

## 4-클립 체결방식을 갖는 모듈러 하우스의 내진성능평가

### Seismic performance evaluations of modular house having 4-clip fastening method

임 현 진\*  
Lim, Hyeon-jin

조 창 근\*\*  
Cho, Chang-Geun

신 정 강\*\*\*  
Shin, Jung-Kang

이 선 주\*\*\*\*  
Lee, Sun-Joo

#### Abstract

The purpose of this study is to evaluate seismic performances of a modular house system developed by a simple 4-clip fastening method and double metal assembly made of lightweight metals. In order to evaluate structural and non-structural seismic performances of the system. Shaking table test was carried out with full-scale modular units, and a nonlinear pushover analysis was performed to obtain suitable seismic responses for story drifts, displacements, force resistances and dynamic properties of the system. Through 3D analysis and shaking table test, the current method of lightweight modular metal unit assembly and systems with seismic performance of a 4-clip fastening type modular house were demonstrated safe and effective to seismic design.

*Keywords : Modular House, Shaking table test, Seismic performance evaluation, 4-clip fastening system*

## 1. 서론

최근 저출산 고령화와 함께 1인가구가 증가하면서 모듈러 주택(조립식 주택)의 수요가 급증하고 있다. 모듈러 주택 건축시장 규모는 2020년 이후 최소 9,400억원에서 최대 3조 4,000억원의 시장을 형성할 것으로 예측된다<sup>1)</sup>. 모듈러 주택은 기존 주택과 달리 구조부의 일부 또는 전부를 모듈형태로 공장제작 후 현장조립하는 것을 말한다. 최대 강점은 공기단축, 저비용 건축, 친환경성, 생산프로세스 관점에서 공장과 현장이 분리되는 장점을 가진다<sup>2)</sup>.

기존 국내 유닛 모듈러 주택 생산방식의 문제점으로 대규모 설비투자 및 규격화, 표준화 미비로 습식공법처럼 현장 의존적으로 진행되는 긴 공기와 유닛 모듈러 크기로 인해 운송 시 운송장비의 진출입 확인과 반입순서 및

방향, 차량회차 방향 등의 운반환경 검토가 필요하다. 마지막으로 모듈러 주택시공에 특화된 조립장치의 부재로 현장 조립 시 사용되는 수공구들이 유닛 모듈러 주택에 적합하지 않아 시공성이 떨어지고 공기지연의 원인으로 작용하고 있다<sup>3)</sup>. 기존 문제점 개선을 위해 기술의 규격화, 표준화로 공장제작 의존성을 높이고, 모듈러 유닛 최소화로 운반 및 이동의 용이와 구조 및 내외장 연결방식 간소화로 시공성을 높여야 한다.

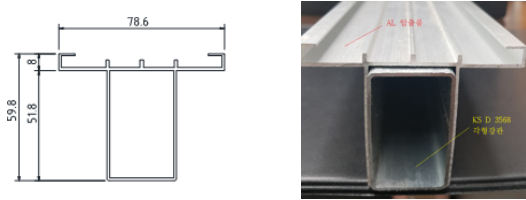
본 연구에서는 경량금속을 소재로한 4-클립 체결방식을 갖는 각형강관 골조와 트러스 부재가 조합된 구조형식을 갖는 모듈러 주택의 내진성능을 평가하고자 한다. 4-클립 체결방식의 모듈러 주택의 내진성능평가를 위해 구조 및 비구조 요소를 포함한 지진 진동대 실험을 수행하였으며, 실규모크기의 모듈러 주택을 제안하여 모델링 후 비선형해석을 수행하였다.

## 2. 4-클립 체결방식 모듈러 시스템의 개발

본 연구에서는 경량 모듈러 주택 개발을 위해 골조로 <Fig. 1>과 같은 2개의 이중금속으로 된 단면을 설계하여, 경량화 및 최소단면이 되도록 내부의 아연 각형강관이 구조부재 역할을 하며, 천장 및 내외장재, 단열재 등

\* 정희원, 조선대학교 건축공학과, 박사후과정, 공학박사  
Dept. of Architectural Eng., Chosun University  
\*\* 교신저자, 정희원, 조선대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
Dept. of Architectural Eng., Chosun University  
Tel: 062-230-7023 Fax: 062-232-8834  
E-mail: chocg@chosun.ac.kr  
\*\*\* 정희원, (주)조은데코, 대표이사  
Joeundeco Co., Ltd., chief executive officer  
\*\*\*\* 정희원, 조선대학교 건축공학과, 박사과정  
Dept. of Architectural Eng., Chosun University

의 비구조요소 패널과의 체결을 용이하도록 아연 각형 강관 외부에 알루미늄 압출제품 H-Bar로 구성되었다. 강관과 H-Bar의 물리적특성은 <Table 1>과 같다.



