

모듈러 건축의 MC 설계 적용에 관한 연구

불연속 모듈격자를 활용한 MC 설계를 중심으로

A Study of the MC design application of modular construction

Mainly on the MC design applying of discontinuous module grids

이 창 재*
Lee, Chang-Jae

임 석 호**
Lim, Seok-Ho

Abstract

This study attempted to explore the MC design methods of modular construction using discontinuous double module grids and further, the design methods of walls. Modular construction is generally characterized with multiple units called modules with a module dimension of 3M(300mm) appearing in the form of double grids. The discontinuous double grids including correction values and gap values occurs inevitably in the modular construction where units are joined horizontally. Therefore, it is desirable to carry out the MC design taking into account these discontinuous double grids. In this study, the MC design was applied to the plane of wooden houses in modular construction, going through a process of setting the size of pillars and inside dimensions, of determining the dimension of discontinuous double grids that occur during the assembly of units, and of setting the dimension of outer walls in conjunction with the derived dimensions. The dimension of outer walls was applied differently depending on the range of regional use by analyzing the energy performance with the materials used. Consequently, the materials and components of factory-produced buildings can be used directly without processing, and the suitability of the outer wall design can be pre-determined by previewing the calculation of the cross-sectional configuration and heat transmission coefficients of outer walls in modular construction, allowing to be used as a decision-making tool of design.

키 워 드 : 목조주택, 유닛, 모듈러, 치수정합

Keywords : Timber Houses, Unit, Module, Modular Coordination

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

목조주택 및 한옥은 대부분의 공정이 현장에서 이루어지고 있어 균일한 성능 확보 및 규격화가 어려운 실정이다. 또한 수작업에 의존하는 시공방법으로 공사비가 상승하고 공기(工期)도 상대적으로 많이 소요되는 문제를 안고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 설계 및 공법의 표준화가 요구되는데 여기에서 표준화란 획일적인 제품을 개발하여 이를 대량 생산하는 의미가 아니며,

설계의 표준화를 통하여 자재와 부품의 표준화 더 나아가 시공의 표준화로 발전시킬 수 있는 Modular Coordination (이하 MC)개념의 도입을 의미한다.¹⁾

기존의 공동주택은 MC설계에 대한 기준이 현장에서 적용되어지고 있으며 일반주택에서도 설계표준화, 자재표준화, 시공표준화를 통하여 건축비를 낮추고 공기(工期)를 단축하기 위한 표준화와 관련된 기술 개발이 꾸준히 진행되고 있다 그러나 수작업 형태로 이뤄지는 목조주택 및 한옥에서는 MC 설계에 대한 기준 및 적용이 미비한 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 공장에서 50~80% 정도의 공정을 완성하여 현장에서는 조립만하는 모듈러 건축을 목조주택 및 한옥에 도입하려는 시도들이 이뤄지고 있다.

모듈러 건축은 설계표준화를 통하여 건축 재료를 절약하며 현장에서의 공기(工期)를 단축해서 간접비 비율을 최소화하여 전체 공사비를 낮추는 장점을 갖고 있다. 그러나 현재까지는 일반적으로 중심선을 기준으로 설계가 이뤄지기 때문에 전체적인 공간의 치수가 비모듈의 치수로 완성되어 최종적으로는 구성품 및 부품의 표준화가

* Postdocs, Advanced Building Research Division, Building Research Department Korea Institute of Construction Technology, Goyangdae-ro 283, Ilsanseo, Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-712, South Korea. (volgary@kict.re.kr)

** Corresponding author, Senior Research Fellow, Advanced Building Research Division, Building Research Department Korea Institute of Construction Technology, Goyangdae-ro 283, Ilsanseo, Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-712, South Korea. (shlim@kict.re.kr)

본 논문은 2012년도 한국주거학회 추계학술 발표된 논문을 수정·보완하여 제출하는 논문임

1) 임석호·지장훈, 한옥의 표준화를 위한 MC설계 적용 연구, 한국주거학회 추계학술발표대회논문집, 2013

어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하고 유닛의 크기를 일정하게 유지하면서도 설계 및 부품 치수와의 연계성을 확보하고 건축생산의 합리화를 추구할 수 있는 MC 설계 방법이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 모듈러 주택의 MC 설계 방법과 더 나아가 벽체시스템 설계 방법을 모색하기 위한 목적으로 진행되었다.

1.2 연구의 범위 및 방법

모듈러 건축은 일반적으로 3M(300mm)의 증분치수로 모듈화 되어 복선격자를 갖는 특성이 있다. 복선격자는 연속 복선격자와 불연속 복선 격자로 구분되는데 유닛이 수평으로 접합되는 모듈러 건축에서는 필연적으로 보정 값 및 틈 값을 포함한 불연속 복선격자가 발생한다. 따라서 이러한 불연속 복선격자를 감안하여 MC 설계를 하는 것이 바람직하다. 본 연구의 대상은 모듈러 공법의 목조 주택 평면을 대상으로 연구를 진행하였고 모듈러의 접합으로 불규칙적인 격자가 발생하는 문제점을 해결하기 위해 모듈러 건축의 평면에 MC 설계를 적용하는 방법을 제안하였다.

연구방법은 이론적 고찰에서는 MC 설계의 개요 및 MC 설계 치수기준과 모듈러 건축의 국내외 특징 및 현황, 대하여 분석하였고 본문에서는 모듈러기반 목조주택 평면을 기준으로 불연속 복선격자 설계 방법을 개발하는 과정으로 안목치수를 설정하는 단계, 기둥의 크기를 결정하는 단계, 유닛 간 조립시 발생하는 불연속 복선 격자의 치수를 설정하는 순서로 구성되었다. 도출된 치수 값을 연동하여 외벽체 치수를 설정하는 과정으로 진행되었다. 외벽체 치수는 사용 재료에 따라 에너지 성능 등을 분석하여 지역적 사용 범위에 대하여 검토할 수 있도록 하였고 마지막으로 결론 부분에서 연구의 내용을 정리하였다.

