

인천국제공항 여객터미널 지붕구조 설계의 변천 과정

Design Process of the IIA PTB Roof Structure



이 창 남*
Lee, Chang-Nam

1. 지붕 구조 설계 변천 과정의 개요

국제공항 터미널 건물도 다른 목적의 것들과 마찬가지로 건물의 기능을 만족시키고 사용자들에게 좋은 이미지를 주면서도 경제적이면 그만일 것이라는 막연한 생각을 하고 있었다. 그러나 이번 기회를 통하여 국제공항과 같은 특수 목적 건물은 그것 말고도 또 다른 중요한 요인들이 크게 작용함을 감지하게 되었다.

사람을 만나거나, 어느 집을 방문했을 때, 첫 인상은 매우 중요하다. 그런 의미에서 우리나라를 대표하는 인천국제공항은 한국을 방문하는 외국인들에게 좋은 인상을 심어주도록 하는 데 큰 역할을 할 수 있는 장소임을 깨닫게 된 것이다.

우리 한국사람들 끼리는 그 얼굴이 그 얼굴이라 별다른 특징이 있는지를 분간하지 못하지만 외국사람들의 눈으로는 세계 속의 한국인 얼굴의 특징을 쉽게 찾아내는 것을 발견한

다. 또한 앞에 언급한대로 인천국제공항이 우리나라를 외국사람들에게 소개하는 중요한 매체라는 시각에서 본다면 외국인의 눈에 한국 뉘새를 함축하는 건물 모양을 갖추도록 설계하게 하는 것이라고 긍정적인 생각을 하려고 마음먹었다. 이는 마치 외국인 손님에게 우리가 즐겨 먹는 청국장을 대접하는 실수를 범하기보다는 차라리 불고기나 물김치 정도를 권하는 것이 오히려 무난할 수 있기 때문이다. 그래서 인천국제공항의 현상설계 참여 조건은 외국 설계사와 컨소시엄으로 작업하도록 한 것을 굳이 부정적인 시각으로만 보지 말아야겠다고 다짐한 것이다.

즉 우리나라의 유명 건축사사무소인 범, 희림, 정림과 원도시건축이 BHJW라는 이름으로 연합(후에는 까치 건축사사무소로 개명)하여 미국의 FENTRESS사와 컨소시엄을 이루어 현상설계에 참여하여 드디어 당선된 것이다.

지붕 구조는 외부에서 볼 때 '하늘을 향해 유연하게 솟은 처마 곡선과 한국의 전통 건축의 자연스런 지붕

선을 연상시키도록 설계하였으며, 하늘로 솟은 mast column은 항구에 정박한 선박을 자연스레 연상시켜 해상공항의 이미지를 부각시키도록 했다고 설명하고 있다.

업무 범위는 미국의 FENTRESS사가 기본 계획을 맡고 까치는 본설계를 담당하는 것이었는데 미국사의 구조 컨설턴트는 콜로라도주 덴버에 위치한 Martin & Martin이고 한국 측에서는 센구조가 업무량의 2/3, 나머지 1/3을 전우구조가 연합하여 SEN-JAA라는 이름을 붙였고, 총괄 책임은 센구조가 맡는 방향으로 계약이 이루어졌으며, 여기서 거론하는 지붕 등 상부 구조의 본설계는 주로 센구조가 다루도록 업무를 분담하였다.

잘 아는 바대로 현상 설계는 개략적인 개념도를 미화시키고 다분히 과장된 표현을 곁들이는 것을 수단으로 삼는 것이 상례이며, 이 당선안도 별로 다를 바 없어서 실상 기본 설계 도면을 받아든 필자로서는 다소 당황할 수밖에 없는 면이 산재해 있음을 발견하게 되었다.

* 센구조 연구소, 대표이사

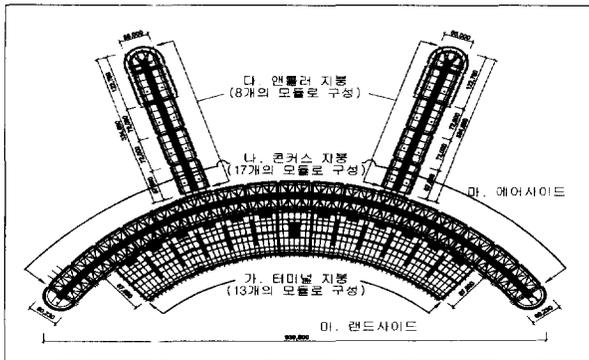


그림1. 여객터미널 전체 평면도

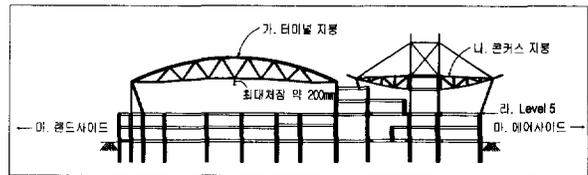


그림2. 주 단면도

그 이유는 현상설계 당시에 필자가 구조 컨설팅을 할 기회를 부여받지 못하였기 때문이었음도 밝혀둔다.

