

지리정보시스템을 이용한 태풍 위험 평가

이 승 수* · 장 은 미**

Application of GIS to Typhoon Risk Assessment

Sungsu Lee* · Eun Mi Chang**

요 약

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 피해를 사전에 예측함으로써 예방 및 대비는 물론 재해 발생에 따른 응급 대응 및 복구의 효율성을 제고를 목적으로 과학적 방법론 개발 및 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 고도 및 자연 지형, 지표의 특성 및 활용도, 피해 대상인 인공 시설물 등의 자료 항목을 분류하여 지리정보시스템을 활용한 태풍 위험 평가 방안을 제시하였다.

주요어 : 태풍, 위험성 추정, GIS활용

ABSTRACT : Damages from typhoon events have contributed more than 60 percent of total economic and social loss and the size of loss have been increased up to 800 million dollars per year in Korea. It is therefore necessary to make an effort to mitigate the loss of natural disasters. To facilitate the evaluation of damages in advance and to support the decision making to recover the damages, scientific methods have been adopted. With the effort, GIS data can provide various tools. Three components of hazard mapping are estimation of hazard, inventory for vulnerable features, and fragility of each feature. Vulnerability of natural disaster can be obtained by relation between loss and meteorological data such as precipitation and wind speed. Features can be categorized from other GIS data of public facilities and private properties, and then social and economic loss can be estimated. At this point, GIS data conversions for each model are required. In this study, we build a method to estimate typhoon risk based on GIS data such as DEM, land cover and land use map, facilities.

Keywords : typhoon, disaster GIS, Hazard, loss estimation, vulnerability

1. 서 론

우리나라는 매년 하절기를 중심으로 태풍 및 집중

호우에 의한 인명과 재산 피해가 반복적으로 발생하고 있다. 특히 그림 1에서 보는 바와 같이 1990년대 중반이후 최근 10년간 자연재해의 피해규모는 매년

*충북대학교 토목공학부(joshua@cbnu.ac.kr)

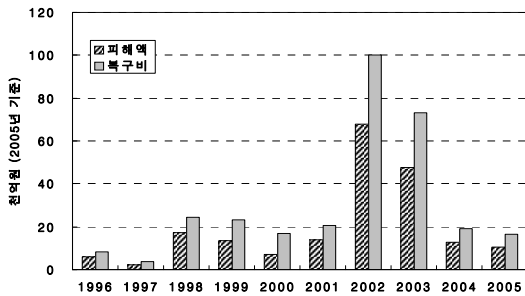
**한국공간정보통신(emchang@ksic.net)

1조원 이상의 대규모로 발생하며, 매년 복구비가 피해액을 상회하고 있다. 특히 2002년 태풍 루사와 2003년 태풍 매미와 같이 자연재해 중 태풍에 인한 피해규모가 점차 대형화되고 있는 추세이다.

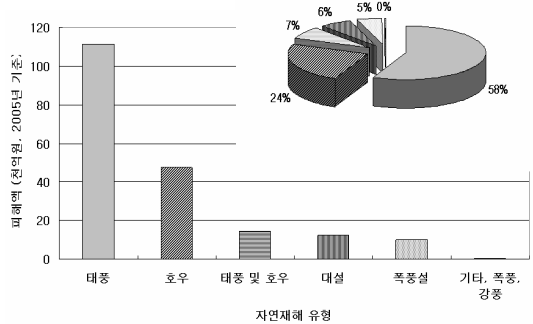
또한 자연재해의 유형별 피해규모는 그림 2에서 보는 바와 같이 태풍에 의한 피해가 60% 이상을 차지하는 것임을 알 수 있다. 최근의 경우를 보면 2002년 태풍 루사로 인한 피해액은 약 5조 1천억 이상, 2003년 태풍 매미로 인한 피해액은 약 4조 7천억 이상의 규모로 피해가 집계되었으며, 이로 인한 복구비로 각각 9조, 6조 이상의 국가재정이 투입되는 등 기상의 새로운 경향으로의 변화로 인한 태풍피해가 빈번하게 발생하고 있으며, 그 피해규모도 증가하고 있는 실정이다.

