



## 지역 방재예산을 고려한 호우피해 예측

# Heavy Rain Damage Prediction Considering Regional Disaster Prevention Budget

이준형\* · 김종성\*\* · 김동현\*\*\* · 이태우\*\*\*\* · 김형수\*\*\*\*\*

Lee, Junhyeong\* · Kim, Jongsung\*\* · Kim, Donghyun\*\*\* · Lee, Taewoo\*\*\*\* · Kim, Hung Soo\*\*\*\*\*

### Abstract

Many researches are conducted to evaluate benefit from local disaster prevention projects. However, since such evaluation can only be assessed at the local district level, there is a limitation to applying this assessment to the local government's disaster prevention management in that it requires the local characteristics. To compensate for this, in this study, the effect of disaster damage reduction through local governments' local disaster prevention budget was estimated, and that used for disaster damage reduction in the area was calculated. Further, the effect was applied to the damage prediction model that is typical local government-level disaster prevention management, and heavy rain damage prediction was done considering the effect. As a result of applying it to the study area, the effect was prominent in Pyeongtaek-si and Pocheon-si in Gyeonggi-do. Also, considering the results of the effect, it was confirmed that error in the heavy rain damage prediction function was reduced. The results of this study can be used to establish disaster prevention budget management and disaster mitigation plans.

**Key words** : Disaster Prevention Budget, Disaster Damage Reduction Effect, Heavy Rain Damage Prediction

### 요 지

지방자치단체 내 지구단위로 시행되는 재해예방사업의 경우 사업 시행으로 인한 재해예방 효과를 산정하는 등의 사후평가가 활발하게 진행되었다. 하지만 이러한 사후평가는 지자체 내 지구단위로만 평가가 가능하고, 대상지의 지역적 특성이 반영된 평가라는 점에서 지자체 차원의 방재관리에 적용하는데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 지자체 단위로 관리되고, 지역 내 재해저감을 목적으로 사용되고 있는 방재예산 자료를 수집하여 방재예산 투입에 따른 재해저감효과를 평가하였다. 이러한 재해저감효과를 대표적인 지자체 단위의 방재관리 방안인 호우피해 예측모형에 적용하여 재해저감효과를 고려한 호우피해 예측을 수행하였다. 연구 대상지역에 적용해 본 결과 경기도 평택시와 경기도 포천시에서 재해저감효과가 두드러지게 나타났다. 또한 재해저감효과 분석 결과를 고려할 경우 호우피해 예측함수의 예측오차가 큰 폭으로 감소하는 것을 확인하였다. 본 연구결과는 효율적인 방재예산 관리 및 재해저감방안을 수립하는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 방재예산, 재해저감효과, 호우피해 예측

\*정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: lee\_junhyeong@naver.com)  
Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*정회원, 인하대학교 토목공학과 박사과정  
Member, Doctor's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*정회원, 인하대학교 토목공학과 박사과정  
Member, Doctor's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

\*\*\*\*정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정  
Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Inha University  
\*\*\*\*\*교신저자, 정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수(Tel: +82-32-874-0069, Fax: +82-32-876-9787, E-mail: sookim@inha.ac.kr)  
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

# 1. 서론

일본 교토에서 개최된 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 총회에서는 ‘IPCC 국가온실가스 배출 목록(인벤토리) 2006 지침 2019 개선보고서’를 채택하였다. 해당 보고서에는 기존 지침에서 다루지 못한 신규 온실가스 배출 및 흡수원에 대한 지침 등을 추가하여, 각 지구온난화 관리주체들로 하여금 보다 다양하고 적극적인 온실가스 감축을 유도하였다. 이는 기후변화로 인한 기후특성 및 기상조건의 변화를 관리하여 인간에게 주는 피해를 최소화하기 위한 노력의 일환으로 볼 수 있다. 이러한 노력에도 불구하고 최근 국내·외로 크고 작은 자연재난이 발생하고 있으며, 기후변화의 영향을 고려해보면 그 강도와 빈도는 더욱 커질 것으로 전망된다. 실제로 행정안전부(Ministry of the Interior and Safety, MOIS)의 보고에 따르면, 2019년 7월 24일부터 경기도지역에 내린 호우로 인해 주택침수, 석축 붕괴, 농작물 파손 등의 사유시설 피해와 도로 사면유실, 가로수 및 신호등 파손 등의 공공시설 피해가 발생하였다(MOIS, 2019b). 또한 2019년 8월 28일 일본 규슈지역에 평년대비 2배가 넘는 양의 집중호우가 발생하여 대규모 주민 대피, 유류 탱크 침수로 인한 기름 유출, 철도설비 손상으로 인한 철도운행 중단 등의 대규모 사회·경제적 피해가 발생하였다.

