

저층 교육시설 증축공사에서 모듈러 공법의 적용효과 분석

김학철¹ · 신동우¹ · 차희성¹ · 김경래*

¹아주대학교 건축공학과

Application Effect Analysis of The Modular Construction Method in The Extension Works

Kim, Hakcheol¹, Shin, Dongwoo¹, Cha, Heesung¹, Kim, Kyungrai*

¹Department of Architectural Engineering, Graduate School of Ajou University

Abstract : The modular construction method has been getting more attention followed by global eco-friendly trend as the domestic construction industry has focused more on remodeling and extension work. The modular construction method is an industrialized construction system which is not likely as the existing construction method it manufactures more than 70% modules at the factory then assembling can be completed in a short amount of time on site. The modular construction method has various strengths; shortening of construction period by on-site work decrease, weight pressure reduction by usage of light steel frames and cost saving by repetitive manufacturing. However, it is currently not expanded due to the existing commercialized construction method. Therefore, this research is in order to help the related authorities make decisions to select the construction method and motivate expansion of modular construction method which can be utilized effectively in the extension works. The intention of this research is to stress differentiation from other construction methods in construction period, construction expenses, labor and forces by comparing and analyzing actual cases, to inform competitiveness of modular construction method by concrete effect analysis and to support adoption of the modular construction method into the domestic industry.

Keywords : Extension works, Modular construction method, Application effect analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내는 1970년대 급속한 경제성장을 기반으로 건축물의 건설이 활발히 이루어졌고, 이 시기에 지어진 건축물들은 약 40년이 지난 현재에 많이 노후화되어 있다. 정부에서는 전 세계적으로 쟁점이 되고 있는 친환경 추세에 맞춰 건설폐기물 절감을 위해 재건축보다는 증축 및 리모델링에 대한 관심이 높아지고 있다. 지금까지 제한되었던 수직증축에 대한 제도도 4·1 부동산 대책에 따른 수직증축 리모델링 법안의 국회통과가 되었으며, 2014년 4월부터는 시장이 본격적으로 형성될 전망이라고 한다. 이러한 상황에서 증축공사에서 시공 방법으로 모듈러 공법이 대두되고 있다.

모듈러 공법은 기존의 건축 공법과는 달리 모듈 생산 공장에서 70%이상의 공정을 수행하기 때문에 현장 시공 기간을 최대한 감소시킬 수 있어 현장 시공의 제약이 기존 공법과는 상대적으로 적어 50%이상의 공기를 단축시킬 수 있다(KIm, C. 2014). 이러한 특징을 가진 모듈러 공법은 증축 공사에서 활용도가 높다. 특히 증축 공사는 토공사의 비율이 줄어 모듈러 공법으로 시공할 경우 전체 공사에서 차지하는 공장 작업의 비율이 더 높아지기 때문에 본래의 장점을 더욱 더 살릴 수 있다. 증축 공사는 기존 건축물을 시공하는 것이기 때문에 주변 환경이 기존 공법으로 시공하기 어려운 경우가 있다. 하지만 모듈러 공법은 공장 생산하여 현장에서는 조립만하기 때문에 주변 환경에 구애받지 않고 시공할 수 있으며, 또한 공기 단축으로 인한 수익창출 시기를 앞당기고, 자재 경량화로 기존 건물에 하중 부담을 줄일 수 있다.

그러나 국내에는 모듈러 시장이 활성화되지 않아 타 공법에 비해 순공사비의 변이가 크고, 평균적으로 높게 나타나 단가 측면에서는 경제적이라고 말할 수 없다. 하지만 공기단축으로 시설물 사용으로 인한 수익을 앞당길 수 있으며, 공사비 대출 금융 이자를 지불하는 기간을 줄이고, 공장에서의 반복

* Corresponding author: Kim, Kyungrai, Department of Architectural Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea
E-mail: kyungrai@ajou.ac.kr
Received January 17, 2014; revised October 2, 2015
accepted October 26, 2015

생산으로 품질을 높여 하자발생률도 줄일 수 있다. 따라서 본 연구는 증축 공사에서 모듈러 공법의 장점을 부각시켜 공기, 비용, 노무인력, 품질, 기타의 5가지 측면에 대한 경제적 효과를 도출시키고 시장 활성화 방안을 찾고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 증축공사에 모듈러 공법 적용효과를 알아보기 위해 본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 진행하였다.

- 1) 관련 논문 및 보고서를 조사해 모듈러 공법의 장점과 증축공사에서 고려해야 할 사항을 도출해내고 연관성을 찾아 정리한다.
- 2) 문헌 조사를 통해 증축 공사에서 건축물 유형을 분류하고 유형별로 제약 조건 및 필요조건을 정리한다.
- 3) 앞서 찾은 자료들을 분석하여 증축 공사에서 모듈러 공법을 적용하면 얻을 수 있는 이점들을 판단하고 도출한다.
- 4) NPV(Net Present Value)를 이용하여 모듈러 공법의 가장 큰 장점인 공사기간 대비 비용 분석을 하고, 사례를 비교하여 모듈러 공법의 효과를 분석한다.
- 5) 실제 사례를 가지고 기존 공법의 공사를 모듈러 공법으로 적용할 경우 기존 공법과 모듈러 공법의 차이를 구체적으로 분석한다.

2. 증축 공사와 모듈러 공법의 이론 고찰

2.1 기존연구 분석

“모듈러 건축물의 공기 분석에 관한 연구”는 모듈러 공법으로 시공한 실제 사례의 공정표를 가지고 타 공법과 공사기간을 비교하였다(Yu, M, 2005). “유닛모듈러 공법 개발의 경제적 타당성 예측모델”은 모듈러 공법의 경제성 평가를 위해 순현재가치를 이용하여 수식모형을 만들고, 타 공법과의 실제 사례 공사비를 수식에 대입하여 비교하였다(Kim, K, 2005). “모듈러 공법을 적용한 맞춤형 리모델링 활성화 방안 연구”는 리모델링과 모듈러 공법의 특징을 도출해내고 상관관계를 파악하여 리모델링 공사에서 모듈러 공법의 필요성을 강조하였다(Ji, J, 2012).

“Knowledge-based Approach to Modular Construction Decision Support”는 발주자와 엔지니어가 프로젝트 시공 방법에 대한 의사결정을 할 때 도움을 주기 위해 모듈러 공법에 대한 특성 및 고려사항을 나열하고, 각각에 중요도에 따른 가중치를 두어 숫자로 표현하였다. 실제 사례에 적용하여 얼마나 이익을 얻을 수 있는지 검토하였다(Murtaza, B, 1993). “A Proposal for Sustainable Temporary Housing Applications in Earthquake Zones in Turkey: Modular Box System Applications”는 터키지역의 기후조건을 분석하여 모듈러 공법의 필요성에 대해서 강조하였다(EREN, O,

2012). “Economic Value of Building Faster”는 프로젝트 초기에 개발자들의 결정에 도움을 줄 수 있도록 공기에 미치는 요인을 분석하여 순현재가치법을 통한 수식모형을 만들어냈다. 공기가 짧아짐에 따라 비용적인 측면에서 얼마나 이익을 얻을 수 있는지 사례를 통해 검토하였다(Kenneth, R, 2006).

