

## 태풍 피해 예측을 위한 지리정보시스템의 활용

### Application of GIS in Typhoon Risk Assessment

이승수<sup>1</sup> · 장은미<sup>2</sup>

#### Abstract

최근 10년간 발생한 자연재해 중 태풍의 피해는 전체의 60%를 넘을 정도로 풍수해의 피해는 막대하며, 지속적 산업화와 개발로 인해 피해 규모 역시 매년 1조원 이상을 상회하고 있어, 자연재해에 대한 피해 경감 노력이 매우 요구되고 있다. 이를 위하여 최근 풍수해의 피해 사전에 예측함으로써 예방 및 대비는 물론 재해 발생에 따른 응급 대응 및 복구의 효율성을 제고하고자하는 과학적 방법론에 대한 연구가 진행되고 있다.

태풍에 의한 피해 예측은 위험도(Hazard)의 추정, 피해 대상 자료의 구축(Inventory) 및 피해대상의 취약도(Fragility)의 세 가지 요소를 이용하여 수행되는 것이 일반적이다. 위험도는 자연재해의 특성인 강우, 풍속 등을 물리적으로 모델링함으로써 추정할 수 있으며, 피해 대상 자료는 공공 및 사유 시설물을 총 망라함으로써 피해의 사회, 경제적인 피해 규모 예측에 활용된다. 각각의 피해 대상이 위험도에 따라 갖는 취약도는 최종 피해 및 손실 규모의 평가 자료로 이용된다. 이때 위험도의 추정 및 피해 대상 자료의 구축을 위한 핵심적인 방법론으로서 지리정보시스템의 활용이 크게 요구된다.

따라서 본 연구에서는 태풍 피해 예측을 위한 자연재해 위험성 평가 방법론에 있어서 매우 중요한 요소인 자연 지형, 지표의 특성 및 활용도, 피해 대상인 인공 시설물 등의 자료 항목을 분류하고 태풍 피해 예측 기술의 핵심 요소로서의 지리정보시스템 활용 방안을 제시하고자 한다.

## 1. 서 론

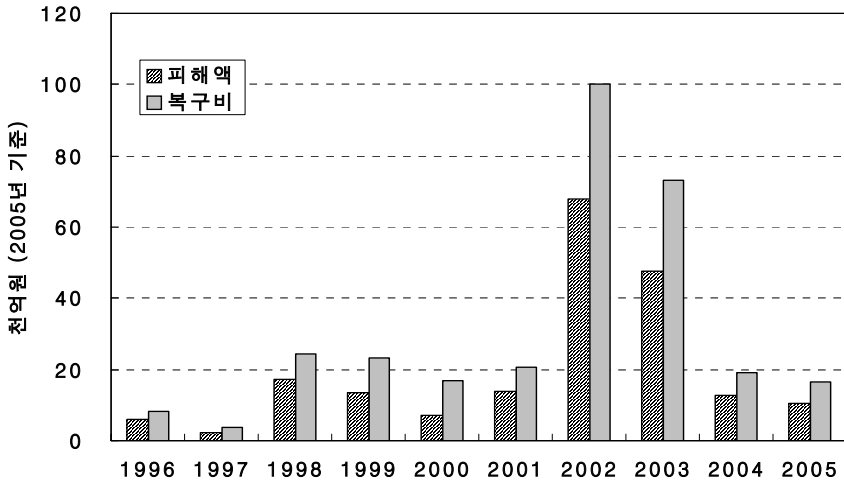
우리나라는 매년 하절기를 중심으로 태풍 및 집중호우에 의한 인명과 재산 피해가 반복적으로 발생하고 있다. 특히 그림 1에서 보는 바와 같이 1990년대 중반이후 최근 10년간 자연재해의 피해규모는 매년 1조원 이상의 대규모로 발생하며, 매년 복구비가 피해액을 상회하고 있다. 특히 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미와 같이 연속으로

피해액이 4조 이상을 기록한 연도는 한 번도 없었다는 점에서 자연재해 중 태풍에 인한 피해규모가 점차 대형화되고 있는 추세이다.

