



Development of regression functions for human and economic flood damage assessments in the metropolises

Lim, Yeon Taek^a · Lee, Jong Seok^b · Choi, Hyun Il^{c*}

^aM.S Student, Department of Civil Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

^bPh.D Candidate, Department of Civil Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

^cProfessor, Department of Civil Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Paper number: 20-091

Received: 18 September 2020; Revised: 26 October 2020; Accepted: 26 October 2020

Abstract

Flood disasters have been recently increasing worldwide due to climate change and extreme weather events. Since flood damage recovery has been conducted as a common coping strategy to flood disasters in the Republic of Korea, it is necessary to predict the regional flood damage costs by rainfall characteristics for a preventative measure to flood damage. Therefore, the purpose of this study is to present the regression functions for human and economic flood damage assessments for the 7 metropolises in the Republic of Korea. A comprehensive regression analysis was performed through the total 48 simple regression models on the two types of flood damage records for human and economic costs over the past two decades from 1998 to 2017 using the four kinds of nonlinear equations with each of the six rainfall variables. The damage assessment functions for each metropolis were finally selected by the evaluation of the regression results with the coefficient of determination and the statistical significance test, and then used for the human and economic flood damage assessments for 100-year rainfall in the 7 metropolises. The results of this study are expected to provide the basic information on flood damage cost assessments for flood damage mitigation measures.

Keywords: Flood, Human damage cost, Economic damage cost, Damage assessment, Rainfall, Regression analysis

대도시에서의 인적·물적 홍수피해 추정을 위한 회귀함수 개발

임연택^a · 이종석^b · 최현일^{c*}

^a영남대학교 건설시스템공학과 석사과정, ^b영남대학교 건설시스템공학과 박사과정, ^c영남대학교 건설시스템공학과 교수

요 지

기후변화와 기상이변으로 인해 최근 전세계적으로 홍수피해가 증가하고 있다. 우리나라에서는 피해복구가 일반적인 홍수피해 대응방안으로 사용되어 왔기 때문에, 홍수피해에 대한 예방적인 대책을 위해서는 강우특성에 따른 지역적 홍수피해규모를 예측할 필요가 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 우리나라 7개 대도시에서의 강우에 의한 인적 및 물적 홍수피해 예측을 위한 회귀함수를 개발하는 것이다. 회귀분석은 1998년부터 2017년까지 최근 20년 동안의 인적 및 물적 손실의 2가지 피해특성자료에 대해 6개의 강우특성 인자를 4가지 형태의 비선형 방정식에 각각 적용한 총 48가지 유형의 단순회귀모형을 통해 종합적으로 수행되었다. 결정계수와 유의성 검정을 통해 회귀분석 결과를 검토하여 각 대도시의 피해추정함수를 최종 선정하였고, 이를 이용하여 100년 빈도 강우량에 대한 7개 대도시의 인적 및 물적 홍수피해 규모를 평가하였다. 본 논문의 결과는 홍수피해 저감대책을 위한 홍수피해 규모 평가에 기초정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 홍수, 인적 피해, 물적 피해, 피해 추정, 강우, 회귀분석

*Corresponding Author. Tel: +82-53-810-2413

E-mail: hichoi@ynu.ac.kr (H. I. Choi)

1. 서론

최근 기후변화와 기상이변으로 전 세계적으로 발생빈도가 증가하고 있는 호우와 태풍에 의한 인명 및 재산피해의 급증 현상은 우리나라에서도 예외는 아니다. 특히 좁은 지역에 동시다발적으로 발생하는 국지성 집중호우로 인한 피해는 예측이 어려운 경우가 많으며, 지속적으로 발생 가능성이 증가할 것으로 보인다. 우리나라에서 발생하는 자연재해 중 대부분은 홍수로 인한 피해이며, 주로 태풍을 동반한 호우 또는 여름 장마철 집중호우 현상으로 많은 인적 및 물적 피해가 발생하고 있다(Chae *et al.*, 2016; MOIS, 2017). 과거 우리나라의 홍수재해 저감대책은 홍수피해 발생 후 피해규모를 중심으로 특별재난지역이나 피해우심지역을 선정하여 복구비를 지원하는 형태에 중점을 두었으므로, 최근의 홍수특성에 대비하기 위해서는 홍수발생 시 예상되는 피해지역과 피해규모를 예측하는 사전예방적인 홍수관리대책이 필요하며, 이를 위해 지역별 홍수피해 양상에 대한 파악과 분석이 요구된다. 즉, 지역별 홍수에 대한 취약성을 사전에 파악하여 홍수피해에 대한 원인을 분석하고, 지역별 피해저감대책을 마련하는 것이 중요하다. 우리나라의 경우, 급격한 도시화로 인해 대도시 인구와 시설물이 집중하여 홍수발생 시 많은 인명과 재산의 피해가 발생할 우려가 있다. 따라서 대도시에서의 강우특성에 따른 인적 및 물적 홍수피해 정도를 사전에 예측할 수 있는 분석방안이 마련된다면, 대도시의 홍수피해 예측 및 저감 대책 수립에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

다양한 종류의 재해에 대한 위험도 평가를 위해, 그 평가목적에 따라 제시되고 있는 여러 가지 평가방법 중에 과거 피해 자료의 분석을 통한 방법은 정량적으로 위험도를 평가할 수 있는 방법으로 알려져 있다(Zou and Wei, 2009). 이와 같이 과거 자료의 회귀분석을 이용한 홍수피해 예측 및 홍수위험도 평가 관련 주요 국내 연구들을 살펴보면 다음과 같다. Jun *et al.* (2008)은 재해연보 상의 호우 및 태풍으로 인한 피해자료를 지역특성, 발생횟수, 그리고 피해액을 기준으로 구분하여 지역특성별 홍수피해를 분석하였고, Jang and Kim (2009)은 지역회귀분석을 이용하여 100년 빈도 강우에 대한 재산피해액을 예측하고 홍수취약도지수를 산정하여 홍수피해잠재능과 비교하였다. Lee (2010)는 수위 및 강우자료의 회귀분석에 의한 도시홍수 예보시스템을 개발하여 홍수위를 예측하였고, Lee *et al.* (2016)은 비선형 회귀함수의 매개변수를 최적화 기법을 통해 추정하여 강우-홍수피해액 회귀식을 제시하였다. Lee *et al.* (2016)은 시강우량 구간의 횡수와 침수피해데이터의 회귀분석을 통해 서울특별시의 자치구별 호우침수위험도를 산출하였고, Choi *et al.* (2016)은 호우피해를 대상으로 대

표적 통계방법인 일반화 선형모형을 적용한 호우피해 예측함수를 개발하였다. Choi *et al.* (2017)은 단독주택의 홍수피해액 평가를 위한 손상함수 개발을 위해 과거 홍수피해를 입은 건물에 대한 자료들의 단순회귀분석을 활용하였고, Kim *et al.* (2017)은 호우피해위험도 등급별 호우피해 예측함수를 개발하기 위해 재해통계자료와 수문기상자료를 이용하여 다중회귀분석을 실시하였다.

과거 자료의 분석기법을 이용한 홍수피해 또는 홍수위험도 분석 관련 주요 국외 연구들을 정리하면 다음과 같다. Dorland *et al.* (1999)은 6년 동안 폭풍우 피해액을 종속변수로 기후변수와 사회경제적 변수를 독립변수로 각각 선정하여 회귀모형을 제안하였다. Huang *et al.* (2008)은 다변량 분석으로 중국 후난성의 홍수로 인한 경제적 손실의 영향을 분석하였으며, Chang *et al.* (2008)은 홍수심과 피해액의 회귀분석을 이용하여 공간적 변화를 반영한 홍수피해 함수를 설정하였다. Doglioni *et al.* (2011)은 강우로 유발된 산사태 위험을 분석하기 위해 데이터 중심의 진화 모델링 기법인 진화 다항식 회귀분석을 사용하였고, Haddad and Rahman (2012)은 호주 동부에 있는 399개 유역데이터자료의 회귀분석으로 호주 동부의 지역홍수빈도분석을 제안하였다. Spekkers *et al.* (2014)은 다중회귀분석을 이용해 광범위한 피해영향 요인과 강우관련 피해와의 관계를 조사하였으며, Cortes *et al.* (2017)은 로지스틱 회귀분석으로 지중해 지역의 강우로 인한 홍수피해를 예측하는 방법론을 개발하고 평가하였다.

