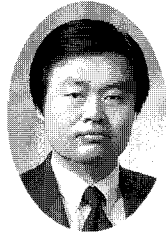


2002 아시안게임 금정 싸이클 경기장 지붕 구조설계

- Structural Design of Geumjeong Cycle Stadium for 2002 Busan Asign Games -



김종수*
Kim, Jong-Soo



김동환**
Kim, Dong-Hwan



신창훈***
Shin, Chang-Hoon

1. 머리말

2002년 부산에서 개최되는 아시안 게임 경기장들이 부산의 여러 지역에 건설되고 있다. 본 경기장은 싸이클 경기장으로 아시안 게임 종료 후, 경륜장으로 전환하여 사용할 계획이다<그림 1>. 경륜장으로의 전환을 위해 관람석 부분 전체에 지붕을 설치하는 것으로 계획되었으며, 하부의 실(室)은 특별석과 일반석으로 분리되었고, 그에 따라 지붕 시스템도 변환되어 설계되었다. 지붕은 일부만 설치되는 1차 공사분과, 막지붕 설치를 포함한 전체 지붕공사인 2차 공사분으로 나뉘어 설계되었다.



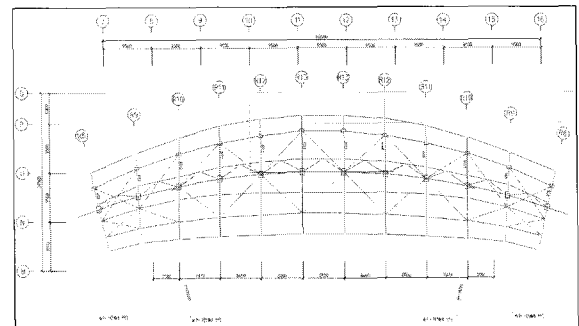
<그림 1> 2002 부산아시안게임 금정 싸이클 경기장

* (주) C·S 구조엔지니어링 대표이사 건축구조기술사
** (주) C·S 구조엔지니어링 이사 건축구조기술사
*** (주) C·S 구조엔지니어링 대리

2. 구조계획

2.1. 개요

금정 싸이클 경기장은 약 5,000명의 관객을 수용할 수 있으며, 약 6,700m²의 지붕(2차 공사분)으로 구성되어 있다. 지붕은 경기장의 관람석을 따라 타원형으로 되어 있으며, 각각의 열에서 두 개의 하부 지점을 가지는 캔틸레버 Truss로 형성되어 있다. 각 Truss는 두 개의 하부 PC기둥에 지지되는 것으로 캔틸레버의 최대 스패ンは 12m이다.



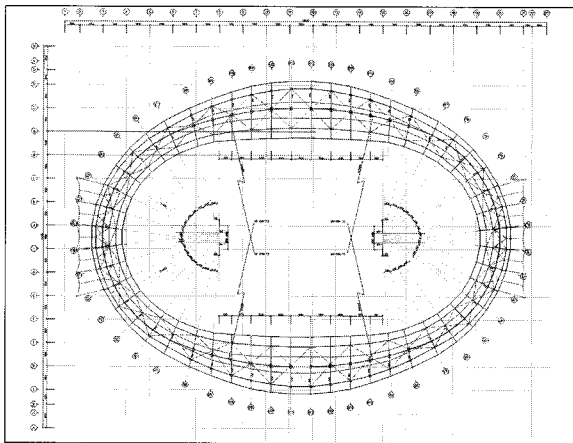
<그림 2> 1차 공사분에 대한 지붕 평면

지붕 전체가 하나의 Diaphragm으로 거동할 수 있도록 하는 것이 지붕의 안정성을 확보하는 데 아주 중요하므로, Steel Rod로 보강하였다. 지붕 가새

로 사용된 Tension Rod는 인장재로서 압축력에 저항할 수 없으므로 적절한 초기 장력을 도입하여 모든 하중 조합에 구조적으로 거동할 수 있도록 계획하였다.