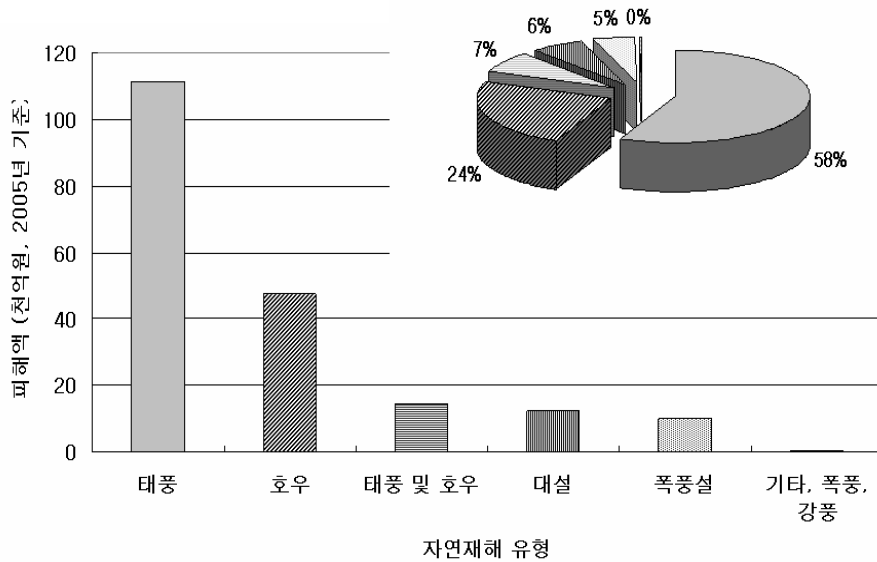
또한 자연재해의 유형별 피해규모는 그림 2에서 보는 바와 같이 태풍에 의한 피해가 60% 이상을 차지하는 것임을 알 수 있다. 최근의 경우를 보면 2002년 태풍 루사로 인한 피해액은 약 5조 1천억 이상, 2003년 태풍 매미로 인한 피해액은 약 4조 7천

<sup>1</sup> 충북대학교 토목공학부, joshua@cbnu.ac.kr

<sup>2</sup> 한국공간정보통신, emchang@ksic.net



[그림 1] 최근 10년간 자연재해 피해 및 복구 규모(재해연보, 소방방재청)



[그림 2] 최근 10년간 자연재해 유형별 피해 규모(재해연보, 소방방재청)

억 이상의 규모로 피해가 집계되었으며, 이로 인한 복구비로 각각 9조, 6조 이상의 국가재정이 투입되는 등 기상의 새로운 경향

으로의 변화로 인한 태풍피해가 빈번하게 발생하고 있으며, 그 피해규모도 증가하고 있는 실정이다.

그동안 방재정책은 과학적인 분석과 체계적인 관리 없이 과거 답습적인 관행 형태의 정책추진이 계속되고 있고, 매년 반복적인 풍수해 피해가 발생하고 있어 과학적 재난관리 체계의 필요성이 대두되어 왔다. 이에 예방 단계부터 대응 및 복구에 이르는 모든 방재정책의 효율적 추진과 한발 앞선 대응체계 확립을 위한 풍수해 피해예측 시스템 개발 방안이 연구된 바 있으며[1] 관련 분야의 연구가 활발히 진행되고 있다 [2,3,4].

태풍과 같은 풍수해의 위험성 평가나 피해 예측은 표 1에서 보는 바와 같이 위험성의 인지 및 평가, 취약성의 평가와 피해 규모 및 범위에 대한 분석의 단계를 통하여 이루어진다. 이를 위해서는 위험도(Hazard)의 추정, 피해 대상 자료의 구축(Inventory) 및 피해대상의 취약도(Fragility) 모형의 세 가지 요소가 필수적인데 위험도는 태풍의

특성인 강우, 풍속 등을 물리적으로 모델링함으로써 추정할 수 있으며, 피해 대상 자료는 공공 및 사유 시설물을 총 망라함으로써 피해의 사회, 경제적인 피해 규모 예측에 활용된다. 각각의 피해 대상이 위험도에 따라 갖는 취약도는 최종 피해 및 손실 규모의 평가 자료로 이용된다. 위험도 추정 및 피해 대상 자료의 구축을 위한 핵심적인 방법론으로서 지형, 토지활용 등의 정보 활용을 위해 지리정보시스템의 활용이 크게 요구된다.

