

Research Paper

모듈러 공공주택의 하자분석을 통한 품질 개선 방안

Quality Improvement Measures of Modular Public Rental Apartment Houses through Defects Analysis

이순구¹ · 김규용² · 남정수^{2*}

Lee, Soon Guh¹ · Kim, Gyu Yong² · Nam, Jeongsoo^{2*}

¹Master's Course, Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34134, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 34134, Korea

*Corresponding author

Nam, Jeongsoo
Tel : 82-42-821-5629
E-mail : j.nam@cnu.ac.kr

Received : April 30, 2024

Revised : May 20, 2024

Accepted : June 5, 2024

ABSTRACT

Modular apartment houses are a relatively new approach to public housing in South Korea. While promising in terms of efficiency and potential cost benefits, initial occupancy and maintenance data highlight areas for improvement in quality control. Analysis of defects reported during occupancy and maintenance stages revealed a high prevalence of issues with wallpaper and flooring. This suggests a need for stricter quality control measures during the production and installation of these building components. Furthermore, maintenance data identified shortcomings in the waterproofing methods employed for roofs, as well as in the design and construction management of connections between the low-rise concrete frames and the modular units themselves, including balconies. These findings point towards the importance of meticulous design and rigorous construction management practices to ensure the long-term durability of these critical building elements. Finally, the research suggests that unifying responsibility for construction management by awarding contracts for both the frame and the modular units to a single company could improve overall quality control. This approach could potentially mitigate issues arising from divided responsibility and streamline communication channels. By addressing these quality control concerns, modular construction has the potential to become a more widely adopted and successful method for delivering public housing in South Korea.

Keywords : modular, public rental, apartment house, defects, quality improvement measures

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

공공주택은 공공재로서 그 시공 및 관리를 효과적으로 하여야 한다. 공공주택은 도심지 등에서 짧은 공기 내에 소음·진동 및 비산먼지를 최소화하여 시공하거나, 재난 구호 주택으로서 신속하게 시공 및 충분한 기간 동안 사용한 이후 필요에 따라 철거하고 폐기물을 최소화 시키면서 재사용할 수 있는 구조로 공급하기에 적합해야 한다. 모듈러 공법이 이러한 요구에 가장 유리하다고 판단된다. 그런데, 현재는 공장에서 생산되는 컨테이너 박스라는 이미지를 탈피하기 시작하는 초기단계로서 여러 프로젝트에 시험적으로 적용되고 있는 수준이다. 이제는 그 발주 물량을 지속적으로 늘려 주택으로서의 사용 및 거주에 문제가 없도록 그 기술력을 축적하여야 할 것이다.

모듈러 공법의 건물은 국내에서 2003년 모듈러 학교 시범 건립사업 추진 이후 군 시설, 업무 시설, 임시 주거 시설 등에 적



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

용되고 있다[1]. 공공주택으로서는 서울주택도시공사에서 2014년에 최초로 시도한 모듈러 공공기숙사는 짧은 공사 기간 내에 건물을 완공하여 대학생을 입주시키기 위해 모듈러 공법을 적용하였고, 2013년에 국토교통과학기술진흥원 주거환경 연구 사업으로 ‘수요자 맞춤형 조립식 주택 기술개발 및 실증단지 구축’ 국책과제 연구단이 출범하여 그 실증단지로서 2017년에 국내 최초로 모듈러 공공주택을 건설하여 완공하게 되었다. 2018년에는 맞춤형소규모 임대주택으로 주택밀집지에 분진 및 소음과 건설 중 장비사용으로 보행자 및 차량이 제한되는 문제를 해소하고자 소규모 공공임대주택 12호를 모듈러 공법으로 시공하여 공급하였다[2]. 한국토지주택공사에서는 2017년에 다세대주택 14호 규모의 모듈러 주택을 시작으로 2019년 및 2020년에 4~6층 규모로 모듈러 주택을 공급하였다. 이후 경기주택도시공사에서 그 간의 저층 중심에서 탈피하여 3시간 내화가 필요한 13층 이상 중고층형 모듈러주택 공급 상용화를 위해 국가 R&D연구단의 실증단지 13층 규모의 행복주택을 모듈러주택으로 2023년 완공하였다[3].

이러한 초기에 시행한 프로젝트가 성공적으로 시공되고 현재까지 잘 이용되고 있는 것도 있지만 그렇지 못한 사례도 있다. 현장조사 결과 관계자에 따르면 모듈러 주택에서는 누수가 많이 발생하고 그 보수도 어렵다는 점이다. 따라서 향후 모듈러 주택의 지속적인 확대 공급을 위해서 그 하자에 대해 원인을 면밀히 분석하여 대책을 강구해야 할 것이다. 본 연구에서는 모듈러 공법으로 지어진 공공주택에 대하여 입주단계에서 발생한 하자과 입주 후 유지단계에서 발생한 하자로 구분하여 분석하였으며, 이를 일반 철근콘크리트 공법으로 지어진 공공주택과 비교하여 그 차이를 분석하고 대책을 강구함으로써 모듈러 주택의 하자를 예방하고 품질을 개선하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 모듈러 공공주택 하자 자료는 국내 건설된 공공주택으로 사용되고 있는 모듈러 공동주택을 대상으로 하였으며, 입주단계의 경우 3개 단지의 ‘입주 시행 전 자체점검’ 및 ‘입주자 사전 점검’을 통한 하자를 대상으로 00기관의 관리자료와 △△건설사의 자료를 기반으로 하자빈도를 분석하였다. 입주 후 유지보수 단계는 최근에 준공한 1개 단지는 제외하고 2014년에 준공된 1개 단지를 추가하여 기존 2017, 2018년에 준공된 2개 모듈러 공공주택과 더불어 총 3개 단지를 대상으로 하였는데, 시공사의 하자보수 기간 이후 발생한 유지보수 단계에서의 00기관의 관리자료를 검토하여 보수 소요 원인에 대해 분석하였다.

