

# 중층 전통 목조건축 마곡사 대웅보전의 수직하중에 대한 구조성능 평가

## 김 영 민<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>명지대학교 건축대학 건축학부 교수

Evaluation of Structural Performance of Multi-tiered Roof Korean Traditional Timber Building Daeungbojeon Hall of Magoksa Temple Under Vertical Load

Yeong-Min Kim<sup>1†</sup>

<sup>1</sup>Professor, College of Architecture, Myongji University, Yongin, 17058, Korea

#### Abstract

This paper assesses the structural performance of the Daeungbojeon Hall of Magoksa in Gongju, a representative multi-tiered roof traditional timber structure from the Joseon Dynasty, under vertical loads. Employing midas Gen, a structural analysis software, we developed a three-dimensional analysis model closely resembling the actual structure. Static analysis was employed to evaluate the safety and serviceability of the main vertical and horizontal members under vertical loads. While all members met the safety and serviceability criteria, structural weaknesses were identified in the Daelyang of the lower floor, particularly as a transitional beam, necessitating improvement. For the evaluation of dynamic behavior characteristics, eigenvalue analysis was conducted, assuming a relative rotational stiffness of 5% at the main joints. The natural period was determined to be 1.105 seconds, placing it within the category of a Hanok of similar size. The first mode manifested as a translational movement in the forward and backward direction of the building.

Keywords: Magoksa Daeungbojeon, structural analysis, performance evaluation, eigenvalue analysis

## 1. 서 론

충남 공주시에 위치한 마곡사는 7세기 중후반 경 창건되었 고, 경내의 제일 위쪽에 위치한 대웅보전은 임진왜란 때 소실 되었다가 조선 효종 2년(1651)에 중수되었으며, 보물 제 801호 로 지정되어 있다.

대웅보전은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 다포양식의 팔작지 붕 구조이고, 규모는 하층이 정면 5칸, 측면 4칸, 상층이 정면 3 칸, 측면 3칸이며, 외관상으로는 2층 형태이지만 내부는 하나 의 공간으로 된 중층 형식이다. 가운데 석가모니불을 중심으 로 좌우에 약사여래불과 아미타불을 모시고 있다. 대웅보전은 목조건축의 아름다운 조형미와 함께 조선 중기 이후의 건축양 식을 잘 보이고 있다.

마곡사 대웅보전은 1785년, 1831년, 1923년에 크게 중수하 였고, 근래의 주요 수리이력으로는 1979년의 번와 및 단청공

<sup>†</sup>Corresponding author:

Accepted November 21 2023

사, 1986년의 전면 해체수리, 1993년의 산자 이상 해체 및 부식 재 교체와 번와 보수, 2001년의 번와공사, 2010년의 하층 지붕 해체 및 연목보수공사 등 상당히 많은 수리가 있었다. 특히, 1984년에는 지붕이 심하게 퇴락되고, 상층 추녀를 받치는 서 북쪽 활주가 부러진 채 1년 동안 방치되어 상층 지붕이 기울어 져 붕괴위기가 있어 1986년의 전면 해체수리가 있었다.

마곡사 대응보전 후면은 북쪽 산비탈과 인접해 해가 들지 않고 습하여 부후가 더 쉽게 진행되는 환경이고, 구조적 안정 성 면에서 취약점이 있어 이에 대한 분석과 구조 안전성에 대 한 평가가 요구되고 있는 상황이다.

## 2. 연구 목적

전통목구조의 주요 구조부재로 사용되는 목재는 기후 환경 과 병충해 및 시간경과에 따라 부후가 진행되어 재료의 성질이

Tel: +82-31-330-6490; E-mail: ymkim@mju.ac.kr Received October 10 2023; Revised November 18 2023;

 $<sup>{\</sup>ensuremath{\textcircled{C}}}$  2024 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.