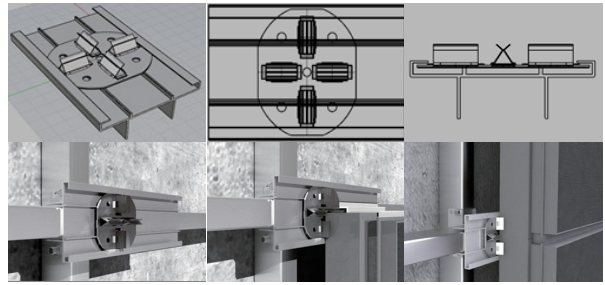
<Fig. 1> Aluminum-extruded H-Bar and square steel tube

<Table 1> Physical properties

Type	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
Square steel tube	534	424	27
H-Bar	251	222	11

비구조재 패널들의 연결을 위한 체결 시스템은 4-클립 방식으로 하중과 견고성을 고려함과 동시에 각 부품을 현장에서 맞춤형으로 간편하게 체결 가능한 시스템으로 <Fig. 2>와 같이 제안되었다. 경량 금속인 알루미늄 압출 기술로 제작하였고, 충분한 내진성능을 위한 연결부 내력과 내구성능을 위해 내부식성을 확보하였다. 유닛부품간 체결 방식을 개선한 4-클립 체결방식은 내부 및 외부 마감재 체결방식을 제안하고 관련 부품을 체결방식과 기준·규격에 맞게 하여 모듈러 시스템과 주택 기술 관련 제품을 개발하고 부재의 체결에 있어 안정성 및 안전성, 내구성, 시공성 등을 만족하도록 한 것이다<sup>4)</sup>.

본 연구에서 제안한 4-클립 체결방식의 설치에 따른 장점으로 지지비와 유격이 존재하여 제품의 수축·팽창에 따라 결착부가 이동하여 제품 표면의 변형 억제와, 지진 시 4-클립에 순간적으로 부하되는 하중 감소로 제품의 파손 및 이탈이 방지된다. 또한 연결된 결착부(클립부)에서 제품의 탈부착이 용이하여 유지 보수에 용이하다. <Fig. 3>과 같이 4-클립 유닛의 접합부 실험결과 평균 1,001 N의 결과로 높은 내력을 보였다.



<Fig. 2> 4-clip unit parts



<Fig. 3> Tensile test of 4-clip unit

### 3. 모듈러 시스템의 내진성능실험

#### 3.1 실험개요

이 연구에서는 벽 구조물 및 천장재로 구성된 모듈러 시스템(이하 실험대상: Unit Under Test, UUT)은 벽체 및 천장에 설치하기 위한 강재 골조구조물을 포함한 부품 단위의 모듈러 시스템 전체로 그 범위는 패널에서부터 FR-BAR, ML-BAR, 월실링 패널 등 각 구성요소의 연결을 위한 접합물을 모두 포함하는 것으로 한다.

#### 3.2 실험조건

진동대 실험을 위하여 제작된 강재 골조 구조물을 진동대 바닥에 M30 Bolt(torque = 770N·m이상)를 이용하여 20개소를 고정하였다. UUT의 벽체 부분은 실험체 중앙에 젠트리 스테드 바와 벽체용 채널등을 이용하여 고정하였고, 패널의 부착 위치에 4-클립을 설치하여 장착하였다. 천장마감재는 진동대 바닥에서부터 2.05m 높이에서 강재 골조 구조물에 설치하였으며, 연직하중을 저항하기 위한 달대는 강재 골조구조물 최상부에서 볼트접합으로 연결하였다. 천장마감재는 4Type으로 구역별로 젠트리 스테드 패널, JMC-D, 월실링 패널 그리고 비교군으로 석고보드를 설치하였다.