또한 검토 대상 모듈러 주택과 기존 철근콘크리트 공법의 차이를 비교하기 위해 00기관의 관리자료를 분석하였는데 입주 단계에서는 기존 철근콘크리트 공법의 공공주택 중 최근 5년간 2018~2023년에 준공된 50~600세대 규모의 총 21개 단지 7,010세대를 대상으로 입주자 사전점검 하자 빈도 및 하자원인을 분석하였다. 입주 후 유지보수 단계의 하자에 대해서는 모듈러 주택과 준공시기가 유사한 2014~2018년 사이에 건설된 소규모 공공주택으로 20~400세대 규모의 총 23개 단지 3,902세대를 대상으로 시공사 하자 종료 이후 발생한 하자에 대해서 모듈러 주택과 비교하여 분석하였으며, 본 연구의 절차는 다음과 같다.

- 1) 이론적 고찰을 통해 모듈러 주택의 개념과 특성, 공동주택 하자의 개념과 입주자 사전점검 그리고 유지보수단계에서의 하자보수에 대하여 정리하였다.
- 2) 하자 빈도 분석에 있어서 하자비율은 개별단지의 하자를 모두 합한 전체 하자발생 총 건수에서 해당 공종 또는 소공종이 차지하는 발생건수 비율을 백분율로 나타내었다. 입주단계에서의 하자 빈도 분석은 세대 내부 하자에 대하여 건축, 기계, 전기, 통신 4개 공종으로 분류하고, 대공종 아래 소공종의 분류는 발생빈도가 가장 높은 건축공종에 대하여 PL창호, 현관문, 기타창호, 도배, 바닥재, 미장, 수장, 실링, 조적, 타일, 석공사, 금속, 지붕 및 흙통, 준공청소, 일반가구, 주방가구, 건축기타 총 17개 소공종으로 분류하고 그 발생빈도를 분석하였다. 입주 후 유지보수 단계에서는 입주단계와 유사하나 토목조경 공종을 포함한 대공종으로 분류하였고, 세부분류는 발생비율이 높은 건축공종의 하자 원인에 대해

여 파악할 수 있도록 건축누수를 포함하여 유지보수 소요에 대한 원인을 중심으로 발생빈도를 분석하였다.

- 3) 하자의 발생빈도를 알아낸 이후 모듈러 공법과 철근콘크리트 공법과의 비교를 통하여 그 하자 발생의 차이점을 파악하고 중점적으로 개선해야 될 부분에 대한 대책 및 개선방안을 검토하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 공공주택 하자

모듈러 주택 중에 현재 주로 사용되어 지고 있는 적층식 공법은 철근 콘크리트 구조로 하부 구조체와 계단을 먼저 시공한 다음 그 하부 구조체 위에 모듈러 유닛을 쌓아 올리는 공법으로서 공장 제작율이 80% 정도로 일반 건축공사보다 공사기간을 단축할 수 있고, 중저층 및 고층에 적용할 수 있는 장점이 있으나 모듈러와 비모듈러 접합부에 대한 품질 확보가 중요하다[4]. 모듈러 공공주택의 하자에 대한 선행연구 결과로 주요하자 비율은 도배(24.6%), 건축기타(10.1%), 실링공사(7.9%), UBR(6.7%), 주방가구(8.7%), PL창호(9.6%)이며, 일반 아파트의 하자 발생 공종과 비슷한 것으로 분석되었다[3].

하자의 법적 정의는 공동주택관리법에서 규정하고 있으며[5], 그 판정기준은 국토교통부 고시 하자 판정 기준으로서 하자심사분쟁조정위원회에서 하자에 관한 분쟁을 신속하고 공정하게 하기 위해 제정되었다. 하자 판정 기준에서 그 대표적인 내용으로 도배하자는 “시공 상 결함 등이 원인이 되어 도배지 및 시트지에서 발생한 들뜸, 주름, 이음부 벌어진 등으로 인해 미관상 지장을 초래하는 경우에 시공하자로 본다.” 라고 규정하고 있고, 누수하자 중의 방수하자 상시 누수상태는 “지붕, 최하층 바닥 및 지하층 외벽 등의 누수”로 그 범위를 정하고 있다[6].

2.2 공동주택의 하자점검 및 하자보수담보책임기간과 공공주택 유지보수

공동주택은 입주단계에서 주택법에 따라 “사용검사를 받기 전에 입주예정자가 해당 주택을 방문하여 공사 상태를 미리 점검(사전방문)” 하도록 하고 있다[7]. 본 연구 분석 자료의 00기관에서는 입주단계 하자점검에 대하여 공동주택 사전방문(입주자 사전점검)을 포함하여 3단계로 나누어서 실시하고 있는데 1단계는 입주자가 사전점검을 실시하기 전에 공사 준공일 5일전에 실시하는 ‘자체 점검’, 2단계는 ‘입주자 사전점검’, 3단계는 입주자 사전점검 결과를 보수 후 확인하는 ‘확인 점검’을 시행하여 입주 후 입주자의 불편을 최소화하고 있다.

