

태풍 특성에 따른 문화유산의 피해 규모 분석

김세현*, 이도희*, 이정수**

*국립문화유산연구원 안전방재연구실

**충남대학교 건축학과(Corresponding author)

e-mail:essence@cnu.ac.kr

Analysis of the Damage Scale of Cultural Heritage by Typhoon Characteristics

Se-Hyun Kim*, Do-Hee Lee*, Jeong-Soo Lee**

*Safety and Disaster Prevention Division, National Research Institute of Culture Heritage

**Dept. of Architecture, Chungnam National University

요약

최근 이상기후와 기후변화로 인하여 호우, 태풍 등 풍수해로 인한 문화유산의 피해가 급증했다. 특히 태풍으로 인한 문화유산의 피해는 33.7%로 다양한 양상으로 나타난다. 태풍의 경로, 최대순간풍속, 1시간 최대 강수량, 일 강수량, 누적 강수량, 최저해면기압 등의 태풍 기상요소는 문화유산의 피해 규모에 직접적인 영향을 미친다. 특히 태풍 경로에 따라 피해가 발생하는 지역에 크게 차이가 있으며 누적 강수량, 최대순간풍속, 최저해면기압 등은 피해 등급과의 상관관계를 확인 할 수 있다. 이러한 문화유산의 피해에 직접적인 영향을 미친 태풍 요인을 분석하는 것은 이에 대한 대응방안을 마련하는게 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

최근 이상기후와 기후변화로 인하여 호우, 태풍 등 풍수해로 인한 문화유산의 피해가 급증했다. 한반도의 연평균기온은 1980년대 이후로 뚜렷하게 증가하였으며, 호우는 1990년대 후반에 증가하는 변화점이 뚜렷했고 우리나라 연강수량 증가에 크게 기여하였다. 동아시아 여름 몬순의 장기변동에 따라 한반도 장마 강수량의 최대값이 나타나는 시기가 예년에 비해 1주일 빨라지고 총 강수량 역시 증가 추세에 있다.

특히 한반도에 영향을 미치는 태풍의 강도가 증가하고 있으며 한반도 주변의 태풍 활동은 1990년대 중반 이후 빈도와 강도 모두 증가하였다. 이는 한반도 주변의 연직 바람시어(Wind Shear)의 약화, 북서태평양 고기압의 서쪽 이동, 한반도 주변의 해수면 온도 상승 등과 연관이 있다[1]. 태풍은 접근하면 폭풍과 호우로 인하여 수목이 꺾이고 건물이 무너지고 하천 범람, 항내의 소형 선박들을 육상으로 밀어 올리는 등의 막대한 힘을 가지고 있다. 뿐만 아니라 태풍은 수증기를 많이 함유한 열대 기류가 주위로부터 흘러들어 중심 부근에서 적란운이 형성되어 강한 비를 내리게 된다[2].

이러한 태풍으로 인하여 문화유산의 피해도 예외가 아니다. 지진, 화재, 등 국가유산에 발생하는 전체 재난 중 풍수해 피해는 89.2%(1,018건/2008~2024년)에 해당하며 이중 태풍 피해는 327건으로 풍수해 피해의 33.7%를 차지한다.

이에 본 연구는 태풍으로 인한 문화유산의 피해를 살펴보고, 태풍의 특성에 따른 문화유산의 피해 규모를 분석해보고자 한다.

분석 대상은 2008년부터 2023년까지 목조, 석조, 성곽, 고분, 조적조, 철근콘크리트조 등 태풍으로 인하여 피해가 발생한 문화유산 179건을 대상으로 했다. 이중 3장의 태풍 특성에 따른 피해 영향은 179건의 대상 중 연이은 태풍 피해로 원인이 된 태풍을 명확히 확인하기 어려운 문화유산 5건을 제외한 174건을 대상으로 하였다.

