유닛 모듈러 공법의 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적 공정 제안

A Proposal for Optimizing Unit Modular System Process to Improve Efficiency in Off-site Manufacture,
Transportation and On-site Installation

이 광 복*
Lee, Kwang-Bok

김 경 래**
Kim, Kyung-Rai

신 동 우***
Shin, Dong-Woo

차 희 성****
Cha, Hee-Sung

Abstract

A unit modular system is a construction method which installs on site by manufacturing 50%~90% of the whole process in the factory. This method can minimize the process in the site and maximize the operation, which will reduce the duration and improve the overall quality. The recent paradigm of construction is to be sustainable building. Modular system can be regarded as a sustainable building construction method because it can reduce the amount of construction waste by recycling partial or whole part of overdue building be torn down. A unit modular system is the answer to cope with the increasing market of small size housings. A unit modular system is the most appropriate option at this point. This research proposes the standard operation and construction process of modular system, which enable to optimal system. A case study of reconstructing small-size housing was introduced to support this proposal. Finished unit modular is the reasonable way. However, 80% of complication rate of the modular is the most rational when a defect occurrence during delivery is considered.

Keywords : *Modular System, Standard Process of Modular System, Proposal for Optimized Process*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

2008년 대통령의 건국 60년 경축사에서는 ‘저탄소 녹색 성장’을 새로운 비전의 축으로 제시하였다. 이에 따라 건설업에서도 저탄소 녹색성장에 관심이 집중되고 있다. 유닛 모듈러 공법은 공장 제작된 부재를 시공현장에 반입하여 조립하는 공법으로 건축물의 생산, 사용, 폐기 등 건축생산 라이프사이클상 탄소배

출량을 획기적으로 줄일 수 있는 친환경적인 공법이다. 또한 공장에서 단위 건축모듈을 제작하고, 이를 현장에 운반하여 조립함으로써 양질의 품질 확보, 공기단축, 공사비 절감 그리고 자재의 재활용 등을 실현할 수 있다. 이를 통하여 시설물 시공기간의 단축이 가능하다. 또한 다양한 목적으로 주택, 학교, 오피스텔, 군대숙소, 그리고 단위 모듈의 반복적인 시공을 요구하는 건축물에 적용되고 있다. 특히 우리군은 한국전쟁 이후 시설에 지속적으로 투자하여 오늘날 약 10만여 동, 약 2,520만㎡(약 762만

* 일반회원, 아주대학교 대학원 건축공학과 석사과정, rap815@ajou.ac.kr

** 종신회원, 아주대학교 건축공학과 교수, 공학박사 (교신저자), kyungrai@ajou.ac.kr

*** 종신회원, 아주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, dshin@ajou.ac.kr

**** 종신회원, 아주대학교 건축공학과 부교수, 공학박사, hscha@ajou.ac.kr

평)의 방대한 시설을 보유하고 있으나 이중 20년 이상 경과된 노후시설이 전체의 약 30%를 차지하고 있다. (박재식, 2006) 이러한 노후시설의 문제를 인식하고 2005년부터 모듈러 공법을 시험공을 실시하였고 국방백서에 따르면 2011년 국방예산 중 약 1500억원을 군 독신자 숙소 및 내무반 신축에 배정하여 모듈러 공법의 적용을 확대할 계획에 있다.

2003년 신기초등학교를 시작으로 모듈러 공법이 확대 적용되고 있지만 아직 활성화의 단계에 그치고 있어 이 공법의 효과적인 공정시스템이나 제작 프로세스의 표준화가 미비한 상태이다. 기존연구들을 고찰해볼 때 전통적인 방식과 모듈러 공법의 LCC 비교 연구, 제작공정의 생산성 향상에 관한 연구, 초기투자비에 관한 연구 등이 있었으나, 총 공사기간, 품질, 사업비를 종합하여 공장제작, 운반, 현장설치의 프로세스에서 최적 효율성을 확보하는 연구는 진행되지 못하였음을 알 수 있다.