이런 문제는 현상설계에서 자주 일어나는 일이며 최근 상암동에 설치 예정이었던 천년의 문도 그런 예라고 할 수 있다. 천년의 문 계획안이 결정되었을 때 실시 설계를 위하여 구조설계가 가능한지 문의해 왔다. 우리 선구조에서는 당연히 당선 안인 원형(ring)으로의 구조 설계를 담당할 수 있는지 여부를(용역비도 받지 않은 단계에서) 사전 검토하였으며, 허부 기초 정착부위를 다소나마 보강하는 변경이 필수적임을 설명하면서, 컨설팅 비용을 제시하였으나 아무런 답변이 없다가, 최근 어떤 잡지 기사 사진을 보고서야 역시 당선 안대로의 실현은 무리라는 것을 확인할 수 있었다.

때로는 이런 것을 역이용하는 경향도 있음을 아는 사람들은 다 안다. 즉 현상 설계 당시에는 길모양이나 평, 단면에서 실제로는 불가능하거나, 비합리적임을 알면서도 불구하고 우선 당선만을 목표로 설계안으로 제시하는, 다소 부도덕한 행위를 일삼는 일도 없지 않다. 이 같은 일이 가능한 것은 현상설계 심사 당시 통

상 전문가다운 구조 전문가가 배제되는 경우가 있기 때문이다. 그런 말을 하면 지나친 비약이라고 할지 모르겠으나, 그 때문에 필자도 현상설계 안을 마련하는 단계에서 자문 요청을 받을 때, 내가 관여하지 않는 것이 오히려 당선 가능성을 높일 수 있음을 설명하곤 한다. 우리뿐만 아니라 선전 외국에서도 현상 설계를 위하여 구석구석 모두를 잘 아는 경험자 대신 대학을 갓 졸업한 신출내기에게 계획안을 맡기는 것이 당선 확실성을 높이는 방법이라는 말도 있을 지경이기 때문이다.

어쨌든 인천국제공항도 당선 안대로 실시 설계를 하여 집을 짓도록 하려면 안전성과 경제성이 보장되어야 하며, 나는 그런 확신을 가지고 책임을 지겠다는 도장을 찍어야 하는 입장이 되었다.

다음은 그 경위를 설명하는 내용이 된다. 이를 듣기 좋게 미화하는 말로 쓴다면 계획의 발전 과정이라고 표현할 수 있을 것이다.

또한 본 설명이 인천국제공항 여객터미널 구조 전반에 걸친 설명이기를 기대하는 독자도 있을지 모르나, 이 잡지는 강구조 학회지이므로 우선 강구조 중에서도 지붕 구조에 관해서만

설명함을 양해해 주기를 바란다.

또한 강구조학회지에 이와 같은 양심선언성(?) 기사를 기고하는 경우는 별로 없는 지 모르나, 나는 감히 그간의 경위를 솔직히 설명하고, 우리 건축기술자들의 고민을 있는 그대로 소개하는 것도 후학들에게 도움이 될 수 있기 때문에 용기를 내서 공개함을 양해해 주시기 바란다.

우리는 땀 흘려 어려운 일을 했는데도 과정에서의 고통은 목살 당하고 조금이라도 실수가 있으면, 아니 실수가 아닌 시행 과정에서의 필연적인 절차임에도 불구하고 언론에서 대서특필하여 짓밟는가 하면, 준공식에는 실제로 고생한 사람들을 제쳐놓고 축제를 벌이는 것에 익숙한 것이 현실이다. 필자도 여러 해 동안 여객터미널의 구조 안전에 책임을 지고 일 해 왔으나 정작 준공식장에도 초대받지 못하였기에 하는 말이다.

이해를 돕기 위하여 우선 지붕의 각 부 명칭을 그림1, 2로 설명하기로 한다.

- 가. 터미널 지붕
- 나. 콘커스 지붕
- 다. 엔틀러 지붕
- 라. Level 5
- 마. 랜드사이드, 에어사이드

2. 터미널 지붕 계획안의 발전 과정

2.1 개요

현상 당선작인 FENTRESS 안에 서부터 실제 공사에 적용한 HDA 최종안에 이르기까지의 변천 과정 중 굵은 줄거리를 설명하고자 한다.

여기서 HDA의 정체에 관한 설명을 할 필요가 있다. 이는 FENTRESS의 구조 자문을 했던 Martin & Martin(덴버공항 구조 설계를 한 회사)이 초기에 제안했던 터미널 지붕(lenticular truss)의 구조 안전성 여부 질의 등에 대해 신속한 해답을 주지 않음에 대한 불만 때문에 후임으로 선정된 업체로 대표자가 영국의 OVE ARUP 출신이며 OVE ARUP을 통해 구조자문을 수행하였다.