2. 문화유산의 태풍 피해

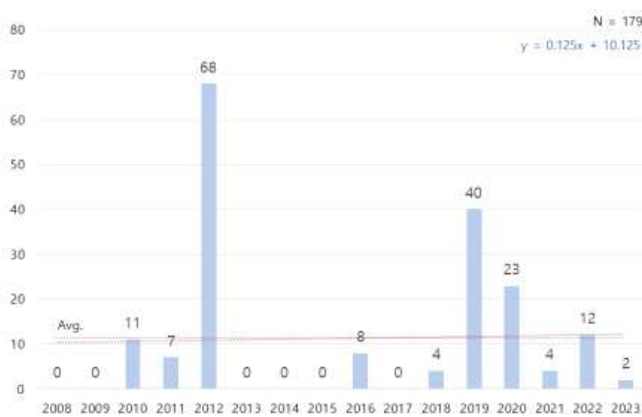
2008년부터 2023년까지 최근 15년간 문화유산에 발생한 태풍 피해는 총 179건으로 연 평균 11.2건이다. 태풍이 발생한 특정 연도에 피해가 집중되어 편차가 크지만 최근으로 올수록 점진적인 증가추세를 보이고 있다.

최근 15년간(2008~2023년) 가장 피해가 컸던 해는 2012년으로 68건의 문화유산 피해가 발생했다. 다음으로

2025년도 국립문화유산연구원 문화유산조사연구(R&D) 과제(문화유산 재해 영향 분석 및 피해저감 연구(NRICH-2505-A65F-1-1)의 지원을 받아 수행되었습니다.

2019년 40건, 2020년 23건, 2022년 12건, 2010년 11건 순이다. 월별 피해는 6월에서 10월까지 분포한다. 9월이 87건(48.6%)으로 가장 많았으며 8월 63건(35.2%), 10월 20건(11.2%), 7월 8건(4.5%), 6월 1건(0.6%) 순이다. 문화유산의 태풍 피해는 8~10월까지가 전체의 95.0%를 차지하여 대부분 이 시기에 피해가 발생하는 것을 알 수 있다.

태풍으로 인한 문화유산 피해는 179건 중 80건(44.7%)가 목조 문화유산이며, 이중 대부분이 기와 탈락 등의 지붕 부재 파손이 발생했다. 다음으로 담장 28건(15.6%), 석축 23건(12.8%), 성곽 13건(7.3%) 순이다. 태풍으로 기와 탈락 등의 피해가 많은 수를 차지하는 것은 강풍을 동반한 태풍의 특성에 따른 것으로 보인다.



[그림 1] 연도별 문화유산 태풍 피해 건수(2008~2023년)



구 김포성당(2019)

경주 굴불사지 석조사면불상(2022)

[그림 2] 문화유산 피해 피해 사례(자료: 국가유산청)

3. 태풍 특성에 따른 피해 영향

3.1 태풍 경로

태풍은 내습 유형에 따라 재산 피해에 차이를 보인다. 문화유산에 영향을 준 태풍 유형은 선행연구[3][4][5]를 참고하여 크게 남부지역 상륙형, 내륙 상륙형, 서해 북상형의 8가지 유형으로 분류하였다.

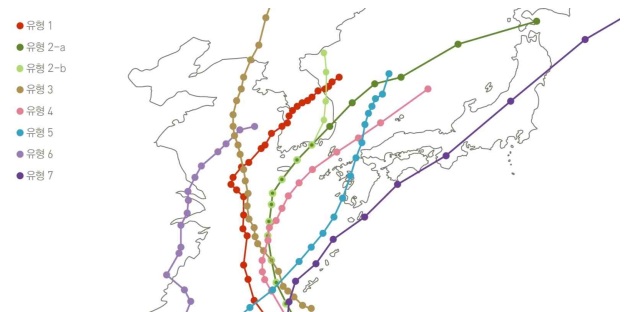
남부지역 상륙형은 남부지역에 상륙하거나 이를 거쳐 동해로 빠지는 경우로 유형2-a, 4, 5, 6, 7로 분류할 수 있다. 내륙 상륙형은 유형2-b가 해당되며 남해안으로 들어와 한반도를 통과한다. 서해 북상형은 유형1, 3이 해당되며 전자는 서해로 북상하여 서해안에 상륙하고 후자는 서해로 북상한 후

발해만이나 중국으로 상륙한다.