변하는 특징이 있다(Kim et al., 2011). 특히 수분은 부후균의 공격을 촉진시키므로 목재의 함수율은 가급적 20% 이하로 유 지하는 것이 필요하다(Kim, 2018). 전통목구조는 구조재료로 목재라는 가벼운 재료를 사용하지만, 이에 비해 지붕은 두껍 고 특히 기와, 보토, 강회 등은 목재보다 단위체적중량이 대략 4배 정도로 무겁다. 이에 따라 목재로 된 가벼운 하부구조에 비 해 상부구조는 상당히 무거운 편이다. 무거운 지붕하중은 지 진시에는 건물 상부의 관성력이 커져서 건물의 전도를 유발하 는 등 불리한 면도 있지만, 목재간의 접합부를 강하게 눌러주 어 접합부 강성을 증대시키는 유리한 면도 있다(Hwang et al., 2009). 이에 따라 전통목구조의 구조성능 검토를 위해서는 가 장 큰 하중을 차지하는 지붕하중을 정밀하게 산정하는 것이 무 엇보다 중요하다(Kim et al., 2021). 전통목구조는 골조와 벽체 의 구성에 따라 거동특성이 크게 영향을 받는다(Lee et al., 2007). 따라서 전통목구조의 구조성능을 제대로 검토하기 위해서는 가구구성 방식, 벽체의 배치, 접합부 강성, 목재의 부후를 제대 로 반영하여 해석모델을 구축하고, 여기에 지붕하중을 정확히 산정하여 적용할 필요가 있다.

그간 전통목구조의 구조적 특징 및 구조성능 파악을 위하여 많은 연구가 수행되어 왔다. 전통적인 짜맞춤 접합부 및 신한 옥에 쓰이는 철물 접합부의 구조성능실험(Kim *et al.*, 2015; Seo *et al.*, 1999)부터 전통목구조의 동적특성 파악을 위한 축 소모형 동적실험(Lee *et al.*, 2013)과 실물 현장진동실험(Kim *et al.*, 2016), 구조해석 소프트웨어를 이용한 정밀한 3차원 구 조해석(Kim, 2015; Kim *et al.*, 2022), 그리고 최근에는 내진성 능 평가에 대한 연구도 수행되었다(Kim, 2019; Lee and Kim, 2022; Park *et al.*, 2020).



Fig. 1 Exterior and interior of Magoksa Daeungbojeon

본 연구에서는 조선시대의 대표적인 중층 목조 건축물인 마 곡사 대웅보전의 구조성능을 검토하고 구조적인 특성을 평가 하고자 한다. 마곡사 대웅보전은 1986년의 전면 해체수리 이 후 30년 이상 경과하여 Fig. 2와 같이 주요 구조부재의 부후 및 변형이 상당히 진행되어 구조성능에 대한 평가가 필요한 상황 이다. 본 연구는 마곡사 대웅보전에 대한 저자의 연구보고서 (Gongju City, 2017)를 바탕으로 하였으며, 해체수리보고서와 현장조사를 통해 마곡사 대웅보전의 지붕하중을 산정하고 3 차원 구조해석 소프트웨어인 midas Gen(Midas Gen Ver.890, 2020)으로 해석모델을 구축하였다. 해석모델 구축시 구조적 등가성을 최대한 유지하였다. 구축된 해석모델을 바탕으로 수 직하중에 대한 정적해석을 수행하여 기둥, 대량, 창방, 평방과 같은 주요 부재의 안전성과 사용성을 평가하고, 이후 고유치 해석을 수행하여 기본적인 동적특성을 평가하였다. 해당 결과 는 마곡사 대웅보전의 구조적 취약부위 분석 및 보수보강에 활 용될 수 있을 것이라 기대된다.

