

철골 트러스 스타디움 구조물의 공사비 분석

Analysis on the Construction Cost of Steel Truss Stadium

장 명 호*
Jang, Myung-Ho

서 삼 열**
Sur, Sam-Yeol

요 약

구조물의 경제성 분석은 그 프로젝트의 실행을 결정할 수 있는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 기존에 건설된 철골 트러스 스타디움 구조물의 건설비용 분석을 통하여 대공간구조물의 공사비 비용구조를 분석하였다.

Abstract

Building costs means capital costs which include cost of land, cost of acquiring and preparing the site, construction costs, engineering fees, furnishings, cost of financing the project, and cost of management required to run and maintenance the building for use. An economic analysis is one of the most important factor to determine the project feasibility. The purpose of the this study is to analysis on the construction cost structure of steel truss stadium.

키워드 : 대공간구조, 지붕구조, 비용분석, 비용모형, 건설비용

Keywords : Spatial Structure, Roof Structure, Economic Analysis, Cost Model, Construction Cost

1. 서 론

대공간구조물은 용도상 내부공간이 분할될 수 없는 단일 공간을 제공하는 장스팬 구조물이다. 대공간 구조물은 고대와 중세 시대의 종교건축물부터 시작해서 근세의 철도역, 박람회장 등의 건축물로, 현대에는 체육관, 컨벤션홀, 공항 등 많은 사람들이 이용하고 있는 공공시설물로서 도시를 구성하는 매우 중요한 기능적, 상징적 요소로 작용하고 있다. 국내에서도 2002년 한일 월드컵을 기점으로 많은 대공간 구조물이 건설되었고, 최근에는 여가시간의 증대로 인해 외부 환경에 관계없이 레포츠를 즐길 수 있는 시설, 초대형 전시시설 등을 만족하는 대공간 구조물에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있으며, 그 용도와 규모가 다양화 거대화되는 추세이다.

대공간구조물은 실내공간을 구성하는 돔형의 구조물, 스타디움의 관람석 지붕 같은 캔틸레버형 구조물, 지붕을 열고 닫음으로써 실내외 공간의 특성을 모두 지니고 있는 개폐식 구조물로 크게 구분할 수 있다. 국내는 주로 캔틸레버형 구조물이 주종을 이루고 있다.

대공간구조물의 건설은 일반 프로젝트에 비하여 보다 종합적인 기술력을 요구하는 대형 프로젝트이다. 이러한 대형 건설 프로젝트의 성공적인 수행을 위하여서는 초기 검토단계서부터 체계적인 준비가 필요하며, 구조물의 생애주기 전반에 걸친 핵심요소들을 합리적으로 분석하여 준비하는 것이 요구된다. 특히 건설비용에 대한 예측은 대공간구조물 프로젝트의 실현 여부를 가름하는 중요한 요인이 된다. 그러나 대공간구조물의 여러 가지 특성상 건설비용을 예측하는 것은 쉬운 일은 아니다. 따라서 대공간구조물의 건설비용을 예측을 위하여 건설된 대공간구조물의 건설비용을 분석하여 그 특징을 도출하고 이를 데이터베이스로 축적하는 것은 이러한 대공간

* 정희원, 대림대학 산학협력단 선임연구원, 공학박사
E-mail : jjang20@empal.com

** 정희원, 대림대학 건축과 교수, 공학박사
Tel: 031-467-4826 Fax : 031-467-4826
E-mail : susur@daelim.ac.kr

구조물 프로젝트를 기획하고자 하는 정부, 지자체, 건설회사 등에 있어서는 매우 중요한 참고자료가 된다.