따라서 본 연구에서는 태풍 피해 예측을 위한 자연재해 위험성 평가 방법론에 있어서 매우 중요한 요소인 자연 지형, 지표의 특성 및 활용도, 피해 대상인 인공 시설물 등의 자료 항목을 분류하고 태풍 피해 예측 기술의 핵심 요소로서의 지리정보시스템 활용 방안을 제시하고자 한다.

〈표 1〉 자연 재해 위험성 평가 단계

요소	단계	내용	참고
위험성 평가	위험성 인지 (Hazard Identification)	위험의 지역적 범위, 강도, 발생확률 등을 규정하여 자료화	위험요소 모델링
	위험성 평가 (Hazard Assessment)	특정지역에 영향을 주는 또는 장애에 줄 수 있는 개별 위험의 원인과 특성 평가	
취약성 평가	시설물 명세작성 (Inventory Identification)	기존 혹은 계획된 시설물과 인구자료의 자료기반화	DB 구축
	취약성 평가 (Vulnerability Assessment)	시설물을 형태별로 구분하여 취약성을 평가	취약성 모델링
분석	다중위험성 평가 (Multi-Hazard Risk Assessment)	손실가능성의 평가, 시설물의 취약 구조에 대한 금전적 손실가능성 평가, 평가방법에 대한 설명, 시설물재해가 지역사회에 미치는 영향 평가 등	피해 예측
	취약성 분석 (Assessing Vulnerability)과 개발경향의 분석	토지이용 추세(경향)와 개발 추세의 분석으로 개발에 따른 재해가능성의 분석(재해영향평가), 평가로 토지 이용방향의 결정 등 - 가능한 재해정도의 사전 인지	의사 결정 지원

## II. 태풍 피해 예측 방법론

태풍 피해 예측은 일반적 자연재해 위험성 평가 방법에 따라 태풍의 위험도(Hazard) 추정, 피해 대상 자료의 구축(Inventory) 및 피해대상의 취약도(Fragility) 모형에 의한 피해 규모 및 범위 추정의 세 가지 요소로 구성된다.

위험 요소 모델링(Hazard)은 태풍 재해의 원인이 되는 기상 요소의 강도 및 규모를 물리적/통계적 방법으로 모델링하고 강풍 파괴, 범람 등의 재해 발생 과정을 수리학, 수문학, 풍공학, 해양학 등 자연과학 및 공학을 이용하여 추정하는 과정으로 과거 태풍과 관련된 기상 현상을 통계적 방법으로 처리하거나, 기상학 및 풍공학 이론에 의해 태풍 현상을 수치 모의함으로써 대상 지역의 풍속이나 강우량을 예측하는 과정이다. 취약성 함수 모델링(Fragility)은 풍수해의 피해 대상이 되는 건물, 도로, 농작물 등에 강풍, 범람, 침수 등 각종 재해 유형별 강도에 따라 발생 가능한 피해의 정도를 통계학적 접근을 통하여 추정하는 과정으로 과거의 피해 자료를 이용하거나 피해 대상의 저항 성능을 이론적으로 모델링함으로써 피해 규모를 예측하는 과정이다. 피해 대상 자료(Inventory, DB)는 풍수해의 피해 대상이 되는 건물, 도로, 농작물 등과 피해 예측을 위해 필요한 기상, 지형, 토지 이용도 등의 정보로 구성된다.