2.2 최초 FENTRESS 안

그림3은 원래 FENTRESS안(현상 당선작)을 보여주는 그림이다. 이 구조 방식은 다섯 개의 평면 트러스가 각각의 지붕 모듈을 grid line을 따라 받쳐주고 있는 형상이다. 트러스 양단지점에서 중앙부 정점까지의 높이는 5m이며, 트러스 자체의 중앙 최대 높이는 9m이다. 따라서, 하현재는 지지점에서부터 중앙부 쪽으로 커브를 그리며 내려가게 된다. 이렇게 하여 이루어지는 전체 트러스 모양이 마치 볼록렌즈와 같다고 해서 렌티큘러 트러스(lenticular truss)라는 이름이 붙었으며, 트러스는 길이 방향으로 수직재에 의해 4등분된다.

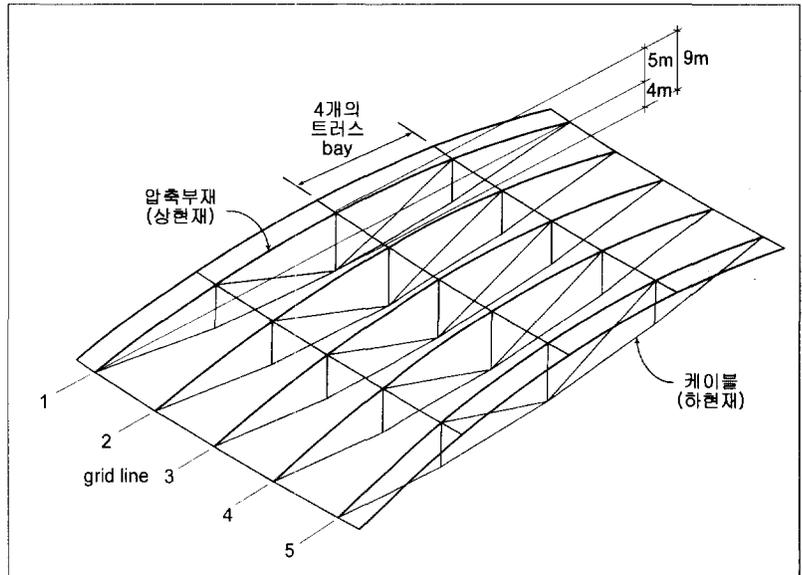


그림3. FENTRESS 안(Terminal 지붕)

트러스의 높이가 9m나 되는 큰 것임에도 불구하고 현상 심사서 부담 없이 받아들여진 이유는 아마도 하현재와 사재가 가느다란 케이블이어서 시원한 느낌을 주기 때문일 것이다.

각각의 트러스 하현재는 2개의 60mm 굵기의 케이블로 이루어져 있기 때문에, 케이블의 특성상 트러스는 단지 수직 하향 하중만을 받을 수 있다.

그러나 본설계를 착수하기 위하여 기본 계획을 검토하던 중 인천 앞 바다의 풍하중에 의해 지붕에 상향 분력이 작용하면 트러스가 하늘로 솟아오르는 현상이 발생하게 되는데 그 값이 제시된 경량지붕과 골조 자중에 의한 고정하중보다도 오히려 크므로 하현재 즉, 케이블에 압축 응력이 발생하게 되고 이 경우 지붕을 지지하는 기본 모듈인 렌티큘러 트러스는 더 이상 트러스로서 역할을 하지 못하게 되어 결국 구조상 안전성이 보장되지 않는 것을 확인하게

되었다. 이는 너무나 기본적으로 단 몇 분만의 검토만으로도 알아낼 수 있는 사항이어서, 구조 안전을 책임져야 할 필자는 이를 설명하도록 미국 측에 요구하였으나, 오랜 기다림 끝에 받은 해명은 지붕에 80kg/m²의 무게가 나가는 경량콘크리트를 추가하도록 변경해야겠다는 해답을 받게 되었다.

나의 좁은 소견으로는 경제성을 이유로 날아갈 듯 가볍게 설계했던 지붕구조가 너무 가벼워서 날아가지 못하도록 무게를 늘려야 하는 역설이, 마치 평화를 위해 전쟁을 해야 한다고 주장하는 독재자의 자기 합리화와 다름이 없다고 생각했다.

“한편 썰 대신 닭”이라고 가볍게 처리하는 것을 원칙으로 삼았던 지붕에 콘크리트를 얹는 방법이라도 수용하려고 검토하던 건축 팀에서 지붕 곡면에 현장 콘크리트를 부어 넣는 게 어렵다고 강력하게 반대하는 바람에, 아름답다는 이유로 현상에 당선된 렌티큘러 트러스는 인천

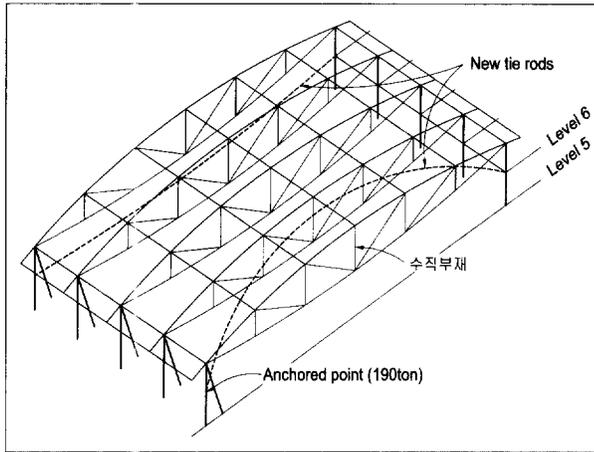


그림4. Tie down cable을 도입한 FENTRESS안

국제공항 여객터미널 지붕에 올라가 보지도 못하는 운명에 처하게 된 것이다.

