

## 해체·조립식 모듈러 철골조 건물의 시공성에 관한 연구

### A Study on the Constructability of Modular Steel Frame

정 성 립\*  
Zheng, Sheng-Lin

강 주 원\*\*  
Kang, Joo-Won

박 성 무\*\*\*  
Park, Sung-Moo

#### 요 약

본 논문은 유닛 모듈러를 구성하는 주구조체인 각형강관 기둥과 냉간성형 LEB C-형강 보가 볼트 접합된 접합부를 가진 모듈러 건물의 시공성을 평가하는 것이 연구의 목적이다. 모듈러 건축의 장점은 공사기간 단축, 경량성, 이동가능성 등으로 볼 수 있다. 반면에 유닛 또는 모듈의 운송비용이 공사비 절감 비용을 반감시킬 수 있고 많은 공장들이 외부 지역에 있으므로 이들을 도심지나 원하는 지역으로 이동하기 위해서는 비용이 추가된다. 그리고 유닛이나 모듈 설치에 크레인 등의 장비 사용으로 인해 시공비용이 증가될 수 있는 단점들이 존재한다. 본 연구에서는 앞서 연구한 모듈형상에 근거하여 해체조립이 용이한 모듈러 건축물의 시공사례를 통하여 공기, 비용 등 측면에서 기존 연구와 비교분석을 진행하여 모듈러 건물의 시공성을 평가하고자 한다.

#### Abstract

The object of this paper is to evaluate on constructability of modular steel frame with the hollow structural steel section to LEB C-shape. A modular building is built with factory-manufacture and site-construction. The advantage of a Modular building presents that enhanced building quality, shortened construction period and easy at an expansion and enlargement for buildings but also has demerits such as size restriction of the modular units according to the Road Traffic Law and Inflexibility of the unit composition. So in this study we use light-weighted structure members with bolted joint for easy Knock-down and traffic, also we evaluated the constructability of this bolted joints type modular buildings.

키워드 : 해체조립, 모듈러 시스템, 각형강관, LEB C형강, 시공성

Keywords : Modular System, Hollow Structural Section, LEB C Section, Constructability

## 1. 서 론

본 연구는 해체조립이 용이한 모듈러 철골조 시스템 개발에 관한 연구로서 해체조립이 용이하도록 볼트접합부를 개발하였고 실험을 통하여 접합부 강성을 평가하였으며 후속 연구로 모듈러 철골조 건물의 상용화 가능성을 평가하기 위하여 경제성 및 시공성을 평가하였다.

유닛 모듈러 건축은 공장에서 제작된 단위 유닛 형상을 현장에서 조립하여 구조체를 완성해 가는 공업화 건축을 의미하며, 일본, 유럽, 미국 및 캐나

다 등에서는 다양한 용도의 건축물에 이미 널리 사용되는 조립식 공법이다. 최근 국내에서도 건설현장에서의 인건비 상승, 공기단축 및 재사용이 용이한 건축물에 대한 요구, 친환경 건축물에 대한 요구 등으로 인하여 유닛 모듈러 건축물의 도입에 대한 요구가 증가하고 있는 상황이다.

현재 대부분의 모듈러 공법은 주구조체 기둥과 보가 용접으로 접합되어 유닛 자체의 해체·조립은 어려운 상태이다. 따라서 도로나 운송조건이 제약받는 상황에서 단위 유닛을 해체·조립할 필요성이 발생한다. 이러한 모듈러공법을 시스템화하기 위해서는 기존의 기둥과 보의 용접방식이 아닌 볼트접합 형식이 필요하다.

모듈러 건축의 장점은 공사기간 단축, 경량성, 이동가능성 등으로 볼 수 있다. 반면에 유닛 또는 모

\* 교신저자, 학생회원, 영남대학교 건축학부 박사수료  
Tel : 053-810-2428 Fax : 053-815-1566  
E-mail : zsl1978@hanmail.net

\*\* 정회원·영남대학교 건축학부 부교수, 공학박사

\*\*\* 정회원·영남대학교 건축학부 교수, 공학박사

들의 운송비용이 공사비 절감 비용을 반감시킬 수 있고 많은 공장들이 외부 지역에 있으므로 이들을 도심지나 원하는 지역으로 이동하기 위해서는 비용이 추가된다. 그리고 유닛이나 모듈 설치에 크레인 등의 장비 사용으로 인해 시공비용이 증가될 수 있는 단점들이 존재한다.

