

# 모듈러 공장생산 프로세스 개선을 위한 컨베이어시스템 적용 방안 - 공장생산 중심으로 -

## To Improve Production Process of the Modular Using the Conveyor System

배 병 윤*	김 경 래**	차 희 성***	신 동 우****
Bae,Byungyoon	Kim,Kyungrai	Cha,Heesung	Shin,Dongwoo

### Abstract

Republic of Korea is recently becoming an advanced country with increasing standard of living. This is causing a lack of employment in the construction industry because of high labor costs and it is resulting rapid increase in foreign labors. Modular Method of Construction can be defined as 50%~90% of the entire process is completed in factory, and transferred to construction field to install. The main purpose of this process is to minimize the entire process that possibly can be done at construction field in order to maximize the quality. The current local usage of Modular Method of Construction started at Shin Ki Elementary School during 2003 and it is widely used for military facilities. It should be used more because it has strengths of spending short time period to complete and low production costs. It can make a change if Modular Method of Construction is applied. Toyota is currently producing vehicle with conveyor system and if Modular Method of Construction is applied, then it is possible to reduce the waste of labor, and automatic production time. Expansion of the modular Market can be expected by applying this method because it will improve producing costs, high quality, and enforced process. This research tried to solve the problem of factory's manufacturing production by applying local Modular Method of Construction to provide suggestions and analyze the profitability with applied conveyor system. It is depending on produced model, but this research's model will take 20 months including assessment of payback period

**Keywords :** *Modular, Conveyor System, Process, production process of the Modular*

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

모듈러 건축 공법은 세계 2차 대전 이후 원활한 주택보급을

위해 유럽과 미국, 일본에서 시발점이 되어 현재 이미 보급화 된 공업화 건축 공법으로서 박스형의 공장 생산된 철골조 모듈러 유닛을 현장에서 단기간 내에 조립하여 건축물을 건립하는 생산 및 시공 공법을 일컫는다. 최근 국내의 군부대나 노후 주거 시설들의 안전과 성능 저하 문제를 향상시키기 위하여 개선사업을

\* 일반회원, 아주대학교 대학원 건축공학과 석사, beabangg@naver.com

\*\* 중신회원, 아주대학교 건축학부 교수(교신저자), kyungrai@ajou.ac.kr

\*\*\* 중신회원, 아주대학교 건축학부 부교수, hscha@ajou.ac.kr

\*\*\*\* 중신회원, 아주대학교 건축학부 교수, dshin@ajou.ac.kr

추진하고, 향후 군 구조 개편 시 탄력적으로 대처할 수 있도록 모듈러 시스템을 채택하여 2005년부터 시험시공을 실시하였고 현재 부분적으로 본 공법을 적용하여 시공 중에 있다.

모듈러는 표 1에서와 같이 대량생산으로 인해 원재료를 대량 구입 함으로써 재료비를 5~20%절감할 수 있고, 모듈러의 대표적 특징인 공장생산과정에서 노무비는 현장노무비의 1/2수준으로 인건비를 절약할 수 있다. (조봉호 외 2009)

표 1. 모듈러대량생산의 효과

구분	주요 내용
재료비	대량구매로 철강재 및 마감 재료비 5~10% 절감
노무비	현장 노무비 (10~20만원), 공장 상시 근로자(5~10만원) 노무비 50% 절감
경비	공장가동률 향상 (20%~100%)으로 생산성 향상 및 경비 절감
운반비	모듈 대량 운반으로 모듈 운반비 절감

또한 현재 저조한 공장 가동률이 향상됨에 따라 생산성 및 경비가 절감되고 대량운반을 통한 운반비절감에 효과적이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 모듈러공법은 몇 가지 측면에서 생산성 개선이 필요하며, 그림 1와 같이 타 공법에 비해 모듈러 공법은 공장생산 비율이 가장 높고 전체 공정의 50~80%까지 공장장에서 이루어지기 때문에 공장생산의 생산성을 개선하면 효과적으로 생산성을 향상시킬 수 있다.

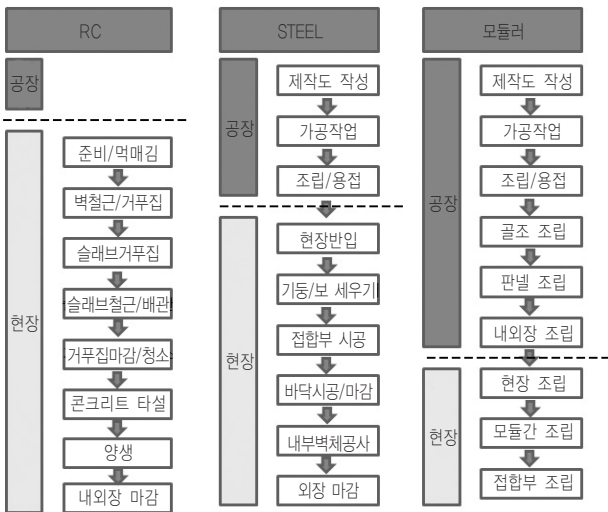


그림 1 공법별 공장 생산 비율

따라서 본 연구는 국내 모듈러 공장생산 프로세스를 개선하기 위해 컨베이어시스템생산방식을 적용한 모듈러 공장생산 프로세스의 방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

컨베이어시스템은 사용하는 작업 방식과 가공 또는 조립할 수 있는 유닛을 컨베이어로 반송하고 공정을 몇 개의 작업으로 나누어 순차 배열하여 컨베이어의 말단에서 최종 공정을 끝내는 방식을 일컫는다. 컨베이어의 규칙적인 이동이 생산관리체계에 직접적으로 연결되므로 마무리 단계에서 점검만 하면 되기 때문에 대량 생산에 적합하다. 본 연구에서는 모듈러의 국·내외 적용현황과 공장 제작 과정에서 프로세스를 분석하고, 국내 모듈러 회사의 프로젝트를 조사대상으로 하여 문제점을 분석하여 해결 방안으로 생산성향상과 투입가능인원의 개선안을 제시하여, 기존 생산방법과 컨베이어 시스템을 사용한 생산방법을 모의실험을 통해서 검증하여 타당성과 수익성 분석을 실시하였다(그림 2 참조).