태풍의 경로에 따라 문화유산에 미치는 영향은 차이가 있는데 남부지역 상륙형은 총 77건의 문화유산의 피해가 발생했다. 다음으로 서해 북상형 72건, 내륙 상륙형 25건 순이다.

[표 1] 문화유산에 영향을 준 태풍 유형

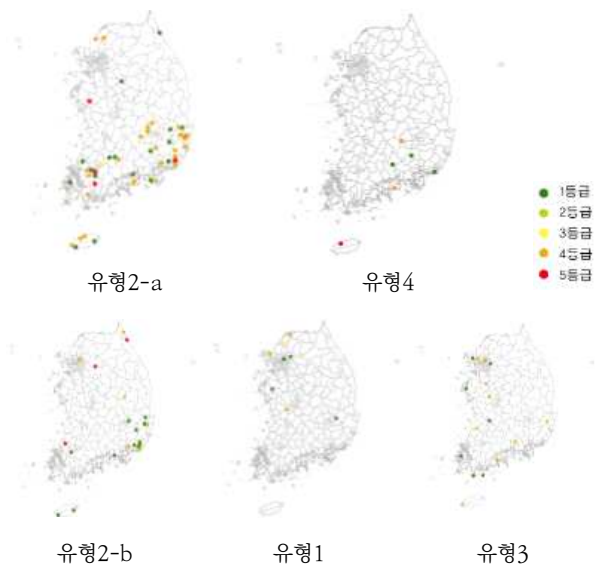
분류	유형	내용	피해건수
남부지역 상륙	2-a	남해안에 상륙, 남해안으로 들어와 동해로 빠짐	71
	4	대한해협을 통과하여 동해 북부로 빠짐	6
내륙 상륙	2-b	남해안으로 들어와 한반도 통과	25
서해 북상	1	서해로 북상하여 서해안에 상륙	10
	3	서해로 북상한 후 발해만이나 중국으로 상륙	62



[그림 3] 문화유산에 영향을 준 대표 태풍 경로

(출처: 국립문화재연구원, “우리나라 문화·자연유산의 기후변화 대응 현황과 과제”, p. 75, 2022년 수정)

남부지역 상륙형 중 남해안으로 들어와 동해로 나가는 유형2-a는 경북, 경남, 전남, 제주 지역에서 많은 피해가 발생했다. 남해안에 상륙하여 경남, 전남, 제주 지역에 피해가 발생했고, 동해로 빠지다 보니 경북지역에 피해가 집중되었다. 대한해협을 통과하여 동해 북부로 빠지는 유형4의 경우도 경남, 부산, 제주 지역에서 피해가 발생했다.



[그림 4] 태풍 유형에 따른 문화유산 피해 위치

남해안으로 들어와 한반도를 통하는 내륙 상륙형인 유형 2-b는 경북, 경남, 부산에 피해가 많이 발생했는데 이는 태풍 진로에 따라 남해안, 동해안 지역에 피해가 집중된 것을 알 수 있다.

서해 북상형 중 서해로 북상하여 서해안에 상륙하는 유형1은 충남, 인천, 경기 지역에 피해가 많았다. 서해로 북상한 후 발해만이나 중국으로 상륙하는 유형3은 피해의 56.5%(35건)가 전남지역에서 발생하였다. 다음으로 충남, 전북, 제주 등 서해안에 인접한 지역에서 피해가 확인되었다.

특히 한반도 남해안에 상륙하여 직접적으로 영향을 미치는 유형2-a와 유형 2-b, 유형3은 최근 영향 빈도가 증가하고 있다[3][4]. 이로 인하여 유형2-a, b가 96건, 유형3이 62건으로 총 158건의 피해를 기록하여 피해 문화유산 174건 중 대부분으로 볼 수 있는 90.8%를 차지하였다. 이처럼 문화유산에 영향을 준 태풍은 경로에 따라 피해가 발생하는 지역에 크게 차이가 있음을 알 수 있다.

