

모듈러 건축의 제작 및 시공에 영향을 미치는 품질영향요인 분석

Analysis of Quality Factors Affecting Manufacturing and Construction of Modular Architecture

윤재웅* 유정호**
Yun, Jae-Woong, Yu, Jung-Ho

요 약

현재 건설 산업은 건설현장의 전문 건설 인력이 부족하고 노무비가 증가하며 고령화가 심한 문제점이 있다. 건설 산업의 생산성 향상을 위해 현장중심의 건축에서 탈 현장 중심의 건축으로 변화를 추구하고 있으며 이에 따라 공장 생산 중심인 모듈러 공법에 대한 기술개발과 실증단지 프로젝트가 활발히 이루어지고 있다.

최근 국내 대도시를 중심으로 1인 가구의 증가와 같은 가구구조의 변화, 소형 장기임대 주택의 수요 증가, 주거 취약 계층에 대한 주거 공급이 필요함에 따라 모듈러 공법을 활용한 주거시설은 주거 성능이 시장의 요구수준에 도달한다면 효과적인 대응책으로 꼽힌다.

주거성능은 품질과의 관계와 직결되며 이에 따라, 본 연구에서는 모듈러 건축의 제작 및 시공단계에 영향을 미칠 수 있는 품질영향요인을 도출하여 중요도를 분석한 후 우선순위를 매겨, 품질 체크리스트를 만들어 사전에 품질요소를 관리할 수 있게 한다. 이는 궁극적으로 모듈러 공법에 대한 품질 확보와 모듈러 건축의 활성화에 대한 기초 연구 자료로 활용될 수 있음을 목적으로 한다.

키워드 : 모듈러 건축, 탈 현장, 공업화 주택, 주거, 공장생산, 1인 가구, 소형 장기 임대 주택, 설계단계, 제작단계시공단계, 품질, 영향요인

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 건설 산업은 건설현장의 전문 건설 인력이 부족하고 노무비가 증가하며 고령화가 심한 문제점이 있다. 동시에 최근 건설 산업의 생산성 향상으로 현장중심의 건축에서 탈 현장 중심의 건축으로 변화를 추구함에 따라 공장생산 중심인 모듈러 공법에 대한 기술개발과 실증단지 프로젝트가 활발히 이루어지고 있다.³⁾

최근 국내 대도시를 중심으로 1인 가구의 급증과 같은 가구구조의 변화 및 소형 장기임대 주택의 수요가 증가하고 있다. 더불어 도심지 내 대표적인 주거 취약 계층으로 분류되는 도시근로자, 신혼부부, 사회초년생 및 대학생을 대상으로 모듈러 공법을 활용한 주거시설은 이와 같은 주거 방식의 변화에 적합한 공법이며, 주거성능과 대중적 인식 등이 시장의 요구수준에 도달한다면 변화하는 주거 방식의 수요에 대한 효과적인 대

응책이 될 수 있다.

모듈러 공법을 적용한 1인 가구 주거시설의 수요를 충족시키기 위해서는 품질의 보장이 우선시되어야 한다. 모듈러 건축의 기술개발과 실증단지 조성 등에 대한 연구는 활발해지고 있지만 품질에 영향을 미치는 각 단계별 요인에 대한 분석은 매우 미비한 실정이다.

이에 따라, 본 연구에서는 모듈러 건축의 제작 및 시공단계에서 영향을 미칠 수 있는 영향 요인을 도출하고 중요도를 분석함으로써 작게는 영향요인을 토대로 한 모듈러 건축의 각 공정에 대한 품질 체크리스트를 제공할 수 있으며 크게는 모듈러 공법에 대한 품질 확보와 모듈러 건축의 활성화에 대한 기초 연구 자료로 활용될 수 있음을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 절차

모듈러 건축은 일반적인 건축과는 다르게 건축 모듈을 공장에서 제작하므로 공사기간을 최대 50%까지 단축시킬 수 있다. 이처럼 모듈러 건축의 일반 건축과는 차별화되는 공정은 공장 제작과 현장 설치 및 조립 단계라고 볼 수 있다. 하지만 계획된 공사 기간 내에 원