그동안 방재정책은 과학적인 분석과 체계적인 관리가 부족한 가운데, 재해연보의 정보화 등으로 분석을 위한 기본틀을 준비해왔으나 과학적 모델링에 의한 정책도출까지 이르지 못하는 못하고 있다. 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[2-7].

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 위험요소(Hazard)의 정량적 산정, 피해 대상 자료(Exposure)의 구축 및 피해대상의 취약도(Fragility) 모형의 세 가지



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



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

<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 장래에 줄 수 있는 개별 위험의 원인과 특성 평가	
취약성 평가	시설물 명세작성 (Exposure 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 급진적 손실가능성 평가, 평가방법에 대한 설명, 시설물재해가 지역 사회에 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

요소가 필수적인데 위험요소는 태풍의 특성인 강우, 풍속 등을 물리적으로 모델링함으로써 산정할 수 있으며, 피해 대상 자료는 공공 및 사유 시설물을 총망라함으로써 피해의 사회, 경제적인 피해 규모 예측에 활용된다. 각각의 피해 대상이 위험도에 따라 갖는 취약도는 최종 피해 및 손실 규모의 평가 자료로 이용된다. 위험요소 산정 및 피해 대상 자료의 구축을 위한 핵심적인 방법론으로서 지형, 토지활용 등의 정보 활용을 위해 지리정보시스템의 활용이 크게 요구된다.

지금까지 태풍을 포함한 자연재해 분야의 연구에 있어서 지리정보시스템은 ADRC (Asian Disaster Reduction Center)[8]나 Swiss Re[9] 등과 같이 피해 이력의 비교나 재해 발생 빈도의 표출 정도를 위하여 활용되어 왔다. 국내의 경우 지리정보시스템을 이용한 재해 상황 관리[10]나 전산 해석에 의한 침수 피해 예측[11]등에 활용된 바 있다.

그러나 본 논문에서는 태풍 위험 평가를 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.

2. 태풍 위험 평가 방법론

태풍 위험 평가는 일반적 자연재해 위험성 평가 방법에 따라 그림 3에서 보는 바와 같이 태풍의 위험요소(Hazard) 산정, 피해 대상 자료 (Exposure)의 구축



[그림 3] 자연재해 위험도 분석 3요소

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 산정하는 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)는 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 (Exposure)는 풍수해의 피해 대상이 되는 건물, 도로, 농작물 등과 피해 예측을 위해 필요한 기상, 지형, 토지 이용도 등의 정보로 구성된다[12].

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 이용하여 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-MH (HAZard USa-Multi Hazard)[13]에서 활용하고 있는 방법이기도 하다.

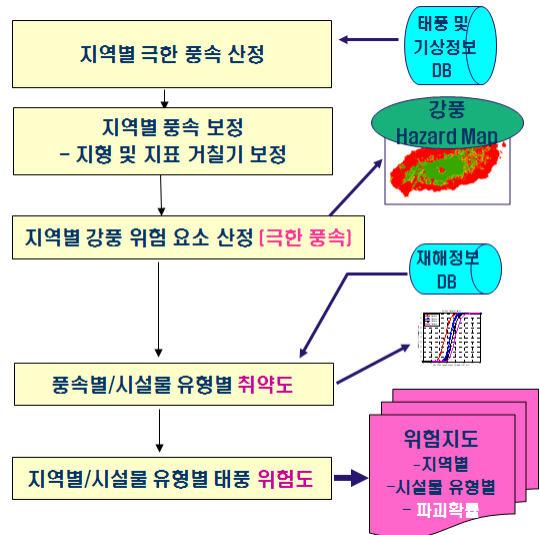
하여 재현기간에 따른 극한 풍속을 산정하거나[14], 태풍 몬테칼로 시뮬레이션에 의해 태풍의 내습이 빈번한 지역의 강풍 풍속을 산정하는 방법[15,16]이 활용될 수 있다. 그림 5는 이 같은 방법에 의해 산정된

3. 지리정보시스템의 활용

3.1 위험요소 (Hazard) 산정 과정

2절에서 기술한 태풍 피해 예측 과정 중 위험요소 (Hazard) 산정 과정에는 통계 모형이나 수치 모의를 위한 기상 정보이외에도 지표의 고도, 토지의 활용 및 피복 상태 등과 같이 지리 정보가 필수적이다. 예를 들어 태풍이 동반하는 강풍에 의한 위험을 평가하기 위한 과정을 요약하면 그림 4와 같다. 각각의 분석 과정에 필요한 지리정보는 표 2에 보는 바와 같다.