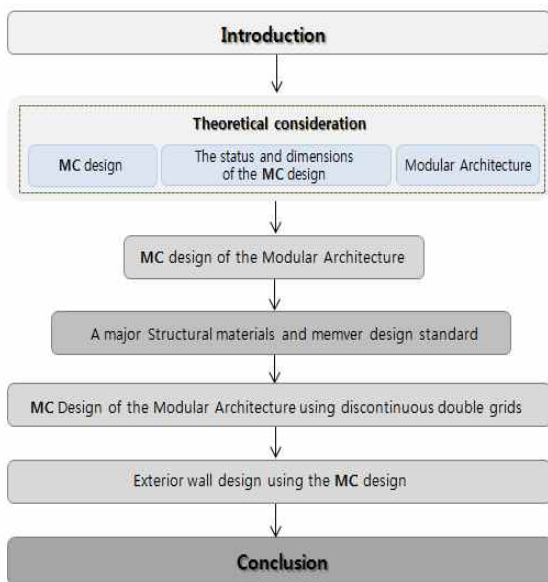


Fig. 1. Process of This Study

2. 이론적 고찰

2.1 Modular Coordination 설계

모듈은 건축 설계시 평면 및 입면의 면적을 기본 단위를 설정하여 나타내는 것으로 공업화의 표준화에 사용되는 기본 치수단위를 나타내는 말로도 흔히 사용된다. 특히 건축의 공간을 치수적인 수치로 구획하고 기준을 정하여 나타내는 것을 말한다. 일반적으로 MC 설계라고 부른다. 모듈정합의 궁극적인 목적은 설계 작업의 편의, 대량 생산과 공사비 절감, 건축체의 수송과 취급상의 편리, 건축 부품의 호환 및 수선의 편의성을 높이는데 있다. 모듈정합은 근본적으로 ‘공간의 최소단위’에 대한 추출에 노력이 집중되어야 하며 조합된 전체가 단위애 따른 비례체계로서의 질서를 느끼게 해줄 수 있을 때 모듈정합의 목표가 달성되었다고 할 수 있다. 이러한 모듈정합은 절대적인 것이 아니며 인간의 생활방법이나 도구의 변화발전에 적용하여 가장 효율적으로 가능성 있는 ‘단위’ 및 ‘시스템’을 찾아내는 방법이다.¹⁾

2.2 MC 설계 치수 기준

MC 설계 기준은 수평 및 수직계획모듈 그리고 주요구성체의 기준면 설정 등 주요설계기준 수립이 우선된다. 수직·수평모듈계획은 건축공간, 건축구성체 상호간의 호환성을 바탕으로 수평·수직계획 모듈 격자 체계를 정하는 것을 의미한다.²⁾

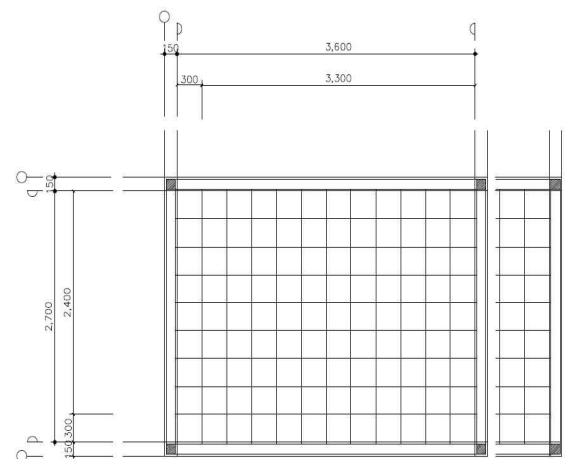


Fig. 2. Horizontal Module

목조주택 및 한옥에 오픈시스템 적용을 위하여 수평계획모듈은 국가적 기준으로서 공동주택에 관한 설계기준

- 1) 김남석, 박희령, 김용성, 스마트 홈의 공간모듈시스템 구축에 관한 연구, 한국실내디자인학회, 제15권 5호, 2006
- 2) 박진아·김수암, 신한옥 MC 설계 기법에 관한 연구, 한국실내 디자인학회 학술발표대회논문집 제15권 1호, 2013

인 벽식 공동주택의 설계도서 작성기준과 철골조 및 라멘조 공동주택의 설계표준화 지침에서 제시한 안목치수 기준으로 300mm 증분치수 적용을 기본으로 한다.³⁾ Fig 2는 주택에 적용되는 자재의 공통적인 규격체계인 안목치수 3M(300mm) 증분치수와 일치하는 모듈치수이다.

Table 1. Design Standard(Boundary planning Standard, measure/mm)

Division	Basic module -Increment size	Assistance module -Increment size
Horizontality	300	100
Verticality	300	50
Middle strip level	100	50
Window height	300	100

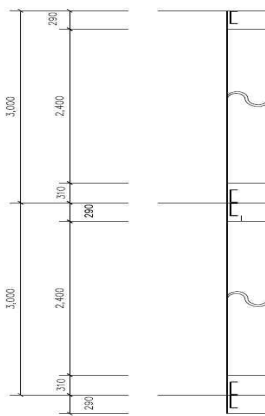


Fig. 3. Vertical Module

수직계획 모듈의 경우 100mm 증분치수를 원칙적으로 적용하도록 설정하고 있다. 여기서 층간대에서 발생할 수 있는 기술적인 치수로 인하여 50mm 증분치수를 보조적으로 사용한다. 따라서 층간대가 보조모듈인 50mm 증분치수일 경우, 층고는 천장고와 층간대를 합한 치수로 설정되므로 층고도 50mm의 증분치수를 보조적으로 사용하도록 설정된다.