2.3 Tie down 케이블을 도입한 FENTRESS scheme

그래서 하늘로 올라가려는 지붕 트러스를 tie down 케이블로 level 5(바닥)에 붙들어매는 방법도 고려해 보았으나, 이는 넓게 쓰자고 설계한 무주공간에 장애물을 추가하는 모순을 자처하는 격이 되므로 감히 말도 붙이지 못하는 딜레마에 부딪치게 되었다. 차선책으로 지붕을 지지하는 기둥 중간 높이에다 tie down 케이블을 붙들어매는 방법도 시도하였다.(그림4) 케이블에 작용하는 힘을 최소화하기 위하여, 주 tie down 케이블을 88m 경간에 위로 10m올라가는 정도로 가정하여 곡률을 최대한으로 늘려보았으나 그와 같이 하였을 때, 케이블은 190톤의 힘으로 당겨줘야 경량콘크리트를 쳤다고 가정했을 때의 고정하중에 필적할 만하게 지붕을 내리누를 수 있었다.

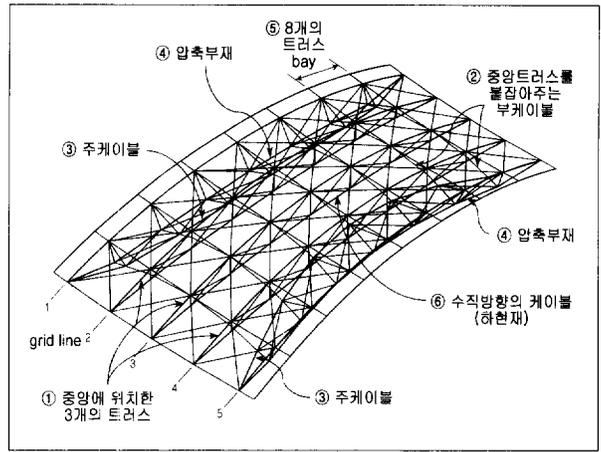


그림5. Prestressed cable을 이용한 HDA 안

케이블을 level 5 바닥 frame에 고정 시키는 경우, frame은 케이블의 수평 분력으로 인한 압축력과 수직 분력으로 인한 인장력을 동시에 견딜 수 있어야 하는 데 당시 사정으로 이는 불가능한 것이 확인되었고 기둥 중간에 정착시키려면 너무 거대한 기둥을 필요로 하게 됨을 확인하였다.

지붕이 바람에 젖혀지는 문제점을 고민하던 와중에, pre-tension을 걸어주면 초기 안에서 생각한 것처럼 콘크리트의 무게로 지붕을 내리누르는 것과 동일한 효과를 얻을 수 있을 것이라는 가정을 하게 되었다. pre-tension과 고정하중은 바람에 지붕이 들리는 현상에 대응할 수 있는 방법이 된다. 그러나 그 방법은 큰 고정하중 및 pre-tension이 필요하여 부재 단면이 과대해져야 지붕이 바람에 젖혀지는 현상을 방지할 수 있음을 확인하였다.(그림4)

2.4 Prestress 케이블을 이용한 HDA 안

그림5는 prestress 케이블을 이용

한 HDA 안에 대한 설명이다. 이 방식은 FENTRESS 안을 변경시킨 것으로, 렌티큘러 트러스의 단점이랄 수 있는 높이가 너무 높은 것을 대폭 줄이는 것으로 하현재가 오히려 초생달처럼 상향 곡선을 이루도록 하는 것인데, 이렇게 트러스의 높이를 대폭 줄이다 보면 당연히 트러스 길이방향으로 베이의 수가 많아져서 결국 원래의 4개를 8개로 늘리도록 시도한 것이다(⑤).