* 광운대학교 건축공학과 학사과정, wodnd5640@kw.ac.kr

** 광운대학교 건축공학과 교수, myazure@kw.ac.kr

3) 신현규, 모듈러 건축 프로세스 기반 시공단계 위험 관리 방안에 관한 기초연구, 대한건축학회 논문집 36권 2호, p.1068, 2016

활하게 프로젝트가 진행되기 위해서는 모듈 설계단계의 정밀함이 요구된다. 설계단계는 단순히 모듈 자체에 대한 설계만 이루어지는 것이 아닌, 운반을 고려한 설계, 양중을 고려한 설계 및 조립을 위한 설계까지 포괄적으로 포함하는 단계로 연구를 진행한다.

본 연구에서에서는 모듈러 건축 활성화의 영향요인을 바탕으로, 유닛의 제작 및 시공단계에 영향을 미치는 모듈의 설계단계로 범위를 한정하여 연구를 진행하였다. (표 1.)

표 1. 모듈러 건축 활성화를 위한 영향요인

영향요인 ⁴⁾
A. 주거성능(차음성능, 단열성능 시장요구 수준에 미달)
B. 시공성 향상을 위한 공장 생산화를 증가 필요(대량 설비시설 투자 필요)
C. 모듈러 적용시설의 다양성 부족과 대량 생산성 낮음

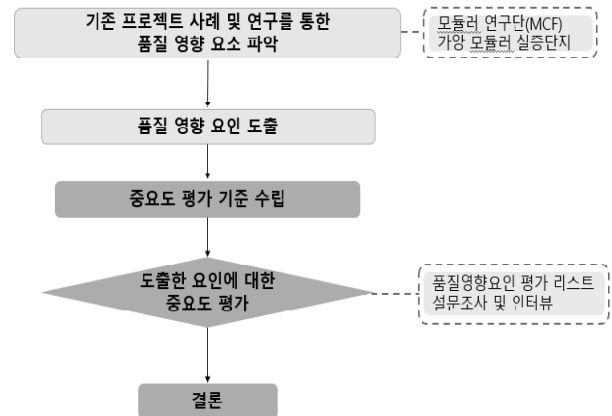
또한 한국건설기술연구원을 중심으로 구성된 컨소시엄인 모듈러 연구단(MCF ; Modular Construction Future)의 연구 보고서와 한국토지주택공사(LH)와 서울주택도시공사(SH)의 실증사례 보고서를 토대로 영향 요인을 도출하고 인터뷰 및 설문조사를 통해 영향 요인에 대한 중요도를 분석하였다. 인터뷰와 설문조사는 모듈러 업종 분야에서 종사하는 유경험자와 일반 건축에 종사하는 무경험자(시공경력 20년 이상)로 나누어 진행되었으며 이는 양쪽의 결과를 비교하여 다양한 시각에서의 설문결과를 기대할 수 있기 때문이다. 특히 무경험자의 설문에는 있어서는 시공 단계에서 발생할 수 있는 문제의 인식을 통한 영향요인을 귀납적으로 생각할 수 있다.

본 연구의 주요 내용과 수행 방법은 다음과 같다.

- (1) 기존 수행된 모듈러 건축 실증 프로젝트 보고서와 모듈러 연구단(MCF; Modular Construction Future)의 연구 보고서, 기존 문헌을 통한 문제점 및 개선점을 파악하고 영향 요인을 도출한다.
- (2) (1)에서 도출한 영향 요인에 대하여 인터뷰와 설문조사를 통해 품질에 영향을 미치는 각 요인의 영향정도를 중요도 1(매우 낮음)부터 5(매우 높음)로 분류한다.
- (3) (2)에서 분류한 영향 요인에 통해 설계단계에서 고려해야할 중점영향요인을 리스트화 한다.
- (4) 제작 및 시공단계에 영향을 미치는 영향요인을 통해 모듈러 주거시설의 품질확보에 대한 중점 관리 방안을 제시한다.

4) 강환희, 모듈러 건축 활성화를 위한 영향요인 비교분석, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 10권, p.139, 2015

그림 1. 연구의 흐름도



2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 건축의 개념

모듈러 건축은 건축 부재나 내장재, 기계 및 전기 설비 등을 포함한 3D 입방체(유닛)를 공장제작 한 후 현장으로 운반·조립 및 설치하는 건축 공법이다.

