점이 단적으로 보여지고 있다.

설명:

위 내용에서 “응력을 많이 받는 곳에 용접을 해서는 안된다”는 말은 아마도 “응력이 많은 곳에서는 가급적 현장 접합이 이루어지지 않도록 설계하는 것이 바람직하다.”를 잘못 알고 지적인 것이라고 좋게 해석하기로 한다. 그러나 그것이 “전문가들의 공통된 시각”이라고 하는데에는 동의할 수 없다. 이 문제의 전문가라면 당연히 건축구조 분야를 말한다.

길이가 100m나 되는 여객터미널의 지붕 뼈대는 전 길이를 통하여 가급적 응력의 크기에 적합한 단면을 선정한 것이므로, 현장 접합 부위의 응력도 클 수밖에 없다. 따라서 그런 경우조차도 접해보지 않은 기술자는 경험 있는 구조 전문가라고 할 수 없다. 게다가 “용접 가운데에 철심을 박고 특수 용접을 해야 한다”는 말은 필자로서는 생전 처음 듣는 국적 불명의 공법이다. 혹시 필자도 모르는 사이에 최근 개발된 첨단 공법일지도 모른다는 생각에 다른 많은 구조 전문가들에게 문의해 보았으나, 금시초문이라는 것이 공통된 답변이었다.

그 동안 말도 많던 이른바 횡균열의 실체는 다음과 같다. 그림에서 용접은 크게 주(主)응력 방향의 공장 용접(강관 제작 공정중에 행해지는 용접)과, 주응력에 직각이 되는 방향의 현장 이음 용접으로 크게 구분할 수 있

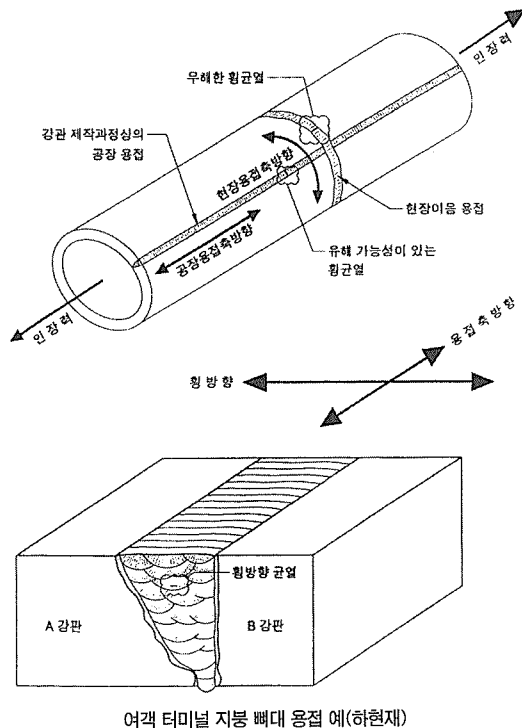
다.

공항 터미널에서 먼저 발견되어 문제가 되었던 것은 현장 이음 용접이다. 현장 용접은 공장 용접에 비하여 품질 관리가 소홀해지기 쉬우므로, 상대적으로 신뢰성이 떨어지는 것으로 간주된다. 그래서 응력이 큰 곳에서는 가급적 현장 용접을 피하는 것이 바람직하다.

그러나 여러 가지 사정에 의해 부득이하게 현장 용접을 해야만 하는 경우, 경험 많은 구조 전문가는 현장 용접이 다소 부실하더라도 구조 안전상 문제가 생기지 않도록 추가적인 안전 장치를 마련해 두는 것을 잊지 않는다. 예를 들면 부재 단면 자체가 충분히 큰데도 불구하고 완전 용입 용접으로 설계하거나, 또는 모살 용접으로도 충분함에도 불구하고 맞댐 용접으로 지정하는 것 등이다.

황균열은 그림에 표시된 것처럼 용접 단면 내부에만 있는 미세한 불연속부로서, 사실상 '균열'이라는 명칭을 붙이기에는 무리가 있다. 그러므로 "횡방향 미세 불연속부(部)"라는 새로운 이름을 붙이려 하였으나, 그 이름이 너무 길다 보니 실무상 '횡균열'이라는 명칭으로 통용되고 있을 뿐이며, 건축 공사장에서는 인천 국제공항 여객터미널에서 최초로 문제화된 것이다.

