

접합부 유한요소해석을 바탕으로 한 모듈러 구조물의 힌지접합부 수치해석적 연구

김문찬^{1†} · 홍기섭²

¹홍익대학교 건축학과 석사과정, ²홍익대학교 건축학과 교수

Numerical Analysis of Hinge Joints in Modular Structures Based on the Finite Element Analysis of Joints

Moon-Chan Kim^{1†} and Gi-Suop Hong²

¹Graduate Student, Department of Architecture, Hongik University, Seoul, 04066, Korea

²Professor, Department of Architecture, Hongik University, Seoul, 04066, Korea

Abstract

This paper introduces research on the hinge joint of modular structure joints using finite element analysis. The modular structure has a characteristic in that it is difficult to expect the integrity of columns and beams between unit modules because the construction is carried out such that the modules are stacked. However, the current modular design ignores these structural characteristics, considers the moment transmission for the lateral force, and analyzes it in the same manner as the existing steel structure. Moreover, to fasten the moment bonding, bolts are fastened outside and inside the module, resulting in an unreasonable situation in which the finish is added after assembly. To consider the characteristics that are difficult to expect, such as unity, a modular structure system using hinge joints was proposed. This paper proposed and reviewed the basic theory of joints by devising a modified scissors model that is modified from the scissors model used in other research to verify the transmission of load when changing from the existing moment junction to a hinge junction. Based on the basics, the results were verified by comparing them with Midas Gen, a structural analysis program. Additionally, the member strength and usability were reviewed by changing the modular structure designed as a moment joint to a hinge joint.

Keywords : FEM, the scissors model, modular structures, hinge joints, displacement-stress analysis

1. 서론

모듈러 건축은 80% 이상의 공정을 공장에서 생산 후 현장에서 조립하도록 하는 공법으로 현장 시공을 감소시켜 콘크리트 양생 혹은 철골 조립부분을 최소화하여 일반 건축물에 비해 공사기간을 단축할 수 있는 장점이 있으며, 공장에서 제작하므로 대량생산을 통한 품질향상 및 비용절감 뿐만 아니라 최근 건축에 이슈가 되고 있는 건축물의 재활용 및 이전 등 친환경 건축분야에도 활용하는 등 다양한 장점을 가지고 있어 국내에서 주목받고 있는 건축시스템이라 할 수 있다.

현재 모듈러 건축의 현장 조립방식은 크게 세 가지로 나뉘

어져 있는데 하나는 공장에서 만든 유닛을 쌓아 올리는 유닛 박스(unit box) 방식과 구조프레임을 만들고 프레임 사이사이에 공장에서 만든 유닛을 끼워 넣는 인필(infill) 방식 그리고 주요구조부재 및 패널을 공장에서 생산 후 공사현장에서 조립하는 패널라이징(panelizing) 방식으로 나눌 수 있다.

패널라이징 방식의 경우 일반적인 목조주택이나 스틸하우스에 많이 사용되는 공법으로 주요구조부재 및 패널을 공장에서 생산 후 공사현장에서 조립하는 형식으로 일반적으로 많이 사용되어지는 공법이다.

인필 방식의 경우 콘크리트나 철골 프레임을 만들고 그 사이에 유닛을 끼워 넣어 각 유닛은 각자의 자중만을 부담할 뿐

[†]Corresponding author:

Tel: +82-70-4488-3935; E-mail: cjsdhlcs007@naver.com

Received November 4 2021; Revised November 18 2021;

Accepted November 18 2021

© 2022 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

전체의 수직하중과 수평하중은 프레임이 부담하므로 모듈러의 접합부가 유닛의 수직하중만 전달할 수 있도록 설계되어 크게 중요성이 떨어지는 편이다.

또 적층 방식의 경우 인필 방식의 프레임없이 모듈러 유닛만을 쌓아 구조물을 만드는 방식으로 접합부를 통해 수직하중 및 수평하중을 하부 유닛 및 기초로 전달하게 되어 적층방식의 경우 접합부의 설계가 중요한 부분을 차지하게 된다.

현재 국내 사용되는 모듈러의 대부분의 접합부는 모멘트 접합을 이용하여 유닛들을 접합하고 있는데 기존 강구조 설계 시 사용되는 모멘트 접합과 동일하게 해석하기 위함도 있으며, 아직 구조해석 및 기술의 방면에서 실험을 통한 검증자료 및 예시가 부족한 상황에서 여러 가지 방향이 제시되지 못한 점도 하나로 들 수 있을 것이다.

기존 모멘트접합부는 기존 강구조 설계 시처럼 구조해석하나 실제로는 상하부 유닛의 기둥과 보의 일체성을 확보하기 어려울 뿐만 아니라 기존 모멘트 접합 시 외부의 볼트접합이 되는 부분에 더해서 내부에도 볼트접합을 진행함으로써 유닛 내부 슬래브나 마감을 조립 후 시공 혹은 파손해야 되는 낭비가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 모듈러 유닛간의 접합을 힌지접합으로 상정하고 구조 해석하여 거동을 분석함으로써 이론과 구조해석간의 오류를 해결하고 모듈러만의 접합 방식을 제시하고자 하였다.