중앙의 3개의 grid line을 따라 위치한 세 개의 트러스(①)는 이들과 직각방향으로 중앙을 향해 휘어져 올라가는 부(secondary) 케이블(②)에 의해 고정되고, 이 케이블들은 다시 차례로 지붕모듈의 장변방향 양쪽 외곽을 따라 설치되는 2개의 주(primary) 케이블(③)에 의해 고정된다. 이에 덧붙여서, 압축력에 저항할 수 있는 부재(이하 압축부재라 함) 두개가 양쪽 두 개의 주 케이블과 거의 나란히 (주 케이블의 바깥쪽으로) 배치된다(④). 이 압축부재들은 주 케이블과 함께 지붕모듈의 장변방향에 대해 안쪽과 위쪽으로 약간 휘어지는 '두개의 거의 수

평인 트러스를 이루게 된다. 이 트러스들은 부 케이블을 잡아준다. 이로 인해 주 케이블을 외부에서 잡아줄 필요가 없게 되었다. 주 케이블은 이제 '두개의 거의 수평인 트러스'의 압축부재에 의해 각각 지지되게 되었다. 이와 동시에, 압축 부재들은 트러스의 하현재로 작용하면서, 외부에 있는 나머지 두개의 grid line들을 지지하여 결국 지붕이 들리는 현상을 제어하게 된다. '거의 수직인 트러스(quasi vertical truss)'와 '거의 수평인 트러스(quasi horizontal truss)' 각각의 옆에 달린 bracing(가새)은, 압축 부재들의 좌굴 현상을 방지해 준다. 이렇듯 시스템을 개선했지만, 여전히 케이블 시스템은 중앙의 트러스의 하부 케이블을 팽팽하게 유지해서 지붕을 짓히려는 바람의 힘에 대응해야 하기 때문에 pre-tension을 도입해야 했다.

pre-tension의 크기를 줄이기 위해 지붕의 곡선까지 조정하여 보았지만 주 케이블에는 약 750톤의 pre-tension이 필요했으며 이것은 압축부재를 지나치게 크게 하여야 하는 결과를 낳게 되어 이것 역시 포기하게 되었다. 하지만 위에 설명한 안을 연구하는 과정에서 다음 최종안의 지붕 모듈 중앙부(shell action에 의해 지지되는 vault)를 설계하는 기본 요령을 터득하는 계기가 되었다.

2.5 설계에 적용된 HDA 최종 안

HDA의 최종안은 그림6에서 설명한 안을 더 발전시킨 안이다. 이는 prestress의 필요성을 없애고 지붕 모듈의 중앙부를 보다 효율적으로

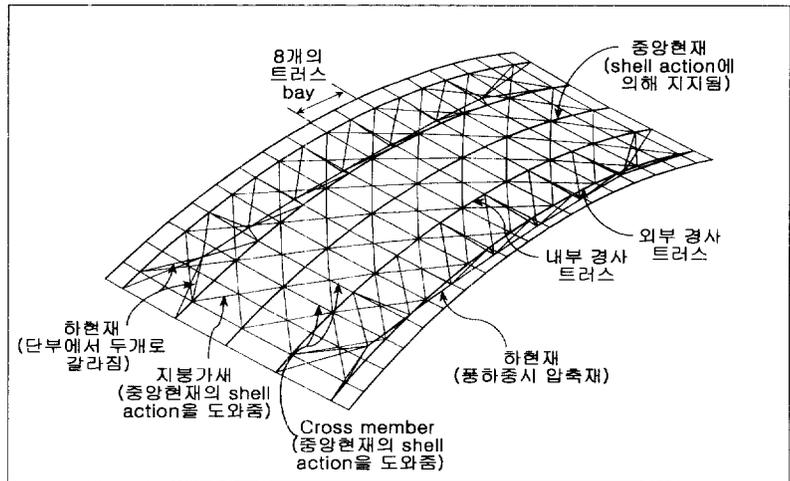


그림6. HDA 최종 안

지지할 수 있게 해 주면서 지붕면의 vault 모양새를 보기 좋게 구현해 준다. 내부 표면을 따라 경사진 edge 트러스를 사용하고, 지붕 중앙부의 depth를 최소화시켜 구조물의 모양을 유지한다.

그림6의 안을 연구하는 과정에서 shell action은 주 트러스 사이에 있는 지붕의 강성을 팽목할만하게 증가시켜 줄을 터득하게 되었고, shell action을 도입함으로써, 내부 트러스의 상현재를 별도의 하현재와 수직재 없이도 지붕의 in-plane 부재(X-bracing과 cross member)들에 의해 지지해 줄 수 있게 되었다.

shell action의 효율성을 결정하는 변수들은 다음과 같다.

- 지붕의 곡률(the curvature of the roof)
- 횡방향의 경간 길이(the distance to be spanned laterally)
- 지붕 가새 부재들의 강성(the stiffness of the roof bracing members)
- 지붕 면에 있는 cross member의 크기

위와같이 하여 중앙의 grid line만 지지요소가 없이 구현되도록 결정하였는데, 이는 shell action에 의한 횡경간의 거리를 제한하기 위해서이다. 따라서, 적용된 안의 골자(骨子)는 지붕의 두개의 트러스로 구성되는 shell action이 중심 grid line을 지지한다는 점이다. 이러한 트러스들이 비틀림 모멘트에 효과적으로 저항할 수 있다면 지붕의 중심부에서 발생하는 처짐을 최소화할 수 있을 것으로 생각이 되었다. 이러한 이유로, 지붕의 측면을 따라 두개의 상현재와 한 개의 하현재(상현재 사이를 3등분하여 지붕 외곽에 가까운 쪽에 설치하고 단부에서는 두 개로 갈라져 기둥에 지지됨), 그리고 가새들로 이루어진 역 삼각형 트러스를 도입하게 되었다.