공동주택은 공동주택관리법에서 하자보수담보책임기간을 정하고 있으며, 도배 등 마감공사는 2년, 방수공사는 5년으로 정하고 있는데 이는 법규개정에 따라 당초 마감공사 1년, 방수공사 3년(이후 4년으로 연장)에서 점차 늘어난 것이다[5].

공공주택의 하자보수담보책임기간 만료 이후 발생한 시설보수 소요에 대하여 본 연구 분석 자료의 00기관에서는 다음과 같이 보수를 시행하고 있다. 보수대상 및 계약방법에 따라 단가보수, 계획수선, 일반수선 등으로 구분하여 시행하는데, 긴급보수 및 수선을 요하는 공사는 단가보수(누수 등 긴급하게 발생하는 시설보수 요구에 대해 정확한 물량을 확정하여 산정하기 어렵기 때문에 단가만을 정하고 추정물량으로 계약 후 추후 시공물량에 따라 정산하는 시설보수 공사)로 시행하고 있다. 계획보수는 기존에 적립해 놓은 특별수선충당금을 사용하여 시설별 정해진 내구연한이 도래했을 때 정확한 물량을 산출하여 해당 공사를 발주하여 시행하는 방법이며, 일반수선은 단가보수 및 계획수선에 해당하지 않는 것에 대해 시설개선 등을 위하여 시행하는 유지보수 방법이다. 본 연구에서는 시설보수에서 높은 비율을 차지하고 있는 2년 이상 거주 후 퇴거한 세대를 대상으로 시행하는 단가보수인 바닥재(장판), 도배 등은 분석 대상에서 제외하였다.

3. 모듈러 공공주택 하자유형 도출

3.1 모듈러 공공주택 입주단계 하자 분석

3.1.1 개요

모듈러 공공주택 입주단계 하자에 대해서는 3개 단지를 대상으로 분석하였다. 3개 단지 모두 적용공법은 철근콘크리트조의 하부 구조체를 시공하고 그 위에 유닛모듈을 쌓아서 건설하는 적층식 공법에 해당된다. 분석대상인 단지현황은 Table 1과 같다.

Table 1. Description of modular public rental apartment houses analyzed

Project	Number of household	Exclusive area type(m ²)	Unit size(m)	Floors above the ground	Building numbers	Completion time
A	106	17, 37	3.3×9.4	13	1	2023.04.
B	12	16, 33	3.2×5.2	5	1	2018.03.
C	30	16, 34	3×5.7	4, 6	2	2017.11.

3.1.2 대공종 하자 빈도분석

하자 빈도 분석은 입주단계 하자점검 중 자체점검과 입주자사전점검 결과에 대하여 건축, 기계, 전기, 통신 4개 공종으로 분류하고, 대공종의 빈도수를 분석한 결과 각 단지별로 공히 건축공종의 하자 비율이 압도적 높았으며, 전체적으로는 건축공종의 하자발생률이 91.3%에 이르고 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Frequency ratio of defects by construction work in modular public rental apartment houses

Project	Building	Machinery	Electricity	Communication	Stage of inspection
A	92.0%	6.5%	1.5%	0.0%	The prospective tenant inspection
B	90.3%	5.5%	4.2%	0.0%	Self /The prospective tenant inspection
C	87.1%	6.9%	5.0%	1.0%	Self inspection
Total	91.3%	6.5%	2.1%	0.1%	

3.1.3 건축공종 소공종 하자 빈도분석

대공종의 발생빈도가 높은 건축공종에 대하여 소공종으로 나누어 발생빈도를 분석하였다. 소공종의 분류는 모듈러 공법의 특성상 양중 및 이동에 있어 외부충격에 따른 하자여부의 비율을 파악하기 위하여 PL창호와 현관문 및 기타창호로 세분하였고, 일반적으로 건축공종에서 수장공사로 분류하는 도배와 바닥재와 실링공사는 하자발생 빈도가 높은 것을 고려하여[3] 세분하여 분석대상에 포함시켰다. 전체 분류 소공종은 다음과 같이 PL창호, 현관문, 기타창호, 도배, 바닥재, 미장, 수장, 실링, 조적, 타일, 석공사, 금속, 지붕 및 흙통, 준공청소, 일반가구, 주방가구, 건축기타 총 17개 소공종으로 분류하였다. 하자발생률을 분석한 결과, 그 발생빈도는 도배-주방가구-실링-일반가구-기타창호-바닥재-준공청소-수장-현관문-PL창호-UBR-타일-도장-석공사-건축기타-금속-미장 순으로 나타났으며 그 비율은 Table 3과 같다.

