

# 풍화 손상 및 단면 결손에 따른 문화재 불단의 구조 안전성 평가

## Evaluation of Structural Safety of Cultural Property Altar due to Weathering Damage and Sectional Defection

이 가 윤\*  
Lee, Ga-Yoon

이 성 민\*\*  
Lee, Sung-Min

이 기 학\*\*\*  
Lee, Kihak

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the structural safety of cultural altar since its bearing capacity has been questioned due to weathering damages and sectional defections. This evaluation process consists two stages; which the first is field investigation and the second is structural modeling and analysis. Based on field investigation, all of the structural members supporting the altar were carefully examined and all the findings were accounted for the development of the structural modeling using the Midas computer program. Using a 3D scanner, the weight of the Buddha statue was applied to the structural modeling. Then, according to the allowable stress design method of KBC2016, the structural safety was evaluated. Based on this result, replacements of several structural members were recommended to increase the structural safety and value of cultural property.

*Keywords : Stability evaluation, Buddhist altar, Wood, National heritage, Structural analysis*

### 1. 서론

본 연구의 문화재인 논산 △△△ 소조석가여래삼불좌상의 소조불상은 지반 위에 초석, 토대, 명에, 상판을 구성하는 불단 위에 안치되어 있다. 불상을 지지하고 있는 불단은 목재로 이루어져 있다. 본 연구의 목적은 불단이 풍화 손상 및 단면 결손으로 인하여 불상을 안전하게 지지할 수 있는지 안전성을 평가하는 것이다. 불단은 문화재로서의 가치가 없으므로 교체해도 된다고 쉽게 생각할 수 있으나 논산 △△△의 대응전을 지지하고 있는 기둥과 불단 내부를 교체하기 위한 작업이 쉬운 것이 아니므로 안전성을 평가하였다.

목재가 부식하게 되면 강도가 저하된 부재에 물

리적인 힘이 가해지면서 손상과 파괴가 일어나게 된다<sup>1)</sup>. 그러므로 손상을 발견하지 못하거나 손상된 부분을 적시에 보수보강하지 않는다면 수직 지지 능력을 잃고 파괴되거나 불상의 손상까지 이어져 문화적 및 경제적 손실을 일으킬 수 있다<sup>2)</sup>. 따라서 본 연구에서는 목재로 구성된 불단에 대해 재료적, 형태적, 구조적 특성을 고려한 구조 해석을 실시하고 안전성을 평가하여 추후 발생할 수 있는 문화재의 손상을 방지하는 것을 목적으로 한다.

연구는 다음과 같은 순서로 진행하였다. 첫 번째로 현장 조사 결과를 바탕으로 목재의 열화 정도에 따라서 등급을 나누어 외관을 조사하였다. 두 번째로 문화재의 특성상 실물에 대한 재하 시험이나 재료 시험 등을 수행할 수 없으므로 실질적인 자료를 얻기가 어렵다<sup>3)</sup>. 이러한 점을 보완하기 위해 3D 스캐너로 불상의 밀도를 조사하여 불상의 하중을 보수적으로 산정하여 불단에 적용할 수 있도록 계산하였다. 세 번째로 컴퓨터 구조 해석 프로그램을 이용해 주요 부재의 하중 지지 능력을 확인하여 안전성을 검토하였다. 안전성 검토는 KBC2016에서 목

\* 학생회원, 세종대학교 건축공학과, 석박사통합과정  
College of Architecture, Sejong University

\*\* 정회원, (재)한국건설품질연구원 부원장, 공학박사  
Korea Construction Quality Research Center(KCQR)

\*\*\* 교신저자, 정회원, 세종대학교 건축공학과 교수, 공학박사  
College of Architecture, Sejong University  
Tel: 02-3408-3286 Fax: 02-3408-4331  
E-mail: kihaklee@sejong.ac.kr

재의 육안 기준 허용 응력 설계를 바탕으로 진행하였다. 1~3등급의 육안 조사 기준이 명시되어 있지만 연구된 문화재의 불단 내부 목재는 3등급 기준보다 취약하다고 판단하여 단면 계수를 현장 조사 결과 5개의 등급별로 나누어 적용하였다. 본 연구는 문화재를 지지하고 있는 목재 좌대의 안전성을 검토한 하나의 사례로 문화재 안전 진단의 기초자료로 활용될 것으로 예상된다.