〈Table 2〉 Parameters for required response spectrum

Test No.	$S_{DS}^*$	$z/h^*$	Horizontal		Vertical	
			$A_{FH}$	$A_{RH}$	$A_{FV}$	$A_{RV}$
1	0.3	1	0.48	0.36	0.2	0.08
2	0.6	1	0.96	0.72	0.4	0.16
3	0.9	1	1.44	1.08	0.6	0.24
4	1.2	1	1.92	1.44	0.8	0.32

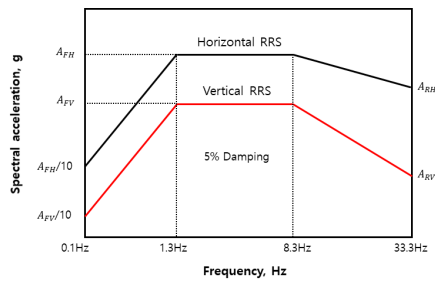
\* $S_{DS}$  : Spectral response acceleration at short period

\* $z/h$  : Height factor ration

$$A_{FH} = S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (1)$$

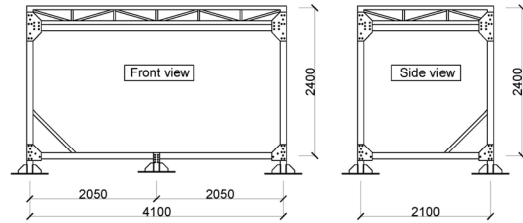
$$A_{RH} = 0.4 S_{DS} \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \quad (2)$$

$$A_{FV} = 0.67 S_{DS}, A_{RV} = 0.27 S_{DS} \quad (3)$$

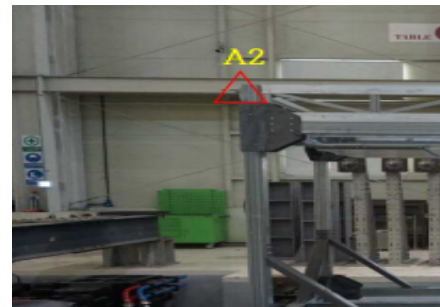


〈Fig. 4〉 Required response spectrum

진동대 실험을 위한 조건은 ICC-ES AC156에서 정의하고 있는 요구응답스펙트럼(RRS, Required Response Spectrum)을 사용하였다<sup>5)</sup>. 실험대상의 성능 확인을 위한 실험절차에 따른 요구응답스펙트럼 파라미터는 〈Table 2〉와 같고, 작성된 수평 및 수직 요구응답 스펙트럼의 형상은 〈Fig. 4〉에 나타내었다. 진동대 실험은 수평 2방향 및 수직 1방향에 대해서 동시 가진하였으며, 실험 전 육안검사, 공진주파수 탐색 실험, 시간 이력 실험, 실험 후 육안검사를 순차적으로 수행하였다. 시간 이력 실험에 사용된 지진파는 〈Table 2〉를 기준으로 작성된 인공 지진파를 사용하였다. UUT의 응답 분석과 진동대의 제어 결과를 확인하기 위하여 UUT와 진동대 테이블에 3축 가속도계를 설치하였다. 진동대 실험을 위한 UUT의 도면은 〈Fig. 5〉와 같으며 각 가속도계의 설치 위치 및 방향은 〈Fig. 5〉과 같다.



〈Fig. 5〉 Demension of modular system



〈Fig. 6〉 Shaking table test and Sensor location

### 3.3 실험 결과

UUT의 공진주파수는 진동대에서 입력된 가속도(Base, a)에 대한 UUT 각 위치에서 응답가속도(Unit, b)의 전달함수를 산정함으로써 결정하였다. 전달함수( $T_{ab}$ )는 입력된 Power spectral density( $P_{aa}$ )에 대한 입·출력신호의 Cross power spectral density( $P_{ba}$ )에 의해 계산된다. 공진주파수 분석의 정밀도를 향상시키기 위하여 각 신호는 Symmetric hamming window가 적용되었다.

$$T_{ab}(f) = \frac{P_{ba}(f)}{P_{aa}(f)} \quad (4)$$

각 계층의 위치에서의 공진주파수 검색실험의 주요결과는 〈Table 3〉과 같다. 진동대 실험결과 전 과정에서 구조부재의 큰 변형이나 파괴는 발생하지 않았으나 〈Fig. 6〉과 같이 Test No. 3(0.9g) 과 4(1.2g) 에서 UUT 천장재 부분과 벽체패널의 손상이 일부 발생하였고 그 외 손상은 발생하지 않았다. No. 3는 전면 좌,우측 JMC-D 및 젠트리 스테드 패널 천장재 설치부분 몰딩 비틀림 현상이 발견되었고, No. 4는 천장재 몰딩부 비

틀림 현상이 심화되고, 석고보드 설치 부분 행거볼트 휨 현상 및 석고보드 부분이 파손이 발생되었다.