모듈러 건축은 건축의 패러다임이 노동집약에서 기술집약적으로 변화함에 따라, 건식공법의 공장제작으로 공기 단축이 가능하고 대량 생산이 가능하며 인건비가 절감된다. 동시에 재활용이 가능하며 건설폐기 비용이 단축된다는 장점이 있다.

국내에서는 지속적인 연구와 더불어 실증단지를 조성하여 주거시설로 선보이고 있다.

2.2 영향요인(Affecting Factors)의 개념

모듈러 건축의 활성화가 저조한 가장 큰 이유는 수요자들의 품질에 대한 우려가 크기 때문이다. 지금까지 모듈러 건축을 활성화하기 위해 BIM 기술을 활용하거나 새로운 접합 기술에 대한 연구, 모듈 설계의 표준화 등에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 하지만 모듈러 건축을 이용한 주거시설에 대한 본질적인 수요에는 ‘품질(성능)’의 개선에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서 ‘영향요인(Affecting Factors)’은 연구의 범위 내에서 후속 공정인 유닛의 제작 단계(과정)과 유닛의 설치 및 조립(결과)에서 발생할 수 있는 품질 저하 요소를 모두 포함할 수 있는 포괄적인 개념으로 정의했으며, 앞으로 주거용 모듈러 건축이 활성화되기 위해 품질에 대한 영향 요인의 분석 및 관리는 필수적이다.

2.3 선행 연구 검토

모듈러 건축에 대한 국내 기존 문헌 분석 결과 모듈러 건축 공사의 국내외 사례 및 현황, 발전 방향, 활성화 방안, 구조적인 특성, 효율적인 모듈 생산의 신공법 등의 연구가 수행되었다. (표 2)

그러나 모듈러 건축 공사의 공장 제작 단계와 현장 설치 및 조립 단계가 원활히 진행되기 위해 설계단계에서 고려해야 할 영향요인은 무엇인지, 사전에 도출이 가능하여 예방할 수 있는지 등에 대한 구체적인 분석과 연구는 매우 미비한 실정이다.

이를 비추어 볼 때 본 논문은 공업화 공법을 사용한 건축의 제작 및 시공 단계에서 발생될 수 있는 영향요인을 도출하고 중요도를 평가하여 궁극적으로 시공 품질을 향상시키는데 기여하는 의의가 있다.

표 2. 모듈러 건축에 대한 연구 현황

저자	제목
황인호	In-Fill 모듈러 건설 공법의 BIM 활용성에 대한 연구
김동수	건물 유형별 사례분석을 통한 모듈러 공법 수요향출 방안 수립
이창재	국내 모듈러 주택의 특성 및 MC 설계를 통한 건축자재 표준화 효과 분석
김정학	국내외 주거용 모듈러 건축의 사례분석
김도민	유닛 모듈러 공법의 특성요인 분석 및 시장진출전략
김지현	주거시설로서 모듈러건축 활용화 방안

3. 영향요인 도출 및 분석

3.1 설계단계에서 고려해야 할 영향요인 도출

설계가 완료된 후 그 후속 공정인 모듈 제작 단계와 조립 및 시공 단계에서는 본질적인 리스크 보다는 예상하지 못한 돌발적인 리스크가 있을 수 있다. 이러한 상황들을 제외한다면 모든 발생할 수 있는 문제점과 고려사항에 대한 인식은 설계단계에서 이루어져야 후속 단계의 고품질을 기대할 수 있다.

다음 표 3.의 영향요인은 ‘모듈러 연구단(Modular Construction Future;MCF)’의 연구 보고서와 ‘가양 모듈러 실증단지’의 결과 보고서를 참고하여 도출한 것이며, 이는 후속 공정이 진행되기 전인 설계단계에서 미리 고려해야 할 항목들로 구성한다. 이를 통해 도출한 주요 품질 영향요인으로 총 15개의 항목을 선정했으며, 설문 대상은 모듈러 건축 관련 업종에 종사하고 있는 유경험자(2명)와 모듈러 건축 경험은 없지만 현장에서 20년 이상 경력을 보유하고 습식 RC공법의 숙련도가 충분한 시공 전문가(2인) 선정하였다.