기존에 제시된 사례를 조사하였을 때, 해외의 모듈러 공법에서 60%~70%정도 공장제작을 하지만 국내 실제 공장제작비율을 42%정도임을 알 수 있었다. 이처럼 국내에서는 공장가동비용이 낮은 이유는 전문공사에 대한 발주가 따로 진행되기 때문이라고 볼 수 있다. 하지만 수출형 숙소 유닛 모듈러의 경우 텀키발주형식으로 공장제작비율을 완성에 가까운 정도로 높였지만 운반과정에서 잦은 하자발생, 현장 설치 과정에서 파손이 발생하는 등 최적의 공장제작비율이라고 보기 어려웠다.

따라서 본 연구를 통하여 모듈러 공법 공정시스템의 표준 모델을 통하여 공장제작, 운반, 현장조립의 과정에서 공정, 품질, 공사비측면에서 최적의 공정시스템을 제시하고자한다. 본 연구는 프로젝트의 계획단계에서 유닛 모듈러 공법의 최적 공정, 최적 공사비를 산출하는데 도움이 될 것이다. 이를 바탕으로 유닛 모듈러 공법의 대중화에 한걸음 더 나아갈 수 있는 계기가 될 것이다.

1.2 연구의 범위

본 연구는 국내 적용된 모듈러 공법의 시공사례를 바탕으로 표준공정을 제안하고자 한다. 기존의 시공사례와 문헌 연구를 통하여 WBS를 도출하고 이를 바탕으로 Activity를 산정한다. 이를 Task Level로 공정을 분석하여 공정 간의 선후행 관계를 정의 한다. 본 과정에서 도출된 Task를 바탕으로 공사비, 공사기간을 기존 사례의 실적데이터와 전문가와의 면담을 통하여 모듈러 공법의 공장제작, 운반, 현장설치의 전체 예정 공정표를 완성한다.

따라서 본 연구에서는 다방면으로 활용이 가능한 1인 숙소시설을 표준 설계안으로 가정하였을 때, 공장프로세스를 기본 바

탕으로 공장제작, 운반, 현장조립 과정에서 최단공기, 최소공사비, 최적의 품질을 확보할 수 있는 방안을 제시하고자한다. 이를 위하여 기존 모듈러 공법의 공장제작의 범위를 공사비, 품질, 공사기간등을 비교하여 가장 효율성을 확보할 수 있는 공정 프로세스를 도출할 수 있다.

그림 1. 연구 프로세스

1.3 연구방법

1.3.1 CPM

CPM은 1950년대 중반에 미국 듀퐁회사에서 화학공장의 복잡한 시설설계 및 시공을 위한 계획과 진도관리를 개선할 목적으로 개발되어 현재 여러 분야에서 사용되고 있는 대표적인 공정관리기법이다.

CPM은 네트워크상에 작업간의 관계, 작업소요시간 등을 표현하여 일정계산을 하고 전체 공사기간을 산정하며, 공사수행에서 발생하는 공정상의 문제를 도해나 수리적 모델로 해결하고 관리하는 것이다. 즉 일정계산을 통하여 각 작업의 착수 및 완료시점을 파악할 수 있으며, 각 작업에서 사용할 수 있는 여유시간을 알 수 있어 작업계획을 수리하는데 편리하다.

본 연구에서는 CPM기법을 활용하여 전체공정에서 각 액티비티간 중첩이 가능한 부분을 찾아내고 이 부분을 고려하여 최단 공사기간을 산정하는데 사용하고자 한다.

1.3.2 몬테카를로 시뮬레이션

연구의 결과로 제시된 표준공정에 대한 검증을 위하여 몬테카를로 시뮬레이션(Monte Carlo Simulation) 기법을 적용한다. 몬테카를로 시뮬레이션이란, 모의적 표본추출법(Simulated sampling technique)이라고도 하며, 어떤 문제가 주어졌을 때 난수(Random Number)를 사용해 자료를 만들어 충분한 많은 수의 조작 또는 무작위 실험의 결과를 종합해서 구하고자하는 풀이, 법칙을 근사적으로 얻고자 하는 방법이다. 몬테카를로 시뮬레이션 기법의 장점은 컴퓨터 프로그램에 적용하기에 쉬우며

만족스러운 결과를 도출할 수 있다는 것이며, 임의의 랜덤 변량의 분포에 있어서도 한계상태함수의 제한이 없다는 장점을 가지고 있다.