모듈러 공법과 제작특성을 고려하여 층고 3,000mm, 천장고 2,400mm로 고정하되 불가피한 경우와 특수한 상황에서는 50mm 또는 100mm의 증분치수를 적용하는 것으로 한다. 건식시스템 건축은 자동차 부품과 같이 공중 및 공정에 따라서 부품 및 부재로 이뤄진다. 건축의 부품 및 부재는 일정한 형태 및 기능을 갖고 있는 것으로 건축물을 형성하는 요소이다.

MC 설계를 건축에 도입하는 목적은 규격화된 치수정립을 통한 생산의 표준화이고 균일한 성능을 발현시키는 것이다.

3) 국토교통부, 자원순환형 철골조 유닛모듈러 주택개발 연구, 2007 (계획모듈 설정에 관한 내용을 인용하여 정리함)

건축 부재 및 부품은 범용으로 사용되는 Open 부품과 특정의 건물에 사용되는 Closed 부품으로 나눌 수 있다. 특히 다른 종류의 부품이 조립되는 경우에는, 건물의 설계에서부터 부재와 부품의 치수에 관하여 적절한 MC 설계가 선행되어야 한다.

2.3 국내외 모듈치수 기준 현황

건축부에서 Open System을 구축하기 위해서는 표준화가 전제된다. 건축에서의 Open System은 최종적으로는 공업화를 이루는 것을 목적으로 하기 때문이다. 원천적으로 건축의 표준화가 이뤄지지 않으면 공업화를 기대할 수 없는 것이 현실이다. 따라서 건축설계, 재료, 구조, 시공 등의 각 분야에서 분야별 시스템에 맞으면서 공통적으로 적용할 수 있는 표준화 추진이 필요하다.

건설부에서 국가별 모듈치수는 Table 2와 같이 각 나라의 특성에 맞게 기본모듈을 설정하고 보조모듈 및 수직수평계획 모듈을 변용하여 사용하고 있다.

한국은 KS에서 정한 기본모듈을 기준으로 계획모듈을 사용하고 있는데 보조모듈치수 및 기준선에 대한 기준 등이 없어 각 상황에 맞게 변형하여 사용하고 있는 실정이다. 따라서 ISO나 해외규격과의 연계를 추진 할 필요가 있다.

Table 2. Country-specific modules, system(Lee and other, 2002)

Division	ISO	UK(BS)	Germany (DN)	Japan (BL)	Korea (KS)
Basic module	1M=100 mm	1M=100 mm	1M=100 mm	900 (300)	1M=100mm
Increase module	3M, 6M, 12M, 30M, 60M (special point: 15M)		3M, 6M, 12M	150mm	6M,12M, 24M
Assistance module Increment size	M/2=50 mm M/4=25 mm M/5=20 mm	25mm 50mm	M/2=50 mm M/4=25 mm 3M/4=75 mm	150mm	-
Horizontality plan module	House 3M	600	3M, 6M, 12M	3M	House 3M
Verticality plan module	1M	100 300 600	-	1M	KS=2M the Ministry of Construction =1M
Base line	Finish/ Center line	Finish/ Center line	Finish/ Center line	Finish line (structure)	-

2.4. 모듈러 건축

모듈러 건축이란 현장에서 축조하는 기존 습식방식과 차별화된 공법으로 공장에서 박스 형태의 정형화된 입방체로 구성되는 공간 내부에 각종 내장재, 기계설비, 전기

배선 등을 미리 시공하고 현장운반 후에는 이를 조립하여 완성하는 공법으로 공사기간을 단축하고 건설 폐기물을 줄이면 기존의 건축자재의 재활용률을 높일 수 있는 공법이다.⁴⁾ 공장에서의 유닛 BOX 제작은 체계는 기둥과 보를 포함한 골조가 먼저 서고, 작은보를 설치한다. 벽선과 인방을 포함한 바닥을 설치하며 단열성능을 갖춘 벽체와 창호를 제작 및 설치한다.

지붕구조체 제작은 별도의 작업으로 이뤄지고 현장으로 운반되어 유닛 BOX와 지붕 구조체를 조립한다.

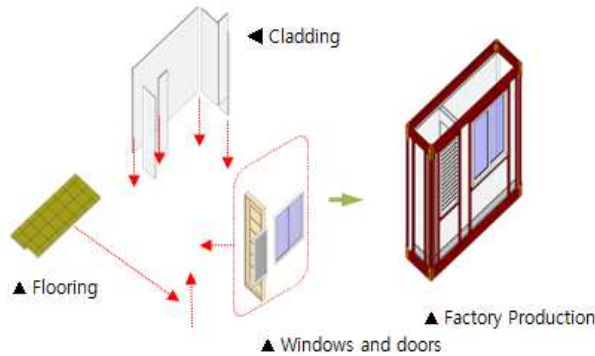


Fig. 4. Production process of the unit

모듈러 건축은 건축인력의 부족, 건설폐기물 감소, 공기단축, 에너지 효율성 증대 등의 문제를 인식하고 해외에서는 이미 실용화되고 있는 기술이다.

해외 모듈러 선진국은 건축공법의 다양화 및 친환경 기술에 대한 수요 등으로 건식 건축시스템 공법이 활성화되어 있다. 이러한 현상은 기존의 건설산업을 부품산업으로 전환을 가져왔는데 특히 공업화를 전제로 하는 건식 건축시스템은 모듈러 건축분야의 발전을 가져왔다. 여러 나라 중에서도 유럽, 미국, 일본 등에서 활성화 되고 있는 실정인데 유럽 중에서도 모듈러 건축의 선두를 달리고 있는 영국은 고층화 모듈러 건축시스템이 발전하였다. 코어부분은 RC로 제작하여 횡력 및 하중을 지탱하고 스틸 스티디 유닛을 코어에 장착하는 복합화 구조시스템을 적용하고 있다.