이상의 세가지 요소는 재해-하중-저항-피해-손실 평가의 순서에 따라 피해 예측에 활용된다. 각 모델은 가능한 한 어디에서든 실제 관측 자료와 모형 자료 또는 실험 자료를 활용하여 검정을 수행해야 한다. 이러한 원칙에 근거한 재해-하중-저항-피해-손실

모형은 피해 대상 유형의 변화와 피해 및 손실 감소를 위한 대책에 대한 모델링이 가능하게 하며 나아가 경제적 손실은 건물에 대한 물리적 피해로부터 모델링할 수 있으므로 피해 및 손실 추정도 각각 모델링하고 예측할 수 있다. 예를 들어 풍하중을 받는 건물군의 성능은 구조적 신뢰도 개념을 사용하여 확률적으로 나타낼 수 있으며 창문이나 현관문의 파괴와 같은 개별적인 요소들의 파괴 확률은 공기역학적인 압력이나 충격 에너지와 같은 풍하중 영향이 각 요소의 저항력보다 클 확률을 가리킨다. 건물군 가운데서 대표적인 건물 몇 개에 대한 수차례의 모의를 수행함으로써 건물의 주요 요소들에 대한 피해 확률이 추정되고, 물리적 피해와 강풍 재해 사이의 관계가 도출된다. 이와 유사하게 물리적 피해에 대한 수리 및 복구 모델을 사용하여 손실 역시 추정된다. 이러한 개념을 사용하여 신속하게 피해 및 손실 함수를 발생시킬 수 있다. 이러한 피해 예측 방법론은 미국의 HAZUS-MH에서 활용하고 있는 방법이기도 하다[5].

## III. 지리정보시스템의 활용

### 3.1 위험도 추정 과정의 활용

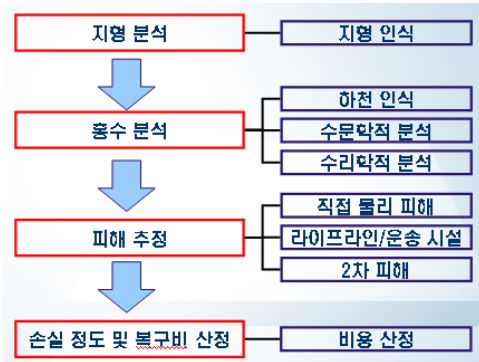
2절에서 기술한 태풍 피해 예측 과정 중 위험도(Hazard) 추정 과정에는 통계 모형이나 수치 모의를 위한 기상 정보이외에도 지표의 고도, 토지의 활용 및 피복 상태 등과 같이 지리 정보가 필수적이다.

예를 들어 태풍이 동반하는 강우에 의한 홍수 피해를 예측하기 위한 과정을 요약하면 그림 3과 같다. 각각의 분석 과정에 필요한 지리정보는 표 2에 보는 바와 같다. 먼저 하천 인식을 위해서는 대상 지역의 지

표고도 정보가 필수적이다. 강우의 지표 유출은 중력에 의해 이루어지며 대상 지역의 수계(Stream Network)의 인식을 위한 일반적 방법은 대상지역을 일정 크기의 격자로

구성하고 지표 고도 자료를 속성으로 구성된 지리정보를 이용하여 배수 유역의 파악과 합류점 등을 분석하는 과정에 의해 이루어진다. 수문학적 분석에 의해 유출량을 산정하기 위해서는 지표의 유출 특성을 파악하기 위하여 토지의 활용 및 피복 상태 정보가 필수적이다. 또한 홍수량 산정후 수계를 따라 예측되는 홍수위(Flood Depth)에 의해 범람 범위(Flood Boundary)를 추정하기 위하여 다시 한번 인근 지형의 지표 고도가 필수적이다.