하지만 문화유산은 태풍 경로 유형에 따른 피해 규모 차이가 크게 없다. 대부분의 태풍 유형은 지붕 기와 탈락, 담장 붕괴 등의 1등급과 석축, 성곽, 고분 등의 붕괴 피해가 발생하는 4등급에 집중되어 있다. 유형1, 유형2-b, 유형3, 유형 4는 1등급의 피해가 절반이상을 차지하고 4등급의 피해가 그다음을 이었다. 유형2-a는 4등급의 피해가 1등급의 피해보다 큰 소하게 많았다.

[표 2] 태풍 유형에 따른 피해 등급 건수

분류	유형1	유형2-a	유형2-b	유형3	유형4	합계
1등급	5(50.0%)	3(42.3%)	14(56.0%)	37(59.7%)	3(50.0%)	89
2등급	1(10.0%)	2(2.8%)	2(8.0%)	2(3.2%)	-	7
3등급	1(10.0%)	-	-	2(3.2%)	-	3
4등급	3(30.0%)	35(49.3%)	6(24.0%)	18(29.0%)	2(33.3%)	64
5등급	-	4(5.6%)	3(12.0%)	3(4.8%)	1(16.7%)	11
합계	10	71	25	62	6	174

문화유산은 태풍 경로에 따라 피해 지역에 크게 차이를 보이나 태풍 경로 유형에 따른 피해 규모에는 차이가 없었다. 이는 태풍으로 인한 피해는 문화유산의 구조적·양식적 특성과 풍속, 강수량 등 태풍 기상요소에 의해 좌우될 수 있음을 알 수 있다.

3.2 태풍 기상요소

태풍으로 인한 문화유산의 피해는 풍속과 강수량에 직접적인 영향을 받는다. 문화유산에 최소 10건 이상의 피해를 입힌 태풍 대부분은 최대강도가 매우 강(44m/s 이상 ~ 54m/s 미만)에 해당된다. 또한 일 강수량 극값이 최소 100mm(2010년, 링링)에서 최대 342.4mm(2022, 힌남노)에 이른다. 이는 집중호우 기준이 하루에 80mm이상의 비가 내릴 때 인 것으로 보

아 많은 비가 내린 것으로 볼 수 있다. 이처럼 문화유산에 영향을 미치는 태풍 기상요소는 강수량, 강풍 및 최저해면기압, 풍속 등으로 분류할 수 있다.

강수량은 어떤 시간 내에 내린 강수가 지형의 방해가 없는 해당 지역 표면에 균열하게 퍼졌을 때의 깊이를 말하며 1시간 최다 강수량은 전일 23:31~익일 00:30까지 1시간 이동누적값을 계산하고 이 이동누적값 중 최대값과 그 때의 시각을 구한다. 최저해면기압은 해수면 높이에서 측정한 태풍의 중심기압으로 수치가 낮을수록 태풍의 강도가 강하다는 뜻이다. 태풍의 중심기압이 낮으면 그만큼 주변 공기를 빨아들이는 힘이 강하기 때문이다. 풍속은 대기의 수평적인 흐름의 속도를 말하며 일계 내의 10분간 평균 풍속의 최대값을 일 최대풍속이라 하고 순간풍속의 최대값을 일 최대순간풍속이라 한다[6].

이러한 태풍 기상요소에 따른 문화유산의 피해 규모는 피해 건수에서 차이가 있다. 문화유산의 태풍 피해 건수와 태풍 세부 특성 간 상관관계에서 최대풍속, 최대순간풍속과는 강한 정(+)적 상관관계, 최저해면기압과는 강한 부(-)적 상관관계를 보였다. 1시간 최다 강수량 및 일 강수량은 중간정도의 정(+)적 상관관계를 확인했다. 이는 태풍으로 인한 문화유산의 피해 건수는 태풍의 강도로 요약되는 풍속 및 기압 인자와 강한 연관성이 확인되었다. 결과적으로 태풍으로 인한 문화유산 피해 건수는 태풍의 풍속이 높을수록, 기압이 낮을수록 피해건수도 높은 양상이 뚜렷한 것으로 나타났다. 또한 문화유산 피해 건수에 대한 영향력은 최저해면기압, 최대순간풍속, 1시간 최다 강수량 순으로 나타났다[3].