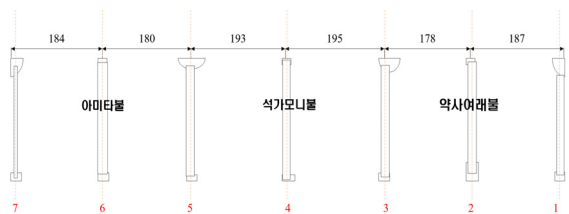
## 2. 대상 연구 문화재 현황

### 2.1 불단 내부 현황

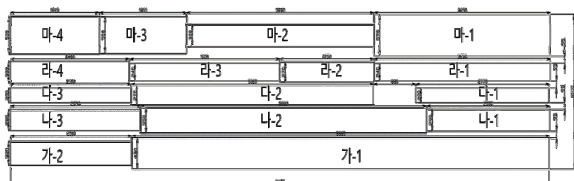
불단 내부의 목구조는 상부 불상 좌대부터 상판, 명에, 기둥, 하단보, 초석으로 하중을 전달하는 메카니즘을 갖고 있다. 불상을 받치고 있는 불단은 목재로 구성되어 있다. <Fig. 1>은 대상 문화재의 좌상을 나타내며, <Fig. 2>는 그에 따른 배치 현황을 보여준다. 2, 4, 6축에는 새로 교체된 기둥이 명에와 상판을 지지하고 있다.



<Fig. 1> Total view of cultural properties



(a) Elevation view of column and sleeper floor



(b) Plan view of top floor plan

<Fig. 2> Arrangement of a Buddhist altar

<Fig. 3>의 (a)와 (b)에서와 같이 새로운 기둥과 명에 사이의 이격 부위, 불단 기둥 밑단과 초석의 이격 부위를 목재편으로 보강해 놓았다. (c)는 명에 4번의 목재 결구 불량을 해결하기 위해 우측에 목재편으로 덧댐한 것이며, (d)는 토대의 모습을 보여준다. 토대는 하나의 큰 토대와 그 위 또는 아래에 다른 하나의 얇은 토대를 덧대어 놓은 구조이다. 토대 밑의 공간을 보강하기 위해서 두꺼운 목재편으로 보강해 놓은 상태이다. 형상이 일정하지 않은 초석은 1단으로 기둥을 지지하고 있으며 일부 단과 단 사이에는 접촉 면적을 넓히기 위하여 작은 돌과 목재편을 끼워 넣었다. (e)는 상판 아래의 손상 현황을 보여준다.



(a) Side view of medicine Buddha altar



(b) Wood plates seated on the top and bottom of the altar



(c) Defection of wood plates sleeper No.4 and right wood



(d) View of foundation and foundation stone



(e) Damage of top wood plates

<Fig. 3> Detailed examination of altar statue

<Table 1> Damage rating table with 5 grades<sup>4)</sup>

Level	Weathering damage and detective section	Visual classification features
A	No damage	Good condition with little weathering damage and detective section
B	Slight damage	Weathering damage and detective section are slightly seen, but the overall condition is good. Partial defects appear on the surface.
C	Moderate damage	Weathering damage and detective section are 5mm, about 10% of the surface.
D	Heavy damage	Weathering damage and defective section are about 1~2cm by 30% of structural surface.
E	Very heavy damage	50% of the cross section is defective.


## 2.2 현장 조사를 통한 재료의 등급도

본 문화재의 불단 내부 열화가 심하여 불단 현황 조사에서 육안 조사에 따라 손상을 5등급으로 나누어 부재의 평가를 진행하였다. <Table 1>에서는 풍화 손상에 대해 5단계의 등급으로 구분하고 있다. A등급은 열화 손상 및 단면 결손이 거의 없는 양호한 상태이다. B등급은 열화 손상과 단면 결손이 약간 보이거나 전반적으로 양호한 상태로 부분적으로 표면이 벗겨지는 정도의 단면 결손이 나타난다. C등급은 열화 손상과 단면 결손이 부분적으로 나타나며, 5mm 정도의 단면 결손이 표면의 약 10%에 나타난 상태이다. D등급은 열화 손상과 단면 결손이 전반적으로 나타난 상태로 1~2cm 정도의 단면 결손이 표면의 약 30%에 나타난다. E등급은 열화로 인하여 단면의 50% 정도가 결손된 상태이다.