또한 힌지접합을 함으로써 모든 축의 모멘트를 전달하기 위하여 내부에도 볼트가 들어가 마감성의 효율이 떨어지는 부분을 개선할 수 있는 이점이 있을 것으로 판단된다.

2. 모듈러의 이력거동

기존 모듈러의 이력거동에 대해서는 Park 등(2011), Choi 등(2018; 2020)에 의해 연구되었으나, 본 연구에서는 기존 접합부 거동을 평가하기 위해 Charney와 Downs(2004)가 제안한 The Scissor Model을 소개한 후, 모듈러구조에 맞도록 변형한 변형 Scissors Modal에 대한 수식 전개 과정과 함께 제안하고자 한다.

2.1 The Scissor Model

접합부의 거동을 확인하기 위한 모델로 Scissor 모델을 소개하려 하는데 횡하중이 모델에 작용시 가위처럼 거동한다고 하여 정의된 모델이다.

Scissor 모델은 앞의 Fig. 1과 같으며, 패널존을 경계로 기둥과 보가 힌지로 연결되어 있어 가위처럼 거동하며 기둥과 보의 각각 절점을 만들어 절점사이를 스프링 요소로 연결시킨 부재이다. 부재의 외력이 생기면 스프링에 외력이 작용하여 회전

각이 발생하는데 이 각을 패널존의 회전각으로 정의하였다.

모델의 변위는 기둥, 보, 패널존의 각각 변위의 합으로 나타낼 수 있으며 다음 식 (1)과 같다.

$$\delta = \delta_c + \delta_b + \delta_s$$

$$= PH^2 \left(\frac{H}{12EI_c} + \frac{L}{12EI_b} + \frac{1}{K_s} \right) \quad (1)$$

여기서, K_s 는 스프링의 회전강성, E 는 탄성계수, I_b 와 I_c 는 각각 보의 탄성계수 및 기둥의 탄성계수이다.

2.2 변형 Scissor Model

힌지 접합을 평가하기 위해 앞서 설명하였던 Scissor 모델을 두 개를 연결하고 상하부 모델이 힌지로 구성되어 있는 Scissor 모델의 변형을 제안하려 한다(Fig. 2).

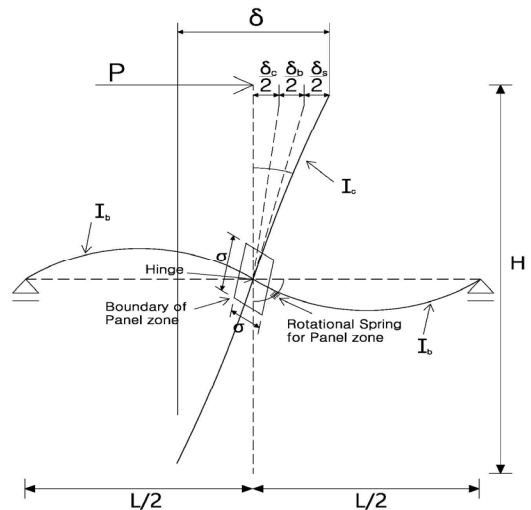


Fig. 1 The scissors model

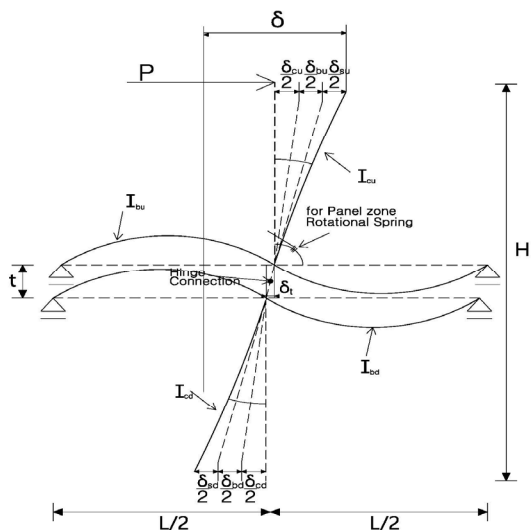


Fig. 2 Transform scissors model

현재 하나로 된 Scissor 모델을 두 개로 나누고 힌지로 접합하였으나 Scissor 모델에서의 세 가지의 구성요소 중 기둥의 변위나 보의 변위는 모멘트 및 전단력, 축력에 의해 결정하게 되는데 기존 기둥 및 보의 모멘트 및 전단력, 축력은 동일하기 때문에 기둥의 변위나 보의 변위는 기존 Scissor 모델과 동일하나, 패널존의 변위는 기존 Scissor 모델에서는 모멘트에 의해 회전각이 발생하여 단일 회전각으로 패널존의 변위를 계산하나, 변형 Scissor 모델에서는 힌지로 접합하기 때문에 상부모듈러의 회전각과 하부모듈러의 회전각과 달라지게 되고 두 기둥을 연결하는 힌지로 인해 접합부의 변형이 추가로 발생한다.

각 부재의 변형의 합이 전체 변형이 되므로 변형을 확인하기 위해 각각 부재의 대하여 변형을 계산하였다.