매스컴에서 '황균열'이라는 말을 처음 접한 일반 국민들로서는 '균열'이라는 단어 자체만으로 '뭔가 심각하게 위험한 것이 아닐까' 하는 강한 불안감을 가질 수 있



겠지만, 사실상 그동안 건축구조물에서는 그다지 관심조차 기울이지 않았던 것이어서, 아직 이에 관한 기준도 없는 형편이다. 그도 그럴 것이, 이 '황균열'은 정상적인 초음파 탐상 방법으로는 포착되지 않으며, 오히려 두께가 두꺼운 고장력강(鋼)(TMC)에서 더 쉽게 생겨나는 것이기 때문이다.

TMC강(鋼)은 20여년 전부터 생산되는 고급 재료로서, 아마 그동안 이를 사용한 용접 접합 구조물에도 황균열이 있었을 것이다. 이것을 구조상의 결함이라 할 수는 없는 것이므로 지금까지는 굳이 문제삼지 않았을 뿐인데, 인천 국제공항에서 유난히 정밀하게 뒤지다 보니 새로이 알려진 용어인 셈이다.

처음에는 황균열이란 열악한 환경에서 시행하는 현장 용접에서만 발생하는 것이라고 생각했으나, 후에 공장 용접에서도 발생한 것이 추가로 발견되었는데, 그것이 그림에 표시된 [강관 제작 과정상의 공장 용접]이다.

용접은 두 개의 다른 강재(鋼材)를 서로 녹여 붙이는 것이다. 두 강재를 접합하는 데는 구멍을 뚫어 덧판을 대고 볼트나 리벳으로 끼워 조이는 재래식 방법도 있으나, 각 접합 방법에는 장단점이 있으며, 최근 들어서는 차츰 용접 접합이 주류를 이루어가고 있는 것이 현실이다.

두 강재의 접합은 그 접합부에서 반드시 전체 응력을 전달할 수 있도록 설계·시공하여야 하는 것이 아니다. 때로는 부재 내력의 불과 50%만 지탱하면 되는 경우도 있는데, 이는 상황에 따라 구조 전문가가 판단하여 결정하는 전문 분야의 업무에 속하는 것이다.

그동안 건축구조 전문가들이 황균열에 관하여 관심을 가지지 않았던 것은, 리벳이나 볼트 접합으로도 집을 지을 수 있는 터에 그보다 훨씬 단단한 공법인 용접을 적용하는 것이므로, 선박이나 기계 분야에서 시공하는 용접에 비해 품질이 다소 떨어진다고 해도 별로 문제가 되지 않기 때문이기도 하다.

윗도리에 단추를 달거나 지퍼를 붙여도 되는 터에, 아예 통으로 꿰매는 방식이면 감지덕지라는 격이다.

위 지붕 트러스의 각 이음과 접합은 부분에 따라 접합부의 강도가 모재(붙이고자 하는 부재) 강도의 90%, 80%, 또는 50%만 필요한데도 불구하고 미관상의 문제, 또는 용접 부실시의 2중 안전장치로서 구조 전문가가 100%로 지정한 것이다. 특히 용접 접합에서는 이런 일이 허다하며, 이것을 반드시 낭비라고 할 수는 없다. 예를 들

어, 강관 제작시 그림의 공장 용접을 필요 최소 요구조건 그대로 “어느 부분은 두께를 20mm로 하고 다른 부분은 30mm로 하라”는 식으로 복잡하게 지정하는 것은 오히려 혼란을 야기할 수도 있기 때문이다.

이번 경우에도, 문제가 제기된 직후 여객 터미널의 구조 설계를 담당한 당사자인 구조 전문가가 면밀한 검토 끝에 “용접부의 횡균열은 구조 안전상 조금도 염려할 필요가 없는 것”이라고 최종판정을 내렸음에도 불구하고, 언론을 비롯한 각계 각층의 질문에 증거를 제시하기 위하여 굳이 시험 방법을 채택했던 것이다.