이 트러스 중앙부의 높이는 7.8m이고 지붕은 지점으로부터 9m정도까지 치켜올렸기 때문에 트러스의 하현재는 지붕의 중심부를 향해 약간의 커브를 그리며 올라가게 되었다.

이를 요약하면 다음과 같다.

그림6과 같이 스패 87.5m의 터미널 지붕은 약 60m 폭이 한 모듈로 형성된다. 각 모듈은 두 개의 주역 삼각형 트러스로 지지되며, 트러스 사이에는 지붕의 shell action으로 지지되는 중앙 상현재가 설치된다. 이러한 shell action은 지붕 면 가새와 트러스 사이를 연결하는 cross 부재와 트러스 상현재의 곡률에 의해서 생성된다.

지붕은 land-side쪽에서 각 모듈의 외곽에 설치되는 수직 및 경사 기둥으로 이루어진 두 쌍의 사자형 기둥과 내부의 3개의 경사 기둥이 지지하는데, 이 사자형 기둥은 수직 및 수평 하중에 저항하는 braced frame을 구성한다. 또한 경사기둥 사이에는 그 경사면을 따라 벽 bracing을 설치하여 횡력에 저항하게 한다. 그리고 반대편은 5개의 수직기둥이 지지하며, 이 수직기둥은 상,하부 모두를 아이디얼한 pin으로 설계하여 마치 roller지점과 같이 장경간 구조에서 생길 수 있는 온도 응력에 대응할 수 있도록 하였다. 전체 길이 718m의 터미널 지붕은 13개 모듈로 구분하였고 각 모듈 사이에는 조인트를 두어 온도 변화와 지진에 안전하게 하였다.

3. 콘크리트 지붕 계획 안의 발전 과정

3.1 FENTRESS 안

콘크리트 지붕은 4개의 mast를 서로 엮어서 횡 방향의 안정성을 확보하고, mast에서 상향으로 굽은 tapered plate girder 끝 부분을

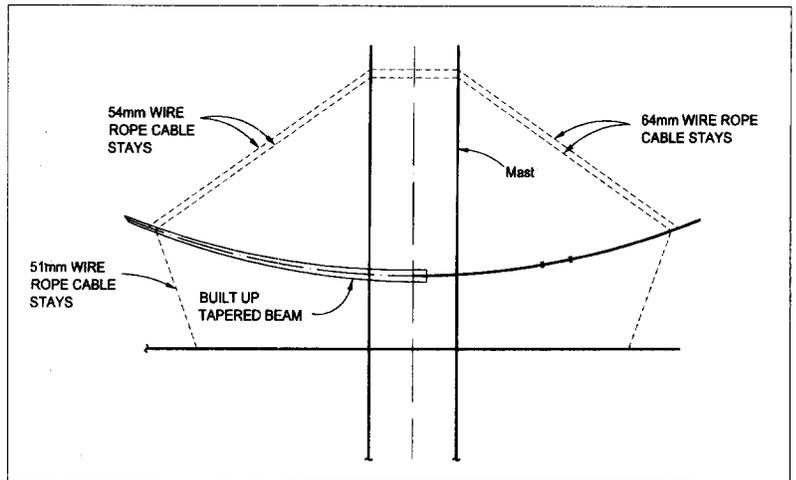


그림7. 콘크리트 지붕(FENTRESS 안)

wire로 달아매는 구조(그림7)였는데, 이는 앞의 터미널 지붕이 과도한 볼록한 산 부분을 상징하는데 반하여 과도의 오목한 골짜기를 표현하는 것이었다. 보의 끝 부분을 달아매면 고정하중이나 적설하중에는 도움이 되나, 바람이 불어 상향 하중이 작용하면 오히려 떠오르는 경향이 있게 되므로 이를 방지하기 위하여 아래로도 wire rope로 끌어 경사지게 잡아당기는 조치를 취하는 것이었다.

3.2 문제점과 해결책

오목한 모양의 지붕 면에 눈이나 비가 왔을 때, 물이 고일 가능성이 있다는 문제점이 제기되었다. 적당한 재료로 완벽한 시공을 하고 중앙에 위치한 강관 mast를 통해 빗물을 흘려주면 안될 것은 아니겠으나, 장기간 사용하다 보면 낡아서 물이라도 셀 경우 뒤통리가 간단하지 않을 것이라는 부정적인 반응도 나왔다. 그래서 오히려 지붕 가장자리 쪽으로 약간의 경사가 지도록 지붕 가운데

를 높이도록 변경하게 되었다. 이로 인해 원 안이었던 과도 모양은 사라지고 전체 건물 모양도 크게 달라지게 된 것이다.

여기서 더 근본적인 문제를 제기하면 다음과 같다. 초기 안에서는 건물 외벽면에서 중앙 mast까지의 간격이 약 28m였으며, 외벽에는 당연히 유리창이 있는데 그 높이가 14m나 되므로 이를 지지하는 mullion의 단면도 무시 못할 정도로 커질 수밖에 없었다.