제안된 표준공정의 작업시간을 실적데이터를 기준으로 산정되었기 때문에 실제사례에 검증하려고 할 때, 작업자의 숙련도, 작업의 난이도, 작업의 반복에 따라 작업시간의 변화가 생길 수 있다. 따라서 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 작업시간에 대한 보정을 거친 뒤 이를 사례에 적용하여 검증하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 공법

모듈러 공법은 공기단축, 건축물의 이동 및 재사용, 공사비 절감을 목적으로 공장에서 생산한 건축 모듈을 현장에서 조립하는 건축시스템 및 시공 공법이다. 조립지그, 컨베이어가 갖춰진 공장에서 골조, 벽체, 설비 등 전체 공정 중 50%~90%를 제작하고 기초공사가 완료된 현장으로 운반한 뒤 건축모듈을 현장에 설치함으로 단기간 내에 건축물을 완성할 수 있다.

모듈러 공법은 공장에서 생산하는 방식이기 때문에 초기 투자비에 공장건설을 포함하게 되면 기존 RC공법에 비하여 비경제적이라고 할 수 있다. 하지만 표준화를 통하여 대량생산할 경우 기존 RC공법에 비하여 15%~20%가량 공사비의 절감효과를 가져올 것(RIST, 2009)으로 확인되었다.

특히 군사시설에 또는 응급 재난 구호 건물의 경우 이동 및 해체가 용이하여야 하므로 모듈러 공법이 가장 적합하다고 할 수 있다. 또한 응급한 상황에서 기존 공법대비 50%이상 공기가 단축되어(RIST, 2009) 설계에서 시공까지 1년 내에 예산집행이 가능한 공법이다.

2.1.1 모듈러 공법의 특징

모듈러 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- ① 이동의 용이성 : 건식공법인 철골구조 모듈로 건립되므로 해체 및 재설치가 용이하다.
- ② 융통성과 확장성 : 모듈의 추가 및 제거가 용이하다.
- ③ 우수한 단열성능 : 스틸하우스 등의 경량 철골건축물은 벽 두께의 증가 없이 0.2W/m²K 이하의 고단 열을 경제적으로 달성 가능하다.
- ④ 뛰어난 내진특성 : 철골조 모듈러 건축물은 국제 지진 기준에 적합한 뛰어난 강성을 지닌다.
- ⑤ 공기단축 : 전통적인 방식에 비하여 약 50%이상 단축된다.
- ⑥ 품질의 안정성 : 주요 구성 재료의 공장생산에 의한 고품질 달성이 가능하다.

- ⑦ 경량화 : 모듈러 건축물의 무게는 조적조 건축물의 30%정도에 불과하기 때문에, 기존 건축물에 대한 하중부담을 줄이면서 증축에 효과적이다.

2.1.2 모듈러 공법의 프로세스

모듈러 공법의 프로세스는 크게 공장제작, 운반, 현장설치의 3단계로 구분 할 수 있다. 공장제작의 골조 공정은 단방향 프레임제작, 하부 장방향보 조립, 상부 장방향보 조립, 바닥판 조이스트 조립, 천장 조이스트 조립, 벽체 패널 조립으로 이루어진다. 이후 스티트 벽체 안쪽의 채널 조립, 바닥판 보드 조립, 천장 보드 및 단열재 설치, 벽체 보드 및 단열재 설치, 창틀 및 출입문을 설치하여 마감을 완성하게 된다.

공장에서 제작된 모듈은 현장으로 운송되어야 하는데 운송 중 모듈의 손상 방지를 위해 트레일러에 별도의 고정기구를 필요로 하며 무진동 차량으로 운반되어야 한다.

모듈이 현장에 도착하기 이전에 현장에서는 모듈의 기초가 설치되어야 하며 기초부에는 모듈과 접합을 위한 주각부를 갖는다. 양중되어진 모듈의 접합은 모듈러 유닛의 기둥부에 설치한 플레이트 및 접합부를 이용해 볼트 접합으로 이루어지며 기둥부에서의 볼트 조립만으로 모듈과 모듈의 접합이 이루어지므로 현장에서 조립시간을 최대한 단축할 수 있다. 이러한 조립과 동시에 마감공정을 통하여 건축물을 완성하게 된다.