이처럼 태풍에 의하여 문화유산의 피해가 발생하는 것은 최대풍속, 최저해면기압, 1시간 최다 강수량 등에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

태풍이 한반도에 영향을 미치는 기간 동안 피해 문화유산이 위치한 지역의 최대순간풍속, 1시간 최다 강수량, 일 강수량, 누적 강수량, 최저해면기압의 극값을 적용하여 위의 변수와 피해 등급(1등급~5등급)의 상관관계를 확인하기 위해 피어슨 상관관계 분석을 실시하였다. 피해 문화유산이 위치한 지역의 극값을 사용한 것은 풍속과 강수량 등 태풍 기상요소는 지역에 따라 크게 차이가 있기 때문이다.

분석한 결과 최대순간풍속, 1시간 최다 강수량, 누적 강수량, 최저해면기압의 상관관계 계수는 각각 -0.236, 0.169, 0.189, 0.211로 피해 등급과 유의한 상관관계를 보였다. 특히 최대순간풍속은 강한 부(-)적 상관관계를 보였는데 최대순간풍속이 클수록 피해등급이 낮아진다는 것으로 볼 수 있다. 최대순간풍속이 커질수록 지붕 기와 및 초가 지붕 이영 탈락 등의 1등급 피해가 많아짐을 의미한다. 태풍 피해 문화유산 179건 중 1등급 피해는 90건에 해당되며 이중 지붕 기와 및

초가 지붕 이영 탈락 등 강풍으로 인한 피해는 67.8%(61건)에 달한다. 이는 호우로 인한 1등급 피해가 293건 중 29.7%(87건)인 반면 태풍으로 인한 피해 179건 중 50.3%(90건)가 1등급 피해에 해당되어 태풍으로 인한 문화유산 피해 특성을 잘 보여주는 예로 제시할 수 있다.

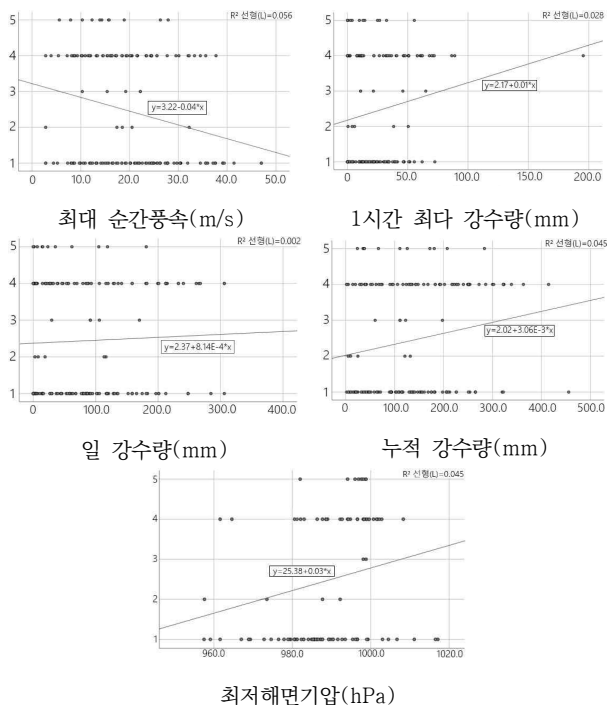
또한 최저해면기압이 낮을수록 피해 등급이 낮았는데, 기압이 낮을수록 주변과의 기압차가 커져 그 사이에서 공기의 흐름이 빠르게 나타나기 때문에 풍속이 세지는 것[3]과 관련이 있다. 이 때문에 최저해면기압이 낮을수록 강풍에 의한 지붕 기와 탈락 등의 1등급의 피해가 많아지는 것으로 볼 수 있다. 이는 위의 최대순간풍속이 클수록 강풍에 의한 1등급의 피해가 많아지는 것과 같은 맥락이다. 하지만 일 강수량의 상관관계 계수는 0.042로 피해 등급과 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