기둥의 변위는 상부 자유단 기둥의 모멘트에 대한 변위이며 식은 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_c = \int x \frac{M}{EI_c} = \frac{PH^3}{12EI_c} \quad (2)$$

보의 변위는 모멘트에 의해 보의 회전각이 생기고 패널존 이외의 구간에서는 강절점이므로 보의 회전각만큼 기둥도 회전각을 가지게 되어 생겨난 변위이며 다음과 같다.

$$\delta_b = \theta_b \times H = \frac{\frac{PH}{2} \times L}{24EI_b} \times H = \frac{PH^2L}{12EI_b} \quad (3)$$

스프링의 변위는 Scissor 모델에 변위가 발생하면 패널존 부분에 모멘트에 의한 회전각이 발생한다. 기존 Scissor 모델의 θ_s 는 패널존 내부에서의 보의 회전각과 기둥의 회전각의 차이이며, 회전각을 이용하여 변위 δ_s 를 구하게 되고 각각 식 (4), 식 (5)에 나타내었다.

$$\theta_s = \theta_b - \theta_c = \frac{PH}{K_s} \quad (4)$$

$$\delta_s = \theta_s \times H = \frac{PH^2}{K_s} \quad (5)$$

그러나 변형 Scissor 모델에서는 상부모듈러와 하부 모듈러의 다른 회전각 차이가 발생하여 각각에 대한 회전각 및 변위를 구하면 다음 식 (6)~(9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{su} = \theta_{bu} - \theta_{cu} = \frac{PH}{K_{su}} \quad (6)$$

$$\delta_{su} = \theta_{su} \times \frac{H}{2} = \frac{PH^2}{2K_{su}} \quad (7)$$

$$\theta_{sd} = \theta_{bd} - \theta_{cd} = \frac{PH}{K_{sd}} \quad (8)$$

$$\delta_{sd} = \theta_{sd} \times \frac{H}{2} = \frac{PH^2}{2K_{sd}} \quad (9)$$

접합부의 변위는 모듈러 접합부 사이기둥의 모멘트에 대한 변위이며 식은 다음 식 (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_t = \int x \frac{M}{EI_c} = \frac{PH^2t}{12EI_c} \quad (10)$$

변형 Scissor 모델에서의 변형은 앞서 계산한 각각 부재의 변형의 합으로 정리할 수 있으며 다음 식 (11)로 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_c + \delta_b + \delta_{su} + \delta_{sd} + \delta_t \\ &= PH^2 \left(\frac{H}{12EI_c} + \frac{L}{12EI_b} + \frac{1}{2K_{su}} + \frac{1}{2K_{sd}} + \frac{t}{12EI_c} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, 앞서 설명한 K_s, E, I_b, I_c 를 제외한 θ_{su}, θ_{sd} 는 상부 모듈러, 하부 모듈러 회전각이며, K_{su}, K_{sd} 는 상부 모듈러, 하부 모듈러의 스프링계수, t 는 접합부의 높이이다.

Scissor 모델과 변형 Scissor 모델에 각각 나타냈듯이 상부 모듈러와 하부 모듈러의 외력과 부재의 강성, 단면2차모멘트의 식으로 구성되어 있으며, 다른 부재는 동일하다 가정하고 접합부만 비교하였기에 부재 및 스프링의 강성과 단면2차모멘트는 모멘트접합과 힌지접합의 수평변위 비교 시 동일한 값을 가지고, 접합부의 변위만 추가되어 있는 식이기 때문에 모멘트접합과 힌지접합의 수평변위 차이는 미미할 것으로 예상되어진다.

3. 접합부 해석 비교

3.1 Scissor 모델과 유한요소해석 비교

Scissor 모델과 변형 Scissor 모델을 실제 구조해석하는데 사용하는 유한요소해석 프로그램 MIDAS GEN을 통해 실제 모멘트와 전단력, 축력 등을 비교해 보고 실제 변형과 모델링 상에서의 변형이 어느 정도 다른지에 관하여 비교해 보고자 한다.

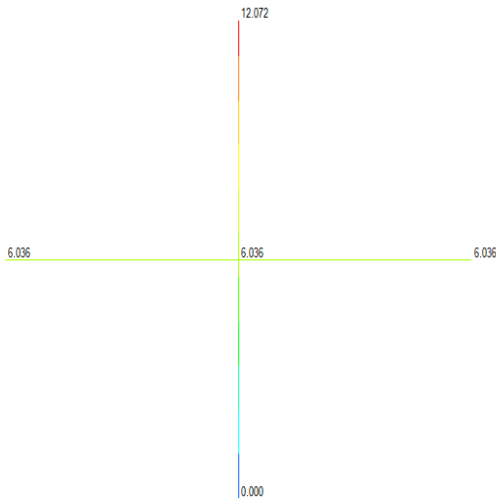
Fig. 3에서 확인되는 수치해석할 모든 부재의 길이는 수치 계산의 편의성을 위하여 각각 1m씩 총 높이 2m, 길이 2m로 지정하였으며, 부재의 단면적은 기둥은 Scissor 모델과 변형 Scissor 모델 전부 100mm × 100mm로 진행하였으나, 보 부재는 변형 Scissor 모델의 경우 100mm × 100mm로 진행하였고, Scissor 모델은 단일 보 부재로 진행되기 때문에 단면 2차모멘

트의 값을 변형 Scissor 모델과 동일하게 해석할 수 있도록 200mm × 100mm로 진행로 구조해석을 진행하였다.