본 논문에서는 구조물의 데이터베이스 작업을 위하여 국내에 건설된 비슷한 유형의 대공간구조물의 건설비용을 비교·분석하였다. 기존의 대표적인 대공간구조물 중에서 울산 월드컵구장과 전주월드컵구장을 대상으로 구조물의 공사비 구성 특성을 파악하였다. 구조물이 가진 특수성과 공사단계의 비용과의 연관성을 분석하였으며, 건설비용을 공정별로 분석하여 공사비용을 예측을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 대공간구조물 건설의 비용요소

건축프로젝트의 총 비용인자는 건축물 시공에 소요되는 비용 이외에 대지구입비, 대지마련 및 허가를 위한 제반 절차비용, 대지정리비, 건축공사비, 프로젝트 컨설팅비, 대지부대 시설비, 제반 금융부대 비용, 건축물 이용을 위한 시장조성비, 건축물의 운영 및 유지관리비 등으로 크게 분류된다. 상기한 비용요소를 프로젝트의 시행 단계에 따라 계획단계, 설계단계, 공사단계 등의 제단계로 분류할 수 있다. 모든 비용요소를 프로젝트 진행단계로 분류한 내용은 <표 1>과 같다.

<표 1> 건축 프로젝트의 비용요소

단계	비용요소
계획단계	인간 심미 가치비용, 사회 미적 가치비용, 시각적 가치비용, 환경적 가치비용,
설계단계	대지 비용, 프로젝트 계획비용, 운영비용, 자본유치비용
공사단계	공종별 제 비용, 공종별 비목 비용
유지단계	제 관리비용

건축공사에서의 비용요소는 작업공종과 재료비, 노무비, 경비(장비비) 등의 비목으로 구성되며, 공종과 비목의 상호 연관성을 갖고 있다. 공종별 비용은 자재의 변경, 공법의 변경등의 영향을 받지만 건축물의 크기 및 형상변화와 같은 설계결정조건에 의

해서도 영향을 받는다.

프로젝트의 전체비용은 설계적 요소, 성능적 요소, 시공적 요소로 구분할 수 있으며, 건축물의 용도, 건축설비의 경중, 건축물의 요구품질, 건축물의 크기 및 형상, 건축물의 위치 등이 세부 요인이 되어 프로젝트 전체비용을 결정한다. 세부요인을 세가지의 비용구성요소로 분류하면 표 2와 같다.

<표 2> 건축 프로젝트의 세부비용인자

단계	비용요소
설계요소	건축물의 용도, 건축설비의 경중 건축물의 위치
성능요소	
시공요소	건축물의 요구품질, 건축물의 크기 및 형상

설계적 비용요소는 설계단계에서부터 고려해야 할 비용요소를 의미하는 것으로 적절한 공사규모와 품질을 선택함으로써 공사비용에 영향을 미친다. 적절한 규모와 품질의 선택은 공사비용의 최적화를 이끌어 낼 수 도 있음을 의미한다.

각각의 비용요소들은 독립적으로 존재하는 것이 아니라 건축 각 단계별로 상위 비용요소와 하위요소들이 서로 복잡하게 상관되어 영향을 미치게 된다. 하위비용 요소들이 건축 각 단계에서 해당 영역에서 독립적으로 비용을 결정하는 경우도 있으나, 다른 건축단계의 비용 결정에도 영향을 주는 공유된 비용요소가 되는 경우도 있다.

기존 연구결과⁵⁾에 의하면 건축공사의 비용요인은 공사금액의 규모나 공사연면적의 규모와 상관없이 일정한 비율을 유지하고 있다. 건축비용을 변화시키는 요인은 자연·환경적 인자, 사회·경제적 인자, 정책인자 등과 같은 외적요인과 기술력, 프로젝트 관리, 노무관리, 자재관리, 안전관리, 품질관리, 원가관리, 재무관리 등과 같은 내적요인 존재한다.

<표 3> 건축비용 변화요인

변화요인	건축비용을 변화시키는 인자
외적요인	자연·환경적 인자, 사회·경제적인자, 정책인자
내적요인	기술력, 프로젝트 관리, 노무관리 자재관리, 안전관리, 품질관리, 원가관리, 재무관리

3. 대공간구조물의 공사비용 분석

3.1 구조물의 개요

대공간 구조물의 건설비용 분석을 위해 철골 트러스를 지붕구조의 기본 구조 시스템으로 적용한 울산문수축구경기장과 전주월드컵경기장을 선택하였다. 선택한 두 구조물의 기본적인 구조물 개요는 <표 4>에 나타내었다.

