

2025년 추계학술발표대회 : 일반부문

불국사 법화전 가상 복원 연구

- 인공지능 기반 전통 목조 건축 설계 도구의 활용 가능성 -

A Study on the Virtual Reconstruction of the Beophwajeon at Bulguksa Temple

- Exploring the Use of AI-Based Design Tools in Traditional Wooden Architecture -

○이 승 재* 이 용 식** 한 명 기*** 윤 준 섭**** 류 성 룡*****
Lee, Seungjae Lee, Yongsik Han, Myongki Yoon, Jun-Seop Ryoo, Seong-Lyong

Abstract

This study investigates the feasibility of virtually reconstructing Beophwajeon, a lost wooden hall of Bulguksa Temple, using AI-based design tools specialized for traditional Korean wooden architecture. In the absence of surviving blueprints or structural remains beyond the foundation stones, the authors employed spatial inference by referencing analogous buildings—most notably Geukrakjeon at Bongjeongsan Temple. Estimated dimensions were input into an AI modeling system to algorithmically generate primary structural components, including columns, beams, and brackets. These outputs were translated into a CAD-based 3D model and fabricated as a miniature prototype. The findings highlight the potential of AI-assisted modeling as a foundational tool for reconstructing lost heritage architecture, even when empirical data is limited.

키워드 : 전통건축, 인공지능, 불국사, 법화전

Keywords : Traditional wooden architecture, Artificial intelligence Bulguksa, Beophajeon

1. 서론

불국사는 신라의 대표 사찰로 임진왜란으로 소실된 이후 1805년까지 중수와 중건을 거듭하였으며, 일제강점기에 2차례 수리가 진행된 바 있다. 이후 1969년 불국사 복원위원회가 설립되어 1970년에서 1973년까지 공사가 진행되었고 현재의 모습에 이르게 되었다. 불국사는 창건 이후 중수를 거치고 중건되어 특정 시기의 특징만을 가진다고 보기 어려우며, 1970년대의 복원은 당시 고증자료 및 기술적 한계로 인한 불가피한 선택이 다수였다. (Jang(2024)) 전통 목조건축의 복원 설계에 있어서는 복원 시점을 정하고 종합적인 고찰을 통해서 합리적인 건물의 모습을 결정하는 것이 필요하며, 유산의 가치를 고민하는 동시에 다양한 복원 설계를 검토하기 위한 기술적 뒷받침이 필요하다.

본 논문에서는 인공지능 기반 목구조 건축 설계 도구를 활용하여 불국사 법화전의 가상 복원을 위한 모델링을 수행하였다. 이를 통해 인공지능 기반 목구조 건축 설계 도구가 기존 도면이 존재하지 않는 경우에 대해서 활용 가능성을 보이고, 복원 설계의 용이함과 합리성을 높이는 방안을 제시할 수 있음을 보이고자 한다.

2. 인공지능 기반 목구조 건축 설계도구

법화전 가상 복원 설계를 위해서 현재 개발 중인 인공지능 기반 목구조 건축 설계 도구가 활용되었다. 인공지능 기반 목구조 건축 설계 도구는 건축물의 평면도, 정면도, 측면도, 종·횡단면도 등을 입력하게 되면 기둥, 공포, 보 등의 전통 목조 건축물 내 주요 부재를 인식 및 추론하여 목구조를 자동으로 분석 설계를 지원한다.

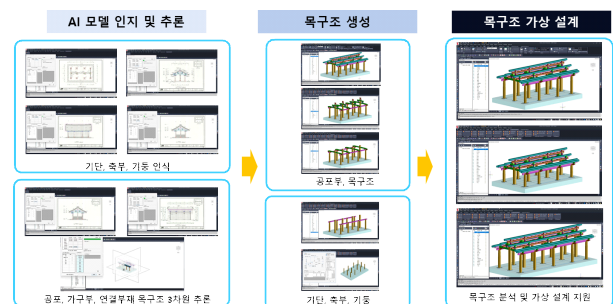


그림 1. 인공지능 기반 목구조 건축 설계 도구 프로세스

* 한국전자통신연구원 책임연구원

** 한국전자통신연구원 선임연구원

*** (주)캐디안 상무이사

**** 고려대 건축학과 박사과정

***** 고려대 건축학과 교수

(Corresponding author: Electronics and Telecommunications Research Institute, seungjlee@etri.re.kr)

