복구비 투입에 따른 방재능력 향상의 정량적 평가

Evaluation of Disaster Prevention Capability Improved Through Investment of Recovery Cost

이준형* · 최창현** · 김종성*** · 한대건**** · 김동현***** · 김형수*****

Lee, Junhyeong*, Choi, Changhyun**, Kim, Jongsung***, Han, Daegun****, Kim, Donghyun*****,
and Kim, Hung Soo*****

Abstract

In this study, we proposed a method to quantitatively evaluate the improvement degree of disaster prevention capability through investment of the recovery cost in areas damaged by heavy rain storms. Pyeongtaek, Gwangju, Pocheon, and Hwaseong cities, where heavy rain damage had most frequently occurred during the last 10 years, were selected as the study areas, and damages and recovery cost data for 10 years were collected. The total rainfall and 5-antecedent rainfall during the damage period were used to define the amount of disaster rainfall. A disaster rainfall-damage equation was established to assess disaster prevention capability before and after the investment of the recovery cost. Then, we calculated virtual damage before the investment based on the equation and obtained the damage reduction benefit by the damage difference from before and after the investment. The ratio of recovery cost and damage reduction benefit was assessed to ascertain the improvement degree of disaster prevention capability. From the results, we found that disaster prevention capability can be improved in the range of about 19 to 61 percent by the investment of recovery costs over the past 10 years. Therefore, the results of this study could be used as basic data to quantitatively evaluate the effects of recovery costs and establish an effective disaster management plan.

Key words : Heavy Rain Damage, Recovery Cost, Disaster Prevention Capability, Damage Reduction Benefit

요 지

본 연구에서는 호우피해 발생 후에 투입되는 복구비로 인한 방재능력 향상 정도를 정량적으로 평가할 수 있는 방안을 제시하였다. 최근 10년간 호우피해가 가장 빈번하게 발생하였던 경기도 평택시, 광주시, 포천시, 화성시를 대상지역으로 선정하였고, 기간별 피해액과 복구비 자료를 구축하였다. 피해 발생 기간의 총 강우량과 5일치 선행강우량을 합하여 재해강우량을 산정하였고, 해당년도의 복구비 투입 전 방재능력을 평가하기 위해 재해강우량-피해액 관계식을 구축하였다. 관계식을 통해 다음해에 발생할 재해강우량에 대한 가상 피해액을 산정하였고, 실제 피해액과의 차이를 이용하여 피해저감 편익을 산정하였다. 투입된 복구비와 피해저감 편익의 비를 방재능력 향상 정도로 평가하였는데, 최근 10년간 복구비 투입으로 인해 약 19~61%의 방재능력 향상이 나타나는 것으로 분석되었다. 본 연구결과는 복구비 투입으로 인한 효과를 정량적으로 평가하는데 기초자료로 활용되어 효과적인 재난관리 계획을 세우는데 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 호우피해, 복구비, 방재능력, 피해저감 편익

*정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: lee_junhyeong@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

****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

*****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. 서 론

기후변화와 기후변동으로 인해 국내·외에서 국지성 집중호우가 빈번하게 발생하고 있으며, 도시화 및 불투수율 증가로 인해 피해가 증가하고 있다(J.S. Kim et al., 2017a; Choi et al., 2018a). 국내의 경우 2018년 8월 26일 ~ 9월 1일에 시간당 최대 100 mm 이상의 집중호우가 내리면서 전국적으로 사망 3명, 실종 1명, 부상 4명 등 심각한 인명피해가 발생하였고, 도로, 철도, 하천 시설 등에서 총 791건의 공공시설 피해와 주택 침수, 공장 침수, 상가 침수 등 총 2,744건의 사유시설 피해가 발생하였다(MOIS, 2018a). 가까운 일본의 경우에도 2018년 6월 28일 ~ 7월 9일에 3일간 최고 1,000 mm 이상의 기록적인 집중호우가 쏟아져 사망 219명, 실종 10명, 부상 364명 등 심각한 인명피해가 발생했고, 주택 침수, 주택 반파 등으로 총 40,087건의 주거건물 피해와 공공건물, 기타 건물 등에서 총 51건의 비주거건물 피해가 발생하였다(FDMA, 2018).