### 2.2.1 상판

현장 조사를 통해 각 부재의 상태를 파악하여 풍화 손상도를 평가하였다. <Table 2>는 상판 부재에 대한 손상 등급표로서 1개의 대표적인 상판을 선정하여 부재의 위치, 풍화 손상 사진, 이에 대한 판별과 등급을 구분하여 명시한 것이다. 다-3의 부재는 재료의 손상이 심하므로 D등급으로 판정되었다. 위에서 관찰하였을 때는 상판의 손상이 적어보였지만 불단 내부에서 밑으로 관찰하였을 때 손상이 있는 몇몇 부재가 발견되었다. 따라서 다-3은 열화로 인한 밑 부분의 손상이 크므로 D등급으로 평가하였다.



<Table 2> Damage rating table for top wood plates

Location	View	Evaluation	Level
다-3		Several damages caused by weather	D

### 2.2.2 멩에

<Table 3>은 멩에 부재에 대한 손상 등급표로서 부재의 위치, 풍화 손상 사진, 이에 대한 판별과 등급을 구분하여 명시한 것이다. 멩에는 상판의 힘을 밑으로 전달해주는 중요한 부재이므로 신중하게 등급을 산정하였다. 멩에 2의 경우 충해와 열화로 인하여 손상이 매우 심각하였기에 E등급으로 판정하였고, 멩에 7은 최근에 교체된 것으로 보이므로 A등급으로 판정하였다.



<Table 3> Damage rating table for sleepers

Location	View	Evaluation	Level
Sleepers 2		Damage caused by insects and weather is too serious and need to be replaced.	E
Sleepers 7		It is a new member and there is no visual failure.	A

### 2.2.3 기둥

<Table 4>는 기둥 부재의 손상 등급표로서 2개의 대표적인 기둥을 선정하여 부재의 위치, 풍화 손상 사진, 이에 대한 판별과 등급을 구분하여 명시한 것이다. C-2-3의 부재는 재료의 손상이 심하므로 C등급으로 판정되었고, C-5-3의 부재는 충해로 인한 손상이 심각하므로 D등급으로 판정되었다. 기둥의 경우에는 손상이 심하더라도 불단 내부에 끼어서 위치하기 때문에 구조 안전성에는 많은 영향을 끼치지 않는다고 판단된다.

<Table 4> Damage rating table for columns

Location	View	Evaluation	Level
C-2-3		Severe damage to member	C
C-5-3		Damage caused by insects is too serious.	D

## 3. 구조 안전성 검토

### 3.1 일반 사항

본 문화재의 좌대 부재에서 채취한 8점의 수종을 분석한 결과, 목재의 강도는 중층나무 3점, 소나무 4점, 감나무 1점으로 판명되었다. 소나무가 4점으로 수종 분석 중 가장 높은 비율을 차지하고, 휨 강도 측정상 소나무가 73MPa, 느티나무가 95MPa이므로 보수적 측면에서 모든 부재에 소나무류를 적용하여 부재의 내하력을 검토하였다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 구조 검토를 위하여 MIDAS GEN Ver.890을 사용하였다. 구조 안전성 검토를 위한 기준은 국토교통부 건축구조설계기준(KBC 2016)에서 명시하고 있는 목재의 허용 응력을 적용하였다. <Table 5>는 소나무류 목재의 허용 응력을 보여준다. 허용 응력에 보정 계수를 곱하여 최종 적용하는 응력이 계산되었다.

<Table 5> Code allowable stress of visual grade of structural material (MPa)<sup>6)</sup>

Level	Allowable stress					
	F <sub>b</sub>	F <sub>t</sub>	F <sub>c</sub>	F <sub>c⊥</sub>	F <sub>v</sub>	E
1st	7.5	5.0	7.5	3.0	0.5	10,000
2nd	6.0	3.5	4.5	3.0	0.5	9,000
3rd	3.5	2.0	3.0	3.0	0.5	8,000

\* F<sub>b</sub>: Flexural design load,  
 F<sub>t</sub>: Allowable tensile stress in fiber direction,  
 F<sub>c</sub>: Allowable compressive stress in fiber direction,  
 F<sub>c⊥</sub>: Dowel bearing force,  
 F<sub>v</sub>: Allowable shear stress in fiber direction,  
 E: Modulus of elasticity