이 연구는 국가유산청 및 국립문화유산연구원의 2025년도 ‘문화유산 스마트보존, 활용 기술 개발 사업’으로 수행되었음

(과제명: AI 기반 전통 목조 건축물 목구조 분석 및 가상 설계 기술 개발, 과제번호: RS-2024-00396158 기여율 100%)

이를 위해 인공지능 모델은 부재를 인지하고 추론하기 위해서 학습이 필요하며, 이를 위한 학습 데이터 구축과 추론을 위한 데이터 분석은 사전에 이루어졌다. (Lee(2024)) 개발된 도구는 도면이 존재하지 않는 상황에서도 목구조 분석과 설계가 가능하도록 사용자의 정보 입력이 가능하게 구성되어 있어, 터만 남아 있거나 국내에 현존하지 않는 건축물에 대해서도 복원 설계를 위한 가상 설계가 가능하다. 본 도구의 활용성을 검토하기 위해서 본 논문에서는 현존하지 않는 건축물 중 하나인 불국사 법화전에 대한 가상 설계를 검토하였다.

3. 불국사 법화전 가상 설계

3.1 법화전터 현황 및 기초 조사

불국사 법화전에 대한 가상 설계를 위해서 현재 법화전터에 대한 현지 답사 및 위성 사진 분석을 통해서 건축물의 크기와 초석간의 간격을 측정하였다.

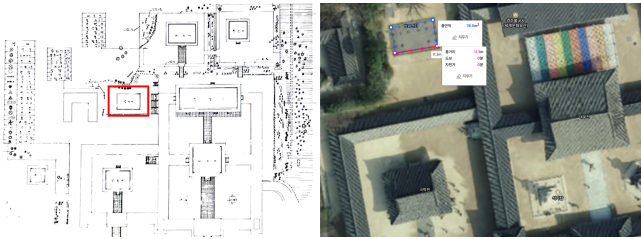


그림 2. 법화전터 옛모습(좌측)과 위성 사진 모습(네이버 지도)

그림에서 보는 것처럼 법화전은 극락전과 비로전 사이 뒤편에 현재 초석만이 남아 있으며, 현재는 영역에 대해서 울타리로 보호되고 있어 초석간의 정확한 거리 측정이 어려워 현지 답사에서는 레이저 거리 측정기를 활용 간접적인 방법으로 거리를 측정하였다. 하지만, 초석의 위치와 간격이 틀어져 있고, 높이가 달라 정확한 측정값을 기대할 수 없었다.

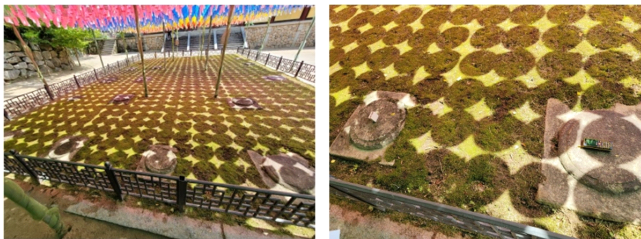


그림 3. 법화전터의 현재 모습(좌측) 및 거리 측정 방법(우측)

법화전의 초석의 간격은 아래 그림과 같이 반복 측정된 값을 기준으로 정면칸의 간격은 좌우 대칭의 값으로 구성하고, 측면의 거리는 일정한 값으로 결정하였다.

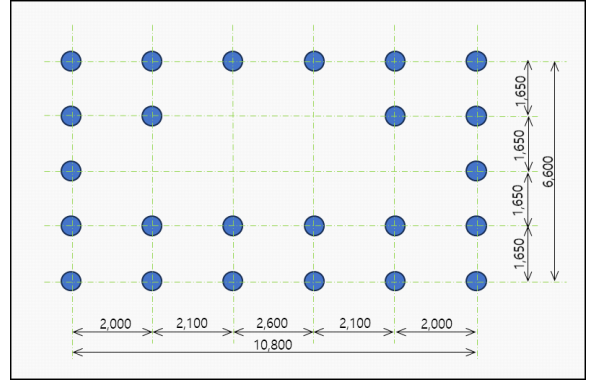


그림 4. 법화전 초석 간격 (추정치)

3.2 법화전 가상 설계를 위한 가정

불국사 법화전에 대한 가상 설계를 위해서 기초조사를 통해서 확인된 정면 5칸, 측면 4칸 건물로 추정할 수 있다. 가상 설계를 위한 참조 건물 선정을 위해서 정면 5칸인 부석사 무량수전과 측면 4칸인 봉정사 극락전을 검토하였다. 측면의 간격 (1,650mm)와 정면의 간격 (2,000mm)이 차이가 있어 맞배지붕일 가능성이 있고, 건물의 면적과 목적의 유사성을 고려하여 측면 4칸인 봉정사 극락전을 참조하여 가상 설계를 진행하였다.

