

이동 가능한 숙박용 모듈러 건축의 경제성 비교 분석에 관한 연구

이지희¹ · 손정욱* · 정운성¹ · 이준성¹

¹이화여자대학교 건축공학과

An Economic Feasibility Analysis on the Movable Modular Lodging Buildings

Lee, Jeehee¹, Son, JeongWook*, Jeong, WoonSeong¹, Yi, June-Seong¹

¹Department of Architectural Engineering, Ewha Womans University

Abstract : Construction industry pays attention to modular construction recently which based on factory production not on labor intensive site production. Since modular construction has high time shortening effect and easiness of demolition and recycling, it has been applied to the temporary residential building. Domestic modular construction market are not activated yet, however, due to the high initial cost to realize modular construction. This study proposes demand-sensitized movable modular building in order to reduce the financial burden. The study compares between RC method building and Modular building which moves building when the demand falls off from Life-Cycle Cost's viewpoint. As a result of the economical evaluation, RC method achieved profits faster than Modular model, but Modular model's gross earnings during the life-cycle are much bigger than RC method. In other words, the result means that the market-sensitized movement of the modular building would be an economic choice in Life-Cycle Costing aspect.

Keywords : Movable modular buildings, Life-cycle cost analysis

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 들어 현장중심의 노동집약적 건설방식의 한계를 극복하기 위한 대안으로 모듈러 건축이 주목받고 있다. 모듈러 건축을 도입할 경우 공장생산에 기반한 현장조립이 가능해져 현장의 불확실한 환경에 대한 리스크를 감소시킬 수 있으며, 공기단축효과가 크다는 장점이 있다. 또한 모듈의 해체 및 재사용 가능성이라는 이점으로 인해 임시 주거시설의 적용에도 용이하다. 그러나 모듈러 공법을 실현하기 위한 공장 제작, 기술인력 개발 등 초기 투자비용에 대한 경제적 부담으로 인해 국내의 모듈러 건축은 저층 건물 위주의 소규모 건축물에 제한적으로 활용되고 있는 실정이다.

모듈러 건축의 경제적 측면에 대해서는 국내에서도 여러 방면에서 연구가 진행된 바 있으나, 아직까지 국내의 모듈러

건축물 시공사례가 많지 않은 상황에서 기존 공법 대비 경제적 효과를 실질적으로 비교하는 것은 한계가 있다. 또한 현재까지의 연구들은 전통적인 RC 공법과 모듈러 공법의 공사비에 대한 상호비교만을 실시하였을 뿐, 모듈러 공법의 공기단축효과에 따른 빠른 수익성 확보 및 해체/재사용을 통한 장점에 대한 경제적 반영이 부족하였다.

모듈러 건축의 장점 중 하나인 해체 및 재사용성과 이동가능성은 모듈러 건축의 높은 초기투자비용을 해소할 수 있는 하나의 대안이 될 수 있다. 특히 최근에 국내에서 개최되는 국제행사가 증가하면서 숙소 부족과 그로 인한 숙박비 인상 문제가 반복적으로 논란이 되고 있는 가운데, 모듈러 건축을 이용한 임시 숙박시설의 활용은 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 방법으로 도입될 수 있다. 더구나 일시적으로 급증했다가 사라지는 수요를 충족하기 위해 생애주기가 수십 년이 넘는 건축물을 무조건 건설한다는 것은 장기적인 수익성 측면에서 큰 부담이 될 수 있다. 일례로 여수엑스포의 경우 주변의 숙박시설 이용률이 엑스포 당시에는 만석이었지만 엑스포가 열리지 않았던 다른 해 같은 기간에는 평균 20~30% 정도에 그친 것으로 나타났다.

본 연구에서는 모듈러 공법이 가지고 있는 해체/재사용성이라는 장점을 극대화하기 위해 시장의 수요에 따라 건물을

* Corresponding author: Son, JeongWook, Department of Architectural Engineering, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
E-mail: jwson@ewha.ac.kr
Received April 9, 2015; revised June 9, 2015
accepted July 28, 2015

축조하고, 이동하는 모듈러 건축이 기존의 방식에 비해 얼마나 경제성을 확보할 수 있을지에 대해 분석해보고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 기존 건설공사에서 전통적으로 사용하던 RC공법으로 건물을 축조하여 같은 장소에서 지속적으로 사용되는 숙박시설과 모듈러 공법을 이용하여 건물을 축조한 후 시장의 수요에 따라 이동하는 숙박시설의 경제성을 비교해 보고자 한다. 이는 모듈러 공법이 갖고 있는 많은 장점에도 불구하고 경제적 비용 상승이라는 문제로 인해 적용이 활성화되지 못하고 있는 경제적 문제를 해결하고자 이동 가능한 모듈러 건축물의 모델을 제시한 것으로, 이동형 모듈러 모델이 기존 방식에 비해 경제적으로도 효과가 있음을 입증함으로써 모듈러 건축물의 경제적 비용 상승 문제에 대한 하나의 대안을 제시하고자 하는 목적이 있다. 본 연구에서는 RC공법의 건물과 이동 가능한 모듈러 건물의 경제성 비교를 위해 건물의 생애주기비용분석을 실시함으로써 장기적인 측면에서 각 대안의 경제성을 평가할 수 있도록 한다. 또한 본 연구의 분석 대상이 되는 숙박시설은 200개 이상의 객실을 수용할 수 있는 중규모 이상의 시설로서, 숙박시설을 경제성 분석의 대상으로 선정한 것은 고정비 부담이 높고, 일단 건축되면 수요에 관계없이 객실 수가 고정되어 있어 시장 수요에 의존도가 높은 숙박시설의 특성 상 이동 가능한 모듈러 공법을 통해 변화하는 시장수요에 대응할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

본 연구는 Fig. 1과 같은 절차에 따라 진행되었다.

