

봉정사 대웅전의 지진응답 특성

Seismic Response Characteristics of the Main Building of Bongjeong Temple

주석준*·홍성길**·김남희***·이영욱****·정성진*****·황종국*****
Joo, Seok-Jun · Hong, Sung-Gul · Kim, Nam-Hee · Lee, Young-Wook · Hwang, Jong-Kook

ABSTRACT

For the identification of the 3-dimensional dynamic characteristics of the Bongjeong Temple, the dynamic test for 1/3 scaled model was performed. Dynamic test with impulse excitation and vibration table excitation can provide useful data for the estimation of dynamic characteristics such as natural frequencies, damping ratios, mode shapes and stiffness center. This will complement the previous research from the 2-dimensional static test and provide the reference data for the enhanced structural analysis of the traditional wooden structures.

Keywords: the Korean traditional wooden structure, Kong-Po, Dynamic test, Scaled model

1. 서론

최근 봉정사 대웅전 보 방향 공포의 강성을 산정하기 위하여 1/2 축소모형에 대한 실험적 연구와 이를 전통목구조 해석에 적용하기 위한 해석적 연구가 진행된 바 있다. 본 연구는 기존의 실험적 연구가 2차원의 단일프레임에 대한 보 방향의 정적가력시험에 한정되었던 점을 고려하여, 봉정사 대웅전의 1/3 축소실험모형을 제작하고, 3차원적인 거동특성과 감쇠성능을 확인할 수 있도록 동적가력시험을 수행한다. 동적가력시험은 크게 충격가진시험과 진동대 시험으로 구성되는데, 전자를 통해서 는 개략적인 구조물의 고유진동수와 기본모드의 감쇠비를 확인할 수 있으며, 후자를 통해서 는 모드형상, 강성중심, 지반가속도에 대한 공포 상하단에서의 전달함수를 구할 수 있다. 따라서 본 연구는 목구조물의 3차원적인 거동에 영향을 미치는 동적특성치를 추출하고, 이후의 보다 정밀한 해석적 연구를 위한 기준데이터를 제공해 줄 것으로 기대된다.

2. 축소실험모형

-
- * 정회원 · (주)티이솔루션 부장 Email: sjjoo@tesolution.com
 - ** 정회원 · 서울대학교 건축공학과 부교수 Email: sglhong@snu.ac.kr
 - *** 정회원 · 서울대학교 교량설계핵심기술연구단 Email: namheek@snu.ac.kr
 - **** 정회원 · 군산대학교 건축공학과 부교수 Email: leeyu@kunsan.ac.kr
 - ***** 정회원 · 한남대학교 건축공학과 부교수 Email: jsjarch@hannam.ac.kr
 - ***** 정회원 · 한국전통문화학교 전통건축학과 조교수 Email: jkhwang@nuch.ac.kr

2.1 실험체 구성

실험모델은 실물의 1/3 크기를 가지며, 3차원 실험체로서 실제와 거의 동일한 형상을 갖는다. 지붕하중의 효과적인 적재를 위해 중도리에서 마룻대까지는 구현하지 않았다. 적재되는 하중의 총량은 60000N 정도이며, 지붕 전체에 분포하중으로 작용시킨다.(그림 1) 축소모형실험체는 진동테이블 위에 올려지게 되며, 진동테이블은 액츄에이터에 의해서 가진된다. 진동테이블 위에 올려진 실험체와 액츄에이터의 모습은 그림 2와 같다.