이와 같은 국내외의 관련 연구 사례에서는 홍수재해 예측을 위해, 회귀분석을 통한 홍수위험도를 산정하거나 회귀모형을 이용하여 호우피해 예측함수 또는 예측모델을 구축하였다. 그러나 대부분의 선행연구에서는 확정된 독립변수에 대한 종속변수의 값을 단일 회귀식을 사용하여 추정하는 상관분석이 일반적이다. 보다 상관성이 높은 회귀분석 결과를 도출하기 위해서는 분석대상 지역별 특성을 고려할 필요가 있으므로, 일반적으로 홍수발생 인자와 비선형 관계인 피해특성에 대한 종합적인 분석을 위해 지역특성을 반영하는 독립변수의 선정과 여러 종류의 회귀식 적용을 통한 지역별 최적 회귀식을 선정하는 연구가 필요하다. 본 논문에서는 홍수재해에 큰 영향력을 미치는 요소 중 하나인 강우특성과 재해발생으로 인한 직접적인 피해특성인 인적 및 물적 피해의 상관관계 분석을 통해, 지역별 홍수피해 추정을 위한 회귀함수를 홍수발생 시 막대한 인적 및 물적 피해 발생이 우려되는 우리나라 7개 대도시(서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시)를 대상으로 개발하고자 한다. 이를 위해 행정안전부의 국민재난안전포털에서 제공하는 1998년부터 2017년까지 최근 20개년의 재해연보 자료

로부터 호우 및 태풍으로 인한 인명피해수와 이재민수를 종합한 인적 피해특성과 총 재산피해액을 종합한 물적 피해특성 자료를 구축하였다. 아울러, 인적 및 물적 홍수피해별 강우특성을 파악하고자 각 대도시 내에 위치한 7개 기상청 관할 중관 기상관측소의 강우자료를 수집하여 각 홍수피해 발생에 영향을 미치는 강우특성 자료를 구축하였다. 회귀분석 과정에서는 분석결과에 악영향을 미칠 가능성이 있는 이상치가 존재할 경우 이를 제거하여 산정한 7개 대도시별 총 48개의 회귀분석 결과 중, 지역특성 강우조건에 따른 인적 및 물적 피해특성 예측을 위한 최적 회귀함수를 선정하였다. 본 논문에서 제시된 강우-피해특성 추정함수 개발방법은 우리나라 7개 대도시의 홍수피해 예측 및 평가를 위해 사용될 수 있으며, 향후 전국 시군구로 확대 적용하여 홍수로 인한 인적 및 물적 피해예측과 홍수피해 저감대책에 활용하고자 한다.

2. 강우-피해특성 분석

본 논문에서는 홍수재해에 가장 큰 영향을 미치는 인자 중에 하나로 선행 연구에서 많이 사용되고 있는 강우특성과 인적 및 물적 피해특성 변수 사이의 상호관계 정도를 분석하기 위해 회귀분석을 사용하였다. 최근 20개년(1998-2017년) 동안 발생한 인적 및 물적 홍수피해 발생횟수는 7개 대도시별로 다소 차이가 있지만 회귀분석에 필요한 자료수의 확보가 필요하므로, 여러 지속기간에 대한 강우 인자들을 동시에 사용하는 다중회귀분석을 지양하여, 지역별 피해특성과 높은 상관성을 보이는 지역특성 강우인자를 1개 독립변수로 선정하고 인적 또는 물적 피해특성을 종속변수로 선정하는 단순회귀분석을 실시하였다.

2.1 대상지역

대도시는 많은 인구와 다양한 인프라가 갖추어진 공간으로, 국가의 경제, 문화, 정치 등이 집약된 중심지로서의 역할을 한다. 특히 우리나라의 경우 도시화가 급격히 진행되어, 대도시 내에서의 인구집중과 과도한 개발이 이루어져 왔다. 많은 인구와 다양한 사회적, 경제적 주요시설이 집중되어 있는 대도시에서 홍수재해가 발생하면 직접적인 인적 및 물적 피해를 가져올 뿐만 아니라, 도시기능 마비와 사회질서 혼란의 2차적인 피해를 야기할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 대도시의 재해특성을 고려한 인적 및 물적 홍수피해 예측을 위해서, Fig. 1과 같이 우리나라의 대표적인 대도시인 서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 대전광역시, 광주광역시, 울산광역시 등 7개 대도시를 분석 대상지역으로 선정하였다.

대도시에서는 일반적으로 구조적 및 비구조적 방재대책이 다른 지역보다 체계적으로 수립되어 있어, 이에 대한 홍수피해 저감효과도 인적 및 물적 피해특성 추정을 위한 회귀분석 시에 영향인자로 고려할 필요가 있다. 그러나, 분석자료수의 제한으로 인한 단순회귀분석의 수행에 따라 본 논문에서는 대도시별 홍수피해에 가장 큰 영향을 미치는 1개의 강우특성인자만 독립변수로 고려하였으며, 이에 따라 대도시별 홍수대책 효과는 산정한 강우-피해특성 회귀함수식의 회귀계수에 간접적으로 반영될 것으로 사료된다.

2.2 피해현황 및 자료구축

강우-피해특성 회귀함수 개발을 위해 필요한 홍수피해 집계자료는 국민재난안전포털(www.safekorea.go.kr)에서 매년 제공하는 재해연보 자료를 기준으로, 1998년부터 2017년까지 20개년 동안의 호우 및 태풍으로 인한 홍수피해자료를 수집하였다. 분석기간을 길게 선정할 경우, 오래전의 자료는 그 지역의 기후 및 대응 특성 등이 최근과 상이한 조건에서의 결과를 나타낼 가능성이 있고, 분석기간을 짧게 선정할 경우 분석자료수의 부족이 예상되므로, 회귀분석을 위한 어느 정도 수준의 자료수를 확보하기 위해 최근 20개년을 적정 분석대상 기간으로 결정하였다. 분석대상 기간의 기상변화 특성을 살펴보면, Fig. 2에 도시한 바와 같이 홍수피해 분석자료수 확보를 위해 선정한 분석기간(1998-2017년) 동안 7개 대도시에서의 연평균 강수량은 연도별 편차를 보이지만 전체적인 경년 변동 추이는 큰 변화없이 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 본 논문에서 선정한 최근 20개년(1998-2017년)은 한반도 지역에서 여름 몬순에 의한 강수량이 최근 일부 감소경향을 나타내거나, 기후변화로 인한 강수량 변동성의 변화가 뚜렷하지 않은 최근의 특성(KMA, 2020)을 반영하기에 무리가 없는 기간이라고 판단된다.