과거에는 자연재난에 순응하는 소극적인 대응을 하였지만, 최근에는 국민들의 소득 및 생활수준이 향상되어 안전에 대한 관심이 매우 높아지면서 자연재난에 적극적으로 대응하기 위한 노력들이 이루어지고 있다(Choi et al., 2018b). 전 세계적으로 자연재난에 적극적으로 대응하여 피해를 저감하기 위한 방안으로 재난 리스크 평가 시스템 구축이 이루어지고 있으며, 피해를 유발하는 위험요인 분석과 피해 규모의 예측 및 평가 등 저감대책을 수립하기 위한 정량적 평가기술 개발에 활용되고 있다(Lee and Cho, 2006; Lee et al., 2015). 대표적인 방재선진국인 미국의 경우 Hazards US Multi-Hazard (Hazus-MH)를 개발하여 자연재난으로 인한 피해 규모를 추정하여 재난관리 계획 수립을 지원하고 있고, 영국에서는 Multi-Coloured Manual (MCM)을, 독일에서는 Flood Loss Estimation MOdel (FLEMO)을 개발하여 재난관리에 활용하고 있다(FEMA, 2011; Kreibich et al., 2010; Penning-Rowsell et al., 2011). 국내의 경우 다부처(행정안전부, 기상청, 국토지리정보원) 공동사업으로 진행하는 “국가 수문기상 재난 안전 공동활용 시스템 구축 사업”에서 한국형 Hazus-MH인 “풍수해피해예측시스템”이 개발되고 있으며, 행정안전부 R&D 과제인 “풍수해 직접·간접피해를

고려한 피해 산정 및 예측 기술개발”에서 개발한 핵심 연구성과(통계기반 피해 예측함수, 한국형 손상·손실함수, 홍수범람예상도 등)를 “풍수해피해예측시스템”에 탑재하고 있다(H.S. Kim et al., 2017).

또한, 자연재난에 적극적으로 대응하기 위한 방안으로 재해예방사업이 활발하게 이루어지고 있다. 주로 침수심, 침수면적 등의 피해범위를 이용하여 피해액을 추정하거나 재해예방사업의 대안 중에서 투자우선순위를 선정하기 위한 연구들이 진행되었고(Davis and Skaggs, 1992; Choi et al., 2006; Kim et al., 2012; Jung et al., 2014; Han et al., 2016), 피해 발생의 주요 원인인 기상자료와 피해액간의 관계를 기상인자-피해액 함수로 도출하여 사전에 피해를 예측 및 대비할 수 있는 방법들도 제안되었다(Zhai and Jiang, 2014; Lee et al., 2016; Asim et al., 2017; Choi et al., 2017; J.S. Kim et al., 2017b).

선행연구들을 살펴본 결과 주로 피해 발생에 주목하여 해당 지역의 피해 규모 및 범위를 미리 산정하여 재해예방사업을 실시하거나, 피해가 발생하기 전 예방 및 대비 차원의 연구들이 주를 이룬다.

국내의 경우 자연재난으로 인한 피해가 발생하면 해당 지역에 재해복구사업비(이하 복구비)를 투입하여 피해복구 및 방재능력을 향상시킬 수 있는 개선대책을 수립한다. Table 1은 최근 10년간 집행된 피해액과 복구비를 나타내었으며, 매년 평균적으로 재난 피해액의 약 2배가 넘는 금액이 복구비로 투입되고 있는 것을 볼 수 있다. 매년 막대한 예산이 복구비로 투입되고 있음에도 불구하고, 피해액에 관한 연구에 비해 복구비에 관한 연구는 미비한 실정이다. 특히 복구비 투입으로 향상되는 방재능력으로 인한 피해저감 효과를 정량적으로 평가하는 방안이 없기 때문에, 투입된 복구비가 효과적으로 쓰이고 있는지 평가하기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다른 재난에 비해 비교적 피해가 꾸준히 발생하는 호우피해를 대상으로 복구비 투입에 따른 해당 지역의 방재능력 향상을 정량적으로 평가할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

본 연구의 절차를 간략하게 설명하면 다음과 같다. 우선 지역별 호우피해 발생횟수를 조사하여, 호우피해가 빈번하게 발생하는 지역을 연구 대상지역으로 선정하였다. 대상지