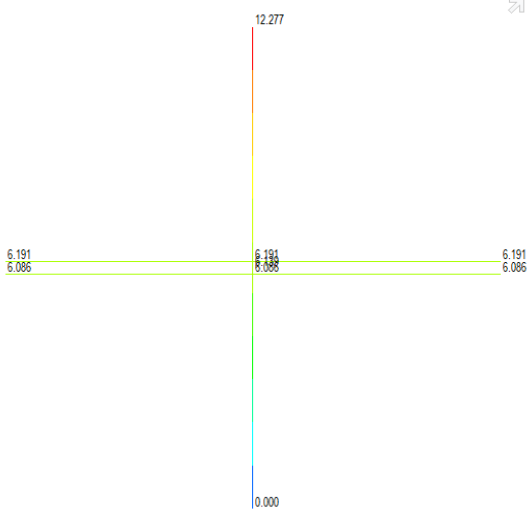
또한 하중 P는 10kN을 가력하였으며, 탄성계수 E = 100000Mpa로 구조해석을 진행하였다.

Scissor 모델과 변형 Scissor 모델의 F.B.D(Free Body Diagram) MIDAS GEN의 해석을 서로 비교하였을 때 스프링 계수는 무시한다 가정하고 MIDAS GEN에 적용하였던 하중 및 계수 값을 식 (1)과 식 (11)에 적용하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_c + \delta_b + \delta_s \\ &= PH^2 \left(\frac{H}{12EI_c} + \frac{L}{12EI_b} + \frac{1}{K_s} \right) \\ &= 12.00mm \\ &\approx \text{MIDAS 모델 변위: 12.07mm} \end{aligned} \quad (1)$$



(a) The scissors model displacement



(b) Transform scissors model displacement

Fig. 3 Model displacement

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_c + \delta_b + \delta_{su} + \delta_{sd} + \delta_t \\ &= PH^2 \left(\frac{H}{12EI_c} + \frac{L}{12EI_b} + \frac{1}{2K_{su}} + \frac{1}{2K_{sd}} + \frac{t}{12EI_c} \right) \\ &= 12.20mm \\ &\approx \text{MIDAS 모델 변위: 12.27mm} \end{aligned} \quad (11)$$

결과적으로 Scissor 모델과 변형 Scissor 모델의 축력, 전단력, 모멘트도와 MIDAS GEN으로 확인한 축력, 전단력, 모멘트도는 일치하는 것으로 확인되었으며, 수식으로 유도된 수평 변위의 값과 Fig. 3에서와 같이 MIDAS GEN으로 확인한 수평 변위의 값은 각각 Scissor 모델의 경우 12.00mm, 12.07mm, 변형 Scissor 모델의 경우 12.20mm, 12.27mm로 확인되며, 각각 0.07mm의 오차는 있지만 스프링계수를 무시한 정도의 오차라고 판단되고, MIDAS GEN을 사용하였을 때 Scissor 모델과 변형 Scissor 모델을 적용하는 것에 있어 유의미한 자료로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

3.2 모듈러구조의 힌지접합과 모멘트접합 변형 비교

앞선 Scissor 모델과 변형 Scissor 모델의 유한요소해석에서는 접합부 부분만의 변형을 이론에 따라 수치계산의 편의성을 위하여 단순값을 가지고 해석을 진행하였기 때문에 내력 및 변형에 영향을 미치는 다른 많은 변수들의 영향을 파악할 수가 없었다. 따라서 본 접합부 비교에서는 접합부 종류만이 아니라 변형에 많은 영향을 미칠 것으로 예상되는 기둥 높이 및 접합부의 높이, 기둥과 보의 길이비 등을 추가하여 범용 유한요소 프로그램인 MIDAS GEN을 이용하여 수치해석을 수행하고 하중-변위 관계 등을 통하여 접합부 변화에 따른 변형의 자료로 활용하고자 한다.

모듈러구조 접합부에서 변수를 고려하여 만든 해석모델은 접합부와 각 변수들을 고려하여 Table 1과 같이 총 32개의 모델을 계획하였다. 결과적으로 접합부가 모멘트접합에서 힌지접합으로 바뀌었을 때의 변수의 영향을 파악하기 위하여 기둥의 길이, 기둥과 보의 길이비, 접합부의 높이 등을 변수로 한 해석을 진행하였으며, 각 모델별로 모듈러의 최대 변위를 가지고 각각을 비교하였다.

기둥 높이와 접합부 높이와의 상관관계와 접합부와의 영향을 확인하기 위하여 기둥을 3m로 설정한 모델(-T1 계열)과 기둥을 4m로 설정한 모델(-T2 계열)을 모멘트접합부(M-계열), 힌지접합부(H-계열)와 같은 그래프에 비교 분석하였다.