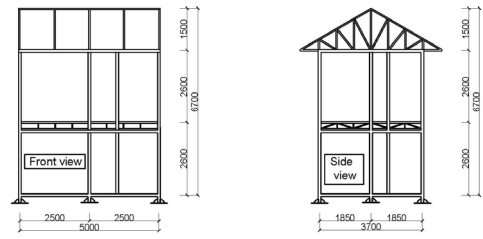
〈Table 3〉 Predominant resonance frequency search test summary

No.	Orientation	Predominant resonance frequency (Hz), $df=0.25\text{Hz}$				
		A2	A3	A4	A5	A6
1	Longitudinal(X)	11.25	11.25	11.25	7.75	7.00
	Lateral(Y)	17.50	14.50	14.50	14.50	6.75
	Vertical(Z)	N/A	43.50	43.50	43.50	38.50
2	Longitudinal(X)	11.25	11.25	11.25	8.50	7.00
	Lateral(Y)	17.50	14.50	14.50	14.50	6.75
	Vertical(Z)	N/A	44.00	44.00	44.00	39.00
3	Longitudinal(X)	11.50	11.50	11.50	5.50	7.00
	Lateral(Y)	17.50	14.50	14.50	14.00	6.00
	Vertical(Z)	N/A	43.25	43.25	43.25	38.50
4	Longitudinal(X)	11.75	11.75	11.75	4.50	6.75
	Lateral(Y)	14.00	14.00	14.00	8.50	6.50
	Vertical(Z)	N/A	42.75	42.75	42.75	37.75

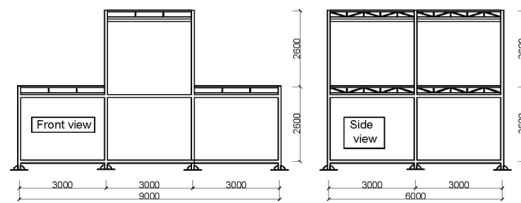
## 4. 모듈러 주택의 구조해석

### 4.1 개요

본 연구에서는 평면이 다른 2개의 모듈러 주택을 제안하고 모델링 하였다. 국가건설기준<sup>(6,7)</sup>에 따라 모듈러 주택의 설계조건으로 위치는 광주광역시로 설정하였고 2개의 주택의 규모는 〈Fig. 7〉에 각각 나타내었다. 내진 설계 설정값은 〈Table 4〉와 같으며 지진구역계수는 0.11(광주광역시), 지반종류  $S_4$ (단단한 토사지반),  $I_E$ (중요도 계수) 1.0,  $R$ (반응수정계수)은 철골 보통모멘트 골조로 3.5, 지반응폭 계수는 단주기일 때 1.36, 1초 주기는 1.96으로 설정하였다. 구조부재 Beam의 경우에 단면은  $30*50*1.4T$ 과  $100*100*2.9T$  2가지이며 Column은  $100*100*2.9T$ 이고, Truss는  $30*50*1.4T$ ,  $30*30*1.4T$  2가지로 설정하였다. 해석대상 구조물의 설계하중으로 1층과 2층의 바닥하중은 고정하중  $3\text{ kN/m}^2$ , 활하중  $2\text{ kN/m}^2$ 을 적용하고 지붕하중은 고정하중  $3\text{ kN/m}^2$ , 활하중  $1\text{ kN/m}^2$ 을 적용하여 모델링에 반영하였고 〈Fig. 7〉과 같이 구조 해석 및 내진성능평가를 수행하였다.