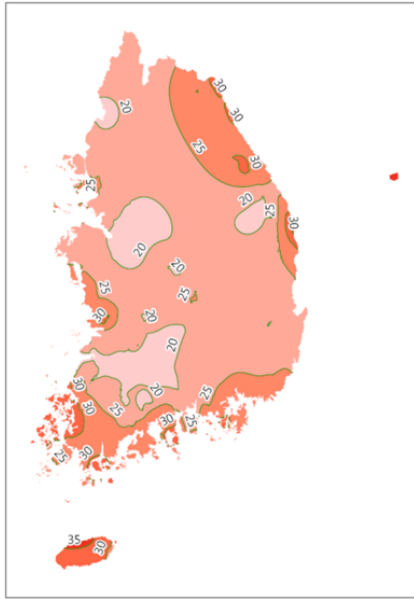
먼저 태풍에 의해 지역별로 발생하는 극한 풍속을 위해 풍속 정보나 태풍의 기상학적 정보의 수집과 통계적 기법에 의한 극치 분석과정이 요구된다. 이를 위해서는 연최고풍속 자료를 Gumbel 분포 등을 이용



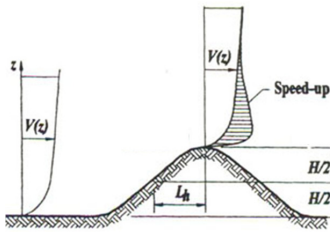
[그림 4] 태풍 동반 강풍에 의한 피해 예측 과정

<표 2> 자연 재해 위험성 평가 단계에 따른 GIS 활용자료와 분석기법

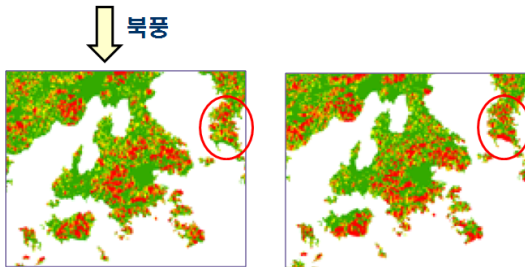
요소	단계	GIS 활용자료	GIS 분석기법
위험성 평가	위험성 인지 (Hazard Identification)	위험의 지역적 범위, 강도, 발생확률 등을 규정하여 자료화: Hazard 분석단위가 주로 행정단위로 구성되어, 재해연보, 각 재해사상별 보고서를 GIS로 가공한 자료	행정경계별 폴리곤 자료의 aggregation polyotgrid 등의 변환과정의 알고리즘
	위험성 평가 (Hazard Assessment)	재해연보의 통계적 처리 및 가공을 통한 다변인 분석을 수행, 유관 속성자료를 격자화하여 가공 분석	map algebra에 의한 확률론적 모형작성
취약성 평가	시설물 명세작성 (Exposure Identification)	재해경감 또는 재해강화의 방향으로 여파를 줄 수 있는 시설물 목록화, 업무흐름도 (workflow)에 사용되는 지리정보매칭 테이블 작성,	필터 인코딩 데이터 융합 테이블 합성
	취약성 평가 (Vulnerability Assessment)	재해강도에 따른 피해함수의 제정을 위한 일반화된 수식으로 그래프 형성 지역별 고유그래프의 누적	취약성 모델링은 각 하천별 100년 주기함수 수문 유출곡선으로 개별화
분석	다중위험성 평가 (Multi-Hazard Risk Assessment)	경제피해분석모형에 입력자료로 활용되는 것 보험료, 인구수, 지역별 재산세 등의 세금관련 정보, 공시지가등의 속성의 지리정보화	위험성 분석을 위한 전제조건, 지수의 선정을 통한 지도화 작업
	취약성 분석 (Assessing Vulnerability)과 개발경향의 분석	가능한 재위성영상을 활용한 피복변화 모니터링, 라이다 및 레이더 자료분석을 통한 지구물리적 환경자료, 토지이용 추세(경향)와 개발 추세의 분석으로 개발에 따른 재해가능성의 분석(재해영향평가), 평가로 토지 이용방향의 결정 등	시공간 분석 trend surface analysis