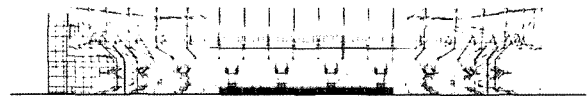
<표 4> 분석대상 구조물 개요

항 목	울산 문수축구경기장	전주 월드컵경기장
대지면적	912,310m ²	562,929m ²
건축면적	22,667.92m ²	52,249.13m ²
연면적	81,550.57m ²	99,667.13m ²
수용인원	43,512석	42,477석
공사기간	1998.12.18 ~2001.6.30	1998.12.18~2001.4.28
총공사비	1,514억 원	1,450억원

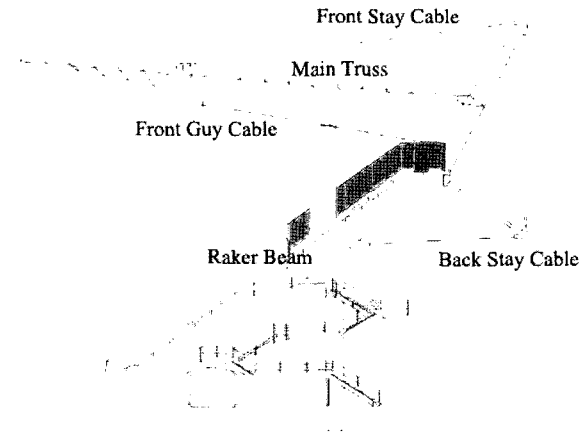
울산문수축구경기장은 구조적으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 지하 구조체는 경제성과 시공성을 고려하여 철근콘크리트로 하였으며, 1층에서 프리캐스트콘크리트 기둥과 지중보로 연결되어 휨반력에 대해 충분히 저항할 수 있는 강성을 확보하도록 되어있다. 문수구장의 지상 구조체는 모두 프리캐스트콘크리트 부재로 시공되었으며, 접합부는 포스트텐션 공법이나, 철물로 긴결되어 조립되었다. 프리캐스트콘크리트 부재중 경사보(Raker Beam)는 관람석을 지지하는 역할을 하면서 지붕의 백 스테이 케이블(Back Stay Cable)의 지지점이 되는 중요



<그림 1> 울산 문수 축구경기장



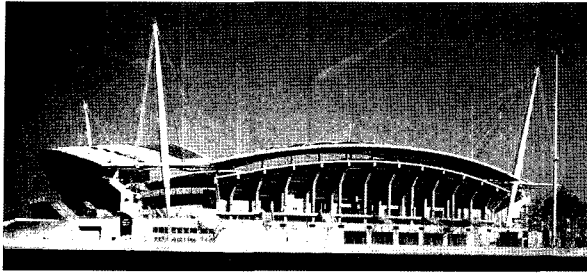
<그림 2> 울산 문수 축구경기장의 남측입면



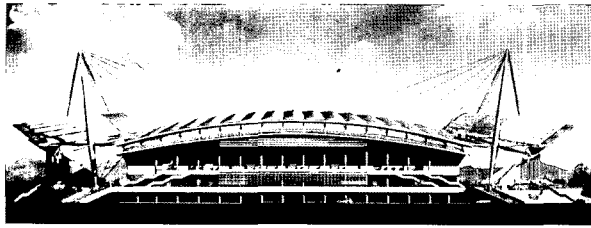
<그림 3> 울산 문수 축구경기장의 단면

한 구조부재이다. 지붕은 경량화를 위해 철골조로 설계되었으며, 지붕 트러스 상부에는 인장 케이블을 배치하고 그 반력을 하부에 부드럽게 전달하기 위해 백 스테이 케이블을 골조 뒷면에 설치하였다. 또한 지붕에 작용하는 풍하중의 들어 올리는 힘과 이에 저항하는 고정하중과의 차이만큼 저항시키기 위해 프론트 가이 케이블(Front Guy Cable)을 배치하였다. 철골 지붕구조체는 커다란 강성을 갖도록 하기 위해 삼각단면의 입체 트러스보로 설계되었다. 전체적으로 캔틸레버 구조이면서, 지붕 트러스는 케이블에 매달린 부분의 응력이 최대가 되어 춤이 가장 크고 선단과 마스트에 지지되는 부분에서 최소의 높이가 되는 형태를 갖고 있다. 지붕면적은 관중석의 87%를 덮도록 설계되었다