행정안전부가 발표한 ‘2018 재해연보’에 따르면 국내 주요 자연재난은 호우, 대설, 풍랑·강풍, 지진, 폭염으로 정의하였으며, 그 중에서 호우재난은 매년 꾸준히 피해가 발생하고 있다(MOIS, 2019c). 특히 국내의 경우 호우피해가 발생하면 피해지역을 원상복구하고 향후 발생할 호우재난에 대비하기 위해 방재시설물을 보강하는 등의 복구사업을 시행하는데, 평균적으로 호우피해액의 두 배가 넘는 예산이 복구사업으로 투입되고 있다(Table 1). 호우로 인한 피해는 일차적으로 교량, 건물, 도로, 터널, 차량 등의 공공 및 사유 시설물의 침수 및 파손을 유발하고 가축, 야생동물, 사람 등과 같은 생명체를 안전지역으로부터 고립시켜 피해를 유발한다. 이차적으로는 오염된 물에 노출시켜 건물 부식, 차량 부식, 수인성 질병 유발 등의 문제를 야기한다. 이처럼 즉각적인 피해와 추가적인 피해를 유발하는 호우 재난을 장기간 경험하면서 이를 극복하고 피해발생을 최소화하기 위한 방재대

책이 국내·외로 활발히 제시되고 있다.

국가차원의 방재대책으로는 사전에 재난발생 지역을 예측하고, 재난의 강도 및 규모를 평가하여 적합한 대응방안을 도출하는 재난 위험평가 및 종합 재난관리 시스템이 있다. 대표적으로 미국의 Hazards US Multi-Hazard (Hazus-MH), 영국의 Multi-Coloured Manual (MCM), 독일의 Flood Loss Estimation Model (FLEMO) 등이 있으며 각 국가에서는 해당 시스템을 통해 자연재난으로 인한 피해를 관리하고 재난관리 계획 및 지침 수립에 직접적인 기준을 제공하고 있다. 국내의 경우 재난관리 공무원의 재난관리 단계별 의사결정을 지원하고 국가차원의 재난관리를 실현하기 위한 종합 재난관리 시스템 개발을 위해, 다부처 공동사업(행정안전부, 기상청, 국토지리정보원)을 진행하였다. 해당 사업을 통해 물리적/사회·경제적 재해정보 기본통계 구축, 재해통계 기반 재난피해 예측기술 개발, 한국형 재해손실·손상 추정함수 개발 등의 핵심 기술들이 탑재된 “풍수해 피해예측 시스템” 개발이 진행 중이다(FEMA, 2011; H.S. Kim et al., 2017).

지자체 차원의 방재대책으로는 자연재해위험개선지구, 재해위험 저수지, 급경사지 붕괴위험지역, 소하천, 우수저류시설과 같은 재해예방사업이 진행되고 있다. 해당 사업은 주로 지자체 내의 지구단위로 사업이 진행되며 국가로부터 사업비를 지원받거나 지자체의 방재예산을 투입하여 사업이 진행된다. 여기서 방재예산은 “각종 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위한 재난 및 안전관리 업무”를 위한 예산으로 정의할 수 있다(MOIS, 2019a). 다시 말하면, 각 지자체에서 재난을 예방하고 재난으로부터 입은 피해를 저감 및 복구할 수 있는 능력을 강화하기 위해 수행하는 모든 업무에 해당하는 예산을 의미한다.

이러한 업무의 대표적인 사업인 재해예방사업은 재난 발생 사전에 재난 발생 가능성과 재난으로 예상되는 피해의 규모 등을 복합적으로 고려하여 사업지구를 선정하고, 그 지역의 특성을 반영하여 사업을 수행함으로써 재해를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 재해를 최소화한다는 면에서 국가차원의 재난관리 시스템과 같은 목적으로 시행되지만, 보다 구조적이고 직접적인 피해저감 방안이라는 면에서 차이가 있다. 또한 재해예방사업에 대한 투자가 확대 되면서 사업시행으로 인한 재해예방 효과를 평가하고 정량화하는 것이 필요해졌고, 투입된 예산대비 저감된 피해정도를 기준

**Table 1.** Heavy Rain Damage and Recovery Cost in Last 10 Years (MOIS, 2019c)

| Division                          | 2009    | 2010    | 2011      | 2012   | 2013    | 2014    | 2015  | 2016   | 2017    | 2018    | Total     |
|-----------------------------------|---------|---------|-----------|--------|---------|---------|-------|--------|---------|---------|-----------|
| Heavy Rain Damage (1,000,000 won) | 276,735 | 189,041 | 517,080   | 27,404 | 156,409 | 141,414 | 1,256 | 37,867 | 103,613 | 53,800  | 1,514,619 |
| Recovery cost (1,000,000 won)     | 816,399 | 525,753 | 1,139,631 | 96,316 | 373,566 | 462,958 | 1,679 | 38,840 | 325,196 | 122,179 | 3,902,516 |
| Recovery cost / Heavy Rain Damage | 2.95    | 2.78    | 2.20      | 3.51   | 2.39    | 3.27    | 1.34  | 1.03   | 3.14    | 2.27    | 2.58      |