일본은 지리적 특성상 고층보다는 단독주택 위주로 시장이 형성되어있는데 자동화 생산시스템 도입을 통해 마치 자동차를 생산하는 것처럼 대량 생산 시스템을 갖추고 있다. 구조체는 경량 철강재를 사용하여 3.0m 이하의 크기로 유닛을 제작한다. 특히 모듈러 주택의 평면형태 및 유형을 수요자 맞춤형으로 제작하여 모듈러 건축의 수요를 확대하고 있으며 최근에는 모듈러 제작단가를 낮추기 위해 부품공장을 해외에 진출 시키는 상황이다.

1990년대에 한국에서도 모듈러 선진국의 기술을 도입하여 현장에 적용하였으나 대부분의 모듈러 건축은 병영생

활관, 학교시설 등에 집중되어 있고 주거시설에는 적용이 미비한 실정이었다. 그러나 최근에 친환경건축 및 현장 중심에서 공장 생산 중심으로의 페러다임 변화 등에 대한 관심이 고조되면서 단독주택 및 공동주택에 대한 수요가 꾸준히 증가 하고 있는 실정이며 특히 농촌지역에서는 이미 조립식 주택에 대한 보급이 활성화 되고 있는 실정이다. 그리고 주택뿐만 아니라 구호주택, 한옥, 프리패브 유닛을 활용한 증축 등에서도 모듈러를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다.



Fig. 5. Modular Apartment Housing

Fig. 6. Apply to the modular hanok



Fig. 7. Modular temporary housing

Fig. 8. Modular Remodeling mock-up

2.5 선행 연구분석

MC 설계에 대한 연구는 다수의 논문들이 발표되어졌다. 그 중에서 본 연구에서는 계획 및 설계 방법론 분야의 학회논문을 대상으로 분석 및 검토하였다. 이문섭은 부품화 주택의 구성과 다양한 계획에 관한 연구에서 부품화주택의 설계 및 부품의 표준화 치수면을 분석하고 일반 건축물에서도 부재·부품의 표준화 방향을 제시하였다. 김남석은 스마트홈의 공간모듈시스템 구축에 관한 연구에서 스마트 기기를 건축공간에 적용할 수 있도록 수직·수평 계획모듈을 제안 하였다.

임석호는 한옥의 표준화를 위한 MC 설계 적용연구에서는 기존의 한옥에 MC 설계를 적용하는데 장애요소 등의 문제점을 도출하고 MC 설계기준을 활용한 설계표준화 방안에 대하여 제안하였다. 박진아는 신한옥의 MC 설계 기법에 관한 연구에서는 신한옥의 주요 구성재인 구조부재, 내장부품, 외장부품 등의 자재생산, 설계 및 접합 시공 시 적용할 수 있는 SI를 기반으로 MC 설계 기법 지침을 작성하였다. 김상호는 공동주택의 수명연장을 위한 부품화설계에 관한 연구에서 공동주택에 사용되는 부품의 수명연장을 위한 계획기법과 부품화 시스템의 제안하였는데 내구성과 가변성, 갱신성의 3가지 계획요소를 축으로 개념을 설정하였다. 조사된 선행연구는 대부분 일반건축 및 한옥을 대상으로 하였고 기존에 사용되어지는 복

4) 이창재, 임석호, 한옥의 모듈러 공법 적용에 관한 연구, 한국주거학회논문집 23권 4호, 2012

선격자를 이용한 MC 설계 방법론에 관한 연구가 주류를 이루고 있다.

본 연구의 일반건축물이 아닌 모듈러 건축을 대상으로 하고 불연속 복선모듈 격자를 이용한 MC 설계의 방법론을 제안하는 연구로 기존의 연구들과 차별성을 갖고 있다.

3. 불연속 복선 격자를 활용한 MC 설계

3.1 주요 구조재 및 부재 설계 기준

모듈러 구조체는 유닛 BOX로 구조체가 구성되고 바닥재, 내외장재, 창호 등이 조립되는 형식을 취하고 있는데 기둥 및 보의 안목치수 기준으로 3M(300mm)으로 증분하는 것을 원칙으로 설정한다.

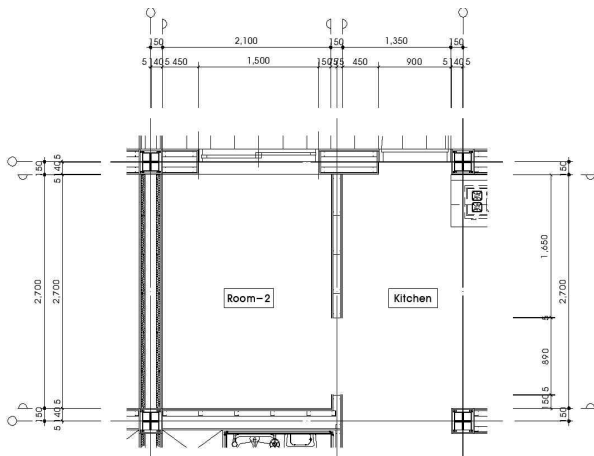


Fig. 9. The modular design

유닛 모듈러 건축은 표준화된 구조체 및 내·외장재 시공 후 현장에서는 최소한의 공정을 통해 완성하는 구법으로 부품 및 부재의 표준화가 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 부품 및 부재의 표준화가 이뤄지기 위해서는 국가적 기준인 공동주택 설계기준에서 제시한 3M(300mm) 증분치수 적용을 원칙으로 한다. 이는 국내 건축자재 및 부품의 범용성을 위한 것인데, 이를 통하여 일반 공동주택에 적용하는 자재도 모듈러 건축에서 공통적으로 적용하기 위한 의도라 할 수 있다.⁵⁾

Table 3.과 같이 내부 벽체와 천정 등에 쓰이는 석고보드 등의 자재는 3M 모듈을 사용하지 않고 그 외의 치수를 사용하면 주문생산을 하여야 하는데 만약 주문생산을 할 경우 비용 증가의 원인이 된다. 모듈러 구조체 평면의 내부 치수가 3M 모듈로 되어 있어 기성 제품만을 사용하여 현장 시공이 가능하도록 계획한다.

