지역적 특성을 고려한 호우피해 분석

Analysis of Heavy Rain Damage Considering Regional Characteristics

김동현* · 최창현** · 김종성*** · 이준형**** · 배영혜***** · 김형수*****

Kim, Donghyun*, Choi, Changhyun**, Kim, Jongsung***, Lee, Junhyeong****, Bae, Younghye*****,
and Kim, Hung Soo*****

Abstract

There is a difference in heavy rain damage depending on the geographical characteristics and population size of the local region. Therefore, in this study, the areas were classified as 6 regions according to geographical characteristics and population density. And the frequency analysis was conducted based on annual damage data occurred by heavy rainfall. The 6 regions mean Coastal-High population density, Coastal-Low population density, Mountain-High population density, Mountain-Low population density, Inland-High population density, and Inland-Low population density areas. In other words, we can obtain the relationships of 4 types between frequency and damage such as High frequency-Big damage (Red zone), Low frequency-Big damage (Orange zone), High frequency-Small damage (Yellow zone), and Low frequency-Small damage (Green zone) from the frequency analysis of heavy rain damage. Therefore, if we use the analysis result of heavy rain damage according to regional characteristics suggested in this study, we can establish efficient disaster planning and management for each region.

Key words : Disaster Management, Frequency Analysis, Heavy Rain Damage, Regional Characteristics

요 지

지역의 지형적 특성과 인구 규모에 따라 호우로 인한 피해의 차이가 존재하게 된다. 따라서 본 연구에서는 지형과 인구밀도의 특성에 따라 6개의 지역으로 구분하고, 호우로 인한 연피해액 자료를 토대로 빈도분석을 수행하였다. 6개의 지역은 해안-인구밀도 고지역, 해안-인구밀도 저지역, 산간-인구밀도 고지역, 산간-인구밀도 저지역, 내륙-인구밀도 고지역, 내륙-인구밀도 저지역을 의미한다. 또한 호우피해액을 이용한 빈도분석 결과를 보면, 저빈도에서 상대적으로 피해액이 크거나 작을 수 있고, 고빈도에서도 피해액이 작거나 클 수 있을 것이며 이는 4가지로 분류하였다. 즉, 고빈도-대피해 지역(Red Zone), 저빈도-대피해 지역(Orange Zone), 고빈도-소피해 지역(Yellow Zone), 저빈도-소피해 지역(Green Zone)으로 호우피해 발생 유형을 구분하였다. 6개의 지역과 4가지의 피해 분류를 토대로 분석한 결과를 살펴보면, 해안-인구밀도 고지역과 해안-인구밀도 저지역은 Yellow Zone과 Green Zone, 산간-인구밀도 저지역은 Red Zone과 Orange Zone, 내륙-인구밀도 고지역은 주로 Yellow Zone과 Green Zone, 내륙-인구밀도 저지역은 주로 Red Zone과 Yellow Zone인 것으로 분석되었다. 본 연구에서 제시한 지역 특성별 호우피해 분석결과를 활용한다면, 지역별로 효율적인 재난관리 및 계획을 수립하는데 유용할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 재난관리, 빈도분석, 호우피해, 지역 특성

*정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: yesdktpdi@naver.com)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

**정회원, 인하대학교 토목공학과 박사수료

Member, Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Inha University

***정회원, 인하대학교 토목공학과 박사과정

Member, Doctor's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

****인하대학교 토목공학과 석사과정

Master's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

*****교신저자, 정회원, 인하대학교 수자원시스템연구소 연구원(Tel: +82-32-874-0069, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: yhaebae@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Researcher, Institute of Water Resource System, Inha University

*****정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

1. 서 론

최근 기후변동과 기후변화로 인해 자연재난의 빈도가 급증하고 있으며, 그로 인한 재산 피해 및 인명피해가 증가하고 있다(World bank and United Nations, 2010; Lee et al., 2016). 자연재난으로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 인구 밀도, 방재시설 현황, 취약인구수 등의 지역적 특성과 재해 빈도, 재해 강도 등의 재해 특성을 파악하는 것이 선행되어야 하며, 이를 반영한 효과적인 재난관리가 필요하다.

효율적인 재난관리를 위해 지역적 특성이나 재해 특성을 분석한 국외 연구사례를 살펴보면, Pielke and Downton (2000)은 1932-1997년에 미국에서 발생한 홍수피해 지역을 대상으로 강수량, 강우강도, 소득, 인구 등의 지역적 특성이 홍수피해에 미치는 영향을 평가하였다. Hall et al. (2005)은 영국과 웨일즈에서 발생하는 홍수피해 위험을 평가하기 위해 지형 및 지리 정보, 방재시설 정보, 토지 사용 방안 등의 지역적 특성을 고려하였다. Merz et al. (2004)은 1978년부터 1994년까지 독일에서 발생한 홍수피해 사례를 이용하여 침수심별 건물의 홍수피해 자료가 Lognormal 분포를 가지고 있음을 제시하였고, 이를 통해 독일 서남부 지역의 재해 특성을 파악하였다. Zhang et al. (2005)은 Kinematic diffusion 모델 및 Box-Cox Transformation을 이용하여 미국의 Alabama, Texas, Mississippi, Louisiana 지역에서 발생한 홍수피해 빈도 등의 재해 특성을 분석하였다.