으로 해당 사업의 성공여부 판단 및 향후 시행될 사업의 우선순위 선정 등에 활용하고자 하는 연구가 제안되었다. Ahn et al. (2011)은 국내 60개 소하천을 대상으로 과거피해이력, 강우량 등의 정보와 이수 및 환경 관련 항목을 수립·조사하여 소하천 정비사업이 시행된 하천지구와 그렇지 않은 하천지구에 적용함으로써 예방투자효과를 분석하였다. 분석 결과 정비가 완료된 하천지구와 그렇지 않은 하천지구에 비해 절반수준의 피해가 발생하는 것을 정량적으로 확인하였고, 정비사업이 완료된 기간을 함께 고려한 결과 정비사업은 단기간에 사업효과가 나타난다는 결론을 도출하였다. Heo et al. (2014)은 자연재해위험지구 정비사업이 완료된 20개 지구를 대상으로 경제적 항목, 피해저감 항목, 정책적 항목을 설정하고, 구조방정식모델(Structural Equation Modeling)을 적용하여 자연재해예방사업에 대한 정성적 평가를 수행하였다. 특히 정비사업의 효과를 평가하기 위해 사업 완료 지구를 대상으로 설문조사를 수행하여 사업지구의 지역특성을 다양하게 반영한 평가를 수행하였다. 이를 토대로 사업시행으로 인한 예방효과를 나타내는 사후 평가지수를 개발하여 향후 사업계획 수립 시 검토 자료로 제안하였으며, 이를 통해 지속적인 방재예산 확보를 주장하였다. Lee et al. (2019)은 경기도 지역을 대상으로 최근 10년간 진행된 호우피해 복구사업을, 지구단위가 아닌 시군구단위로 취합하여 복구사업으로 인해 저감되는 호우피해를 분석하였다. 이를 통해 복구비 투입으로 인한 피해저감 효과를 정량화하여, 개략적인 시군구단위의 복구사업 평가 방안을 제안하였다.

호우피해를 최소화하기 위한 선행연구를 살펴본 결과 지자체별 과거 호우피해 이력을 분석하여 사전에 호우피해 발생 및 규모를 예측하는 지자체단위의 재난관리 연구가 진행되었다(Choi et al., 2017; J.S. Kim et al., 2017). 또한 지자체의 방재예산으로 지역 내 자연재난에 취약한 지구에 재해예방사업 및 복구사업이 실시됐을 경우, 그에 대한 사후 평가를 실시하여 피해저감 효과를 분석하는 지구단위의 연구가 진행되었다. 하지만 방재예산에 의한 재해예방사업 효과 분석의 경우 지자체 내 일부 지구단위로 시행된 사업에 대한 분석을 위해 사업대상지의 국소적인 지역특성을 반영하여 평가가 이루어지기 때문에, 지자체 단위의 종합적인 재난관리에 적용하는데 한계점이 있다. 만일 지자체 단위의

재난관리를 수행함에 있어 해당 지자체의 방재예산으로 인한 재해저감효과를 고려할 수 있다면 보다 효율적인 재난관리를 실현할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 지자체 단위의 호우 재난관리를 위한 호우 피해예측을 수행하고, 기존 연구에서 고려하지 못한 지자체 단위의 재해저감효과를 추가로 고려하기 위해 지자체의 방재예산을 이용한 저감 효과 분석을 수행하였다.

본 연구의 절차를 간략히 설명하면 다음과 같다. 우선 호우피해 예측을 수행하기 위해 호우피해에 영향을 주는 강우인자를 선정하여, 강우인자와 호우피해의 상관관계를 대표하는 다중회귀식을 개발하였다. 또한 실제피해액과 예측피해액의 상대적인 비율과 방재예산의 관계를 분석하여 방재예산 투입에 따른 실제피해액과 예측피해액의 비율을 산정하였다. 최종적으로 호우피해 예측함수에 적용하여 적용 전과 후의 예측력 비교를 통해 방재예산에 따른 재해저감효과를 분석하였다. 본 연구의 연구 흐름도는 Fig. 1과 같다.

## 2. 연구 자료 및 방법론

### 2.1 연구 자료

#### 2.1.1 호우 피해액 자료

재해연보는 재해로부터 국민의 생명과 안전을 지키기 위한 목적으로 재해의 전반적인 현황을 기록한 것으로, 매년 행정안전부에서 발간하는 재해통계 자료이다. 재해연보에서는 한 해 동안에 발생한 재해의 기간별·지역별·원인별 피해 및 복구비 현황과 최근 10년간 재해통계, 해외 자연재해 발생현황 등이 수록되어 재난 피해 경감을 위한 정책 수립 및 관련 기관과 학계의 연구 등에 유용하게 활용하는 것이 목적이다. 재해연보의 피해는 자연재난으로 발생한 이재민, 사망자, 실종자, 부상자 등의 인명피해와, 도로, 하천, 수도 등과 같은 공공시설 피해 그리고 가축, 농작물, 비닐하우스 등과 같은 사유시설 피해로 구성된다. 본 연구에서는 호우피해가 방재예산에 따라 어떻게 변화 하는지 살펴보기 위해, 호우피해 항목 중 금액으로 환산할 수 없는 인명피해를 제외한 시설물 피해액의 총합을 피해액 자료로 수집하였다.