Table 1. Disaster Damage and Recovery Cost in Last 10 Years (MOIS, 2018b)

Division	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Sum
Disaster damage (1,000,000 won)	67,669	318,071	437,622	763,165	1,039,438	166,943	175,517	32,364	298,341	187,302	3,486,432
Recovery Cost (1,000,000 won)	156,811	823,401	733,577	1,589,393	1,959,355	374,896	494,384	38,723	611,047	499,672	7,281,259
Recovery cost/ Disaster damage	2.32	2.59	1.68	2.08	1.89	2.25	2.82	1.20	2.05	2.67	2.09

Fig. 1. Flow Chart

역의 재해통계자료와 기상자료를 수집하였는데, 행정안전부에서 제공하는 재해연보를 수집하여 연도별, 기간별 피해액과 복구비 자료를 구축하였다. 또한 대상지역에 영향을 주는 강우관측소의 일강우량 자료를 수집하여 호우피해가 기록된 날짜에 해당하는 총 강우량 자료를 구축하였고, 선행 토양수분조건을 고려하기 위해 선행강우량 자료를 함께 구축하였다. 구축된 자료를 이용하여 대상지역의 연도별 재해강우량-피해액 관계식을 도출하였다. 각 연도별로 투입된 복구비로 인한 방재능력 향상을 평가하기 위해 복구비가 투입된 해의 재해강우량-피해액 관계식을 통해 산정된 가상의 피해액과 복구비 투입 다음해에 발생한 실제 피해액을 비교하였다. 가상 피해액과 실제 피해액의 비교를 통해 피해저감 편익을 산정하였고, 투입된 복구비 대비 피해저감 편익을 기준으로 복구비 투입에 따른 방재능력 향상의 정량적 평가를 수행하였다. Fig. 1은 연구흐름도를 나타낸 것이다.

2. 연구 자료 및 방법론

2.1 연구 자료

2.1.1 피해액 및 복구비 자료

본 연구에서는 피해액과 복구비 자료를 구축하기 위해 재해연보 자료를 사용하였다. 재해연보는 자연재난으로부터 입은 피해와 복구에 대한 전반적인 현황을 기록한 것으로, 매년 행정안전부에서 통계자료로 집계하여 발간하고 있다. 재해연보에서는 자연재난으로 인한 피해를 인명피해와 재산피해로 구분하고 있는데, 인명피해는 자연재난으로 인해 발생한 총 이재민 수와 사망, 실종, 부상 등의 피해자 수에 대한 정보를 제공한다. 재산피해는 도로, 하천, 수도, 철도 등의 공공시설 피해액과 가축, 비닐하우스 등의 사유시설 피해액으로 구분하여 제공하고 있다. 본 연구에서는 투입된 복구비 대비 피해액의 변화를 살펴보기 위해 정량적인 금액으로 환산 할 수 없는 인명피해는 제외하고, 공공시설 피해액과 사유시설 피해액을 합하여 총 피해액만을 피해액으로 고려하였다.

국내에서는 자연재난으로 발생한 피해에 대하여 「자연재난 구호 및 복구비용 부담기준 등에 관한 규정」에 따라

복구계획을 수립한다. 관련 기준령에 따라 재원·부처별 복구비 분담이 이루어지고, 최종적으로 자치단체 및 중앙협동조사단의 현지 확인을 거쳐 복구비용이 산정된다. 이후 관계부처의 협의 및 중앙재난안전대책본부회의 심의·확정을 통해 복구비가 집행된다. 재해연보에서는 집행된 복구비를 기간별·시·도별, 기간별·시·군·구별 복구비 지원내역으로 제공하고 있다(MOIS, 2018b).

2.1.2 기상자료

본 연구에서는 피해발생 당시의 기상조건을 고려하기 위해 기상청의 강우량 자료를 수집하였다. 기상청에서는 중관 기상관측(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 자료와 자동기상관측(Automatic Weather System, AWS) 자료의 기상자료를 제공하고 있다. ASOS는 기상예보를 목적으로 기온, 습도, 강우량, 풍속, 일사량 등의 14개 분야의 기상요소를 관측하는 유인 기상측정 시스템으로, 전국 약 90여 지점에 설치되어 운영 중이다. AWS는 무인 자동 기상 측정 시스템으로 주로 강우량을 실시간으로 관측하기 위한 목적으로 사용되며, 전국 약 480여 지점에 설치되어 상대적으로 조밀한 기상 관측망을 운영하고 있다. 본 연구에서는 상대적으로 기상 관측망의 조밀도가 높아 시군구별 강우량 발생 특징을 반영할 수 있는 AWS 기상자료를 사용하였다.