최근 들어 지역적 특성과 재해 특성을 함께 고려한 연구사례들이 진행되고 있는데, 우선 Vogel et al. (2012)은 독일의 Elbe 유역과 Danube 유역의 홍수피해 영향성 평가를 위하여 침수심, 침수기간, 재현기간을 통한 재해 특성을 파악하고, 취약인구수 등의 지역적 특성들을 고려하였다. Messeri et al. (2015)은 최근 수십 년 동안 이탈리아 지역의 홍수 및 산사태 피해에 대한 빈도 개념으로 재해특성을 파악하고 기상인자, 사회·경제적 인자 등의 지역적 특성을 함께 고려하였다.

효율적인 재난관리를 위해 지역적 특성이나 재해 특성을 분석한 국내 연구사례를 살펴보면, Choi (2004)은 1971년부터 2002년까지 경기도의 31개 시군구에서 발생한 자연재난 피해액을 대상으로 자연적 요소, 인문적 요소, 물리적 요소, 방재적 요소 등을 고려하여 지역적 특성을 분석하였다. Jun et al. (2008)은 홍수취약성에 대해 민감도, 노출도, 적응능력의 함수로 정의하였고, 지역별 홍수에 취약한 정도를 의미하는 취약성 지표를 제시함으로써 지역적 특성을 분석하였다. Park et al. (2009)은 전국 시군구별 홍수피해 자료를 확률적 개념에 근거하여 빈도분석을 수행함으로써 재해특성을 분석하였다. 지역별로 홍수피해 발생 빈도를 분석하여 재해 특성을 파악하였다는 점에서 본 연구와 목적이 유사함을 알 수 있다. 하지만 위 연구에서는 지역적 특성을 반영하지 않았으며, 평균피해액에 대한 빈도만을 고려하여 심각한

재난 피해가 발생할 수 있는 극치사상을 반영하기에는 어려움이 있다고 판단된다. Kim et al. (2017)은 경기도 지역의 호우피해 위험을 평가하고자 PSR (Pressure-State-Response) 구조를 활용하여 호우피해에 영향을 미치는 지역 경사, 강수량 등의 지역적 특성을 분석하였다. Choi et al. (2017)은 기상요소와 사회·경제적 요소 등의 지역적 특성을 통해 공공시설의 호우피해 특성을 파악하였다.

국내·외 선행 연구를 살펴보면 주로 지역적 특성을 분석한 연구와 재해 특성을 분석한 연구가 개별적으로 수행되어 왔으며, 효율적 재난관리를 위해 지역적 특성과 재해 특성을 동시에 고려한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 국내 자연재난 피해 중 약 40% 이상을 차지하고 있는 호우로 인한 피해를 대상으로 지역적 특성별 피해 유형을 분석하여 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성을 제시하고자 하였다.

이를 위해 대상지역의 지형학적 특징과 사회·경제적 특징을 이용하여 6가지 지역적 특성(해안-인구밀도 고지역, 해안-인구밀도 저지역, 산간-인구밀도 고지역, 산간-인구밀도 저지역, 내륙-인구밀도 고지역, 내륙-인구밀도 저지역)의 분류체계를 제시하였고, Weibull 공식과 Gringorten 공식을 이용하여 호우피해 발생 빈도분석을 수행하였다. 빈도분석을 통해 산정된 호우피해 발생빈도와 피해액을 표준점수법을 이용하여 표준화하였고, 이를 활용하여 호우피해 유형을 분석하였다. 도출된 지역적 특성 분류와 호우피해 유형을 결합하여 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성을 분석하였다.

2. 지역적 특성을 고려한 호우피해 분석 방법

2.1 지역적 특성 분석 방법

선행 연구들을 참고하여 해안경계선으로부터 20 km 이내에 위치한 지점들을 해안 지역으로 분류하였고, 시군구 영역이 백두대간에 위치한 지역을 산간 지역으로 구분하였고, 나머지 지역을 내륙지역으로 분류하였다(North Carolina State Government, 2004; Jun et al., 2008; FEMA, 2016). 또한 방재시설 현황 및 취약인구수 등의 사회·경제적 특징이 다를 경우 호우로 인한 피해 양상이 다르게 발생할 것이다. 여기서 인구밀집 정도가 높을수록 방재시설 등의 방재능력은 더 높고, 인구밀집 정도가 낮을수록 취약인구가 더 많이 분포되어 있다고 판단하였다. 따라서 다양한 사회·경제적 특징을 대표할 수 있는 인구밀도를 활용하여 밀집 정도를 분류하였다. UN (United Nation)에서 발표한 2017년 우리나라의 전국 인구밀도는 513 명/ km^2 으로 제시하였는데, 이를 이용하여 본 연구에서는 인구밀도 500 명/ km^2 을 기준으로 500 명/ km^2 이상이면 인구밀도 고지역, 500 명/ km^2 이하이면 인구밀도 저지역으로 구분하였다(UN, 2017). 따라서 앞에서 언급한 3가지 지형학적 특징(해안, 산간, 내륙)과 2가지의

사회·경제적 특징(인구밀도 고, 저지역)을 이용하여 총 6가지의 지역적 특성에 따른 분류를 실시하였다.