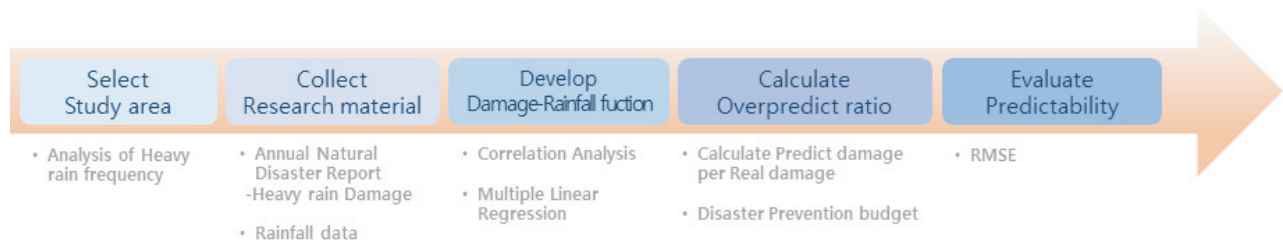


Fig. 1. Flow Chart

### 2.1.2 강우 자료

재해연보에 제시된 호우피해 사상에 대해 피해발생 당시의 강우 조건을 고려하기 위해 강우량 자료를 수집하였다. 기상청에서는 크게 두 가지 종류의 기상 관측 자료를 제공하고 있는데, 종관기상관측(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 자료와 자동기상관측(Automatic Weather System, AWS) 자료이다. ASOS와 AWS는 관측요소, 관측주기, 관측방식 등에서 차이가 있고, 특히 관측망의 조밀한 정도에서 큰 차이가 있다. AWS는 주로 강수량을 실시간으로 관측하기 위한 목적으로 전국 약 480여 지점에 설치되어 운영하고 있다. 또한 전국 약 90여 지점에 설치된 ASOS에 비해 조밀하게 관측되기 때문에, 상대적으로 시군구단위의 면적 강우 조건을 고려하기에 적합하다. 따라서 본 연구에서는 AWS의 시간단위 강우 자료를 사용하였다. 또한 지자체 단위의 호우피해 예측을 위해 티센 다각형법(Thiessen Polygon method)을 적용하여 지점 강우자료를 면적 강우자료로 환산하여 분석에 사용하였다.

### 2.1.3 지역 방재예산 자료

지역 방재예산은 회계연도별로 구성되는 지자체의 예산 중 지자체 내 발생할 수 있는 각종 재난 및 재해로부터 지역 내 재산 등의 피해를 최소화하기 위해 사용되는 예산이다. 재난 발생 시 대피시설 확보, 비상 급수 및 전력 공급 시설 확보, 방재장비 보강 등 직접적으로 재난 피해를 저감하기 위한 정비사업이 포함되며 비상시 대책 수립 등의 비구조적 재난관리 업무도 포함된다. 지역 방재예산은 해당 지역에서 구성된 세금에 대한 입출을 기준으로 제작된 통계항목이며, 행정안전부에서는 각 지자체별로 한 해 동안 방재 목적으로 사용된 세출항목을 계상하여 지방재정통합공개시스템을 통해 결산내역을 제공하고 있다. 본 연구에서는 해당 자료 중 부문별 세출 자료의 재난방재민방위 항목을 수집하여 각 지자체별·연도별 방재예산 자료를 구축하였다.

## 2.2 연구 방법론

### 2.2.1 상관분석

상관분석은 종속변수, 독립변수의 구분 없이 두 변수 사이의 관계를 측정하고 묘사하기 위해 이용되는 통계학의 한 기법으로 두 변수 간에 어떤 선형적 관계를 갖고 있는지를 분석하는 방법이다(Joo et al., 2016). 본 연구에서는 이변량 사이의 관련성 정도를 판단할 수 있는 Pearson 상관계수( $r$ )을 사용하였고, 산정식은 다음과 같다.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$\bar{x}$ : 변량  $x_i$ 의 평균,  $\bar{y}$ : 변량  $y_i$ 의 평균

### 2.2.2 다중회귀분석

회귀분석은 독립변수와 종속변수와의 관계를 통하여 종속변수의 평균적인 값을 추정하는데 목적을 둔다. 회귀분석의 종류에는 단순회귀분석(simple regression analysis)과 다중회귀분석(multiple regression analysis) 등이 있다. 한 개의 독립변수에 의해 종속변수가 영향을 받는 이변수 회귀분석의 경우 단순선형회귀모형을 작성할 수 있다. 하지만 단순선형회귀모형으로 설명하기에 충분하지 않은 경우가 많고, 추정의 성능을 향상시키기 위해 독립변수를 추가하여 두개 이상의 독립변수에 의해 종속변수를 산정하는 다중선형회귀모형을 작성할 수 있다(Choi et al., 2017).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \epsilon_i \quad (2)$$

$\beta_p$ : 회귀계수,  $\epsilon_i$ : 오차

본 연구에서는 호우피해가 발생했을 때의 강우조건을 다양하게 고려하기 위해 다양한 강우변수를 구축하였고, 분석을 위해 다중선형회귀모형을 구축하였다.

### 2.2.3 모형의 예측오차 평가

다중회귀분석에서 입력자료에 적합한 예측모형의 검정을 위한 예측오차 통계량은 대표적으로 Root Mean Squared Error (RMSE)와 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)가 있다. RMSE는 회귀모형의 예측값과 실제값의 차이를 하나의 크기로 표현할 수 있으며, MAPE는 오차의 변동폭을 실제 값으로 나누어 규모가 다른 두 개 이상의 모형을 같은 기준으로 비교할 수 있게 해준다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (3)$$

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (4)$$

$y_i$ : 실제 값,  $\hat{y}_i$ : 예측 값

### 2.2.4 재해저감효과의 개념과 분석방법

지역 방재예산은 지역 내 발생할 수 있는 재난 피해를 줄이는 목적으로 사용되기 때문에, 지자체 단위의 재난관리에 방재예산이 사용된 정보를 고려한다면 방재예산으로 인한 재해저감효과를 고려한 재난관리가 가능하다.