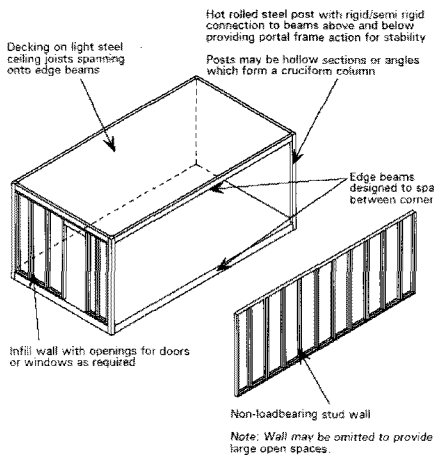
본 연구에는 볼트 접합부를 가진 모듈러 건축물의 시공사례를 구성하였고 이를 통하여 공기, 비용 등 측면에서 기존 연구와 비교분석을 진행하여 본 연구에서 제안한 모듈러 시스템의 경제성 및 시공성을 평가하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

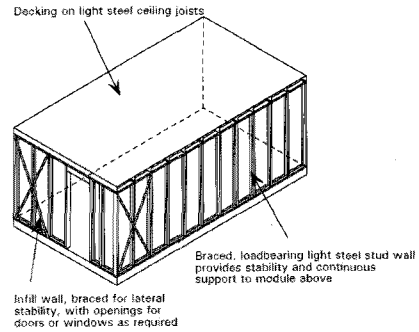
### 2.1 모듈러 건축물의 구성 및 분류

모듈러 건축물의 유닛 구조를 형성하기 위하여 두께 1.0~3.2mm의 아연도금강판을 롤포밍(roll-forming)한 C형상의 자재가 일반적으로 사용된다. 자재의 절단은 길이방향으로 이루어지며, 다양한 접합방법으로 모듈러 유닛의 구조체가 제작된다. 각형강관 등의 열연강재는 단위유닛의 양중 포인트와 코너에서 기둥 구조재로 사용되며, 스틸스터드 등의 냉연강재는 벽체와 바닥의 내력 또는 비내력용 구조재로 사용된다.

구조적인 측면에서 모듈러의 형태를 구분하면 다음과 같이 3가지로 구분할 수 있다(<표 1>, <그림 1>~<그림 2> 참조).

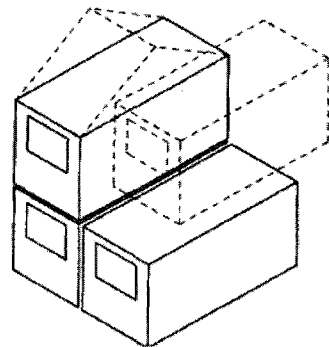


<그림 1> 코너 지지형

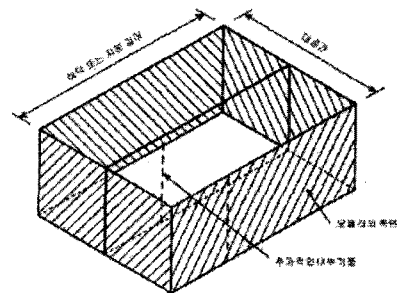


<그림 2> 벽체 지지형

모듈러 건축물은 3가지의 기본적인 모듈러 유닛 형태를 사용하며 그 구성 및 특징은 <표 1>과 같다.