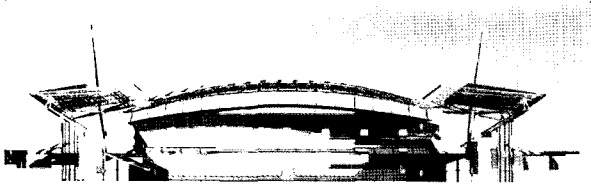
전주월드컵경기장은 기초구조는 철근콘크리트구조로, 지상 구조체 중 기둥과 보 철근콘크리트 구조와 프리캐스트콘크리트 구조를 혼용하여 사용하였다. 바닥판은 중공 슬라브 구조를 채택하였다. 지붕구조는 관람석 바닥면적의 87.6%를 덮도록 설계되었으며, 특징은 전체가 크게 4개의 부채모양의 지붕으로 나누어져 있고, 각각의 지붕은 다시 네 귀퉁이에서



〈그림 4〉 전주 월드컵 경기장



〈그림 5〉 전주 월드컵 경기장 남측입면



〈그림 6〉 전주 월드컵 경기장 단면

연속되는 링 트러스(Ring Truss)와 가지보(Branch Beam) 그리고 전방의 지지케이블(Front Stay Cable)에 의하여 묶여 있다. 지붕의 지지 시스템은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로는 모서리에 위치한 4개의 마스트(Mast)와 이것에 연결되는 텐션케이블(Tension Cable) 그리고 이 케이블에 지지되는 링 트러스와 주 트러스(Main Truss)로 조립 구성되는 현수구조이다. 두 번째의 지지구조는 내부의 링 트러스와 외부 테두리 트러스(Perimeter Truss)로 구성되는 구조이다. 두 가지 시스템에 의하여 중력하중뿐만 아니라 지진과 태풍의 수평, 수직방향 힘에 대해서도 저항 할 수 있는 구조이다. 케이블은 압축력을 받는 경우에는 구조성능을 발휘 할 수 없게 되므로 지붕의 케이블은 트러스 모양으로 삼각형을 구성하고 모든 외부의 힘에 대해서도 소멸하지 않는 초기장력을 도입해서, 어떠한 하중에 대하여도 트러스 구조의 성능을 발휘할 수 있도록 설계되어 있다.

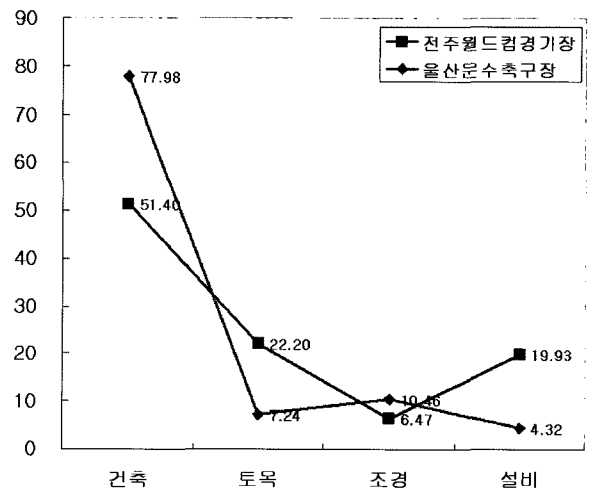
3.2 공사비 분석

건설비용 분석은 계획, 설계단계부터 시작해서 구조물의 건설과정 전 단계에 대한 비용요인의 연관성을 고려해서 분석해야 한다. 그러나 본 연구의 대상 건축물들은 완공 후 일정 기간이 지난 구조물이기 때문에 본 연구에서는 주어진 설계에 대한 공사 단계 비용분석(공사비 중심의 분석)만 수행하였다. 건설비용 분석은 건축공사에서의 비용관련요소 즉, 작업 공종, 재료비, 노무비, 장비비 등 공종과 비목을 중심으로 수행하였다. 공종에 있어서는 표준 건축시방서를 기준으로 작성한 공종과, 구조물의 특성을 파악하는데 필요한 부분을 포함하여 20개 항목을 기준으로 하여 분석하였다.