우선 지자체 단위의 호우재난 관리를 위해 지역 내 발생했던 호우사상들의 특성을 반영한 호우피해 예측함수가 요구된다. 재해연보상의 호우피해로 기록된 재해기간에 해당하는 강우변수를 구축하고 강우변수와 피해액의 상관관계를 정의할 수 있는 회귀모형을 통해 호우피해 예측함수를 개발

하였다. 해당 예측함수는 호우피해액을 예측할 때 강우변수들만을 이용하여 예측하기 때문에 방재예산에 따른 재해저감효과를 고려할 수는 없다.

만일 어떤 지역의 방재예산이 투입되어 지역 내 재난 피해를 줄이는 목적의 사업이 시행되었다면 해당 지역의 방재 능력은 향상되었다고 판단할 수 있다. 즉, 사업시행 전과 후에 같은 특성의 호우재난이 발생하더라도 사업시행 후에는 피해가 더 줄어들 것으로 기대할 수 있다. 이러한 개념을 방재예산에 따른 재해저감효과로 지칭할 수 있고, 강우변수만을 고려하는 호우피해 예측함수에 재해저감효과를 적용할 수 있다면 지자체 단위의 재해저감효과를 고려한 재난관리가 실현될 수 있다. 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 방재예산으로 유발되는 재해저감효과와 유효기간을 1년으로 가정하였다. 즉, 특정 연도의 재해저감효과는 그 전년도에 투입된 방재예산에만 영향을 받는다는 가정을 기반으로 분석이 진행 되었다.

호우피해 예측함수에 재해저감효과를 반영하기 위해 다음과 같은 과정을 수행하였다. 우선 호우피해 예측함수를 통해 예측된 피해액을 실제 피해액으로 나누어 과대 예측비(Overpredict ratio)를 산정하였다. 과대 예측비는 예측함수를 통해 산정된 기대되는 피해액이 실제 피해액보다 더 크게 산정된 비율을 의미하며, 이러한 비율이 발생하는 원인은 재해저감효과로 해석할 수 있다. 강우변수만 고려하여 예측 피해액을 산정할 경우, 재해저감효과로 줄어드는 피해액을 고려하지 못하게 되고, 실제 피해액에 비해 과대 산정하게 된다. 따라서 과대예측된 비율만큼 방재예산에 따른 재해저감효과를 산정할 수 있으며, 이것을 투입된 방재예산에 대한 값으로 산정한다면 이후에는 투입된 방재예산을 이용하여 과대예측된 비율을 알 수 있게 된다. 최종적으로 과대예측된 비율을 이용하여 예측 피해액을 저감시켜 실제 피해액과의 오차를 줄여, 재해저감효과를 고려한 호우피해 예측이 가능해 진다.

### 3. 적용 및 결과

#### 3.1 대상지역 선정

본 연구에서는 안정적인 방재예산 지출과 호우피해 발생 빈도를 기준으로 연구 대상지역을 선정하였다. 선행연구에서 국내 최빈 호우피해 발생지역으로 알려진 경기도 지역의 방재 예산 통계를 살펴본 결과 2008년부터 2018년까지 경기도의 각 시군구 평균적으로 매년 50억 원 이상의 방재예산이 꾸준히 투입되었다. 이를 토대로 경기도 지역의 방재예산이 일정수준 이상 안정적으로 사용되고 있다는 판단을 하였고, 경기도 시군구별 호우피해 발생 빈도를 조사하여 최종 연구 대상지역을 선정하였다. 이때, 본 연구에서 호우피해 예측함수를 개발하는데 사용한 자료 중 학습구간에 해당하는 2009년~2015년의 피해사상 중 최빈 4개 지역으로 선정하였다(Table 2).

**Table 2.** Number of Heavy Rain Disasters in 2009~2015 in Gyeonggi-do Province

| Region         | Heavy rain disaster frequency |
|----------------|-------------------------------|
| Pyeongtaek-si  | 19                            |
| Gwangju-si     | 18                            |
| Suwon-si       | 18                            |
| Pocheon-si     | 18                            |
| Yongin-si      | 17                            |
| Hwaseong-si    | 17                            |
| Gwangmyeong-si | 16                            |
| ...            | ...                           |

#### 3.2 자료 구축 및 호우피해 예측함수 개발

##### 3.2.1 자료 구축

행정안전부의 지방재정통합공개시스템에서 제공하는 지역별 방재예산 자료의 전자문서 형태로 제공하는 회계연도는 2008년부터 시작된다. 따라서 본 연구에서는 현재 시스템에서 제공하는 모든 범위의 자료를 대상으로 하여, 2008~2018년 경기도지역의 시군구별 세출내역을 수집하였다. 그 중 연구 대상지역인 평택, 광주, 수원, 포천의 자료를 추출하여 지역별 방재예산 자료를 구축하였다.