<그림 3> 모듈 룸 유닛



<그림 4> 측면오픈형 유닛

### 2.2 모듈러 건축물의 특징

일반적으로 모듈러 건축물은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 1) 공기단축 : 기존의 전통적인 빌딩건설방식에 비해 평균 50%로 공기가 단축된다. 반면 현장 건설 전에 보다 많은 준비기간을 필요로 한다.
- 2) 품질의 안전성 : 공장생산에 바탕을 두는 품질 관리 기법과 기준의 도입으로 고품질의 달성

〈표 1〉 구조 및 형태에 따른 모듈러 시스템

구분	모듈러 유닛 형태		구성 및 특징
구조적 측면	구조용	코너 지지형 모듈	- 코너 기둥 및 연결보가 구조하중을 지지하는 모듈 - 축하중을 받지 않는 비내력 칸막이용 벽체
	비구조용	내력 벽체형 모듈	- 벽체의 구조재가 구조하중의 지지하는 모듈 - 횡하중을 받기 위하여 벽체내부에 브레이싱 됨
		비내력 벽체형 모듈	- 상부의 하중을 지지하지 않음 - 구조체의 바닥에 놓이는 화장실 또는 서비스 유닛
형태적인 측면	모듈러 룸 유닛(그림 3)		- 복도, 계단, 기타 연결시설 등을 포함하는 완성된 유닛
	측면 오픈형 유닛(그림 4)		- 대공간을 만들기 위하여 결합되는 유닛 양중이나 운송 중에 발생될 수 있는 변형과 파손을 방지하고 일시적인 안정성을 확보하기 위하여 일반적으로 오픈면은 보강되어 진다.
	모듈러 화장실 & 부엌		- 독립된 벽체와 바닥으로 결합되어진 설비 유닛

이 가능하게 된다.

- 3) 경량화 : 모듈러 건물은 조적조 건물에 비하여 무게가 30% 정도에 불과하기 때문에, 기존건물에 대한 하중부담을 줄이면서 기존건물 상층부 증축에 효과적이다.
- 4) 이동의 용이성 : 전식공법인 철골조 모듈로 건립되므로 해체 및 재설치가 용이하다.
- 5) 디자인의 융통성 : 철골조 모듈은 수직 또는 수평으로 우수한 구조성능을 지니므로 다양한 평면 조합이 가능하다.
- 6) 건설공사의 안전성 : 현장에서 엄격한 통제가 용이하여 건설 안전성을 확보가 가능하다.
- 7) 융통성과 확장성 : 모듈의 추가 및 제거 등을 신속히 처리할 수 있으며, 인접건물에 대한 영향을 최소화할 수 있다.

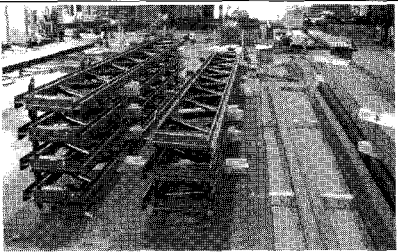
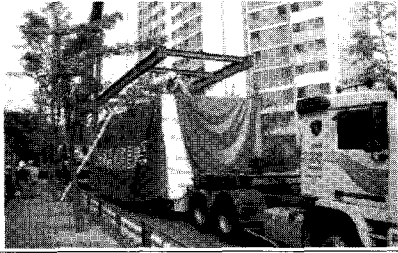
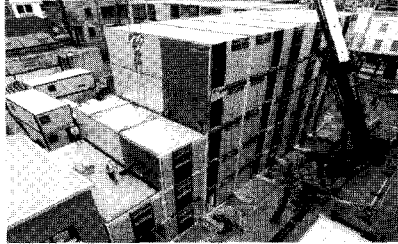
### 2.3 모듈러 건축물의 시공순서

일반적으로 모듈러 건축물의 건립은 공장제작, 운송, 현장설치 순으로 진행된다(표 2).

### 2.4 모듈러 건축물의 접합부

경량구조체의 접합을 위하여 사용되는 방법으로는 다음과 같다. 모듈간의 구조적인 연결은 시스템의 안전을 위하여 요구되어지며, 디테일은 모듈과 부속물들의 형태에 따라 다양한 접합부 디테일이 형성된다. 예를 들면 바닥의 보드, 석고보드, 외벽마감재 등은 셀프 드릴링, 셀프 태핑스크류 등으로 고정된다.