경기장은 2002년 싸이클 경기장의 용도로 사용될 때 필요한 양의 지붕(1차 공사분 : 그림 2)과 경륜장으로의 변환이 이루어진 후의 지붕(2차 공사분 : 그림 3)으로 나누어 계획, 설계되었다.

1차 공사분의 지붕은 서측 특별석 부분의 지붕만 설치되는 것으로, 이 지붕이 단독으로 계획되었을 때 Roof Diaphragm을 위한 부재를 설치하여 안정성을 검토하였다.<그림 3>



<그림 3> 2차 공사분에 대한 지붕 평면

주 지붕과 회랑 지붕 사이를 연결하는 부분에는 막으로 형성된 지붕이 설치된다. 막 지붕은 모두 3가지 형태의 것으로 계획되었는데, 동·서측의 케이블막 지붕, 남·북측의 골조막 지붕, 그리고 회랑 전면에 설치되는 소규모 골조막 지붕이 그것이다.

이 부분은 설계 변경에 의하여 추가된 부분으로, 기존 설계에 의해 시공의 일부가 완료된 상태였기 때문에 기존 구조와 결합되는 부분의 부재들은 보강을 피할 수 없었다. 특히 케이블 막 부분이 설치되는 회랑 지붕의 경우는 횡력에 저항할 수 있는 시스템을 별도로 고려하였다.

2.2. 구조 재료

본 경기장에 사용한 구조재료는 가능한 범위내에서 국내 생산이 가능하고, 경제성이 있는 것을 사용

하는 것을 원칙으로 하였다.

2.2.1. 강재

구분	기호	설계강도
기둥, 보, Roof Purlin	SS400, SPS400	Fy = 2,400 kgf/cm ²
Roof Main Truss	SM490, SPS490	Fy = 3,300 kgf/cm ²
부재 보강 부위	SM490	Fy = 3,300 kgf/cm ²

2.2.2. 고강도 강봉

시험 크기	인장시험				충격치 (J/cm ²) -20℃에서	탄성계수 (N/mm ²)
	인장강도 (N/mm ²)	항복강도 (N/mm ²)	연신율 (%)	ROA (%)		
직경 19~146 mm	최소 610	최소 460	최소 20	최소 45	최소 27	최소 19 × 10 ⁴

2.2.3. Strand Cable (막구조용)

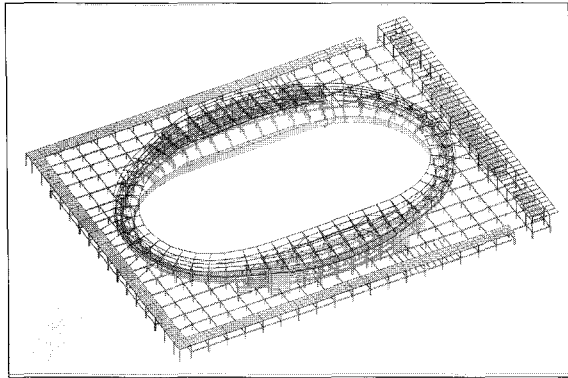
크기 (Dia : mm)	표준단면적 (mm ²)	절단하중 (tonf)
26	329	44.4
32	499	67.4
40	763	101

3. 구조해석

3.1. 구조해석의 개요

구조해석은 Midas-Gen(Ver 3.5)에 의하여 수행되었으며, 전체구조물의 모형화하는데 있어 원하는 출력력을 빠르고 정확하게 얻기 위하여 몇가지의 별도 모델을 만들어 해석에 이용하였다. 싸이클 경기장의 구조물 해석을 위한 모델링은 그 형태의 비정형성 때문에 CAD에 의하여 3차원 모델링한 후 이를 해석 툴로 읽어들이는 방법을 취하였다. 이 방법은 좌표입력의 시간을 줄일 뿐 아니라 형상적 오류를 최소화하는 방법이어서 모델링 시간을 최소화할 수 있었다. 지붕 부재의 설계를 위해서는 지붕을 이루는

모든 요소를 모형화하였고, 지붕의 전체적인 거동에 영향을 주지 않는 부재들은 삭제하였다.