재해연보 자료의 경우 방재예산 자료의 시간범위와 동일하게 2008~2018년 재해연보를 수집하였다. 대상지역별로 기간 내 발생한 호우사상의 재해가 발생한 기간, 총 피해액 정보를 추출하여 구축하였다. 재해연보의 피해액은 피해사상이 발생한 연도를 기준으로 매년 제시되기 때문에, 재해연보에서 제공하는 생산자 물가지수를 이용하여 모두 2018년 도 기준 금액으로 변환하여 구축하였다.

티센 다각형법에 의해 면적 강우자료로 환산된 강우자료를 이용하여 호우피해 예측함수의 독립변수인 강우변수를 구축하였다. 강우변수는 호우피해에 영향을 주는 강우의 특성을 크게 세 가지 종류로 구분하여, 강우의 총량을 나타내는 변수, 사전 토양습윤 조건을 나타내는 변수, 강우의 강도를 대표하는 변수로 구축하였다. 강우의 총량을 나타내는 변수로서 재해기간 동안의 총 강우량을 산정하여 강우변수를 구축하였고, 재해 발생 전 토양의 습윤상태를 고려하기 위해 재해시작일 기준 1~7일치 선행강우량을 산정하여 7개의 강우변수를 구축하였다. 강우의 강도특성을 고려하기 위해 1~24시간 지속시간 최대강우량을 산정하여 24개의 강우변수를 구축하였다. 이때, 재해연보에 제시된 재해일수가 1일 단위로 제공되기 때문에 지속시간 최대강우량은 최대 24시간까지만 고려하였다.

##### 3.2.2 호우피해 예측함수 개발

2008~2018년에 대하여 구축된 방재예산 자료, 재해 자료,

기상 자료를 이용하여 호우피해액을 예측하는 다중회귀모형을 개발하였다. 이때 강우변수가 0이면 중속변수인 호우피해액도 발생하지 않는다는 가정을 적용하여 절편을 0으로 고정하여 개발하였다. 예측모형을 개발하고 개발된 모형의 평가를 위해서, 구축된 자료 중 2008~2015년 자료는 모형개발에 사용하고 2016~2018년 자료는 개발된 모형을 평가하는 자료로 사용하였다. 모형 개발은 총 32개 강우변수 중 대표 강우변수를 선별하여 모형 개발에 이용하였다. 앞서 제시한 호우피해에 영향을 주는 강우의 특성 세 가지가 모두 고려될 수 있고, 동시에 중속변수인 호우피해액과 독립변수들 간의 상관분석 결과 상관성이 높은 강우변수를 대표 강우변수로 선택하였다. 즉, 대표 강우변수는 재해기간 총강우량과 1~7일 선행강우량 중 상관성이 가장 높은 선행강우량, 1~24시간 지속시간 최대강우량 중 상관성이 가장 높은 지속시간 최대강우량을 선택하여 모형을 개발하였다. 각 대상지역 별로 예측모형 개발에 선정된 독립변수는 Table 3에 제시하였다.

**Table 3.** Independent Variables of Heavy Rain Damage Prediction Model for Each Region

| Region        | Independent variables             |
|---------------|-----------------------------------|
| Pyeongtaek-si | Total rainfall in disaster period |
|               | 4-day antecedentrainfall          |
|               | 24hr duration maximum rainfall    |
| Gwangju-si    | Total rainfall in disaster period |
|               | 1-day antecedentrainfall          |
|               | 24hr duration maximum rainfall    |
| Suwon-si      | Total rainfall in disaster period |
|               | 2-day antecedentrainfall          |
|               | 10hr duration maximum rainfall    |
| Pocheon-si    | Total rainfall in disaster period |
|               | 1-day antecedentrainfall          |
|               | 5hr duration maximum rainfall     |

### 3.3 방재예산에 따른 재해저감효과 분석

#### 3.3.1 과대예측비 산정

본 연구에서는 방재예산에 따른 재해저감효과를 정량화하고자 몇가지 개념을 제시하였다. 과대예측비(Overpredict ratio)는 실제 피해액 대비 호우피해 예측합수를 통해 예측된 값의 비율을 의미하며, 전년도에 사용된 방재예산에 의해 발생한 재해저감효과에 의한 것으로 볼 수 있다.

앞서 개발한 예측합수를 이용하여 각 대상지역별로 모형 개발 자료에 대한 예측 피해액을 산정하였고, 실제 피해액으로 나누어 과대예측비를 산정하였다.

#### 3.3.2 대표 과대예측비 산정

앞서 산정된 과대예측비는 각 사상마다 전년도에 투입된 방재예산의 규모가 상이할 수 있다. 따라서 해당 대상지역을 대표하는 과대예측비를 결정하기 위해서는 전년도에 투입된 방재예산의 규모와 과대예측비의 관계를 정량화 할 필요가 있다. 본 연구에서는 과대예측비를 전년도에 투입된 방재예산으로 나눠줌으로써 투입된 방재예산 대비 과대예측비를 산정하였다. 또한 대상지역 별로 투입된 방재예산 대비 과대예측비의 평균을 산정하여 해당지역의 대표 과대예측비(Reference overpredict ratio)로 정의하였고, 총 4개의 대상지역에 대한 4개의 대표 과대예측비를 구축하였다(Table 4).