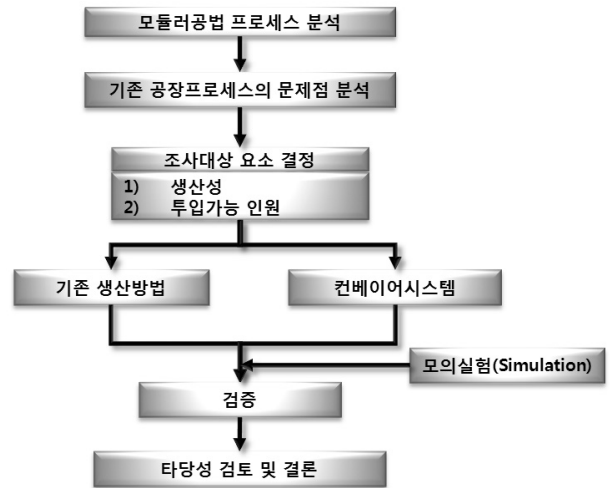


그림 2 연구의 방법

## 2. 모듈러 공장생산 프로세스 분석 및 문제점

### 2.1 분석대상

#### 2.1.1 분석대상 프로젝트의 개요

국내 모듈러 회사인 A기업은 표 2에서 보여주는 것과 같이 2010년 14,000명의 노무자 숙소 및 부대시설을 광의 Dos AMANTES에 45개의 모듈러로 건설하였다. 535,334㎡의 대지면적에 건축 연면적이 124,253㎡에 이르는 대규모 사업으로 총 공사기간 40개월 동안 1구간을 8개월 만에 완성하는 것을 목표

로 5개월 동안의 한국에서 공장생산 완료 후 현지로 운반하여  
 괌의 Dos AMANTES에 시공하였다.

표 2. 공사개요

구분	주요 내용
공사명	GUAM WORKFORCE HOUSING PROJECT
대지위치	Dos AMANTES, GUAM
규모	지상1~2층
공종명	모듈러 공급 및 설치공사
총공사기간	2010.02. ~ 2013.06. ( 40 개월)
SECTOR - 1	2010.02. ~ 2010.09. ( 8 개월)
구조	모듈러, 철골구조
대지면적	5,762,287 ft2 (535,334 M2)
연면적	1,337,448 ft2 (124,253 M2)
공사내용	14,000명의 노무자 숙소 및 부대시설

### 2.1.2 분석대상의 공장프로세스 개요

모듈은 기본적으로 표 3 프로세스의 절차에서 보이는 것과 같  
 이 바닥, 벽체, 천장의 구조부재를 제작하고 부재들은 용접을 통  
 해 조립을 한다. 조립된 골조에 바닥 판이 조립되면 경량철골 용  
 접 후 배관 및 전기설비작업이 이루어지고 내벽설치를 하는데  
 내벽설치 시 단열재와 함께 시공하게 된다. 마지막으로 외부마  
 감을 하여 모듈의 이동이 용이 하도록 포장완료 후 야적장으로  
 옮겨짐으로써 공장프로세스가 완료 된다.

표 3. 프로세스 절차

구분	관련 사진	프로세스 분석	문제점
<1-1> 구조부재 가공		▷부재의 용접	▷공장내부 공간 활용도 부족 ▷작업의 수동화 ▷작업 장소간 소요
<1-2> 모듈유닛 조립		▷최초 모듈 기본 구조체 조립단계로 소형크레인 으로 다음단계로 이동	▷소형크레인사용으로 연 속성부족
<1-3> 바닥판 조립		▷기본구조 조립후 바닥 슬래브 작업.	
<1-4> 경량철물 설치		▷벽체조립과 창문 설치를 위한 경량철물을 설치	▷노동자의 긴 작업동선
<1-5> 배관, 전기설비 설치		▷외부에 미리 조립해둔 배관 설비와 인서트 기 본 전기배선 등을 설치	▷1-4 작업과 연속성 부족
<1-6> 내벽 및 단열재 설치		▷단열재를 경량철물 사이로 넣고 내벽 설치	▷1-5 작업과 연속성 부족
<1-7> 외부 마감 및 야적		▷외부에서 방수포장을 하 고 대기.	▷내부공간의 부족으로 외 부로 이동 후 방수포장

## 2.2 공장프로세스의 문제점

### 2.2.1 생산성 분석

프로젝트의 공장생산프로세스를 분석한 결과 초기단계의 <1-1> 철골공사는 공장 내 작업 공간 부족으로 옥외작업을 하고 표 4에서와 같이 철골공사 목표작업량 7.6개에 비해서 1일 실제작업량은 5.1개로 2.5개가 부족하게 생산된다.