### 3.2 하중 적용

본 문화재의 소조여래삼불좌상은 아미타여래좌상, 석가여래좌상, 약사여래좌상으로 구분되며 같은 불단 위에 놓여 있다. 문화재의 비파괴 진단 특성상 소조토와 심목에 해당하는 재료의 정확한 물성치를 알 수 없으나, 무거운 소조토가 대부분의 무게를 차지하고 있음을 감안해 균질한 부재로 치환하여 좌상의 무게를 계산하였다. <Fig. 4>는 3D 스캔된 약사여래좌상의 모습을 보여준다. 3D 스캐닝 자료를 활용하여 부피를 산정하였을 때 빈 공간의 부피가 60%, 소조토 및 심목의 부피가 40%로 측정되었다. 이를 근거로 빈 공간의 비율을 55%, 조토 및 심목의 비율을 45%로 하여 보수적으로 하중을 산정하였다. 각 좌상의 좌대가 8각형이므로 하중을 8개의 집중 하중으로 나누어서 재하하였다. 좌상의 무게 중심이 뒤로 치우쳐 있으므로 8개의 집중 하중에 대해서 뒷부분의 하중에 1.3배를 더 적재하여 보수적으로 하중을 산정하였다. 불상이 국립문화재이기 때문에 하중에 대해 상세한 조사가 어려우므로 3D 스캐너로 내부 형태를 파악하여 이에 따른 하중을 반영한 것이다. 각 불상의 높이와 x, y축의 길이로 부피를 구한 후 빈 공간의 비율을 산정하여 각 불상의 무게를 구하였으며 <Table 6>과 같다.



(a) Front side view (b) Inside view  
 <Fig. 4> Statue of the Buddha with 3D scan

<Table 6> Applied loadings of each seated Buddha statue (kN)

Location	Total load	Concentration load	Applied load
Amitabha Buddha	15.32	1.91	2.48
Sakyamuni Buddha	16.85	2.11	2.74
Medicine Buddha	15.13	1.89	2.46

### 3.3 구조 해석의 한계점 및 절차

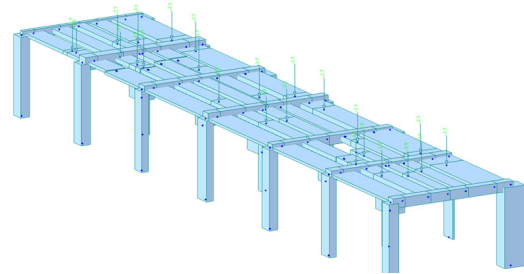
본 문화재의 불단 구조물을 일반 목조 구조물과 같은 관점으로 해석하고 평가하는 것은 기술적으로 어려우며, 선행 연구를 바탕으로 전문가의 자문을 통하여 해석과 결과 분석에 신중하게 접근하는 것이 필요하다. 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 현장 조사 결과, 불단 구조 부재의 강도 자체가 아니라 접합부의 이탈, 지지점의 침하와 같은 불안정성이 문제가 되고 있다. 이러한 불안정성은 구조 해석을 통해 수치적으로 판단하기 어렵다.

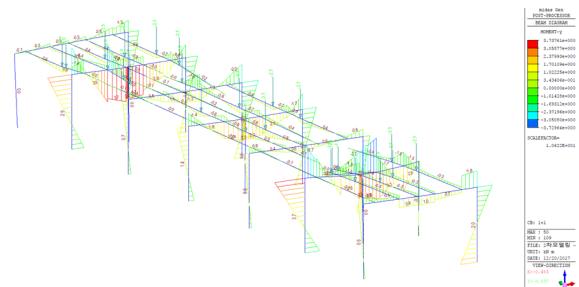
둘째, 구조 부재의 배치가 규칙적이지 않고, 필요할 때 임기응변식으로 대처하다 보니 구조 부재가 하나의 시스템으로 역할을 발휘하지 못하고 있는 것으로 판단되었다. 따라서 구조 해석을 통해 단순히 응력-강도를 평가하여 안정성을 판단하는 것보다 해석 결과를 토대로 전문가의 경험과 지식을 통해 구조적 안전성을 종합적으로 검토하는 것이 합리적이다.

구조 부재의 배치가 매우 불규칙하고, 접합부나 지지점의 변형이 심한 상태에서 구조 모델링을 할 때 이러한 모든 사항을 반영하는 것은 현실적으로 어려울 수 있다. 그러므로 전문 기술자의 판단에 의거하여 부재의 안전성을 평가하는 데에 무리가 없는 범위에서 단순화·이상화 하여 구조 해석을 수행하였다.