2.2 확률도시법에 의한 빈도분석 방법

특정 크기의 강우나 홍수 등의 무작위하게 발생하는 성질을 가지고 있는 수문변량(Hydrologic variables)이 발생하는 빈도를 결정하거나, 어떤 빈도로 발생할 수문변량의 크기를 추정하는 방법을 빈도분석(Frequency analysis)이라고 한다(Yoon, 2003). 본 연구에서는 수문학 분야에서 빈도분석 방법으로 널리 사용되고 있는 확률도시법(Probability plotting technique)을 재난관리 분야에 적용하여, 해당 시군구의 호우피해 특성을 분석하였다. 확률도시법으로 빈도분석을 실시하기 위해서 우선, 가장 큰 값의 자료부터 가장 작은 값의 자료까지 내림차순으로 정렬하여 순위에 따라 도시위치(Plotting position)를 구한다(Kim, 2010). 경험적인 도시위치 공식(Plotting position formula)에 의해 재현기간을 결정하고, 이를 통해 호우피해 발생 빈도 또는 발생 빈도에 따른 사상의 크기를 구할 수 있게 된다. 경험적인 도시위치공식에는 California, Weibull, Chegadayev, Blom, Turkey, Gringorten, Cunnane, 공식 등이 사용되고 있으며, 본 연구에서는 호우 빈도분석에 주로 활용되는 Weibull 공식과 극치사상에 주로 활용되는 Gringorten 공식을 사용하였다. Eqs. (1)과 (2)는 Weibull 및 Gringorten 공식을 나타낸 것이다.

$$\text{Weibull} : T = \frac{N+1}{m} \quad (1)$$

$$\text{Gringorten} : T = \frac{N+0.12}{m-0.44} \quad (2)$$

여기서 T는 재현기간(return period), N은 자료의 총 수, m은 전체 자료를 큰 값부터 작은 값의 순으로 나열했을 때 자료의 순위이다.

2.3 적합도 검정

자료가 가지고 있는 통계적인 특성을 규명하기 위해 정규 분포, 대수정규분포, Gamma 분포, Type-1 극치분포 등의 확률분포형이 이용되고 있으며, 사용한 확률분포가 적합한 분포인지 판단하기 위해 Chi-Square 검정, K-S (Kolmogorov-Smirnov) 검정, 확률도시 상관계수 검정, C-V-M (Cramer Von Mises) 검정 등의 적합도 검정 방법(goodness of fit test)을 사용한다. 본 연구에서는 표본자료의 수가 크지 않을 경우에도 확률분포형의 적합도를 적절한 신뢰도를 가지고 검정할 수 있는 K-S 검정 방법과 C-V-M 검정 방법을 이용하여 적합성을 검정하였다(Yoon, 2003). 여기서 K-S 검정은 표본자료의 누가확률분포와 가정된 이론적 확률분포의 누가확률분포를 비교하는 것으로, 양자의 최대편차가 한계편

차보다 작으면 적합성을 인정하는 방식이다. C-V-M 검정도 마찬가지로 누가확률분포함수를 이용하는데, 표본자료를 이용하여 검정통계치를 산정하고, 검정한계치와 비교하여 작을 경우 적합성을 인정하는 방법이다.

2.4 표준화 방법

본 연구에서는 적합도 검증에 있어 표본자료의 누가확률 분포를 수행하기 위하여 표준점수법(Z-Score)을 활용하였다. 표준점수법은 표본의 평균값과 표준편차값을 활용하여 해당하는 변량을 표준화시키는 방법이다.

$$Z\text{-score} = \frac{X_i - \mu}{\sigma} \quad (3)$$

여기서, Z는 표준점수 값, X_i 는 i 번째 표본의 변량 값, μ 는 표본의 평균, σ 는 표본의 표준편차를 의미한다.

3. 대상지역 선정 및 지역적 특성 분류

3.1 대상지역 선정

1994년부터 2016년까지의 호우피해 발생 횟수 및 총 피해 금액을 권역별로 살펴보면 한강 권역이 가장 많은 피해가 발생하고, 피해 금액도 가장 큰 것으로 나타났다(Table 1). 따라서 본 연구에서는 한강 권역을 대상지역으로 선정하였고, 한강 권역은 서울특별시(25개), 인천광역시(10개), 경기도(31개), 강원도(17개), 충청북도(3개) 시군구로 이루어져 있으며, 총 86개의 시군구를 포함하고 있다.