기존연구는 모듈러 건축물의 특징 중 하나인 공기 단축에 대하여 신축공사를 기준으로 공정 및 경제성을 분석하여 모듈러 공법의 필요성에 대하여 논하였다. 본 연구는 신축공사보다 기존 건축물의 증축 시 모듈러 공법을 적용할 경우 공정 및 경제성 등에 대해 논하고자 한다.

2.2 모듈러 공법의 특징

증축공사에 모듈러 공법 적용 효과를 분석하기 위해서 먼저 모듈러 공법을 정의하고자 한다.

모듈러 공법이란 공장에서 제작한 경량 철골조 기반의 모듈을 현장으로 운송하여 단기간 내에 조립, 완성하는 공업화 건축 시스템으로 80%이상을 공장에서 제작하여 현장 작업을 최소화 하게 된다(Ha, T, 2011).

Table. 1. Advantages of modular construction method

Classification	R.C	Steel	Modular
Construction period	Longest	Normal	Shortest
Recycle and reuse	Almost impossible	Main aggregate possible use	Recyclable and reusable
Site waste generation amount	Many	Normal	Little
Transportation	Carrying a unit member	Carrying a unit member	Carrying a per-module basis
Construct ability	Large impact on climate	Large impact on climate	Little impact on climate
Uniformity of quality	Not uniform	Normal	Uniform
Structural load	Load bearing large	Normal	Load bearing small

Table 1을 보면 타 공법과 다른 모듈러 공법의 장점을 알 수 있다. 먼저 모듈러의 가장 큰 장점은 공기 단축이고, 공장 제작으로 인해 현장에서의 시공보다 제약사항이 줄어들고, 반복생산으로 인해 작업 속도도 빨라질 뿐 아니라 품질 또한 균일성을 갖게 된다. 재활용도 가능하기 때문에 폐기물 발생량이 줄어들고, 경량 철골을 사용하기 때문에 수직 증축을 할 경우에도 기존 건물에 하중 부담을 줄일 수 있다.

2.3 증축 공사의 고려사항

증축공사는 신축이나 재건축보다 제약이 많기 때문에 시공에 앞서 고려사항을 도출해낼 필요가 있다. Table 2는 “노후 공동주택 평면확장 공법 선정을 위한 의사결정 시스템 구축방안”(Lee, D, 2006)에서 분석한 리모델링 공사에 영향을

끼치는 요소를 참고하여 모듈러 공법을 적용한 증축공사에서 고려해야 할 사항을 도출한 것이다.

Table 2. Considerations of extension work

Classification	Considerations
Design constraints	<ul style="list-style-type: none"> • Structural performance of the building • Displacement of the building
Site condition	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibility equipment • Distance between the adjacent building • Size of site • Transition state at the time of construction
Management elements	<ul style="list-style-type: none"> • Human resources to manage • Cost • Time of framework • Float time of project
Direction of extension work	<ul style="list-style-type: none"> • Expansion area • Type of room
Ease of extension work	<ul style="list-style-type: none"> • Standardization of building elevation view • Ease of joint binding
Constraints of technology	<ul style="list-style-type: none"> • Size of the materials • Weight of the materials • Transporter

모듈러 공법은 기존 공법들과 다르기 때문에 설계 제약, 현장 상황, 관리 요소, 증축 방향, 증축의 용이성, 기술제약 6가지로 나누어 정리하였다.

2.4 건축물 증축 공사의 유형 분류

증축 공사에 모듈러 공법을 적용시킬 경우 건물의 유형은 다음과 같이 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

- 1) 기존 공법으로 시공하기 어려운 경우
 - 적재장소가 없는 도심지 또는 변화가
 - 방학 중에 공사를 끝내야 하는 교육 시설
 - 기후에 의해 현장 시공에 어려움이 많은 곳
 - 재난에 의해 긴급하게 주거지가 필요한 곳
- 2) 기존 공법의 사용보다 이득이 더 큰 경우
 - 기존 거주자가 많은 주거지
 - 임대료를 받고 있는 오피스 또는 상가건물
 - 하루단위 이익이 있는 숙박업소
 - 구조보강 비용이 많이 드는 건축물

2.5 증축 공사에서 모듈러 공법의 적용

2.2에서 말한 바와 같이 모듈러 공법은 기존 공법과는 다른 장점을 갖고 있기 때문에 2.4에서 언급한 증축 공사의 유형에 따라 모듈러 공법의 장점들이 상호보완 해줄 수 있다. 다음은 2.2의 모듈러 공법과 2.4의 건축물 증축 공사 유형 분류와의 상관성에 대해 설명하였다.

1) 기존 건축물의 증축공사는 주변에 많은 건축물들이 인접해 있을 수 있다. 민원과 같은 공사지연 변수가 발생할 수 있기 때문에 모듈러 적용 시 공사기간은 짧아져 발생 빈도를 줄일 수 있다.

2) 주변에 여유대지가 없어 불가피하게 수직증축을 하게 될 경우 모듈러 공법은 경량 철골을 이용하여 제작하기 때문에 타 공법에 비해 하중의 부담을 줄일 수 있다.

3) 공사 규모에 따라 기존의 거주자들은 준공이 될 때까지 이주해야 한다. 발주자는 이주비 지원과 공사기간 동안에 임대료를 받을 수 없기 때문에 손실이 발생할 수 있다. 모듈러 공법을 적용 한다면 짧은 공사기간으로 인해 위에 말한 손실을 최대한 줄일 수 있다.

4) 교육시설의 증축공사의 경우 학생들의 안전을 보호하고 교육에 피해가 가지 않도록 짧은 방학기간 내에 공사가 가능한 모듈러 공법 적용이 가능하다.

3. 증축 공사에 활용된 공법 비교

모듈러 공법이 증축 공사에 사용될 경우 타 공법보다 이익이 있다는 것을 살펴보기 위해 앞서 언급한 2가지 사례를 비교하여 모듈러 공법이 어떠한 부분에서 얼마나 많은 이익을 볼 수 있는지 분석하였다.

Table 3. Summary of Case in modular and RC construction method

A University building	Compare item	D Elementary School
RC	Construction method	Modular
1,933,756,328 won	Construction cost	589,415,584 won
240 day	Construction period	50 day
2966.33 m ²	Construction area	913.5 m ²
2005	Construction year	2004
2 Stories	Extention Stories	1 Story

모듈러 공법의 증축 활용에 대한 사례가 많지 않아 분석된 사례는 Table 3과 같이 2개로 제한하고, 서로 다른 프로젝트의 비교를 위해 몇 가지 가정이 필요하였다.