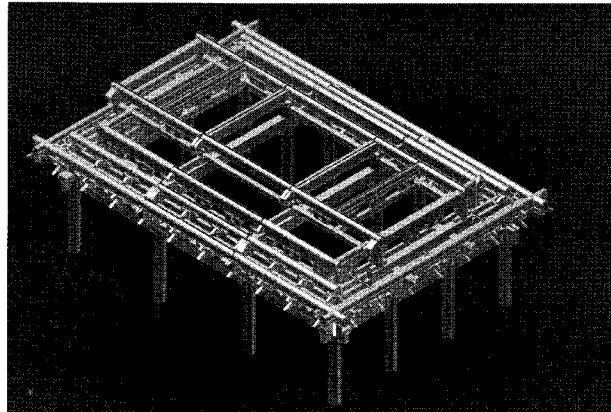


그림 1. 봉정사 대응전 축소실험모형

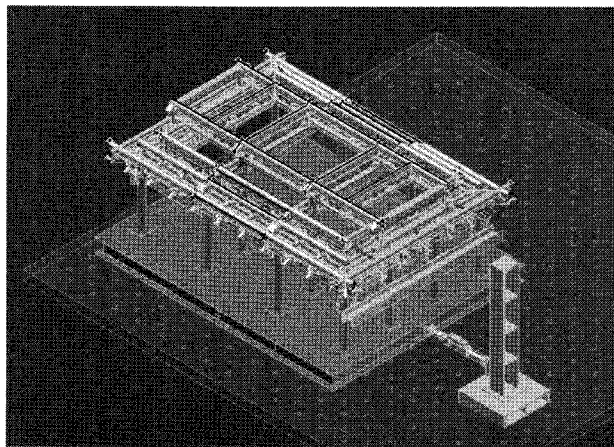


그림 2. 진동테이블 위 실험체 준비상황

2.2 계측장비

로드셀 신호의 계측은 정동적변형을 측정기를 사용하여 계측하였다.(그림 3) 1대당 16채널을 계측할 수 있는 정동적변형을 측정기 4개를 연결하여 64채널을 동시에 계측할 수 있도록 하였다.

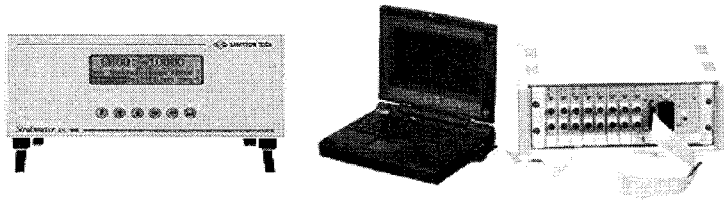


그림 3 정동적변형을 측정기

3. 동적가력시험

본 동적가력시험은 붕정사 대응전의 1/3 축소모형에 동적하중을 가력하여 구조물의 동적특성치를 추출하기 위하여 실시된다. 일반적으로 구조물의 동적특성을 질량, 강성, 감쇠로 크게 대별하여 나타내는데, 이중 질량은 실험체의 각 부품별 계량을 통하여 정확한 추정이 가능하다. 그러나 강성과 감쇠는 고유진동수와 감쇠비로 표현되는데, 목조구조물의 복잡한 가구방식 때문에 실제 시험에 의한 계측이 가장 정확한 값을 제공할 것으로 판단된다. 이를 위하여 충격가진시험과 진동대시험을 순차적으로 실시한다.

3.1 측정항목 및 측정위치

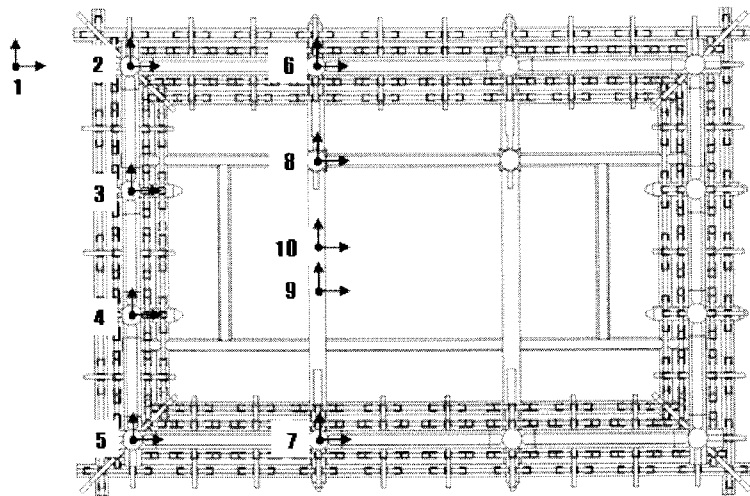


그림 4. 측정위치(평면양시도면 기준)