모듈러 건축의 바닥은 바닥난방을 위해 건식화 된 조립식 온수 온돌판을 지향하고 있는데 조립식 온수온돌판의 경우 기존의 습식화 된 방법에 비해 시공이 용이하고,

유지보수가 간단하기 때문에 프리패브를 위해 사용빈도가 높다. 모듈러 건축에서는 운반 및 양중에서 방수막 파손 문제를 방지하기 위해 대부분 조립식 욕실을 사용하는데 조립치수는 한국산업규격(KS F 2222)의 적용을 원칙으로 벽체와의 틈 값⁶⁾ 20mm 정도와 배수구가 위치하는 곳은 60mm 정도를 남기고 하나의 유닛 또는 전반의 유닛 규모로 설치한다. 시스템키친, 창문 및 문은 3M 모듈을 기본으로 사용하고 틈값 적용을 위해 보조적으로 1M의 증분치수를 사용한다.

Table 3. Standardization of building materials

Division	Dimension
Plaster board	3M Increment size-900×2400mm
Tile	1M Increment size-300×300mm
Prefabricated floor heating plate	3M Increment size-900×900mm
Prefabricated Bathroom	Nominal size per module
System Kitchen	3M Increment size
Window	Basic dimension-3M, Assistance dimension-1M Increment size
Window frame installation	
Door	

3.2 불연속 복선 격자를 적용한 MC 설계 방법

불연속 복선격자를 활용한 Modular Coordination 설계는 유닛 규격을 일정하게 유지하며 벽체의 유무에 관계없이 내부 안목치수를 3M 또는 1M(100mm)의 증분치수로 유지할 수 있다. 그러나 2개 이상의 유닛이 접합시에는 아래 Fig 10과 같이 필연적으로 불연속 복선 모듈격자가 생성된다. 이러한 불연속 복선 격자를 활용하여 모듈러 MC 설계에 활용하면 유닛 규격을 일정하게 유지하며 벽체의 유무에 관계없이 내부 안목치수를 3M 또는 1M(100mm)의 증분치수로 유지할 수 있다.

내부안목치수를 일정한 치수로 유지함으로써 내장재의 일정한 규격화 및 표준화를 유도한다. 또한 외장재의 규격화를 유도할 수 있어 규격재와 보조재를 사용할 수 있으며 불연속복선격자의 치수를 통해 벽체의 단면구성과 열관류율의 계산을 진행하여 적합성 여부를 판단할 수 있다.

6) 유닛모듈러 건축은 조립식 건축시스템으로 공장에서 70~80%의 공정이 이뤄지므로 시공의 효율성을 위해서는 주요 구성재 및 부품에 따라서 조립기준면 설정이 필수적이다. 조립기준면의 치수는 크기(W)와 틈값(시공오차+시공여유)으로 구성되는데 구성재의 크기는 제작치수로서 KS 규격 등을 통해 설정한다. 틈 값은 시공오차와 시공여유의 합으로 조립기준면 치수에서 제작치수를 뺀 치수를 양분한 치수이다. 일반적으로 틈 값은 양방향에서 동일한 값을 가지고 있다고 가정하며, 시공오차가 발생하지 않을 경우 최대 틈 값이 발생되고, 시공오차가 최대 발생되는 경우 시공여유만 틈 값으로 남게 되어 최소값이 된다. 국토교통부, 자원순환형 철골조 유닛모듈러 주택개발 연구 내용 인용

5) 임석호, 지장훈, 한옥의 표준화를 위한 MC 설계 적용 연구, 2011년 추계 한국주거학회학술발표대회 논문, 2011

모듈러 건축에서는 설계단계에서부터 모듈러 운반 및 양중에 대한 고려가 전제되어야 하는데 계획대지의 지리적 환경이 운반 및 양중에 적합하지 않으면 시공이 불가할 수 있는 상황에 직면하기 때문이다. 본 연구에서 제시한 불연속 복선모듈격자를 설계 방법을 사용하면 운반한계치수 검토 및 양중 규모를 결정하여 운반 및 양중의 한계치수를 판정할 수 있다.