#### 3. 3차원 구조해석 모델의 구축

마곡사 대응보전은 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 하층 기둥까지의 높이는 3.16m, 상층 기둥까지의 높이는 8.49m, 용마루까지의 전체 높이는 13.42m이다. 상층 지붕의 가로, 세로 길이는 각각 15.18m, 11.04m, 하층 지붕의 가로, 세로 길이는 각각 19.77m, 14.08m이며, 하층 평면의 가로, 세로 길이는 각각 14.39m, 8.70m이다. Fig. 4에 기둥 유형별로 하층 평주(Type A), 하층 우주(Type B), 평고주(Type C), 귀고주(Type D), 상층 평주



Fig. 2 Deterioration and deformation of Daeungbojeon

(Type E)를 나타내었다.

Fig. 5는 구조해석 소프트웨어 midas Gen으로 구축한 해석 모델이다. 해석모델 구축시 전통목구조의 가구구성 방식을 최 대한 반영하였다. 부재간의 접합은 수직하중에 대한 보수적인 성능검토를 위해 힌지접합으로 고려하였고, 첨차와 살미 등으 로 복잡하게 구성된 공포는 등가 트러스모델로 구축하였다. 지붕의 개판과 마루 청판은 판요소로 모델링하고 각 절점은 힌 지로 처리하여 지붕과 바닥이 semi-rigid 격막으로 거동하게



Fig. 3 Elevation and section (unit : mm)

함으로써 전체 해석모델의 안정성을 확보하였다. Fig. 4(b), (c) 와 같이 상층과 하층의 일부 외벽은 전통적인 흙벽으로 되어 있고, 흙벽의 강성은 미소하다고 알려져 있으나 정확한 강성 을확인하기 어려워 해석모델에는 반영하지 못한 한계가 있다. Fig. 5(a)는 전체 해석모델이고, Fig. 5(b)와 (c)는 각각 상층 및 하층 지붕을 올려다본 골조 모습이며, Fig. 5(d)와 (e)는 각각 가운데 어칸의 횡방향 및 종방향 단면의 골조이다.

마곡사 대응보전의 주요 수직하중은 기와, 적심, 보토, 강회 등에 의한 지붕하중이며, Table 1과 같이 투영면적 기준 상층 지붕은 8.515kN/m<sup>2</sup>, 하층지붕은 8.378kN/m<sup>2</sup>이다. 이는 유사



Fig. 4 Plan and column location (unit : mm)



Fig. 5 Structural analysis model of Daeungbojeon

한 규모의 전통목구조 범위에 속한다. 마곡사 대웅보전에 쓰 인 목재는 부후 상황을 고려하여 소나무류 2등급으로 가정하 였고, 그 물성은 Table 2와 같다.

## 4. 마곡사 대웅보전의 구조성능 평가

20

마곡사 대웅보전 주요 구조부재의 안전성 및 사용성은 목구 조에 적용되는 허용응력설계법을 따랐으며, 설계하중에 대한 정적해석을 수행하였고, 동적특성은 고유치해석으로 평가하 였다. 주요 수직하중은 고정하중인 지붕하중과 골조자중이 있 고 여기에 적설하중과 바닥활하중이 있다. 바닥활하중은 다른 골조에는 영향을 미치지 않고 초석을 통하여 바로 지반으로 전 달되므로 응력검토시 제외하였다. 각 하중의 크기와 하중기간

한국전산구조공학회 논문집 제37권 제1호(2024.2)

Floor	Roof load per unit area (kN/m <sup>2</sup> )	Trajectory area (m <sup>2</sup> )	Total roof load (kN)
Upper fl.	8.515	167.77	1,428.56
Lower fl.	8.378	225.78	1,891.58

#### Table 2 Material properties of wood (MPa)

Species	Grade	F <sub>b</sub>	Ft	Fc	F <sub>v</sub>	Е
Pine	2	6.0	3.5	4.5	1.1	9,000

계수를 고려하면 결국 고정하중(지붕하중+골조자중)이 위험 하중조합이 된다. 수평하중인 지진하중 및 풍하중에 대한 검 토는 접합부 강성의 불명확성과 흙벽 강성 판단의 어려움으로 본 논문에서는 수행하지 못한 한계가 있다. 수직하중에 대한 응력검토시 접합부는 대부분 보수적인 관점에서 힌지로 적용 하였다. 다만, 고유치해석시에는 대략적인 동적거동을 확인하 기 위하여 4.2절에 기술된 바와 같이 주요 부재의 접합부에 일 정 회전강성을 부여하였다.