표 1. 측정위치별 센서

구분번호(그림1)	측정위치	가속도계	변위계
1	진동대	1(X 또는 Y방향)	1(X 또는 Y방향)
2~7	기동상단	12(X,Y방향)	2(X,Y방향)
8	고주상단	2(X,Y방향)	2(X,Y방향)
9	대량	2(X,Y방향)	-
10	중보	2(X,Y방향)	-
합계		19	5

구조물의 동적특성을 추정하기 위한 동적응답의 측정은 최대한 많은 지점에서 실시하는 것이 유리하나, 장비사용상의 한계 등을 고려하여 적절히 제한할 필요가 있다. 본 동적시험에서는 측정위치는 그림4, 표1과 같이 설정하였는데, 이는 실험체가 장방향으로 대칭이며, 공포를 기준으로 상하부의 구조물의 거동이 다소 차이가 날 수 있다는 점을 고려한 것이다. 전통목구조에서 공포는 살며, 첨차가 적층의 형식으로 구성되고 턱과 마찰에 의해서만 접합되어 있는 구조로써 일종의 에너지소산기구 역할을 한다고 볼 수 있기 때문에, 공포의 상하부에 조립되는 부재의 응답도 차이가 발생할 것으로 예상된다. 그러나 이것은 공포 위치에서의 가속도에 의해 발생하는 전단력이 마찰접합부의 최대정지마찰력보다 클 경우 나타날 것으로 판단되며, 탄성범위내의 진동에서는 에너지소산의 정도는 미미할 것으로 예상된다. 각 측정위치에서의 측정센서로는 별도의 지그설치가 필요 없는 가속도계를 주로 이용하며, 공포의 상하부에서의 변위산정 기준점으로 모서리기동상단 1지점과 고주상단에 변위계를 각각 설치하였다.

3.2 충격가진시험

구조물의 탄성선형 특성이 지배적일 경우 충격가진 시험에서 구한 진동곡선으로부터 고차모드를 포함한 구조물의 고유진동수를 확인할 수 있으며, 고차모드의 영향이 최소화된 이후의 자유진동곡선으로부터 기본모드의 감쇠비를 구할 수 있다. 여기서 고유진동수는 가진의 크기에 따라 일부 변동이 있을 수 있으나, 진동대를 이용한 정현파 가진 시험에서 가진진동수를 결정할 때 참고기준으로도 사용된다. 그리고 충격파를 발생시킬 때 해머 등에 의한 빠른 타격은 구조물에 국부적인 손상을 초래할 수 있으므로 충분한 두께의 고무패드를 타격 부위에 설치하여 실험체를 보호하고, 충분한 에너지가 구조물에 전달되도록 한다.

3.3 진동대시험

1) 시험체 구성

진동대시험을 위하여 진동대는 유압액츄에이터를 이용하여 1방향 지진모사가 가능하도록 제작되었으며, 반력슬라브에 볼트로 고정된다. 그리고, 실험체의 특성상 해체/조립에 의하여 구조물 동적특성의 변할 수 있으므로, 진동대의 진동판을 90° 회전가능하도록 설계, 제작되었다. 즉, X축방향 실험 후 진동판을 90° 회전시켜 구조물의 해체/조립없이 Y방향 실험을 수행할 수 있도록 하였다.

2) 정현파 가진시험

진동대를 충격가진 시험에서 구한 기본모드의 고유진동수와 인접한 진동수로 구동하고, 이때 측정한 구조

물의 가속도응답으로부터 진동모드형상을 추정할 수 있다. 또한 진동모드형상으로부터 구조물의 강성중심을 산정할 수 있으며, 이는 정적가력시험에서 구한 강성중심에 대한 검증자료로 활용될 수 있다.