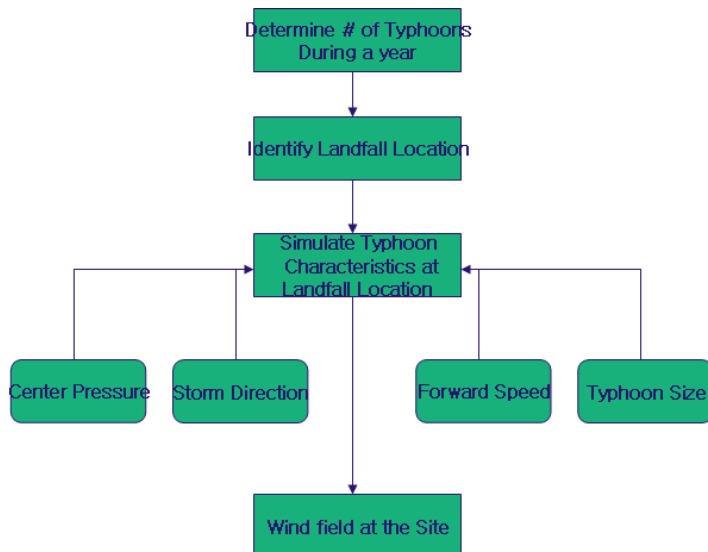
또 다른 예로서 태풍에 의한 강풍 피해를 예측하기 위한 국부적 강풍 예측 과정을 요약하면 그림 4와 같다. 이때 대상 지역에 발생하는 국부적 강풍은 바람의 특성상 지



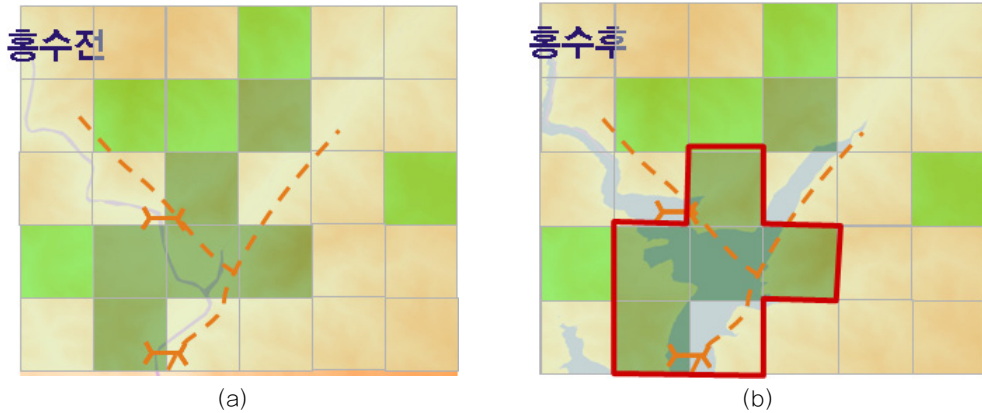
[그림 3] 강우에 의한 피해 예측 과정

[표 2] 강우에 의한 피해 예측과 지리정보의 활용

피해 예측 과정	소요 지리 정보
하천 인식	대상 지역 지표 고도
수문학적 분석	토지 활용 및 피복
수리학적 분석	대상 지역 지표 고도



[그림 4] 태풍에 의한 국부적 강풍 예측 과정

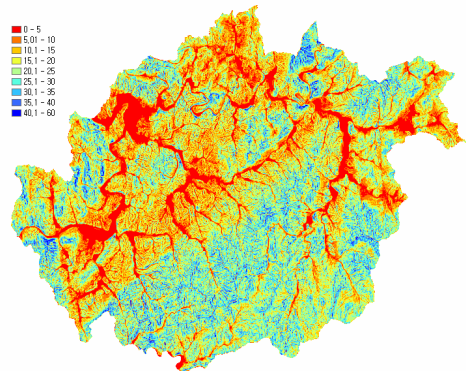


[그림 5] 지리정보시스템을 이용한 피해 예측

형 및 지표의 거칠기에 큰 영향을 받는다. 즉 대상 지역이 해안가나 농촌과 같이 인근에 장애물이 없는 경우는 도시 인근과 같이 건물들에 의해 지표의 거칠기가 높은 경우에 비해 상대적으로 높은 풍속이 발생한다. 피해대상에 작용하는 풍하중이 풍속의 제곱에 비례한다는 점을 고려할 때 풍속이 피해에 미치는 영향은 매우 크다.