〈그림 4〉 전체 모델링

구조해석에 적용한 별도 모델은 골조막 부분에 대한 해석과 케이블 막 부분 해석 그리고 차양막 구조물에 대한 해석 등이 있다. 스탠드와 레이커 빔의 경우는 Post Tension을 적용한 경우이므로 각 Line별로 별도의 해석을 실시하였다. 부재의 설계에 있어서는 각 해석에서의 결과를 취합하여 적용하였으며, 하중조합 역시 각 해석 결과를 검토하여 적용하였다.

지붕 구조물의 해석을 위하여 하부 구조가 지붕에 미치는 영향을 고려하기 위하여 하부를 포함시킨 전체 모델링을 사용하였으며, 막 구조물에 대한 부분은 각 하중 조건별로 접하는 부분의 반력을 산정하여 하중으로 치환하여 사용하였다. 지붕 Purlin은 주부재의 처짐에 따른 영향을 고려하기 위하여 모델링에 삽입하였다.

3.2. 설계하중

지붕의 설계는 고려할 수 있는 모든 경우의 하중을 고려하였고, 각각의 하중조합을 통하여 부재설계에 적용하였다.

3.2.1. 고정하중

고정하중은 지붕의 자중에 접합부에 대한 고려 및 용접부에 대한 고려로서 자중에 10%를 더하였고, 부가적인 고정하중으로 마감, 조명, 특별석에 매달리는 유리구조물, 막구조물의 하중 등을 고려하였다.

3.2.2. 적재하중

적재하중은 사람의 접근이 용이하지 않는 지붕에 대한 값으로 $80\text{kgf}/\text{m}^2$ 으로 적용하였다.

3.2.3. 풍하중

본 구조물이 시공되는 지역은 부산으로 장애물이 거의 없고, 주변 장애물의 평균 높이가 1.5m 이하인 지역의 적용으로 노풍도 D를 적용하였다. 경기장 지붕은 편면 지붕으로 여러 가지 고려되는 계수들의 조합으로 상/하향 $160\text{kgf}/\text{m}^2$ 을 적용하였다.

3.2.4. 지진하중

내진 해석 방법은 크게 등가 정적 해석과 동적 해석으로 나뉜다. 정적 해석은 구조물의 형태가 정형일 경우에 적용되고, 해석이 간단한 이점이 있지만, 본 경기장 구조물은 일반 건물과는 형태 및 구조가 판이하게 다르므로 등가 정적 해석만으로는 구조적 특성을 고려하기 어렵다. 그러나 지붕재에 대하여는 동해석에 의하여 부재를 가정하기 어려운 점을 감안하여 초기 설계 단계에서는 고정하중의 10%에 해당하는 지진력을 입력하여 해석한 결과에 의하여 부재를 가정한 후, 최종적으로 동해석을 통한 해석을 수행하였다.

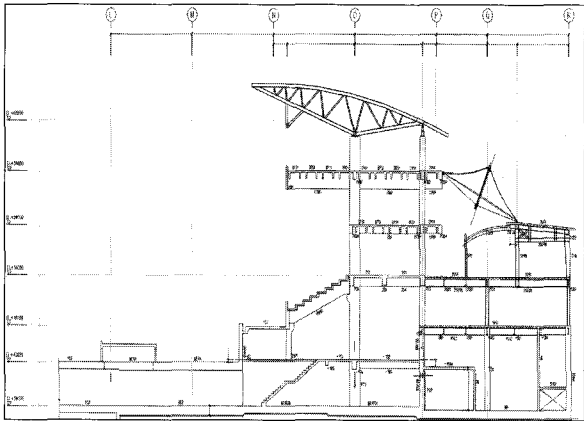
4. 지붕 구조 설계

주 경기장 관람석 부분의 지붕은 철골 트러스로 형성되는 주지붕, 그리고 회랑지붕과 관람석 주지붕 사이를 연결하는 막지붕으로 나누어 볼 수 있다. 철골 트러스로 형성된 지붕은 특별석 부분과 일반석 부분의 지붕지지 시스템이 약간 차이를 보이고 있다.