Phase	Research Activity
Problem Statement	Necessity of demand-sensitized movable modular building
Literature Review	Current state of Modular buildings
	Economical advantage of Modular buildings
Life-Cycle Costing	Assumptions for economic evaluation
	Definition of cost-revenue model
	Life-cycle costing of the two models
	Sensitivity analysis
Conclusion	Conclusion and implications

Fig. 1. Research process

2. 예비적 고찰

2.1 모듈러 공법의 국내외 적용 현황

국내에서 모듈러 공법이 최초로 적용된 프로젝트는 2003년에 건설된 서울 신기초등학교 공사로, 그 이후로 지속적인 기술개발을 통해 군 시설, 학교시설, 주거시설 등으로 시장이

확대되고 있다. 새로운 건설시장 수요창출이 절실한 국내 건설 환경에서 모듈러 건축은 미래 건설분야 신사업의 하나로 주목받고 있다(Cho et al. 2014).

Fig. 2에 나타난 국내 모듈러 건축시장의 규모를 살펴보면, 2010년부터 성장한 모듈러 시장은 2011년 군 시설에 집중적으로 적용되면서 크게 성장하였고, 2012년에는 러시아와 호주 등에 모듈러를 수출함으로써 모듈러 시장이 확대된 것을 알 수 있다. 더욱이 소형 가구의 증가 등에 따라 도시형 생활주택 활성화 정책이 본격적으로 추진됨에 따라 공기단축의 효과가 뛰어난 모듈러 건축시스템이 민간부문의 소형주택에 적용되는 사례가 증가할 것으로 예측되었다(Kim et al. 2014).

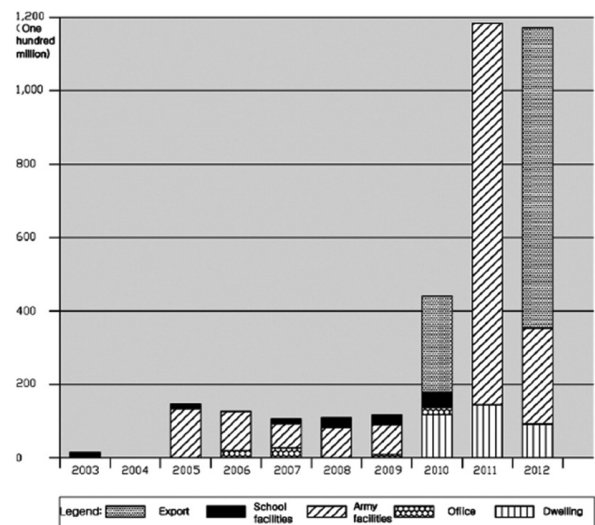


Fig. 2. Scale of Modular Architecture in Korea (Kim et al. 2014)

국외의 모듈러 건축시장은 유럽과 북미 등 상대적으로 소득수준이 높고 현장 작업의 최소화를 통한 인건비 절감 효과가 큰 선진국 위주로 시장이 형성되어 있다. 단 유럽과 북미에서의 모듈러 건축시장은 다른 양상을 보이고 있는데, 북미의 모듈러 공법은 건물의 집적도가 높지 않고 저층의 구조물이 많은 건축시장의 특성상 공사비 절감을 목적으로 중저가 형태의 건축물에 주로 적용되고 있다. 반면에 유럽의 모듈러 건축공법은 신속한 전후 복구를 위한 불가피한 선택에서 시작되었으나 현재는 엔지니어링 기술의 발전과 함께 공공 및 민간 전 분야에서 시장의 성숙기에 진입한 상태이다(Ha 2011).

이처럼 모듈러 건축은 공기단축과 작업 생산성 향상이라는 이점을 갖고 경제적 효과가 큰 기숙사, 학교, 호텔 등의 시장과 이동 및 재사용이 요구되는 분야에서 차세대 건축 시공법으로 각광을 받으며 시장이 점차 확대되고 있는 추세이다.

2.2 모듈러 건축의 경제성

모듈러 건축은 기존의 건축 시공방식이 현장공법 위주로 이루어지던 것과는 달리 공장생산에 기반한 현장조립방식으로, 기존의 시공방식에 비해 경제성을 갖는 장점이 있다. 특히 공기단축 효과, 재활용성 및 이축가능성은 모듈러 건축물이 기존 공법에 비해 경제적인 대안이 될 수 있음을 보여준다.

모듈러 건축의 가장 큰 특징은 공기 절감이 가능하다는 점인데, 유럽의 사례를 살펴보면 프로젝트의 특성에 따라 모듈러 공법의 직접공사비가 일부 증가하더라도 공기단축에 의한 추가적인 경제성 효과로 인해 모듈러 공법의 경제성이 확보되는 경우가 대부분이다(Cho 2014).

Ha(2011)의 연구에서는 모듈러 건축시스템의 재활용률 수준을 제시하였다. 모듈러 건축물을 모듈 단위로 재활용한다고 가정했을 때 구현 가능한 재활용률을 시뮬레이션 결과로 분석한 내용은 Table 1¹⁾과 같다. 이 연구 결과에 따르면 모듈러 건축을 통해 재료비용 기준으로 최대 82.3%의 재활용률을 기대할 수 있음을 알 수 있다.

Table 1. Standard of life cycle costing model(Ha 2011)

Work Type	Expense Ratio (%)	Recycling Ratio (%)	Recycling Cost (%)
Steel Work	23.5	92.5	21.7
Floor, Wall, Ceiling	32.8	92.9	30.5
Roof Work	6.0	14.4	0.9
Windows and Metal Work	10.5	83.5	8.8
UBR	10.4	91.0	9.5
Finished Product	7.3	91.7	6.7
Electric Work	2.5	80.0	2.0
Mechanical Work	3.5	65.0	2.3
Total	-	-	82.3

3. 경제성 분석모델

3.1 경제성 분석모델 가정

본 연구는 일회성으로 급증하는 수요를 충족시키기 위해 새롭게 시설물을 건축하고 이를 지속적으로 운영하는 건물(분석 모델 1)과 모듈러 공법을 이용하여 건물을 건축한 후 수요 감소가 발생하면 시장의 흐름에 따라 장소를 이동하여 운영하는 건물(분석 모델 2)의 경제성을 비교분석한다. 두 분석모델의 생애주기비용 산정을 통한 경제성 비교를 위해 Table 2와 같이 몇 가지 가정 사항을 설정하여 평가의 기초로 삼았다.