3.2 영향요인의 중요도 평가 방법

도출한 각 영향요인들에 대한 유경험자와 무경험자의 설문을 통해 보다 현실적인 결과를 얻을 수 있었다.

중요도는 1(매우 낮음)부터 5(매우 높음)으로 분류하였으며 유경험자의 영향요인 중요도 합산 값과 무경험자의 영향요인 중요도 합산 값을 따로 산출한다. 이는 모듈러 건축의 영향요인에 대한 바라보는 관점이 다소 차이가 있으며 향후 영향요인에 대한 두 집단 상호간의 협력이 긴밀하게 이루어져야 고품질의 시공이 가능하기 때문이다.

또한, 유경험자와 무경험자의 전체 합산 값은 제작 및 시공단계 이전의 단계에서 미리 고려해야 할 항목에 대한 합산 점수이다. 산정한 점수 결과를 통해 영향요인에 대한 중요도를 항목별로 순위를 매길 수 있다. 이때 항목별 점수가 동일하다면 중요도도 마찬가지로 동일하다고 가정한다.

모듈러 건축의 품질에 대한 영향요인, 응답자 중 유경험자의 합산 값(A)와 무경험자의 합산 값(B), 항목별 전체 합산 값(A+B) 그리고 순위를 통해 모듈러 건축의 제작 및 시공단계가 이루어지기 전, 설계단계에서 고려해야 할 품질 영향요인에 대한 평가 시트를 만들 수 있다. (표 4)

표 4. 품질영향요인 평가 시트 예시

영향요인	중요도 합산 값		합계 (A+B)	순위
	유경험자 (A)	무경험자 (B)		

도출한 품질 영향요인에 대해 작성한 품질 영향요인 평가 시트는 설문조사 및 인터뷰의 자료로 첨부하여 대상자에게 배분하였다. 본 연구는 표본을 많이 선정하여 최대한 많은 응답을 요구하는 통계가 아니며, 소수의 전문가를 대상으로 선정하여 보다 정확성을 높이고자 하였다. 유경험자로 선정된 2인은 모듈러 건축에 대한 연구원으로 해당 분야에 종사중이며 무경험자로 선정된 2인은 시공경력 20년 이상인 건설사 시공전문가이다.

영향정도에 대한 우선순위의 기준은 응답자 전체(A+B)에 대한 합산 점수에 따라 낮음(0-5), 보통(6-10), 높음(11-15), 매우 높음(16-20)으로 구간을 선정하였다.

설문조사 결과 각 품질 영향요인에 대한 영향도(중요도)가 1-5점으로 정해졌으며 유경험자에 대한 응답(A)와 무경험자에 대한 응답(B)는 각 항목들에 대한 해당 응답자들의 합산 점수이다. A와 B에 해당하는 응답자 수는 각 2명 씩 이므로 점수의 범위는 2-10점으로 각각 동일하다.

다음은 영향요인부터 우선순위까지 한 번에 표시한 전체 평가 시트이다.(표 5.)

도출한 총 15개의 품질 영향요인 중 영향도(중요도)가 매

표 5. 품질 영향요인 평가 시트

영향요인	중요도 합산 값		합계 (A+B)	순위
	유경험자 (A)	무경험자 (B)		
모듈러 건축에 대한 제작-운반-시공의 최적화 시스템 미비	5	7	12	6
건식 공법 특성을 반영한 모듈러 건축의 설계 기준 미비	6	9	15	3
설계 표준화 및 시공 품질 매뉴얼 수립 미비	6	6	12	6
수요자 맞춤형 공법 및 모듈의 평면 구성으로 인한 표준화	3	2	5	9
경량화, 건식화 공법이 가능한 자재 및 공법의 부족	5	6	11	7
내진성능 등 구조안전성 검증 및 내화구조 적용의 층수 한계	8	10	18	1
기존의 건물 내화 기준과는 다른 기준의 필요성	6	8	14	4
모듈러 건축에 특화된 공장 기능공들에 대한 적합한 노무비의 책정 기준 모호	4	2	6	8
운반을 고려한 평면 폭 한계 및 주동계획 제한 요소 확인	6	6	12	6
운반 중 모듈의 파손 및 성능 저하로 인한 품질 유지 곤란에 대비한 모듈의 효율적인 운송 방법 미비	6	6	12	6
현장 설치 시 일반 현장 위주의 공법과는 차별화된 표준공정관리 체계 미비	9	5	14	4
적합한 양중 방법과 장비의 선정	6	7	13	5
모듈의 양중과정에서 모듈이 기울어질 수 있는 위험 존재	3	2	5	9
유닛 적층 및 접합의 고층화 한계	7	10	17	2
각종 설비배관 연결 공사 시 접합부의 정확도 확보	5	10	15	3