3. 표준공정제안

3.1 표준모듈러 가정

본 연구에서 표준공정을 제안하기 위하여 다음과 같은 표준모듈러를 가정하였다.

- (1) 단위 모듈 사이즈(mm) : 3,000×9,000×3,300
- (2) 화장실을 포함한 1인 숙소
- (3) 공사비는 모듈의 기초와 지붕을 포함
- (4) 마감재
 - 바닥 : 슈퍼데크 + 타설 + 모르타르 + 모노륨
 - 벽 : 석고보드 2겹 + 벽지 (또는 도장)
 - 천장 : 석고보드 + 천장지 (또는 도장)
 - 법정 단열재 : 외벽(글라스울), 지붕(폴리우레탄폼), 1층 바닥하부(스치로폼) - 중부지방기준
- (5) 기초물량은 기존 독신숙소 시공사례의 면적당 투입물량을 바탕으로 단위 모듈당 소요량 가정

3.2 WBS 도출

2008년 육군에서 신축한 독신숙소 건축 사례를 바탕으로 공

장제작, 운반, 현장설치의 WBS를 도출하면 그림 2와 같다. 발주시스템의 한계로 인하여 공장제작 공정에서 구조체조립, 바닥판설치 및 접합, 벽체 및 천정틀 조립 및 접합을 완료하고, 운반하여 현장에서 설비공사와 마감공사를 완료한 뒤 모듈을 설치하고 지붕을 조립하여 완료하였음을 알 수 있다.

그림 2. 기존 독신숙소 신축공사의 WBS

3.3 공정 분석

기존 독신숙소 건축 사례의 공정에서 액티비티의 구성은 구조체조립, 바닥판 설치, 벽체 및 천정틀 설치를 공장제작 하였다. 현장에서는 기초 작업을 끝내고 모듈러가 현장에 운반되면 설비 및 지붕제작을 완료하여 모듈러를 설치하고 마감공사와 지붕접합을 완료한 것으로 조사 되었다.

그림 3. 액티비티 도출

기존 사례의 내역서 기준으로 재정리 해보면 본 공정은 공사비 기준 공장제작 47.58%, 운반 6%, 현장설치 46.42% 소요되었다. 공장제작 47.58%일 때 공장제작과 현장설치공정의 액티비티를 나눠보면 그림 3과 같다.

표 1. 공장제작물에 따른 액티비티 선정

LEVEL2	LEVEL3	공장제작 비율60%	공장제작 비율70%	공장제작 비율80%	공장제작 비율 90%
지붕공사	지붕프레임 제작			●	●
	지붕프레임 조립			●	●
설비공사	벽체배관	●	●	●	●
	천장배관	●	●	●	●
	도기 및 공조기	●	●	●	●
마감공사	석공사		●	●	●
	금속공사		●	●	●
	미장공사		●	●	●
	창호공사			●	●
	유리공사				●
	도장공사				●

그림 3의 공정을 기준으로 전문가와 인터뷰를 통하여 공장제작비율을 높이고자 할 때 공장에서 추가적으로 작업 가능한 액티비티는 표 1과 같이 나타났다. 이를 각각의 대안으로 나누어보면 공장제작 비율이 59.88%일 때는 공장 제작 비율 60%로, 72.14%일 때는 공장 제작 비율 70%로, 83.33%일 때는 공장 제작 비율 80%, 88.55%일 때는 공장 제작 비율 90%로 정하였다.

그림 3에서 도출된 액티비티는 현재 공장제작의 일반적인 형태이며 이는 공장 제작 비율 50% 이다. 표 1에서 보는 것과 같이 설비공사까지 공장에서 완료하는 것을 공장 제작 비율 60%로 보고, 설비공사와 석공사, 금속공사, 미장공사등 일부 마감공사까지 공장에서 완료하는 것을 공장 제작 비율 70%로 본다. 지붕의 제작 및 조립까지 완료하는 것을 공장 제작 비율 80%로 하고, 유리공사 도장공사등 대부분의 공정을 공장에서 완료하고 현장에서는 기초공사, 앵커볼트매립, 모듈러설치, 지붕접합의 공정만 완료하는 것을 공장 제작 비율 90%로 가정한다. 이를 바탕으로 각 대안별 공사비, 공사기간, 하자발생 가능부위, 품질등을 종합적으로 검토한다.