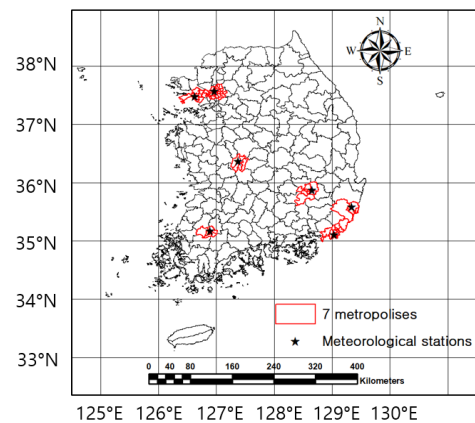


Fig. 1. Location map of the 7 metropolises under study

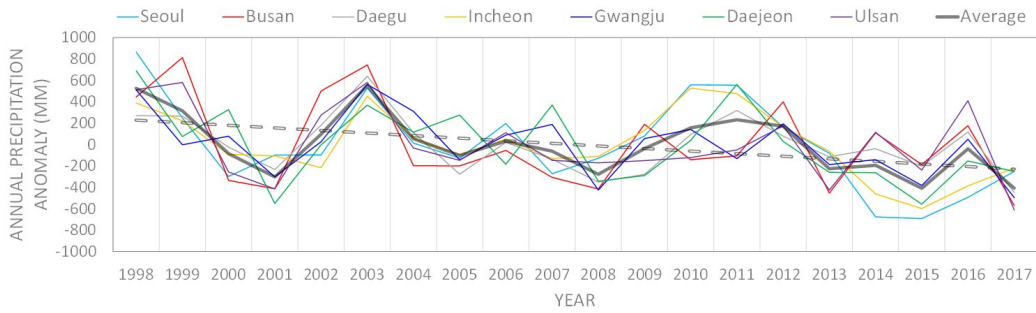


Fig. 2. Annual precipitation anomaly in the 7 metropolises for the past two decades from 1998 to 2017

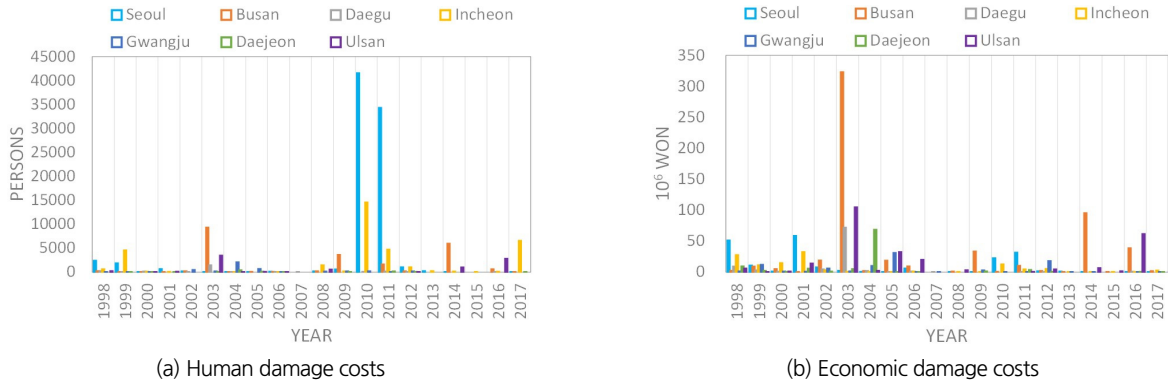


Fig. 3. Human and economic damage cost records in the 7 metropolises for the past two decades from 1998 to 2017

홍수피해 중 인적 피해는 EM-DAT (<https://www.emdat.be/>)에서 정의하는 인명(사망, 실종) 및 이재민(재해 후 부상자, 피난자, 노숙자 등) 수의 총합으로 산정하였으며, 물적 피해는 재해연보에서 정의하는 건물, 선박, 공공시설, 농작물피해, 기타 등의 총 손실액인 각 연도의 기준금액을 생산자 물가지수를 고려한 2017년 기준으로 화폐가치를 통일하여 사용하였다. 재해연보에서는 시, 군, 구별 피해자료를 구분하여 집계하고 있으므로, 서울특별시의 25개 자치구, 부산광역시의 15구 1군, 대구광역시의 7구 1군, 인천광역시의 8구 2군, 대전광역시의 5구, 광주광역시의 5구, 그리고 울산광역시의 4구 1군에 대한 자치행정구역별 인적 및 물적 홍수피해자료의 수집이 가능하다. 한편, 강우-피해특성의 회귀분석에 사용될 강우자료는 7개 대도시 내에 위치한 각 1개소의 기상청 중관기상관측소 측정자료를 기준으로 하였으며(2.3절 참조), 각 대도시 내의 군 또는 구 단위로 집계된 피해자료로 개별 행정구역별 회귀분석 시에는 자료수가 부족한 경우가 많으므로, 동일 홍수발생사상에 대한 인적 및 물적 홍수피해자료는 대도시 단위로 통합하여 구축하였다. 다만, 인천광역시에 위치한 강화군의 경우 티센망 분석결과 다른 8개 자치구들에 영향을 미치는 인천관측소보다 강화관측소의 영향이 더 큰 것으로 확인되어 인천광역시의 통합결과에서는 제외하였다.

7개 대도시에서 최근 20년(1998-2017년) 동안 홍수로 인해 발생한 인적 피해의 경우 Fig. 3(a)와 같이, 1998년 7월 집중호우와 1999년 집중호우 및 태풍 올라 등으로 서울특별시와 인천광역시에 많은 피해가 발생하였고, 2003년 경상남도 지역에 영향을 미친 태풍 매미로 인해 부산광역시와 울산광역시에서, 2010년에는 강화도에 상륙하여 경기북부를 가로지른 태풍 곤파스로 인해 서울특별시와 인천광역시에서 큰 피해가 기록되었다. 2011년 7월에는 수도권을 중심으로 한 중부지방에서 발생한 집중호우로 서울특별시와 인천광역시에서, 그리고 2014년 8월에는 남부지방에서 일어난 집중호우로 인해 부산광역시와 울산광역시에서 많은 피해가 발생하였다. 그 밖에 두드러진 인적 피해 기록은 2016년 10월에 발생한 태풍 차바에 의해 울산광역시에서, 그리고 2017년 7월에는 집중호우에 의해 인천광역시에서 나타나고 있다. 물적 피해 또한 Fig. 3(b)와 같이, 중부지방 집중호우에 의해 1998년 7월과 2001년 7월에 서울특별시와 인천광역시에서 큰 피해가 기록되었고, 2003년 7월 폭우로 인해 대전광역시에서, 이어서 9월 초강력 태풍 매미로 인해 부산광역시, 울산광역시, 대구광역시에서 기록적인 피해가 발생하였다. 또한 집중호우에 의해 2004년 7월에는 대전광역시에서, 2014년 8월에는 부산광역시에서 큰 피해가 기록되었고, 2016년에는 가을 태풍 차바에

의해 울산광역시와 부산광역시에서 많은 재산피해가 발생하였다. 각 도시별 인적 및 물적 피해의 연도별 발생추이는 서로 비슷하게 나타나고 있으나, 인적 피해의 경우 많은 인구가 집중되어 있는 서울특별시에서 큰 홍수가 발생한 2010년과 2011년에 가장 두드러진 피해기록을 보이고 있다. 최근 20년(1998-2017년) 동안의 홍수피해 추이는 분석대상 7개 대도시별 다소 차이를 보이나, 전반적으로 인적 및 물적 홍수피해가 해마다 발생하고 있으며, 재해발생의 주원인은 호우와 태풍으로서 우리나라 홍수피해특성은 지역별 강우특성과 밀접한 관계를 보일 것으로 예상된다.

2.3 강우관측소 현황 및 자료구축

본 논문에서는 기상청 관할 지상관측소 중 방재기상관측소보다 비교적 관측자료의 지속적인 관리 및 검증이 이루어지고 있는 공인된 자료인 종관기상관측소의 강우량 자료를 대상으로 결정하였다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 7개 대도시에 영향을 미치고 최근 20개년(1998-2017년) 동안의 시강우자료를 확보하고 있는 7개 기상청 관할 종관기상관측소(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)에 대하여, 기상청이 기상자료와 정보를 제공하기 위해 개설하여 운영 중인 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do>)로부터 강우량 자료를 수집하였다.