1) 두 사례의 시공연도가 달라 각 연도의 생산자 물가상승률을 고려하여 계산하였다.

Table 4. Producer price index

2004 Year	2005 Year
6.075	2.15

2004년 대비 2005년 물가지수
 $= (102.15/106.075 - 1) * 100 = - 3.7 \%$ 가 되므로 2004년에 비해 2005년에는 물가지수가 감소하였기 때문에 D초등학교(2004) 공사비에 가중치를 주어야 한다.

2) 면적이 다른 두 사례의 공사비 비교는 단순 공사 면적을 통해 비교하였다.

3) 공사비 비교에서 기계, 설비, 소방과 같은 공종은 발주자의 요구사항에 따라 금액이 크게 달라질 수 있기 때문에 정확한 분석을 위해 제외하였다.

D초등학교의 모듈러를 통한 증축 공사는 Table 5와 같은 Process를 통하여 진행 되었다.

Table 5. Process of Modular System for extension work

Fabrication	Transportation
	
Rigging	Assembly
	

3.1 공사 기간

Fig. 1은 “Economic Value of Building Faster”(Kenneth Reinschmidt 2006)에서 프로젝트에 대한 초기 비용과 미래 이익의 단순 순흐름을 표현한 그림을 활용하여 기존 증축공사와 모듈러 공법 적용 효과에 대해서 나타낸 그림이다. Fig. 1의 (a)는 기존의 공법을 활용하였을 경우 초기 비용과 미래 이익의 단순 순흐름을 나타낸 것이며 이를 기준으로 공기단축 효과를 비교할 수 있다. Fig. 1의 (b)는 모듈러 공법을 적용하여 공기가 단축되면서 생기는 이익을 표현한 그림으로 공사 기간에 하자발생량이나 민원감소로 인한 이익과 빠른 수익창출시기로 대출 이자비용 감소로 인한 이익이 창출됨을 알 수 있다.

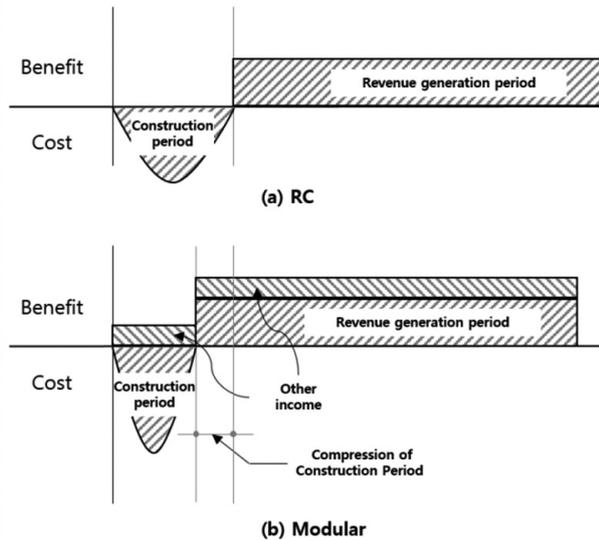


Fig. 1. Graph of profit in accordance with the construction period

3.2 공사비

다음은 A대학 건물 증축 공사의 순공사비를 표와 그래프로 표현하였다.

Table 6. Construction Cost of A University Building

	Work	Cost (Won)	Percentage (%)	Cost per Area (Won/m ²)	Consider Inflation (Won/m ²)
1	Reinforce concrete work	493,094,226	25.50	166,230	166,230
2	Metal work	226,215,972	11.70	76,261	76,261
3	Tile and stone work	194,737,523	10.07	65,649	65,649
4	Joiner's work	172,291,800	8.91	58,082	58,082
5	Temporary works	161,697,886	8.36	54,511	54,511
6	Interior finishing work	116,755,578	6.04	39,360	39,360
7	Masonry work	110,873,459	5.73	37,377	37,377
8	Miscellaneous works	105,287,272	5.44	35,494	35,494
9	Waterproof work	100,978,611	5.22	34,042	34,042
10	Plastering work	89,217,660	4.61	30,077	30,077
11	Demolition work	88,603,882	4.58	29,870	29,870
12	Glazing work	25,690,524	1.33	8,661	8,661
13	Painting work	24,708,903	1.28	8,330	8,330
14	Aggregate and Shipping charge	23,603,032	1.22	7,957	7,957
	Total	1,933,756,328	100.00	651,902	651,902

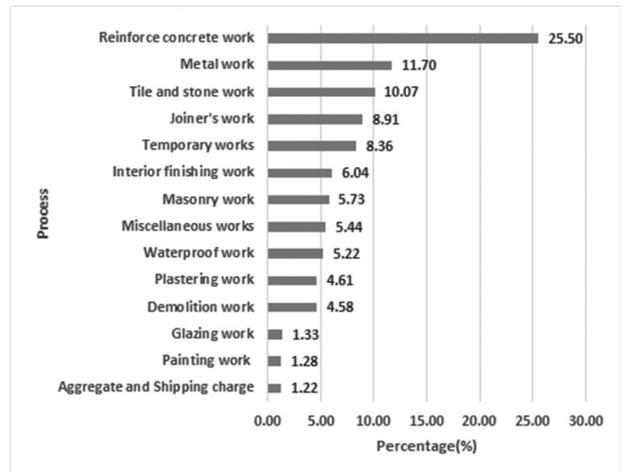


Fig. 2. Construction Cost Structure of A University Building

아래 Table 7과 Fig. 3는 D 초등학교의 순공사비를 나타낸 것이다.

Table 7. Construction Cost of D Elementary School

	Work	Cost (Won)	Percentage (%)	Cost per Area (Won/m ²)	Consider Inflation (Won/m ²)
1	Steel-frame work	281,699,860	47.79	308,374	296,964
2	Interior finishing work	95,949,412	16.28	105,035	101,149
3	Gutters and roof work	55,452,800	9.41	60,704	58,458
4	Reinforce concrete and Deck work	35,845,037	6.08	39,239	37,787
5	Joiner's work	33,895,290	5.75	37,105	35,732
6	Exterior finish work	21,957,920	3.73	24,037	23,148
7	Metal work	21,011,723	3.56	23,001	22,150
8	Waterproof work	8,556,230	1.45	9,366	9,020

9	Temporary works	8,459,999	1.44	9,261	8,918
10	Glazing work	6,721,159	1.14	7,358	7,085
11	Shipping charge	6,502,141	1.10	7,118	6,854
12	Painting work	5,193,770	0.88	5,686	5,475
13	Tile work	3,188,454	0.54	3,490	3,361
14	Plastering work	3,132,421	0.53	3,429	3,302
15	Demolition work	2,041,632	0.35	2,235	2,152
16	Common temporary works	1,087,196	0.18	1,190	1,146
17	Aggregate	133,000	0.02	146	140
18	Work by-product	- 1,412,460	- 0.24	- 1,546	- 1,489
	Total	589,415,584	100.00	645,228	621,354