2.2 방법론

2.2.1 복구비 투입과 방재능력 향상 개념

자연재난으로 인한 피해는 일반적으로 해당 지역의 방재능력을 뛰어 넘는 극한기상 현상으로 인해 발생한다. Fig. 2는 복구비 투입으로 인한 방재능력 향상과 자연재난 강도의 관계를 도식화한 것이다. 국내의 경우 자연재난으로 인한 피해가 발생한 지역에 복구비를 투입하여 피해에 대한 응급 복구를 실시하고, 자연재난으로 인해 결함이 발생한 구조적·비구조적 방재시설의 피해 복구 및 신규 방재시설 구축 등의 방재성능 개선을 통해 향후 발생할 자연재난에 대비하고 있다. 이와 같이 복구비 투입으로 인해 방재능력이 향상되어 향후 발생할 수 있는 유사한 강도의 자연재난에도 피해가 발생하지 않게 된다.

Fig. 2. Conceptual Diagram of Recovery Cost Injection and Disaster Prevention Capability

2.2.2 복구비 투입으로 인한 방재능력 향상 평가 방법

복구비 투입의 정량적 효과를 분석하기 위해 본 연구에서는 재해기간별 피해액과 강우량, 그리고 연단위의 복구비의 관계를 파악하였다.

우선 호우피해를 일으키는 주요 원인인 강우량을 대표할 수 있는 값이 필요한데, 본 연구에서는 이를 재해기간 동안의 일강우량의 총합과 선행토양수분조건을 고려한 선행강우량을 합하여 피해를 발생시킨 강우량이라는 의미에서 ‘재해강우량(Disaster rainfall)’이라고 정의하였다(Fig. 3). 재해강우량 산정을 위해 호우피해로 기록된 기간에 해당하는 날짜들의 일강우량 자료를 수집하고, 선행토양수분조건을 영향을 고려하기 위해 피해 발생일 기준 5일치 선행강우량도 함께 수집하였다. 산정된 재해강우량과 피해액의 선행회귀식을 연도별로 작성하여 ‘재해강우량-피해액 관계식’을 2차원 좌표평면 상에 도출하였다. 이때, “강우량이 발생하지 않으면 호우피해도 발생하지 않는다”고 가정을 하여 선행회귀식의 절편을 원점(재해강우량과 피해액 모두 0값인 점)으로 고정하였다. 이 관계식은 해당 지역의 특정 재해강우량에 대한 피해액을 나타낸다는 점에서, 복구비가 투입되기 전 지역의 방재능력을 대표한다고 볼 수 있다. 따라서 그 다음해에 발생한 재해강우량을 관계식에 대입하여 얻은 가상의 피해액과 실제 피해액의 차이는, 복구비 투입으로 인해 방재능력이 향상되어 발생하는 피해저감 편익(damage reduction benefit)이다. 최종적으로 투입된 총 복구비 대비 총 피해저감 편익을 비교하여 해당 지역의 복구비 투입에 따른 방재능력 향상 정도를 정량적 평가하였다. 본 연구에서 제시한 복구비 투입으로 인한 방재능력 향상 평가 절차를 요약하면 다음과 같다.