<Fig. 5>는 쌍계사 불단의 3D 컴퓨터 모델과 하중 적용 모습을 보여준다. <Fig. 6>은 하중 재하에 대한 각 부재의 휨 모멘트도를 보여준다. 불단의 기초 부분은 초석 위에 위치하고 있지만 해당 모델링은 단순화를 기초로 하였으므로 고려하지 않았다. 각 부재의 접합부는 핀-핀 접합으로 하나의 부재로 해석될 수 있도록 모델링 하였다.



<Fig. 5> 3D MIDAS computer modeling - vertical loadings

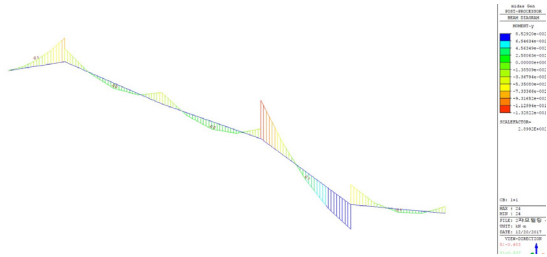


<Fig. 6> Flexural moment diagram of each member subjected to vertical loadings

### 3.4 상판의 안전성 검토<sup>7-9)</sup>

<Fig. 7>과 같이 상판 가-2가 취약하다고 판단되었다. 따라서 상판 가-2(위치: x축 6, 7, y축 1, 등급 판정: A)의 안전성을 다음과 같이 검토하였다.

안전성 검토는 다음과 같은 식에 의해서 구해진다. 단면 계수는 식 (1)과 같다.



〈Fig. 7〉 Flexural moment diagram of the top plate 가-2

$$Z_x = \frac{0.32 \times 0.05^2}{6} = 0.000133m^3 \quad (1)$$

최대 모멘트는 식 (2)와 같고, 최대 모멘트 발생 지점의 휨 응력도는 식 (3)과 같다.

$$M_{max.} = 1.43 \text{ kN} \cdot m \quad (2)$$

$$\sigma_b = \frac{1.43}{0.000133 \times 1000} = 10.71 \text{ MPa} \quad (3)$$

허용 응력 기준이 1등급일 때의 허용 응력은 식 (4)와 같다.

$$F_b = 7.5 \times 0.9 \times 1.5 \times 1.414 = 14.32 \text{ MPa} \quad (4)$$

발생 휨 응력(10.71MPa)이 목재의 휨 응력도 (14.32MPa)에 근접한 상태로서 목재의 상태가 최상으로 유지되어야 한다. 여기서 허용 응력 기준이 3등급일 때는 식 (5)와 같다.

$$F_b = 3.5 \times 0.9 \times 1.5 \times 1.414 = 6.68 \text{ MPa} \quad (5)$$

해당 부재는 불안전하다고 판단되므로 교체 또는 꾸준한 관리가 필요한 것으로 사료된다. 상판의 1등급 허용 응력은 14.32MPa, 3등급 허용 응력은 6.68MPa이다. 각 등급의 허용 응력을 적용하여 상판의 안정성을 검토한 결과는 <Table 7>과 같다.

〈Table 7〉 Safety review of top plates

	Level	Bending stress (MPa)	Judgment on 3rd grade
가-1	A	1.19	OK
가-2	A	10.71	NG
나-1	B	2.08	OK
나-2	B	2.93	OK
나-3	B	12.21	NG
다-1	E	3.17	OK
다-2	B	1.70	OK
다-3	D	3.20	OK
라-1	C	11.51	NG
라-2	C	0.89	OK
라-3	B	4.21	OK
라-4	A	2.16	OK
마-1	B	2.45	OK
마-2	B	1.82	OK
마-3	B	7.23	OK
마-4	A	0.79	OK