만약 mullion을 기둥으로 겸용할 수만 있다면 지붕 끝을 달아매는 wire rope는 물론 지붕 외부로 높이 솟아 있는 mast도 필요 없게 된다. 이렇게 되면 과도에 이어 항구에 정박한 선박을 연상하게 하는 근본 설계 아이디어도 실현될 수 없는 지경에 이르는 것이다.

지붕면을 높이면서 중앙의 주골조(mast)로부터 24m 떨어진 가장자리까지는 원래의 plate girder 대신 삼각형 트러스를 사용하도록 변경되었다. 삼각형 트러스의 하현재는 원래의 plate girder와 같은 위치에

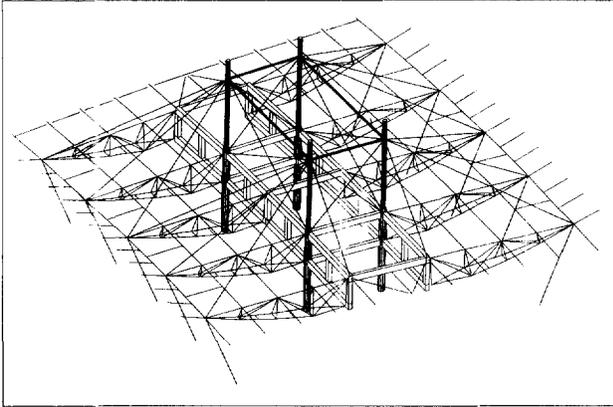


그림8. 콘크스 지붕(최종 안)

그리고 상현재는 높아진 지붕을 따라 설치되었다. 또한, 지붕면이 높아짐에 따라 증가된 지진력에 대응하기 위해 mast들의 사이를 연결하는 주 내 횡력 구조는 피렌델 트러스로 해결하는 방향으로 발전되었다. 역시 피렌델 트러스의 하현재는 원래의 plate girder와 같은 위치에 그리고 상현재는 높아진 지붕면을 따라 설치하여 변화된 지붕의 형태로부터 발생한 구조적인 문제를 그 변화된 형태를 그대로 수용하는 방법으로 해결하였다.(그림8)

그러나, 초기 안이 항구에 정박한 선박을 자연스럽게 연상하게 하는 것이라고는 하나, 우선 위에 거론한 물처리 문제 말고도 다른 걱정하는 말이 오가게 되었다. 인천 앞 바다의 짙바람이 불면 지붕을 달아맨 wire가 녹이 날 터인데 이를 어떻게 관리할 것인가 하는 것이다. 초기 안을 설계한 Martin & Martin을 방문했을 때 그들이 설계한 덴버 공항을 견학하였다. 설명에 의하면 wire가 녹이 나는 것에 대비하여 계산상 2가닥이면 되나 3가닥으로 여유 있게 배치하여 세월이 흐른 후 새 것으로 교체하면 된다는 것이었다. 하지만

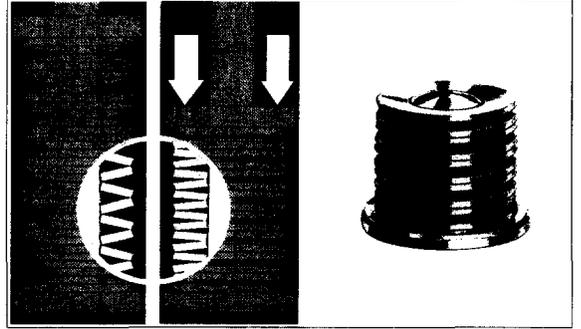


그림9. disc spring box

그곳은 사막지대인데 반하여 인천국제공항은 바다를 메워서 짓는 것이므로 더 심각하다는 말이 오가게 되었고 이후 wire는 강봉(steel rod)으로 교체하기로 하였다. 하지만 원래의 suspension 구조에는 변함이 없었으며 따라서 필자는 엉뚱한 제안을 해 보기로 했다. 앞에 설명한대로 경간이 30m도 안 되는 경량 지붕을 mast를 세워 강봉으로 달아매는 구조 방식으로 설계한 것은 구조상 필요해서 그런 것이 아니라 모양 때문인 것인 바에야 이제라도 양보해서 mast와 wire를 아예 없애버리는 것이 후환을 미연에 방지하는 것이라고 역설하게 되었다. 그러나 이는 너무나 파격적인 제안이라 받아들여지지 않았으나 다음에 설명하는 앤들러 지붕에서는 여러 모듈 중 끝단의 두 모듈에만 남겨두고 나머지는 삭제하는 방법을 채택할 수 있었다.