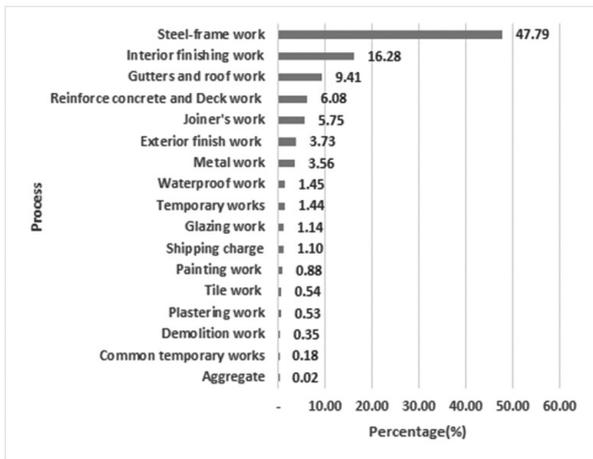


Fig. 3. Construction Cost Structure of D Elementary School

두 사례의 순 공사비 비교를 통해 다음과 같은 사항을 알 수 있다.

- m²당 공사비는 모듈러 공법으로 시공한 D초등학교가 621,354 원으로 철근콘크리트 공법으로 시공한 A대 건물 공사비 651,902 원보다 30,548원 낮았다. 이는 모듈러 공법의 m²당 공사비가 RC 공법보다 4.7% 낮은 금액이다.

- 가설공사 비용은 모듈러 공법이 1.5%, RC 공법은 8.36%로 모듈러 공법은 현장 작업의 양이 매우 적다는 것을 알 수 있다.

- 두 공법 모두 가장 많은 비중을 차지하는 공사는 골조공사였다. 특히 모듈러 공법의 골조 공사비 비중(철골공사+철근콘크리트 DECK공사)은 50%가 넘게 차지했다. 그럼에도 불구하고 총 공사비 측면에서는 모듈러 공법의 공사비가 더 적었기 때문에 골조 공사의 대부분을 차지하는 공장생산과 정에서 공사비를 감소할 수 있다면 더욱 더 공사비를 줄일 수 있다.

3.3 노무 인력

Table 8과 Table 9은 각각 노무비만을 비교하기 만든 표이다. 위에서 두 표를 살펴보면 먼저 m²당 노무비는 259,674 원과 239,312 원으로 20,362 원의 차이가 있었다.

Table 8. Labor Costs of A University Building

Work	Labor cost (Won)	Percentage (%)	Labor cost per Area (Won/m ²)	Consider Inflation (Won/m ²)
Temporary works	131,161,599	17.60	44,217	44,217
Reinforce concrete work	228,868,226	30.71	77,155	77,155
Masonry work	88,118,593	11.82	29,706	29,706
Waterproof work	40,833,096	5.48	13,766	13,766
Tile and stone work	18,822,807	2.53	6,345	6,345
Metal work	40,361,280	5.42	13,606	13,606
Plastering work	89,207,140	11.97	30,073	30,073
Joiner's work	0	0.00	0	0
Glazing work	5,616,900	0.75	1,894	1,894
Painting work	15,614,464	2.10	5,264	5,264
Interior finishing work	35,488,813	4.76	11,964	11,964
Miscellaneous works	3,878,026	0.52	1,307	1,307
Demolition work	46,276,186	6.21	15,600	15,600
Aggregate and Shipping charge	1,032,552	0.14	348	348
Total	745,279,682	100.00	251,246	251,246

Table 9. Labor Costs of D Elementary School

Work	Labor cost (Won)	Percentage (%)	Labor cost per Area (Won/m ²)	Consider Inflation (Won/m ²)
Reinforce concrete work	634,764	0.28	695	669
Steel-frame work	131,314,727	57.85	143,749	138,430
Metal work	3,353,677	1.48	3,671	3,535
Waterproof and Plastering work	4,816,263	2.12	5,272	5,077
Joiner's work	10,652	0.00	12	11
Interior finishing work	17,276,754	7.61	18,913	18,213
Deck plate work	7,304,386	3.22	7,996	7,700
Work by-product	0	0.00	0	0
Major material cost	0	0.00	0	0
Subtotal	164,711,223	72.56	180,308	173,636
Common temporary works	0	0.00	0	0
temporary works	7,509,363	3.31	8,220	7,916
Reinforce concrete work	1,029,251	0.45	1,127	1,085
Steel-frame work	15,776,956	6.95	17,271	16,632
Waterproof work	245,822	0.11	269	259
Tile work	1,969,614	0.87	2,156	2,076
Metal work	3,143,765	1.38	3,441	3,314
Plastering work	1,276,919	0.56	1,398	1,346
Joiner's work	21,704	0.01	24	23
Glazing work	1,726,778	0.76	1,890	1,820
Painting work	3,852,344	1.70	4,217	4,061
Interior finishing work	12,505,325	5.51	13,689	13,183
Gutters and roof work	9,610,444	4.23	10,520	10,131
Deck plate work	1,472,262	0.65	1,612	1,552
Demolition work	1,706,939	0.75	1,869	1,799
Aggregate	0	0.00	0	0
Shipping charge	451,740	0.20	495	476
Major material cost	0	0.00	0	0
Subtotal	62,299,226	27.44	68,198	65,675
Total	227,010,449	100.00	248,506	239,312

공장과 현장작업의 노무 비율을 더 정확히 알기 위해 Table 10과 같이 Man*day를 표로 정리하였다.

Table 10. Manpower of D elementary school

	Work	Day	Worker (Person)	MD (Man*day)	Percentage (%)	
F a c t o r y	Manufacturing preparation	5	10	50	1.27	
	Fireproofing protection	9	34	306	7.75	
	Structure construction	16	52	832	21.08	
	Deck work	11	29	319	8.08	
	Flooring work(concrete)	2	9	18	0.46	
	Flooring work(spancrete)	6	14	84	2.13	
	Lightweight construction	7	52	364	9.22	
	Joiner's work	7	22	154	3.90	
	Plaster board work	5	60	300	7.60	
	External facing(drivit)	6	35	210	5.32	
	Install external safety handrail	1	3	3	0.08	
	Curtain box alteration work	1	4	4	0.10	
	Modular carrying	2	9	18	0.46	
	Liquidate factory	2	6	12	0.30	
	Subtotal				2674	67.76
	S i t e	Roof making	6	42	252	6.39
Modular lifting and temporary assembly		2	22	44	1.12	
Plaster board work		8	70	560	14.19	
Modular assembly		2	12	24	0.61	
Joint work(flooring)		3	15	45	1.14	
Modular reinforcement work		2	8	16	0.41	
External facing(drivit)		5	80	400	10.14	
interior finishing(wall)		3	28	84	2.13	
interior finishing(flooring)		3	10	30	0.76	
Cleaning and organizing		5	9	45	1.14	
Completion cleaning		2	12	24	0.61	
Subtotal					1272	32.24
Total				3946	100.00	

노무비와 마찬가지로 공장 MD는 67.76%로 현장의 MD 32.24%와 2배 이상 차이가 나는 값이 나왔다.