전체적인 경향으로 확인하였을 때 접합부가 모멘트접합에서 힌지접합으로 바뀌었을 때 모든 계열 모델링에서 대략 9.5%~10% 내외로 변위가 증가되는 것을 확인하였고, 기둥 높이에 따른

Table 1 Specifications of the model

Model	Connection	Length ratio	Column height	Connection height
1.M2B-T1S	Moment	1:2	3.0m	50mm
2.M2B-T1M	Moment	1:2	3.0m	100mm
3.M2B-T1L	Moment	1:2	3.0m	150mm
4.M2B-T1K	Moment	1:2	3.0m	200mm
5.M2B-T2S	Moment	1:2	4.0m	50mm
6.M2B-T2M	Moment	1:2	4.0m	100mm
7.M2B-T2L	Moment	1:2	4.0m	150mm
8.M2B-T2K	Moment	1:2	4.0m	200mm
9.M3B-T1S	Moment	1:3	3.0m	50mm
10.M3B-T1M	Moment	1:3	3.0m	100mm
11.M3B-T1L	Moment	1:3	3.0m	150mm
12.M3B-T1K	Moment	1:3	3.0m	200mm
13.M3B-T2S	Moment	1:3	4.0m	50mm
14.M3B-T2M	Moment	1:3	4.0m	100mm
15.M3B-T2L	Moment	1:3	4.0m	150mm
16.M3B-T2K	Moment	1:3	4.0m	200mm
17.H2B-T1S	Hinge	1:2	3.0m	50mm
18.H2B-T1M	Hinge	1:2	3.0m	100mm
19.H2B-T1L	Hinge	1:2	3.0m	150mm
20.H2B-T1K	Hinge	1:2	3.0m	200mm
21.H2B-T2S	Hinge	1:2	4.0m	50mm
22.H2B-T2M	Hinge	1:2	4.0m	100mm
23.H2B-T2L	Hinge	1:2	4.0m	150mm
24.H2B-T2K	Hinge	1:2	4.0m	200mm
25.H3B-T1S	Hinge	1:3	3.0m	50mm
26.H3B-T1M	Hinge	1:3	3.0m	100mm
27.H3B-T1L	Hinge	1:3	3.0m	150mm
28.H3B-T1K	Hinge	1:3	3.0m	200mm
29.H3B-T2S	Hinge	1:3	4.0m	50mm
30.H3B-T2M	Hinge	1:3	4.0m	100mm
31.H3B-T2L	Hinge	1:3	4.0m	150mm
32.H3B-T2K	Hinge	1:3	4.0m	200mm

1. Section of Column: B-100×100×9T
2. Section of Beam: C-200×70×7×10
3. Material: SN275B
4. Modular Floor: Third Floor

구조물의 변위는 T1계열과 T2계열이 233.9%~235.4%의 변화를 나타냄을 확인하였으며, 기둥과 보의 길이 비에 대한 비율은 2B계열과 3B계열이 166.6%~117.2%의 변화를 나타냄을 확인할 수 있었다.

또한 접합부 높이에 따른 구조물의 변위는 S계열을 기준으로 M, L, K계열로 변경하는 경우 각각 평균 0.78%, 1.56%, 2.37% 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

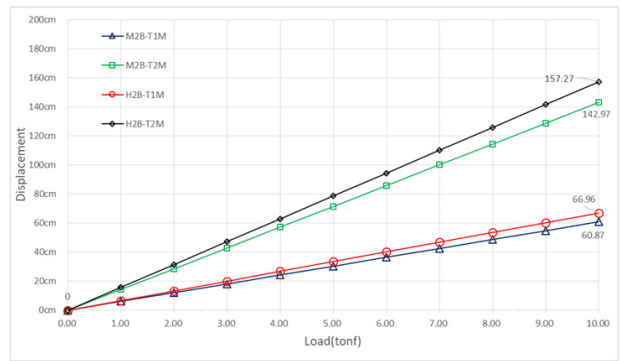


Fig. 4 Length ratio 1:2

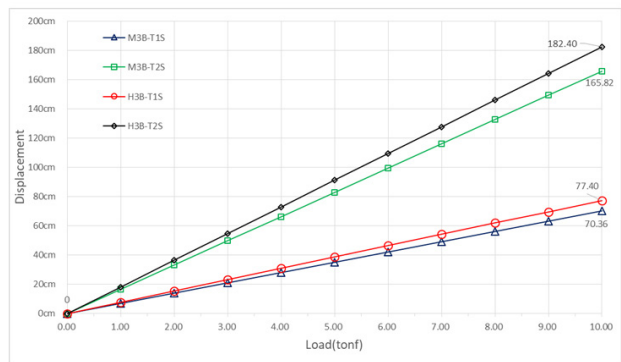


Fig. 5 Length ratio 1:3

여러 변수를 고려하여 진행한 구조해석의 최대 변수를 가지고 비교하였을 때 각 변수에 따른 변위 증감량이 Fig. 4 및 Fig. 5에서 확인되는 것과 같이 모멘트접합과 힌지접합에서 1% 내외의 오차범위 안에 일정하게 변화함을 확인할 수 있었다.