1) Table 1에서 제시하는 재활용률은 기존 모듈러 건축물을 5년 사용 후 운송 재설치하는 경우를 고려한 시뮬레이션 결과임. 건축모델은 보-기둥으로 구성되는 프레임식 모듈로 한정하였고, 재활용률은 부지조성 및 기초공사, 지붕공사, 현장설치 비용 등을 제외한 건축모델의 제작비용만을 대상으로 함(Ha 2011).

Table 2. Assumptions for economic evaluation

Division	[Model 1] RC	[Model 2] Modular	Basis
Basic assumption	Stay after new construction during life-cycle	Move after new construction when the demand falls off	Assumption
Building type	220-room residential building		Refer to middle and high-class hotel case
Total floor area	23,200m ²		Refer to middle and high-class hotel case
Life cycle period	40 years		Refer to standard of building's durable years
Construction period	2 years	1 year	Refer to relevant studies
Percentage of factory production	-	80%	Refer to relevant studies
Time shortening	-	50% of RC method	Refer to relevant studies
Demolition cost	-	18% of RC method	Refer to relevant studies
Demand	Temporary	100% during the events (only 3 months last)	
	Average	60%	80%

모듈러 공법의 해체/재사용성 측면에서 경제성 분석을 실시하기 위해 분석모델 1은 전통적인 RC공법으로 건물을 신축한 후 수요 변화에 관계없이 생애주기 동안 한 장소에 머무르는 반면, 분석모델 2는 모듈러 공법으로 건물을 축조한 후 수요 감소가 발생하면 수요가 높은 지역으로 이동하여 일정한 수요를 유지할 수 있는 모델로 가정하였다. 또한 모듈러 건축물이 수요가 높은 지역으로 이동할 때에는 기존 건축물과 동일한 설계를 유지하는 것으로 가정하였다.

경제성 분석을 위한 가정모델은 220실 규모의 중급급 숙박 시설로, 적정한 수준의 연면적을 산정하기 위해 기존에 수행된 유사 규모의 숙박시설 수익성 분석자료(KTO 2007)를 참고하여 연면적을 23,200m²로 가정하였다. 경제성 분석 기간은 법인세법 시행규칙에 명시된 「건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표」에 따라 RC조 건물의 생애주기에 해당하는 40년을 기준으로 하였다.

모듈러 공법은 공장생산비율에 따라 공업화율이 결정되는데, 일반적으로 공업화율이 80% 수준일 때 모듈러 공법이 경제성을 확보할 수 있다(Kim et al, 2011 재인용). 따라서 본 연구에서도 공업화율을 80%로 가정하여 분석을 실시하였으며, 기존 연구(SCI 2000, Kim et al, 2011)를 통해 모듈러 공법이 일반적인 RC공법에 비해 50% 수준의 공기단축 효과가 있다는 점을 가정 모델에 반영하였다.

Ha(2011)의 연구에서는 모듈러 공법의 재활용률을 82.3% 수준으로 제시하였는데, 이를 근거로 하면 모듈러 공법의 재활용률이 약 82% 수준일 때 해체·폐기비용은 RC공법 해체·폐기비용의 약 18% 수준으로 가정할 수 있다.

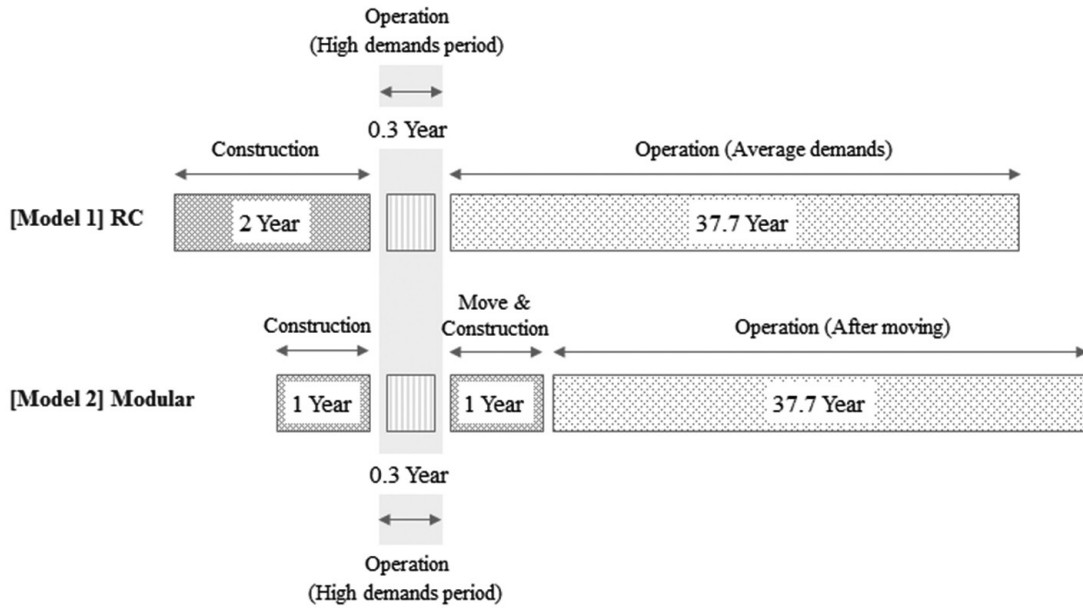


Fig. 3. Comparison of life cycle between model 1 and model 2

또한 경제성 분석을 실시하기 위해서는 숙박시설이 운영되는 기간 동안 수요량의 변화를 가정할 필요가 있다. 이를 위해 국제행사로 인해 일회성으로 급증하는 단기수요는 행사의 개최 기간과 그 전후의 파급효과에 따른 관광객의 증가를 고려하여 약 3개월간 지속되고, 이때 숙박시설의 이용률은 100%인 것으로 가정하였다. 단기 수요 발생 이후 분석모델 1의 경우 수요 감소를 겪게 되는데, 분석모델 1의 생애주기 기간 동안의 평균 수요를 가정하기 위해 Choi et al.(2013)의 연구에서 제시한 2012년 전국의 숙박시설 등급별 이용률 현황을 참고하되, 국제행사와 같은 일회성으로 급증한 수요는 행사 개최 이후 급감할 것을 반영하여 60% 수준으로 설정하였다²⁾. 분석모델 2의 경우 단기 수요 증가 효과가 사라지게 되면 평균 수요가 높은 지역으로 이동하여 운영하게 되는데, 본 연구에서는 외국인 관광객의 증가로 숙박시설의 평균 객실 점유율이 높고 객실부족현상을 겪고 있는 서울로 이동하여 평균수요 80% 수준에서 운영되는 것으로 가정하였다³⁾.