3) 지진과 가진시험

진동대의 구동을 위한 유압식 액츄에이터는 변위제어 방식이므로 가속도파형의 지진파를 구현하기 위해서는 해당되는 변위파형을 산정하여야 한다. 이를 위하여 먼저 적분필터를 설계하여 가속도파형을 구하고, 액츄에이터의 최대 발생진동수 이상의 신호와 매우 낮은 저주파성분을 제거하여야 한다. 그림3은 Northridge 지진(NORTHRIDGE 01/17/94 1231, ALHAMBRA - FREMONT SCHOOL, 090, CDMG STATION 24461)의 가속도파형과 이로부터 산정된 변위파형(액츄에이터 입력파형)을 보여준다.

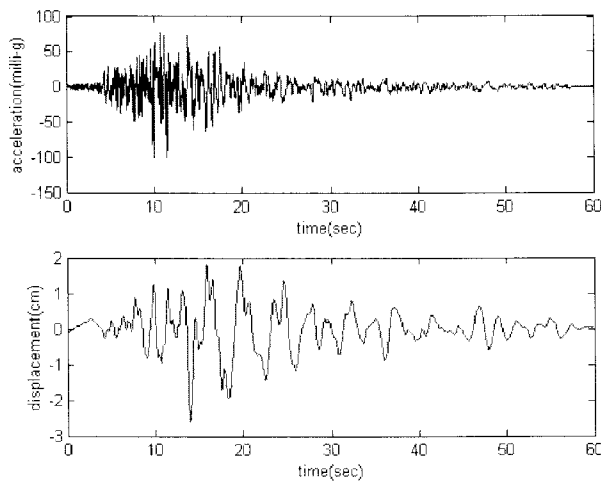


그림 5 Northridge 지진파형

지진파로는 대역제한백색잡음(band limited white noise)과 기록지진을 고려하며, 각각 액츄에이터 최대 발생진동수의 제한을 받는다. 대역제한백색잡음의 경우 지반가속도와 구조물의 가속도응답을 각각 입력과 출력으로 설정하면 계측데이터로부터 지반가속도에 대한 구조물의 전달함수를 구할 수 있다. 이때 입력의 크기를 조절함으로써 입력의 크기에 따른 전달함수의 변동 또는 비선형성의 존재여부를 확인할 수 있을 것으로 보이며, 각 전달함수에서 구조물의 고유진동수와 감쇠비를 재산정하여 타실험의 검증자료로 활용할 수 있다.

3. 시험결과 및 분석

시험이 완료되지 않은 관계로 추후 보완, 배포함.

4. 결론

봉정사 대웅전의 1/3 축소모형에 대한 동적시험을 통하여 구조물의 동적특성치를 추출하고자 하며, 이는 유사한 형식의 다른 목구조물의 내진성능의 평가에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 동적특성치로는 고유진

동수와 감쇠비를 증점적으로 파악하며, 모드형상 및 강성중심을 추정한다. 본 과제외의 경우 실험체의 강성중심의 위치는 고주에 따라 크게 달라질 수 있는 바, 전체 거동의 측면에서 외부기동과 고주의 횡강성에 대한 상대적인 기여도도 유추할 수 있을 것으로 판단된다. 정확한 확인된 결론은 추후 시험이 완료된 후 보강 정리하도록 한다.

참고문헌

- 김봉건 (1992) 傳統木造建築의 構造解析, 대한건축학회지, 36권 4호 통권 167호
정성진, 홍성걸, 김남희, 이영욱, 황종국, 배병선 (2005) 전통목구조 해석을 위한 모형화기법, 대한건축학회 논문집(구조계), 21(12), pp. 77~84
문화재청 봉정사 대응전 실측보고서
문화재청 (2002) 완주 송광사 대응전 수리보고서
문화재청 (2003) 봉정사 극락전 수리보고서
국립문화재연구소 (2005, 6) 목조문화재 구조성능평가 연구용역 보고서
국립문화재연구소 (2005, 12) 목조문화재 구조성능평가 연구용역 보고서
Ray W. Clough, Joseph Penzien (1993) DYNAMICS OF STRUCTURES, Second Edition, McGraw-Hill