

모듈러 건축물의 거주환경 성능기준 설정에 관한 연구

- 음환경 성능을 중심으로 -

A Study on the Establishment of Housing Performance Criteria for Modular Building

고 광 일*○ 김 용 인** 이 찬 식***
Ko, Kwang-Il Kim, Yong-In Lee, Chan-Sik

요 약

모듈러 건축공법은 공장 생산된 박스형의 모듈러 유닛을 현장으로 운반, 조립하여 건축물을 완성하는 건축공법으로, 공기단축, 이동 및 재사용, 환경친화성과 같은 이점을 가지고 있어 점차 그 수요가 증가할 것으로 예상된다. 모듈러 건축공법을 도입·적용하기 위해서는 합리적이고 객관적인 성능기준의 정립이 필요하다. 본 논문은 모듈러 건축물의 성능기준 중 음환경 성능에 대한 성능기준을 설정하는데 목적이 있다. 이를 위해 관련 제도 및 법적 기준을 검토하고 시험시공된 건축물을 대상으로 성능평가와 설문조사를 실시 분석하였다. 이 성능기준은 발주자가 설계지침서 등을 통하여 요구수준을 명확하게 제시할 수 있고, 설계자·시공자로 하여금 목표성능을 확보하도록 유도하여 모듈러 건축물의 성능수준을 향상시킬 수 있을 것이다.

키워드: 모듈러 건축물, 성능기준, 거주환경, 음환경 성능

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

모듈러 건축공법은 공장 생산된 박스형의 모듈러 유닛을 현장으로 운반, 조립하여 건축물을 완성하는 공업화 건축공법으로, 건설인력의 부족, 공기단축의 필요성, 이동 및 재사용이 가능한 건축물에 대한 요구, 환경친화적인 건축물에 대한 요구 등으로 수요가 점차 증가할 것으로 예상된다.

유럽, 미국, 일본 등에서는 경량 철골을 이용한 모듈러 시스템이 사무실, 병원, 기숙사, 공동주택 등 다양한 용도의 건축물에 널리 활용되고 있다. 국내에서는 컨테이너, 조립식 패널, 프리캐스트 콘크리트를 이용한 공업화 건축시스템이 적용되고 있으며, 최근 교사(校舍), 군막사에 철골조 모듈러 건축물을 시범 적용하고 있다.¹⁾

현재 관련 법규 및 성능평가제도의 성능기준은 철근콘크리트구조나 철골구조를 대상으로 한 것으로, 새로운 건축시스템인 모듈러 건축물에 적용할 수 있는 건축성능기준은 마련되어 있지 않다.

본 논문은 모듈러 건축물을 적용함에 있어 합리적이고 객관적인 음환경 분야의 성능기준을 정립하는데 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 경량철골을 이용한 모듈러 건축물을 대상으로 거주환경분야인 열환경, 음환경, 빛환경, 공기환경 중 모듈러 건축물의 구조적 특성상 가장 취약한 것으로 평가되는 음환경에 대한 성능기준을 제시하였으며, 연구방법 및 절차는 다음과 같다.

- 1) 기존 문헌조사를 통해 모듈러 건축물의 특징과 기존 성능평가제도의 기준을 조사하였다.
- 2) 관련 법규 및 기존 성능평가제도에서 규정하고 있는 성능기준을 검토하였다.
- 3) 시험시공된 모듈러 건축물을 대상으로 성능평가를 실시하여 현재의 기술수준을 분석하였다.
- 4) 모듈러 건축물의 사용자를 대상으로 설문조사를 실시하여 사용자의 요구수준을 파악하였다.
- 5) 기존의 성능기준과 성능평가, 설문조사 결과를 종합·분석하여 모듈러 건축물의 음환경 성능기준을 설정하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 모듈러 건축물의 특징

모듈러 건축공법은 공장 생산된 박스형의 모듈러 유닛을

* 일반회원, 인천대학교 건축공학과 석사과정,
koki4279@naver.com

** 일반회원, 나우설비기술(주) 대표이사, 공학박사,
nowmec@chollian.net

*** 종신회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사,
cslee@incheon.ac.kr

이 논문은 국방부의 연구비 지원에 의한 연구 결과의 일부임.