Table 1. Number of Damage and Total Damage for Each River Zone (1994~2016)

Each river zone	Number of Damage	Total Damage (1,000 won)
Han River	1,442	5,278,078,654
Nakdong River	824	1,922,116,632
Geum River	726	1,338,162,332
Seomjin and Yeongsan River	590	569,008,711

3.2 입력자료 구축

지역적 특성을 분류하기 위해 국가공간정보포털(<http://www.nsdi.go.kr/>)에서 제공하고 있는 수치 표고 모형(DEM: Digital Elevation Model) 자료와 2016년 기준 전국 시군구 단위의 행정구역 경계 자료를 활용하였고, 통계청에서 제공하고 있는 각 시군구의 인구수와 시군구별 면적 자료를 이용하여 인구밀도를 산정하였다. 또한 호우피해 특성을 분석하기 위하여 행정안전부에서 매년 발간하고 있는 재해 연보를 활용하였다. 재해연보는 1970년대부터 작성되었으

나 체계화된 자료는 1994년부터 제공되고 있으며, 원인별·기간별·지역별·시설물별로 구분되어 작성된다. 본 연구에서는 1994년부터 2016년까지의 한강 권역에 해당하는 86개 시군구의 기간별·지역별 호우피해액 자료를 수집하였다. 여기서 1994년부터 2016년까지의 화폐가치가 상이하기 때문에 재해연보에서 사용하는 생산자 물가지수를 활용하여 모든 기간의 피해금액을 2016년 기준으로 환산하였다.

3.3 지역적 특성 분류

지역적 특성은 지형학적 특징(해안, 산간, 내륙)과 사회·경제적 특징(인구밀도 고, 저)을 고려하여 총 6가지의 분류체계를 구축하였다. 해안 지역에서 인구밀도 고지역은 13개, 인구밀도 저지역은 6개 시군구로 구분되었다. 산간 지역에서 인구밀도 고지역은 0개, 인구밀도 저지역은 9개 시군구로 구분되었다. 내륙 지역에서 인구밀도 고지역은 46개, 인구밀도 저지역은 12개 시군구로 구분되었다. Fig. 1은 지역적 특성에 따른 분류를 도시화한 것이다.

Fig. 1. Classification of Region by Geography-population Density

4. 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성 분석

4.1 호우피해 특성 분석

호우피해 발생 빈도 및 피해액 등의 호우피해 특성을 분석하기 위해 우선 각 시군구의 1994년부터 2016년까지의 연도별 평균 및 최대 호우피해액을 큰 값의 자료부터 가장 작은 값의 자료까지 내림차순으로 정렬하였다. 정렬된 평균

및 최대 호우피해액을 Weibull 공식과 Gringorten 공식에 적용하여 각 공식별 평균 호우피해 발생빈도와 최대 호우피해 발생빈도를 산정하였고, K-S 검정방법을 이용하여 적합도를 검정하고 유의수준이 더 낮은 공식의 결과값을 선택하였다. 즉, Weibull 공식과 Gringorten 공식을 이용하여 호우피해 발생빈도를 산출한 후, K-S 검정 방법으로 두 공식 모두 확률분포가 적합하다는 판정을 받으면, 두 개의 결과 값 중 유의수준이 더욱 작은 값이 해당 시군구의 호우피해 발생빈도로 선택되었다. 그리고 마지막으로 C-V-M 검정방법을 이용하여 적합도를 재검토하였다. Table 2는 Weibull 공식과 Gringorten 공식 중에서 선택된 공식과 C-V-M 검정 결과, 그리고 평균 호우피해 발생빈도와 최대 호우피해 발생빈도를 나타낸다.

4.2 호우피해 특성별 유형 정의

호우피해 특성을 정량적으로 비교하기 위하여 평균 및 최대 호우피해 발생 빈도와 평균 및 최대 호우피해액을 표준점수법(Z-score)을 이용하여 표준화하였다. 표준점수법을 활용하여 표준화된 발생빈도가 0보다 작으면 저빈도, 0보다 크면 고빈도로 정의하였고, 동일한 방법으로 표준화된 피해액이 0보다 작으면 소피해, 0보다 크면 대피해로 정의하였다.

표준화된 결과를 이용하여 호우피해 특성별 4가지의 유형(Zone)으로 구분하였는데, 고빈도-대피해의 지역은 Red Zone으로 정의하였으며, 호우피해가 자주 발생하며 규모가 큰 피해가 주로 발생하는 지역을 뜻한다. 저빈도-대피해 지역은 Orange Zone으로 정의하였고, 호우로 인한 피해가 드물게 발생하지만 규모가 큰 피해가 주로 발생하는 지역을 의미한다. 고빈도-소피해는 Yellow Zone으로 정의하였고, 호우피해가 자주 발생하지만 규모가 작은 피해가 주로 발생하는 지역을 뜻한다. 저빈도-소피해 지역은 Green Zone으로 정의하였고, 호우로 인한 피해도 비교적 적고, 규모가 작은 피해가 주로 발생하는 지역을 의미한다.

4.3 호우피해 특성별 유형 분류

먼저 평균 호우피해를 기준으로 4가지 호우피해 유형에 해당하는 시군구의 개수를 살펴보면, 고빈도-대피해(Red Zone) 지역은 12개, 저빈도-대피해(Orange Zone) 지역 14개, 고빈도-소피해(Yellow Zone) 지역 29개, 저빈도-소피해(Green Zone) 지역 31개로 나타났다. 그리고 최대 호우피해를 기준으로 살펴보면 고빈도-대피해(Red Zone) 지역 12개, 저빈도-대피해(Orange Zone) 지역 8개, 고빈도-소피해(Yellow Zone) 지역 23개, 저빈도-소피해(Green Zone) 지역 43개로 분석되었다. Figs. 2와 3은 평균 및 최대 호우피해별로 4가지 호우피해 유형에 속하는 시군구의 분포를 나타낸 것이다.