### 3.5 멩에의 안전성 검토<sup>7-9)</sup>

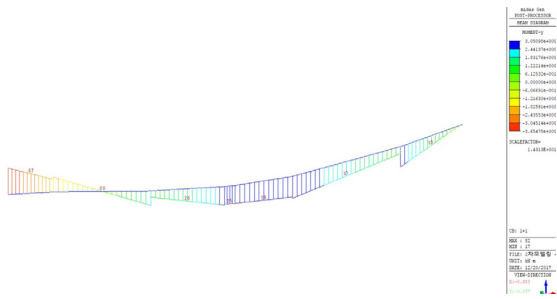
멍에의 경우 풍화 손상도에 따라 각 부재의 등급이 판정되었다. 이에 따라 손상이 큰 부재의 허용 응력이 3등급에도 미치지 못 한다고 판단하여 육안 조사 결과 각 부재의 손상도와 등급에 따라서 단면 계수를 조정하였다. 손상도와 등급에 따른 단면 부재의 손실율은 기존 연구를 참고하여 유추하였다. 그 내용은 <Table 8>과 같다.

〈Table 8〉 Remaining area ratio due to weathering damage by grading

Rating	Remaining area (%)
A	100
B	93
C	85
D	70
E	50

〈Fig. 8〉에서 멩에 2의 휨 모멘트도 값을 확인한 결과, 취약하다는 판단을 하였다. 따라서 멩에 2(위치: 2축, 등급 판정: E)에 대한 정밀 계산을 하였다.

안전성 검토는 다음과 같은 식에 의해서 구해진 다. 멩에 2의 단면 계수는 식 (6)과 같다.



<Fig. 8> Flexural moment diagram of the sleeper No.2

$$Z_x = \frac{0.17 \times 0.15^2}{6} = 0.0006375 m^3 \quad (6)$$

등급별 풍화 손상을 고려하여 E등급의 경우 50%의 잔존 면적을 가지는 것으로 가정할 때 단면 계수를 구하는 식은 (7)과 같다.

$$Z_x \times 0.5 = \frac{0.17 \times 0.15^2}{6} \times 0.5 = 0.0003188 m^3 \quad (7)$$

불상 3구의 하중과 불단의 자중에 대한 최대 모멘트는 식 (8)과 같고, 최대 모멘트 발생 지점의 휨 응력도는 식 (9)와 같다.

$$M_{max.} = 3.66 kN \cdot m \quad (8)$$

$$\sigma_b = \frac{3.66}{0.0003188 \times 1000} = 11.47 MPa \quad (9)$$

해당 목재의 경우 열화 상태가 심하므로 3등급 목재에 해당하는 허용 응력을 적용한다. 식 (10)과 같이 허용 응력의 값을 구할 수 있다.

$$F_b = 3.5 \times 0.9 \times 1.5 \times 1.18 = 5.58 MPa \quad (10)$$

여기서 불상 3구와 자중에 대한 휨 응력 (11.47MPa)은 3등급 허용 응력(5.58MPa)을 초과하는 것으로 나타나므로 교체가 필요하다고 판단된다. 명에의 1등급 허용 응력은 11.95MPa, 3등급 허용 응력은 5.58MPa이다. 따라서 각 명에의 안전성 검토 결과는 <Table 9>와 같다.

<Table 9> Safety review of sleeper section with various modulus reduction

	Level	Bending stress (MPa)	Judgment on 3rd grade
Sleepers 1	B	3.43	OK
Sleepers 2	E	11.47	NG
Sleepers 3	B	1.90	OK
Sleepers 4	D	3.36	OK
Sleepers 5	B	3.36	OK
Sleepers 6	B	3.01	OK

### 3.6 구조 안전성 검토 결과

1) 불단의 기둥, 상판, 명에에 대한 구조 안전성 검토 시 해당 부재의 열화가 심한 상태이기 때문에 3D 모델링으로 논산 쌍계사의 안전성을 검토하는데 한계가 있다고 판단하였다. 기존 문헌의 기준에 근거하여 풍화 손상도를 조사하고, 이에 따라 부재를 1등급부터 5등급으로 구분한 후 등급별로 단면 계수 잔존율을 적용하여 부재의 안전성을 판단하였다.

2) 구조 해석 결과만으로 볼 때에는 명에 2, 상판 가-2, 나-3, 라-1, 마-3을 제외한 대부분의 부재가 발생 응력이 허용 응력을 초과하지 않아 안전하다고 판단되나, 많은 부재가 열화 및 층해로 인하여 손상도가 큰 것으로 조사되었다. 이는 부재의 휨 강성에 영향을 미치는 단면 2차 모멘트의 감소를 가져오게 되며, 그 결과 전체 좌대의 과도한 처짐과 하중 지지 능력의 저하를 가져올 가능성이 큰 것으로 판단된다.