4. 기존 구조물의 힌지접합부 반영

4.1 기존 구조물 개요

본 연구에 사용된 기존 구조물은 3층 규모의 저층 구조물로 위의 Fig. 6과 Fig. 7과 같이 모듈러부재의 접합으로 이루어져 기 모멘트접합부로 기 시공된 건축물이다.

연구에서는 접합부를 모멘트접합에서 힌지접합으로 변경하였을 시 현행 기준으로 만족하는지를 확인하기 위하여 두 가지 방법으로 검토해 보고자 한다.

첫 번째로는 기존 건축물의 부재의 내력이 접합부의 변경에 따라 어떻게 증감되는지에 관하여 부재내력과 최대저항성능의 비로 체크하였으며, 두 번째 방법으로는 사용성에 맞춰 현행규준에 풍변위와 지진변위, 층간변위비가 만족하는지 확인하였다.

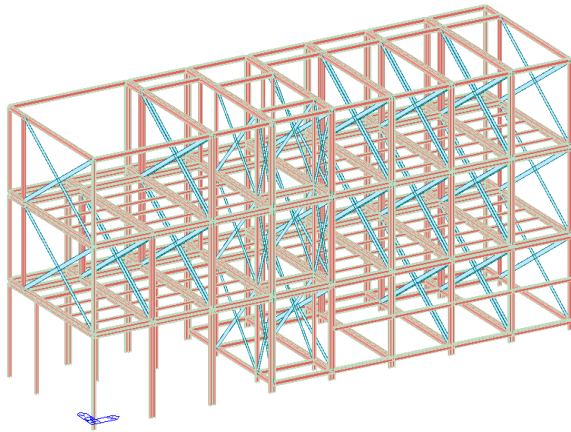


Fig. 6 3D model

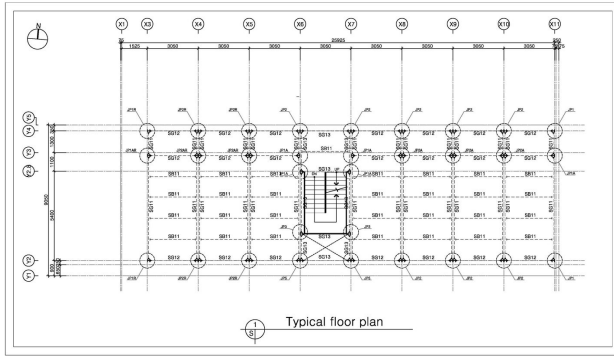


Fig. 7 Typical floor plan

Table 2 Material and member

Member	Properties	Material
Steel	Fy = 275MPa Fy = 355MPa	SN275B SN355
Base Plate	Fy = 355MPa	SN355
Bolt	F10T M20	
Member	Section	Material
MC1 (All Column)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SG1 (Modular UnderBeam)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SG2 (Modular UnderBeam)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SG11 (Modular UpperBeam)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SG12 (Modular UpperBeam)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SG21 (Modular RoofBeam)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SG22 (Modular RoofBeam)	H - 150 × 150 × 7 × 10	SN355
SB21 (Modular RoofBeam)	H - 100 × 50 × 5 × 7	SN275B

Table 3 Wind load design parameters

Wind	Parameters
Basic wind Speed	26m/sec
Exposure Category	B
Importance Factor	1.00

Table 4 Seismic design parameters

Seismic	Parameters
Area Parameters	0.176
Site Class	S4
Importance Factor	1.2(I)
Seismic Design Category	C
Response Modification Factor	3.0
Period	$T=0.0724(hn)^{0.8}$

4.2 부재력 변화 검토

기존 구조물에서 접합부를 변경하였을 때 각 부재에서의 내력의 변화를 확인하기 위하여 모멘트접합 모델링과 힌지접합 모델링에서 Table 1과 같은 동일한 부재조건 및 Table 2, Table 3과 같은 동일한 하중조건에서 내력설계를 진행하였으며, 모든 부재는 부재내력을 최대저항성능에 대한 비로 체크하였으며, 각층에서의 부재별 최대치를 확인하여 Table 5로 정리하였다.

4.3 해석결과 및 비교

기 설계된 모듈러 건축물을 가지고 현행기준을 토대로 구조 해석을 진행하였으며, 접합부를 변경하고 부재 내력 및 사용성을 비교 검토하였다. 기존 건축물의 부재의 내력이 접합부의 변경

Table 5 Connection stress ratio

	Moment Connection	Hinge Connection	Variation
MC1 - 1F	77.1%	80.0%	+2.9%
MC1 - 2F	72.1%	88.4%	+16.3%
MC1 - 3F	92.7%	103.6%	+10.9%
SG1 - 1F	98.2%	99.5%	+1.3%
SG1 - 2F	89.7%	94.1%	+4.4%
SG1 - 3F	88.7%	92.1%	+3.4%
SG2 - 1F	67.3%	68.8%	+1.5%
SG2 - 2F	46.9%	48.9%	+2.0%
SG2 - 3F	39.6%	30.9%	-8.7%
SG11 - 1F	99.4%	104.2%	+4.8%
SG11 - 2F	32.4%	42.5%	+9.9%
SG12 - 1F	22.6%	29.6%	+7.0%
SG12 - 2F	16.7%	18.0%	+1.3%
SG21 - RF	106.2%	105.2%	-1.0%
SG22 - RF	18.1%	17.0%	-1.1%
SB21 - RF	3.7%	4.5%	+0.8%

에 따라 어떻게 증감되는지에 관하여 부재내력과 최대저항성능의 비로 체크하였으며, 더불어 사용성에 맞춰 현행규준에 풍변위와 지진변위, 층간변위비가 만족하는지 확인하였다.