[표 3] 태풍 기상요소와 피해 규모의 상관관계 분석

구분	최대순간 풍속	1시간 최대 강수량	일 강수량	누적 강수량	최저해면 기압
피해 등급	-.236***	.169**	.042	.189**	.211**
sig. (2-tail ed)	.002	.026	.582	.013	.025

***p<.01, **p<.05

※ 태풍 기상요소는 피해 문화유산이 위치한 지역의 극값을 적용함



[그림 5] 태풍 기상요소와 피해 규모 산점도

이와 같이 태풍으로 인하여 문화유산의 피해 규모가 커지는 것은 누적강수량 등 강수량과 직접적인 관련이 있다. 또한 최대순간풍속이 커질수록, 최저해면기압이 낮아질수록 피해

등급이 낮아지는 것으로 보아 태풍으로 인한 강풍은 1등급 등의 특정 피해와 밀접한 관련이 있음을 보여준다.

4. 결론

문화유산은 태풍 등 풍수해의 영향을 직접적으로 받으며 많은 피해가 발생한다. 태풍 경로와 최대순간풍속, 1시간 최대 강수량, 일 강수량, 누적 강수량, 최저해면기압 등의 태풍 기상요소에 따른 문화유산의 피해 규모 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 문화유산에 영향을 주는 태풍은 경로에 따라 피해가 발생하는 지역에 크게 차이가 있다. 특히 문화유산에 많은 피해를 입힌 유형은 남해안에 상륙하여 직접적으로 영향을 미치는 유형2-a, b와 서해로 북상하는 유형3이다. 특히 이들 유형은 치근 영향 빈도가 증가하고 있으며 실제 전체 피해 중 90.8%를 차지한다. 이처럼 문화유산에 영향을 준 태풍은 경로에 따라 피해가 발생하는 지역에 크게 차이가 있으며 이들 지역에 특화된 대응책 마련이 필요해 보인다.

둘째, 위와 같이 태풍 경로 유형에 따라 피해 지역에 크게 차이를 보이니, 태풍 경로 유형에 따른 피해 규모에는 차이가 없다. 이는 태풍으로 인한 피해는 문화유산의 구조적·양식적 특성과 풍속, 강수량 등 태풍 기상요소에 의해 좌우될 수 있을 확인할 수 있다.

셋째, 태풍으로 인한 문화유산의 피해 규모는 상관관계 분석 결과 누적 강수량, 최대순간풍속, 최저해면기압과 관련이 있다. 누적 강수량이 커질수록 문화유산의 피해 등급이 올라갔다. 또한 최대순간풍속이 커질수록, 최저해면기압이 낮아질수록 피해 등급이 낮아졌는데 이는 태풍으로 인한 강풍은 기와 탈락 등 1등급의 특정 피해와 밀접한 관련이 있음을 보여준다. 이처럼 문화유산의 피해에 직접적인 영향을 미친 태풍 요인을 파악하는 것은 이에 대한 대응방안을 마련하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 기상청, “한국 기후변화 평가보고서 2020”, 21-22, 2020년.
- [2] 기상청 국가태풍센터, “태풍백서”, 3, 14, 2011년.
- [3] 국립문화유산연구원, “문화유산 풍수해 피해와 대응기술”, 69-70, 75-77, 2024년.
- [4] 나하나 외, “한반도 태풍내습 시 태풍경로별 나타나는 최대풍속 분포특성 연구”, 한국대기환경학회지, 35(1), 39, 47, 2019년.
- [5] 이승욱 외, “우리나라 태풍 내습 유형별 극한기후현상 강도와 피해 규모의 관련성”, 한국지역지리학회지, 22(2), 455, 2016년.
- [6] 기상청, “지상기상관측지침”, pp.34-35, 2024년