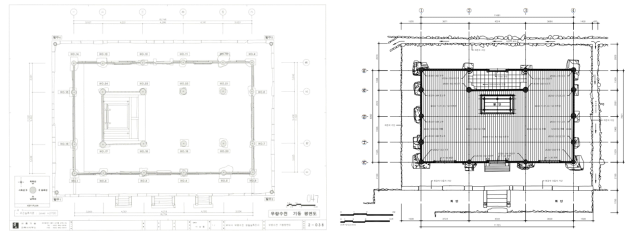


그림 5. 부석사 무량수전(좌측: 정면 5칸, 측면3칸, 팔작 지붕), 봉정사 극락전(우측: 정면 3칸, 측면 4칸, 맞배지붕)

[기초 정보]

[지붕 구조] ☒ 맞배지붕 ☐ 팔각지붕

[내측도리, 솔목도리]

☒ 정면 솔목도리 ☐ 정면 내측도리

☒ 측면 솔목도리 ☐ 측면 내측도리

☐ 6월가 솔목도리 ☐ 6월가 내측도리

[배면 종도리 가동]

☐ 가동 여부

[가동 종류 별 공포 높이]

정면 가동 공포	700
배면 가동 공포	700
대향 발림 공포	400
중향 발림 공포	0
종도리 발림(대공높이)	470
6월가 정면 가동 공포	0

[그리드 수량]

X 방향 그리드 칸 수량: 5

[도리 위치 치수]

주심도리 높이	정면 Z 간격	정면 Y 간격	배면 Y 간격
▶ 주심도리-하중도리	530	1650	1650
하중도리-상중도리	560	825	825
상중도리-종도리	560	825	825
솔목도리	250	650	650

[수량록]

수량록: 125

확인 취소

그림 6. 법화전 가상 설계를 위한 기초 정보 입력

3.3 법화전 가상 설계 과정

법화전 초석 간격의 추정치를 활용하여 그림과 같이 인공지능 기반 설계도구에 정면의 간격 수치(X방향)를 입력하고, 도리의 간격(Y방향)의 수치를 입력하여 기초 정보를 입력하였다.

기초 정보가 입력되면 전면과 배면의 기둥, 하중도리에서 대량을 받치는 기둥, 종도리 하부에서 종량을 받치는 기둥 3가지 기둥을 배치하였다. 이 과정에서 기둥은 배흘림기둥으로 하고 지름은 봉정사 극락전과 같이 350mm로 선택하였다. 창방은 봉정사 극락전과 같은 크기와 형태를 구성하고 두 기둥의 높이가 다를 경우 높은 기둥에 장부 맞춤하였다.

도리의 경우 하중도리는 봉정사 극락전과 같이 사각도리를 나머지는 원형 도리를 배치하였고, 도리의 크기를 및 양쪽 연장길이를 같게 맞추었다.

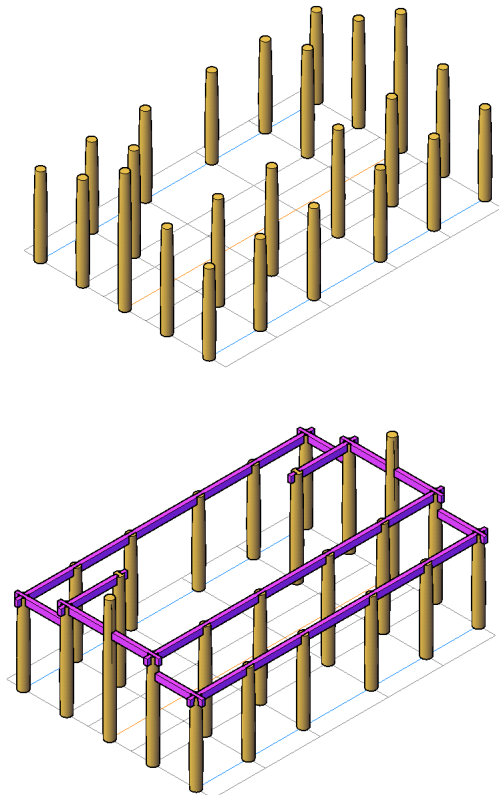


그림 7. 법화전 가상 설계 과정: 기둥 배치 (상), 창방 배치 (하)