3.4 공사비, 공사기간, 품질 산정 방법

표준공정을 제안하기 위해서 기존 공정에 대한 공사비와 공사기간, 품질을 산정해야 한다. 공사기간은 기존 독신숙소 사례의 실적자료(작업일보)를 기준으로 전체 모듈량을 기준으로 산술 계산하여 보정하였다.

공사비 산정의 경우 자재비와 노무비 경비로 나누고 이에 대한 실적 데이터를 입력하여 모듈당 공사비로 산술 계산하여 입력하였다. 공사비의 경우 현장에서 인부를 고용하는 경우와 공장에서 인부를 고용하는 경우 일위대가가 달라지기 때문에 이를 보정하여 재계산하였다.

그림 4. 작업자의 숙련도에 따른 작업시간 보정

전체공사기간을 산정하기 위해서는 액티비티당 작업시간을 도출하여 이를 CPM공정표로 표현하여 그 기간을 산정하였다. 하지만 작업시간을 실측하였어도 작업자의 숙련도에 따라 작업시간은 변할 수 있기 때문에 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 각각의 작업을 10,000회 시뮬레이션하여 재산정하였다.

3.5 대안별 공사기간, 공사비, 품질 도출

공장 제작 비율에 따라 기존의 전체 작업시간을 1,560분으로 가정하고 공정간 병행 작업을 고려하여 대안별 소요시간, 생산성, 공사비를 비교하면 다음과 같다.

3.5.1 공장제작 비율 50%

전체 작업시간이 1,560분일 때 동시에 작업이 가능한 부분을 병행 작업하면 총 1,470분이 소요된다. 표 2와 같이 공장제작 비율은 전체 공사비의 47.58%이며, 현장설치의 인부 고용을 경비로 처리하였다.

표 2. 공장제작비율 50% 작업시간, 공사비 도출

구분	공장제작	현장설치	합계
작업시간 (min)	760	800	1560
소요시간 (min)	720	750	1470
투입인원 (명)	72.7	39	112
생산성 (Mh)	100.67	34.97	136
공사비 (%)	47.58%	46.42%	100%

전문가와 인터뷰를 통한 결과 벽체의 접합부간의 하자가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 품질은 10점 만점에 5점으로 평가되었다.

3.5.2 공장제작 비율 60%

전체 작업시간이 1,560분일 때 배관 작업등의 병행작업이 가능한 부분을 병행 시공할 경우 1,370분이 소요된다. 표 3에서 보는 바와 같이 공장제작비율은 전체 공사비의 58.68%이며, 일부

현장설치의 경우 공장제작 비율 50%와 마찬가지로 경비로 처리하였다.

표 3. 공장제작비율 60% 작업시간, 공사비 도출

구분	공장제작	현장설치	합계
작업시간 (min)	870	690	1560
소요시간 (min)	760	610	1370
투입인원 (명)	79.2	32.5	111.7
생산성 (Mh)	104.8	30.9	136
공사비 (%)	58.68%	34.80%	99.48%

전문가와 인터뷰를 통한 결과 벽체의 접합부, 도기의 파손 및 공조기간 접합부위의 하자가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 품질은 10점 만점에 7점이었다.

3.5.3 공장제작 비율 70%

전체 작업시간이 1,560분일 때 배관 및 마감공사의 일부를 병행 작업하여 1,300분이 소요되었다.

표 4. 공장제작비율 70% 작업시간, 공사비 도출

구분	공장제작	현장설치	합계
작업시간 (min)	970	590	1560
소요시간 (min)	820	480	1300
투입인원 (명)	85.6	26.1	111.7
생산성 (Mh)	108.6	27.1	135.6
공사비 (%)	70.70%	22.30%	98.99%

전문가와 인터뷰를 통한 결과 벽체의 접합부, 도기의 파손 및 공조기간 접합부위, 크레인 운반 중 뒤틀림으로 인한 미장파손 등의 하자가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 품질은 10점 만점에 8점으로 평가되었다.