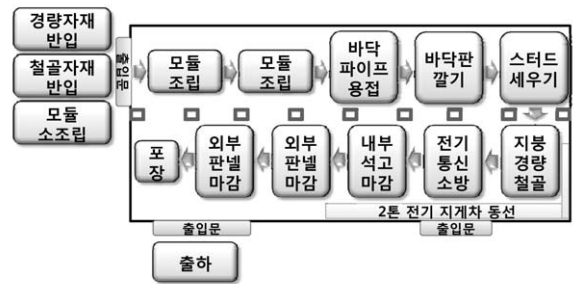


그림 3. 컨베이어 시스템 도입전 공장 배치도

<1-2>모듈조립단계에서는 그림 3의 현장 공장생산 프로세스 배치도에서와 같이 모듈조립단계가 두 개의 공간에서 동시에 작업되고 있으며 다음 공정으로의 연결은 소형크레인을 이용하여 완성된 유닛을 다음단계로 옮기도록 하는데 지체시간이 발생한다. <1-3>의 바닥판 조립단계에서는 골조투입자재의 이동시간 지체로 인해 후속공정까지 지체현상을 미치고, <1-4>경량철물 설치 단계와 <1-5>의 배관, 전기 설치 단계, 그리고 <1-6>내벽 및 단열재설치, 방수, 타일마감에서 노무자의 투입인원초과로 인해 작업공간이 부족하여 각각 2.3개, 2.3개, 1.9개의 모듈이 부족하게 생산되었다. 또한 <1-7>에서도 2.3개의 모듈이 부족하게 생산되었다. 각각의 단계에서 생산목표수량을 달성하지 못함으로 인해 표4 일일 모듈제작 비율에서와 같이 하루 총 생산율은 68.95%로 저조한 상태이다.

표 4 일일 모듈제작 비율

단계	일일목표모듈	일일실제모듈	달성률(%)
<1-1>구조부재 가공	7.6	5.1	67.1
<1-2>모듈유닛 조립	7.3	5.1	69.86
<1-3>바닥판조립	7.3	5.1	69.86
<1-4>경량철물설치	7.3	5	68.49
<1-5>배관 전기 설치	6.7	4.3	64.17
<1-6>내벽 및 단열재 설치 방수, 타일마감	7.1	5.2	73.23
<1-7>외부마감 및 야적	7.6	5.3	69.73
총	50.9	35.1	68.95

### 2.2.2 투입인력의 분석

표 5에서와 같이 <1-1>, <1-2>, <1-3>의 철골공사에서 각각의 목표투입인원수에 비해 실제 투입인원은 16명과 3명, 10명으로 세 단계에서 11명의 인원이 투입되지 못했다. 이것은 좁은 작업 공간에 인원을 많이 투입함으로써 노무자들의 작업공간이 부족하여 생산량 저하를 일으킨 것이다. 최초 목표 투입가능인원이 작업하는 노무량을 실제로 목표투입량보다 부족하게 투입되면서 후속 공정의 작업 시작시간이 늦어짐으로 전체공정에 영향을 주게 된다. 이와 같이 <1-4>에서 10명이 작업을 하지 못하고 <1-5>에서 15명이 참여하지 못했으며 <1-6>에서 5명이 작업을 하지 못하였다. 한 개의 모듈에 내부 작업 인원이 한정되어 있지만 목표 투입작업인원을 높게 책정하여 결과적으로 투입인원은 목표투입인원에 비해 62.74%에 미치지 못하였다. 표 6에서와 같이 하루에 7개의 모듈을 생산하는 것을 계획하였지만 실제로 하루에 5개의 모듈을 생산하여 약 28.57%부족하게 생산되었다. 결과적으로 하루 생산량이 목표량에 미치지 못하면서 전체공기가 59일에서 82.6일로 21일 늦어지게 되었다. 이것은 모듈의 이동과 자재의 이동과정에서 지체시간이 발생하여 총 생산율이 71.43%로 저조하고 투입목표인원이 102명에서 64명으로 약 37.25%가 투입되지 못한 결과이다.

표 5. 일일 투입인원비율

단계	계획작업인원	실제작업인원	%
<1-1>구조부재 가공	24	16	66.66
<1-2>모듈유닛 조립	4	3	75
<1-3>바닥판조립	8	10	125
<1-4>경량철물설치	15	5	33.33
<1-5>배관 전기 설치	35	20	57.14
<1-6>내벽 및 단열재 설치 방수, 타일마감	12	7	58.33
<1-7>외부마감 및 야적	4	3	75
총	102	64	62.74

표 6. 일일생산수량 · 인력의 차이

	일 생산량	총 작업일	인원
목표작업량	7개	59일	102명
실제작업량	5개	59일	64명
	목표작업량 대비 71.43%	7개 모듈 작업일 82.6일	목표 투입인원 대비 62.75%

## 3. 모듈러 공장 생산 프로세스의 개선

### 3.1 투입인력의 작업 동선 고정

실제 공장 내부의 프로세스는 각각의 공정에서 다음공정으로

이동시키는 오버크레인사용의 지연과 모듈에 사용되는 부재들의 투입과정에서 지게차의 원활한 투입이 되지 않거나 노무자가 직접 자재를 운반하여 작업하는 경우가 발생하고, 다음 공정의 이동 없이 작업자가 직접 이동하여 작업하는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 첫째, 노무자의 작업위치가 고정될 수 있도록 작업을 유도하고 연속된 작업을 위해 그림 4과 같이 체인 식 전동 컨베이어벨트를 설치하여 대기시간의 발생을 줄이고자 한다.