이상의 내용을 반영하여 두 분석모델의 분석기간(40년) 동안의 이용 변화를 정리하면 Fig. 3과 같다⁴⁾.

2) 2012년 전국 숙박시설의 등급별 이용률 현황자료 중에서 본 연구에서 분석대상으로 선정한 규모의 이용률은 약 65% 수준정도로 파악되나, 여수 엑스포 숙박시설의 사례에서 볼 수 있듯이 행사 개최를 목적으로 지어진 숙박시설의 경우 행사 종료 이후 이용률이 급감하기 때문에 이러한 점을 반영하여 전국 숙박시설의 평균 이용률보다 낮은 60% 수준으로 가정함.

3) 분석모델 2의 평균 수요는 Choi et al. (2013)의 연구보고서에서 제시한 2012년 서울지역 숙박시설의 등급별 이용률 현황자료 중에서 본 연구에서 분석대상으로 선정한 규모의 이용률(각각 83%, 83.9%)을 고려하여 약 80% 수준으로 가정함.

3.2 수식모형의 설정

두 분석모델의 생애주기 동안의 경제성 평가를 위해서는 비용 및 수익의 계산에 필요한 수식모형을 설정하게 된다. 본 연구에서는 경제성 평가를 위한 화폐의 시간적 가치를 고려하기 위해 현재법을 적용한 현재가치를 산정하였다. 이 때 화폐의 시간적 가치 환산을 위해 할인율을 적용하게 되는데, 본 연구에서는 Lee et al.(2014)의 연구를 참고하여 최근 10년간의 인플레이션율의 변화와 일반 대출금리를 조사하여 2.9%의 실질할인율을 적용하였다.

두 분석모델의 생애주기 동안의 경제성 비교를 위한 수식모형은 각각 다음과 같다.

- 분석모델 1 (RC 공법)

$$E_1 = \sum_{t=0}^n Pt / (1+i)^t - \left\{ \sum_{t=0}^2 Cd + Ci + \sum_{t=2}^n Mt / (1+i)^t + Dct \right\}$$

- 분석모델 2 (모듈러 공법)

$$E_2 = \left\{ \sum_{t=0}^n Pt / (1+i)^t + St \right\} - \left\{ \sum_{t=0}^2 Cd + Ci + \sum_{t=2}^n Mt / (1+i)^t + Dct \right\}$$

4) Fig.3의 분석모델 2의 경우 해체·폐기와 동시에 이동 및 재조립이 이루어진다고 가정하면 공장에서 운반하여 현장에서 다시 설치하는 경우와 차이가 거의 없다고 판단하여, 모듈러 건물의 이동 및 재조립 공사기간은 신축기간과 동일한 12개월(1년)으로 가정함.

여기서,

- E_1 : 분석모델 1의 총 비용 대비 수익
- E_2 : 분석모델 2의 총 비용 대비 수익
- P_t : 숙박시설의 객실 운영수익
- C_d : 직접공사비 C_i : 간접공사비
- M_t : t년 후의 유지관리비 D_{ct} : 해체 · 폐기비
- S_t : 철골구조체 잔존가치

3.3 분석모델의 비용 · 수익 산출

3.3.1 비용 · 수익항목

경제성 분석을 위해 두 분석모델의 비용 및 수익항목을 Table 3과 같이 설정하였다. 분석모델의 비용 산출 방법은 생애주기비용 경제성 분석을 실시한 기존 연구들(Kim et al, 2013, Lee et al, 2014)의 방법을 참고하여 작성하였고, 수익 산출을 위해서는 문화체육관광부 통계포털(<http://stat.mcst.go.kr>)에서 제공하는 호텔별 객실운영 현황 중 관광호텔업의 2011년 판매객실평균요금에 물가상승률을 반영한 현재시점 금액으로 분석하였다.

모듈러 공법은 전통적인 현장생산 방식에 비해 공장생산에 따른 간접비 절감 효과가 높기 때문에 보다 정확한 평가를 위해 직접공사비 뿐만 아니라 간접공사비와 설계 및 감리비도 분석 항목에 포함시켰다.

Table 3. Standard of cost and revenue

Division			Standard	
Cost	Initial cost	Direct construction cost	Refer to relevant study's direct construction cost per unit area	
		Total construction cost	In-direct construction cost	2014 Industrial Environment and Mechanical Construction's cost accounting ratio
			V.A.T	10% of total construction cost
	Design and C.S fee		Apply to 2014 standard for engineering project fee ratio	
	Maintenance cost		Refer to middle and high-class residential facility's case	
	Demolition cost		Modular's demolition cost is 18% of RC	
Revenue	Residential cost	Temporary residential cost	Refer to MCST statistic portal's 2011 average lodging expense of tourist hotel (125,769W/day)	
		Average residential cost		

경제성 평가를 위한 비용 항목 중 직접공사비는 분석모델 1, 2에 공통으로 해당되는 가설공사, 토공사, 철근콘크리트 공사 등의 비용에 모듈러 공법 적용 시 추가적으로 발생하는 모듈러 운반비, 조립비를 추가하여 산정하였다. 간접공사비의 경우 「2015년 건축 · 산업환경설비공사 원가계산 제비용 적용기준」을 참고하되, 분석모델 2의 경우 모듈러 공법의 공