3.5.4 공장제작 비율 80%

전체 작업시간이 1,560분일 때 유리공사와 도장 공사를 제외한 마감공종을 병행 작업하여 전체 총 1,150분이 걸리는 것으로 나타났다.

표 5. 공장제작비율 80% 작업시간, 공사비 도출

구분	공장제작	현장설치	합계
작업시간 (min)	1110	450	1560
소요시간 (min)	850	300	1150
투입인원 (명)	90.1	21.6	111.7
생산성 (Mh)	112.1	23.6	135.6
공사비 (%)	79.16%	10.88%	96.05%

전문가와 인터뷰를 통한 결과 벽체의 접합부, 도기의 파손 및 공조기간 접합부위, 크레인 운반 중 뒤틀림으로 인한 미장파손, 창호설치에 대한 하자가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 품질은 10점 만점에 9점으로 평가되었다.

3.5.5 공장제작 비율 90%

전체 작업시간이 1,560분일 때 완제품에 가깝도록 모든 공종을 병행하여 작업할 경우 1,170분이 걸리는 것으로 나타났다. 공장제작에서 병행으로 진행되는 작업에서 선행관계에 의하여 공장제작 시간이 늘어나는 것으로 나타났다.

표 6. 공장제작비율 90% 작업시간, 공사비 도출

구분	공장제작	현장설치	합계
작업시간 (min)	1160	400	1560
소요시간 (min)	890	280	1170
투입인원 (명)	90.8	20.9	111.7
생산성 (Mh)	112.3	23.3	135.6
공사비 (%)	84.12%	5.67%	95.79%

전문가와 인터뷰를 통한 결과 벽체의 접합부, 도기의 파손 및 공조기 간 접합부위, 크레인 운반 중 뒤틀림으로 인한 미장파손, 도장부위 갈라짐, 유리깨짐 등의 하자가 발생할 수 있는 것으로 나타났으며, 품질은 10점 만점에 9점정도 가능할 것으로 조사되었다. 하지만 이 대안의 경우 현장설치 후 잦은 하자발생으로 인하여 재시공의 발생 건수가 높을 것으로 예상 되었다.

3.6 효율성 확보를 위한 최적 대안 선정

앞에서 제시된 공장 제작 비율 따른 공사기간, 공사비용, 하자 발생부분, 품질을 비교하면 표7과 같다.

표 7. 공장제작률에 따른 비교

구분	공사기간	총공사비용	하자발생 가능부분	품질
공장제작비율 50%	100%	100%	1	5
공장제작비율 60%	87.82%	99.48%	3	7
공장제작비율 70%	83.33%	98.99%	4	8
공장제작비율 80%	73.72%	96.05%	5	9
공장제작비율 90%	75.00%	95.79%	8	9

최단 공사기간은 공장제작비율 80%일때로 나타났으며, 최소 공사비용은 공장제작비율 90%인 것으로 나타났다. 품질은 두가지의 대안이 같은 것으로 나타났지만 하자발생 가능부분이 공장제작비율 90%일 때 8건으로 월등히 높았다. 특히 공장제작비율 90%일때는 유리공사, 도장공사가 공장제작에 포함되게 되는데 이는 운반에 있어서 매우 불리한 조건으로 작용한다. 공장에서 모듈러를 완성하여 현장에 설치하기까지 적어도 크레인을 통하여 4회 이상 이동하게 된다. 이 과정에서 구조체의 뒤틀림을 방지하기위하여 밸런싱바를 이용하더라도 구조체의 뒤틀림이 생기는 경우가 발생할 수 있기 때문에 특별경우를 제외하고, 유리

공사와 도장공사의 경우 현장에서 직접 시공하는 것이 바람직하다. 따라서 그림 5에서 보이는 것과 같이 공장제작 비율 80%일 때 가장 효율적인 공장제작 비율이라고 할 수 있다.

그림 5. 공장제작 비율에 따른 종합검토

3.7 표준 공정 제안

공장제작 비율에 따른 최적 대안을 도출하면 80%일때가 가장 효율적임을 알 수 있었다. 이를 표준 공정으로 하였을 때 이에 따르는 Activity를 도출하면 표8과 같이 나타낼 수 있다.