Table 2. Results of Frequency Analysis for Average and Maximum Heavy Rain Damages

City	Methods	C-V-M Test	Frequency (Average) (Year)	Frequency (Maximum) (Year)	City	Methods	C-V-M Test	Frequency (Average) (Year)	Frequency (Maximum) (Year)
Gangneung	Gringorten	Pass	3.38	11.32	Paju	Gringorten	Pass	3.01	13.33
Goseong	Gringorten	Pass	2.62	9.28	Pyeongtaek	Weibull	Pass	3.28	32.63
Donghae	Gringorten	Pass	2.60	7.16	Pocheon	Weibull	Pass	2.90	24.34
Samcheok	Weibull	Pass	3.73	15.96	Hanam	Weibull	Pass	2.74	18.28
Sokcho	Weibull	Pass	3.49	9.22	Hwaseong	Gringorten	Pass	2.61	18.04
Yanggu	Gringorten	Pass	2.78	14.09	Gangnam	Weibull	Pass	3.04	15.80
Yangyang	Gringorten	Pass	2.70	8.05	Gangdong	Weibull	Pass	2.90	13.41
Yeonwol	Gringorten	Pass	2.91	11.31	Gangbuk	Weibull	Pass	3.01	11.05
Wonju	Weibull	Pass	3.20	26.51	Gangseo	Weibull	Pass	3.73	16.32
Inje	Gringorten	Pass	2.99	14.46	Kwanak	Gringorten	Pass	2.61	8.19
Jeongseon	Gringorten	Pass	3.22	15.75	Gwangjin	Weibull	Pass	3.18	8.70
Cheorwon	Gringorten	Pass	3.21	17.24	Guro	Gringorten	Pass	2.76	6.75
Chuncheon	Gringorten	Pass	2.75	10.23	Geumcheon	Gringorten	Pass	1.93	5.03
Pyeongchang	Weibull	Pass	3.88	27.44	Nowon	Weibull	Pass	3.27	10.96
Hongcheon	Gringorten	Pass	2.66	11.38	Dobong	Weibull	Pass	3.34	11.03
Hwacheon	Gringorten	Pass	3.03	13.45	Dongdaemun	Weibull	Pass	3.84	14.62
Hoengseong	Weibull	Pass	4.30	26.79	Dongjak	Weibull	Pass	2.88	8.88
Gapyeong	Gringorten	Pass	2.77	13.31	Mapo	Gringorten	Pass	3.14	10.20
Goyang	Gringorten	Pass	3.25	17.16	Seodaemun	Gringorten	Pass	1.92	6.39
Gwacheon	Weibull	Pass	3.37	12.55	Secho	Weibull	Pass	3.52	21.75
Gwangmyeong	Weibull	Pass	2.88	16.55	Seongdong	Gringorten	Pass	2.69	9.13
Gwangju	Gringorten	Pass	2.53	15.61	Seongbuk	Gringorten	Pass	2.93	7.72
Guri	Gringorten	Pass	2.65	10.17	Songpa	Gringorten	Pass	2.31	5.14
Gunpo	Gringorten	Pass	2.75	11.08	Yangcheon	Gringorten	Pass	3.06	8.39
Gimpo	Weibull	Pass	3.59	25.47	Yeondeungpo	Gringorten	Pass	2.92	9.24
Namyangju	Gringorten	Pass	2.70	16.36	Yongsan	Weibull	Pass	3.89	22.12
Dongducheon	Weibull	Pass	3.41	15.24	Eunpyeong	Weibull	Pass	3.51	14.23
Bucheon	Gringorten	Pass	2.79	9.97	Jongno	Gringorten	Pass	2.72	8.65
Seongnam	Weibull	Pass	3.08	21.22	Junggu	Gringorten	Pass	3.14	10.25
Suwon	Weibull	Pass	3.27	23.93	Jungnang	Gringorten	Pass	3.25	7.60
Siheung	Gringorten	Pass	2.76	11.21	Ganghwa	Gringorten	Pass	2.93	14.44
Ansan	Gringorten	Pass	2.77	15.75	Gyeyang	Weibull	Pass	3.70	13.96
Anseong	Weibull	Pass	3.90	22.54	Namgu	Gringorten	Pass	3.12	13.18
Anyang	Gringorten	Pass	3.26	17.73	Namdong	Gringorten	Pass	2.72	11.34
Yangju	Weibull	Pass	3.27	27.41	Donggu	Gringorten	Pass	2.60	6.84
Yangpyeong	Gringorten	Pass	2.50	17.50	Bupyeong	Weibull	Pass	3.10	19.74
Yeoju	Weibull	Pass	3.14	26.65	Seogu	Weibull	Pass	3.40	16.02
Yeoncheon	Weibull	Pass	3.62	32.59	Yeonsu	Gringorten	Pass	2.76	8.25
Osan	Gringorten	Pass	2.93	9.25	Ongjin	Gringorten	Pass	2.84	7.22
Yongin	Weibull	Pass	3.58	33.24	Bupyeong	Gringorten	Pass	2.39	7.36
Uiwang	Weibull	Pass	3.82	22.23	Danyang	Weibull	Pass	3.33	11.30
Uijeongbu	Weibull	Pass	3.44	14.74	Jecheon	Gringorten	Pass	2.57	12.79
Icheon	Weibull	Pass	3.61	20.23	Chungju	Gringorten	Pass	3.11	13.75

Fig. 2. Zoning using Average Heavy Rain Damage

Fig. 3. Zoning using Maximum Heavy Rain Damage

4.4 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성 분석

지형학적 특징(해안, 산간, 내륙)과 사회·경제적 특징(인구밀도 고, 저)을 고려하여 총 6가지의 지역적 특성 분류 체계를 구축하였다.