〈표 2〉 모듈러 건물 시공순서

구분	사 진
공장제작	
운송	
현장설치	

〈표 3〉 모듈러 건축물의 접합방법 및 특징

접합방법	구성 및 특징
스크류 접합	- 전단강도: 직경 5.5mm 스크류일 경우 0.5tf - 구조재인 경량형강뿐만 아니라 석고보드, 합판, 바닥재, 단열재 등과 같은 마감재 등에도 널리 사용됨.
볼트접합	- 전단강도: 직경 12mm 볼트일 경우 0.8~1.2tf - 강재의 접합부에 흔히 사용되는 방법

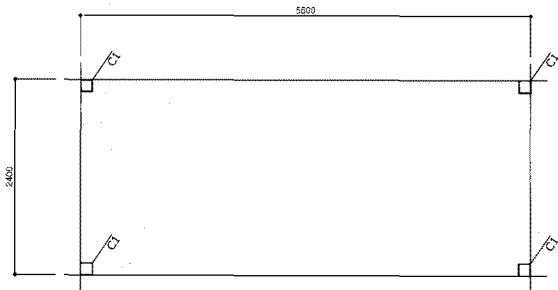
### 3. 시공사례

#### 3.1 구조평면

본 연구의 시공사례에서 사용된 모듈러 건물의 치수는 5,600mm(L)×2,400mm(B)×2,700mm(H)이며 구조 평면은 <그림 5>와 같다. 건물의 3D 모델 형상은 <그림 6>과 같고 사용된 주구조체 사이즈는 <표 4>와 같다. 메인 기둥과 보의 접합은 해체조립이 용이하도록 볼트접합부를 사용하였으며 M16 고력볼트를 사용하여 체결하였다.