표 8. 표준 공정 Activity

LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
공장제작	구조체조립	부재가공
		H/T볼트작업
		철골세우기
		철골조립
		변형체크
	바닥판 설치 및 접합	슈퍼데크설치
		CONC타설
		모르타르충진
		런너 및 스티드설치
		창호설치
	벽체 및 천정틀	경량철골천장틀 설치
		내부천장마감
		처음 및 단열재 설치
		외부천장마감
	설비공사	벽체배관
		천장배관
		도기 및 공조기
	마감공사	석공사
		금속공사
		미장공사
		창호공사
	지붕공사	지붕프레임 제작
		지붕프레임 조립
운반		트레일러 점검
		운송준비 최종점검
		모듈 운송

표 8. 표준 공정 Activity(계속)

LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
현장설치	현장기초	터파기
		지정 및 기초
		양카볼트설치
		무수축그라우팅
	지붕공사	지붕프레임 접합
	마감공사	모듈러설치
		유리공사
		도장공사

표 8의 제안된 Activity에 따라 공장제작, 운반, 현장설치를 완료하게 되면 가장 효율적이라고 할 수 있다. 공장제작 과정에서 마감공사의 일부인 미장공사, 석공사, 창호공사, 금속공사를 완료하고 지붕의 제작 및 조립을 완료하여 현장에서 시공시 발생하는 불필요한 여유시간을 최대한으로 줄이고 현장에서는 모듈러 설치, 지붕프레임 접합, 유리공사, 도장공사를 끝으로 공사를 마감할 수 있다.

표준공정의 경우 최대한 공정의 낭비요소를 줄이고 공사기간을 FS로 산정하였기 때문에 후행공정은 선행공정의 지연이 많은 영향을 받게 된다. 이를 바탕으로 표준제안 공정표를 작성하면 그림 6과 같다.

그림 6. 모듈러 공법 표준 공정표

4. 기존 사례 검증

4.1 OO BOQ 신축공사

2008년 9월에 공사한 양주지역 독신자숙소 신축공사의 경우 총 10실로 소규모 공사가 이루어 졌다. 모듈의 사이즈는 3,350mm×8,600mm×3,300mm 이며, 표준에서 제시한 모듈과 달리 바닥 마감이 CRC보드로 이루어 졌다. 현재 모듈러 시장

에서 CRC보드는 사용자의 불편함 때문에 거의 사용되지 않기 때문에 이를 슈퍼테크와 콘크리트 타설로 마감하는 것으로 검토를 진행한다. 규모는 1층 규모로 본 연구로 비추어 볼 때 공장제작 비율 50% 대안으로 공정이 진행되었으며 총 공사기간은 55일이 소요되었다.

표 9. 기존사례의 표준 공정 적용 공사기간 비교

구분	공장제작	현장설치	합계
00 BOQ 신축공사	30일	25일	55일
표준 공정 적용	24일	10일	34일

본 연구에서 제시된 공장제작비율 80%를 적용하였을 때, 전체 공사기간은 34일로 기존대비 38%의 공기단축이 가능할 것으로 나타났다. 또한 운반비를 제외한 공사비를 비교하였을 때도 2%정도의 공사비를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

표 10. 기존사례의 표준 공정 적용 공사비 비교

구분	공장제작	현장설치	합계
00 BOQ 신축공사	55.28%	44.72%	100%
표준 공정 적용	84.32%	7.67%	97.99%

5. 결론

본 연구에서는 독신자숙소의 사례를 중심으로 표준공정을 제안하였다. 그 결과 공장제작비율 80%일 때 모듈러 공법에 가장 적합한 표준 공정을 제안할 수 있었다. 이는 향후 모듈러 공법의 시장 확대에 따라 범용적으로 적용이 가능한 1인 숙소를 기본 표준안으로 한다.

본 연구결과를 바탕으로 신규사업자의 경우 모듈러 공법에 조금 더 접근하기 용이할 것이고, 기존사업자는 공사기간과 공사비는 줄이고 품질은 높일 수 있을 것이다. 이는 곧 확대되는 모듈러 시장에 수요와 공급을 모두 이끌어 낼 수 있을 것으로 기대된다.