1) 이찬식 외, "이동성능을 갖는 군 시설물의 건축성능기준 및 설계지침", 국방부, 2006

현장으로 운반, 조립하여 건축물을 완성하는 공업화 건축공법으로, 수직하중에 저항하는 방식에 따라 프레임 지지형과 벽체 지지형으로 구분된다. 프레임 지지형은 여러 개의 모듈로 하나의 큰 공간을 구성하는 구조에 적합하며, 벽체 지지형은 하나의 모듈이 단일 공간을 구성하는 구조에 적합하다.²⁾

모듈러 건축물은 구조체와 내외장재의 일부분을 공장제작하므로 대량생산이 가능하여 현재 건설분야에서 문제가 되고 있는 건설인력 부족 문제를 해결할 수 있다. 또한 현장에서는 모듈과 모듈간의 조립 작업만 하면 건축물의 대부분이 완성되므로 공기가 획기적으로 단축될 수 있으며, 조립 및 해체작업을 통해 이동 및 재사용이 가능하여 건설폐기물을 감소시키는 환경친화적인 특성을 가지고 있다.

현재 국내에서는 신기초등학교, 대조초등학교, 방위사업청, OO 3소초, OO 6소초, OO부대 대체시설물 등 학교 및 군 시설물에 시범적으로 적용되고 있다.

2.2 기존 연구 고찰

유영동(2004)은 “모듈러 학교 건축물의 차음성능 평가”에서 시범건립된 서울 신기초등학교 모듈러 교사동에 대한 벽체 차음성능 및 바닥충격음 차단성능을 측정하여 국내기준 및 해외기준에 의해 평가하였다. 특히 중량충격음의 경우 이에 대한 추가적인 성능개선이 이루어져야 한다고 주장하고 있다.

김정희(2004)는 “모듈러 철골조 시범학교 거주 후 평가”에서 전문가 조사를 실시하여 평가요소를 도출하고 사용자 설문조사를 실시하여 각 요소의 만족도를 추출하였다. 또한 의미분별척도 조사를 통해 기존의 건물과 차별점을 도출하였다.

유민(2005)은 “모듈러 건축물의 공기 분석에 관한 연구”에서 모듈러 건축시스템의 공사기간을 산정하기 위하여 시공되어 있는 초등학교 사례를 바탕으로 표준공정을 개발하고 타 공법과 공사기간을 비교·분석하였다.

3. 기존 성능기준 분석 및 성능평가항목 선정

3.1 음환경 관련 성능기준

음환경 성능과 관련된 법적인 규정은 공동주택을 대상으로 하는 “주택건설기준 등에 관한 규정”에서 법적으로 제한하고 있으며, 이를 바탕으로 “벽체의 차음구조 인정 및 관리기준(건설교통부고시 제1999-393호)”과 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2005-189호)”이 제정되어 있다. 최근 “주택성능등급 인정 및 관리기준(건설교통부고시 제2006-14호, 2006년 1월 9일)”이 제정되어 공동주택을 대상으로 경량충격음, 중량충격음, 세대간 경계벽 차음성능, 화장실소음의 등급별 기준을 제시하고 있으나, 이는 법적인 의무사항은 아니다.

주택건설기준 등에 관한 규칙 제13조 별표 6의 “공업화

주택의 성능 및 생산기준” 중 음환경 성능분야에서 벽체의 차음성능 등급, 바닥충격음의 차단성능 기준 및 급배수 설비의 소음방지 성능을 제시하고 있으며, KS F 1010에서 건축물의 부위별 성능분류 중 차음성과 충격음차단성의 등급별 기준을 제시하고 있다.

3.2 성능평가항목 선정

음환경 성능은 크게 벽체 차음성능(외벽/경계벽), 바닥충격음(경량/중량) 차단성능과 설비소음(공조소음/배관소음) 방지성능으로 구분하여 평가할 수 있으며, 모듈러 건축물에서는 특히 벽체 차음성능과 바닥충격음 차단성능이 일반습식공법의 건물에 비해 취약한 것으로 인식되어 왔다. 또한 설비소음은 모듈러 건축물 자체의 문제라기보다는 일반 건축물에서도 공통적으로 문제시되고 있는 것으로 음환경 성능기준에서는 벽체 차음성능과 바닥충격음 차단성능을 위주로 성능기준을 제시하였다.

4. 현재 성능수준 분석

4.1 시험시공된 건축물의 성능평가

현재 기술수준을 파악하고 사용자의 요구수준과의 관계를 조사하기 위하여 시험시공된 모듈러 건축물을 대상으로 성능평가를 실시하였다.