4.1. 철골 트러스 지붕

4.1.1. 개요

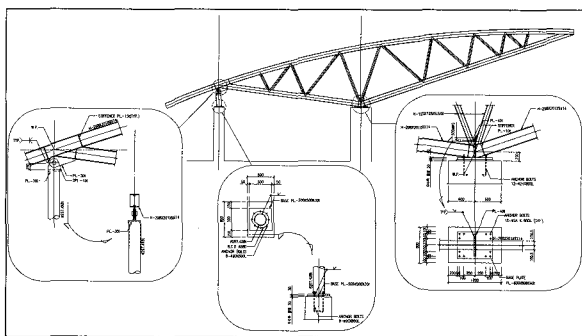
동, 서측 스탠드 상부 지붕 24개소는 단일 트러스를 이용한 골조로 구성되어 있고, 특별석 부분 중 일부는 천장으로 마감처리 되어 시야에 들어오지 않는 부분이다.



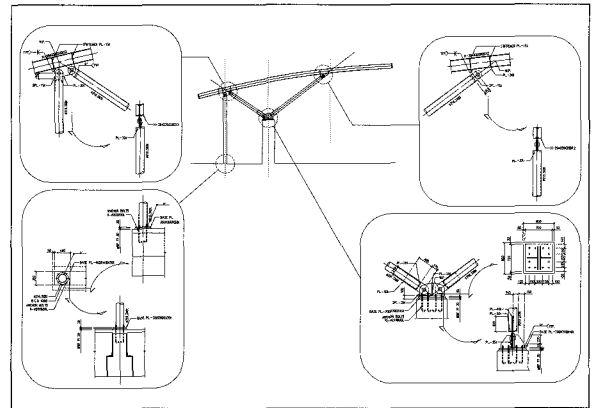
<그림 5> 특별석 부분 주 단면도

트러스의 상현재는 H형강으로 하였고, 하현재는 천장이 설치되어 시야에 가려지는 부분은 H형강을 이용한 트러스로, 또 시야에 드러나는 부분은 Steel Pipe로 계획하였다. 건축에서 특별석 부분 전면은 지붕에 매달리는 유리로 계획되어 있기 때문에 이 부분을 지지하기 위한 프레임이 계획되어야 한다. 매달리는 유리 상부는 알미늄 시트로 마감되어지는 부분이므로 상향 풍하중을 고려할 때 국부적인 요소를 고려하여야 한다. 이러한 하중에 충분히 견딜 수 있는 구조 시스템으로 계획하였다. 또한 지붕의 전면 단부에 조명이 설치되어 이를 하중으로 치환하여 고려하였다. <그림 4>

남측과 북측의 지붕 골조는 Pipe로 지지되는 지붕 골조로 골조 자체가 외부에 노출되는 구조다. 상현재는 H형강으로 설계되었고, 지지 Post는 Steel Pipe로 계획하였다. 평면<그림 3>에서 보듯이 남측과 북측 지붕에는 골조막 구조가 연결된다. 앞서 지적했듯이 주 골조가 형성된 후 막구조에 대한 설계