Table 3. Frequency ratio of defects by building element in modular public rental apartment houses

Project	Ratio
Wallpaper	25.0%
Kitchen cabinet	11.3%
Sealing	10.5%
General furniture	8.1%
Door/Window	7.3%
Flooring	7.1%
Completion cleaning	6.8%
Interior finishing	5.4%
Front door	4.2%
PL window	3.8%
UBR	3.5%
Tile	2.8%
Painting	1.8%
Stone	1.4%
etc.	0.4%
Metal	0.3%
Cement plastering	0.3%
Total	100.00%

3.2 모듈러 및 일반 철근콘크리트 공공주택 입주단계 하자 분석 비교

3.2.1 개요 및 대공종 하자빈도 비교

모듈러 공공주택의 입주 하자율과 일반 철근콘크리트조 공공주택의 입주 단계 하자발생 빈도를 비교 분석하기 위해 모듈러 공공주택이 최근 2017~2023년 준공된 소규모 세대임을 감안하여 비교 대상 일반 철근콘크리트조 공공주택도 비슷한 시기와 규모를 고려하였다. 비교 대상 일반 철근콘크리트조 공공주택은 2018~2023년에 준공된 50~60세대 규모의 총 21개 단지 7,010세대 공공주택을 대상으로 입주 1단계 자체점검 및 2단계 입주자 사전점검 자료를 분석하였다. 대공종 건축, 기계, 전기, 통신에 대해서 분석한 결과 일반 철근콘크리트조 공공주택도 모듈러 공공주택과 유사하게 건축공종이 많은 비율을 차지하고 있으며 그 비율은 95.1%로서 모듈러의 91.3%와 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다(Table 4 참조).

Table 4. Comparison of frequency ratio of defects by construction work between RC and modular public rental apartment houses

Method	Building	Machinery	Electricity	Communication	Total
RC	95.1%	2.4%	1.8%	0.7%	100.0%
Modular	91.3%	6.5%	2.1%	0.1%	100.0%

3.2.2 건축공종 소공종 하자빈도 비교 및 분석

하자의 발생빈도가 높은 건축공종에 한해 모듈러 공법과 같은 소공종으로 분류하여 발생빈도를 분석하였다. 소공종의 하자 발생빈도를 분석한 결과 일반 철근콘크리트구조의 공공주택에서는 도배-기타창호-실링-타일-도장-주방가구-수장-일반가구-UBR-준공청소-석공사-PL창호-건축기타-바닥재-현관문-미장-금속의 순으로 높은 하자빈도가 나타났으며 모듈러와 대조한 결과는 Figure 1과 같고 그 비율은 Table 5와 같다.

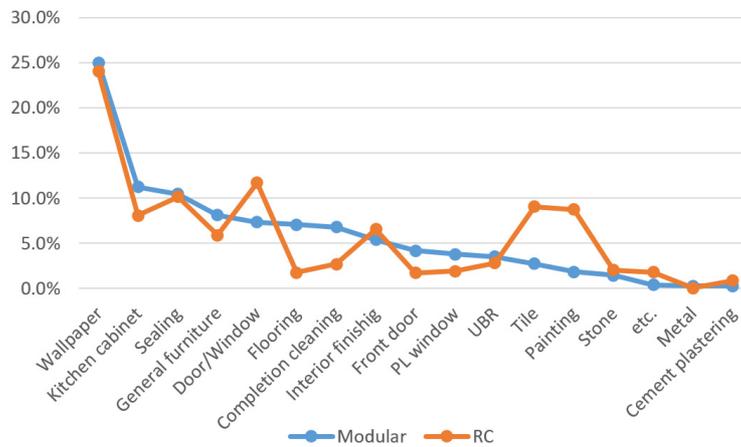


Figure 1. Comparison of frequency ratio of defects by building element

Table 5. Comparison of frequency ratio of defects by building element between RC and modular public rental apartment houses

Method	RC	Modular
Wallpaper	24.1%	25.0%
Kitchen cabinet	8.1%	11.3%
Sealing	10.2%	10.5%
General furniture	5.9%	8.1%
Door/Window	11.7%	7.3%
Sub-total	60.0%	62.2%
Flooring	1.8%	7.1%
Completion cleaning	2.7%	6.8%
Interior finishing	6.5%	5.4%
Front door	1.7%	4.2%
PL window	1.9%	3.8%
UBR	2.8%	3.5%
Tile	9.0%	2.8%
Painting	8.8%	1.8%
Stone	2.0%	1.4%
etc.	1.8%	0.4%
Metal	0.1%	0.3%
Cement plastering	0.9%	0.3%
Total	100.00%	100.00%

3.2.3 건축공종 소공종 하자 빈도 분석

소공종에 대한 하자 발생빈도를 분석한 결과 두 공법 모두 도배, 주방가구 및 일반가구, 실링 및 기타창호공사에서 거의 대부분인 60% 이상의 하자가 발생하였으며(Table 5 참조) 모듈러가 일반 철근콘크리트 공법보다 기타창호 및 타일, 도장공사에서 하자가 작은 비율로 나타났다. 이는 현장 습식 공법 시공보다는 공장생산의 건식공법에 의해 정밀 시공이 가능함에 따라 하자 저감이 가능했던 것으로 판단된다. PL창호 및 현관문은 공장생산 후 적재, 운송, 현장 양중 및 적층 시공에 있어서 하자가 많이 발생할 것으로 추정되었으나 일반 공법과 비해 큰 차이를 보이지 않았다.

3.2.4 건축공종 소공종 하자 내용 분석

소공종 중 모듈러 공법에서 하자가 많이 발생한 바닥재 공사에 대해 일반 철근콘크리트공법과의 하자 유형을 분석한 결과 Table 6과 같이 들뜸, 틈새 등 시공 상 문제 보다는 찍힘·흠집, 오염·이색 등 시공 후 보양상의 문제가 있는 것으로 분석되었다.