봉정사 극락전의 경우 측면의 경우 기둥을 대칭으로 배치하고, 정면의 총 길이는 유사하나 칸의 수가 3칸에서 5칸으로 늘어남으로 인해 칸의 간격이 봉정사 극락전 (3,667mm, 4,333mm)과 달리 2,000mm, 2,100mm, 2,600mm으로 작아 화반의 배치를 생략하였다. 또한, 봉정사 극락전의 경우에 단장여를 배치하였으나 법화전에서는 일반 장여로 계획하였다. 또한, 장여 모양에서 도리와 맞닿는 부분은 평각기로 처리하였다.

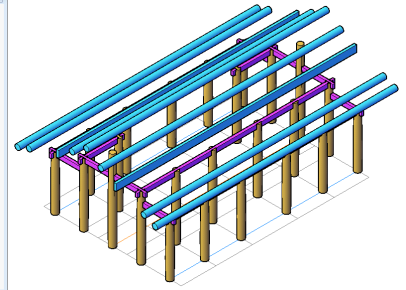


그림 8. 법화전 가상 설계 과정: 도리의 배치

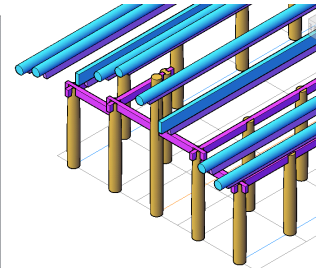
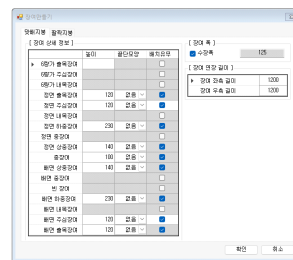


그림 9. 법화전 가상 설계 과정: 장여의 배치

대량의 배치에서는 봉정사 극락전의 경우 전면과 배면이 다르게 되어 있으나, 불국사 법화전의 경우 대칭 구조로 전면과 배면을 동일하게 구성하였다. 측벽 대량은 측벽에 고주가 있기 때문에 내부 대량과 차이를 두어 배치하였다. 종량의 경우도 내부와 측벽에 차이를 주어 배치하였다.

내부의 대공은 내부 종량 위에 배치되는 파련대공과 측벽에 부착되는 대공인데 측벽에는 대공이라고 할 수 없고 고주에 두가 부착되는 형태로 배치와 크기는 봉정사 극락전을 참고하였다. 불국사 법화전에는 상중도리 하부와 하중도리 하부에 중대공을 배치하고 형태와 수치는 봉정사 극락전을 참고하고 전면과 배면의 같은 형태를 배치하였다. 다음으로 그림과 같이 대량아래 및 전면, 배면 기둥에 공포를 배치하였다.

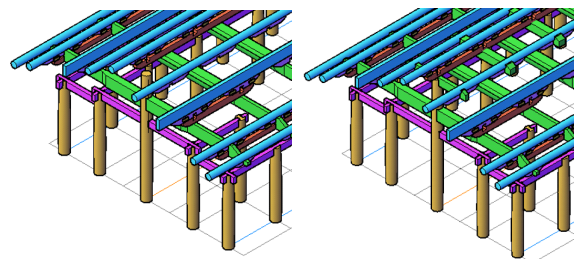


그림 10. 법화전 가상 설계 과정: 대량 배치 (좌), 종량 배치 (우)