#### 4.1 정적해석 결과 분석

Fig. 6은 위험하중조합에 대한 대응보전의 부재력도이며, 전통목구조의 접합 및 지지조건에 따라 예상되는 경향을 보이 고 있다. Fig. 7과 Table 3에서 기둥의 축응력을 검토하였다. 최 대축응력은 귀고주(Type D)에서 1.081MPa이며, 고정하중에 대한 하중기간계수 0.9 및 기둥안정계수 등의 보정계수를 반 영한 설계허용축응력에 대한 응력비는 0.297이다. 상층평주 (Type E)는 응력비가 0.023으로 축하중이 미미한 것으로 나타 났다. Fig. 8(a), (b)는 상층과 하층 지붕에서 기둥을 결속시키 고 포를 받치는 주요 수평부재인 창방과 평방의 휨모멘트도이 고, Fig 8(c), (d)는 각각 상층과 하층 대량의 휨모멘트도이다. Table 4, 5에서 주요 수평부재의 휨응력과 전단응력을 검토하 였다. 하중기간계수 및 보안정계수 등의 보정계수를 반영한 설계허용응력에 대한 응력비는 상층창방에서 최대휨응력비 0.314, 상층대량에서 최대전단응력비 0.350으로 모두 허용범 위 이내이다.

사용성은 장기 및 단기설계하중을 모두 고려한 처짐으로 검 토하였다. 장기처짐계수는 미건조 제재목에 해당하는 2.0을 적용하였다. 최종처짐은 "장기설계하중 처짐 × 2 + 단기설계 하중 처짐"으로 산정하였다. Fig. 9는 건물 전체 및 단면의 수 직방향 변형모습이다. 최대 처짐은 상충 추녀 옆 선자연 부근 에서 105.89mm로 나타났다. 이는 기둥의 축변형 및 도리와 서 까래의 처짐 등이 누적된 것으로, 육안으로는 주위 부재에 대 한 상대처짐이 보이므로 인지하기는 쉽지 않다.



Fig. 6 Member forces of overall structure



Fig. 7 Axial stress of columns (MPa)

Table 3 Axial stress evaluation of columns

Member	Section (mm)	Max. axial force (kN)	Max. axial stress (MPa)	Design allowable axial stress (MPa)	Axial stress ratio
Type A	D520	135.34	0.637	4.004	0.159
Type B	D520	170.74	0.804	4.004	0.201
Type C	D520	186.68	0.879	3.642	0.241
Type D	D520	229.49	1.081	3.642	0.297
Type E	D440	13.97	0.092	3.984	0.023



Fig. 8 Bending moment of main members (kN·m)

Member	Section (B×D) (mm)	Max. moment (kNm)	Max. flex. stress (MPa)	Design allow. stress (MPa)	Flex. stress ratio
Pyeongbang (up. fl.)	570×210	7.183	1.715	5.400	0.318
Changbang (up. fl.)	240×330	7.287	1.673	5.331	0.314
Pyeongbang (low. fl.)	570×210	3.844	0.918	5.400	0.170
Changbang (low. fl.)	240×330	5.694	1.307	5.332	0.245
Daelyang (up. fl.)	590×530	28.332	1.026	5.400	0.190
Daelyang (low. fl.)	440×360	15.740	1.656	5.400	0.307