시험에는 많은 노력과 시간과 비용이 든다. 물론 시험 결과는 예상했던 대로 횡균열이 있는 용접부 시험편 중 어느 것도 용접 부위가 모재보다 오히려 더 강하다는 것을 확인하였다. 시험은 인장시험, 매크로 시험, 마이크로 시험, 피로 시험, 샤프피 테스트, 크랙 어레스트 테스트 등 총 76회에 걸쳐 실시되었다. 그것도 부족하여 “이를 국내·외의 공인된 학술 기관으로부터 확인을 받아 오라”는 지시에 따라 대한건축학회, 그리고 용접 분야의 세계적 권위자로 알려진 영국 맨체스터 공대의 버드킨 교수로부터 공식 인증을 받기까지 하였다. 그럼에도 불구하고 국민이 끊임없이 걱정을 하므로, 상부의 요구에 따라 현재는 각 용접 부위에 계측기를 부착하여 특별 관리하도록 조치를 취하고 있는 실정이다.

숯불에 구운 꽃게도 도망가지 못하도록 붙들어매 놓고 먹으라는 옛 말도 있으니, 또 하나의 안전 장치를 마련한 것이다.

물론 실질적으로 문제가 될만한 용접부의 각종 흠은 모두 보수되었다. 필자의 의도는 용접 품질의 중요성을 격하시키려는 것이 아니라, 구조 안전에 영향을 미치지 않는 횡균열에 대해 지나치게 엄격한 기준을 적용하는 것은 경제성 및 안전성 모두에 아무런 실익이 없다는 것을 알리고자 함이다. 초음파 탐상으로도 발견되지 않는 용접살 내부의 미세한 횡균열들을 전부 찾아내서 보수한다는 것은 현실적으로 불가능하며, 또한 보수한다고 해도 또 다시 횡균열이 발생하지 않는다는 보장이 없기 때문이기도 하다.

소문 내용 2:

...철골 기초변경 또한 엄청난 문제이다. 원 설계도와 시방서에 나온 철골을 세우는 방법을 요약하면 다음과 같다.

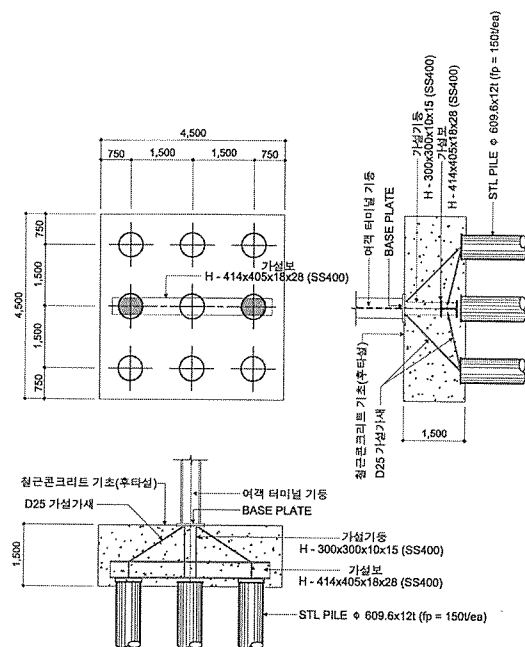
(철골 기둥 1개에 해당하는 위치에 말뚝 8개-12개 정도를 박고, 그 위에 1,500mm 높이로 독립기초를 세운다. 그리고 그 위에 베이스 플레이트(Base Plate)를 설치하고, 그 위에 철골기둥을 세운다)는 것이다.

그런데 이렇게 하면 콘크리트 양생 소요 시간 등 공사 기간이 오래 걸린다는 이유로 서너 개 정도의 말뚝 위에 H빔을 설치하여 철골을 올려놓고 콘크리트를 일괄 타설하는 방법으로 설계를 변경하여 시공하였다. 즉 8개 내지 12개 정도의 말뚝을 박아 철골 기둥을 세우게 한 원 설계가 말뚝 2-3개 정도의 힘으로 지탱하도록 변경하였다는 점이다. 만일 원 설계자의 구조계산이 맞다면 현 시공 방식으로 건설한 공항 건물은 점차 침하할 것이고, 설계 변경한 구조계산이 맞다면 원 설계는 과 설계이다. 1천 개 이상의 기둥이 과 설계된 것이라면 이는 수 백억 대의 예산을 낭비한 셈이다. —이하 생략.

철골 기초공사 역시 원 설계에 있는 베이스 플레이트를 빼먹고, 편법 부실 설계와 시공을 했다. —이하 생략.

설명:

항상 무지(無知) 그 자체보다도 자신이 무지하다는 사실을 모르는 것이 더 심각한 문제를 일으키곤 한다.