[그림 5] 재현기간 100년에 해당하는 태풍 동반 극한 풍속(m/s) [17]

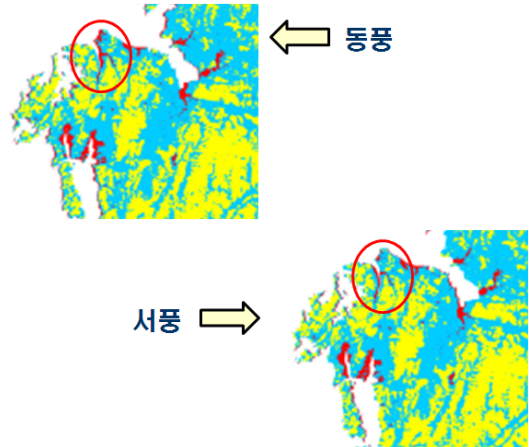


[그림 6] 지형에 의한 풍속 변화 [14]

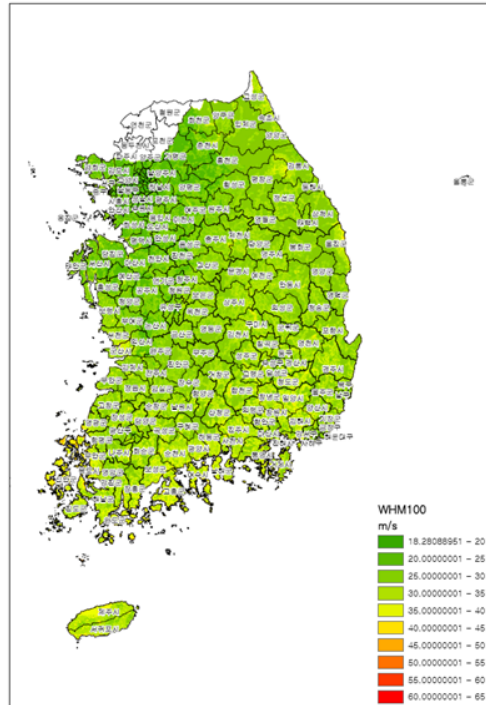


[그림 7] 풍향에 따른 풍속의 지형 할증 변화

재현기간 100년에 해당하는 극한풍속의 분포[17]이다. 그러나 그림 5에 보인 풍속은 실제 국부적인 지형



[그림 8] 풍향에 따른 풍속의 지표 거칠기 변화



[그림 9] 지리정보시스템을 이용한 태풍 동반 강풍 위험 요소 산정 결과

이나 지표의 거칠기에 의해 큰 영향을 받는다. 예를 들어 바람이 그림 6에 보는 바와 같이 산지 사면을 지나는 경우 경사도에 따라 최대 60% 정도의 풍속 증가가 발생하기도 한다[14]. 따라서 관심 지역의 지형 및 고도 자료를 이용한 경사도 분석이 요구된다. 이를 위하여 지리정보시스템을 이용하여 격자화된

수지고도정보, 즉 DEM (Digital Elevation Model)으로 부터 경사도와 이에 따른 풍속 변화를 고려하여야 한다. 그림 7은 풍향에 따라 지형이 풍속에 미치는 영향의 차이를 나타내고 있다.

또한 지표의 거칠기도 바닷가와 같이 장애물이 없는 지역의 풍속이 도심지나 산림 지역의 풍속보다 크게 관측되는 것처럼, 지표 부근의 풍속에 큰 영향을 미친다. 이를 위한 지리정보로는 토지피복도를 예로 들 수 있다. 즉, 환경부에서 구축한 1:50,000의 토지피복도 및 분류체계를 이용하여 토지활용이나 피복상태에 따른 풍속의 변화를 고려할 수 있는데, 이 경우에도 지리정보시스템을 이용하여 격자화된 토지피복정보로부터 지표거칠기의 변화에 따른 풍속 변화를 산정할 수 있다. 그림 8은 풍향에 따라 지표거칠기가 풍속에 미치는 영향의 차이를 나타내고 있다.