- ① 재해기간의 총 강우량과 재해 발생일 기준으로 5일치의 선행강우량을 합하여 재해강우량을 산정함
- ② 연도별로 재해강우량과 피해액을 2차원 좌표평면에 도시하고, 재해강우량-피해액 관계식을 도출함

- ③ 다음 연도(X+1)의 재해강우량을 해당 연도(X)의 재해강우량-피해액 관계식에 대입하여 얻은 가상 피해액과 실제 피해액의 차이를 구하여 피해저감 편익을 산정함
- ④ 총 복구비와 총 피해저감 편익을 비교하여 복구비 투입으로 인한 방재능력 향상의 정량적인 효과 분석을 실시함

Fig. 3. Conceptual Diagram of Disaster Rainfall

3. 적용 및 결과

3.1 대상지역 선정

본 연구에서는 호우로 인한 피해가 가장 빈번하게 발생한 시군구를 대상지역으로 선정하였다. 전국 229개 시군구를 대상으로 최근 10년(2008년 ~ 2017년)의 호우피해 이력을 검토하여 상위 10개 지역을 Table 2와 같이 나타냈다. 호우피해가 가장 빈번하게 일어난 지역은 대부분 경기도 지역인 것으로 나타났고, 본 연구에서는 피해이력이 25개 이상인 경기도 평택시, 광주시, 포천시, 화성시를 대상지역으로 선정하였다.

Table 2. Number of Heavy Rain Disasters in Last 10 Years of Top 10 Regions

Region	Number of heavy rain damage
Pyeongtaek-si	26
Gwangju-si	25
Pocheon-si	25
Hwaseong-si	25
Suwon-si	24
Yongin-si	24
Ansan-si	21
Yangju-si	20
Yeoju-si	20
Cheongju-si	20

3.2 재해연보 자료 구축

본 연구에서는 행정안전부에서 매년 발간하는 재해연보

를 기준으로 연도별, 시군구별, 호우피해 사상별 피해액 및 복구비 자료를 구축하였다. 재해연보의 자료는 매년 해당 연도의 금액 기준으로 제공하기 때문에, 과거에 기록된 피해액 및 복구비의 가치와 현재의 금액 가치가 상이한 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 재해연보에서 제시하고 있는 생산자 물가지수를 고려한 금액 환산지수를 이용하여 2017년 기준으로 모든 피해액과 복구비 금액을 환산하였다.

3.3 기상자료 구축

본 연구에서는 AWS 관측데이터를 2008년 ~ 2017년의 일단위 강우자료를 수집하였다. 또한 지점단위 강우자료를 면적단위 강우자료로 환산하기 위해 티센 다각형법(Thiessen Polygon method)을 적용하였다. 지점단위 강우량을 면적단위로 환산하는 방법으로는 산술평균법, 티센 다각형법, 등우선법 등이 있으며, 그중 면적환산 가중평균 방법인 티센 다각형법은 각 관측 지점의 분포상태에 따른 지배 면적을 고려할 수 있어 가장 널리 사용되고 있는 방법이다(Kim, 2017). 대상 지역에 영향을 미치는 AWS 관측소는 총 23개소로 조사되었으며, Fig. 4에서 대상지역에 대한 AWS 관측소 및 티센 다각형을 표현하였다.

Fig. 4. Study Area with AWS Station and Thiessen Polygon

3.4 복구비 투입으로 인한 방재능력 향상 평가

3.4.1 대상지역 I : 경기도 평택시

복구비 투입에 따른 방재능력 향상 정도를 정량적으로 평가하기 위해 복구비 투입으로 인한 피해저감 편익을 산정하였다. 경기도 평택시의 경우 2008년 7월에 발생한 재해강우량 341 mm에 대해 약 2억 4천만 원의 피해가 발생하였고, 이에 대한 복구비가 약 15억 원 투입되었다. 2008년의 방재능력을 나타내는 재해강우량-피해액 관계식을 이용하여, 2009년의 재해강우량 348 mm에 대한 가상의 피해액을 구해보면 약 2억 4천만 원이 산정된다. 이때 2009년의 실제 피해액은 약 1억 8천만 원이었고, 가상 피해액과 실제 피해액의 차이를 구해보면 약 6천만 원이 피해저감 편익으로 도출된다. 같은 방식으로 연도별로 재해강우량-피해액 관계식을 이용하여 가상의 피해액과 실제 피해액을 비교하여 피해저감 편익을 산정하였다. 피해저감 편익이 음수가 나오는 경우가 있는데, 2010년의 재해강우량-피해액 관계식을 이용해 2011년에 발생한 재해강우량 414 mm에 대한 피해저감 편익을 산정해보면 약 -1억 6천만 원이다. 피해저감 편익이 음수로 산정된 경우 해당지역의 방재성능이 향상된 결과로 볼 수 없으므로, 음수로 산정되는 경우에는 피해저감 편익에서 제외하였다. 경기도 평택시의 경우 총 투입된 복구비 약 26억 3천만 원으로 인해 약 3억 4천만 원의 피해저감 편익이 발생한 것으로 분석되었다. Fig. 5는 평택시의 각 연도별 재해강우량-피해액 관계식과 다음 연도의 피해액을 제시한 것이다.