장제작 방식으로 인한 현장 노무비 절감효과를 반영하여 공업화에 비례하여 절감된 간접공사비로 산정하였다. 또한 공장에서 생산되는 모듈의 경우 국토교통부공고 제 2012-1566호 「공업화주택인정」에 따라 설계비 및 감리비의 산출에서 제외하였고, 현장에서 이루어지는 공정에 한해서만 설계비와 감리비를 적용하였다(Kim et al, 2013 재인용). 관광호텔의 적정 유지관리비를 산정하기 위해 기존에 수행된 유사 규모의 호텔 운영자료(KTO 2007)를 참고하되 통계청에서 발표한 소비자 물가지수를 이용하여 평가시점의 금액으로 환산하여 연간 유지관리비를 반영하였다.⁵⁾

분석모델 별 운영방식에 따른 수익 산출을 위해서는 객실의 평균 숙박요금을 기준으로 분석기간 40년 동안의 수익을 평가하였다. 본 연구에서는 숙박시설의 다양한 운영 방식에 따른 수익성 제고의 측면보다는 건물의 재사용에 따른 수익을 파악하는 데 일차적인 목적이 있기 때문에 운영상의 수익 구조에 대한 상세한 검토보다는 객실 요금 기준의 매출액을 수익으로 가정하였으며, 단기 수익 급증 기간과 평균 수익 기간으로 분리하여 평가를 실시하였다. 또한 계산과정의 편의를 위해 1개월을 30일로 설정하여 분석하였다.

3.3.2 분석모델 1의 비용 · 수익

분석모델별 공사비 단가를 산정하기 위해 RC조 건설업체와 모듈러 제작 · 시공업체로부터 입수한 내역서를 바탕으로 공사비 단가를 제공한 Kim et al.(2011)와 Kim et al.(2013) 연구의 RC공법과 유닛모듈러 공법의 공사비 자료를 참고하여 분석모델 1의 비용 · 수익을 Table 4와 같이 산출하였다.

분석모델 1의 비용은 제곱미터 당 단가(원/㎡)에 연면적을 반영한 금액이고, 수익은 하루 숙박료(원/일)를 기준으로 220개의 객실에서 기준이 되는 기간 동안 발생하는 매출액을 산정한 금액이다.

5) 건설공사의 비용 항목 중 토지비용의 경우 금액 산정에 한계가 있어 분석과정에는 포함되지 못하였으나, 두 분석모델 모두에 토지비용을 반영하지 않았기 때문에 경제성 비교 결과에는 큰 영향을 미치지 않을 것이라 판단되며, 분석모델 2의 경우 장소를 이동하는 과정에서 발생하는 추가 토지비용은 이동하기 전 지역의 토지를 매각하면서 얻는 수익으로 대체될 수 있음.

Table 4. Cost and revenue for model 1

Division		Amount	
Cost	Direct struction cost	Building work	435,948,893
		Earth work	69,109,301
		Reinforced concrete work	447,706,731
		Electric work	2,436,000,000
		Etc. work	2,448,960,894
		RC structural work	2,857,436,425
		Equipment work	3,620,314,637
		Metal work	313,439,517
		Waterproofing and plaster's work	791,778,413
		Exterior finishing work and masonry mason's work	2,759,674,994
		Roofing work	678,785,341
		Joiner's work	607,593,743
		Glazing work	260,397,318
		Interior finishing work (wall)	2,978,543,017
		Interior finishing work (wallpaper)	1,038,004,291
	Indirect struction cost	Furniture work	336,983,240
		Indirect labor cost	644,210,572
		Occupational health and safety insurance cost	364,480,026
		Health insurance cost	152,105,274
		Annuity insurance cost	222,789,490
		Unemployment insurance cost	93,038,322
		Mutual benefit fund for retirement	205,789,488
		Safety management cost	402,952,780
		Other expenses	1,476,906,648
		Environmental preservation cost	110,403,382
Total struction cost	General management expenses	1,161,637,965	
	Profit	2,486,853,521	
	V.A.T	2,940,184,422	
	Design and C.S fee	1,672,198,100	
	Subtotal	34,017,933,765	
Maintenance cost	1,449,442,890		
Demolition cost	1,415,408,800		
Total cost	36,882,785,456		
Revenue	Temporary residential cost (3 months)	2,490,230,769	
	Average residential cost (37.7 years)	224,618,815,385	
	Total revenue	227,109,046,154	

3.3.3 분석모델 2의 비용 · 수익

분석모델 2의 비용 · 수익 단가 역시 분석모델 1과 동일한 단가를 적용하되, 수요가 감소하면 건물을 이동하여 재사용 되는 분석모델 2의 특성 상 운반 및 조립비용, 이동 및 재설치 비용들을 추가로 가산하여 Table 5과 같은 비용 · 수익을 산출하였다. 분석모델 2는 신축되는 비용과 재설치 되는 비용을 구분하여 작성하였는데, 모듈러 건물이 재사용될 경우 그 비율을 82% 수준으로 가정하였기 때문에 재설치 공사의 항목 중 재료비에 해당하는 금액은 신축 금액 대비 18% 수준으로 산정하였다. 또한 건물의 재설치 시에는 기존 건물과 동일한 설계를 유지하기 때문에 이동 후 재건축하는 과정의 설

계비는 제외하였으며, 감리비만을 가산하여 총 공사비에 반영하였다. 모듈러 건축물의 경우 생애주기비용 평가의 분석기간(40년)이 지난 이후에도 철골구조체의 재사용 가능성이 높기 때문에 분석기간이 종료되는 시점에 철골구조체의 잔존 가치를 반영할 수 있다. 본 연구에서는 Kim et al.(2011)의 연구에서 실시한 전문가 자문회의 결과에 따라 철골구조 비용의 80%를 잔존가치로 반영하여 수익항목에 추가하였다.