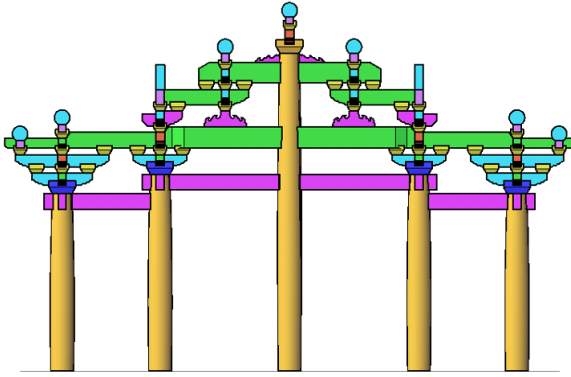


그림 11. 법화전 가상 설계 과정:
측벽에서의 대공, 중대공, 공포 생성

마지막으로 초석과 기단을 그림과 같이 각각 생성하여 불국사 법화전을 가상 설계를 완성하였다. 최종 설계된 법화전의 모습은 그림과 같으며, 현재 모델링에서는 앞서 가정한 다음의 사항을 고려하여 완성되었다. 측면 4칸, 정면 5칸의 맞배지붕의 건축물로 정면 배면의 대청 구조, 좁은 정면 간격으로 인한 화반의 생략과 뜬장여의 일반장여 대체 등으로 설계하였다.

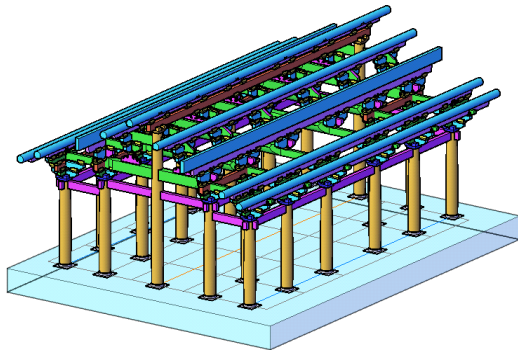


그림 12. 법화전 가상 설계 과정: 완성된 구조

3.4 법화전 가상 설계 기반 모형 제작

가상 설계된 법화전 구조 확인을 위해 설계된 CAD 도면을 활용하여 1/10 사이즈의 설계 모형을 제작하였다. 이를 위해서 CAD 도면은 3D 프린팅을 위한 검증 프로세스를 진행하였다. 전체 가상 설계 도면에 대해서 3D 프린팅을 위해서 전체를 횡방향으로 6개로 나누어 출력하여 조립되었고, 조립 이후에 나무의 질감을 줄 수 있도록 채색 작업이 진행되었다. 작업된 3D 모형은 그림과 같다. 가상 설계된 불국사 법화전과 측면 4칸의 유사성을 지닌 봉정사 극락전과 유사하게 측면이 구성되었으며, 실제 모형을 통해서 설계 도면과 함께 대상을 관찰해 볼 수 있다.



그림 13. 법화전 가상 설계 기반 3D 모형 제작 (정면)



그림 14. 법화전 가상 설계 기반 3D 모형 제작 (측면)

4. 결론

본 논문에서는 인공지능 기반 전통 목조 건축 설계 도구를 활용하여 현존하지 않는 건축물의 가상 설계의 활용 가능성을 검토하였다. 가상 설계 대상은 불국사에 터만 남아있는 법화전으로 선택하였고, 초석의 위치, 건축물의 규모를 고려하여 측면 4칸의 봉정사 극락전을 참고하여 진행하였다. 불국사 법화전의 가상 설계 과정에서 인공지능 기반 전통 목조 건축 설계 도구는 현존하지 않는 건축물에 대한 가설을 빠르게 반응하여 가상설계를 완성할 수 있었고 또한, 모형제작을 통해서 실제 건축물을 간접적으로 확인할 수 있었다. 이 과정에서 전통 건축 역사학적인 모든 사실을 고증하여 다루어지지 않았지만, 인공지능 기반 가상 설계 도구를 활용하여 가설을 수립하여 가상 설계를 수행하고, 실제 모형으로 제작하는 것이 가능함을 확인하였다.

참고문헌

1. 문화공보부, 불국사 복원공사보고서, 1976.
2. Jang, Jae-yeon, & Ryoo, Seong-Lyong(2024). A Study on Restoration Design Standards and Plans for Wooden Architecture in the 1970s., Proc. of the AIK conference.
3. Lee, S., Jung, Da-Un, Lee, J., Lee Y., Lee, S. & Ko J. K. (2024). Constructing AI Training Datasets for 3D Analysis of Heritage Wooden Structures., Proc. of the AIK conference.