지역적 특성을 고려하여 호우피해 특성을 분석한 결과 해안-인구밀도 고지역의 평균 호우피해 발생빈도는 2.98년이었으며, 평균 피해액은 6.84억 원이었다. 최대 호우피해 발생빈도는 14.50년이었으며, 최대 피해액은 81.50억 원이었다. 해안-인구밀도 저지역의 평균 호우피해 발생빈도는 2.93년이었으며, 평균 피해액은 32.45억 원이었다. 최대 호우피해 발생빈도는 10.04년이었으며, 최대 피해액은 270.16억 원이었다.

연구 범위인 한강 권역에 산간 지역 인구밀도 고지역에 해당하는 시군구는 없었다. 인구밀도 저지역의 평균 호우피해 발생빈도는 3.04년이었으며, 평균 호우 피해액은 131.74억 원이었다. 산간-인구밀도 저지역의 최대 호우피해 발생빈도는 14.66년이었으며, 최대 피해액은 1,658억 원이었다.

내륙-인구밀도 고지역의 평균 호우피해 발생빈도는 3.07년이었으며, 평균 피해액은 13.90억 원이었다. 최대 호우피해 발생빈도는 13.72년이었으며, 최대 피해액은 147.16억 원이었다. 내륙-인구밀도 저지역의 평균 호우피해 발생빈도는 3.25년이었으며, 평균 피해액은 48.53억 원이었다. 최대 호우피해 발생빈도는 20.97년이었으며, 최대 피해액은 563.06억 원이었다. Table 3은 지역적 특성별 호우피해 발생 빈도와 피해액을 나타낸 것이다.

4.5 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성별 유형 분류

지역적 특성을 고려하여 호우피해 특성별 유형을 분류한 결과 우선, 평균 호우피해를 기준으로 보면 해안-인구밀도 고지역 보다 해안-인구밀도 저지역의 Red Zone 및 Orange Zone 분포 비율 높았으며, 산간-인구밀도 저지역에서는 Red Zone 및 Orange Zone의 분포가 주를 이루었다. 내륙-인구밀도 고지역은 Yellow Zone 및 Green Zone이 상대적으로

Table 3. Average and Maximum Heavy Rain Damages, and Their Frequencies for Each Area

Regional Characteristics	Damage (1,000 won)		Frequency (Year)	
	Average	Maximum	Average	Maximum
Coastal-High population density area	684,403	8,149,664	2.98	14.50
Coastal-Low population density area	3,244,517	27,016,021	2.93	10.04
Mountain-High population density area	-	-	-	-
Mountain-Low population density area	13,173,907	165,803,404	3.04	14.66
Inland-High population density area	1,389,639	14,715,894	3.07	13.72
Inland-Low population density area	4,852,908	56,305,730	3.25	20.97

많이 분포하였고, 내륙-인구밀도 저지역의 경우 Red Zone 및 Orange Zone 분포 비율 높았다. 최대 호우피해를 기준으로 살펴보면, 해안-인구밀도 고지역 보다 해안-인구밀도 저지역의 Orange Zone 분포 비율 높았으며, 산간-인구밀도 저지역에서는 Red Zone 및 Orange Zone의 분포가 주를 이루었다. 내륙-인구밀도 고지역은 Yellow Zone 및 Green Zone이 상대적으로 많이 분포하였고, 내륙-인구밀도 저지역의 경우 상대적으로 Yellow Zone 및 Green Zone보다 Red Zone의 분포 비율 높았다. Table 4와 Fig. 4는 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성별 유형을 나타낸 것이다.

5. 결 론

자연재난으로 인한 피해는 지역적 특성에 따라 동일한 자연재난이 발생하더라도 각기 다른 피해 특성을 가지고 있다. 특히 호우로 인한 피해의 경우 유사한 강우 사상이 발생 하더라도 지역적 특성에 따라 다른 피해 양상이 나타나고 있다. 실제로 2006년 7월에 발생한 집중호우로 인해 강원도 강릉시에서는 약 2억 5천만 원의 비교적 큰 피해가 발생하였고, 비슷한 강우 사상이 발생한 삼척시에서는 비교적 적은 약 6천만 원의 피해가 발생하였다(NEMA, 2007). 이는 동일한 강우 사상이라 하더라도 지역마다 해안, 산간 지역 등의 지형적 차이나 인구밀집 정도, 방재시설 현황, 취약인구 분포 등의 사회·경제적 특징이 다르기 때문에 피해양상은 다르게 나타날 수 있음을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 호우피해를 대상으로 지역적 특성을 고려한 호우피해 특성을 분석하였다. 대상지역은 한강 권역의 86개 시군구를 선택하였고, 지역적 특성을 반영하여 6가지 분류(해안-인구밀도 고지역, 해안-인구밀도 저지역, 산간-인구밀도 고지역, 산간-인구밀도 저지역, 내륙-인구밀도 고지역, 내륙-인구밀도 저지역)로 제시하였다. 확률도시법에 의한 빈도분석 방법인 Weibull 및 Gringorten 확률도시