<그림 6> 특별석 부분 지붕 단면 상세도



<그림 7> 일반석 부분 지붕 단면 상세

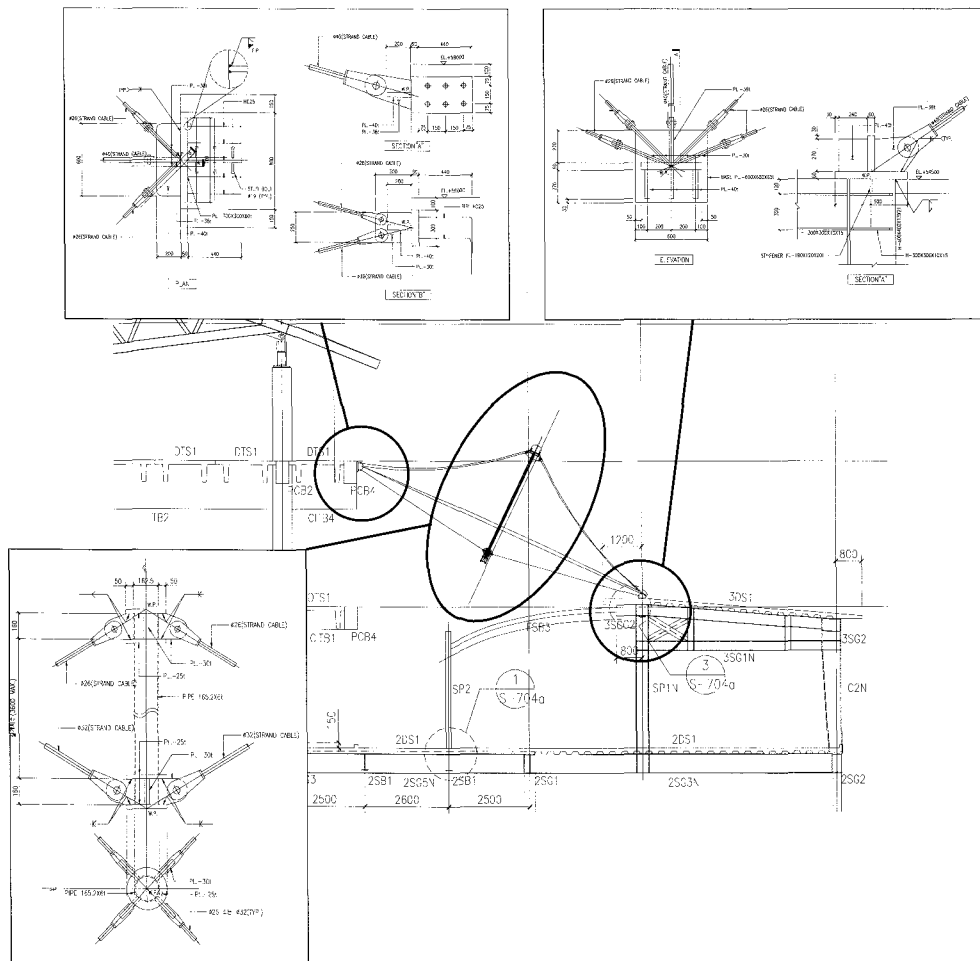
가 이어졌기 때문에 주 골조에 연결되는 부분이 존재하는 곳에는 보강으로 구조가 형성되었다. 골조막 부분 또한 주하중은 양쪽 골조 트러스가 주로 지지하지만 가운데 Vally Cable은 Main 지붕에 연결되어야만 한다. 그래서 Vally Cable의 단부에서 Steel Rod를 양쪽으로 연결하여 Main Truss에 하중을 전달할 수 있는 시스템으로 계획하였다.

Main Roof Truss 사이에 사용된 부재 Roof Sub Beam은 원형 지붕 방향으로 설치되는데 지붕 마감을 지지하는 Purlin이 이 Roof Sub Beam 사이에 설치되어 부재의 횡방향으로 지지를 하여 효과적인 구조부재로 계획되었다.

지붕의 원형 형상을 유지하는 Main Roof Truss와 같은 방향으로 경사를 가지는 Purlin은 건축 설계자의 요구대로 곡선부재로 제작하는 것으로, 또 Roof Sub Beam은 직선 부재로 제작하는 것으로 계획하였다. 마감에 적용되는 곡면을 형성하기 위해서는 주부재와 마감 사이에 Spacer를 사용하여 조정한다.