여객 터미널 기초 예 (F5)

이제는 건축 구조나 공사 분야도 하루가 다르게 발달하고 있다. 이제는 이미 지은 지 30년이 지난 명동의 미즈백화점, 그리고 원효로의 39쇼핑 건물은 기초 공사를 하지 않은 상황에서 지하실 땅 파기와 상부 골조 공사를 동시에 시행한 수많은 건물들의 한 예이다. 필자가 이 Top-Down공법으로의 공사를 지원한 대형 건축물만도 이제는 40동이 넘는다.

아래 그림은 공항터미널 빌딩에 적용한 기초 공법이다.

물론 공항터미널의 최초 설계 당시부터 Top-Down공법으로 설계했던 것은 아니다. 실상은 이렇다. —한겨울 영종도의 바다 바람은 사람이 밖에서 견디기 힘들 정도로 매섭다. 말뚝을 박고 기초 콘크리트 공사를 해야 할 시기에 겨울이 찾아왔다. 매스컴에서 소위 '양심선언'을 토대로 지적한 바와 같이, 이러한 악천후에 여기 저기 흩어져 있는 1천 개 이상의 기초 콘크리트 공사를 강행하는 것은 품질 관리에 문제가 있을 수 있었다.

그래서 면밀한 검토 끝에 앞의 Top-Down 공법의 원리를 도입하여 기존 말뚝 일부에다 H형 강을 얹어 역 T 형으로 가설 기둥을 세우고, 거기에다 베이스 플레이트를 부착하여 상부 골조를 진행하다가, 날이 풀리면 기초 콘크리트를 타설하는 공법을 적용하게 되었다. 본 공법을 택할 경우 시공자의 부담이 다소 증가하지만, 공사 기일을 연장하지 않아도 되므로 오히려 유리하다. 물론 이를 위하여 엔지니어링상(上) 충분한 사전 검토를 마쳤고, 각 단계 별 승인 절차도 밟아 시행한 것이다.

결론적으로, 이 기초의 설계와 구조계산은 오류도, 과설계도 아니다. 베이스 플레이트는 원설계대로 정확히 설치되었으며, 아래 다시 언급하겠지만 영종도의 지반조건상 기초 침하는 염려할 필요가 없다. 따라서 수백억 대의 예산을 낭비했다는 의혹은 기우(杞憂)에 불과함을 명백히 밝혀두는 바이다.

소문 내용 3:

...시공 잘못. 만성 적자... “애물단지 된 간사이 공항”—철저한 준비와 확인이 없으면 인천 국제공항도 일본의 간사이(關西)국제공항 꼴이 날지도 모른다.

설명:

간사이 공항은 인천 국제공항과 비슷한 컨셉트로 계획되어 먼저 개항했고, 예상치보다 큰 지반 침하

때문에 고민하고 있다. Made in Korea는 무조건 Made in Japan에 비해 떨어진다고 믿는 대다수 국민들의 경향을 생각할 때 인천 국제공항을 간사이 공항에 비추어 걱정하는 것도 무리는 아니다.

간사이 공항은 진흙탕 위에 겨우겨우 떠있는 뗏목에 비유할 수 있다. 현재의 간사이 공항 부지는 수심 18m의 바다였던 곳을 33m나 메워서 조성한 땅이고, 바다 밑 400m까지 파내려가도 단단한 지반이 나타나지 않는 곳이다. 때문에 말뚝은 박을 엄두도 내지 못하고 매트 기초로 설계할 수밖에 없었으며, 차후 50년간 11m정도는 가라앉을 것을 애초부터 예상하고 시작한 모험이었다. 그들은 땅이 가라앉아 건물이 찌글찌글 비틀어지게 되면, 그 때 가서 더 많이 가라앉은 기둥을 자동차 바퀴 뺄 때처럼 유압 잭으로 들어올려 철판 썩기를 끼우도록 준비해 두었다. 문제는 기초의 침하량과 그 속도가 설계 당시에 예상했던 값보다 더 크다는 점이다.

반면, 인천 국제공항 부지는 간사이 공항과는 근본적으로 다르다. 기초 지반 상태는 극히 양호하며, 40m를 채 파지 않고도 경질 지반을 만날 수 있는 최적의 부지이다. 여기에 강관 말뚝을 경질 지반까지 박고 그 위에 집을 지은 것이므로, 간사이 공항의 기초 침하 상황을 인천 국제공항과 연관지어 걱정할 필요는 없다는 점을 여기에 밝힌다. ㉮