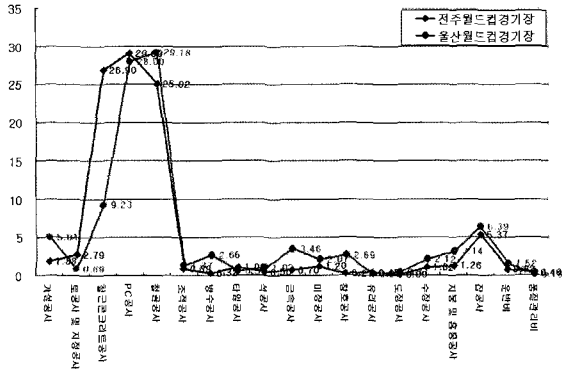
두 경기장 모두 건축주의 요구사항(FIFA 시설 기준 요건 : 8강전이하는 4만석이상, 개막전, 준결승전, 결승전은 6만석이상)을 만족시켜야 되는 경기장이기 때문에 전체적인 규모가 커진 부분이 있다. 두 구조물의 전체 건설비용 분포는 <그림 7>과 같다.

울산 문수축구장의 경우는 건축공사 비율이 높게 나오고, 전주월드컵경기장의 경우는 토목공사 비율이 울산의 경우에 비해 높게 나는 것을 볼 수 있다. 토목비용 부분은 도로 개설등 기반시설비용과 관련된 부분으로 볼 수 있다.

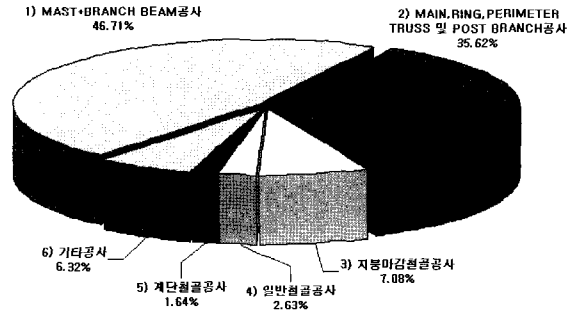
건축공사 비용의 공종별 분포는 <그림 8>과 같다. 두 구조물 모두 비슷한 경향을 보여주고 있다. 주 구조체를 구성하는 공종인 철근 콘크리트 공사,



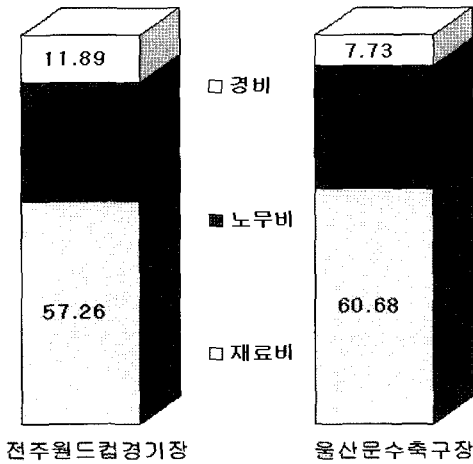
〈그림 7〉 전체 공사비의 구성비 분석



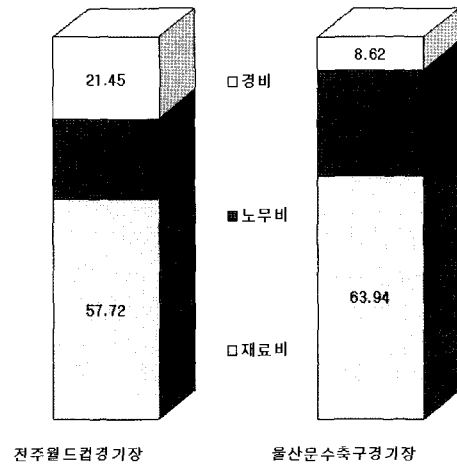
〈그림 8〉 건축공사 공종별 구성비 분포



〈그림 10〉 철골공사의 구성비 (전주월드컵경기장)



〈그림 9〉 건축공사의 비목별 분석



〈그림 11〉 철골공사의 비목별 분석

PC공사, 철골공사의 비중이 크게 나타남을 볼 수 있다.

건축공사를 재료비, 노무비, 경비의 비목으로 구성비를 분석해보면 <그림 9>와 같다. 일반적인 공사비 구성을 보여주고 있다.