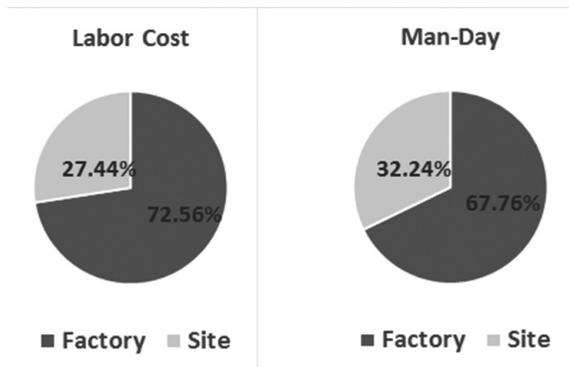


Fig. 4. Ratio according to the work place of D elementary school

노무비의 비율과 ManPower의 비율은 비슷하게 나왔다. 이는 현장에서 작업하는 인원이 적고, 그만큼 현장 작업이 많이 줄어든다고 말할 수 있다. 현장 작업과 현장 인원을 줄이는 것은 기상악화로 인한 공기 지연이나, 안전 등과 같은 현

장에서만 일어날 수 있는 리스크를 많이 줄일 수 있다. 또한, 건설업체들은 요즘 건설 현장 노무자 부족으로 난항을 겪고 있다. 현장에서의 일은 3D 직종이라는 인식이 강해 사람들은 기피하고 있다. 이러한 상황에 현장의 노무 인력을 줄인다면 인력문제도 해결할 수 있다.

3.4 기타

두 공법의 특성상 앞서 언급한 기타 비용 또한 다르게 발생 될 것으로 예상된다. 기타비용으로는 대출금에 대한 이자 비용, 이주비 지원 비용, 기초와 구조체 보강 비용이 가장 크게 차이점이 있을 것이다.

1) 대출금 이자 비용: 발주자가 프로젝트를 진행하면서 들어가는 비용을 전부 자신의 자본으로 충당하는 경우는 거의 없을 것이다. 대부분의 건설회사의 자산도 20~30%이상이 대출에 의한 경우가 많았다. 프로젝트에 들어가는 비용은 공사가 완료 후에 수익 창출 기간이 시작되면서 다시 이익으로 얻을 수 있다. 수익 창출 기간이 앞당겨질수록 대출금을 빨리 갚을 수 있으며, 대출금 이자에 대한 비용 부담도 줄어들 수 있다.

2) 이주비 지원 비용: 대부분의 증축 공사는 기존 건축물에 거주자가 살고 있을 것이다. 공사 기간 동안 소음이나, 먼지 등에 의해 거주자들이 살 수 없는 환경이 될 수도 있는데 기존 거주자들의 이주에 대한 보상을 해줘야 한다. 이주비 지원은 은행과 협력 관계를 맺어 기존 거주지역의 면적을 시세로 계산하여 은행에서 전세금 대출을 해주고 그에 대한 이자는 발주자가 지불하는 형식이다. 이주한 사람들은 공사 기간이 완료되면 다시 건물에 입주하게 되는데 이때까지 이주 지원비에 대한 이자비용을 줄이기 위해서는 공사 기간을 최대한 단축시킬수록 좋게 된다.

3) 구조 보강 비용: 모듈러 공법은 경량 철골을 사용하기 때문에 기존 공법과 달리 하중에 대한 부담이 감소한다. 이로 인해 정확한 구조적 안정성을 검증하는 필수지만 타 공법으로 증축할 경우 반드시 구조보강으로 인한 비용이 증가하지만 모듈러 공법은 상황에 따라서 하지 않아도 되거나 비교적 비용이 감소할 것이다.

4. 증축 공사에 모듈러 공법 적용 효과 분석

앞에서 비교한 두 가지 사례를 통해 모듈러 공법과 현재 국내에서 가장 많이 사용되는 RC 공법의 차이점을 알 수 있었다. 본 장에서는 공사기간, 공사비, 노무인력, 기타 등에 대한 차이를 구체적으로 분석하고자 한다. 그 방법으로는 기존에 RC 공법으로 시공된 A대학 건물을 짓는데 필요한 비용과 동일한 건물을 모듈러 공법으로 시공했을 경우의 비용을 보정한 후 비교하는 것이다.

Table 11. Assumptions for applying case

Classification	Existing construction method	Modular construction method
Construction period	8 month	4 month
Cost	1,933,756,328 won	1,843,142,077 wom
Service period	360 month	
Profit of the month	25,000,000 won	
Rate of return of the month	0.01	
Loan percentage	20 %	
Interest rate on the loan	0.5 % per month	
Building market price	1,500,000 won/m ²	
Total area	2966.33 m ²	
Interest rate on moving cost	0.3 % per month	

먼저 Table 11과 같이 주어진 조건 이외의 상황들을 동일하게 가정한 후 비용을 예측하였다. 각 조건은 일반적인 국내 시장의 평균적인 척도를 인용하였고, 모듈러 공법의 공사 기간은 A대학 건물을 모듈러 공법으로 산정할 경우의 기간이다. 또한, 본 연구에서 비교하는 대상은 교육시설이지만 이를 만약 오피스나 주거시설과 같이 임대료를 받아야 하는 건물로 가정하여 연구를 진행하였다.

4.1 공사 기간

모듈러 공법의 공사기간은 50일이고, RC 공법의 공사기간은 240일이다. 본 연구에서는 공기단축으로 얻는 이익을 수식으로 표현하였다. 먼저 식의 산출을 위해 필요한 변수들을 정의하였다.

$$\begin{aligned}
 PW &= \text{현재가치} & r &= \text{수익률} \\
 T_0 &= \text{공사기간} & n &= \text{서비스기간} \\
 R_0 &= \text{연 이익} & C_0 &= \text{연 공사비용}
 \end{aligned}$$

공기단축으로 생기는 이익에 관한 수식은 현재 가치법의 기본식으로 출발하게 된다(Kenneth Reinschmidt, David Trejo 2006).

$$PW = \frac{R_0}{(1+r)^k} \tag{1}$$

$$PW = \sum_{k=a+1}^b \frac{R_0}{(1+r)^k} \tag{2}$$

$$= R_0 \left[\frac{1}{(1+r)^{a+1}} + \frac{1}{(1+r)^{a+2}} + \dots + \frac{1}{(1+r)^k} + \frac{1}{(1+r)^b} \right] \tag{3}$$

$$(1+r)PW = \sum_{k=a+1}^b \frac{R_0}{(1+r)^{k-1}} \tag{4}$$

$$= R_0 \left[\frac{1}{(1+r)^a} + \frac{1}{(1+r)^{a+1}} + \dots + \frac{1}{(1+r)^{k-1}} + \frac{1}{(1+r)^{b-1}} \right] \tag{5}$$