성능평가는 군 시설물인 OO 3소초와 OO부대 종합창고를 대상으로 바닥충격음(경량/중량) 차단성능, 벽체차음성능을 평가하였으며, 성능측정 및 평가방법은 표 1과 같이 KS 기준에 따라 수행하였다.

표 1. 시험시공된 건축물의 성능측정 및 평가방법

성능항목	평가기준	측정방법	평가방법
경량충격음	공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준	KS F 2810-1	KS F 2863-1
중량충격음		KS F 2810-2	KS F 2863-2
벽체차음	주택성능등급 인정 및 관리기준	KS F 2809	KS F 2862

평가기준은 현재 주택 이외의 용도에 대한 기준이 마련되어 있지 않기 때문에 “공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준”과 “주택성능등급 인정 및 관리기준”을 참고로 평가하였으며, 성능평가 결과는 표 2와 같이 나타났다.

표 2. 성능평가 결과 및 법적 기준치(등급) 검토
(단위 : dB)

구분	경량충격음 레벨 (L _{n,AW})	중량충격음 레벨 (L _{i,Fmax,AW})	경계벽 차음성능 (R _w +C)
OO 3소초	64(급외)	46(3급)	39(급외)
OO부대 종합창고	60(급외)	58(급외)	48(3급)
기준치 ³⁾	58	50	48

3) 기준치 : 경량충격음 레벨 및 중량충격음 레벨은 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준의 4급 최하 기준 / 경계벽 차음성능은 주택성능등급 인정 및 관리기준의 3급 최하 기준임

2) 조봉호, 김갑득, “모듈러 학교 건축물의 구조적 특징”, 한국교육시설학회 춘계학술발표대회 논문집, 2004

(1) 바닥충격음 차단성능 : 경량충격음

경량충격음 성능레벨의 측정결과 ○○ 3소초 내무반은 64dB, ○○부대 종합창고는 60dB로 “공동주택의 바닥 경량충격음 차단성능 등급기준” 4급인 58dB 이하 보다는 높게 나타났으나, 두 시설물 모두 공동주택이 아니므로 법적 제한은 받지 않는다. 또한 바닥마감재로 경질재료를 사용한 것에 기인된 것으로 판단되어 비교적 용이하게 성능개선이 가능할 것으로 판단된다.

(2) 바닥충격음 차단성능 : 중량충격음

두 시설물의 중량충격음 성능레벨을 “공동주택의 바닥 중량충격음 차단성능 등급기준”과 비교할 때, ○○ 3소초 내무반은 3급으로 높은 성능을 나타내고 있으며, ○○부대 종합창고는 4급인 50dB에 비해 성능이 떨어지는 것으로 분석되었다. 이와 같은 측정결과는 ○○ 3소초의 경우는 바닥마감이 스판크리트+테라조타일마감인 중량구조물로 되어 있고, ○○부대 종합창고는 시멘트판+PVC타일마감으로 되어 있는 것에 기인된 것으로 판단된다.

(3) 경계벽 차음성능

두 시설물의 경계벽체 차음성능 측정결과, ○○ 3소초 내무반은 39dB, ○○부대 종합창고는 48dB로 “주택성능등급 인정 및 관리기준”에 따른 경계소음 차음성능 등급기준에서 보면, ○○부대 종합창고는 3급, ○○ 3소초 내무반은 최저 등급보다 낮은 성능을 갖는 것으로 평가되었다. 경계벽체의 차음성능을 개선하는 것은 모듈러 건축물에서도 그다지 어렵지 않을 것으로 판단되며, 다소 성능향상이 필요함을 알 수 있다.

4.2 사용자 만족도 설문조사

모듈러 건축물의 음환경 성능에 대한 사용자의 요구수준을 파악하기 위하여, 현재 사용중인 ○○ 3소초, ○○ 6소초의 사용자를 대상으로 설문조사를 실시하였다. ○○부대의 종합창고는 용도가 창고이므로 설문조사에서 제외하였다. 설문지는 ○○ 3소초에서 42부, ○○ 6소초에서 12부를 회수하여 총 54부를 회수하였다.

음환경에 대한 만족도 조사 결과는 표 3과 같이 나타났다. 외벽·설비 부분에서는 81~83% 이상이 보통 이상이라고 응답하였고, 내벽·바닥 부분에서 19~26%가 불만이나 매우 불만이라고 응답하였다.