Table 5. Cost and revenue for model 2

Division		Amount		
		New construction	Rebuild	
Cost	Direct onstruction cost	Building work	435,948,893	400,650,977
		Earth work	69,109,301	41,139,536
		Reinforced concrete work	447,706,731	170,172,290
		Electric work	2,436,000,000	1,893,816,000
		Etc. work	2,448,960,894	1,492,446,927
		Steel work	901,041,341	242,959,732
		Iron manufacturing	4,854,077,080	2,206,754,248
		Equipment work	3,620,314,637	2,641,163,173
		Metal work	313,439,517	137,378,455
		Waterproofing and plaster's work	791,778,413	330,643,030
		Exterior finish work and masonry mason's work	375,534,123	221,641,654
		Roofing work	678,785,341	322,239,446
		Joiner's work	607,593,743	129,974,436
		Glazing work	260,397,318	55,703,330
		Indirect onstruction cost	Interior finishing work (wall)	2,978,543,017
	Interior finishing work (wallpaper)		1,038,004,291	608,504,013
	Furniture work		336,983,240	60,656,983
	Module transportation		1,244,245,810	1,244,245,810
	Module assembling		365,304,608	310,861,958
	Indirect labor cost		128,842,114	128,842,114
	Occupational health and safety insurance cost		72,896,005	72,896,005
	Health insurance cost		30,421,055	30,421,055
	Annuity insurance cost		44,557,898	44,557,898
	Unemployment insurance cost		18,607,664	18,607,664
	Total onstruction cost	Mutual benefit fund for retirement	41,157,898	41,157,898
		Safety management cost	261,942,244	76,056,764
		Other expenses	939,778,189	279,271,408
		Environmental preservation cost	74,613,905	27,434,850
		General management expenses	1,265,669,450	788,657,099
		Profit	2,709,565,823	1,688,369,993
		V.A.T	2,979,182,054	1,766,509,509
		Design and C.S fee	1,979,060,782	301,514,094
		Subtotal	34,751,858,534	19,697,521,134
		Maintenance cost	1,449,442,890	1,449,442,890
	Demolition cost	254,773,584	254,773,584	
Total cost	36,456,075,008	21,401,737,608		
Revenue	Residential cost	Temporary residential cost (3 months)	2,490,230,769	-
		Average residential cost (37.7 years)	-	299,491,753,846
	Salvage value of steel frame	-	24,768,000	
	Total Revenue	2,490,230,769	299,516,521,846	

4. 생애주기비용에 따른 경제성 분석

4.1 분석모델별 경제성 비교

각 모델의 비용·수익 금액에 대한 40년 동안의 생애주기 비용을 산정하면 Fig. 4와 5와 같다. RC공법으로 건물을 지은 후 이동 없이 한 장소에서 40년간 숙박시설로 사용되는 분석모델 1의 경우 건물이 완공된 후 약 10년이 지난 시점부터 누적 수익금액이 누적 비용을 넘어서면서 투자 대비 수익 확보라는 일차적인 목적을 달성하게 된다(Fig. 4).

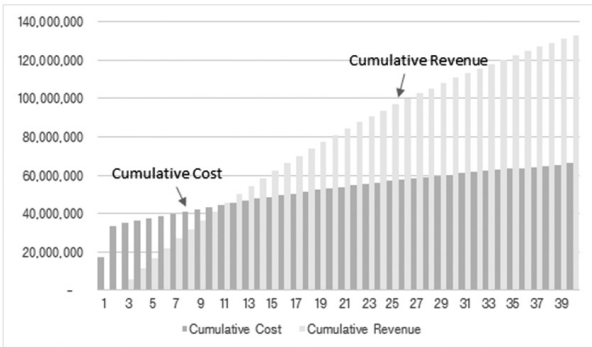


Fig. 4. Cumulative cost and revenue of model 1

반면, 모듈러 공법으로 건물을 지은 후 수익이 떨어지는 시점에 시장성이 좋은 다른 지역으로 이동하는 분석모델 2의 경우 2번의 건물 축조과정에서 발생하는 초기투자비 부담으로 인해 분석모델 1에 비해 2년 늦은 12년째에 돼서야 누적 수익금액이 누적 비용을 앞지르게 된다(Fig. 5).

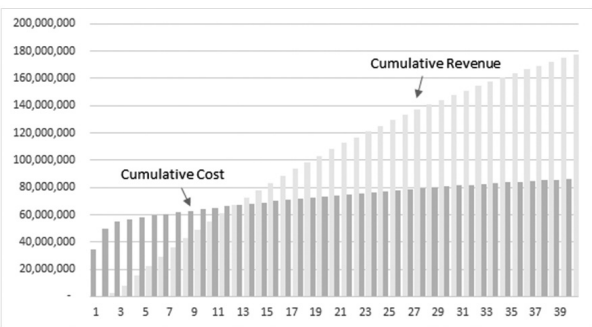


Fig 5. Cumulative cost and revenue of model 2

그러나 두 모델의 누적 수익금액 그래프의 증가율(기울기)을 살펴보면 분석모델 2의 그래프가 분석모델 1에 비해 보다 가파르게 상승하는 것을 알 수 있다(Fig. 6). 이는 전 생애주기 측면에서 볼 때 이동 가능한 모듈러 공법이 기존의 RC공법에 비해 높은 수익을 올릴 수 있음을 의미한다. 즉, 분석모델 1이 단기적인 측면에서 빠른 손익분기점에 도달한다는 장점이 있지만, 장기적인 측면에서 총 누적 수익액은 분석모델 2에 미치지 못한다는 것을 보여준다.

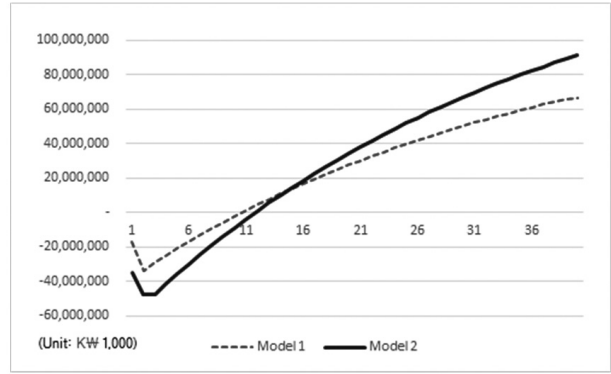


Fig. 6. Comparison of total profit between model 1 and 2

두 모델의 40년 동안의 비용, 매출의 총합과 총 수익에서 총 비용을 제한 값을 정리하면 Table 6과 같다. 현재가치가 반영된 할인금액으로 두 모델을 비교해보면, 비용 측면에서는 분석모델 2의 총액이 분석모델 1에 비해 높은 수준이지만 수익은 분석모델 1보다 분석모델 2가 높은 것으로 나타났다. 총 누적 수익에서 총 누적 비용을 제외한 순수익 관점에서 보면 분석모델 2의 값(91,190,968천원)이 분석모델 1의 값(66,745,658천원)보다 전 생애주기에 걸쳐 약 244억 원 정도 높은 수익을 보장해주는 것을 알 수 있다.