Table 6. Comparison of frequency ratio of defects by cause in flooring work between RC and modular public rental apartment houses

Method	Not attached	Gap	Sub-total	Scratch	Contamination	Sub-total	Total
RC	35.6%	38.0%	73.6%	21.5%	4.9%	26.4%	100.0%
Modular	14.8%	11.1%	25.9%	66.7%	7.4%	74.1%	100.0%

3.3 모듈러 공공주택 유지보수 단계 하자 분석

3.3.1 개요

입주 후 유지보수 단계의 하자에 대해서도 3개 단지를 대상으로 분석하였다. 기존 2017년 및 2018년 준공 단지는 포함하되 최근에 준공하여 입주한 1개 단지는 제외하였으며 대신에 2014년에 준공되어 입주 후 상당히 기간이 지난 모듈러 공법 단지를 분석에 포함시켰다. 이 단지 역시 적용공법은 철근콘크리트조 하부 구조체 위에 모듈을 쌓는 적층식 공법으로 시공되었다. 분석대상 단지현황은 Table 7과 같다.

Table 7. Description of the modular public rental apartment houses analyzed in the maintenance stage

Project	Number of household	Exclusive area type(m ²)	Unit Size(m)	Floors above the ground	Building numbers	Completion time
B	12	16, 33	3.2×5.2	5	1	2018.03.
C	30	16, 34	3×5.7	4, 6	2	2017.11.
D	22	22	2.2×6.1	4	1	2014.03.

3.3.2 대공종 하자 빈도분석

하자 빈도 분석은 입주단계 하자점검과 마찬가지로 대공종에 대하여 우선 검토하였으며, 그 결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Frequency ratio of defects by construction work in public rental apartment houses during maintenance

Project	Building	Machinery	Electricity	Communication	Civil engineering and landscape
B	33.3%	48.9%	11.1%	4.5%	2.2%
C	35.0%	57.5%	5.0%	2.5%	0.0%
D	56.9%	21.6%	16.9%	1.5%	3.1%
Total	44.0%	39.3%	12.0%	2.7%	2.0%

상기 하자 분석에 있어서 입주 후 재공급에 따른 도배, 바닥재, 도장 등 입주자를 위한 건축공종 입주예정세대 보수는 제외하였다. 그 결과 Table 8과 같이 건축공종의 하자 발생 비율은 기계공종에 비해 작거나 조금 더 큰 정도이며 전체적으로는 건축공종의 하자 비율이 44%로서 더 높게 발생하였으며 그 다음으로는 기계, 전기, 통신, 토목 및 조경 순으로 발생하였다.

3.3.3 건축공종 하자 요인 분석 및 연차별 누수하자 발생 현황

하자 발생 빈도가 높은 모듈러 공법의 건축공종 각 유지보수 단계의 하자 요인에 대해서 확인한 결과 Table 9와 같이 건축 부분의 누수가 42.4%로서 다른 노후수선이나 시설개선 보다 더 높은 비율을 차지하고 있다.

Table 9. Frequency ratio of defects by cause in public rental apartment houses during maintenance stage

Project	Leakage of building	Maintenance due to aging	Facilities improvement	Total
B	46.7%	40.0%	13.3%	100.0%
C	42.8%	28.6%	28.6%	100.0%
D	40.5%	43.3%	16.2%	100.0%
Total	42.4%	39.4%	18.2%	100.0%

Table 10과 같이 건축부분의 누수하자는 준공 후 5~7년차 사이에 많이 발생하고 있으며, 이후 지속적으로 발생하여 10년 차에 이르러서는 건축하자 중 누수가 65.6%에 이를 정도로 많은 비율을 차지하는 것으로 확인되었다.

Table 10. Leakage in public rental apartment houses by building age

Project	4 years old	5 years old	6 years old	7 years old	8 years old	9 years old	10 years old	Total
B	-	-	53.3%	46.7%	-	-	-	100.0%
C	-	-	63.2%	36.8%	-	-	-	100.0%
D	3.3%	12.3%	4.9%	-	6.6%	7.4%	65.6%	100.0%
Total	2.0%	7.3%	26.3%	17.1%	3.9%	4.4%	39.0%	100.0%

3.4 모듈러 및 일반 철근콘크리트 공공주택 유지보수 단계 하자 분석 비교

3.4.1 개요 및 대공종 하자빈도 비교

모듈러 공공주택의 유지보수 단계 하자과 일반 철근콘크리트조 공공주택과의 하자발생 빈도를 비교 분석하였으며 비교 대상 모듈러 공공주택이 최근 2014~2018년 준공된 소규모 세대임을 감안하여 일반 철근콘크리트조 공공주택도 2014~2018년에 준공된 20~40세대 규모의 총 23개 단지 3,902세대의 임대단지를 대상으로 입주 후 시공사의 하자기간 만료 후 유지보수 단계에서의 하자자료를 분석하였다. 대공종 건축, 기계, 전기, 통신 및 토목조경에 대해서 분석한 결과 일반 철근콘크리트조 공공주택도 모듈러 공공주택과 유사하게 건축공종이 많은 비율을 차지하고 그 비율은 51%이며 모듈러와 마찬가지로 타 공종에 비해 건축공종의 빈도가 높은 것으로 분석되었다. 그 결과는 Table 11과 같다.