표 3. 음환경에 대한 사용자 만족도

구분	만족도					무응답
	매우 만족	약간 만족	보통	불만	매우 불만	
외벽	5(9%)	24(44%)	15(28%)	9(17%)	1(2%)	0%
내벽 (칸막이)	5(9%)	22(41%)	13(24%)	12(22%)	2(4%)	0%
바닥	7(13%)	16(29%)	19(35%)	9(17%)	1(2%)	2(4%)
설비	4(7%)	21(39%)	20(37%)	7(13%)	1(2%)	1(2%)

실제 소음측정 결과는 중량충격음은 ○○ 3소초 내무반

만이 4급 기준, 경계벽 차음성능은 ○○부대 종합창고만이 3급 기준을 만족하고 그 외의 것은 등급외로 측정되어 설문조사 결과의 만족도가 낮은 이유를 알 수 있으며, 이에 대한 성능개선이 필요한 것으로 나타났다.

5. 모듈러 건축물의 음환경 성능기준 설정

모듈러 건축물의 음환경 성능기준은 현재 관련 법령이나 제도에서 규정하고 있는 기준과 성능평가, 설문조사 결과를 종합·분석하여 표 4와 같이 설정하였다.

표 4. 모듈러 건축물의 음환경 성능기준 (단위 : dB)

성능항목	성능기준	
	주거시설	업무시설
경량충격음	$L'_{n,AW} \leq 58$	$L'_{n,AW} \leq 63$
중량충격음	$L'_{i,Fmax,AW} \leq 55$	$L'_{i,Fmax,AW} \leq 60$
벽체차음	$48 \leq Rw+C$	$43 \leq Rw+C$

5.1 바닥충격음 차단성능 기준 : 경량충격음

바닥충격음 차단성능 중 경량충격음 차단성능 기준은 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”과 “주택건설기준 등에 관한 규정”에서 제시된 기준을 고려하여 설정하였다.

실제 시험시공된 건축물에 대한 평가 결과, 2개소 모두 등급 외로 측정되었으나, ○○부대 시설은 창고임에도 경량충격음 측정결과가 60dB로 기준치인 58dB에 약간 미치지 못하였다. 경량충격음의 경우는 구조적인 특성보다는 마감재 사용 및 마감 디테일에 따라 결정되는 것으로 성능개선이 비교적 용이한 항목이다. 따라서 주거시설 수준의 건물에서는 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 4급(최하등급) 기준을, 업무시설 수준의 건물에서는 상기 기준에서 5dB 더한 값을 기준으로 제시하였다.

5.2 바닥충격음 차단성능 기준 : 중량충격음

바닥충격음 차단성능 중 중량충격음 차단성능 기준은 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”과 “주택건설기준 등에 관한 규정”에서 제시된 기준을 바탕으로 모듈러 건축물의 특성을 고려하여 설정하였다.

실제 시험시공된 건축물에 대한 평가 결과, ○○ 3소초 내무반의 경우는 4등급을 만족하나 이 시설물의 경우 바닥구조가 스판크리트+테라조타일마감으로 추후 이동이 사실상 불가능한 습식공법으로 되어 있다. 이러한 구조물에 대한 업체의 자체 성능시험평가 보고서에서도 성능이 가장 좋은 모듈(스판크리트+테라조타일마감)이 51dB로 4급(최하등급)보다 성능이 다소 떨어지는 것으로 보고 있다. 창고시설인 ○○부대의 측정결과도 58dB로 현재 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 4급(최하등급) 보다 크게 떨어지는 것으로 평가되었다. 이와 같이 중량충격음에 대한 성능이 떨어지는 것은 모듈러 건축물의 구조적 특성에 기인하는 것이다.

따라서 주거시설은 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준 4급(최하등급) 기준에 5dB을 더한 기준(등급별 차이가 3dB이기는 하나, 3dB은 측정오차 범위내의 값이며, 현행 공동주택의 바닥충격음 차단성능기준인 50dB은 결코 낮은 성능기준이 아닌 점을 고려함)을 제시하였다. 업무시설은 주로 주간에 사용하는 건물로 바닥충격음에 대한 영향이 적지만 최소한의 성능기준을 정하기 위해 주거시설의 기준에서 추가로 5dB 더한 값을 중량충격음 성능기준으로 제시하였다.

5.3 경계벽 차음성능 기준

경계벽의 차음성능 기준은 “벽체의 차음구조 인정 및 관리기준”과 삭제된 기준이기는 하나 “공업화 주택의 등급별 벽체 차음성능 기준(주택건설기준등에 관한 규칙 제13조 별표 6)” 및 “주택성능등급 인정 및 관리기준”을 바탕으로 모듈러 건축물의 특성을 고려하여 설정하였다.