식 (5)에서 식 (4)를 빼도록 한다.

$$rPW = R_0 \left[\frac{1}{(1+r)^a} - \frac{1}{(1+r)^b} \right] \tag{6}$$

$$PW = \frac{R_0}{r} \left[\frac{1}{(1+r)^a} - \frac{1}{(1+r)^b} \right] \tag{7}$$

$$a = T_0, b = T_0 + n \text{ 대입}$$

$$PW = \frac{R_0}{r} \left[\left(\frac{1}{1+r} \right)^{T_0} - \left(\frac{1}{1+r} \right)^{T_0+n} \right] \tag{8}$$

$$PW_b(r, T_0) = \frac{R_0 [1 - (1+r)^{-n}]}{r(1+r)^{T_0}} \tag{9}$$

비용에 대한 식 도출 방법은 식 (7)까지 위의 방법과 동일하다.

$$PW = \frac{C_0}{r} \left[\frac{1}{(1+r)^a} - \frac{1}{(1+r)^b} \right] \tag{10}$$

$$a = 0, b = T_0 \text{ 대입}$$

$$PW_c = \frac{C_0}{r} [1 - (1+r)^{-T_0}] \tag{11}$$

이렇게 식 (9), 식 (11)과 같이 공기가 달라짐에 따라 이익과 비용을 계산하여 공기가 미치는 영향을 구체적인 금액으로 나타낼 수 있다.

더 정확한 비교를 위하여 다음과 같이 공정표를 작성하였다.

Fig. 6은 A대학의 기존 공법으로 시공한 공정표로 총 8개월의 공기가 필요하다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 교육시설의 방학 기간인 2개월과 차이가 많이 난다. 실제로도 학기 중 공사를 했기 때문에 소음과 안전에 대한 걱정으로 학생들과 직원들이 불편함을 느꼈다고 한다.

Fig. 7는 모듈러 공법으로 A대학 건물을 시공할 경우를 가정한 나타낸 공정표이다. D초등학교 공정표를 기준으로 면적비에 따라 공정표를 작성하였다. 기존 공법과는 다르게 4달의 공기만을 가지고 증축 공사를 완료할 수 있게 된다. 기존 공법 8개월 공기의 50%밖에 되지 않는다는 것을 알 수 있다. 현장 작업 기간만을 비교해보면 모듈러 공법은 약 2달 만에 공사를 마칠 수 있다. 이는 기존 공법의 25%밖에 되지 않으며 위에서 말한 바와 같이 일반적인 방학기간 2개월 내에 공사를 완료할 수 있다.

4.2 공사비

m²당 공사비는 모듈러 공법으로 시공한 D초등학교가 철근 콘크리트 공법으로 시공한 A대 건물보다 30,548원 낮았기 때문에 모듈러 공법으로 A대 건물을 시공했을 경우, 면적비에 비례하여 1,843,142,077원으로 순공사비를 90,614,251원을 줄일 수 있다.

공사비와 공사기간이 산출되었기 때문에 3장에서 앞서 설명한 수식을 인용할 수 있다. 이 수식을 이용하여 기존 공법과 모듈러 공법의 현재가치로 효과 분석을 하도록 한다.

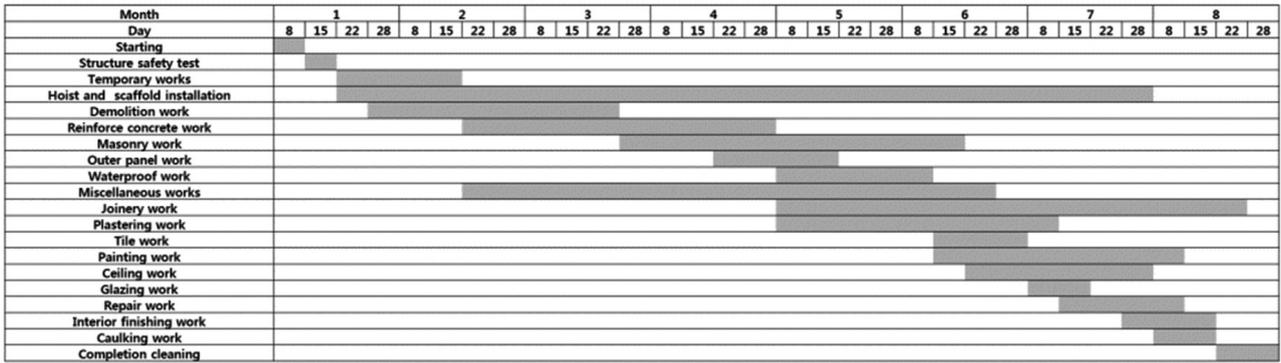


Fig. 6. Progress schedule of A university building

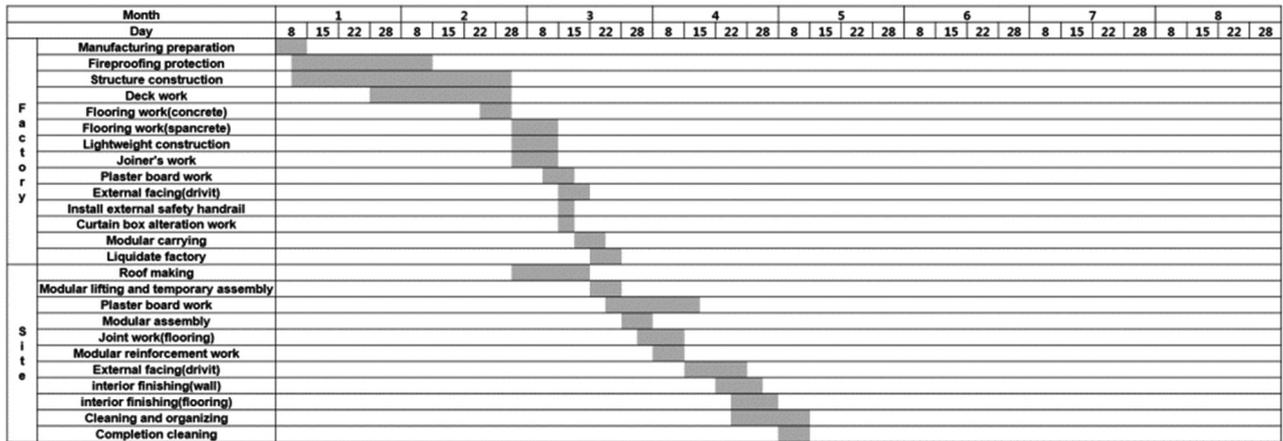


Fig. 7. Progress schedule of A university building constructed with modular construction method