그림 5,7 및 8에서 보는 바와 같이 극한풍속, 지형 및 지표거칠기의 영향을 산정하는 과정에 지리정보시스템을 활용함으로써 그림 9에서 보는 바와 같이 태풍 동반 강풍 위험 요소(Hazard)를 효율적으로 산정할 수 있다.

즉 지리정보시스템의 활용도를 다음과 같이 요약할 수 있다. 첫째, 입력자료로서 지리정보의 직접 활용되는 부분이다. 각 단계별 활용도는 그림 4에 요약되어 있으며, 실제 재해의 종류에 따라 사용되는 자료가 일부 차이가 날 수 있으나 분석방법에 지리정보시스템의 활용도는 거의 유사하다.

사용되는 수치표고자료, 토지이용 및 토지피복도, 시설물 및 자산의 분포에 대한 속성정보를 포함한 공간정보는 모두 재해피해예측의 원재료로 사용되거나, 또는 격자별로 재배치, 분할, 가공되어 모델의 입력자료로 활용된다[12]. 둘째 이러한 자료의 가공 과정에서 적절한 격자의 크기와 예측의 정확도를 분석할 수 있는 도구를 제공한다.

셋째, 분석의 결과를 시각화하여 제시할 수 있으며 이 결과 피해예측을 총합계로 인식하는 것과는 달리 행정구역별로, 격자별로, 관심대상별로 차별화하여 검색할 수 있도록 해준다.

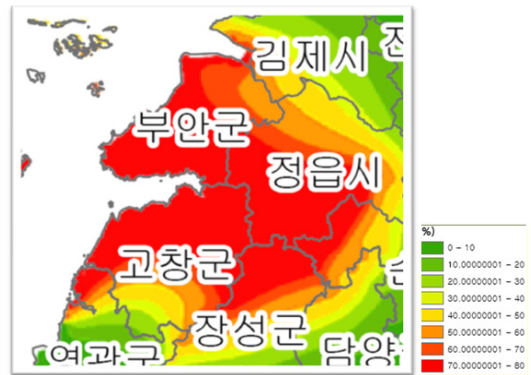
넷째, 피해예측결과와 실제피해액을 상호 비교하여 불일치되는 지역을 파악하여, 상세한 재해분석모형의 지역화 및 고도화과정을 수행할 수 있도록 예산의 최적 집행을 지원할 수 있다.

3.2 위험도(Risk)의 평가

태풍에 의한 피해 대상에 대한 자료를 지리정보시스템을 이용하여 구축하게 되는 경우, 위험도 평가와 취약성 모형에 의한 위험 지역이나 피해 예상 시설물의 규명이 매우 용이하다.

그림 10은 3.1절에서 지형 및 지표거칠기까지 고려한 국부적 극한 풍속과 풍속에 따른 시설물의 취약도 자료[4]를 이용하여 산정한 재현 기간 50년 강풍에 의한 특정 시설물의 파괴 확률 분포, 즉 위험도를 나타낸다. 지리정보시스템을 이용하여 각 격자 위치별로 위험도를 파악할 수 있고, 해당 시설물이 있는 경우, 파괴 확률을 산정할 수 있다.

예를 들어 그림 10에 보인 위험도의 대상 시설물이 정읍시에 위치하고 있다면, 개별 위치에 따라 재현기간 50년의 강풍에 대하여 40%-80%의 파괴확률을 갖는다. 즉 파괴확률 60%의 영역에 100개소의 시설물이 위치하고 있다면 약 60개소의 시설물 또는 각 시설물의 60% 정도가 파괴될 위험도를 지니며, 각 시설물의 시설단가를 산정하여 피해규모를 정량적으로 예측할 수 있다. 따라서 강풍에 대비한 방재 시설의 증축이나 개선 작업이 선행될 예정이라면 그림 10에 보이는 위험도가 높은 지역의 시설물을 대상으로 하는 경우, 앞 절에서 설명한 바와 같이 취약성을 낮춤으로써 전체 위험도, 즉 파괴확률을 낮추는 경감 대책이 수립될 수 있다.