주거시설에서는 주택성능등급 인정 및 관리 기준의 3등급(최하등급) 기준을, 업무시설 수준의 건물에서는 주택성능등급 인정 및 관리기준의 3등급(최하등급) 기준에서 5dB 감한 기준을 제시하였다. 시험시공된 건축물의 측정 결과, 1개소는 3등급, 1개소는 등급외로 평가되었으며, 업체의 자체 성능시험평가 보고서에서는 59dB로 1등급을 만족하는 것으로 나타나고 있으므로 상기 성능기준의 만족에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

Rw+C 기준은 KS F 2808(건물 부재의 공기전달음 차단 성능 실험실 측정방법)에 따라 실험실에서 이루어진 결과를 바탕으로 평가를 실시하는 것으로, 건물이 완공된 후에 현장에서 측정을 실시하여 성능을 확인하고자 하는 경우에는 $D_{nT,W}+C$ 값을 적용하며, 이 경우 실험실 측정값인 Rw+C 기준값보다 5dB 낮은 기준을 적용한다.

6. 결론

모듈러 건축공법은 공장생산, 공기단축, 이동 및 재사용, 환경친화성과 같은 이점을 가지고 있어 점차 그 수요가 증가할 것으로 예상되며, 모듈러 건축공법을 도입·적용하기

위해서는 합리적이고 객관적인 성능기준의 정립이 필요하다.

본 논문에서는 관련 제도 및 법적 기준을 검토하고, 시험시공된 건축물을 대상으로 실시한 성능평가와 설문조사를 분석하여 건축성능기준 중 음환경 성능에 대한 성능기준을 설정하였다.

성능기준의 설정은 현재 신기술의 도입시기인 국내 기술 수준을 고려하여 법적 최소 기준으로 설정하였으며, 구조적인 특성상 성능확보가 어려운 중량충격음의 경우 법적기준보다 조금 완화하여 기준을 설정하였다.

이 성능기준은 발주자가 설계지침서 등을 통하여 요구수준을 명확하게 제시할 수 있고, 설계자·시공자로 하여금 목표성능을 확보하도록 유도하여 모듈러 건축물의 성능수준을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 모듈러 건축물의 시공 실적이 미미하여 성능평가 및 설문조사 대상이 국한되었지만, 향후 완공된 건축물에 대한 다양한 성능평가를 실시하여 좀 더 객관적인 성능기준을 설정할 필요가 있다.

참고문헌

1. 김경희 외, “모듈러 철골조 시범학교 거주 후 평가”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제24권 제1호, 2004
3. 유민 외, “모듈러 건축물의 공기 분석에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2005
4. 유영동 외, “모듈러 학교 건축물의 차음성능 평가”, RIST 연구논문 제18권 제4호, 2004
5. 이찬식 외, “이동성을 갖는 군 시설물의 건축성능기준 및 설계지침”, 국방부, 2006
6. 조봉호, 김갑득, “모듈러 학교 건축물의 구조적 특징”, 한국교육시설학회 춘계학술발표대회 논문집, 2004
7. 한국건설기술연구원, “경량형강 스테드의 적용증대를 위한 유럽의 모듈러하우스 시스템 현황조사”, 2001
8. 한국건설기술연구원, 금강종합건설주식회사, “박스형 철골조 조립식 주택(유니트하우스)의 개발에 관한 연구”, 2000
9. SCI, “Modular Construction using Light Steel Framing - An Architect's Guide”, 1999
10. SCI, “Modular Construction using Light Steel Framing - Design of Residential Buildings”, 2001

Abstract

Modular Construction is a method, which factory-produced units are transferred to on-site and assembled to form complete buildings. It is expected that its demand will increase gradually. Because it has some advantages such as duration reduction, movement, reuse and environmental friendliness etc. For the Modular Construction to be introduced and applied, we needs the objective and reasonable performance criteria. This study presents the acoustic performance criteria of the modular building. For this one, this paper reviews legal standard related to performance, analyzes the performance evaluation and survey on pilot projects. The presented performance criteria can be specifically asked the demand by owner in a design guideline. In addition, it makes designer and general contractor accomplish target performance. Eventually, it can improve the performance of Modular Building.

Keywords : Mudular Building, Performance Criteria, Housing Performance, Acoustic Performance