부재 내력 검토 결과 모멘트접합에서 힌지 접합으로 변경시 기둥 부재는 층별로 각각 +2.9%, +16.3%, +10.9% 내력 증가가 확인되었으며, 보 부재는 -8.7%~+9.9% 내력 증감이 확인되었습니다. 변형 검토 결과 풍변위는 최대 4.5%의 변위 증가를 확인하였으며, 지진변위는 최대 7.8% 변위증가를 확인하였다.

결과적으로 접합부를 변형하였을 때 부재의 변형보다는 부재의 내력에서 증가되는 비율이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 접합부의 변경이 보 부재에서는 5% 내외의 내력 변형이 이루어지는 반면 기둥 부재에서는 15% 이상의 내력증가가 확인되었다.

5. 접합부 비선형수치해석

앞 장에서는 모듈러 접합부를 힌지접합으로 변경하였을 때 변형이 철골 강접합 및 모듈러 모멘트접합과 비교를 통해 힌지 접합 접합부 시스템이 다른 접합부 시스템과 시스템적으로 활용가능성에 대해서 서술했다면 이 장에서는 모듈러 시스템에 적용 가능한 힌지 모듈러 접합부를 비선형 수치해석을 통해 구조성능 및 적용한계적인 부분을 검증할 예정이다.

5.1 형상 및 지점

힌지 모듈러 접합부를 제안함에 있어 초기 고려사항은 기존에 존재하는 모듈러 접합부 상세를 참고하되 모멘트 접합이 아닌 힌지접합이므로 한 축으로만 볼트접합을 체결하여 접합부를 형성하였으며, 볼트 두께, 수평연결플레이트 두께 및 보강스티프너 두께등을 비슷한 규모의 실제 모듈러 모델과 동일하도록 해석을 진행하였다.

유한요소해석은 NASTRAN을 활용하여 진행되었으며 Fig. 8과 같이 모듈러접합부와 1:1스케일로 모델링하여 실제접합부와 유사한 거동을 확인할 수 있도록 모델링하였다.

가력방식은 하중제어방식으로 진행하였으며, 하중제어방식은 구조물에 횡력을 일정량 가함으로써 최대응력이 어느 부분에 집중되는지 확인하기 위하여 수행하였으며, 접합부의 강성을 도출하기 위해 Fig. 2의 변형 Scissor 모델과 같이 보 양단은 이동지점, 기둥 아랫단은 회전지점으로 가정하였으며 기둥 윗부분은 자유단으로 가정하였다.

5.2 해석결과

Fig. 9와 같이 접합부에서 파괴를 방지하기 위해 모듈러에 하중이 가력되었을 경우 접합부의 응력이 접합부 강재의 항복

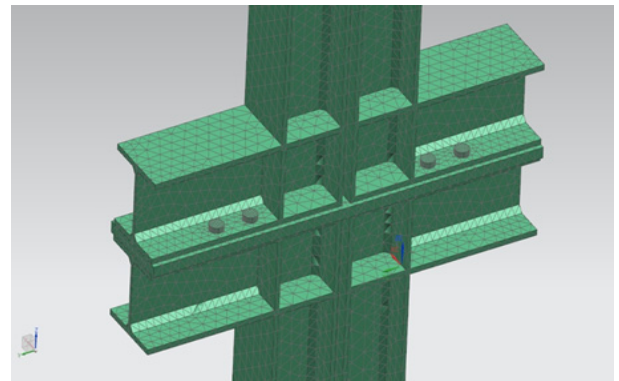


Fig. 8 Non-linear analysis model

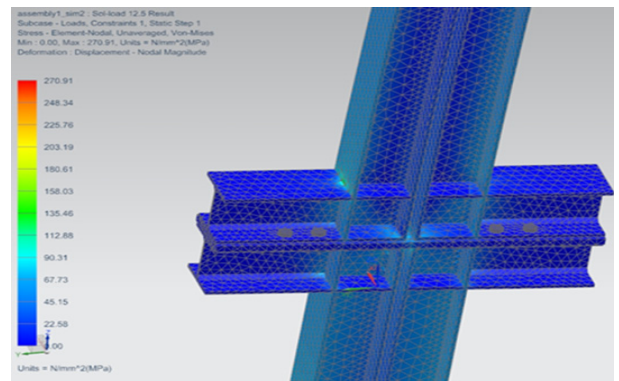


Fig. 9 Non-linear analysis model

응력을 도달치 않으면서 먼저 모듈러 기둥 혹은 보의 항복응력에 도달할 수 있는지를 관찰하기 위해 해석모델을 제작하여 확인하였다.