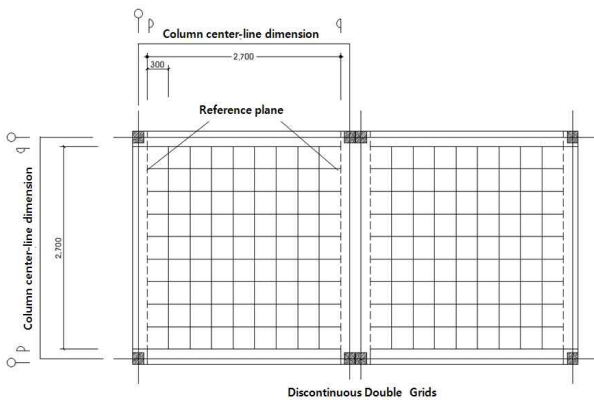


Fig. 10. design plan using Discontinuous Double Grids

본 연구에서 제시한 불연속 복선격자를 활용한 모듈러 코디네이션 설계 방법은 모듈러기반 목조주택 평면을 기준으로 불연속 복선격자 설계 방법을 개발하는 연구로 안목치수와 기둥의 크기를 설정하는 과정, 유닛 간 조립시 발생하는 불연속 복선 격자의 치수를 결정하고 도출된 치수 값을 활용하여 외벽체 치수를 결정하는 과정으로 이뤄진다. 세부적인 설계 방법을 살펴보면 첫 단계로 안목치수를 우선 설정하는 단계이다. 3M을 기준으로 안목치수를 설정한다. 여기서 가로·세로 방향으로 격자의 개수를 정할 수 있다. 두 번째 단계에서는 기둥의 크기를 정하고 세 번째 단계에서 유닛 간 서로 조립되는 부분에 발생하는 불연속 복선 격자의 치수를 설정한다. 여기에서 불연속 복선 격자의 치수는 틈 값, 외벽체와 3M 격자와의 간격 값도 포함된다.

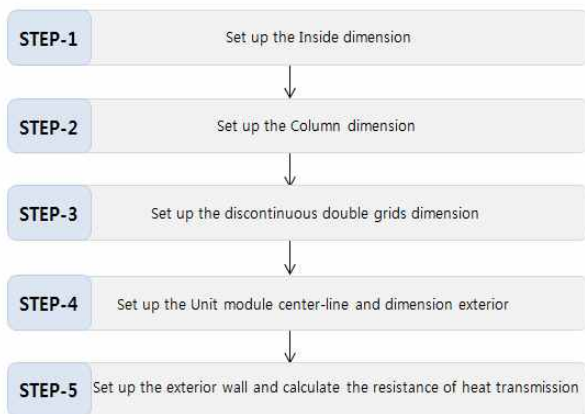


Fig. 11. Modular Coordination Design Process

네 번째 단계에서는 기둥의 크기에 따라서 기둥과 실내 격자모듈과의 간격이 연동되어 조절된다. 그리고 안목치수가 설정되면 간단하게 기둥 간 중심치수와 불연속 격자모듈의 치수가 설정되면 간단하게 유닛모듈의 외목치수를 선정하고 마지막 단계에서 외벽체 두께까지 선정할 수 있다.

Fig. 12.는 불연속 복선격자를 활용한 모듈러 코디네이션 설계 방법을 설명하기 위한 도면으로 안목치수가 2700mm, 하나의 격자가 가지는 각 변의 치수는 300mm, 각 유닛을 형성하는 기둥의 두께가 150mm, 하나의 유닛과 다른 유닛 사이에 생기는 틈 값을 10mm로 설정하였다.

유닛의 평면상 각 변의 안목치수(L1)가 2700mm이고, 하나의 격자가 가지는 각 변의 치수가 3M(300mm)이므로, 각 유닛의 평면상 각 변은 9개씩의 격자를 가질 수 있으며, 각 유닛은 정방형 81개의 격자를 가지게 된다. 이때 유닛의 각 기둥 사이에는 벽이 세워지게 된다.

각 기둥 사이에 벽이 세워질 때 실내 측에서 기둥이 보이지 않도록 하기 위해 외벽체는 기둥의 실내측면에서 일정 부분 안쪽으로 돌출되게 계획하고, 벽의 외측면은 기둥의 외측면과 일치하도록 기준을 잡는다. 이때, 기둥의 실내측면 경계와 복선격자 사이의 간격을 G값이라 한다.

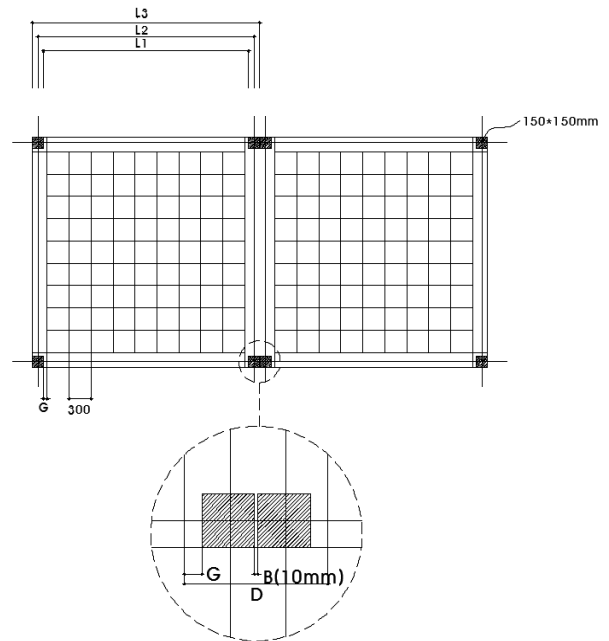


Fig. 12. MC designed floor plan

한편 하나의 유닛모듈과 다른 유닛모듈이 서로 결합하는 부위에는 불연속 복선격자가 생기게 된다. 이때도 마찬가지로 기둥의 실내측면과 복선격자 모듈사이의 간격은 G값으로 동일하다. 불연속 복선 격자는 G값과 기둥치수, 틈 값(B)을 포함한다. 이때 불연속 복선격자의 치수 설정에 연동되어 유닛의 기둥중심선치수(L2), 외목치수(L3)를 구할 수 있고 최종적으로는 벽의 두께가 결정된다. 불연속 복선격자의 치수를 400mm로 설정하였을 때, 불연

속복선격자의 치수(D)를 구하는 방법은 아래의 식과 같다.