강우-피해특성 회귀분석에 필요한 독립변수인 강우특성 인자의 지속기간 선정에 위해, 방재성능목표 등 각종 계획 및 설계 기준으로 많이 사용되는 1시간, 2시간, 3시간 및 24시간, 호우주의보 및 호우경보 발령기준인 3시간과 12시간, 기상청 동네예보 기준인 6시간 등을 고려대상으로 선정하였다. 따라서

분석대상 7개 대도시의 각 홍수피해 사상별 홍수발생 하루 전부터 영향 강우관측소의 강우자료를 수집하여, 1시간 최대강우 R_1 , 2시간 최대강우 R_2 , 3시간 최대강우 R_3 , 6시간 최대강우 R_6 , 12시간 최대강우 R_{12} , 그리고 24시간 최대강우 R_{24} 등 총 6개의 강우특성 인자를 각 대도시별, 홍수사상별로 구축하였다.

2.4 회귀분석

2.4.1 독립변수 검토

두 변수 사이의 관련성 정도는 공분산의 정도에 따라 좌우되며, 공분산이 많을수록 상관도가 높게 나타나고 공분산이 완전히 일치할 때 상관관계는 1이 된다. 이러한 변수 사이의 관련성을 나타내기 위해 상관관계의 정도를 나타내는 것이 상관계수이며, 일반적으로 정규분포된 양적변수에 대해 Pearson 상관계수 r 이 많이 사용된다. 일반적으로 Pearson 상관계수 r 의 값이 0.4 이상일 경우 어느 정도 상관관계가 있다고 판단하고, 0.7 이상일 경우 상관관계가 높은 것으로 평가하며(Ratner, 2009; Mukaka, 2012; Dormann *et al.*, 2013), 상관분석을 통하여 얻은 상관계수의 통계적 유의성은 분석 자료수(자유도)를 고려한 검정통계량으로 검정할 수 있다.

Table 1에 제시된 바와 같이, 6개 지속기간별 강우특성과 인적 및 물적 홍수피해특성의 상관관계 분석결과는 7개 대도시에서의 홍수피해특성에 따라 6개 강우특성 인자들이 다소 상이한 상관계수 결과를 나타내고 있다. 서울특별시와 부산광역시에서는 6개 강우특성 모두 전반적으로 인적 및 물적 피해와 우수한 상관성을 보이고 있고, 대구광역시에서는 인적 및 물적 피해 모두 R_{24} 의 장기 지속기간 강우특성에서 상대적으로 높은 상관성을 보이는 반면, 인천광역시와 울산광역시에

Table 1. Correlation coefficients between rainfall variables and flood damage costs in the 7 metropolises

Flood damage	Cities	R_1	R_2	R_3	R_6	R_{12}	R_{24}
Human damage costs	Seoul	0.3849	0.4686	0.5666	0.6451	0.4943	0.4983
	Busan	0.5433	0.6584	0.7299	0.7027	0.5973	0.5042
	Daegu	0.3064	0.1764	0.1920	0.2120	0.0710	0.3515
	Incheon	0.4478	0.4724	0.4708	0.4512	0.3032	0.2283
	Gwangju	0.2440	0.3391	0.6644	0.7133	0.7351	0.7174
	Daejeon	0.0126	0.0693	0.1008	0.2131	0.3247	0.4018
	Ulsan	0.4923	0.4675	0.4050	0.3916	0.1848	0.1868
Economic damage costs	Seoul	0.5913	0.6042	0.6427	0.5357	0.6515	0.7058
	Busan	0.3402	0.4301	0.5047	0.4882	0.4563	0.4098
	Daegu	0.1628	0.1552	0.1858	0.2101	0.1175	0.3059
	Incheon	0.4712	0.5404	0.5049	0.4793	0.3741	0.2972
	Gwangju	0.2339	0.2114	0.3683	0.4440	0.4541	0.3606
	Daejeon	0.5227	0.5260	0.4397	0.4236	0.4609	0.4310
	Ulsan	0.4261	0.4098	0.4086	0.4006	0.3038	0.3077

서는 인적 및 물적 피해 모두 R_6 이하의 단기 지속기간 강우특성에서 높은 상관성을 보이고 있다. 광주광역시 경우에는 인적 및 물적 피해 모두 R_3 이상의 중장기 지속기간 강우특성에서 높은 상관성을 보이고, 대전광역시의 경우 인적 피해는 R_{24} 에서, 물적 피해는 모든 지속시간에서 전반적으로 우수한 상관성을 보이고 있다. 이상의 7개 대도시별 강우특성과 피해 특성과의 Pearson 상관계수 평가결과는 두 변수간의 선형 상관관계를 나타내어 강우-피해특성의 비선형 회귀분석과는 상이할 수 있으므로, 회귀분석 시에 각 대도시별 인적 및 물적 홍수피해특성별 상관도가 높은 강우특성을 최대한 고려하기 위해, 6개 지속기간별 강우특성 인자 모두를 회귀분석 대상 강우조건으로 결정하였다.

2.4.2 회귀분석식 선정

회귀분석을 위한 독립변수의 수와 표본의 수가 1:10의 비율이 최소 비율이라는 주장(Halinski and Feldt, 1970; Miller and Kunce, 1973)과 독립변수와 표본 수의 비율은 최소 1:5이며, 1:10이 되어야 안정적인 회귀계수를 얻을 수 있다는 의견(Harris, 1975; Nunnally, 1978; Bentler and Chou, 1987; Green, 1991)에 따라, 7개 대도시 중 최근 20개년(1998-2017년)간 홍수피해 발생횟수가 최소인 대전광역시의 인적피해 발생 14회를 고려하여, 본 논문에서의 강우-피해특성 회귀분석은 1개의 독립변수를 사용하는 단순회귀분석을 채택하였다.

따라서 7개 대도시의 강우-피해특성 관계분석에 사용할 회귀식은 각 6개 지속기간별 강우특성 인자 독립변수 R에 대한 홍수피해의 비선형 관계를 고려하여 종속변수는 인적(인명 및 이재민수) 또는 물적(재산피해액) 피해자료의 실제값 D와 아울러 대수정규분포로 가정한 누가발생확률값 P도 포함하여 Eqs. (1)~(4)와 같이 총 4개의 형태로 가정하였다. 일반적으로 홍수피해자료에 대한 확률밀도함수는 대수정규분포가 적합하다고 알려져 있으며(Zhai *et al.*, 2005), 적합도 검정결과 7개 대도시에서 인적 및 물적 피해자료에 대한 대수정규분포는 유의수준 범위 내에서 기각되지 않는 것으로 검토되었다.

$$\ln D = aR + b \tag{1}$$

$$\ln D = a \ln R + b \tag{2}$$

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = aR + b \tag{3}$$

$$\ln\left(\frac{P}{1-P}\right) = a \ln R + b \tag{4}$$

Eqs. (1)~(4)에서, a와 b는 각 회귀식에서 추정되는 회귀계수로서 본 논문에서는 F-검정(F-test)으로 유의성을 검정하였다. 종속변수의 한계값을 규정할 수 있는 Eqs. (3) and (4)은 성장함수(Growth function) 형태로써, 일반적으로 성장함수는 3차함수나 지수함수보다 우수한 적합도를 나타내는 것으로 알려져 있다(Jang and Kim, 2009).