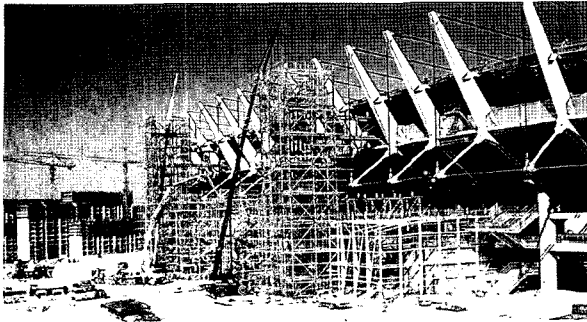
전주월드컵경기장의 철골공사 부분은 지붕관련부분과 기타 부분으로 구분할 수 있다. 철골공사의 공정별 구성비는 <그림 10>과 같다. 대부분의 철골 공정이 지붕 구조체에 집중되어 있음을 확인할 수 있다.

울산 문수축구 경기장의 경우도 비슷한 경향을 보여준다. 두 구조물의 철골공사 공사비를 재료비, 노무비, 경비 등의 비목으로 분석하면 그림 11과 같다. 비슷한 양상을 보이던 건축공사와 달리 철골공사 공정에서는 두 구조물이 다른 양상을 보이고 있다. 철골공사의 경우는 철골의 제작부분뿐만 아니라 설치공정(Erection)이 차지하는 비중이 크기 때문에

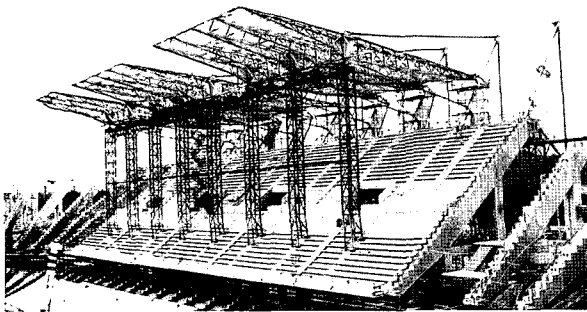
적용되는 설치방법에 따라 공사비 구성 비율의 차이가 발생하는 것으로 보인다. 문헌연구를 통하여 두 경기장의 지붕구조의 설치 방법에 차이가 있음을 확인할 수 있다.

울산문수 축구경기장의 지붕구조의 설치 방법은 가설 지지대와 장비를 혼용해서 사용하는 방법을 사용하였다.

가설지지대를 충분히 사용하였고, 설치하는 지붕 유닛의 중량이 무거운 편이 아니었기 때문에 작은 용량의 장비를 적용할 수 있었다. 지붕철골조립 설치공정은 ① 지붕철골 지상조립 및 마스트의 설치, ② 지붕철골의 가설, ③ 인장케이블의 설치, ④ 누름케이블의 설치 ⑤ 필드 측 가설 지지대의 해체 ⑥ 백 스테이에 프리텐션을 도입한다. ⑦ 경사보(Raker Beam)의 가설 지지대의 해체 ⑧ 지붕재의 설치 순으로 진행되었다. <그림 12>는 1단계 <그림 13>은 4단계에 해당하는 철골설치공정 사진이다. 공정사