공식 이용하여 호우피해 발생 빈도를 산정하였고, 표준점수법에 의해 시군구별 발생 빈도와 피해액을 표준화하여 호우피해 특성을 4가지 유형(Red Zone, Orange Zone, Yellow Zone, Green Zone)으로 분류하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지형학적 특징(해안, 산악, 내륙)과 사회·경제적 특징(인구밀도 고, 저) 등의 지역적 특성을 고려하여 한강 권역 86개 시군구를 분류한 결과 해안-인구밀도 고지역은 15%, 해안-인구밀도 저지역은 7%, 산간-인구밀도 고지역 0%, 산간-인구밀도 저지역 10%, 내륙-인구밀도 고지역 53%, 내륙-인구밀도 저지역 14%의 분포를 가지고 있는 것으로 분류되었다. 한강 권역에서는 산간-인구밀도 고지역에 해당되는 시군구가 없는 것으로 나타났고, 내륙-인구밀도 고지역 분류가 한강 권역에서 가장 많은 시군구를 포함하고 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 평균 호우피해를 기준으로 분석한 결과 고빈도-대피해(Red Zone) 지역이 14%, 저빈도-대피해(Orange Zone) 지역 16%, 고빈도-소피해(Yellow Zone) 지역이 34%, 저빈도-소피해(Green Zone) 지역 36%로 나타났다. 최대 호우피해를 기준으로 살펴보면 Red Zone 14%, Orange Zone 9%, Yellow Zone 27%, Green Zone 50%로 비교적 위험한 Orange Zone 과 Yellow Zone의 비율은 감소하였고, 비교적 안전한 Green Zone 지역의 비율이 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 지역적 특성을 고려하여 호우피해 특성을 분석한 결과 해안 지역의 경우 피해 규모가 작은 Yellow Zone, Green Zone에 해당하는 시군구가 많이 분포하는 것을 알 수 있었고, 인구밀도가 높을수록 피해규모나 빈도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. 산간 지역의 경우 주로 피해 규모가 큰 Red Zone이나 Orange Zone

Table 4. Areas of Average and Maximum Damages, and the Related Zones to Each Area

Division	Regional Characteristics	Red Zone	Orange Zone	Yellow Zone	Green Zone
Average	Coastal-High population density area	0	0	5	8
	Coastal-Low population density area	1	1	1	3
	Mountain-High population density area	0	0	0	0
	Mountain-Low population density area	3	6	0	0
	Inland-High population density area	3	3	20	20
	Inland-Low population density area	5	4	3	0
Maximum	Coastal-High population density area	0	0	5	8
	Coastal-Low population density area	0	1	1	4
	Mountain-High population density area	0	0	0	0
	Mountain-Low population density area	2	6	0	1
	Inland-High population density area	5	1	13	27
	Inland-Low population density area	5	0	4	3

Fig. 4. Distribution of Zones by Regional Characteristics

이 분포하는 것을 알 수 있었고, 이는 피해가 발생할 경우 규모가 큰 피해가 발생할 위험이 있다고 판단된다. 내륙 지역의 경우 주로 Yellow Zone과 Green Zone이 분포하였고, 해안 지역과 마찬가지로 인구밀도가 높을수록 피해규모나 빈도가 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

- (4) 인구밀도가 높은 지역의 경우 피해 규모가 작은 Yellow Zone 및 Green Zone인 것으로 나타났고, 인구밀도가 낮은 지역의 경우 주로 피해 규모가 큰 Red Zone 및 Orange Zone인 것으로 분석되었다. 따라서, 인구밀도가 높을수록 상대적으로 낮은 빈도-피해가 발생하며, 인구밀도가 낮을수록 높은 빈도-피해가 발생할 확률이 높아질 수 있다고 판단하였다.
- (5) Red Zone은 호우피해가 자주 발생하며 규모가 큰 피해가 주로 발생하고, Orange Zone은 호우로 인한 피해가 드물게 발생하지만 규모가 큰 피해가 주로 발생하는 지역이므로 재해예방사업에 대한 우선적인 투자가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 기존의 방재시설에 대한 설계빈도 등을 점검할 필요가 있다. Yellow Zone은 호우피해가 자주 발생하지만 규모가 작은 피해가 주로 발생하고, Green Zone은 호우로 인한 피해도 비교적 적고, 규모가 작은 피해가 주로 발생한다. 다른 존에 비하여 호우피해에 대한 적절한 방재 대책과 대비가 잘 되어있다고 판단되지만, 꾸준한 관리가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 몇 가지 한계점이 있는데, 우선 지역적 특성을 고려함에 있어 시군구의 위치와 인구밀도만을 고려하였기 때문에 향후 연구에서 추가적으로 방재시설정보, 취약인구수 등의 요소들을 활용하여 지역적 특성을 고려할 필요가 있다. 또한 자료의 개수 부족으로 인해 시군구별 총 피해액만을 대상으로 분석하였는데, 추후에 시설물별 피해액에 대한 자료가 충분히 구축된다면 좀 더 세분화된 형태의 재해 특성을 분석할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 바탕으로 호우피해를 최소화하기 위한 적절한 대책을 다음과 같이 제시할 수 있다. 먼저 해안지역의 경우 주로 규모가 작은 피해가 발생하기 때문에 재난관리에 있어 소홀해지지 않도록 꾸준한 관리가 필요하다. 산간지역의 경우 상대적으로 인구밀도가 다른 지역에 비해 낮기 때문에 방재시설이나 예산 등이 적게 투입된다고 판단되지만 대규모 피해가 발생할 확률이 높기 때문에 산림 육성 및 옹벽 설치 등의 적절한 방재대책 수립이 시급하다고 판단된다. 내륙 지역의 경우에는 상대적으로 인구 밀집 지역이 다수 분포하기 때문에 방재시설이나 예산 등이 많이 투입되어 다른 지역보다 규모가 작은 피해가 주로 일어난다고 판단된다. 하지만 그만큼 자산가치가 더 높고 불투수율이 다른 지역에 비해 높기 때문에, 하수관로, 빗물받이 등의