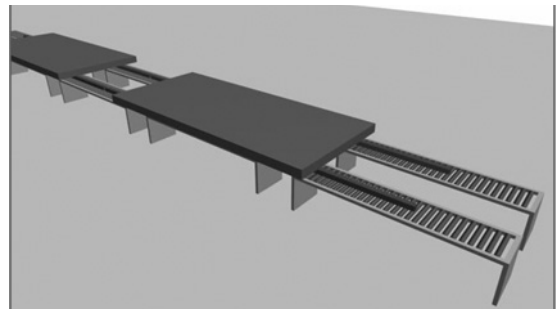


그림 4 작업연속성을 위한 컨베이어 방식

둘째, 단계별 모듈제작에 원활한 재료사용과 작업자의 동선정리를 위해 그림 5과 같이 각각의 공정에 맞는 재료를 작업위치 옆에 적재하여 맡은 공정 안에서 작업자가 타 공정으로 벗어나는 일을 사전에 방지하도록 한다.

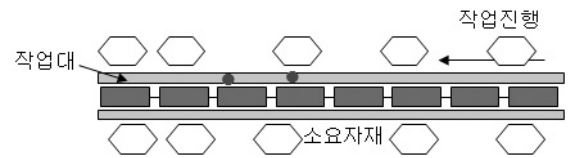


그림 5 모듈조립 자재 배치 방법

### 3.2 노무자의 작업 공간의 확보

현재 공장생산단계에서는 표6에서와 같이 노무자들의 투입이 원활이 이루어지지 않으므로 생산량저하에 원인이 되었다. 작업인원의 원활한 투입을 위해 첫째, 철골조 조립단계를 2개의 프로세스로 분할하여 같은 인원을 분할 시켜 제작단계의 지체 현상 없이 제작이 가능하도록 유도하였다. 둘째, 모듈러의 내부 작업은 투입인원을 최대 3명으로 제한하기 위해 내부 작업이 시작되는 <1-5>에서부터 단위 프로세스를 분할하여 그림 6과 같이 두 개의 라인으로 제작되도록 하여 모듈 내부공간의 작업이 원활히 하도록 한다.

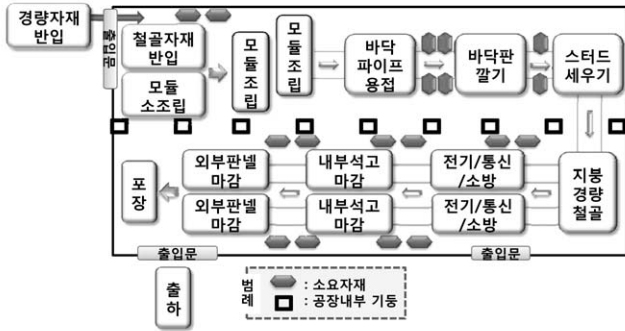


그림 6. 컨베이어 시스템이 도입된 공장 배치도

## 4. 사례 적용

### 4.1 대상사례의 개요

본 연구에서 생산성과 투입인력의 검증에 하기 위하여 다음과 같은 표준 모듈을 가정하였다.

- (1) 단위 모듈 사이즈는 표 7 사례적용대상과 같이 3,000mm × 6,000mm × 3,200mm이다.
- (2) 공사비는 모듈의 기초와 마감을 포함한다.
- (3) 기초물량은 경기도 화성에 A기업의 OO공장 실사를 통해 작업자의 행동분석과 표준 품셈으로 산출한다.

표 7. 사례적용대상 모듈

구분	단위	폭	길이	높이
	mm			
평면		3,300	6,000	3,200
입면				
배면				

## 4.2 기존 공동생산 프로세스의 생산비용

### 4.2.1 공장 가동 현황

공장 가동 시간은 07:50분 조회 후 09:00부터 시작하여 오전

표 8. 투입인력현황

구분	예정인원 (명)
직원	5
외주업체	10
노무자	90
계	105

표 9. 기존 공장생산 프로세스의 모듈 당 생산 재료비

품명	규격	단위	수량	재료비 (원)	
				단가	금액
TYPE A 4기동 내화 (3,0*9,05*3,2)		모듈 당			
내후성강판(SPA-H)	B-150*150*9*9	Ton	0.555	1,037,681	575,913
내후성강판(SPA-H)	C-200*75*6*6	Ton	0.177	697,007	123,370
내후성강판(SPA-H)	MCO-360*120*7	Ton	0.541	924,525	500,168
내후성강판(SPA-H)	B-200*100*6*6	Ton	0.341	791,368	269,856
내후성강판(SPA-H)	T=24	Ton	0.063	776,600	48,926
철판(SS400)	T=12	Ton	0.061	778,808	47,507
철판(SS400)	T=9	Ton	0.019	1,092,277	20,753
L형강	100*100*7	Ton	0.129	595,000	76,755
H,T-BOLT		EA	1.000	500	500
용접	전기용접 (하향 12mm)	M	0.019	2,311	44
Hollow Core Slab	100mm 무코아	M2	0.011	45,850	504
바닥판부자재	틈막이 일체	식	0.036	14,385	518
방청도료		M2	0.001	770	1
내화도료(1시간)		M2	0.042	6,111	257
철골비파괴검사		M	0.035	15,000	525
C-STUD	100*45*0.8T		17,600	1,750	30,800
C-STUD	65*45*0.8T		11,260	1,470	16,552
C-STUD	65*45*0.8T		11,260	1,470	16,552
C-RUNNER	102*40*0.8T		35,049	1,540	53,975
C-RUNNER	100*40*0.8T		6,160	1,540	9,486
C-RUNNER	67*40*0.8T		6,160	1,330	8,193
C-MOLDING	30*40*0.5T		6,000	1,280	7,680
SQ-BAR	32*40*0.7T		23,200	1,400	32,480
11T OSB PN	900-2400		38,358	18,500	709,623
방습지	1.5M*50M		1,105	1,027	1,135
15T방화석고보드	900*2400		38,358	10,000	383,580
G/W 50T/24K	450*1200		27,924	33,400	932,662
	450*1280		25,209	35,200	887,357
6T 천정용 CRC	900*2400		6,723	2,400	16,135
6T 천정용 CRC	580*2400		10,432	1,800	18,778
6T 천정용 CRC	900*680		23,726	650	15,422
6T 천정용 CRC	580*680		36,816	550	20,249
JOIST	140*40*12*1.4*1206		6,000	7,050	42,300
JOIST	140*40*12*1.4*1490		6,000	7,150	42,900
9T바닥용 CRC	900*2400		6,723	2,400	16,135
9T바닥용 CRC	580*2400		10,432	1,800	18,778
9T바닥용 CRC	900*680		23,726	650	15,422
9T바닥용 CRC	580*680		36,816	550	20,249
은박단열재	5T*1M*50M		0.818	14,500	11,861
비닐타일	3T*300*300		161,334	2,200	354,935
총계					5,348,836