〈그림 12〉 울산문수축구경기장의 철골설치 공정 - MAST설치

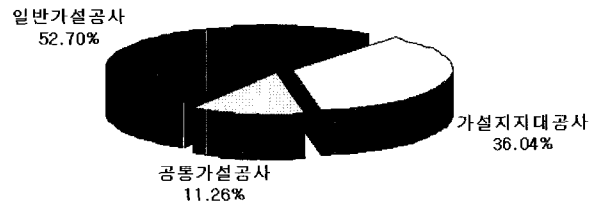


〈그림 13〉 울산문수 축구경기장의 철골설치공정 - TRUSS 설치

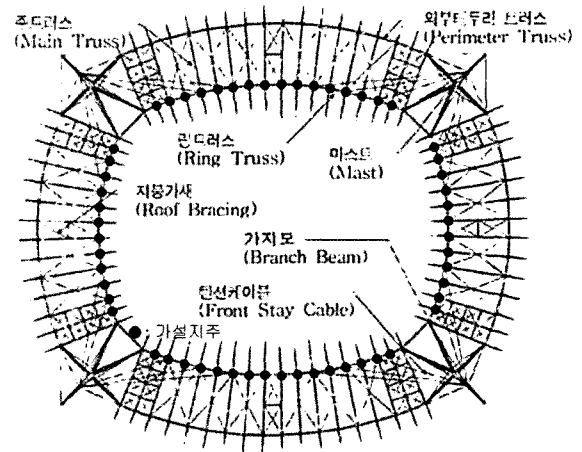
진에서 나타난 가설지지대 비용은 전체 가설공사 대비 36%수준이다.

이러한 설치 방법에 의해 철골공사의 비목에서 노무비의 비율이 경비(장비비)보다 높게 나타난 것으로 보인다.

전주월드컵경기장의 지붕 설치공정은 울산의 경우와는 다른 방향으로 나타나고 있다. 전주월드컵경기장은 울산의 경우처럼 지붕설치공정에 가설지지대와 건설 장비를 사용했는데 가중치는 다르게 나타난다. 지붕구조의 역학적 특성상 설치 공정이 후반으로 갈수록 설치 유닛의 중량이 계속 증가하기 때문에 대용량의 건설장비 적용이 불가피했을 것으로 분석된다. 가설지지대 비용은 철골공사비 대비 0.98%, 가설공사비 대비는 11.55% 정도로 나타난다. 다른 경비를 제외하고 지붕구조체의 작업 유닛을 인양하기 위한 건설 장비인 크레인의 경비를 분석해 보면 지붕철골공사비 대비 20.6%(지붕철골공사의 경비 비목에 대해서는 95.8)의 점유율을 보인다. 울산문수축구경기장의 경우는 지붕철골 공사비 대비 11.6% 정도로 나타난다. 가설 지지대의 사용보다



〈그림 14〉 울산문수축구경기장의 가설공사비 분석



〈그림 15〉 전주 월드컵 경기장 - 가설지지대 배치도

〈표 5〉 전주월드컵경기장의 지붕설치공정

시공 단계	내용	
1 단계	- 주 트러스 앞 가설지주 설치(56곳) - 주트러스 설치 (무게: 41ton) - 450ton 크롤러크레인사용	
2 단계	- 마스트 설치길이(65.0m), 무게(116ton)	
3 단계	- 케이블설치 및 장력 도입 - 케이블 : 무게(41ton)	
4 단계	- 가설지지대 해체 - 설치 완료	

는 건설장비의 사용량이 많았음을 나타내는 것이다.

두 구조물이 건설장비 사용량에서 차이를 보이는 가장 큰 이유는 울산문수축구경기장의 지붕 구조물은 하나의 설치 유닛이 독립적으로 자립할 수 있는 반면 전주월드컵 경기장의 지붕은 전체 구조 시스템이 서로 연결되어야만 자립할 수 있다는 점이다.

일반적으로 어느 하나의 공정의 비용은 재료비, 노무비, 경비(보통의 장비 사용료)의 비목으로 구성된다고 할 수 있다. 같은 구조 재료, 비슷한 구조 시스템을 적용한다 하더라도 미묘한 차이에 의하여 노무비, 경비의 구성이 다르게 된다. 두 구조물의 지붕에 대한 철골 공사비의 구성비가 다르게 나타나는 것은 비용세부인자 중 시공요소(건축물의 크기 및 형상)와 비용을 변화시키는 요인 중 내부요인인 적용된 공법(기술력)의한 것으로 분석된다.

4. 결 론

이번 논문에서는 분석 대상 구조물을 철골 트러스를 적용하고 있는 구조물을 대상으로 두 개의 구조물을 선정하여 공사비를 분석 하였다. 건축물 건설에 따른 비용요소를 정의하였고, 정의된 비용요소들 기준으로 선정된 구조물의 건설비용 분석을 수행 하였다. 구조물로는 전주월드컵경기장과 울산문수축구경기장을 선택하였다. 두 구조물은 상기의 선정조건에 합당한 구조물로, 지붕을 지지하는 방식은 다르지만 철골트러스와 케이블에 의한 지지를 기본으로 지붕 구조를 구성하고 있는 구조물이다. 비용분석은 건설비용에서 건축공사 비용을 선택하여 지붕공사를 중심으로 분석하였다. 두 구조물의 공사비 분석을 통해서 다음과 같은 사항들을 확인 할 수 있었다.