우 높음(16~20)으로 분류되는 항목은 총 2항목으로 모듈러 건축에 대한 내진성능과 같은 구조 안전성 검증과 현장 설치 시 적층 및 접합의 고층화에 대한 요인이 품질에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 영향도(중요도)가 높음(11~15)로 분류된 10개의 항목에 대해서는 모듈러 건축에 대한 시스템과 기준, 각 공정에 대한 방법 등 전반적인 체계에 관한 요인임을 알 수 있으며 표준화, 노무비, 모듈의 안전한 양중 등과 같이 모듈러 건축의 기본적인 특성에 대한 항목은 다소 영향정도가 낮은 것으로 나타났다.

또한 무경험자에 대한 설문조사의 결과를 통해 모듈러 건축의 시공적인 측면에 대한 높은 점수를 부여받은 것을 알 수 있다. 시공자의 입장에서는 접합방법, 고층화 방법과 건식 공법과 같은 실질적인 설치 및 조립에 대한 계획이 후속 공정에 더 큰 영향을 미치고 중요했다.

합산 점수로 산정한 우선순위는 모듈러 건축의 품질에 대해 우선적으로 고려해야 할 사항이 무엇인지 한 눈에 확인할 수 있도록 한다.

4. 결론

본 연구에서는 모듈러 건축의 제작 및 시공단계와 같은 후속공정이 원활히 진행되기 위한 영향요인을 도출하고 분석하였다. 모듈러 건축에 대한 지속적인 연구와 꾸준한 실증 계획에서 발생하는 영향요인들을 추가하면서 품질 영향요인 평가 체크리스트를 체계화시켜 보다 나은 품질을 제공할 수 있는 기초 방법을 제안하였다.

현재 국내 주거시설 특히 공동주택은 RC공법을 통한 시공이 이루어지고 있다. 하지만 대학생, 사회초년생, 신혼부부 등의 수요자와 1인 가구, 장기임대주택에 해당되는 가구

구조의 변화에 대한 수요가 늘어나고 있으므로 무엇보다도 빠르게 공급할 수 있는 공법이 필요하다. 이를 위해 모듈러 공법을 통한 주거용 건물의 품질의 향상은 필수적이며 현재의 주거성능과 동일한 품질수준에 도달하게 된다면 시장의 안정과 동시에 효율적인 공급이 가능해질 것이다.

본 연구는 설문조사와 인터뷰에 대한 표본이 다소 부족하여 품질 영향요인 평가에 대한 정확성은 확보하지 못한 한계점이 있지만, 본 연구를 통해 작성된 평가 체크리스트를 바탕으로 후속공정에서 리스크로 발전할 수 있는 요소들을 사전에 인지하고 대처할 수 있는 기반이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- 신현규, 모듈러 건축 프로세스 기반 시공단계 위험 관리 방안에 관한 기초연구, 대한건축학회 논문집 36권 2호, p.1068, 2016
- 강환희, 모듈러 건축 활성화를 위한 영향요인 비교분석, 전국대학생학술발표대회 논문집 10권, p.139, 2015
- 김동수, 건물 유형별 사례분석을 통한 모듈러 공법 수요창출 방안 수립, 한국건설관리학회 논문집 14호, p.164, 2013
- 이창재, 국내 모듈러 주택의 특성 및 MC 설계를 통한 건축 자재 표준화 효과 분석, 한국주거학회 논문집 26호, P.103, 2015
- 김도민, 유닛 모듈러 공법의 특성요인 분석 및 시장진출전략, 한국건설관리학회 논문집 15호, P.78, 2014