Table 5 Shear stress of main horizontal members

Member	Section (B×D) (mm)	Max. shear force (kN)	Max. shear stress (MPa)	Design allow. stress (MPa)	Shear stress ratio
Pyeongbang (up. fl.)	570×210	6.748	0.085	0.990	0.085
Changbang (up. fl.)	240×330	6.514	0.123	0.990	0.125
Pyeongbang (low. fl.)	570×210	5.641	0.071	0.990	0.071
Changbang (low. fl.)	240×330	6.402	0.121	0.990	0.122
Daelyang (up. fl.)	590×530	72.293	0.347	0.990	0.350
Daelyang (low. fl.)	440×360	10.696	0.101	0.990	0.102



Fig. 9 Overall deflected shape under long-term vertical load (mm)

Fig. 10은 주요 골조의 변형 모습으로 상하층 평방과 창방 및 대량의 변형을 자세히 확인할 수 있다. 특히 Fig. 10(c)에서 하층대량의 처짐이 크게 나타난 것과 Fig. 10(d)에서 평방과 창 방이 건물 내부로 쏠리는 변형을 볼 수 있다. 이는 건물의 실제 변형과도 유사한 것으로, 해석모델이 실제 건물을 잘 묘사하 고 있는 것을 확인할 수 있다. Table 6은 주요 부재의 처짐 검토 결과이다. 부재의 처짐은 해석으로 산출된 절대처짐에서 부재 양단의 평균처짐을 뺀 상대처짐으로 평가하였고, 허용처짐은 부재길이 1/240로 하였다. 창방과 평방은 수평겹침부재로서 하중은 각각의 강성에 비례하여 분담하지만 처짐은 동일하다. 창방과 평방처럼 이름과 단면이 동일하지만 위치에 따라 길이 가 다른 경우 가장 불리한 부재를 기준으로 평가하였다. 처짐 비는 하층대량에서 0.266으로 최대이고, 나머지 부재는 0.2 이 하로 충분한 여유가 있다.



Fig. 10 Detailed deflection of main frames under long-term vertical load (mm)

	Table 6	Structural	evaluation	of long-term	deflections
--	---------	------------	------------	--------------	-------------

Member	Length (mm)	Analyzed deflection (mm)	Allowable deflection (mm)	Deflection ratio
Pyeongbang (up. fl.)	2,480	0.74	10.33	0.071
Changbang (up. fl.)	2,480	0.74	10.33	0.071
Pyeongbang (low. fl.)	3,130	1.36	13.04	0.104
Changbang (low. fl.)	3,130	1.36	13.04	0.104
Daelyang (up. fl.)	5,600	2.40	23.33	0.103
Daelyang (low. fl.)	5,600	6.21	23.33	0.266

#### 4.2 고유치해석 결과 분석

대웅보전의 동적특성 분석을 위한 고유치해석시 고정하중 은 Table 7과 같이 질량으로 변환하였다. Fig. 11과 같이 횡강

Mass (kN sec<sup>2</sup>/m) Floor Roof load mass Frame mass Total mass Upper floor 145.68 33.89 179.57 192.90 260.92 Lower floor 68.02 440.49 Summation 338.58 101.91

Table 7 Mass of Daeungbojeon for eigenvalue analysis



Fig. 11 Joints of rotational stiffness were applied

성을 주로 발휘하는 기둥과 창방 및 대량과의 접합부에는 기존 연구를 참고하여 5%의 상대회전강성을 부여하였다(Kim, 2015). 주요 저차모드의 형상 및 각 모드별 주기와 질량참여율은 Fig. 12 및 Table 8과 같다. 1차 모드는 Y방향 병진운동, 2차모드는 수직축에 대한 회전, 3차모드는 X방향 병진운동으로 나타났 다. 고유주기는 1.105초이며, 비슷한 규모의 전통목구조 범위 에 속하지만 약간 긴 편이다(Kim et al., 2016). 고유주기가 다 소 길며 질량참여율이 각 방향별로 명확히 구분된 것은 해석모 델에 흙벽을 반영하지 않은 것과 접합부 강성 차이에 의한 것 으로 사료된다. 이와 같은 본 연구의 한계를 극복하고자 추후 현장진동실험으로 흙벽과 접합부의 강성을 보다 명확히 평가 하여 반영하고자 한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 3차원 구조해석을 통하여 조선 중기 이후의 대표적인 중층 목조건축물인 마곡사 대웅보전의 구조성능과 동적특성을 평가하였다.