- 1) 세부비용인자 중 시공요소인 건축물 규모가 비슷한 경우 건축공사비는 경우는 모든 공정에 대하여 유사한 분포도를 보임 (두 건축물 모두 FIFA의 경기장에 대한 규정을 적용받는 구조물)
- 2) 설계요소, 성능요소(현장의 입지 조건)에 의한 개별 공정 비용의 증감 발생 (예로 기반시설(도로 등) 작업량 증대는 토목공사 비용 증가)
- 3) 공사비를 변화시킬 수 요인 중 내부요인(기술

력: 적용한 설치 공법등)에 의해 세부공종의 비목별 구성비가 다르게 나타남.

본 논문에서 연구범위를 철골 트러스 지붕을 가진 스타디움 구조물에 한정하였기 때문에 다양한 대공간구조물의 구조시스템에 대한 분석이 부족하다. 따라서 모든 대공간구조물의 건설에 대하여 위와 같은 결론으로 정의하기에는 부족한 점이 있다. 좀 더 많은 대공간구조물에 대한 데이터베이스화 작업이 필요하며, 이를 바탕으로 공사비 구성요인의 좀 더 일반화된 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원 (과제번호# '06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Imai, Kanji and Shoji, Mikio, "Minimum Cost Design of Framed Structures by the mini-max dual method", International Journal of Numerical Methods in Engineering, Vol. 17, pp. 213~229, 2005.
2. D.P. WYatt, A Life Cycle Product Management Response for Environmental Maintenance, CIB-W70 Tokyo Symposium 1994.
3. D.K. Rutter, D.P. WYatt, Life Cost Management: A Search for an Environmentally Acceptable Balance between Competing Interests, CIB-W70 Tokyo Symposium 1994.
4. S.N.Tucker, Economics of Maintenance and Modernisation CSIRO, 1994.
5. 박근준 외, "국내 공동 주택공사의 연면적 변화에 의한 공종별 비용 증감 추이 분석", 대한건축학회논문집 구조계, 2000, 5.
6. 신성우, "초고층 건축물의 경제성", Proceeding for the 2nd Symposium of KSTBF on The ROLE of The Super Tall Building in Korea, November 14, 2002.
7. CS구조엔지니어링, 전주 월드컵 경기장 구조설

- 계, 태림문화사, 2000.
8. 김종수, "2002 전주 월드컵 경기장 사장트러스의 구조설계", 강구조학회지, 11권 4호, 1999.
 9. 김종수, "2002 전주 월드컵 경기장 지붕의 구조 및 시공", 강구조학회지, 12권 4호, 2000.
 10. JongSoo Kim, "Structural Design of Cable Stayed Truss of 2002 Chonju World Cup Stadium", IASS-Japan 2001.
 11. 박현창, "[현장리포트] 전주월드컵경기장 건설 공사를 마치고", 건설기술, 2002.
 12. CS구조 발표자료, "Structural Design of Cable Stayed Truss of 2002 Chonju World Cup Stadium", <http://cs.co.kr>.
 13. 전주시, 전주월드컵경기장 건설지, 2002.
 14. 이종규, "울산 월드컵 경기장", 강구조학회지, 12권 4호, 2000.
 15. 김명환, "울산월드컵 축구경기장 건설공사 기록", 한국건축시공학회지.
 16. (주)포스에이씨종합건축사사무소, 울산문수축구 경기장 건설지, 2002.
 17. CA 2001-5 현대건축 No.37 월드컵 경기장, 현대건축사, 2001
 18. CA 2002-1 현대건축 No. 41 월드컵 경기장 II, 현대건축사, 2002
 19. CS구조엔지니어링 web site, <http://cs.co.kr>
 20. S.D.G(울산문수축구경기장 구조설계) web site, <http://www2r.biglobe.ne.jp/~sdg/>
 21. 전주시청 web site, <http://www.jeonju.go.kr/>
 22. 울산광역시 시설관리공단 web site, <http://www.uimc.or.kr/>