3. 적용 및 분석결과

3.1 회귀분석 결과

분석대상 자료에서 대부분의 자료값보다 지나치게 크거나 작은 자료값을 이상치(Outlier)라고 하며 이로 인해 상관계수의 결과가 왜곡될 수 있으므로, 이를 제거한 후 회귀분석을 수행할 필요가 있다. 그러나 이상치로 보이는 개체가 자료 전체에 대한 중요한 정보를 담고 있는 경우도 있기 때문에 자료분석 과정에서 적절한 방법에 의해 이상치를 판별할 필요가 있다. 본 논문에서는 이상치에 대한 판정을 위한 여러 가지 방법 중에 Belsley *et al.* (1980)이 제안한 스튜던트잔차(Studentized Residual)와 DFFITS (Difference in Fits)방법, 그리고 Cook (1977)이 제안한 쿡의 거리(Cook's Distance)방법으로 이상치로 의심되는 자료를 1차적으로 진단한 후, 대도시별 홍수피해 특성분석에 중요한 영향을 미치는 것으로 판단되는 이상치 진단자료는 회귀분석 대상에 포함하였다. 이상치로 최종 판단되어 회귀분석에서 제외된 자료들은 대부분 피해정도가 소규모이거나, 지역별 강우-피해특성 추이를 기준으로 강우조건 대비 피해가 과도하게 발생한 자료들로서, 해당 피해 발생시의 특수한 추가적인 영향요인이 있을 것으로 추정되므로, 추후 피해원인 사례분석 및 현장조사 등을 통해 이상치 판정 자료들에 대한 검증이 필요하다.

회귀식의 종속변수와 독립변수 사이의 유의성 검정방법으로 본 논문에서는 F-검정을 수행하여 유의수준을 p-value < 0.05로 설정하였다. 또한, 분석된 강우-피해특성 회귀식의 결정계수 R^2 은 상관계수 r의 제곱값이므로, 본 논문에서는 결정계수값 $R^2 > 0.2$ 정도이면 회귀식에서 독립변수의 영향력이 종속변수의 설명에 어느 정도 유의하다고 판단하였다. 따라서, 결정계수값과 p-value값을 7개 대도시에서 인적 및 물적 피해추정 최적 회귀함수를 선정하는 기준으로 사용하였다.

인적 및 물적 피해자료의 실제값 D와 누가발생확률값 P에 대한 회귀분석식으로 사용된 Eqs. (1)~(4)의 4개의 식에 1시간 최대강우 R_1 , 2시간 최대강우 R_2 , 3시간 최대강우 R_3 , 6시간 최대강우 R_6 , 12시간 최대강우 R_{12} 및 24시간 최대강우 R_{24} 등

6개 독립변수가 각각 고려되므로, 대도시별로 고려되는 회귀 분석식의 종류는 인적 및 물적 피해특성 해석을 위해 각각 24 개로 분석되었다. 7개 대도시에서 분석된 인적 및 물적 피해특 성에 대한 각각 24개의 회귀식 결과들 중, 결정계수 R^2 이 우수 한 지수함수 회귀식과 성장함수 회귀식 각 1개씩을 먼저 선정 하였다. Tables 2 and 3에는 각각 인적 및 물적 피해에 대한 7개

대도시별 피해자료수, 이상치 제거 후 분석자료수, 선정된 지 수함수와 성장함수의 회귀식, 추정된 회귀계수 a와 b, 결정계 수 및 p-value 결과값을 정리하였다. 또한, Tables 2 and 3의 회귀분석식 중 각 대도시별 결정계수값이 상대적으로 더 높은 회귀분석 결과에 대한 강우특성과 인적 및 물적 피해특성과의 관계를 Figs. 4 and 5에 각각 도시하였다.

Table 2. Regression analysis results for human damage costs in the 7 metropolises

Cities	No. of damage data	No. of data used	Regression equations	a	b	R^2	p-value	Selection
Seoul	26	24	$\ln D = aR_{24} + b$	0.0215	0.2008	0.6182	0.0000	○
		24	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_2 + b$	0.0115	-2.0411	0.4344	0.0005	
Busan	24	22	$\ln D = aR_2 + b$	0.0503	0.7589	0.5470	0.0001	○
		22	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_2 + b$	0.0310	-1.8334	0.5356	0.0001	
Daegu	18	18	$\ln D = aR_{24} + b$	0.0195	-0.0227	0.2385	0.0397	○
		18	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_{24} + b$	0.0169	-2.0618	0.2375	0.0402	
Incheon	35	33	$\ln D = aR_6 + b$	0.0437	1.0594	0.4953	0.0000	
		33	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_6 + b$	0.0328	-2.0709	0.4998	0.0000	○
Gwangju	25	23	$\ln D = aR_6 + b$	0.0369	-0.6230	0.6924	0.0000	○
		23	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_{12} + b$	0.0230	-2.5162	0.6856	0.0000	
Daejeon	14	14	$\ln D = aR_{24} + b$	0.0052	0.8522	0.0536	0.4257	
		14	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_{24} + b$	0.0076	-0.8391	0.0669	0.3719	
Ulsan	18	16	$\ln D = aR_2 + b$	0.0498	-0.0780	0.6007	0.0004	
		16	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_2 + b$	0.0330	-2.0486	0.6257	0.0003	○

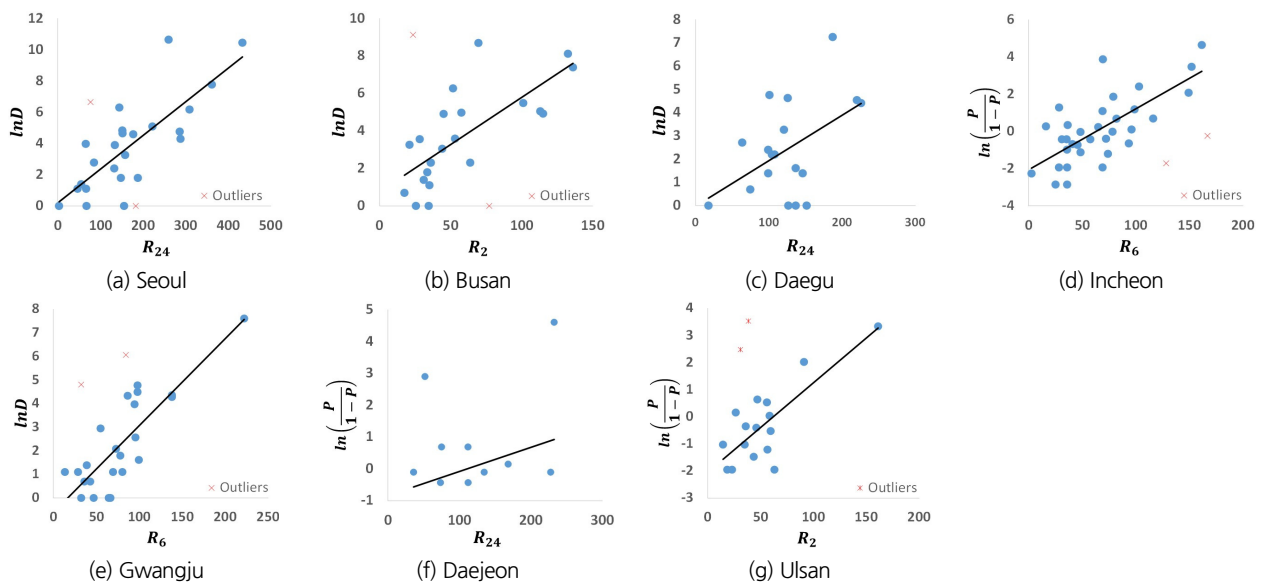


Fig. 4. The best fit regression plots for rainfall and human damage costs in the 7 metropolises

Table 3. Regression analysis results for economic damage costs in the 7 metropolises