(a) Case 1



(b) Case 2

〈Fig. 7〉 Dimension of Modular house

〈Table 4〉 Seismic design parameters

Z(seismic zone factor)	0.11
Soil profile type	$S_4$
$F_a$ (site coefficient)	1.36
$F_v$ (site coefficient)	1.96
$I_E$ (importance factor)	1.0
$R$ (response modification coefficient)	3.5

### 4.2 구조해석 및 내진성능 예비평가

본 연구의 구조물에 대한 내진성능을 평가하기 위하여 범용 3D해석 프로그램을 사용하였다<sup>(8)</sup>. 내진성능설계 및 내진 성능평가 방법으로는 일반적으로 가장 많이 사용되는 ATC-40과 미연방재난관리국의 보고서 FEMA-440에서 제시한 역량스펙트럼법을 이용하고자 한다<sup>(9,10)</sup>. FEMA-440에서 제시한 성능목표는 3가지이며, IO(Immediate Occupancy, 즉시거주)는 대부분의 기능성 및 작용성이 즉시 복구가 가능하고 지진 발생 후 즉시 거주 안전한 상태이며 주요기능이 보호되는 수준이다. LS(Life Safety, 인명 안전)은 중간정도의 피해로서, 건물의 시스템이나 내용물들은 피해로부터 보호될 수 있고 구조물이 손상은 받으나 안정은 유지되며 추락 피해에 대한 안전이 보장된다. CP(Collapse Prevention, 붕괴 방지)은 주요 구조시스템의 일부가 붕괴되거나 완전한 구조물의 붕괴 수준이다. 본 연구에서는 성능 목표

수준을 LS로 설정하였다. 구조해석을 수행하고 부재 강성 확인 결과 <Table 5> 과 같이 Case 1인 경우 트러스 부재의 내력부족으로 단면 20mm와 두께 1.8mm를 증가시킨 후 재해석하여 구조적으로 안전하게 설계하였다. Case 2는 기둥 내력이 부족하여 단면 수정 후 구조적으로 안전하게 설계하였다. 부재내력이 확인된 후 내진성능 예비 평가를 실시하였다.

예비평가 결과 Case 1은 X방향 최대변위 1.3mm, Y방향 최대변위 1.1mm를 나타내었다. 허용 층간변위는 건축구조기준에서 <Table 6>와 같이 규정하며<sup>7)</sup>, 설계 층간변위는 어느 층에서도 규정한 허용층간변위를 초과할 수 없다고 제한하고 있다. 허용 층간변위는 층고 2600mm이고 내진등급 I을 적용하여 39mm이므로 허용기준을 초과하지 않는다. Case 2의 예비평가 결과는 X방향 최대 변위 17.3mm, Y방향 최대변위는 11.4mm로 나왔다. 허용층간변위는 층고가 Case 1과 같아 허용 층간변위는 39mm로 허용기준을 초과하지 않았다.

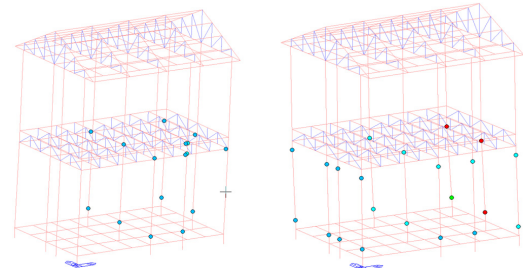
<Table 5> Section modification

Truss	Case 1	Column	Case 2
H	50mm → 70mm	H	50mm → 70mm
B	50mm → 70mm	B	50mm → 70mm
Tw	3.2mm → 5mm	Tw	3.2mm → 5mm

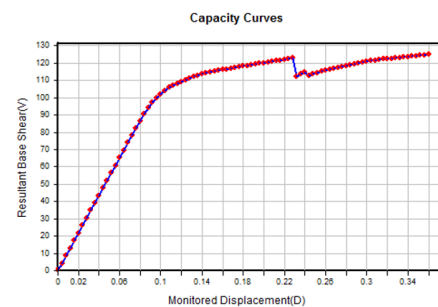
<Table 6> Allowable interfloor displacement

Allowable interfloor displacement	Seismic grade		
	Special	I	II
	$0.010h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.020h_{sx}$