<표 4> 주구조체 부재사이즈

구분	부재사이즈	재질
기둥	□-150×150×6.0	SPSR400
보	C-220×65×18×12×3.0	SGH400
고력볼트	M16	F10T

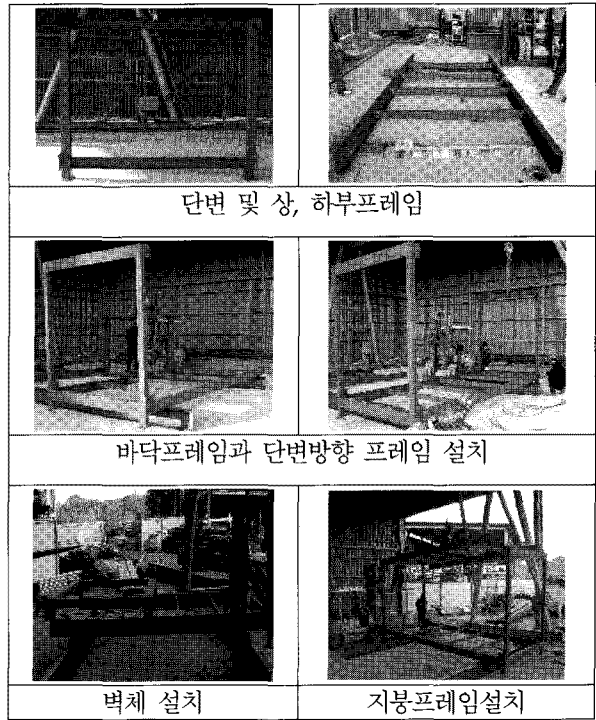


<그림 5> 구조 평면도

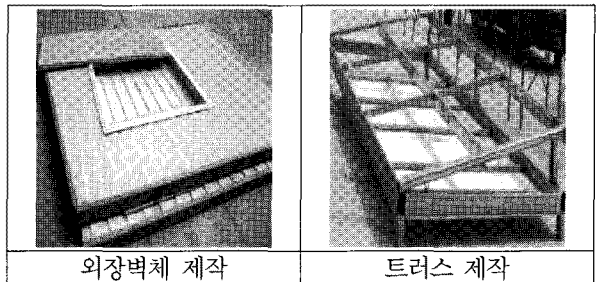
#### 3.2 시공과정

자재를 공장에 반입한 후 공장에서 단변방향과 바닥, 지붕 프레임을 각각 제작한다. 제작된 프레임은 현장에 운반한 후 현장에서는 먼저 바닥프레임과 단변 방향 프레임을 설치하여 골조를 형성한다(표 5). 그리고 지붕 프레임을 설치 및 실내외 마감 공사를 진행하였다. 본 연구에서는 두가지 타입으로 시공했다. <표 5>와 같이 모듈의 운반성을 용이하게 하기 위하여 단변방향 프레임을 바닥 프레임에 접합한 후 접을 수 있게 골조를 형성하였다. 따라서 일반화물차로 운반할 수 있는 이점이 있으며 기존의 고정식 모듈러 건물과 비교할 때 운반비용을 절감할 수 있다. 골조에서 마감까지 시공된 모듈러 건축물의 시공과정을 <표 6>~<표 8>과 같이 정리하였다.

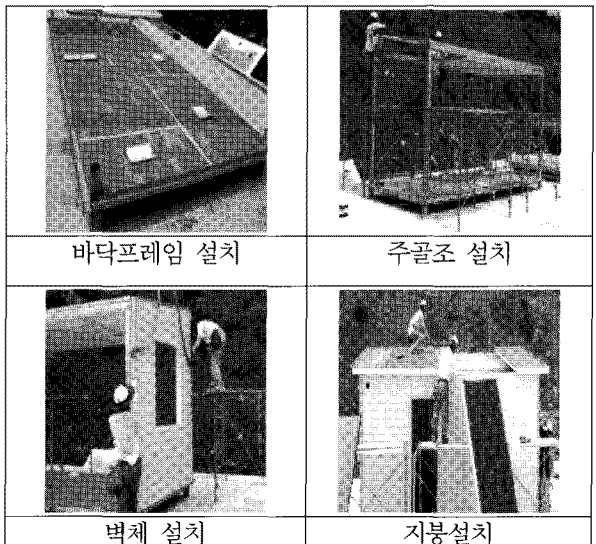
<표 5> 현장설치과정



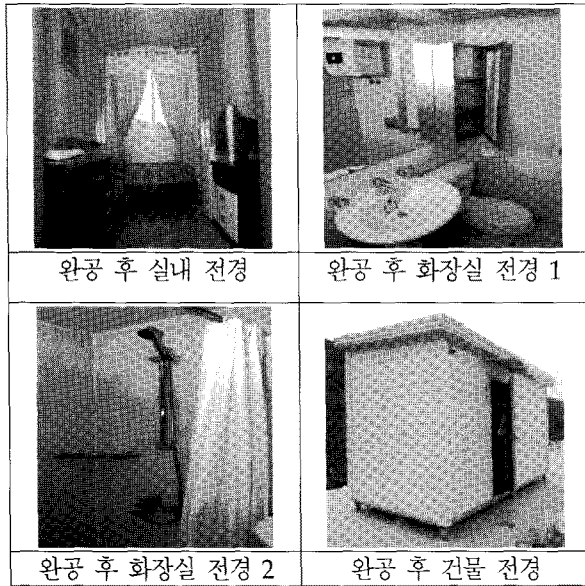
<표 6> 공장제작



<표 7> 현장설치



〈표 8〉 완공전경



#### 4. 시공성 평가

시공성은 동일 규모의 유사 성능 시설물을 얼마나 적은 노력과 비용으로 얼마나 빠르게 완성할 수 있는지를 지표로 평가할 수 있다. 공사에 고급 인력이나 많은 인력을 필요로 하는 경우 비용이 올라갈 뿐만 아니라 시공의 난이도에 따라 원하는 품질을 얻지 못할 수 있다. 그리고 동일 인력으로 작업을 하더라도 자재의 취급용이성에 따라 시공성의 정도가 달라진다. 재료가 중량일수록 시공성능이 떨어지며 별도의 장비를 추가로 필요하게 된다.