Table 11. Comparison of frequency ratio of defects by construction work between RC and modular public rental apartment houses during maintenance

Project	Building	Machinery	Electricity	Communication	Civil engineering and landscape
RC	51.0%	39.2%	6.0%	3.6%	0.2%
Modular	44.0%	39.3%	12.0%	2.7%	2.0%

3.4.2 건축공종 하자 요인 분석 및 년차별 누수하자 발생 현황

철근콘크리트 공법의 건축공종 하자 주요 요인을 분석한 결과 일반 철근콘크리트에서는 모듈러 공법에서 건축누수가 42.4% 차지하는 것과 다르게 노후수선 부분이 66.9%로서 16.9%인 건축누수보다 더 빈도가 높았으며 그 비율은 Table 12와 같다.

Table 12. Comparison of frequency ratio of defects by cause between RC and modular public rental apartment houses during maintenance

Project	Leakage of building	Maintenance due to aging	Facilities improvements	Total
RC	16.9%	66.9%	16.2%	100.0%
Modular	42.4%	39.4%	18.2%	100.0%

Table 13과 같이 발생 연차별로 분석한 결과 철근콘크리트 공법의 건축누수는 준공 후 6~7년차 이후부터 많이 발생하기 시작하는데 이는 5~6년차 사이에 많이 발생하기 시작하는 모듈러 공법에 비해서는 조금 늦게 발생하는 편이다.

Table 13. Comparison of building leakage by building age between RC and modular public rental apartment houses during maintenance

Project	4 years old	5 years old	6 years old	7 years old	8 years old	9 years old	After 10 years old	Total
RC	0.4%	3.9%	10.5%	29.4%	13.8%	14.3%	27.6%	100.0%
Modular	2.0%	7.3%	26.3%	17.1%	3.9%	4.4%	39.0%	100.0%

4. 하자 분석에 따른 품질개선 방안

4.1 건축공종 빈발 하자 품질 개선방안

모듈러 공법의 건축 소공종별 빈발 주요하자로는 도배, 주방가구 및 일반가구, 실링 및 기타창호공사이다. 3.2.3 건축공종 소공종 하자 빈도 분석에서와 같이 공장생산 후 적재, 운송, 현장 양중 및 적층 시공에 있어서 하자가 많이 발생할 것으로 추정되는 유닛모듈 외곽에 설치되는 PL창호 및 현관문이 하자발생빈도가 낮고, 일반 철근콘크리트공법 대비하여 그 비율이 차이가 많이 나지 않으므로 도배, 주방가구 및 일반가구, 실링 및 기타창호공사 또한 모듈러 공법의 특징인 ‘적재, 운송, 현장 양중 및 적층 시공’으로 인한 하자발생은 낮은 것으로 추정할 수 있다. 따라서, 일반 철근콘크리트 공사 공공주택과 동일하게 공장생산단계에서 적절한 품질관리를 시행한다면 모듈러 공법에서도 하자를 줄이고 품질을 개선할 수 있을 것으로 본다. 특히 건축 하자의 25%의 비중을 차지하고 있는 도배공사 경우 선행연구에 따르면 들뜸/탈락이 32.5%, 도배지 틈새 벌어진 이 20.2%, 이색/변색/오염과 표면흠집이 각각 17.2%, 10.9%의 비중을 차지하고 있는데, 이의 대책으로 바탕면 처리 철저, 동절기 및 우기 시공 지양, 도배공사 완료 후 보양 철저 및 충분한 잔손보기 기간을 확보하여야 할 것이다[8].

또한 하자가 많이 발생하는 폭이 좁은 부위와 벽체가 꺾이는 부위 등에는 아예 도배공사를 적용하지 않고 목재, 타일 등 기타 내부마감 수장재료를 사용하여 원천적으로 하자를 배제하는 방법 또한 고려해 봐야 할 것이다.

모듈러 공법에서 일반 철근콘크리트 공법보다 높은 비율로 발생하고 있는 건축공종 하자가 바닥재 보양 미흡에 의한 찌힘·흠집, 오염·이색과 준공청소 미흡으로 나타났다. 이는 모듈러 공사의 정형화된 공장생산 단계에서 공정관리를 통해서 철저히 관리를 한다면 보양, 청소 등의 문제는 충분히 해결할 수 있을 것으로 보이며, 특히 대부분의 공장생산은 별도의 납품

업체와 원도급자가 계약을 하여 하도급의 형태로 진행하고 있기 때문에 공장생산 시 시공관리자 및 감리자 등이 상주하여 품질을 철저히 관리하여야 한다.

4.2 건축누수 하자 개선방안

모듈러 공공주택 건축 누수 부분에 대한 현장 조사 결과 대부분의 누수가 평지붕의 단부(Figure 2 참조)와 노출 방수 공법(Figure 3 참조)에서 발생하였다. 또한 적층식 모듈러 저층 하단부에서의 철근콘크리트 구조부와 모듈러 유닛의 접합부와 외부로 노출된 발코니 등의 방수턱 부위에서 누수가 발생하였다.