작업시간 3시간과 중식 후 오후작업시간 5시간으로 총 작업시간 8시간을 기준으로 하고, 공장 내 총 작업인원은 표 8의 투입인력 현황에 의해 총 105명으로 정 직원 5명, 외주업체 10명, 노무자 90명으로 세 분류의 투입인력을 고려하여 노무비 산정한다.

**4.2.2 재료비산출**

표 9 기존 공장생산 프로세스의 모듈 당 생산 재료비에서 보는 것과 같이 모듈 당 생산 재료비는 식(1)에서 보는 것과 같이 모듈 조립에 사용되는 각각의 부재에 대한 재료비로서 모듈 하나를 생산할 때 사용되는 39개의 재료들을 산출하기 위해서 각각의 재료비를 분석하고 분석한 것 중 내후성장판(B-150\*150\*9\*9)의 경우 모듈의 코너기둥에 4개가 사용되는데 코너기둥 한 개의 부재는 3,300mm가 사용되므로 코너기둥4개의 사용되는 부재는 총 13,200mm가 사용된다. 내후성장판(B-150\*150\*9\*9)의 단위 중량은 38.2kg/m이므로 총 사용 길이 13,200mm의 중량 환산 값은 504.24kg이다. 따라서 1,000kg에 1,037,681원인 내후성장판(B-150\*150\*9\*9)을 코너기둥 4개에 사용된 504.24kg에 적용하면 523,240원이 분석되고 다시 내후성장판의 할증률 약 10%를 더하면 575,913원이 산출 된다.

$$\text{부재별재료비(원)} = M_t * L * C_t \quad (1)$$

$M_t$ : 단위길이당중량  
 $L$ : 길이  
 $C_t$ : 단가

**4.2.3 노무비산출**

표 10 프로세스 모듈 당 생산 노무비에서 보이는 모듈 당 생산 노무비는 식(2)에서 보는 것과 같이 하나의 모듈을 생산할 때 사용되는 각각의 부재마다 노무자의 작업시간을 측정 후 부재의 수와 가용인원을 측정하여 노무자의 하루 노무비로 환산하여 산출하였다. 철골공의 경우 모듈 한 개를 생산할 때 단방향 기둥부재의 절단을 시작으로 SQ-bar설치까지 총19개의 세부 작업을 이행한다. 기둥부재 절단작업은 인부 1명이 5분을 소요하는 작업으로 2개의 기둥부재를 절단해야 하기 때문에 총 10분이 소요된다. 철골공의 하루 노무비를 8시간으로 측정하였으므로 10분의 작업량은 0.021로 환산이 된다. 철골공의 19개 작업을 하루 노동시간으로 환산하면 1.461로 8시간 노무비에 146%가 되는데 철골공의 하루 노무비는 150,000원이므로 모듈 한 개를 생산할 때 철골공의 노무비는 219,150원이 된다.

$$\text{장비별경비(원)} = \frac{T}{60} * C_{HR} \quad (2)$$

$T$ : 장비의 작업시간  
 $C_{HR}$ : 시간당비용

표 10. 기존프로세스의 모듈 당 생산 노무비

품명	단위	수량	노무비 (원)	
			단가	금액
철골공	인	1,461	150,000	219,150
수장공	인	0,767	150,000	115,050
용접공	인	0,711	150,000	106,650
미장공	인	1,555	150,000	233,250
도장공	인	0,95	130,000	123,500
보통 인부	인	2,193	70,000	153,510
총 계				951,110

**4.2.4 경비 산출**

표 11 기존모듈생산 프로세스의 모듈 당 생산경비의 경비 산출내역은 식(3)에서 보는 것과 같이 모듈 한 개를 제작하는데 투입되는 장비들의 사용량을 산출하여 장비의 단가를 적용하였다. 10Ton 오버크레인의 경우 바닥판 운반 및 결속작업 외 7개의 작업에서 사용되는데 바닥판의 이동시 5분 동안 10Ton오버크레인이 사용되고 10Ton 오버크레인은 한 시간 사용단가가 55,000원이므로 바닥판 이동 시 소요되는 5분은 단위시간 한 시간을 적용하면 0.083이 산출된다. 나머지 6개의 작업에 단위시간의 합은 1.059이므로 시간당 금액으로 환산 시 58,245원이 분석되었다.