Table 6. Comparison of total profit between model 1 and model 2 (unit: 1,000W)

Division	Total cost (A)		Total revenue (B)		Total profit (A-B)
	unchangeable cost	Discounted cost (2.9%)	unchangeable cost	Discounted cost (2.9%)	
Model 1	90,512,172	66,184,020	227,358,069	132,929,678	66,745,658
Model 2	110,037,757	86,281,718	303,334,876	177,472,686	91,190,968

경제성 비교 결과 분석모델 2의 경우 이동 및 재시공기간 동안 수익이 발생하지 않고, 재시공에 따른 추가 공사비가 발생함에도 불구하고 총 생애주기비용에서 분석모델 1에 비해 유리할 수 있었던 점은 1) 모듈러 공법의 낮은 간접공사비(RC조 대비 모듈러 공법 건축물의 간접공사비는 약 76% 수준), 2) 모듈러 건축물의 높은 재활용률(82%), 3) 객실 이용 수요가 높은 지역으로 이동함에 따라 37.7년간의 운영기간 동안 높은 수익을 보장받는다라는 점이 크게 작용한 것으로 판단된다.

4.2 민감도 분석

4.2.1 수요 변화에 따른 민감도 분석

분석모델 2의 생애주기 동안의 총 매출 수익을 산정하기 위해 일시적인 단기 수요 증가효과가 사라지는 시점 직후 평균 수요가 높은 지역으로 이동하여 건물이 운영되는 것으로 가정하였으며, 이동 후 평균 수요는 80% 수준으로 설정하였다. 본 절에서는 분석모델 2의 이동 후 수요의 변화가 모델의

경제성에 어떠한 영향을 미치는지 파악하기 위해 이동 후 수요에 따른 민감도 분석을 실시하였다.

Fig. 7은 분석모델 2의 이동 후 평균 수요를 80% 수준부터 60%까지 5% 간격으로 변화시켰을 때 시간의 흐름에 따른 총 수익(총 매출-총 비용)의 변화를 나타낸 것이다. 수요가 80%인 경우에는 12년 이후부터 손익분기점에 도달하지만, 75%로 떨어지면 13년, 70%에는 14년, 65%에는 16년, 그리고 60%에는 18년으로 손익분기점에 도달하는 시점이 점차 늦어지는 것을 알 수 있다.

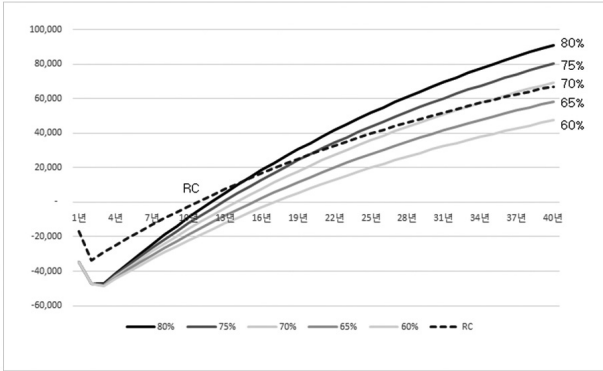


Fig. 7. Sensitivity analysis by change of facility demands

총 수익 측면에서 민감도 분석 결과를 살펴보면, 수요가 70%로 떨어질 때까지는 분석모델 2가 분석모델 1보다 경제적인 대안으로 선택될 수 있으나, 수요가 70% 보다 낮은 수준으로 떨어지면 분석모델 2의 경제성은 상실되는 것을 알 수 있다(Table 7).

Table 7. Comparison of total profit by change of facility demands (unit: 1,000₩)

Division	Total cost (A)		Total revenue (B)		Total profit (A-B)	
	unchange-able cost	Discounted cost (2.9%)	unchange-able cost	Discounted cost (2.9%)		
Model 1	90,512,172	66,184,020	227,358,069	132,929,678	66,745,658	
Model 2	Demand 80%	110,037,757	86,281,718	303,334,876	177,472,686	91,190,968
	Demand 75%	110,037,757	86,281,718	284,533,633	166,532,404	80,250,686
	Demand 70%	110,037,757	86,281,718	265,732,391	155,592,122	69,310,404
	Demand 65%	110,037,757	86,281,718	246,931,149	144,651,840	58,370,122
	Demand 60%	110,037,757	86,281,718	228,129,906	133,711,558	47,429,839

4.2.2 모듈러 재사용률 변화에 따른 민감도 분석

본 절에서는 분석모델 2의 재사용률 변화에 따른 생애주기 비용을 산정하여 분석모델 1과의 수익-비용 평가를 통한 경제적 효과의 민감도 정도를 살펴보았다. 본 연구에서는 모듈러의 재사용률을 82%로 가정하였으나, 이는 모듈러 제작 및 조립 과정의 상황에 따라 변동이 발생할 수 있는 요소이기 때문에 재사용률이 70%, 60%, 50% 수준일 때 각각의 생애주기 비용 및 수익을 산정하였다(Table 8).