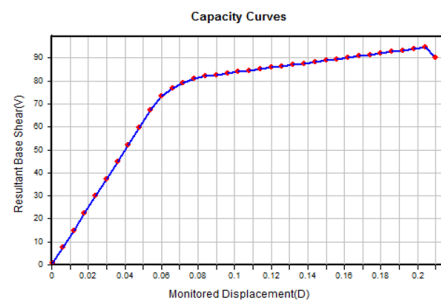
응답스펙트럼 고유치 해석을 위해 설계스펙트럼 가속도를 산정하였으며 Case 1과 Case 2의 값을 동일하게 설정하였다. 설정조건은 <Table 4>와 같으며, 지진가속도 0.22g,  $S_{D5}$ (단주기설계스펙트럼 가속도) 0.49867g,  $S_{D1}$ (1초주기 설계스펙트럼 가속도) 0.28747g으로 하였다. 고유치해석 결과 Case 1과 Case 2 모두 각 방향별 참여질량의 합이 세 방향 모두 95% 이상 유효하게 나타나, 구조물의 동적 특성이 거의 모두 반영되었다고 볼 수 있다.



(a) X-direction (b) Y-direction  
<Fig. 8> Case 1 review of plastic hinge occurrence



(a) X-direction



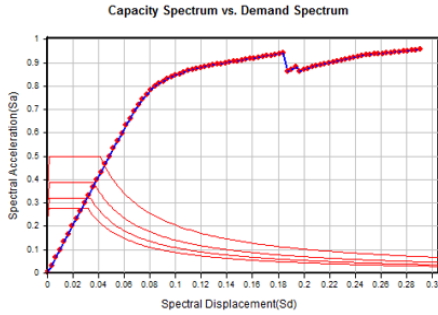
(b) Y-direction

<Fig. 9> Base shear force for Case 1

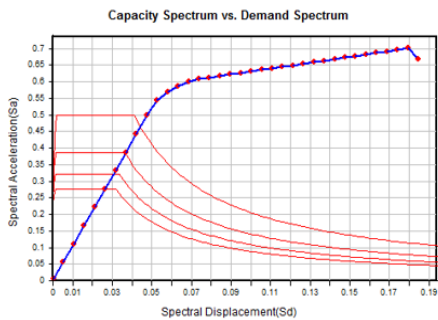
### 4.3 비선형 정적해석 수행

모듈러 주택 Case 1의 비선형 정적해석을 한 결과, 소성힌지 발생은 <Fig. 8>과 같이 X방향은 목표수준(LS)을 만족하지만 Y방향은 목표수준(LS)에 만족하지 않았다. 밀면 전단력은 <Fig. 9>와 같이 X방향 123kN, Y방향 95kN으로 Pushover 곡선이 밀면 전단력과 변위, 설계스펙트럼 가속도와 변위가속도 모두 탄성영역에 있는 것을 <Fig. 10>에서 확인할 수 있다. <Table 7>과 같이 지진가속도 0.22g로 적용한 경우 밀면전단력 및 변위가 탄성영역에 있어 지진가속도 0.58g로 추가 해석을 수행하였고 그 결과는 <Fig. 11>, <Table 8>과 같

다. 여기서,  $S$ 는 지진가속도,  $V$ 는 밀면전단력,  $D$ 는 변위,  $S_a$ 는 설계스펙트럼 가속도,  $S_d$ 는 변위가속도,  $T_{eff}$ 는 유효주기,  $D_{eff}$ 는 유효감쇠비이다.



(a) X-direction



(b) Y-direction

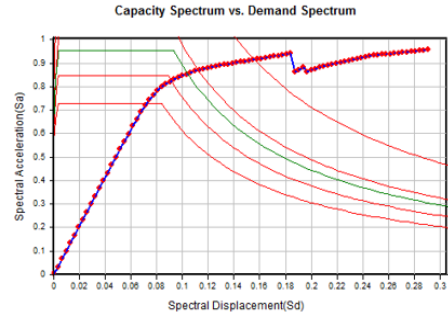
〈Fig. 10〉 Pushover curve with seismic acceleration of 0.22g

〈Table 7〉 Results of pushover analysis with seismic acceleration 0.22g(Case 1)

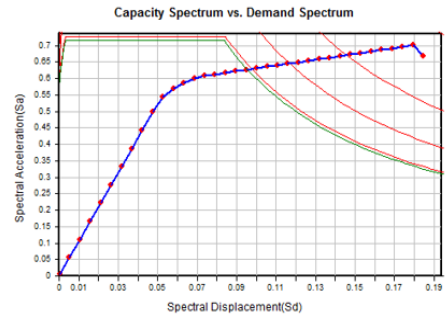
	$S$	$V$	$D$	$S_a$
X-dir	0.22g	Elastic	Elastic	Elastic
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	Elastic	0.780	5%	IO
Y-dir	0.22g	Elastic	Elastic	Elastic
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	Elastic	0.612	5%	IO