또한 시공성에서 중요한 요인으로 꼽을 수 있는 것이 시공에 필요한 장비의 종류이다. 중장비나 고급 장비 등이 필요한 경우, 현장 환경에 따라 장비의 활용도가 떨어질 수 있으며 비용 상승의 요인이 될 수 있다.

##### 4.1 운반작업성

현재 모듈러 시스템은 공장에서의 생산능력 보다는 운반하는데서 오는 중량의 제한, 규격 크기의 한계와 운반거리와 방법 등 경제성 문제가 발생할 수 있다. 그리고 운반과정에서 유닛이나 모듈의 파괴현상이 나타나고 있는 실정이다.

일반적으로 국내의 도로사정 및 도로교통법에 따르면 모듈의 폭은 최대 3.3m, 길이는 12m정도로 제한한다. Low-bed 트레일러의 높이가 약 90cm인 점을 고려하면

모듈의 높이는 약 3.4m로 제한된다. 또한 5t트럭의 적재함 높이는 1.16~1.17m정도이므로 모듈의 높이는 3m이하 이어야 하며 이 경우 유효 높이를 확보하기 어려우므로 운행 시 각별한 주의가 필요하다.

따라서 모듈러 건축물의 단위 모듈은 몇 가지로 제한될 수밖에 없으며 국내에서는 적재나 이동을 고려하여 보통 폭 3.0m, 길이 6~10m, 높이 3.3m이하로 계획되고 있다.

해외수출용일 경우 컨테이너 사이즈를 고려하여 모듈 치수를 정해야 한다. 현재 수출용 컨테이너로 사용되는 사이즈는 20', 40', 45' 등이 있으며 20' 기준으로 내부치수는 2,352(W)×5,898(L)×2,394(H)이다. 따라서 현재 국내에서 사용되고 있는 모듈치수를 사용할 수 없으며 새로운 대안이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 수요에 대응하기 위하여 모듈자체가 해체·조립이 용이하고 수출 시에도 모듈 크기의 영향을 적게 받고자 기둥과 보접합부에 볼트접합을 사용하였다.

그리고 단변방향 프레임은 길이방향으로 접을 수 있어 운송 시 높이 제한을 최소화 할 수 있으며 국내 운송뿐만 아니라 해외 수출 시 컨테이너 박스 한 개에 모듈 3개를 적재할 수 있는 장점이 있다. 따라서 기존의 유닛 모듈러 운송 방식과 비교하였을 경우 운송비용을 23%~63%정도 절감할 수 있는데 이는 기존에 존재하는 유닛 또는 모듈의 운송비용이 공사비 절감 비용을 반감시키는 문제를 해결할 수 있으며 이로 인한 전체적인 비용 절감도 기대할 수 있다. 뿐만 아니라 이런 접근방법으로 모듈크기가 제한을 받는 문제점도 해결할 수 있다.

##### 4.2 작업시간분석

모듈러 공법은 기존의 건설 공법에 비해 공정이 간단하고 가설 공사가 최소화 되며, 골조공사와 내장공사, 설비공사 등이 현장에서 대부분 이루어지고 현장에서의 공정은 모듈의 조립과 지붕공사 및 외장공사 등으로 단순 축소된다. 공장에서 수행되는 대부분의 공정은 날씨의 변화에 영향을 받지 않으므로 강우나 폭한 등에 의해 현장시공이 제한받는 기존의 공법에 비해 매우 유리하다.

모듈러는 현장에서 최소한의 공기만으로 조립 후

사용이 가능하도록 계획되어 있어 현장공기의 최소화할 수 있는 장점을 가지며 모듈 신속 및 이동 후 재시공시에도 최소한의 공기만을 필요로 하기 때문에 현장공기 단축의 요소를 가지고 있다.