앞에서 살펴본 바와 같이 대부분의 누수가 5~6년차에서 많이 발생되었으며 초창기 건축된 모듈러 공공주택의 옥상방수 공법이 노출공법으로서 그 복합방수가 자외선에 의한 열화 등으로 방수의 역할을 제대로 못하는 것으로 현장조사결과 확인되었다. 따라서, 방수공법은 가능한 경사지붕으로 물매를 주어 누수가 되지 않도록 하되, 평지붕이 불가피 할 경우에는 노출방수공법을 지양하고 비노출방수 공법을 사용하여야 하며 모듈러 공사 완료 후 노출방수 부분은 방수보호층의 시공이 반드시 필요하다. 파라펫 난간 등에는 물끊기흙과 벽체 방수 보호누름을 반드시 설치하고 외부로 노출된 발코니 등에는 창호 하부에 방수턱을 설치하여 우수 유입을 막아야 한다.

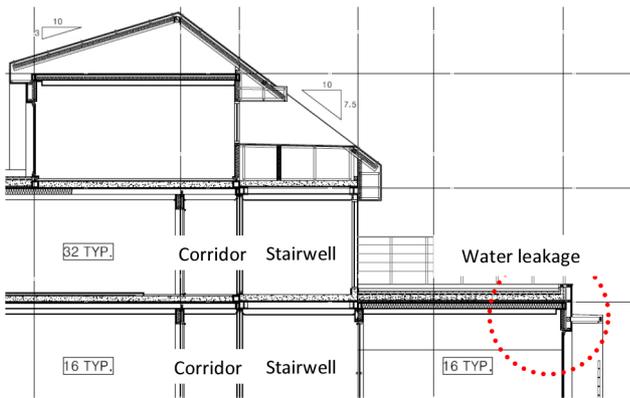


Figure 2. Water leakage at ends of flat roof in a modular public rental apartment house

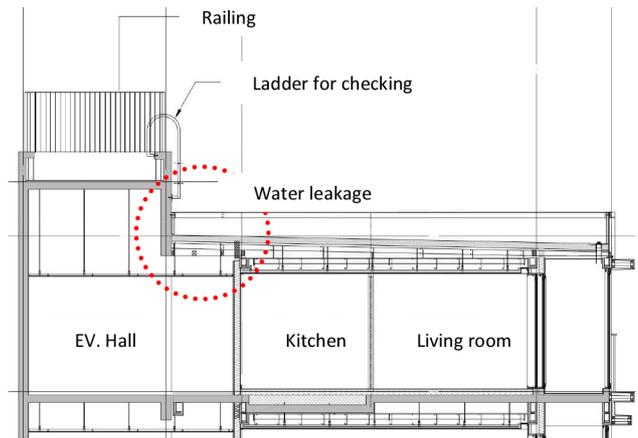


Figure 3. Water leakage due to exposed waterproofing in a modular public rental apartment house

그리고 모듈러와 콘크리트 골조 부분의 시공을 별도로 발주할 경우 공장시공 부재와 현장시공 부분의 접합부 관리가 이원화되고 관리가 어려우므로 전체 시공관리가 일원화 되도록 골조부분과 유닛모듈 부분의 2개 시공사를 별도로 발주하는 방법은 지양해야 한다. 전체를 총괄하여 관리하는 1개 업체로 시공사를 발주 및 선정하여 품질관리를 철저히 하는 방안을 강구하여야 하며, 유닛모듈의 공장 시공단계에서는 원도급업체의 공사관리자 및 별도의 공사감리자를 상주시켜 시공관리가 이루어질 수 있도록 해야 될 것이다.

공동주택에서의 마감공사 하자기간은 2년이나 대부분의 공종별 하자는 2년 이후에도 나타나고 있으며, 60% 정도만이 하자담보책임기간 내에 청구되고 있는 실정이다[9]. 따라서, 모듈러 누수 하자가 준공 5년 이후부터 10년차 이후까지도 계속 발생하고 있으므로 품질 수준을 높일 수 있도록 모듈러 공사에 한하여 방수하자 기간을 현행 5년에서 10년까지 늘려 계약특수조건으로 정하여 시공자와 계약체결 하는 것도 하나의 방안이 될 것이다.