Cities	No. of damage data	No. of data used	Regression equations	a	b	R ²	p-value	Selection
Seoul	43	40	$\ln D = aR_{12} + b$	0.0314	8.6246	0.5870	0.0000	○
		39	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_{12} + b$	0.0180	-1.8693	0.5704	0.0000	
Busan	44	41	$\ln D = a \ln R_6 + b$	2.1366	3.6519	0.2326	0.0014	○
		41	$\ln(\frac{P}{1-P}) = a \ln R_6 + b$	1.1473	-4.8486	0.2263	0.0017	
Daegu	24	22	$\ln D = aR_{12} + b$	0.0477	7.4883	0.3394	0.0044	○
		22	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_{12} + b$	0.0270	-2.2467	0.3206	0.0060	
Incheon	39	36	$\ln D = aR_1 + b$	0.1224	5.9278	0.6997	0.0000	
		36	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_1 + b$	0.0765	-2.9046	0.7011	0.0000	○
Gwangju	40	39	$\ln D = aR_{12} + b$	0.0263	8.8128	0.3285	0.0001	
		39	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_{12} + b$	0.0208	-1.7435	0.3361	0.0001	○
Daejeon	35	32	$\ln D = aR_{24} + b$	0.0257	8.2962	0.3983	0.0001	○
		33	$\ln(\frac{P}{1-P}) = a \ln R_{12} + b$	1.5800	-6.7142	0.3753	0.0002	
Ulsan	29	27	$\ln D = aR_6 + b$	0.0329	11.4359	0.3461	0.0012	
		27	$\ln(\frac{P}{1-P}) = aR_6 + b$	0.0186	-1.0502	0.3478	0.0012	○

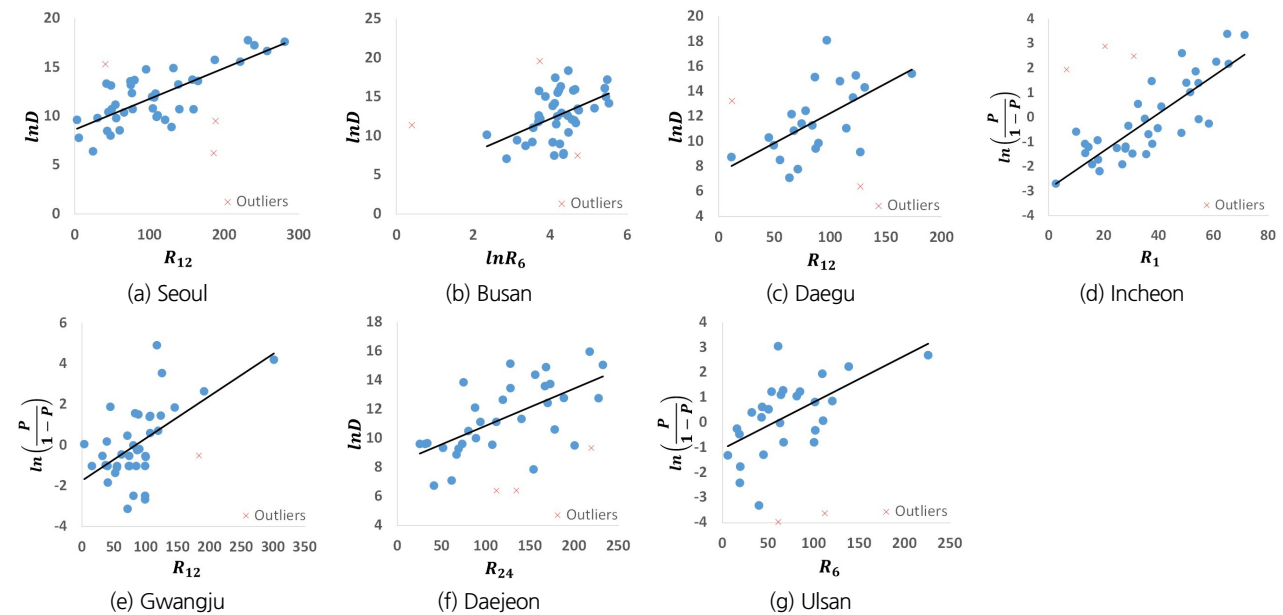


Fig. 5. The best fit regression plots for rainfall and economic damage costs in the 7 metropolises

3.2 회귀함수 선정

본 논문에서는 강우-피해특성에 대한 회귀분석결과 중 결정계수값이 최소 0.2 이상이고, 유의수준 p-value < 0.05 기준을 만족시키는 회귀분석식을 각 대도시의 최종 인적 및 물질

피해추정 회귀함수로 선정하였다. Table 2에서 선정된 수식을 보면, 인적 피해추정 회귀함수로 선정된 식들은 피해 실제 값 D에 대한 지수함수가 4개, 피해 누가발생확률값 P에 대한 성장함수가 2개로 선정되었다. 대전광역시의 경우, 결정계수

가 낮고 p-value가 유의수준 기준을 초과하여 본 논문에서는 인적 피해추정 회귀함수를 선정하지 않았다. Table 3에서 선정된 수식을 보면, 물적 피해추정 회귀함수에서는 홍수피해 실제값 D에 대한 지수함수가 4개, 홍수피해 누가발생확률값 P에 대한 성장함수가 3개로 선정되었다. 선정된 인적 피해추정 회귀함수에 사용된 강우특성의 경우, 2시간 최대강우 R_2 가 부산광역시와 울산광역시에서, 6시간 최대강우 R_6 가 인천광역시와 광주광역시에서, 24시간 최대강우 R_{24} 가 서울특별시와 대구광역시에서 각각 독립변수로 사용되었다. 선정된 물적 피해추정 회귀함수에 사용된 강우특성의 경우, 1시간 최대강우 R_1 가 인천광역시에서, 6시간 최대강우 R_6 가 부산광역시와 울산광역시에서, 12시간 최대강우 R_{12} 가 서울특별시, 대구광역시 및 광주광역시에, 24시간 최대강우 R_{24} 가 대전광역시에서 각각 독립변수로 사용되었다. 분석대상 7개 대도시 중에 인적 및 물적 피해추정 회귀함수에서 동일한 강우특성 인자가 사용된 곳은 없으며, 7개 대도시별 선정된 회귀함수의 강우특성이 인구 및 도시의 규모와 직접적인 연관성을 보이지는 않는 것으로 판단된다.

Table 4에 나타낸 바와 같이, 강우-피해특성 회귀분석에 사용된 최근 20개년(1998-2017년)간 주요 홍수발생원인인 호우와 태풍에 의한 홍수피해 회수 및 규모를 비교해 보면, 호우에 의한 홍수피해 회수와 규모가 모두 우세한 내륙에 위치한 서울특별시와 대전광역시에서는 지속기간이 상대적으로 긴 강우특성 인자와 피해특성의 상관성이 높고, 태풍으로 인한 홍수피해 회수와 규모가 모두 우세한 해안에 위치한 울산광역시에서는 지속기간이 상대적으로 짧은 강우특성 인자와 피해특성의 상관성이 높은 것으로 분석된다. 이와 같은 대도시들에서는 지리적 특성에 따른 강우특성과 홍수발생 원인별 피해 회수 및 규모가 높은 관련성을 보인다. 반면에, 해안에 위치한 지리적 특성으로 인해 상대적으로 짧은 지속기간 강우특성이 선정된 부산광역시와 인천광역시의 경우에서와, 내륙에 위

지한 지리적 특성으로 인해 상대적으로 긴 지속기간 강우특성이 선정된 대구광역시와 광주광역시의 경우에는 홍수발생원인별 피해의 회수와 규모는 각 지역에서의 강우특성 인자 선정에 큰 영향이 없는 것으로 보인다.