〈Table 8〉 Results of pushover analysis with seismic acceleration 0.58g(Case 1)

	$S$	$V$	$D$	$S_a$
X-dir	0.58g	111.5kN	0.129m	0.8541
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	0.1041	0.7005	11.68%	IO
Y-dir	0.58g	84.64kN	0.109m	0.6271
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	0.09561	0.7834	20.6%	IO

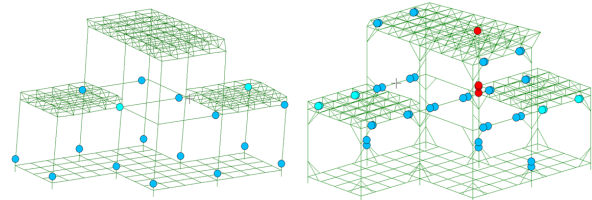


(a) X-direction



(b) Y-direction

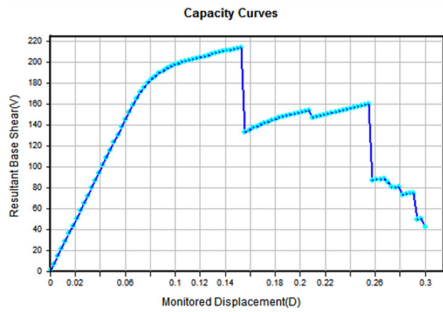
〈Fig. 11〉 Pushover curve with seismic acceleration of 0.58g



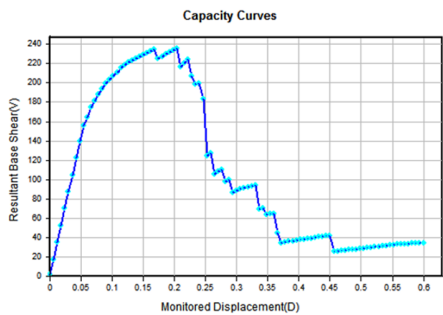
(a) X-direction

(b) Y-direction

〈Fig. 12〉 Case 2 review of plastic hinge occurrence

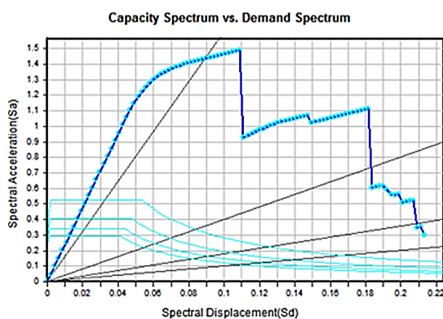


(a) X direction

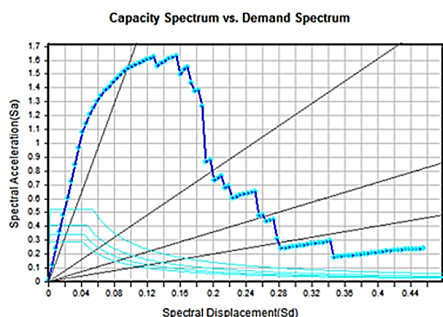


(b) Y direction

〈Fig. 13〉 Base shear force for Case 2



(a) X direction



(b) Y direction

〈Fig. 14〉 Pushover curve with seismic acceleration of 0.22g

모듈러 주택 Case 2에 대한 비선형 정적해석을 한 결과, 소성한지 발생은 〈Fig. 12〉와 같이 X방향은 목표수준을 만족하지만 Y방향은 목표 수준에 만족하지 않게 발생하였다. Case 2의 밀면전단력은 〈Fig. 13〉과 같이 X방향은 213kN , Y방향은 234kN으로 확인되었다. 〈Fig. 14〉를 보면 Pushover 곡선은 Case 1과 마찬가지로 밀면전단력과 변위, 설계스펙트럼 가속도와 변위가속도 모두 탄성영역에 있었다. 지진가속도 0.22g로 적용한 경우 밀면전단력 및 변위가 탄성영역에 있게되어 추가로 지진가속도 0.4g로 한번 더 해석을 수행하였고, 그 결과는 〈Table 9〉, 〈Table 10〉과 같다.