- ① 불연속 복선 격자 = 400인 경우

$$(150 \times 2 + 10 + 2G) = 400$$

$$2G = 400 - 310 = 90$$

$$G = 45$$
- ② Unit 기둥 中心선

$$= \text{안목치수} + 150 + 2G$$

$$= 2700 + 150 + 90$$

$$= 2940$$
- ③ Unit외목치수

$$\text{Unit 기둥 中心선} + 150$$

$$= 2940 + 150$$

$$= 3090$$

3.2 MC 설계를 활용한 외벽체 설계

본 연구에서 제안한 불연속 복선격자를 활용한 모듈러 코디네이션 설계 방법에 따라 외벽체를 치수를 설정할 수 있다. 벽체에 사용하는 재료에 따라 차이는 나타나겠지만 우선 일반적인 벽체로 예를 들어 설명하면 아래의 Fig 13, 14는 불연속 복선격자를 각각 400mm, 500mm로 설정하여 산출된 벽의 두께에 맞게 설계된 벽의 단면도이다.

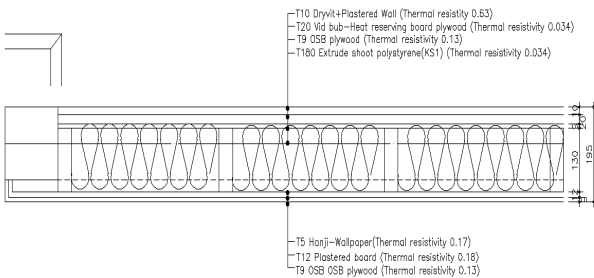


Fig. 13. External Wall 195mm

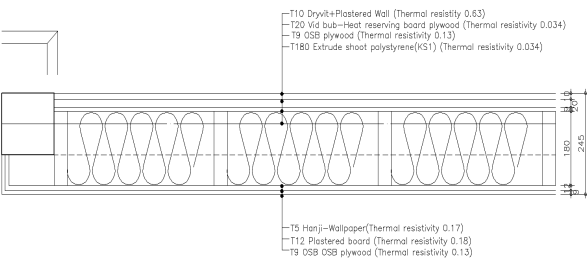


Fig. 14. External Wall 245mm

불연속 격자의 치수를 400mm로 정했을 경우 외벽체의 단열재로는 130mm의 두께를 가진 글라스울 등이 사용하

고 단열재의 외측으로 9mm 두께의 OSB 합판과, 부착되는 20mm의 비드벌 보온판과, 비드벌 보온판의 외측에 부착되는 10mm의 회벽으로 구성된다. 내측으로 12mm의 석고보드와, 내측에 부착되는 9mm의 OSB 합판을 설치한다. 이때 벽체에 사용되는 단열재 및 기타 재료의 성능에 따라서 재료의 유형 및 치수를 다양화 시킬 수 있다.

Table 4. Thermal resistivity using the Discontinuous Double Grid by MC design

Division	A	External Wall Thickness (Column Dimensions+A)	Thermal resistivity	Unit Column Central line	Unit Outer dimension
300	25	120+25=145	0.29899W/m ² K	2845	2990
400	45	150+45=195	0.2076W/m ² K	2940	3090
500	95	150+95=245	0.15909W/m ² K	3040	3190

또한 Table 4와 같이 설계된 벽의 열관류율(K)을 구할 수 있는데 열관류율 계산식⁷⁾에 의해 계산된 벽(400mm)의 열관류율 K = 0.2076W/m²K가 된다. 이때 도출된 열관류율 값을 기준으로 지역별 단열재 치수 및 벽체 치수를 설계 시 반영하고 설계된 외벽체가 지역별 열관류율을 기준에 접합한지 판단할 수 있으며 필요에 따라 벽체에 사용되는 재료의 교체 및 보완이 가능하다.

Table 5. Regional wall Thermal resistivity(korea)

Area		The central region	The South	Cheju Island
Building Part				
External wall of the living room	Directly to the outside air	0.237 Below	0.340 Below	0.440 Below
	Indirect outside air	0.370 Below	0.480 Below	0.640 Below

7) 열관류에 의한 관류 열량의 계수이며 전열의 정도를 표시할 때 사용된다. 정상 상태에서 사이에 고체벽을 두고 두 가지의 유체 사이에 단위면적당 단위시간의 이동열량 Q는 두 유체의 온도차(t1-t2)에 비례하며 Q=K(t1-t2)kcal/m²h로 표시한다. 이 때 비례정수 W/m²K 또는 K[kcal/m²h°C]를 열관류율 또는 열통과율이라고 한다. 열관류율 계산식 = K = 1 / [Ri + R1 + R2 + + Ro]

예시: 외벽체 195mm 열저항값 계산

재료	두께(단위M)	열전도율 (K/mk)	열저항 (m ² /w)
회벽칠	0.01	0.63	0.015873
비드벌보온판	0.02	0.034	0.588235
OSB 합판	0.009	0.13	0.069231
글라스울	0.13	0.034	3.823529
석고보드	0.012	0.18	0.066667
OSB 합판	0.009	0.13	0.069231
한지벽지	0.005	0.17	0.029412
실외표면열전달저항	-	0.043	0.043
실내표면열전달저항	-	0.11	0.11
총	0.195	1.461	4.815178

4. 결론

건축물은 기둥 및 벽체 등의 중심선을 기준으로 설계가 이루어지기 때문에 실제로 구성되는 공간의 치수는 시공 상태에 따라 설계의도와 다르게 나타날 수 있다. 결론적으로는 전체적인 공간의 치수가 비모듈의 치수로 완성되므로, 최종적으로는 표준화된 규격품의 적용이 어렵게 되는 것이다. 이러한 문제점은 모듈러 건축, 조립식 주택과 같은 공업화 건축물에서 생산효율성 및 재료비 등을 절감하는데 근본적인 장애요인으로 작용하며, 특히 리모델링 사업의 활성화를 저해하는 요소로 작용하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 MC 설계가 전제되어야 하나 모듈러 건축에서는 유닛이 조립되는 부분에서 불연속 복선 격자가 발생하기 때문에 이를 이용하여 합리적인 모듈러 건축 설계 방법을 제안하고 특히 자재의 표준화 대한 문제를 해결하기 위해 불연속격자 MC 설계를 제안하였다.