3.3 홍수피해 추정

회귀식의 결정계수 및 유의성 검정결과를 바탕으로 선정된 7개 대도시의 인적 및 물적 피해추정 최적 회귀함수를 이용한 100년 빈도 강우량에 대한 홍수피해 추정을 위해, 국가수자원관리종합정보시스템의 강우분석(http://wamis.go.kr/WSC/WSC_FREQUENCYSY.aspx)으로부터 7개 대도시 내 기상청 관할 중관기상관측소별 지속기간별 100년 빈도 강우량 자료를 수집하였다. 수집된 확률강우량은 지역빈도해석 방법에 의해 최적 확률분포형은 GEV 분포형으로 선정되었으며, 최근 2017년까지의 강우량 자료를 반영하여 총 48개년 자료를 사용한 대전관측소를 제외한 나머지 6개 강우관측소에서는 총 56개년 자료가 강우분석에 사용되었다. 인적 피해추정 최적 회귀함수가 선정되지 않은 대전광역시의 인적 피해 예측결과를 제외한 7개 대도시별 회귀함수의 각 강우특성에 대한 100년 빈도 강우량과 이를 통해 추정된 인적 및 물적 피해규모 평가결과는 Table 5에 나타내었다. 100년 빈도 강우 시, 가장 많은 인적 피해는 인천광역시에서 39,494명으로 예측되었고, 가장 큰 물적 피해는 서울특별시에서 327,045백만원으로 추정되었다. 이와 같이 강우-피해특성 회귀분석의 경향성에 의해 예측된 홍수피해 추정값은 수치 자체의 의미보다는 이를 통해 상대적인 홍수피해 위험도를 가늠해 볼 수 있다. 아울러, Table 5에 함께 표시된 바와 같이, 7개 대도시 대부분의 100년 빈도 강우량이 강우-피해특성 회귀분석 시 사용된 독립변수 강우량의 범위를 초과하기 때문에, 본 논문에서 평가된 우리나라 7개 대도시의 100년 빈도 인적 및 물적 홍수피해 추정값들은 불확실성이 높은 결과로서, 사용 시 주의가 필요하다.

Table 4. Comparison of independent variables and flood damage records from 1998 to 2017 in the 7 metropolises

Cities	Human damage costs					Economic damage costs				
	Independent variables	Typhoon-induced		Rainstorm-induced		Independent variables	Typhoon-induced		Rainstorm-induced	
		Number	Persons	Number	Persons		Number	10 ⁶ won	Number	10 ⁶ won
Seoul	R_{24}	6	51	20	80,684	R_{12}	7	6,538	36	166,282
Busan	R_2	9	9,734	15	11,780	R_6	18	394,569	26	164,457
Daegu	R_{24}	7	1,601	11	284	R_{12}	11	85,793	13	5,529
Incheon	R_6	5	1,466	30	27,247	R_1	8	4,728	31	23,394
Gwangju	R_6	10	2,688	15	427	R_{12}	13	34,682	27	4,899
Daejeon	-	1	1	13	201	R_{24}	9	2,092	26	23,973
Ulsan	R_2	10	6,337	8	1,551	R_6	17	217,972	12	36,300

Table 5. Assessment results of human and economic flood damage costs for 100-year rainfall in the 7 metropolises

Cities	Independent variables	Maximum rainfall for equations (mm)	100-year rainfall (mm)	Human damage costs (Persons)	Independent variables	Maximum rainfall for equations (mm)	100-year rainfall (mm)	Economic damage costs (10^6 won)
Seoul	R_{24}	433.2	465.8	27,920	R_{12}	281.0	349.8	327,045
Busan	R_2	136.0	180.6	18,852	R_6	249.4	309.8	8,099
Daegu	R_{24}	255.8	287.7	271	R_{12}	173.2	204.1	30,126
Incheon	R_6	166.8	244.6	39,494	R_1	71.3	89.9	13,070
Gwangju	R_6	222.0	207.0	1,110	R_{12}	301.0	287.4	9,757
Daejeon	-	-	-	-	R_{24}	232.5	319.7	14,772
Ulsan	R_2	161.1	143.5	1,259	R_6	225.7	256.5	248,948

4. 결론

지역별 홍수피해특성을 고려한 방재대책 수립을 위해서는 과거 피해이력자료를 토대로 한 향후 홍수피해의 규모 예측이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 홍수재해에 큰 영향력을 미치는 요소 중 하나인 강우특성과 재해발생으로 인한 직접적인 피해특성인 인적 및 물적 피해의 상관관계 분석을 통해, 인구와 시설이 밀집하여 홍수발생 시 많은 피해가 우려되는 우리나라 7개 대도시(서울특별시, 부산광역시, 대구광역시, 인천광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시)에서의 강우에 따른 인적 및 물적 홍수피해 추정을 위한 회귀함수를 산정하였다. 지역별 최근 홍수피해특성을 반영하고, 회귀분석에 필요한 자료수를 확보하기 위해 최근 20개년(1998-2017년) 동안의 인적 및 물적 홍수피해자료를 재해연보의 집계기준으로 수집하여 구축하고, 대도시별 각 홍수피해 발생사상에 대해 하루 전부터 피해발생기간 동안의 시우량 자료를 7개 대도시 내에 위치한 기상청 종관기상관측소로부터 수집하여 구축하였다. 본 논문에서는 강우-피해특성 회귀분석을 위한 독립변수별 표본자료의 수를 최소 10개 이상 확보하기 위해 대전광역시의 최근 20년간 인적 피해 자료수가 14개인 것을 고려하여, 피해특성과 높은 상관성을 보이는 지속기간 강우특성을 1개 독립변수로 선정하는 단순회귀분석을 실시하였다. 이를 위해, 다양한 각종 설계 및 예보의 기준으로 사용되는 6개 지속기간(1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간)별 강우특성을 강우-피해특성 단순회귀분석의 독립변수 후보로 선정하고, 인적 및 물적 홍수피해의 실제값과 누가발생확률값을 종속변수로 하는 2개 지수함수와 2개 성장함수의 4가지 비선형 회귀함수식을 적용하여, 각 도시별로 분석된 총 48개의 회귀함수식 중에 가장 높은 결정계수값을 보이며 유의수준 p-value 기준을 만족시키는 인적 및 물적 피해추정 최적 회귀함수를 선

정하였다. 분석대상 7개 대도시 중, 최근 20년간 인적 홍수피해 발생건수가 상대적으로 적은 대전광역시의 경우, 분석된 회귀함수식들의 결정계수가 높지 않고 모두 유의수준 기준을 만족시키지 못하여 인적 피해추정 회귀함수는 선정하지 않았다.

7개 대도시에서 최종 선정된 강우-피해특성 회귀함수에 사용된 강우특성 인자를 살펴보면, 분석에 사용된 최근 20개년의 홍수피해 발생원인과 지리적 영향으로 인해 부산광역시, 인천광역시, 울산광역시에서는 상대적으로 단기 지속기간(1시간, 2시간, 6시간) 강우특성 인자가 선정된 반면에, 서울특별시, 대구광역시, 대전광역시에서는 상대적으로 장기 지속기간(12시간, 24시간) 강우특성 인자가 선정되었다. 광주광역시의 경우에는 인적 피해는 상대적으로 단기 지속기간(6시간) 강우의 영향이 우세하고, 물적 피해는 상대적으로 장기 지속기간(12시간) 강우의 영향이 우세한 복합적인 특성을 보였다. 전반적으로 홍수피해의 발생원인보다는 대도시가 위치한 지리적 영향으로 인한 강우특성에 따라 강우-피해특성 회귀함수의 독립변수 강우인자가 결정되는 것으로 판단된다. 지역별 홍수피해의 발생원인과 지리적 기상특성이 강우-피해특성 회귀함수의 강우특성 인자 결정에 미치는 영향은 후속 연구에서 보다 많은 지역을 대상으로 한 종합적 분석이 필요하다. 선정된 인적 및 물적 피해추정 최적 회귀함수를 이용하여, 7개 대도시의 각 종관기상관측소별 100년 빈도 강우량에 대한 인적 및 물적 홍수피해 추정결과, 인천광역시에서 가장 많은 인적 피해가 예측되었고, 서울특별시에서 가장 큰 물적 피해가 발생할 수 있는 것으로 평가되었다. 지역별 홍수피해 추정을 위해 선정된 강우-피해특성 회귀함수 중, 지수함수의 경우에는 분석범위를 크게 초과하는 강우량에 대한 피해추정 결과의 불확실성이 커질 수 있으며, 종속변수의 한계값이 규정되어 있는 성장함수의 경우에는 분석범위를 크게 초과하는 강우량에 대한 추정 피해규모는 제한적일 수 있다. 따라서, 7개 대도

시의 100년 빈도 강우량은 강우-피해특성 회귀분석 시의 독립변수 강우량 범위를 대부분 초과하므로, 100년 빈도 강우량에 대한 우리나라 7개 대도시의 인적 및 물적 홍수피해 추정결과는 추후 적정성에 대한 검증이 필요하며, 회귀함수의 경향성에 의한 결과이므로 산정값 자체의 의미보다는 상대적인 홍수피해 위험도 평가의 기초자료로 활용하는 것이 바람직하다.