4.1.2. 막 지붕

동, 서측 차양 막 구조는 Cable 막 구조<그림 7>로서 4층 슬래브와 회랑 전면 기둥 사이에 형성된다. 이러한 시스템은 Cable의 장력과 풍하중의 영향으로 인한 횡방향 하중이 지지구조물에 미치는 영향이 크므로 그에 대한 상세한 검토가 이루어져야 한다. 4층 슬래브에 지지되는 부분은 슬래브 Diaphragm으로 지지되고, 회랑측 기둥에 지지되는 부분은 기둥과 보에 지지되므로 이에 따른 작용하는 하중의 영향을 검토하여 그에 따른

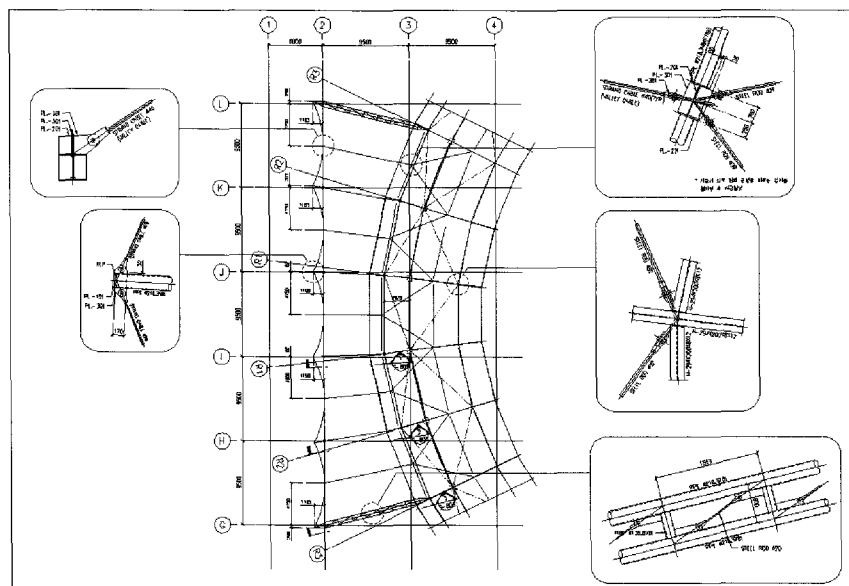


〈그림 8〉 케이블 막 구조 상세

보강이 이루어져야 한다. 이 부분은 막구조의 형상 해석을 통하여 지점 반력을 산출하였고, 그를 전체 모델

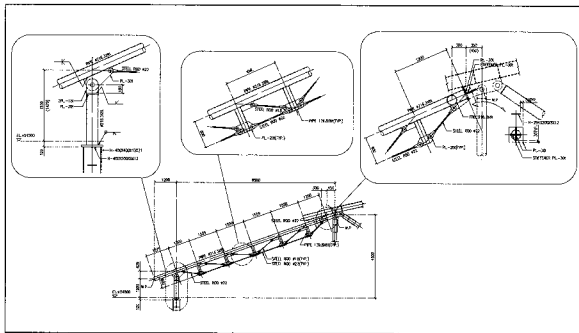
에 반영하여 지지 구조물의 해석에 사용하였다.