구조성능 중 주요 수직부재의 안전성 평가결과로 기둥의 최 대 축응력비는 귀고주에서 0.297로 안전측에 속하였다. 주요 수평부재의 안전성 평가결과로 최대 휨응력비는 상층창방에 서 0.314, 최대 전단응력비는 상층대량에서 0.350으로 모두 허 용범위 내에 들었다.

구조성능 중 사용성은 주요 수평부재의 처짐으로 평가하였 다. 가장 큰 처짐비는 하층대량에서 0.266이고 나머지 부재는 0.2 이하로 여유가 많았다. 마곡사 대웅보전의 하층대량은 그 위에 상층의 평주 2개가 놓여 있어 전이보와 같은 역할을 한다. 이에 따라 하층대량은 부재력과 처짐이 커서 구조적 취약부위



(c) 3rd mode : Translation in X direction (DX)

Fig. 12 Main vibration mode shapes

Table 8 Dy	namic characterist	tics from eigenval	lue analysis

Mode	Natural frequency	Natural period	Modal participation factor (%)		
	(Hz)	(sec)	X	Y	RZ
1st	0.905	1.105	0.00	94.62	0.00
2nd	1.108	0.902	0.00	0.00	93.92
3rd	1.227	0.815	90.40	0.00	0.00

## 라볼수 있어 개선이 필요하다고 사료된다.

고유치해석으로 평가한 동적특성으로, 고유주기는 1.105초 로 비슷한 규모의 전통목구조 범위에 속하지만 다소 긴 편이 다. 이는 흙벽을 고려하지 않은 것과 접합부 강성 차이에 의한 것으로 사료된다. 1차 모드는 Y방향 병진운동, 2차모드는 수 직축에 대한 회전, 3차모드는 X방향 병진운동으로 나타났다.

본 연구에서는 접합부의 강성과 흙벽의 강성에 대한 데이터 부재로 이를 해석모델에 정확하게 반영하지 못한 한계가 있다. 추후 연구에서는 상시미진동실험 및 임팩트해머실험과 같은 현장진동실험을 실시하고 이를 해석결과와 비교분석하는 과 정을 통해 접합부 강성 및 흙벽의 강성을 면밀히 도출하고자 한다. 이렇게 도출된 강성을 이용하여 횡하중에 대한 구조성 능 평가와 함께 건물의 횡강성, 각층의 횡강성 및 벽체와 골조 의 횡강성 기여율을 평가하고자 한다.

#### References

Gongju City (2017) Research Report for Basic Plan of Maintenance for Daeungbojeon Hall of Magoksa Temple, pp.256~337.