〈Table 9〉 Results of pushover analysis with seismic acceleration 0.22g(Case 2)

	$S$	$V$	$D$	$S_a$
X-dir	0.22g	Elastic	Elastic	Elastic
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	Elastic	0.5853	5%	IO
Y-dir	0.22g	Elastic	Elastic	Elastic
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	Elastic	0.5375	5%	IO

〈Table 10〉 Results of pushover analysis with seismic acceleration 0.4g(Case 2)

	$S$	$V$	$D$	$S_a$
X-dir	0.40g	Elastic	Elastic	Elastic
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	Elastic	0.780	5%	IO
Y-dir	0.40g	Elastic	Elastic	Elastic
	$S_d$	$T_{eff}$	$D_{eff}$	performance level
	Elastic	0.612	5%	IO

## 5. 결론

본 연구에서는 기존의 주택이 모듈러 주택으로 변하는 추세에 따라 공기단축, 비용감소, 고품질화 등을 위해 내진성능을 갖는 4-클립 체결방식을 갖는 모듈러 주택을 적용하여 진동대 실험과 구조해석 및 내진성능평가를 통해 다음 결론을 얻었다.

진동대 실험결과 지진가속도 0.9g와 1.2g에서 일부

천장재 및 벽체패널의 손상이 관찰되었으나, 구조부재에서는 실험조건외의 지진가속도내에서의 변형이나 파괴는 관찰되지 않아 제작된 모듈러 주택의 높은 내진성능을 보여주었다. 내진성능평가를 위해 제안된 Case 1, 2의 모듈러 주택은 성능 목표수준을 LS의 인명안전으로 설정하고 구조해석 및 역량스펙트럼법을 이용하여 비선형 해석을 실시하였다. 두 가지 모델은 0.22g, 0.4g 이상의 지진가속도를 적용하였을 때 IO의 즉시 거주 상태의 성능수준을 나타내는 결과가 나와 성능 목표수준인 LS의 인명안전보다 높은 결과로, 제안된 모듈러 주택 모델의 높은 수준의 내진성능을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 일반 구조용 각형강관과 4-클립 체결방식을 적용한 다양한 모듈러 주택 시스템을 개발하고 모듈러 주택의 활성화에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 논문은 2022년도 교과부 한국연구재단의 기초연구사업 (2018R1A2B2003258) 및 과기부 국민생활안전 긴급대응연구사업(2021M3E9A1101641) 으로 수행되었음.

### References

1. Park, N.C., Kim, K.T., Kim, I.M., & Kim, S.J., "Prospecting the Market of the Modular Housing Using the Nonlinear Forecasting Models", Journal of the Korea Institute of Buliding Construction 14(6), pp.631-637, 2004, doi: 10.5345/JKIBC.2014.14.6.631
2. Cho, C.G., Nam, S. H., & Sin, J. K., "Development of lightweight metal parts and systems for 4-clip fastening modular housing with seismic performance", The Korea institute For Structural Maintenance and Inspection, 22, pp.141~142, 2018
3. Lee, D.H. & Kim, K.T., "A fundamental study for applying of Unit modular housing production system in the domestic", Korea Institute of Construction Engineering and

- Management, 14(5) pp.3-11, 2013 doi: 10.6106/KJCEM.2013.14.5.003
4. Cho, C.G. & Nam, S.H., "Seismic performance evaluation of clip fastening modular housing with seismic performance", The Korea institute For Structural Maintenance and Inspection, pp.191~192, 2019.
5. ICC-ES, Acceptance Criteria For Seismic Certification by Shake-Table Testing of Nonstructural Components, ICC-ES AC156, 2010.
6. Korea Construction Standards Center, Steel Structure Seismic Design Standards, KDS 14 31 60, 2021.
7. Korea Construction Standards Center, Building seismic design standards, KDS 41 17 00, 2021.
8. MIDAS/Gen, General structure design system-MIDAS/Gen, MIDAS Information Technology co., Ltd, 2022.
9. ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, prepared by the Applide Technology Council, Redwood City, California for the California Seismic Safety Commission, Report No. SSC 96-01, 2016.
10. Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA-440 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C., 2004.

- Received : June 14, 2022
- Revised : August 30, 2022
- Accepted : September 1, 2022