연구의 한계점은 기존 모듈러 공법이 국내에 적용된 사례가 적어 데이터가 부족하였다는 점과 본 연구결과를 바탕으로 향후 신축공사에도 검토가 필요하다는 점이다. 또한 모듈의 표준안을 기존 데이터를 참고하여 작성하였기 때문에 모듈의 설계안이 변경될 경우 세부 사항은 수정 보완되어야 한다. 또한 작업시간 역시 물량에 따라 탄력적으로 보정되어야 할 것이다. 공사비 역시 설계안에 따라 변경되어 적용되어야 한다. 또한 모듈러 공법이 더욱 활성화 되어 2D 모듈 형태를 기계로 생산 가능해진다면 상당한 부분의 공사비의 절감과 공사기간 단축이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 일반연구자 지원사업 - 기본연구지원사업(유형II)에 의한 결과의 일부임.

과제번호 : 2010-0023896

참고문헌

강성오 (2007), “군용 대규모 모듈러 건축물의 공정분석 및 표준 공기 설정에 관한 연구”, 목원대학교 석사학위 논문
 김갑득, 이재승, 조봉호, 유영동(2008). “해외 OSM(Off-Site Manufactured)공법 기술 요소 및 사례 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제28권 제1호, 대한건축학회, pp137~140
 김효중(2005), “군 거주시설의 LCC비교분석 사례연구”, 목원대학교 석사학위 논문
 국방부(2006), 이동성능을 갖는 군 시설물의 건축성능기준 및 설계 지침 제정
 박재식, 박태근(2006) “모듈러 공법을 적용한 군시설 공사의 초

기투자비 분석에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회, 제26권 제1호, 대한건축학회, pp.642~647
 유민, 오정환, 이미혜, 유영동, 박태근(2005), “모듈러 건축물의 공기분석에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회, 제25권 제1호, 대한건축학회 pp.201~204
 임석호(2004), “한국형 공업화 주택의 오픈시스템을 위한 모듈 정합 설계기준설정 연구”, 대한건축학회 논문집, 제20권 제12호, 대한건축학회, pp.61~70
 조봉호, 고광호, 김홍진(2007). “모듈러 건축 시스템의 기술개발 동향 및 적용사례”, 한국강구조학회지, 제18권 제1호, pp.112~119
 RIST, 포항산업과학연구원(2007), “프레임-스터드패널형 건축 모듈러 유닛의 구조 시스템, 공장제작, 현장설치 공법”, 신기술지정 제 435호
 SCI(1999), Modular Construction using Light Steel Framing - An Architects Guide

논문제출일: 2011.02.23
 논문심사일: 2011.02.25
 심사완료일: 2011.08.16

요 약

모듈러 공법은 전체공정의 50%~90%를 공장에서 제작하여 이를 운반하여 현장에서 설치하는 공법이다. 이 공법은 현장에서 공정을 최소화하고 공장에서 작업을 극대화하여 공기를 단축하고 품질을 향상시킬 수 있다. 모듈러 공법으로 시공하면, 사용연한이 지나 건축물 철거시 일부 또는 전체를 재사용이 가능하기 때문에 건축폐기물까지 줄일 수 있는 친환경적인 공법이라고 할 수 있다. 이 모듈러 공법은 최근 수요가 증가하는 소형주택과 한국전쟁 당시 지어진 전방의 노후화된 병영시설의 교체에 적합한 공법이다. 경량철골을 사용한 모듈러 공법의 국내 시공 사례는 2003년 신기초등학교를 시작으로 군 병영시설에 확대 적용되고 있지만 아직까지 시장 초기단계이다. 따라서 범용 적으로 활용이 가능한 모듈 유닛의 표준과 공정의 표준 정립이 시급한 상태이다. 본 연구에서는 기존 독신숙소의 신축 사례를 바탕으로 1인 숙소를 표준 모듈로 가정하고 모듈의 공장제작, 운반, 현장설치의 모듈러 공법의 최단 공사기간내의 최소 공사비 투입이 가능한 표준 공정을 제안하고자 한다. 공장에서 완성품을 제작하는 것이 가장 합리적이지만 운반시 하자발생을 감안한다면 공장제작비율 80%일 때 가장 합리적인 것으로 도출 되었다.

키워드 : 유닛 모듈러 공법, 모듈러 공법의 표준공정, 최적 공정 제안