〈표 9〉 작업시간분석 사례 개요

구분	내용	모듈크기(mm)
기존연구	골조+마감 - 골조조립 - 마감	9,600×3,000×3,000 (L×B×H)
본 연구	골조+마감 - 골조조립 - 마감	5,600×2,400×2,700 (L×B×H)

실제 시공된 공사사례와 같은 규모의 사례로 공기 분석을 진행하면 좋으나 본 연구에서는 편의상 1개 모듈을 기준으로 시공사례를 구성하였기에 기존 연구의 결과 중 1개 모듈단위에 소요되는 현장 작업시간과 비교 분석하였다(표 9). 기존 연구에서 모듈 1개의 표준 작업시간은 3.3 시간(1)으로 산출되었으며 본 연구에서는 시공과정을 기록하여 시공사례분석을 통한 결과 골조설치부터 마감까지 모듈 1개의 설치 작업시간은 3.05시간으로 산출되었다(표 10). 따라서 본 연구의 모듈러가 기존의 모듈러 방식보다 7%의 시간 단축효과가 있는 것으로 나타났으나 이는 시공사례의 모듈크기가 다르기에 발생한 차이로 판단된다. 시공과정에서 판넬마감 설치 등 마감공사 진행 시 현장에서 치수조정 등 수작업이 발생하여 시간이 다소 지연되는 현상이 발생하였는데 이는 타당성을 분석하는 시공사례로서 제작 시 발생한 문제점으로 파악되며 향후 정확한 설계와 공장 제작과정을 거치면 시간 단축효과가 더 클 것으로 판단된다.

〈표 10〉 작업시간분석 결과

구분	소요시간	비율
기존연구	3.3 시간	100%
본 연구	3.05 시간	93%

### 4.3 비용분석

모든 건설시설물은 기획·설계단계 및 시공단계로

1) 유민 외 5인, 모듈러 건축물의 공기 분석에 관한 연구, 2005.

구분되는 초기투자단계를 지나 운용·관리 및 해체·폐기 단계로 이어지는 일련의 과정을 거치게 되는데 이 일련의 과정을 생애주기라 한다. 그리고 건설시설물의 생애주기 동안 발생하는 총비용을 생애주기비용이라 하며 초기투자비, 운용관리비, 해체·폐기비 등 항목으로 구성된다.

기존의 모듈러 시스템은 경제성 및 모듈의 운반성을 고려하여 내·외장 마감재의 사용에 있어서 일반적으로 내구성이 취약한 재료를 많이 사용한다. 따라서 파손이 많이 발생할 수 있으며 이로 인한 유지보수 비용이 증가하여 건물 전체의 생애주기비용 측면에서 볼 때 비용이 크게 증가될 가능성이 있다.

본 연구에서 제안한 모듈러 시스템과 기존의 모듈러 시스템의 초기공사비와 운반비 측면에서 비교 분석을 통하여 본 연구에서 제안한 모듈러 공법을 평가하고자한다.

#### 4.3.1 초기투자비

초기투자비는 건물의 초기에 발생하는 비용 산출을 위한 모델로 건물이 완공되어 사용되기 이전까지의 단계에 소요되는 비용으로 구성된다. 초기투자비 모델은 각 공법별 3단계로 구분하여 비용항목을 세분하였다(〈표 11〉 참조).

초기투자비(Level 1)는 Level 2 비용의 합으로 구성되고, Level 2의 각각의 비용은 Level 3 비용항목의 합으로 구성된다.

〈표 12〉는 공법별 초기투자비를 비교한 것이다. 초기투자비는 기존 연구의 모듈러를 기준으로 본 연구의 모듈러(89%)<기존모듈러(100%)>으로 산출되어져 본 연구의 모듈러가 11% 경제적인 것으로 분석되었다. 이러한 결과가 도출된 이유는 기존 모듈러가 본 연구에 비하여 주골조 부재의 사용량 및 바닥 콘크리트 사용량이 상대적으로 많기 때문으로 판단된다.