3) 기존 자료에 근거하여 5등급으로 분류한 부재 중 C등급의 상판 라-1과 라-2, D등급의 명에 4와 상판 다-3, E등급의 명에 2와 상판 다-1은 부재의 손상이 크므로 장기적으로 보았을 때 구조적인 역할을 수행하기 어려운 것으로 판단되므로 교체하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

## 4. 결론

문화재 불상 좌대에 대한 구조 안전성 검토 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 논산 쌍계사의 불단 및 불상의 안전성을 검토

하기 위하여 현장 조사를 실시하였다. 논산 쌍계사의 상판 위에 올라갔을 때 상판이 매우 불안정하여 심하게 흔들렸으며 이는 추후 좌상에도 문제가 될 것으로 판단된다. 상판의 상부는 열화가 적어 안전한 것으로 보이나, 불단 밑에서 본 상판에서는 손상이 심한 부재가 발견되었으며 부재가 규칙적으로 놓여있지 않아 불안정한 것으로 판단된다. 명에는 열화와 충해로 인한 손상으로 구조적인 역할을 수행하기 어려운 부재가 발견되었다.

2) 현장 조사로 실측된 자료를 가지고 MIDAS를 이용한 컴퓨터 모델링을 진행하였다. 논산 쌍계사의 부재는 열화가 매우 심하게 일어난 상태이므로 3D 모델링 결과로 안전성을 판단하기에는 한계가 있어 부재를 5등급으로 나누어 단면 계수를 조정하였다. 구조 해석 결과만으로 볼 때에는 명에 2, 상판 가-2, 나-3, 라-1, 마-3은 허용 응력 등급을 초과하여 장기적으로 보았을 때 구조적인 역할을 수행하기 어려우므로 교체하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

3) 손상도 조사에서 C등급 이하가 명에는 7개 중 2개, 상판은 16개 중 4개로 판정되었다. 육안 조사로 나눈 5등급의 부재 중 C등급의 상판 라-1과 라-2, D등급의 명에 4와 상판 다-3, E등급의 명에 2와 상판 다-1은 열화 및 충해로 인해 손상도가 큰 것으로 판단되었다. 이는 부재의 휨 강성에 영향을 미치는 단면 2차 모멘트의 감소를 가져오게 되며, 그 결과 전체 좌대의 과도한 처짐과 하중 지지 능력의 불안정성을 초래할 가능성이 큰 것으로 판단되므로 교체 검토가 필요한 것으로 판단되었다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통과학기술진흥원 기술축진 연구사업의 연구비지원 (18CTAP-C143093-01)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

### References

1. Lee, W. G., "A Study on the Repair Method and the Damage Status of Wooden Architectural Heritages - Focused on the wooden architectural heritages in Jecheon",

Korean institute of interior design journal, Vol.25, No.3, pp.82~89, 2016

2. National Research Institute of Cultural Heritage, Dankook University. (2009). Structural Health Monitoring Technology for Wooden Cultural Heritages (Report No. TRKO201200010571). Retrieved from <http://www.ndsl.kr/ndsl/commons/util/ndslOriginalView.do?dbt=TRKO&cn=TRKO201200010571&rn=&url=&pageCode=PG18>

3. Lee, S. M., Lee, K. H., Choi, H. S., Park, J. K., & Choi, C. K., "A Study on Structural Characteristics of Stone Masonry Wall Structure", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.11, No.4, pp.61~69, 2011

4. Kim, Y. M., Kim, W. J., Kim, H. S., Jung, S. J., & Kim, D. M., "Residual Performance Evaluation of Rafters in Traditional Architecture under Weathering Damage", Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol.27, No.9, pp.45~52, 2011

5. Cultural Heritage Administration, Standard Specification of Properties (2014).

6. Architectural Institute of Korea, "Korea building code and commentary", Kimoonang, pp.1058~1064, 2016.

7. Cultural Heritage Administration. (2010). Wanju Songgwangsa Sojo Sambo Buddhist Construction Safety Review Report

8. Cultural Heritage Administration. (2010). Jongmyo Shrine Jeonjeon Structural Safety Review Report

9. Miryang City. (2013). Yeongnam Province Structural Safety Review Report

- Received : April 02, 2018
- Revised : September 05, 2018
- Accepted : September 27, 2018