$$\text{부재별재료비(원)} = \frac{T_i * m_i * M_i}{480} m_c \quad (3)$$

$m_i$ : 노무자의수  
 $M_i$ : 부재의갯수  
 $m_c$ : 하루노무비(원)  
 $T_i$ : 부재별노무자의 작업시간(분)

표 11. 기존모듈생산 프로세스의 모듈 당 생산경비

품명	규격	단위	수량	경비 (원)	
				단가	금액
오버헤드크레인	10Ton	Hr	1,059	55,000	58,245
오버헤드크레인	5Ton	Hr	1,042	50,000	52,100
지게차	5Ton	Hr	0,667	48,000	32,016
절단기		Hr	0,084	18,000	1,512
타공기		Hr	0,35	8,000	2,800
모듈야적		EA	1	30,000	30,000
총 계					176,673

### 4.2.5 총생산비용 산출

표 12에서와 같이 기존 공장생산 프로세스의 재료비는 5,348,836원이고 노무비 951,110원이며, 경비 176,673원으로 모듈 한 개 생산비용은 같이 총 6,476,619원으로 분석되었다.

표 12. 기존 공장생산 프로세스의 총생산비용

단위(원)	재료비	노무비	경비	총합
총 계	5,348,836	951,110	176,673	6,476,619

## 4.3 개선 공장생산 프로세스

개선 공장생산 프로세스와 기존 공장생산 프로세스는 동일한 모듈을 생산하는 실험이므로 각각에 투입되는 재료비는 위 표8 기존 공장생산 프로세스의 모듈 당 생산 재료비와 동일하다.

### 4.3.1 노무비 산출

표 13에서 모듈 당 생산 노무비는 하나의 모듈을 생산할 때 사용되는 각각의 부재마다 노무자의 작업시간을 측정 후 부재의 수와 가용인원을 책정하여 노무자의 하루 노무비로 환산하여 산출하였다. 철골공의 경우 모듈 한 개를 생산할 때 단방향 기둥부재의 절단을 시작으로 SQ-bar설치까지 총19개의 세부 작업을 이행한다. 기둥부재 절단작업은 인부 1명이 5분을 소요하는 작업으로 2개의 기둥부재를 절단해야 하기 때문에 총 10분이 소요된다. 철골공의 하루 노무비는 공장 가동시간과 같고 표준 품셈에서 하루 노무시간인 8시간으로 책정하였으므로 10분의 작업량은 0.021로 환산이 된다. 철골공의 19개 작업을 하루 노동시간으로 환산하면 1,123으로 8시간 노무비에 112%를 일 하는 것이다. 철골공의 하루 노무비는 150,000원이므로 모듈 한 개를 생산할 때 철골공의 노무비는 161,250원이 된다.

표 13. 개선 공장 프로세스의 노무비

품명	단위	수량	노무비 (원)	
			단가	금액
철골공	인	1,123	150,000	161,250
수장공	인	1,303	150,000	115,050
용접공	인	1,406	150,000	106,650
미장공	인	0,643	150,000	233,250
도장공	인	1,110	130,000	117,000
보통 인부	인	0,767	70,000	91,210
총 계				824,410

### 4.3.2 경비 산출

표 14에서 경비 산출내역은 모듈 한 개를 제작하는데 투입되는 장비들의 사용량을 산출하여 장비의 단가를 적용하였다. 10Ton 오버크레인의 경우 바닥 뒤틀림 작업부터 야적까지 12회 사용에서 1,059시간이 사용되었지만 컨베이어벨트의 설치로

인해 10ton오버크레인은 사용하지 않았고, 5ton오버크레인과 지게차의 사용은 각각 63%와 32%의 사용량이 감소하였다. 절단기와 타공기의 사용량은 기존 공장생산 프로세스와 동일했으며 장비들의 작업 단위 수량을 한 시간 단위로 산출하여 각각의 사용단가를 적용하면 장비의 모듈 하나에 투입되는 사용금액을 산출할 수 있다.

표 14. 개선 공장 프로세스의 경비

품명	규격	단위	수량	경비 (원)	
				단가	금액
오버헤드크레인	10Ton	Hr	0.225	55,000	31,185
오버헤드크레인	5Ton	Hr	0.234	50,000	11,700
지게차	5Ton	Hr	0.667	48,000	24,816
절단기		Hr	0.084	18,000	1,512
타공기		Hr	0.350	8,000	2,800
컨베이어		Hr	0.409	50,000	21,250
모듈야적		EA	1,000	20,788	20,788
총 계					114,051

### 4.3.3 개선 공장생산 프로세스의 총생산비용

표 15와 같이 개선 공장생산 프로세스의 재료비는 5,348,836 원이고 노무비는 824,410원이며, 경비는 114,015원으로 모듈 한 개를 생산하는데 드는 비용은 총 6,287,261원으로 분석되었고, 비용 산출은 표준품셈을 기준으로 하되, 공장 생산의 효율성을 고려하여 공장 간접비를 포함하여 산정하였다.