[그림 10] 지리정보시스템을 이용한 시설물의 강풍 파괴 확률 분포 (위험도)

4. 결 론

최근의 기상이변에 따라 자연재해 발생빈도가 증가하고 피해 규모가 대형화/광역화될 뿐 만 아니라 매년 반복적인 풍수해 피해가 발생하고 있으나 풍수해 피해예측 시스템이 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 위험 평가를 위한 세 가지 요소인 위험요소 산정, 취약성 모형 및 피해 대상 자료 구축을 통한 피해 분석에 있어서 위험요소 산정을 위한 지표고도, 토지 활용 및 피복 정보는 필수적인 자료로서 지리정보시스템을 이용하여 지형 및 지표거칠기에 의한 풍속 변화 산정은 물론 피해 범위와 파괴 확률 추정치 효율적으로 수행될 수 있음을 확인하였다. 이러한 위험도 평가 결과는 지리정보시스템으로 구축된 건물, 인구 분포 등 피해 대상 정보와 논리적 연산을 통하여 피해 범위의 예측은 물론 응급 대피 계획 수립에도 활용이 가능할 것으로 확인되었다.

그러나 위험요소의 산정 과정에 필요한 격자체계의 토지피복자료, 수치지도 등을 현재의 해상도 보다 정밀화할 필요가 있을 것으로 판단되며, 시설물의 취약성 산정을 위한 시설물 분류 체계 등에 대하여 심도 깊은 연구가 수행되어야 한다. 또한 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.

사 사

이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업

의 연구비지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] 이승수, 장은미, 풍수해 피해 예측 시스템 구축 방안 연구, 2007, 소방방재청.
- [2] 조원철, 이승수 외, 태풍 위험도 추정을 위한 알고리즘 분석 연구, 2006, 국립방재연구소.
- [3] 자연재해보험 활성화 방안 연구, 2007, 소방방재청.
- [4] 이승수, 함희정, 산업용 시설물의 풍해손상함수 국산화 방안 연구, 2007, 국립방재교육연구원 방재연구소.
- [5] 김윤종, 김원명, 유일현, 1993, 지질재해분석을 위한 GIS 응용연구, 한국GIS학회지 1(1): 89-94.
- [6] 이사로, 김윤종, 1996, Drastic System을 이용한 지하수 오염가능성 및 위험분석연구 1-11.
- [7] 유환희, 김원석, 2006, 도시홍수모형을 이용한 해안지역의 침수재해평가, 한국측량학회지, 24(3) : 299-309.
- [8] National report on disaster reduction in Vietnam, The World Conference on Disaster Reduction, Kobe-Hyogo, Japan, 18-22 January 2005.
- [9] Swiss Re, Natural catastrophes and man-made disasters in 2004, Sigma, No1/2005.
- [10] 김감래, 정해진, GIS기법을 이용한 재해상황 통보 및 관리 지원 시스템 개발, 한국측량학회지, 24권4호, 2006. 10, pp.359-365.
- [11] 유환희, 김원석, 김성삼, 도시홍수모형을 이용한 해안지역의 침수재해평가, 한국측량학회지, 24권3호, 2006.8, pp.299-309.
- [12] 장은미, 2006, 지리정보기반의 재해 관리시스템 구축 (I), 민간 보험사의 사례, 태풍의 경우, 대한지리학회지 41(2): 106-120.
- [13] HAZUS-MH, Technical Manual, 2005, FEMA.
- [14] 건축물 구조기준, 2005, 대한건축학회.
- [15] 이영규, 이승수, 한반도 근역 태풍에 의한 지표풍 추정, 한국풍공학회지, 12권2호, 2008.8, pp.121-128.
- [16] 이승수, 이영규, 김학선, 한반도 내륙 태풍의 최대풍속 반경 분석, 한국풍공학회지, 11권2호, 2007.12, pp.203-210.
- [17] 이승수, 함희정, 서애숙, 강풍 및 대설 위험도 산정 기법 연구, 2009, 소방방재청.

접수일	(2009년 6월 22일)
최종수정일	(2009년 7월 30일)
게재확정일	(2009년 7월 30일)