남, 북측 차양 막 구조는 골조막으로서, 트러스로

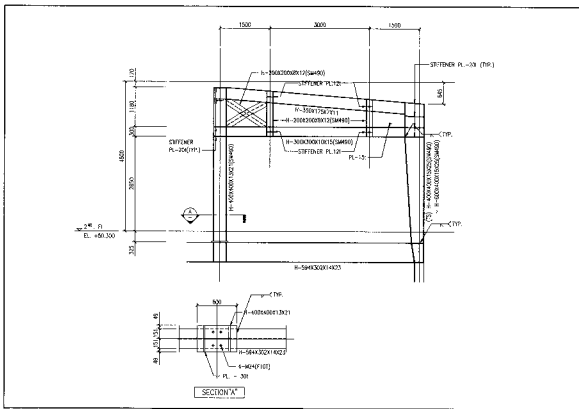


〈그림 9〉 골조막 구조 상세

골조를 형성한 후에 막으로 마감하는 형상이다. 골조 트러스는 Steel Pipe로 형성되며 건축 설계자의 요구로 가새를 Steel Rod로 형성하였다. 단부지지는 Main 지붕의 하부지지 Post와 상현재의 접점 부분에 Pin으로 지지되는 것과 회랑측 기둥에 Pin으로 지지되는 형상이다. 막이 형성되어 횡방향으로 작용하는 하중이 고려되어야 하는 단부는 역삼각형 트러스를 형성하여 이러한 횡력에 저항할 수 있는 시스템을 형성하였다. 또한 이 역시 풍하중에 대한 영향이 크므로 별도 모델링을 하여 상세한 검토 후 부재 설계가 이루어졌다.



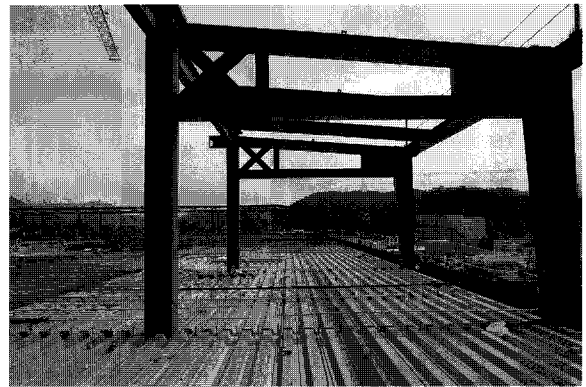
<그림 10> 골조막 부분 부재 상세



<그림 11> 회랑지붕 보강 상세

4.1.3 보강 부위

앞서 지적했듯이 Main Roof가 형성된 후 막구조로 형성되는 지붕이 설계되었기 때문에 기존 구조물에 막구조에 의한 지점 하중이 적용되어야만 하였다. 부재를 신설하는 방법이 거의 불가능하였기 때문에 기존 부재에 보강하는 안으로 설계가 진행되었다.



<그림 12> 회랑지붕 보강 시공사진

특히 케이블 막 구조가 설치되어야만 하는 부위의 회랑지붕은 커다란 횡력이 발생한다. 이로 인하여 회랑지붕의 부분들이 트러스 형식으로 보강되었다. <그림 11~12>

5. 맺음말

금정 싸이클 경기장은 기존의 설계가 완료된 상태에서 경륜장 변환으로의 설계변경이 이루어진 구조물이다. 더구나 기존의 설계에 의한 시공이 상당 부분 진행된 상태였기 때문에, 현장의 여건을 고려해야만 하는 설계가 진행되었다. 그래서 기존의 부재에 대한 변경에 제한이 있어 막구조와 접합되는 부재들의 경우는 보강으로 부재설계를 진행할 수밖에 없었다. 현장 여건에 부합하는 최적의 설계를 진행하였고, 구조 기술 지원을 통하여 시공과정에서 발생하는 여러 가지 문제들에 신속히 대처하여 보다 완성도 높은 건물이 되도록 노력하였다. 본 경기장 같은 구조물의 설계 변경은 시공이 이루어지기 전에 완료되어 전체 구조물이 일체화된 거동을 하게 하는 것이 이상적이나, 시공과 설계가 동시에 진행되는 Fast track으로 상황의 최선을 찾아 해결하는 것으로 진행되어 설계자로서는 아쉬움이 남는 부분들이 있다. 물론 모든 구조물의 설계에 있어 초기 단계에서부터 건축과 구조 설계자가 서로의 이해와 협조를 통하여 충실한 설계가 이루어지도록 해야하겠지만, 대공간을 형성하는 구조물의 경우에는 그 중요성이 더욱 부각되어야 하는 부분일 것이다.