구축되어 있는 방재시설들이 그 역할을 제대로 할 수 있도록 꾸준한 관리가 필요하다고 판단된다. 따라서, 본 연구 결과를 바탕으로 지역적 특성 및 호우피해 특성이 유사한 지역을 파악하여, 적절한 방재대책을 수립한다면 보다 효율적으로 피해를 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 극한 재난대응 기반기술개발사업의 연구비 지원(2018-MOIS31-009)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, C.H., Park, K.H., Park, H.K., Lee, M.J., Kim, J.S., and Kim, H.S. (2017) Development of Heavy Rain Damage Prediction Function for Public Facility Using Machine Learning. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 6, pp. 443-450.
- Choi, C.I. (2004) Panel Models about Determining Factors of Urban Flood Damages. *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 39, No. 7, pp. 49-67.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2016) *Southeastern NC Regional Hazard Mitigation Plan*.
- Hall, J.W., Sayers, P.B., and Dawson, R.J. (2005) National-scale Assessment of Current and Future Flood Risk in England and Wales. *Natural Hazard*, Vol. 36, No. 1-2, pp. 147-164.
- Jun, H.D., Park, M.J., Kim, G.Y., and Kim, J.W (2008) Damage Analysis of Meteorological Disasters for Each District Considering the Characteristics of a District. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 8, No. 2, pp. 75-82.
- Kim, H.S. (2010) *Hydrologic*. Donghwa Technology Publishing Co.
- Kim, J.S., Choi, C.H., Lee, J.S., and Kim, H.S. (2017) Damage Prediction Using Heavy Rain Risk Assessment : (1) Estimation of Heavy Rain Damage Risk Index. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 361-370.
- Lee, J.S., Eo, G., Choi, C.H., Jung, J.W., and Kim, H.S. (2016) Development of Rainfall-Flood Damage Estimation Function using Nonlinear Regression Equation. *Journal of the Korean Society of Disaster Information*, Vol. 12, No. 1, pp. 74-88.
- Merz, B., Kreibich, H., Thieken, A., and Schmidtke, R. (2004) Estimation Uncertainty of Direct Monetary Flood Damage to Buildings. *Natural Hazards and Earth*

- System Science*, Vol. 4, No. 1, pp. 153-163.
- Messeri, A., Morabito, M., Messeri, G., Brandani, G., Petralli, M., Natali, F., Grifoni, D., Crisci, A., et al. (2015) Weather-Related Flood and Landslide Damage: A Risk Index for Italian Regions. *PLoS One*, Vol. 10, No. 12, pp. e014446.
- NEMA (National Emergency Management Agency) (2007) *The 2006 Annual Natural Disaster Report*.
- North Carolina State Government (2004) *Natural Hazard Mitigation Plan*.
- Park, T.S., Choi, M.H., Yeo, C.G., and Lee, S.O. (2009). Analysis of Regional Flood Damage Characteristics using Relationship between Flood Frequency and Damages. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 9, No. 5, pp. 87-92.
- Pielke, R.A., and Downton, M.W. (2000). Precipitation and Damaging Floods: Trends in the United States, 1932–97. *Journal of Climate*, Vol. 13, No. 20, pp. 3625-3637.
- UN (United Nation) (2017) *World Population Prospects 2017 Revision*.
- Vogel, K., Riggelsen, C., Merz, B., Kreibich, H., and Scherbaum, F. (2012). Flood Damage and Influencing Factors: A Bayesian Network Perspective. *Proceedings 6th European Workshop on Probabilistic Graphical Models*, University of Granada, Granada, Spain, Vol. 625, pp. 347-354.
- World Bank and United Nations (2010) *Natural Hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention*.
- Yoon, Y.N. (2003) *Hydrologic: Foundation and Application*. Cheong Moon Gak Publishing Co.
- Zhang, L., and Singh, V.P. (2005) Frequency Analysis of Flood Damage. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 10, No. 2, pp. 100-109.

Received	■	April 17, 2018
Revised	■	April 18, 2018
Accepted	■	April 25, 2018