5. 결론

국내 공공주택으로 활용되고 있는 모듈러 공동주택은 도입 초기 단계에 있으며, 그 보급의 활성화를 위해 입주단계 하자 및 입주 후 유지보수 단계의 하자를 분석하였으며, 각 단계에서 일반 철근콘크리트 공법의 공공주택과 비교하였다. 본 연구를 위해 공공주택 모듈러는 입주단계 및 유지보수단계는 3개 단지를 분석하였으며, 일반 철근콘크리트 공법 공공주택은 입주단계 총 21개 단지 7,010세대, 유지보수단계 총 23개 단지 3,902세대를 비교하였고 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 입주단계에서의 하자의 경우 모듈러 공법과 일반 철근콘크리트 공법 모두 건축공종이 많은 하자비율을 차지하고 있으며 세부공종에 있어서는 모듈러 공법과 일반 철근콘크리트 공법에서 도배, 주방가구 및 일반가구, 실링 및 기타창호공사에서 거의 대부분인 60% 이상의 하자가 발생하였다. 가장 많은 비율을 차지하고 있는 하자는 도배공사로서 들뜸과 오염 하자에 대하여 바탕처리 및 보양 등의 품질관리를 우선적으로 시행하여야 하고, 모듈러 공사가 일반 철근콘크리트 공법에 비해 높은 하자 비율을 가지고 있는 바닥재의 찍힘·흠집과 준공청소의 하자는 공장에서의 시공에서도 타 작업에 의한 불필요한 훼손이 발생되지 않도록 반드시 보양을 실시하는 등 모듈러 유닛에 대해 관리를 해야 한다.
- 2) 유지보수단계에서의 하자의 경우 모듈러 공법은 건축누수가 일반 철근 콘크리트공법에 비해 2.5배 이상 많은 비율을 차지하고 있다. 그 하자발생 부위는 지붕공사의 노출방수공법에서 발생되고, 저층부에서의 콘크리트 골조와 모듈러 연결부위 및 모듈러 부분 발코니와 같은 외부에 노출된 부위에 대한 방수처리 미흡이 주요 원인으로 파악된다. 그 대책으로서 지붕공사는 비노출방수 공법을 도입하여 모듈러 공사 완료 후 방수보호층의 시공이 필요하며, 설계단계에서 콘크리트 골조와 모듈러 접합부 및 모듈러 발코니와 같은 외부 오픈부위에서 외부 우수가 내부로 유입되지 않도록 방수턱을 계획하고 시공단계에서는 그 부분에 대한 방수처리를 철저히 하여야 할 것이다.
- 3) 모듈러와 콘크리트 골조 부분의 시공을 별도로 발주할 경우 공장시공부재와 현장시공 부분의 접합부 관리가 이원화되고 관리가 어려우므로 전체 시공관리가 일원화 되도록 1개 업체로 발주하여 품질관리를 철저히 하는 방안을 강구하고, 모듈러의 경우는 방수 하자기간을 5년에서 10년으로 연장하여 품질을 강화할 필요가 있다.

살펴본 바와 같이 국내 모듈러 공공주택의 사례를 바탕으로 시공단계 및 유지보수 단계에서 주요한 하자의 분석을 통한 대책을 수립하고 예상되는 하자를 설계 및 시공단계에서 조치하여 그 품질을 향상시킨다면 모듈러 공법의 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

요약

국내 공공주택으로 활용되고 있는 모듈러 공동주택은 도입 초기 단계에 있다. 그 발생된 입주단계 하자 및 입주 후 유지보수 단계의 하자를 구분하여 분석한 결과 입주단계에서 높은 비율을 차지하는 도배 및 바닥재 공사는 보양 등의 품질관리가 요구된다. 유지보수단계에서는 많이 발생하는 누수하자에 대해서 지붕공사의 노출방수공법 보완과 저층부 콘크리트 골조와 모듈러 연결부위, 그리고 모듈러 발코니 부위의 철저한 설계 및 시공관리가 필요하다. 또한 골조 및 유닛모듈 시공업체를 1개 업체로 발주하여 전체 시공 관리를 일원화하는 것이 요구된다. 이로써 모듈러 공공주택의 품질을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되며 모듈러 공법의 활성화에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

키워드 : 모듈러, 공공주택, 공동주택, 하자, 품질개선방안

Funding

Not applicable

ORCID

Soon Guh Lee,  <https://orcid.org/0009-0009-4310-0363>

Gyu Yong Kim,  <https://orcid.org/0000-0002-8662-8899>

Jeongsoo Nam,  <https://orcid.org/0000-0002-9723-5994>

References

1. Kim JH, Lee JK. A basic study on application of modular construction – Focused on analysis of case study. *Journal of the Korean Housing Association*; 2014 Aug;25(4):39-46. <https://doi.org/10.6107/JKHA.2014.25.4.039>
2. Kim JS. New homes in the city. modular: realized as the future of new homes. Seoul (Korea): Seoul Housing & Communities Corporation; 2019. p. 21-2.
3. Nam SH. A study on the establishment of a quality management system for the modular housing. Daejeon: Land and Housing Research Institute(Korea); 2023. 154 p. Report No.: 2023-075
4. Sohn JR, Lee DG, Bang JD, Kim JW. Suggestions for quality management through analysis of construction process of multi-layer modular housing. *Land and Housing Review*. 2019 Oct;10(3):67-75. <http://dx.doi.org/10.5804/LHIJ.2019.10.3.067>
5. Enforcement decree of the apartment housing management act [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2021. Available from: <https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EA%B3%B5%EB%8F%99%EC%A3%BC%ED%83%9D%EA%B4%80%EB%A6%AC%EB%B2%95%EC%8B%9C%ED%96%89%EB%A0%B9>
6. Administrative rules(Investigation of defects in apartment houses, calculation of repair costs, and criteria for determining defects) [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2021. Available from: https://www.molit.go.kr/USR/policyData/m_34681/dtl.jsp?search=&srch_dept_nm=&srch_dept_id=&srch_usr_nm=&srch_usr_titl=Y&srch_usr_cntn=&search_regdate_s=&search_regdate_e=&psize=10&s_category=&p_category=&lcmspage=1&id=4503
7. Housing Act [Internet]. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2021. Available from: <https://law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EC%A3%BC%ED%83%9D%EB%B2%95>
8. Moon MR. Defect analysis and improvement by construction phase using field cases of public cooperative housing [dissertation]. [Seongnam(Korea)]: Gachon University; 2024. 183 p.
9. Lee UK, Seo DS. Study on the defects of finishing works of apartment houses during warranty liability period and its correlation. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2017 Aug;17(4):385-91. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2017.17.4.385>