표 15. 개선공장 프로세스의 총 생산 비용

단위(원)	재료비	노무비	경비	총합
총계	5,348,836	824,410	114,015	6,287,261

## 5. 기존과 개선 공장생산 프로세스의 수익성 분석

### 5.1 모듈공장생산 시간 분석

한 개의 모듈에 투입되는 자재들의 작업을 선 후행 공정별로 나열하여 분석한 결과 개선공장생산 프로세스의 경우 총 69개의 작업들이 65분 동안에 작업하였다. 기존공장생산 프로세스의 공정별 분석결과 87개의 작업들이 94분 동안 작업하였다. 공정별 작업이 18개가 차이 나는 것은 기존방식에서 모듈을 이동할 때 오버크레인의 사용으로 크레인 결속작업과 크레인 해체작업이 있었지만 개선프로세스에서는 크레인 결속·해체작업이 나타나지 않았고, 작업에 사용되는 자재들의 이동시간이 작업대의 설치로 인해 단축됨으로써 18개의 작업이 줄어들고 29분의 단축 효과가 있는 것으로 분석되었다. 기존 공장생산 프로세스의 모듈 당 생산소요시간 94분은 하루에 5.1개를 생산하고 한 달에

127.5개를 생산한다. 개선 공장생산 프로세스의 모듈 당 생산소요시간 65분은 하루 7.36개를 생산하고 한 달에 221.7개를 생산할 수 있다.

표 16. 기존생산 프로세스와 개선생산프로세스의 생산시간

구분	기존	개선
모듈 당 생산소요시간	94,11min	65,20min

### 5.2 모듈공장생산 비용

공장가동을 위한 초기 설치비용을 분석한 결과 표 17 기존 공장생산 프로세스 투자비용과 같이 기존 공장생산 프로세스의 채널 레일 바퀴와 우레탄바퀴, 도비용 바퀴를 포함한 설치비용은 292,380,000원이고 표 18에서 개선 공장생산 프로세스의 초기 투자비용은 코너 이동을 위한 커브벨트컨베이어 4개와 프로세스의 총 길이 160m에 설치할 벨트구동 롤러컨베이어를 포함한 설치비용 10억 원으로 나타났다. 개선 공장생산 프로세스의 초기 투자비용은 10억 원으로 기존 공장생산 프로세스의 초기 투자비용 292,380,000원에 비해 707,620,000원의 추가 투자가 필요하다.

표 17. 기존 공장생산 프로세스 투자비용

기존 공장 생산프로세스	
채널 레일 바퀴120개	180,000,000 원
우레탄 바퀴120개	64,740,000 원
도비용 바퀴120개	18,840,000 원
설치비	28,800,000 원
총	292,380,000 원

표 18. 개선 공장생산 프로세스의 투자비용

개선 공장생산 프로세스	
커브벨트컨베이어 4EA	360,000,000 원
벨트구동 롤러컨베이어 160M	490,000,000 원
설치비	150,000,000 원
총	1,000,000,000 원

#### 5.2.2 수익성 분석

개선 공장생산 프로세스의 초과되는 초기투자비용은 각각의 생산방식으로 모듈을 생산할 때 개선 공장생산 프로세스방식이 기존방식의 프로세스보다 모듈 당 비용이 적게 투입되므로 그림 7 투자비용회수기간에서 보는 것과 같이 3,683개를 생산하는 시점에서 투자비용을 회수할 수 있다.

투자비용회수를 위한 모듈생산개수 3,683개를 생산하기 위해서 공장 가동시간을 8시간으로 가정하고 한 달 공장가동일을 25

일로 가정하여 기존 공장생산 프로세스와 개선 공장생산 프로세스의 생산소요 일을 분석한 결과 그림 8 모듈러 3,683개 생산소요일에서 보이는 것과 같이 기존 공장생산 프로세스 28.45개월과 개선 공장생산 프로세스 19.72개월로 컨베이어벨트사용에 따른 투자비용회수기간은 약 20개월이 소요된다.

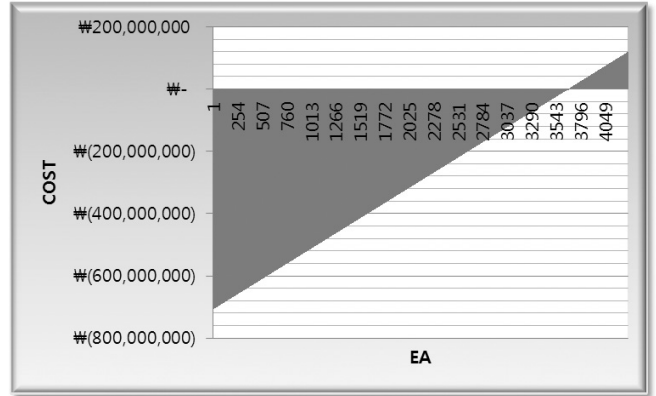


그림 7. 투자비용 회수기간

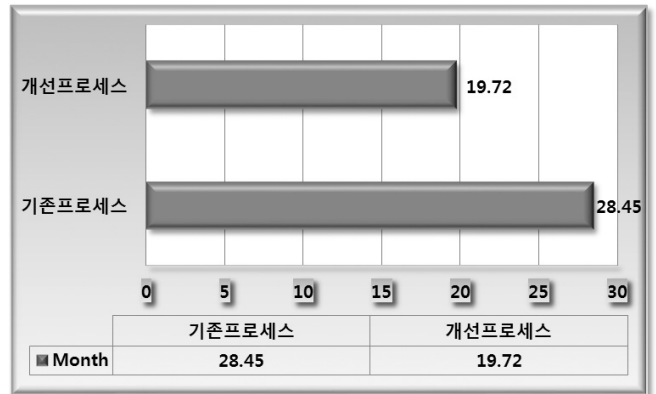


그림 8. 모듈러 3,683개 생산소요일

## 6. 결론

본 연구에서는 공정마다 투입자재의 위치를 고정시키도록 함으로써 노무자들 동선의 겹침 현상을 차단하고 철골조립과 마감 공정에 잉여 인력 발생 단계에서 컨베이어벨트 라인을 2개의 라인으로 분배하여 최초 예정투입인원 74명의 인원이 원활히 작업할 수 있는 작업공간을 확보하였다.