**Table 4.** Reference Overpredict Ratio for Each Region

| Region        | Reference overpredict ratio<br>(per 1,000won) |
|---------------|---|
| Pyeongtaek-si | $0.098591 \times 10^{-5}$                     |
| Gwangju-si    | $1.563269 \times 10^{-5}$                     |
| Suwon-si      | $0.293507 \times 10^{-5}$                     |
| Pocheon-si    | $2.734966 \times 10^{-5}$                     |

### 3.4 재해저감효과 분석 및 적용성 평가

3.3절에서는 예측 피해액과 실제 피해액의 비율과 그 사상에 대한 전년도 방재예산을 고려하여 지역별 대표 과대예측비를 산정하는 과정을 설명하였다. 일련의 과정에 사용되지 않은 새로운 평가용 자료(2016~2018년도 자료)를 이용하여 재해저감효과 분석 및 평가를 수행하였으며, 각 대상지역의 대표 과대예측비를 이용하여 전년도에 투입된 방재예산으로부터 해당 사상의 과대예측비를 산정하였다. 과대예측비를 이용해 강우변수만 고려한 예측 피해액을 보정하여, 최종적으로 재해저감효과가 고려된 예측 피해액을 산정하였다. 대상지역에 대해 일반 예측피해액의 예측 오차와 재해저감효과 분석을 수행한 결과의 예측오차를 비교하여 재해저감효과 분석시 예측오차가 줄어드는 것을 평가하였다. 예측오차의 평가 지표로는 각 잔차들을 하나의 척도로 종합할 수 있는 RMSE를 사용하였고, 예측오차의 변화를 통해 재해저감효과 분석의 적용성을 평가하였다(Table 5).

**Table 5.** Evaluate and Compare Predictability using RMSE

| Region        | Normal prediction | Prediction using damage reduction effect analysis |
|---------------|-------------------|---|
| Pyeongtaek-si | 683,607           | 48,767  |
| Gwangju-si    | 65,107            | 93,135  |
| Suwon-si      | 21,621            | 23,375  |
| Pocheon-si    | 2,605,226         | 328,206   |

#### 4. 요약 및 결론

지역 내 방재예산이 투입되면 그 다음해에는 전년도에 투입된 방재예산으로 인한 재해저감효과가 발생한다. 본 연구에서는 이러한 재해저감효과를 정량적으로 분석하고, 재해저감효과 적용 전과 후의 예측오차 비교를 통해 재해저감효과 분석의 적용성을 평가하였다.

재해저감효과를 적용한 예측에서 예측성능이 두드러지게 좋아진 지역은 평택시과 포천시이다. 해당 지역들은 개발과정에 사용된 자료(2008~2015년)의 방재예산과 평가과정에서 사용된 자료(2016~2018년)의 방재예산이 큰 폭으로 변하지 않았다(Fig. 2(a)). 이는 개발과정에서 산정된 대표 과대예측비가 평가과정에서 사용된 자료들을 잘 대표할 수 있었고, 최종적으로 재해저감효과 분석의 효과가 두드러지게 나타났다. 반면에 재해저감효과를 적용한 이후 RMSE가 가장 큰 폭으로 증가한 광주시의 경우 개발과정에서 사용된 자료의 방재예산에 비해 평가과정에서 사용된 자료의 방재예산이 평균적으로 약 3배 작은 것을 확인하였다(Fig. 2(b)). 개발과정의 자료를 토대로 산정되는 대표 과대예측비는 상대적으로 큰 규모의 방재예산이 투입된 상황에서 산정되었기 때문에, 이를 평가과정의 작은 규모 방재예산에 적용한다면 오히려 예측 피해액을 큰 폭으로 과소 추정하게 된다. 이러한 이유로 개발과정에서 산정된 대표 과대예측비가 평가과정에서 사용된 자료를 대표하기에는 적합하지 않았고, 재해저감효과가 반영되기 보다는 예측 피해액을 큰 폭으로 하락시켜 오히려 예측오차를 증가시킨 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발 및 활용한 호우피해 예측함수는 재해저감효과 분석에 필요한 예측 피해액을 산정하기 위해, 32개의 강우변수들을 이용하여 예측함수를 개발하였다. 일반적으로 강우변수들 간에는 종속변수에 대한 유사한 정보를 가지고 있으므로 보다 유의한 예측을 위해서는 다중 공선성 검사를 수행하여 변수를 선정하는 것이 필요하다. 하지만

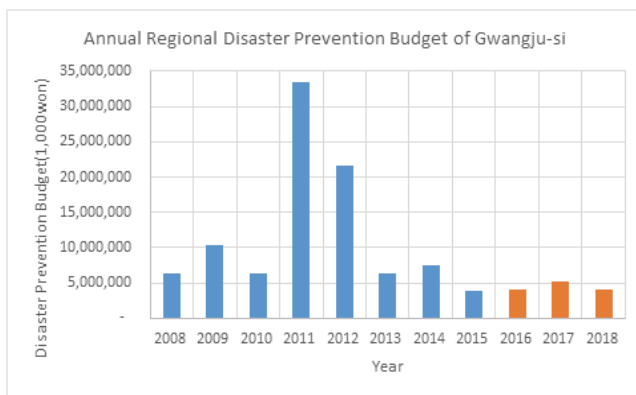
본 연구에서는 32개의 강우변수 중 강우변수의 특성을 구분하여 변수를 선별하였고, 예측함수의 예측력에 초점을 맞춰 개발하였기에 다중 공선성을 고려하지 않았다. 향후 연구에서 추가로 고려하여 보다 유의한 예측함수를 개발한다면 연구결과의 보완이 가능하다. 또한 종속변수와의 선형 상관성을 기준으로 대표 독립변수를 선정하였는데, 강우변수 구축이 어렵거나, 강우변수 중 선형 상관성이 높은 변수가 선별되지 않는 등의 문제를 해결하기 위해 모든 지역에 공통적으로 적용할 수 있는 독립변수 선택 방법을 추가로 고려한다면 보다 일반성을 확보할 수 있다.