(1) RC 공법

$$PW_b = \frac{25,000,000 [1 - (1 + 0.01)^{-360}]}{0.01(1 + 0.01)^8}$$

$$= 2,244,487,442$$

$$PW_c = \frac{1,933,756,328/8}{0.01} [1 - (1 + 0.01)^{-8}]$$

$$= 1,849,560,034$$

$$NPV = 2,244,487,442 - 1,849,560,034$$

$$= 394,927,408$$

- 이익 현재가치 비교

$$\left[\frac{2,335,622,632}{2,244,487,442} - 1 \right] * 100 = 4.06\%$$

- 비용 현재가치 비교

$$\left[\frac{1,797,969,223}{1,849,560,034} - 1 \right] * 100 = -2.79\%$$

- NPV 비교

$$\left[\frac{537,653,409}{394,927,408} - 1 \right] * 100 = 36.14\%$$

(2) 모듈러 공법

$$PW_b = \frac{25,000,000 [1 - (1 + 0.01)^{-360}]}{0.01(1 + 0.01)^4}$$

$$= 2,335,622,632$$

$$PW_c = \frac{1,843,142,077/4}{0.01} [1 - (1 + 0.01)^{-4}]$$

$$= 1,797,969,223$$

$$NPV = 2,335,622,632 - 1,797,969,223$$

$$= 537,653,409$$

모듈러 공법의 이익 현재가치는 RC 공법보다 4.06% 높고, 비용 현재가치는 RC 공법보다 2.79% 낮게 나와 NPV는 36.14%나 높다는 것을 알 수 있었다. 이는 공기 단축만으로도 모듈러 공법이 큰 이익을 볼 수 있다는 것을 보여준다.

4.3 노무인력

앞서 언급한 각 공법의 전체 노무비의 비교는 많은 차이가 없었다. 노무 인력의 비용의 경우 4.2 공사비 항에서 공사비 비교 시 포함되어 비교하였다고 볼 수 있다. 노무인력만 따로 보자면 3.3 노무인력 항의 Table 5의 노무비를 Table 6의 인플레이션 적용 면적당 투입비용(원/m²)을 A학교 건물의 면적에 곱한 노무비와 비교하였을 경우 RC공법의 경우

(3) RC 공법과 모듈러 공법 비교

745,279,682원, 모듈러의 경우 709,878,365로 모듈러로 적용한 공사에서 35,401,317원이 절감되며 기존 RC 공법의 노무비를 기준으로 4% 절감된다.

또한 현장 인력만으로 비교를 해보면 대부분의 인력이 현장에 투입되는 RC공법에 비해 모듈러 공법은 약 30%정도의 노무자들만 현장에 투입된다는 것을 알 수 있었다. 현재 국내 건설시장에서는 3D 직종인 현장 노무자들을 기피하는 현상 때문에 노무자들의 일당이 급상승하고 있고, 이마저도 구하지 못해 어려움을 겪는 상황이다. 공장생산의 비중이 커지는 증축공사에서 모듈러 공법은 대부분의 인력이 공장에서 일을 하기 때문에 현장에 비해서 위험 요인이 적고, 안정적으로 한 장소에서 일을 할 수 있기 때문에 노무자들이 일반 공법보다 선호하게 된다. 또한 국내 건설 회사들이 모토로 내세우는 안전을 현장작업 감소로 크게 줄일 수 있게 된다.

노무인력의 장점을 금전적으로 표현할 수는 없지만 모듈러 공법으로 시공함으로써 현장의 리스크를 줄일 수 있다면 기존 공법에 비해 충분한 이익을 얻을 수 있을 것이다.

4.4 기타

$$\text{기타비용} = \sum_{n=1}^i \frac{I}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^m \frac{M}{(1+r)^n} + L + Q \quad (12)$$

L = 대출금 이자 비용 Q = 하자보수비용
 L = 하중에 의한 구조 보강 비용 i = 대출금 상환 완료 시점
 M = 이주비 지원 비용 m = 준공 시점

구체적인 금액으로 비교해 볼 수 있는 대출 금융 이자와 이주 지원비 이자를 구하여 기타 비용을 분석하였다.

(1) RC 공법

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^i \frac{I}{(1+r)^n} &= \sum_{n=1}^8 \frac{1,933,756.328 * 0.2 * 0.005}{(1+0.01)^n} \\ &= 14,796,480 \\ \sum_{n=1}^m \frac{M}{(1+r)^n} &= \sum_{n=1}^8 \frac{1,500,000 * 2966.33 * 0.003}{(1+0.01)^n} \\ &= 102,138,306 \\ 14,796,480 + 102,138,306 &= 117,534,786 \end{aligned}$$

(2) 모듈러 공법

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^i \frac{I}{(1+r)^n} &= \sum_{n=1}^4 \frac{1,843,142.077 * 0.2 * 0.005}{(1+0.01)^n} \\ &= 7,545,451 \\ \sum_{n=1}^m \frac{M}{(1+r)^n} &= \sum_{n=1}^4 \frac{1,500,000 * 2966.33 * 0.003}{(1+0.01)^n} \\ &= 52,085,329 \\ 7,545,451 + 52,085,329 &= 59,630,780 \end{aligned}$$

대출 금융 이자와 이주 지원비 이자의 현재가치는 RC 공법이 117,534,786 원, 모듈러 공법이 52,085,329 원으로 57,904,006 원의 차이가 났다.

4.5 종합

공사기간, 공사비, 노무인력, 기타의 적용 효과를 수식에 대입하여 구체적인 이익을 알 수 있었다. 아래는 앞서 말한 이익들을 모두 한 수식으로 합쳐 비용을 산정한 후 비교하였다.

(1) 전체 수식

$$PW_b - PW_c = \frac{R_0 [1 - (1+r)^{-n}]}{r(1+r)^{T_0}} \quad (13)$$

$$- \left\{ \frac{C_0}{r} [1 - (1+r)^{-T_0}] + \sum_{n=1}^i \frac{I}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^m \frac{M}{(1+r)^n} \right\}$$

(2) RC 공법

$$\begin{aligned} PW_b &= \frac{25,000,000 [1 - (1+0.01)^{-360}]}{0.01(1+0.01)^8} \\ &= 2,244,487,442 \\ PW_c &= \frac{1,933,756.328/8}{0.01} [1 - (1+0.01)^{-8}] \\ &\quad + \sum_{n=1}^8 \frac{1,933,756.328 * 0.2 * 0.005}{(1+0.01)^n} \\ &\quad + \sum_{n=1}^8 \frac{1,500,000 * 2966.33 * 0.003}{(1+0.01)^n} \\ &= 1,966,494,820 \\ NPV &= 2,244,487,442 - 1,966,494,820 \\ &= 277,992,622 \end{aligned}$$