지금까지의 연구내용을 정리하면 다음과 같다. 불연속 복선격자를 활용한 모듈러 코디네이션 설계 방법은 모듈러 건축 중 목구조택 평면을 대상으로 MC 설계를 적용하는 연구로 안목치수와 기둥의 크기를 설정하는 단계와 유닛 간 조립시 발생하는 불연속 복선 격자의 치수를 결정하는 과정으로 이뤄진다.

불연속 복선 격자의 치수를 구하는 방식은 기둥의 실내측면과 복선격자 모듈사이의 간격은 G값과 틈 값(B), 기둥치수를 포함한다. 이때 불연속 복선격자의 치수 설정에 연동되어 유닛의 기둥중심선치수(L2), 외목치수(L3)를 구할 수 있고 최종적으로는 외벽의 두께가 결정된다.

불연속 복선격자를 활용한 Modular Coordination 설계를 모듈러건축 설계에 활용하면 벽체의 유무에 관계없이 유닛의 규격을 일정하게 유지하면서 내부 안목치수를 3M(300mm)의 증분치수로 유지할 수 있다. 특히 내부안목치수를 일정한 치수(3M=300mm)로 유지하여 창호 및 석고보드 등 자재의 일정한 규격화 및 표준화를 유도한다. 그리고 외장재의 규격화를 유도할 수 있어 규격재와 보조재를 사용할 수 있다. 불연속복선격자의 치수를 통해 벽체의 단면구성과 열관류율의 계산을 진행하여 적합성 여부를 판단하고 유닛의 외목치수를 검토하여 모듈러 건축에서 초기 설계단계에서부터 모듈러 운반한계치수 검토 및 양중 규모를 결정하여 운반 및 양중의 한계치수를 판정할 수 있다.

본 연구는 불연속복선격자를 활용한 MC 설계 방법은 공장 생산된 건축물의 부재 및 부품을 가공하지 않고 그대로 이용할 수 있으며 모듈러 건축에서 외벽의 단면구성 및 열관류율의 계산을 미리 진행할 수 있도록 함으로써 외벽체의 설계 적합성을 미리 판단하여 설계자 및 건축주가 설계초기 단계부터 의사결정 수단으로 활용될 수 있다.

Acknowledgement

This study was supported and funded by Development of Design and Environmental Performance Technology One Day Housing of the Korea Institute of Construction Technology (Project No.: 2013-0018)

References

- [1] 국토교통부, 자원순환형 철골조 유닛모듈라 주택개발 연구, 2007 / (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Study for Development of Resource Steel Frame Unit Modular Housing, 2007)
- [2] 김남석, 박희령, 김용성, 스마트 홈의 공간모듈시스템 구축에 관한 연구, 한국실내디자인학회, 제15권 5호, 2006 / (Kim, Nam-Suk, Park, Hee-Ryoung, Kim, Yong-Seong, A Study on the Modular Coordination for the Smart Home, Journal of Korea Institute of Interior Design, Vol 15 No 5, 2006)
- [3] 김상호, 공동주택 수명연장을 위한 부품화 설계에 관한 연구, 연세대학교 석사논문, 2003 / (Kim Sang-Ho, Study on the systematization of parts for the life span extension of multi-family residential buildings, MA thesis, University of Yonsei, 2003)
- [4] 박진아·김수암, 신한옥 MC 설계 기법에 관한 연구, 한국실내 디자인 학회 학술발표대회논문집 제15권 1호, 2013 / (Park, Jin-A, Kim, Soo-Am, Methods and Guidelines for the Design and Development of New Hanok Modular Coordination, Journal of Korea Institute of Interior Design, Vol 15 No 1, 2013)
- [5] 이경희, 손주선, 황원택, 인텔리전트 빌딩의 건축 정보 설비시스템, 기문당, 2002 / (Lee Kyung - Hee, Son, ju-sun, Hwang won-taek, The construction of intelligent buildings, facilities, information systems, gimundang, 2002)
- [6] 이문섭, 부품화 주택의 구성과 다양한 계획에 관한 연구, 대한건축학회 제10권 5호, 1994 / (Lee Moon-Sup, Study on the Composition and Flexible Planning of the Component Housing, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol 10, No. 5, 1994)
- [7] 이창재, 임석호, 한옥의 모듈러 공법 적용에 관한 연구, 한국주거학회 논문집 23권 4호, 2012 / (Lee, Chang-Jae, Lim Seok-Ho, Study on the Application of Modular Technologies to Han-ok, Journal of the Korean Housing Association, Vol 23, No. 4, 2012)
- [8] 이창재, 임석호, 불연속 복선격자를 활용한Modular Coordination 설계에 관한 연구, 한국주거학회 추계 학술발표대회 논문집, 2012 / (Lee, Chang-Jae, Lim Seok-Ho, A study on the Modular Coordination Design using Discontinuous Double Grids, Proceeding of Fall Annual Conference of KHA, 2012)
- [9] 임석호·지장훈, 한옥의 표준화를 위한 MC설계 적용 연구, 한국주거학회 추계학술발표대회논문집, 2013 / (Lim Seok-Ho, Ji Jang-Hun, Application of MC Design for Standardizing the Han-ok, Proceeding of Fall Annual Conference of KHA, 2011)

Received November 3, 2013;

Final revision received December 20, 2013;

Accepted December 23, 2013