본 연구에서 호우피해는 공공시설 및 사유시설의 피해액만 고려하였다. 방재예산이 투입되어 지역 내에서 진행되는 재해예방사업의 경우 인명피해를 줄이는 편익이 상당히 클 것으로 판단되지만, 정량적인 금액으로 환산하지 못하는 한계로 인명피해를 고려하지 못하였다. 이러한 인명피해 항목을 정량화하여 추가로 고려한다면 보다 정확한 결과도출 될 수 있다. 또한 본 연구에서 주요 자료로 사용된 방재예산은 구체적인 세부 지출항목이 공개되어 있지 않기 때문에, 전년도에 투입된 방재예산 전체가 이듬해의 재해를 저감시키는데 사용됐다는 가정하에 분석이 이루어졌다. 보다 상세한 세출항목이 확보된다면 보다 정확한 재해저감효과 분석이 가능할 것이다.

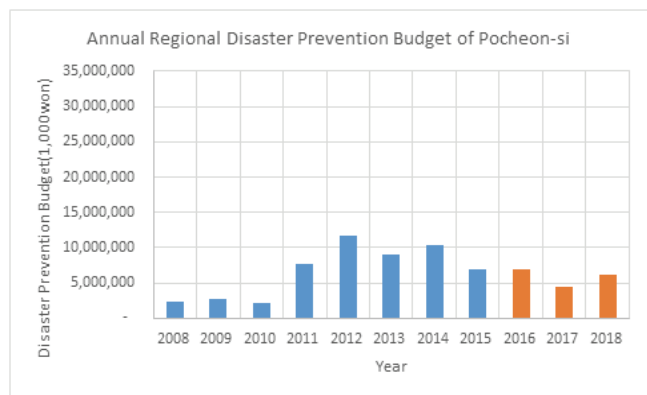
기존에는 예산투자로 인한 재해저감효과를 지구단위로 평가하여 재해예방사업 시행의 우선순위 결정기법 등에서 활용하였는데, 본 연구의 성과를 활용한다면 지자체 단위로 평가된 재해저감효과를 추가로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 행정안전부 연재난예측및저감연구개발사업의 지원으로 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05).



(a) Gwangju-si



(b) Pocheon-si

Fig. 2. Annual Regional Disaster Prevention Budget of Gwangju-si and Pocheon-si

## References

- Ahn, T.J., Lee, J.H., Lee, S.O., and Cheong, T.S. (2011). Analysis of the preventive investment effect of small stream improvement. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 11, No. 4, pp. 163-169.
- Choi, C.H., Kim, J.S., Kim, J.H., Kim, H.Y., Lee, W.J., and Kim, H.S. (2017). Development of heavy rain damage prediction function using statistical methodology. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 3, pp. 331-338.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2011). *HAZUS-MH technical manual*.
- Heo, B.Y., Song, J.W., Yoon, S.E., and Lee, S.O. (2014). Estimation of post evaluation index of natural disaster prevention projects using structure equation modeling. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 6, pp. 1807-1814.
- Joo, H.J., Kim, D.H., Kim, J.W., Choi, C.H., Han, D.G., Lee, J.H., et al. (2016). A study on optimal stage gauge network considering correlation of individual stage gauge station. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 18, No. 4, pp. 404-412.
- Kim, H.S., Choi, Y.B., Kim, K.T., Hwang, W.H., and Lee, Y.K. (2017). Methodology development for the estimation and prediction of direct and indirect damages/losses from flood and wind disasters. *Water for Future*, Korea Water Resources Association, Vol. 50, No. 4, pp. 36-41.
- Kim, J.S., Choi, C.H., Kim, D.H., Lee, M.J., and Kim, H.S. (2017). Development of heavy rain damage prediction function using artificial neural network and multiple regression model. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 6, pp. 73-80.
- Lee, J.H., Choi, C.H., Kim, J.S., Han, D.G., Kim, D.H., and Kim, H.S. (2019). Evaluation of disaster prevention capability improved through investment of recovery cost. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 3, pp. 23-32.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2019a). *Operational standard for budget allocation and managing plans*.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2019b). *Safety management daily situation - 7.24 ~ 7.28 Heavy rainfall situation (July 28, 2019 at 23:00)*.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2019c). *The 2018 annual natural disaster report*.

---

|          |                  |
|----------|------------------|
| Received | October 17, 2019 |
| Revised  | October 17, 2019 |
| Accepted | November 8, 2019 |