이를 주장한데는 또 다른 이유가 있다. 지붕 끝에 강봉을 걸어 잡아당겨 주면 고정하중이나 적설하중에는 유리하나, 풍하중에는 오히려 들리는 경향이 있음을 앞에서 설명한 바 있다. 그래서 이를 방지하기 위하여 지

붕 끝에서 오히려 강봉을 걸어 아래로 잡아당겨야 안전하다는 결론에 도달하였고, 그렇게 하다보니 지붕 끝은 눈이 오거나 바람이 불 때마다 수시로 오르락내리락 하게 된다. 그래서 이를 최소화 하기 위하여 강봉 중간에 Disc Spring Box(그림9)를 끼우고 pre-tension을 걸어서 어떤 경우에도 강봉에는 인장력만 작용하도록 하는 번거로움을 감수하여야 한다. 그렇게 해도 오르락내리락 하는 지붕 끝을 믿고 mullion을 지지시키면 무슨 일이 일어날 것인가는 불문가지이다. 우리가 깨지는 불상사가 예상되는 것이다. 이를 방지하기 위해서는 mullion을 횡방향으로만 지지하고 상하 방향으로로는 자유롭게 하는 조치가 필요하며 그 노하우는 HDA가 제공한다는 것이다.(그림 10) 병 주고 약 주는 격이다.

걸어가도 될 은행에 자동차를 몰고 갔다가 주차비를 냈고 오다가 교통 위반 딱지를 받은 경우라거나 할까? 어쨌든 앤들러에서는 mast와 강봉을 삭제하는 대신 mullion이 기둥을 겸하자는 극단적인 방법은 아니라고도 경사 기둥을 추가하는 것으로 마무리하게 되었다.

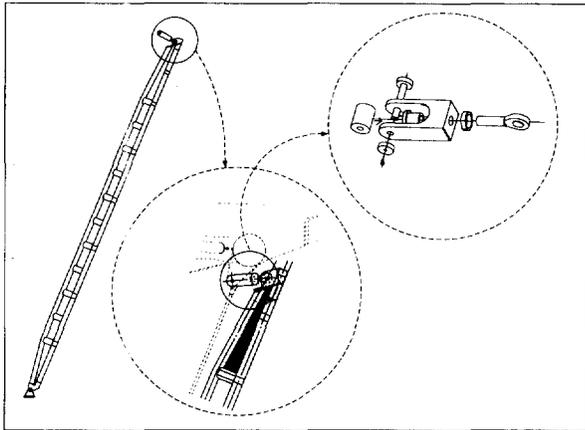


그림10. 수직 변위 흡수 connection

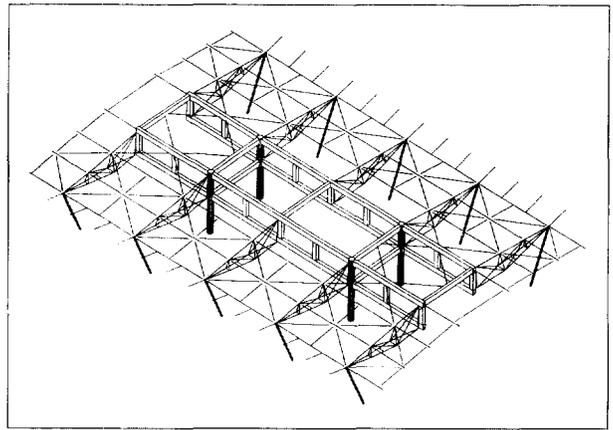


그림11. 앵들러 지붕

비행장에는 항상 비행기가 오르내린다. 현대 과학이 안전을 보장한다지만 만약의 경우 비행기가 잘못되어 강봉을 살짝 건드려 끊어지는 사고라도 나면 지붕이 주저앉을 것인가?

앞에 거론한대로 mullion의 내력을 검토한 결과 강봉이 큰 충격 없이 끊어진다면 능히 지붕 무게를 견딜 수 있음을 확인하였다. 그래서 농담 삼아 강봉을 거는 것이 부담스럽다면 대신 마닐라로프로 붙들어맸다가 썩으면 갈아 끼우라고 했었다.

전에는 이같은 낭비를 하는 것을 볼 때마다 마음이 편치 않았으나, 한편 다른 각도에서 바라보면 건축 마감재료나 다른 건축계획상의 낭비는 이보다 훨씬 심하다는 것을 알 수 있을 것이다.

4. 앵들러 지붕 계획 안의 발전 과정

앵들러 지붕은 기본적으로 콘크리트 지붕과 그 구조 형식이 동일하므로 원래의 형태가 수정된 변화에 대해서만 거론하기로 한다.(그림11)

- mast와 tie 역할을 하는 강봉이 제거되었다.
- 지붕면을 지지하는 삼각형 트러스의 단부를 강봉으로 달아매서 내리는 대신 강관 기둥을 세웠다.
- 지붕 모양이 오목 형태에서 약간 경사지게 올려진 모양으로 수정되었다.

콘크리트 지붕의 경우와 마찬가지로, 지붕을 높이면서 증가된 지진에 의한 횡하중에 대해서는 피렌델 트러스로 해결하는 방향을 적용하였다.

앵들러 끝단에만 상징적으로 mast와 강봉을 이용한 suspension 구조를 남겨 두었다. ▲