(3) 모듈러 공법

$$\begin{aligned} PW_b &= \frac{25,000,000 [1 - (1+0.01)^{-360}]}{0.01(1+0.01)^4} \\ &= 2,335,622,632 \\ PW_c &= \frac{1,843,142.077/4}{0.01} [1 - (1+0.01)^{-4}] \\ &\quad + \sum_{n=1}^4 \frac{1,843,142.077 * 0.2 * 0.005}{(1+0.01)^n} \\ &\quad + \sum_{n=1}^4 \frac{1,500,000 * 2966.33 * 0.003}{(1+0.01)^n} \\ &= 1,857,600,002 \end{aligned}$$

$$NPV = 2,335,622,632 - 1,857,600,002$$

$$= 478,022,630$$

(4) RC 공법과 모듈러 공법 비교

- 이익 현재가치 비교

$$\left[\frac{2,335,622,632}{2,244,487,442} - 1 \right] * 100 = 4.06\%$$

- 비용 현재가치 비교

$$\left[\frac{1,857,600,002}{1,966,494,820} - 1 \right] * 100 = -5.54\%$$

- NPV 비교

$$\left[\frac{478,022,630}{277,992,622} - 1 \right] * 100 = 71.96\%$$

이익의 현재가치는 모듈러 공법이 4.06% 높게 나왔기 때문에 공사기간이 감소하면서 모듈러 공법이 더 많은 이익을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 비용 현재가치에서는 모듈러 공법이 5.54% 더 낮아 비용 측면에서도 이익을 볼 수 있다. NPV는 모듈러 공법이 71.96%로 높게나와 기존 공법보다 경쟁력이 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

국내의 건설 산업은 기존 공법의 상용화로 진입장벽이 높아 모듈러 공법의 시장 활성화가 되지 않고 있다. 이에 본 연구는 모듈러 공법을 최대한 효율적으로 활용할 수 있는 증축 공사에서 타 공법과 비교를 통해 경쟁력이 있다는 것을 제시 하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 공사기간은 제작기간을 제외한 실제 현장 공사 기간만을 고려한다면 A 대학의 경우 기존 RC 공법(8개월)과 비교하여 25%에 해당하는 2개월 만에 공사를 완공함을 알 수 있었으며,

2) NPV로 비교하였을 때 모듈러 건축물이 기존 RC 공법보다 71.96% 높게나와 경쟁력이 있다는 것을 알 수 있었다.

이와 같이 모듈러 공법은 기존 공법과는 많이 다른 점을 갖고 있기 때문에 필요에 의해 특화되어 사용되어질 수 있다. 본 연구에서는 건축에서 가장 중요한 공기, 비용, 노무인력, 기타 비용 4가지 측면에서 구체적인 효과를 제시하였다. 하지만 현재 모듈러 건축물이 보편화가 되어 있지 않아 사례가 많지 않아 규모가 다른 2개의 건축물로 비교분석을 한 것과 기존 RC건축물로 지어진 사례를 모듈러 공법이 적용했을 경우에 대한 가정 조건이 명확하지 않다는 것이 이 논문의 한계가 될 수 있다. 향후 모듈러 공법으로 시공되는 건축물들이 많아지면 본 논문에서 언급한 방법을 적용하여 일반화 시킬 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 일반연구자 지원 사업 - 기본연구지원사업(유형 II)에 의한 결과의 일부임
 과제번호 : 2010-0023896

References

Bae, B., Kim, K., Cha, H. and Shin D. (2012). "To Improve Production Process of the Modular Using the Conveyor System" *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 13(5), pp. 103-112.

Ha, T. (2011). "Development Status and Case Studies of Modular Construction Method", *Korean Research Institute for Construction Policy*, v.1, pp. 144-151.

Ji, J. (2012). "A Study on the Customized Remodeling by Modular Method Housing", *Journal of The Korean Housing Association, Khousing*, v.1, pp. 237-240.

Kim, D., Kim, K., Cha, H. and Shin D. (2013). "A Study on the Strategy for Creating Demand of Modular Construction through Case Analysis by Building Type", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(5), pp. 164-174.

Lee, K., Kim, K., Shin, D. and Cha H. (2011). "A Proposal for Optimizing Unit Modular System Process to Improve Efficiency in Off-site Manufacture, Transportation and On-site Installation", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 12(6), pp. 14-19.

Lee, D., Cha, H., Kim, K., and Shin D. (2006). "Development of Decision-Making Process on Technology Selection for Aged-Housing Remodeling", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, v.11 pp. 448-452.

Murtaza, M., Fisher, D., and Skibniewski, M. (1993). "KNOWLEDGE-BASED APPROACH TO MODULAR CONSTRUCTION DECISION SUPPORT", *ASCE, Construction, Eng. Management* 119(1):115-130.

Kenneth, R. and David, T. (2006). "Economic Value of Building Faster", *ASCE, Construction, Eng. Management* 132:759-766.

National Audit Office (2005). "Using modern methods

- of construction to build homes more quickly and efficiently”, Report by the national audit office.
- Eren, O. (2012). “A Proposal for Sustainable Temporary Housing Applications in Earthquake Zones in Turkey: Modular Box System Applications”, *Gazi University Journal of Science*, GU J Sci,25(1):269–287.
- Park, Z. and Ahn, Y. (2013). “A Study on the Impact from Cost of Quality Control in the Construction Site” *Journal of Architectural institute of Korea*, CAK, 14(1), pp. 237–242.
- Yu, M., Oh, J., Lee, M., Yu, Y. and Park, T. (2005). “A Study on Analyzing the duration of modular construction method”, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, pp. 201–204.
- Kim, C., Sim, U. and Hyung, W. (2014). “A study on the deduction of important factors for modular system application in apartment house vertical-extension constructions”, *KCI*, 16(5).

요약 : 세계적 추세인 친환경에 맞춰 국내 건설 산업은 리모델링 및 증축에 관심을 갖게 되면서 모듈러 공법이 대두되고 있다. 모듈러 공법은 기존의 공법과는 달리 공장에서 70%이상을 모듈 형태로 제작하고 현장에서는 단기간 내에 조립만 하여 완성하는 공업화 건축시스템이다. 모듈러 공법은 현장 작업 감소로 인한 공기단축, 경량철골 사용으로 인한 하중 부담 감소, 반복 생산으로 인한 공사비 절감 등 많은 장점을 갖고 있다. 하지만 현재 상용화되고 있는 기존 공법의 진입 장벽이 높아 활성화되지 않고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 공법 선정에 영향을 줄 수 있는 관계자의 의사결정에 도움을 주고 모듈러 시장의 활성화를 도모하기 위해 모듈러 공법을 가장 효율적으로 사용할 수 있는 증축 공사에 적용하고자한다. 실제 사례를 비교 분석하여 공기, 공사비, 노무인력 등의 측면에서 타 공법과의 차별성을 강조하고, 구체적인 효과 분석을 통해 모듈러 공법의 경쟁력을 알리고 모듈러 공법의 활발한 국내 도입에 일조하고자 한다.

키워드 : 증축 공사, 모듈러 공법, 적용 효과 분석