- Hwang, J.K., Hong, S.G., Lee, Y.W., Jung, S.J. (2009) Natural Frequency Characteristics of Traditional Wooden Structure for Vibration Amplitude, *J. Archit. Inst. Korea : Struct. & Constr. Sect.*, 25(5), pp.3~10.
- Kim, H.W., Lee, J.H., Park, B.C., Lee, W.H. (2016) Fundamental Period Formulas for the Korean-Style House using Ambient Vibration, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 16(3), pp.281~289.
- Kim, Y.M. (2015) Evaluation of Structural Performance and Dynamic Characteristics of Korean Traditional Timber Structure Sungnyemun, J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea, 28(6), pp.607~614.
- Kim, Y.M. (2018) Monitoring and Analysis of Moisture Contents for Traditional and New-Styled Hanoks, J. Archi. Inst. Korea : Struct. & Constr. Sect., 34(3), pp.29~36.
- Kim, Y.M. (2019) An Evaluation Scheme of Torsional Irregularity for Seismic Design of Hanok, J. Archi. Inst. Korea : Struct. & Constr. Sect., 35(10), pp.191~198.
- Kim, Y.M., Kim, W.J., Kim, H.S., Jung, S.J., Kim, D.M. (2011) Residual Performance Evaluation of Rafters in Traditional Architecture under Weathering Damage, *J. Archi. Inst. Korea* : Struct. & Constr. Sect. 27(9), pp.45~52.
- Kim, Y.M., Kim, Y.M., Kim. H.J., Ha, T.U., Shin, E.M., Kim, W.J. (2021) Analysis of Roof Load and Dynamic Characteristics of Traditional Timber Building Considering Column Axial Force and Ambient Vibration Measurement, *J. Archi. Inst. Korea*, 37(11), pp.271~280.

Kim, Y.M., Lee, S.G., Lee, S.H. (2015) Evaluation of Effective

Lateral Stiffness of a Korean-Traditional Wooden House with New Joint Types, *Eng. Struct.*, 94(1), pp.113~121.

- Kim, Y.M., Lee, S.H., Mun, D.H. (2022) Dynamic Characteristics Evaluation of Long-Span Full-Scale Modernized Hanok through Field Vibration Test, *J. Archi. Inst. Korea*, 38(12), pp.345~354.
- Lee, M.W., Kim, Y.M. (2022) Classification and Evaluation of Torsional Irregularity of Line-Type Hanok based on Plan Shape and Spatial Layout, J. Archi. Inst. Korea, 38(8), pp. 255~262.
- Lee, S.G., Kim, Y.M., Roh, J.E., Lee, S.H. (2013) Dynamic Characteristics of Traditional and New Korean-Style Houses according to Excitation Amplitude, *J. Archi. Inst. Korea : Struct. & Constr. Sect.*, 29(2), pp.49~58.
- Lee, Y.W., Hong, S.G., Hwang, J.K., Bae, B.S. (2007) Capacity of Lateral Load Resistance of Dori-Directional Frame with Jangbu-Connection in Traditional Wood Structure System, *J. Archi. Inst. Korea : Struct. & Constr. Sect.*, 23(2), pp.35~42.

Midas Gen Ver.890 (2020) MIDAS IT Co., Ltd.

- Park, B.S., Kim, Y.M., Hur, M.W., Lee, S.H. (2020) Conceptual Application Schemes of Seismic Isolation Techniques to Hanok, *J. Archi. Inst. Korea, Struct. & Constr. Sect.*, 36(1), pp.137~ 146.
- Seo, J.M., Choi, I.K., Lee, J.R. (1999) Static and Cyclic behavior of Wooden Frames with Tenon Joints under Lateral Load, J. Struct. Eng., 125(3), pp.344~349.

#### 요 지

본 논문은 조선시대의 대표적인 중층 목구조인 공주 마곡사 대응보전에 대하여 수직하중에 대한 구조성능을 평가하였다. 구조해석 소프트웨어인 midas Gen으로 실물과 근접하게 해석모델을 3차원으로 구축하였다. 정적해석으로 수직하중에 대한 주요 수직 및 수평 부재의 안전성과 사용성을 평가하였다. 모든 부재가 안전성과 사용성 기준을 만족하였으나, 하층 대량은 전이보 역할로 구조적 취약 점이 나타나 개선의 필요가 있다. 동적거동특성 평가를 위한 고유치해석시 주요 접합부의 상대회전강성은 5%로 가정하였다. 고유주 기는 1.105초로 비슷한 규모의 한옥 범주에 속하고 있으며, 1차 모드는 건물 전후방향의 병진운동으로 나타났다.

핵심용어: 마곡사 대웅보전, 구조해석, 성능평가, 고유치해석