Table 8. Comparison of total profit by change of recycling ratio

(unit: 1,000₩)

Division	Total cost (A)		Total revenue (B)		Total profit (A-B)	
	Unchange-able cost	Discounted cost (2.9%)	Unchange-able cost	Discounted cost (2.9%)		
Model 1	90,512,172	66,184,020	227,358,069	132,929,678	66,745,658	
Model 2	Recycling 80%	110,037,757	86,281,718	303,334,876	177,472,686	91,190,968
	Recycling 70%	111,884,080	87,934,518	303,334,876	177,472,686	89,538,168
	Recycling 60%	114,297,568	90,186,474	303,334,876	177,472,686	87,286,212
	Recycling 50%	107,343,050	86,995,808	303,334,876	177,472,686	84,954,169

재사용률이 80% 수준일 때 분석모델 2의 총 수익에서 총 비용을 뺀 금액은 약 910억 원이지만 재사용률이 50%수준으로 떨어지자 총 수익-총 비용은 약 850억 원으로 감소하였다. 이는 RC 공법인 분석모델 1의 금액(약 670억 원)보다는 높은 수익을 의미하지만, 모듈러의 재사용률 및 공업화율이 건물의 전 생애주기에 걸쳐 경제성에 적지 않은 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 즉, 모듈러의 재사용률을 높이고 높은 수익성을 보장받기 위해서는 모듈러의 공업화율을 상승시키고, 해체 및 조립과정에서 추후 재사용을 고려한 작업이 이루어져야 한다. 이러한 것들이 전제될 때 이동 가능한 모듈러 건축 방식이 경제성을 확보할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 모듈러 공법이 가지고 있는 해체/재사용 가능성이라는 장점을 극대화하기 위해 시장의 수요 변화에 따라 건물을 축조하고, 이동 가능한 모듈러 건축의 방식의 경제성을 기존 방식과 비교하는 연구를 실시하였다. 그 결과 초기 투자비가 많이 발생하는 시장 감응형 모듈러 모델의 경우 RC 공법의 건축물에 비해 건물 축조 후 일정 수익을 확보하는데 보다 많은 시간이 소요되었지만, 생애주기 동안의 총 비용 대비 수익이 RC공법에 비해 높은 것을 알 수 있었다.

본 연구는 모듈러 건축물의 정확한 공사비 정보 수집의 어려움과 모듈러 건축물의 이동 및 재설치에 대한 실제 사례가 부족하여 분석과정이 다소 일반적인 가정에 기반하여 이루어졌다는 한계를 갖고 있다. 또한 연구에서 제한한 모듈러 건물의 이동 후 재설치 방식이 실현되기 위해서는 기술적 측면의 고려가 반드시 뒷받침되어야 한다. 본 연구에서는 기술적 실현 가능성 측면보다는 경제적 효과에 초점을 맞춰 연구의 범위를 설정하였기 때문에 기술적 측면의 가능성과 그에 따른 추가 비용은 고려하지 못했다는 한계가 있지만 향후 연구에서 관련 사례 및 근거 자료들이 충분히 확보되고, 모듈러의 시장 감응형 이동모델의 기술적 가능성

측면, 재사용에 따른 성능저하 문제 등에 대한 고려가 추가적으로 이루어진다면 보다 정확하고 구체적인 평가가 이루어질 수 있을 것으로 기대한다. 또한 모듈러 건축물의 규모와 특성에 따른 몇 가지 시나리오를 바탕으로 시뮬레이션 분석 연구를 추가적으로 실시한다면 모듈러 건축물의 사업화에 있어 의미 있는 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로도 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (No. NRF-2013R1A1A1A1010562 and No NRF-2013R1A2A2A04014772)

References

Cho, B. H. (2014). “[Special Issue] Eight factors affecting the economics of modular construction”, *Architecture*, 58(5), Architecture Institute of Korea, pp. 42-46.

Choi, H. K. and Kim, J. Y. (2013). “Analysis of supply period and regulation in hotel industry”, KIET Issue Paper 2013-320, pp. 27-28.

Ha, T. H. (2011). “Development status and case studies of modular construction method”, *Journal of Construction Policy*, KINX 2011069152, Korea Research Institute for Construction Policy, pp. 141-151.

Kim, j. Y. and Lee, J. K. (2014). “A basic study on the application of modular construction - focused on the analysis of case study”, *Journal of the Korean Housing Association*, 25(4), pp. 39-46.

Kim, K. T. and Lee, Y. H. (2011). “Economic feasibility study on the unit modular fabrication method according to the life cycle costing methodology”, *Journal of Architectural Institute of Korea*, v.27 n.12, pp. 207-214.

KTO (2007). “*Heanam Hwawon Resort Complex*”, Korea Tourism Organization, pp. 50-51.

Lee, D. H. and Kim, K. T. (2013). “A fundamental study for applying of unit modular housing production system in the domestic”, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 14(5), pp. 3-11.

Lee, J. H., Kim, K. R., Son, J. W. and Yi, J. S. (2014). “A Comparative Study on the Life Cycle Cost of Wall Type Apartment and Beam-Column Structural Apartment”, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 15(6), pp. 35-43.

The Steel Construction Institute (2000). “*Value and Benefits Assessment of Modular Construction*”, The Steel Construction Institute (SCI), UK, pp. 18-21.

Jang, J. W. (2010). “Remember the 2010 Vancouver Olympic’s Deficit”, <<http://blog.ohmynews.com/post9/260351>>, (March, 3, 2010)

요약 : 최근 건설프로젝트는 기존의 노동집약적 현장생산 방식이 아닌, 공장 생산 기반의 현장 조립 방식인 모듈러 건축물에 주목하고 있다. 모듈러 건축 공법은 기존 방식에 비해 공기 단축효과가 높고, 해체 및 재사용이 용이해 임시 주거시설을 중심으로 적용되고 있다. 그러나 모듈러 공법 실현을 위한 초기 투자비용에 대한 부담으로 인해 국내의 모듈러 건축시장은 아직 활성화되지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 모듈러 건축물이 가지고 있는 경제적 부담에 대한 대안으로서 시장의 수요에 따라 이동 가능한 모듈러 건축 방식에 대하여, 기존의 건축 방식과의 생애주기비용 비교를 통해 경제적 효과를 분석하고자 한다. 본 연구에서 분석의 대상으로 삼은 RC 공법과 모듈러 공법의 이동형 모델의 경제성 평가 결과, 단기적인 측면에서는 RC공법이 빠른 수익률을 달성하였지만 건물의 전 생애주기 측면에서는 이동 가능한 모듈러 건축 방식의 경제성이 보다 큰 것으로 나타났다.

키워드 : 모듈러 건축, 생애주기비용