〈표 11〉 초기투자비 항목

Level 1	Level 2	Level 3
초기 투자비	공사비용	가설공사비 토목공사비 건축공사비 전기공사비 설비공사비
	제경비	건설간접비 (일반관리비, 안전관리비, 보험료 등)

〈표 12〉 초기투자비 비교

구분	본 연구(원)	기존 모듈러(원)
공사비용	1,557,240,623	1,756,323,308
경비	145,802,712	284,276,284
초기투자비 합계	1,723,043,335	2,040,599,592
m <sup>2</sup> 당 순공사비	647,488	766,382
m <sup>2</sup> 당 순건축공사비	408,015(89%)	509,316(100%)

공종별 공사비 중 공사현장 여건에 따라 차이가 심한 토목 공사비와 냉난방 방식, 설비체계 구성 등에 따라 편차가 심한 기계/전기설비 공사비를 제외한 건축공사를 중심으로 비교를 진행해 보았다. m<sup>2</sup>당 공사비는 기존 연구를 기준으로 할 때 모듈러(80%)<기존 모듈러(100%)으로 본연구의 모듈러가 20% 경제적인 것으로 나타났다. 이는 기존 모듈러 건물이 2층 건물로 기초공사나 장비사용 등 비용에서 본 연구보다 많이 나타난 것으로 사료된다.

#### 4.3.2 운반비 비교

기존의 모듈러 방식은 완성된 단위 모듈을 트레일러를 이용하여 운반하므로 운송비용이 많이 소요되는 것으로 문제점이 나타나고 있다. 본 연구의 해체조립식 모듈러 공법은 일반 화물차량을 이용한 운반비로서 기존의 운송방식에서 오는 비용을 절감시킬 수 있는 공법이라 할 수 있다. 본 연구에서 산출된 운반비를 기준으로 기존 연구<sup>2)</sup>와 비교했을 경우 본 연구의 모듈러(37%)<기존 연구 2(60%)<기존 연구 1(100%)으로 나타나 운반에 따른 비용을 절감할 수 있는 방식으로 나타났다.

〈표 13〉 운반비 비교

구분	본 연구 모듈러(원)	기존 연구 모듈러1(원)	기존 연구 모듈러2(원)
m <sup>2</sup> 당 건축공사 운반비	5,391	14,713	8,770
비율	37%	100%	60%

## 5. 결 론

해체조립이 용이한 모듈러 건축물의 시공사례를

구성하여 공기, 비용 등 측면에서 기존 연구와 비교 분석을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 작업시간 분석 결과 기존의 모듈러보다 7%의 시간 단축효과가 있었다.
- 2) 초기투자비 분석결과 기존의 모듈러를 기준으로 하였을 경우 본 연구의 모듈러가 15%비용이 적게 투입되는 것으로 분석되었으며 순 건축공사비의 경우 11%정도 적게 나타났다.
- 3) 기존 연구의 모듈러 시스템과 운반비를 비교할 경우 본 연구의 모듈러가 23%~63%정도 저렴한 것으로 분석되었는데 이는 자재를 일반화물차량을 사용하여 현장에 운송하기 때문이다.

### 참고문헌

1. 대한건축학회, 냉간성형강 구조설계기준 및 해설, 1999.
2. 유민 외 5인, “모듈러 건축물의 공기 분석에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 Vol. 6, No. 1, 통권 27호, 2005.
3. 박재식 외 1인, “모듈러 공법을 적용한 군시설공사의 초기투자비 분석에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회논문집 Vol. 26, No. 1, 통권 제50집, 2006. 10.
4. 유영동, “모듈러 시스템 공법을 이용한 공업화 건축물”, RIST연구논문 Vol. 17, No. 3, 2003.
5. American Iron and Steel Institute., Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. 1996 edition.
6. Eurocode 3: Designing of steel structures. 2002.
7. Hancock, G.J., Design of Cold-Formed Steel Structures 2nd edition Australian Institute of Steel Construction. 1998.
8. Yu, Wei-Wen., Cold-Formed Steel Design, 2nd edition, John Wiley & Sons, 1991.
9. SCL, Modular Construction Using Light Steel Framing-Architects' guide, 1994.
10. SCL, Modular Construction Using Light Steel Framing-Design of Residential Buildings, 1999.

2) 박재식 외 1인, 모듈러 공법을 적용한 군시설공사의 초기 투자비 분석에 관한 연구, 2006. 10.