본 논문에서 시도한 홍수로 인한 인적 및 물적 피해추정 회귀함수의 개발방법은 다양한 강우특성 인자와 복수의 비선형 회귀식을 고려하여 우리나라 7개 대도시에서의 최적 강우-피해특성 회귀함수를 제시할 수 있었으며, 추후 축적된 피해자료 및 예보강우에 대한 평가를 통해 선정된 회귀함수에 대한 검토정이 가능할 것으로 사료된다. 아울러, 본 논문에서 제시한 강우-피해특성 단순회귀분석 결과는 추후 연구에서 분석자료수가 충분한 지역에 대한 다중회귀분석 또는 다변량회귀분석 결과와의 비교검토를 통해, 지역별 홍수피해특성과 가장 상관성이 높은 강우특성의 1개 독립변수를 사용하는 본 논문의 결과에 대한 타당성과 실용성을 검증할 필요가 있다. 한편, 통계적으로 유의미한 회귀분석 자료수 확보를 위해 7개 대도시별 자치 행정구역을 통합하여 분석한 본 논문의 결과는 도시 내에 서로 상이하하게 나타날 수 있는 행정구역별 피해특성을 고려하기에는 한계성이 있으므로, 추후 연구에서는 지역회귀분석 등의 기법을 적용한 시군구별 홍수피해 추정함수의 개발도 필요하다. 본 논문에서 제시한 인적 및 물적 피해추정 회귀함수 산정방법을 향후 전국 시군구로 확대 적용한다면 홍수로 인한 지자체별 인적 및 물적 피해위험도 예측과 홍수피해 저감대책 수립 우선순위 선정 등에 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 물관리연구사업의 지원을 받아 연구되었습니다(79608).

References

- Bentler, P.M., and Chou, C.P. (1987). "Practical issues in structural modeling." *Sociological Methods and Research*, Vol. 16, No. 1, pp. 78-117.
- Chae, Y.R., Jo, G.J., Lee, S.J., Jun, C.H., Jung, Y.M., Lee, J.H., Park, H.H., and Yoon, D.G. (2016). *An analysis of the multiple impacts and policy networks of an extreme flood event in a metropolitan area*. Korea Environment Institute, pp. 12-15.
- Chang, L.F., Lin, C.H., and Su, M.D. (2008). "Application of geographic weighted regression to establish flood-damage functions reflecting spatial variation." *Water SA*, Vol. 34, No. 2, pp. 209-216.
- Choi, C.H., Kim, J.S., Kim, J.H., Kim, H.Y., Lee, W.J., and Kim, H.S. (2016). "Development of heavy rain damage prediction function using statistical methodology." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 3, pp. 331-338.
- Choi, C.K., Kim, K.T., Kim, G.H., and Kim, H.S. (2017). "Development of damage function for flood damage assessment on single family housing." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 6, pp.421-431.
- Cortes, M., Turco, M., Llasat-Botija, M., and Llasat, M.C. (2017). "The relationship between precipitation and insurance data for floods in a Mediterranean region (northeast Spain)." *Natural hazards and earth system sciences*, Vol. 18, No. 3, pp. 857-868.
- Dogliani, A., Fiorillo, F., Guadagno, F.M., and Simeone, V. (2011). "Evolutionary polynomial regression to alert rainfall-triggered landslide reactivation." *Landslides*, Vol. 9, No. 1, pp. 53-62.
- Dorland, C., Tol, R.S.J., and Palutikof, J.P. (1999). "Vulnerability of the Netherlands and Northwest Europe to storm damage under climate change." *Climatic Change*, Vol. 43, No. 3, pp. 513-535.
- Dormann, C.F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carre, G., Garcia Marquez, J.R., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitao, P.J., Munkemuller, T., McClean, C., Osborne, P.E., Reineking, B., Schroder, B., Skidmore, A.K., Zurell, D., and Lautenbach, S. (2013). "Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance." *Ecography*, Vol. 36, No. 1, pp. 27-46.
- Green, S.B. (1991). "How many subjects it take to do a regression analysis?" *Multivariate Behavioral Research*, Vol. 26, No. 3, pp. 499-510.
- Haddad, K., and Rahman, A. (2012). "Regional flood frequency analysis in eastern Australia: Bayesian GLS regression-based methods within fixed region and ROI framework - quantile regression vs. parameter regression technique." *Journal of Hydrology*, Vol. 430-431, pp. 142-161.
- Halinski, R.S., and Feldt, L.S. (1970). "The selection of variables in multiple regression analysis." *Journal of Educational Measurement*, Vol. 7, No. 3, pp. 151-157.
- Harris, R.J. (1975). *Primer of multivariate statistics*. Academic Press, NY, U.S.
- Huang, X., Tan, H., Zhou, J., Yang, T., Benjamin, A., Wen, S.W., Li, S., Liu, A., Li, X., Fen, S., and Li, X. (2008). "Flood hazard in Hunan province of China: An economic loss analysis." *Natural Hazards*, Vol. 47, No. 1, pp. 65-73.
- Jang, O.J., and Kim, Y.O. (2009). "Flood risk estimation using regional regression analysis." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 9, No. 4, pp. 71-80.
- Jun, H.D., Park, M.J., and Kim, G.Y. (2008). "Damage analysis of meteorological disasters for each district considering the characteristics of a district." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 8, No. 2, pp. 75-82.
- Kim, J.S., Choi, C.H., Lee, J.S., and Kim, H.S. (2017). "Damage

- prediction using heavy rain risk assessment: (2) Development of heavy rain damage prediction function." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 2, pp. 361-370.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2020). *Korean Climate Change Assessment Report 2020*. p. 5.
- Lee, B.H. (2010). "Development of urban flood warning system using regression analysis." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 30, No. 4B, pp. 347-359.
- Lee, H.J., Ryu, S.H., Won, S.H., Jo, E.J., Kim, S.W., and Joe, G.H. (2016). "A study on model of heavy rain risk prediction using influencing factors of flood damage." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 3, pp. 39-45.
- 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.
- Miller, D.E., and Kunce, J.T. (1973). "Prediction and statistical overkill revisited." *Measurement and Evaluation in Guidance*, Vol. 6, No. 3, pp. 157-163.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2017). *Statistical year-book of natural disaster. 2017*, pp. 41-42.
- Mukaka, M.M. (2012). "Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research." *Malawi Medical Journal*, Vol. 24, No. 3, pp. 69-71.
- Nunnally, J.C. (1978). *Psychometric Theory: Second edition*. McGraw Hill, NY, U.S.
- Ratner, B. (2009). "The correlation coefficient: Its values range between +1/-1, or do they?" *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, Vol. 17, pp. 139-142.
- Spekkers, M.H., Kok, M., Clemens, F.H.L.R., and ten Veldhuis, J.A.E. (2014). "Decision-tree analysis of factors influencing rainfall-related building structure and content damage." *Natural hazards and earth system sciences*, Vol. 14, No. 9, pp. 2531-2547.
- Zhai, G., Fukuzono, T., and Ikeda, S. (2005). "Modeling flood damage: Case of Tokai flood 2000." *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 41, No. 1, pp. 77-92.
- Zou, L., and Wei, Y. (2009). "Impact assessment using DEA of coastal hazards on social-economy in Southeast Asia." *Natural Hazards, Springer*, Vol. 48, No. 2, pp. 167-189.