접합부 부분을 응력해석하였을 때 상부 응력해석 그림에서 확인되듯이 다이어프্রে임 전반에 분포된 응력이 모듈러 접합부 주변이 아닌 기둥 및 보 접합부 주변에서 집중되는 것이 확인되었으며 이에 따라 모듈러의 주요 구조체(기둥, 보) 보다 접합부가 먼저 항복할 확률이 줄어들 것으로 보인다.

접합부 전 구간에서 볼트슬립은 확인되지 않았으며, 변형에도 문제가 없어 접합부를 힌지 접합부로 사용하는 것은 문제가 없을 것으로 판단되며, 추후 볼트의 위치 및 크기, 접합부의 두께, 리브 등의 관한 추가 연구를 통해 접합부의 강성 향상 및 최적화를 연구할 수 있을 것이라 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 Scissor 모델을 변형한 변형 Scissor 모델을 제안하였다. 구조적인 성능을 기존 모듈러 접합부와 비교하여 알아보기 위해 유한요소해석을 통하여 기존 모듈러 접합부와 힌지모듈러접합부 수치해석적으로 비교 분석하였으며, 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 접합부가 모멘트접합에서 힌지접합으로 바뀌었을 때 모 든 계열 모델링에서 대략 9.5%~10% 내외로 변위가 증가 되는 것을 확인하였으며, 여러 변수가지고 진행한 구조 해석의 최대 변수를 가지고 비교하였을 때 각 변수에 따 른 변위 증감량이 모멘트접합과 힌지접합에서 1% 내외 의 오차범위 안에 일정하게 변화함을 확인할 수 있었다.
- 2) 접합부를 변형하였을 때 부재의 변형보다는 부재의 내 력에서 증가되는 비율이 커지는 것을 확인할 수 있었습 니다. 접합부의 변형이 보 부재에서는 5% 내외의 내력 변형이 이루어지는 반면 기둥 부재에서는 15% 이상의 내력증가가 확인할 수 있었다.
- 3) 향후 연구를 수행함에 있어 기존의 이론을 바탕으로 한 접 합부의 모멘트접합, 힌지접합을 가정하여 MIDAS GEN 을 이용한 기본적인 사용성검토(변위 및 변위각)만을 진 행하여 비교하였으며, 힌지로 변경하는 부분이 가능할 것으로 판단되나, 추후 실험을 통하여 이론으로 예상했 던 부분과 실제가 일치하는지에 대한 추가적인 확인과 이를 구조설계식으로 제시하기까지는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Charney, F.A., Downs, W.M.** (2004) Modeling Procedures for Panel Zone Deformation in Moment Resisting Frames, *Proc. Int. Workshop on Connect. Steel Struct.*, Amsterdam, pp.121~130.
- Choi, K.S., Shin, D.H., Kim, H.J.** (2020) Analytical Study on Structural Behaviors of Post-Tensioned Column-Base Connections for Steel Modular Structures, *J. Comput. Struct. Eng. Inst.*, Korea, 33(6), pp.427~435.
- Choi, Y.H., Lee, H.C., Kim, J.K.** (2018) Seismic Performance Assessment of a Composite Modular System Considering Stiffness of Connections, *J. Korea Inst. Struct. Maint. & Insp.*, 22(2), pp.105~114.
- Park, K.S., Lee, S.S., Hong, S.Y., Heo, Y.H.** (2011) Evaluation on the Lateral Resistance Performance for Modular Steel Frame, *J. Archi. Inst. Korea Struct. & Constr.*, 27(10), pp.97~104.

요 지

본 논문에서는 유한요소해석을 통한 모듈러 구조물 접합부의 힌지접합부 연구에 관하여 소개한다. 모듈러 구조물은 모듈과 모듈을 적층하는 방식으로 공사를 진행하여 단위 모듈간의 기둥 및 보의 일체성을 기대하기 어려운 특성을 가지고 있다. 그러나 현 모듈러 설 계 시 이러한 구조적 특성을 무시하고 횡력에 대한 모멘트전달을 고려하여 기존 강구조와 동일한 방식으로 해석하고 있다. 더구나 모 멘트접합을 체결하기위해 모듈러 외부뿐만 아니라 내부에서 볼트 체결이 이루어져 조립 후 마감을 추가하는 불합리한 상황도 발생한다. 이러한 일체성을 기대하기 어려운 특성을 고려하기 위하여 힌지접합을 활용한 모듈러구조시스템을 제안하였다. 논문에서는 기존 의 모멘트접합부에서 힌지접합부로 변경하였을 때 하중의 전달을 확인하기 위하여 이전 다른 연구에서 활용되었던 가위 모델을 변형 한 변형 가위 모델을 고안하여 접합부의 기본 이론을 제안·검토하였고, 기본을 바탕으로 계산된 결과는 구조해석 프로그램인 마이더 스젠과 비교하여 검증하였다. 추가적으로 기존 모멘트접합부로 설계되었던 모듈러구조물을 힌지접합부로 변경하여 부재내력 및 사 용성을 검토하였다.

핵심용어 : 유한요소해석, 모듈러구조물, 힌지접합, 변위-응력해석, Scissor모델