단위 모듈사이즈 3,000\*6,000\*3,200mm로 하루 공장가동시간을 8시간과 한 달 작업 가능 일을 25일로 가정한 결과 재료비는 같은 모듈 제작과정이므로 다르지 않고, 노무비의 경우 기존 공장생산 프로세스와 개선 공장생산 프로세스의 모듈 당 총 노무비 차이는 126,700원으로 철골공과 보통 인부가 각각



57,900원과 62,300원씩으로 가장 큰 차이가 발생 하였다. 철골 공의 경우 모듈에 투입되는 재료들의 위치를 고정함으로써 재료 운반의 노무량이 단축했기 때문에 노무비가 감소하였고, 보통 인부의 경우 모듈의 이동 간 컨베이어벨트사용으로 오버크레인 설치 해체 작업이 없어지면서 노무량이 단축된 결과이다. 경비의 경우 기존과 개선의 모듈 당 총 경비의 차이는 62,622원으로 기존에서 10ton오버크레인의 사용이 줄고, 기존 공장생산 프로세스에서 사용되지 않았던 컨베이어벨트가 개선 공장생산 프로세스에서 21,250원이 사용되었다. 컨베이어 벨트의 사용은 절단기와 타공기 사용에는 영향이 없고, 지게차와 5ton오버크레인 사용을 각각 7,200원과 40,400원씩 줄일 수 있었다. 투자 회수를 위한 모듈의 생산개수는 총3,684개로서 생산 기간은 약 20개월이다.

국내의 모듈러 공법을 요하는 곳이 증가한다면 20개월 이후 수익성은 현재보다 월 30%이상 향상될 것이라 예상되어 군 막사, 오피스, 전원주택, 학교 등에 대규모 사업이 연속적으로 가능하다면 컨베이어시스템을 적용한 공장 생산프로세스는 효과적일 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단 일반연구자 지원 사업 기본연구지원 사업(유형 II)에 의한 결과의 일부임

과제번호 : 2010-0023896

## 참고문헌

- 김갑득 (2009). "OSM 공법을 적용한 저비용 주택시스템 개발 연구", 대학건축학회 논문집 Vol.25 No.6
- 박재식 · 박태근 (2006). "모듈러 공법을 적용한 군시설공사의 초기투자비 분석에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회 논문집 Vol.26 No.1(구조계)
- 박재식 · 박태근 (2006). "모듈러공법을 적용한 군시설공사의 개선방안에 관한 연구", 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 2006-11
- 조봉호 · 고광호 · 김홍진 (2009). "모듈러 건축 시스템 기술개발 동향 및 적용 사례" RIST, 포항산업과학연구원
- 조봉호 · 이재승 · 차희성 (2010). "식스-시그마를 이용한 군 독신자 숙소용 모듈러 건축 시스템 개발", 한국건설관리학회 논문집 v.11 n.6
- 이광복 · 김경래 · 신동우 · 차희성 (2011). "유닛 모듈러 공법의

- 효율성 확보를 위한 공장제작, 운반, 현장설치의 최적공정 제안. 한국건설관리학회 논문집, v.12 n.6
- (주)포스코 · (주)포항산업과학연구원 (2004). "프레임-스터드패널형 건축 모듈러유닛의 구조 시스템, 공장제작, 현장설치 공법", 신기술지정 제 435호

논문제출일: 2012.03.13

논문심사일: 2012.03.16

심사완료일: 2012.08.06

---

## 요 약

최근 우리나라가 선진국대열에 들어서고 생활수준이 높아지면서 건설 산업에서는 높은 인건비와 노동자의 부족으로 인해 외국인 노동자의 비중이 점차 늘어나고 있는 실정이다. 모듈러 공법은 전체공정의 50%~90%를 공장에서 제작하여 이것을 운반한 후 현장에서 설치하는 공법으로 현장에서 공정을 최소화하여 공기를 단축하고 품질을 향상시킬 수 있으며, 현장 공기의 단축으로 인건비 절감에 효과적이다. 현재 국내 모듈러는 2003년 신기초등학교를 시작으로 군 병영시설에 확대 적용되고 있지만 모듈러 공법의 장점인 짧은 공사기간과 낮은 비용의 제작은 이루어지지 않는 실정이다.

Toyota 자동차 생산방식인 컨베이어시스템 방식을 모듈제작공정에 도입함으로써 자동화생산과 시간, 인력의 소모량을 크게 단축할 수 있고 이에 따라 생산 비용과 품질, 공기 향상으로 시장의 활성화를 기대할 수 있다.

따라서 본 연구는 실제 국내 모듈러 공법 프로젝트를 통하여 공장생산방식의 문제점 해결을 위해 컨베이어시스템 적용방법을 제시하고 적용한 컨베이어시스템의 수익성 분석을 하고자 한다. 제작 모듈의 형태에 따라 다르지만 본 연구의 실험모듈을 기준으로 일일 생산량 7.36개를 기준으로 투자 회수 기간까지 20개월이 소요 된다.

**키워드** : 모듈러, 컨베이어 시스템, 모듈러생산 프로세스

---