### 3.2 피해 범위 분석

태풍에 의한 피해 대상에 대한 자료를 지리정보시스템을 이용하여 구축하게 되는 경우, 위험도 추정과 취약성 모형에 의한 위험 지역이나 피해 예상 시설물의 규명이 매우 용이하다. 예를 들어 그림 5a는 대상 지역의 홍수 전 상황이다. 이때 점선 등은 도로와 교량을 나타내며 격자의 농도는 일정 크기 격자에 포함된 피해 대상(건물, 인구 등)의 분포를 나타낸다. 앞 절에서 기술한 위험도 추정에 의해 일정 강우에 대한 홍수량 및 침수범위를 산정한 결과 그림 5b에 보인 바와 같이 취약한 지역의 사전 규명으로 대피 계획은 물론 대피로와 같은 응급 대응 계획 수립에 직접 활용이 가능하다.



[그림 6] 지형 및 토지 피복을 고려한 풍속 할증 분포

또한 3.1절에서 기술한 강풍의 위험 지역 사전 규명도 대상 지역의 지형 및 토지 피복을 고려하여 상대적으로 풍속 할증이 높은 지역을 그림 6에서 보는 바와 같이 지리정보시스템을 이용한 분석이 가능하다.

## IV. 결 론

최근의 기상이변에 따른 자연재해 발생 빈도 증가 및 피해 규모 대형화/광역화될 뿐만 아니라 매년 반복적인 풍수해 피해가 발생하고 있으나 풍수해 피해예측 시스템

이 개발되어 있지 않아 과학적인 재난대처에 한계점으로 지적되고 있어, 과학적 재난관리 체계를 마련하고, 방재정책의 효율적 추진과 한발 앞선 대응체계 확립을 위해서는 풍수해 피해예측 시스템 개발 필요성이 대두되었으며, 이를 위하여 풍수해 피해 예측을 위한 현황분석·설계 연구의 일환으로 태풍 피해 예측에 있어서 지리정보시스템의 활용에 대하여 고찰하였다.

태풍 피해 예측을 위한 세 가지 요소인 위험도 추정, 취약성 모형 및 피해 대상 자료 구축을 통한 피해 분석에 있어서 위험성 추정을 위한 지표고도, 토지 활용 및 피복 정보는 필수적인 자료로서 지리정보시스템을 이용하여 하천인식, 강우유출량 추정은 물론 범람 범위 추정이 효율적으로 수행될 수 있음을 확인하였다. 또한 국부적 강풍의 풍속 추정을 위해 지형 및 지표 거칠기 정보가 필수적으로서 지리정보시스템을 이용하여 격자화된 대상 지역의 국부적 풍속 할증을 규명하였다.

이러한 위험도 추정 결과는 지리정보시스템으로 구축된 건물, 인구 분포등 피해 대상 정보와 논리적 연산을 통하여 피해 범위의 추정은 물론 응급 대피 계획 수립에도

활용이 가능할 것으로 확인되었다.

그러나 현재 국내에 구축된 제반 자료들의 구축 주체와 자료 유형이 매우 다양하여 향후 피해 예측을 위해서는 자료 유형의 표준화는 물론 활용을 위한 유기적인 협조 체계가 요망될 것으로 전망된다.

## 후 기

본 연구는 국립방재교육연구원 방재연구소의 ‘웹GIS를 활용한 국내 재해정보 DB 및 태풍위원회 재해정보시스템 구축’ 연구과제의 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- [1] 풍수해 피해 예측 시스템 구축 방안 연구, 2007, 소방방재청.
- [2] 태풍 위험도 추정을 위한 알고리즘 분석 연구, 2006, 국립방재연구소.
- [3] 자연재해보험 활성화 방안 연구, 2007, 소방방재청.
- [4] 산업용 시설물의 풍해손상함수 국산화 방안 연구, 2007, 국립방재교육연구원 방재연구소.
- [5] HAZUS-MH, Technical Manual, 2005, FEMA.