3.4.2 대상지역 II : 경기도 광주시

경기도 광주시의 복구비 투입에 따른 방재능력 향상 정도를 평가하기 위해 Fig. 6과 같이 각 연도별로 재해강우량-피해액 관계식을 제시하였다. 대표적인 결과를 살펴보면 2010년에 복구비 약 186억 원 투입된 후에 2011년의 재해강우량 536 mm, 522 mm, 409 mm, 106 mm으로 인해 약 12억 1천만 원, 1억 7천만 원, 340억 8천만 원, 2억 4천만 원의 피해가 발생하였다. 2010년의 재해강우량-피해액 관계식을 통해 산정한 가상 피해액은 각각 102억 3천만 원, 99억 7천만 원, 78억 1천만 원, 20억 2천만 원이고, 이를 이용해 산정한 피해저감 편익은 약 90억 2천만 원, 98억 원, -262억 7천만 원, 17억 9천만 원이다. 재해강우량 409 mm가 내린 경우에는 본 연구에서 해당 연도의 방재능력이라고 가정된 재해강우량-피해액 관계식을 벗어난 결과로 음수값(-262억 7천만 원)이 나오고, 예상하지 못한 큰 피해(340억 8천만 원)가 발생한 것으로 나타났다. 2011년 6/21~7/3, 7/7~7/16에 발생한 작은 피해는 전년도에 투입된 방재능력 향상으로 견딜 수 있었지만, 누적된 피해로 인해 앞의 두 사건에 비해 작은 재해강우량이지만 더욱 큰 피해가 발생한 것으로 판단된다. 광주시의 경우 최근 10년간 약 1,134억 원의 복구비 투입으로 인해 약 380억 원의 피해저감 편익이 발생한 것으로 분석되었다.

Fig. 5. Comparison of Disaster Prevention Capability and Amount of Damage (Pyeongtaek-si)

Fig. 6. Comparison of Disaster Prevention Capability and Amount of Damage (Gwangju-si)

3.4.3 대상지역Ⅲ: 경기도 포천시

경기도 포천시의 복구비 투입에 따른 방재능력 향상 정도를 정량적으로 평가하기 위해 Fig 7과 같이 각 연도별 재해강우량-피해액 관계식과 다음 연도의 피해액을 제시하였다. 대표적인 결과를 살펴보면 2011년에 경기도 광주시와 마찬가지로 연속적인 강우로 인해 심각한 피해가 발생하였다. 이로 인해 약 935억원의 대규모 복구비가 투입되어 2012년에는 피해가 비교적 적은 것으로 나타났다. 포천시의 경우 총 1,164억 원의 복구비 투입으로 인해 약 129억 원의 피해저감 편익이 발생한 것으로 분석되었다.

3.4.4 대상지역Ⅳ: 경기도 화성시

경기도 화성시의 대표적인 결과를 살펴보면 2011년과 2012년에 심각한 피해가 발생하여 각각 약 71억 원, 34억원의 복구비가 투입되어 방재능력이 향상되었다. 이로 인해 2013년에는 재해연보에 기록될만한 피해가 없어서 그래프를 나타낼 수 없었고, 2014, 2015, 2016, 2017년에는 기존에 비해 피해가 비교적 적었던 것으로 나타났다. 화성시의 경우 최근 10년간 약 243억원의 복구비가 투입되었고, 약 43억원의 피해저감 편익이 발생한 것으로 분석되었다. Fig. 8은 화성시의 각 연도별 재해강우량-피해액 관계식과 다음 연도

의 피해액을 제시한 것이다.

4. 요약 및 결론

자연재난으로 인한 피해가 발생하면 국가에서는 해당 지역에 복구비를 투입하여 복구사업을 실시하고, 방재능력을 향상시킬 수 있는 대책을 수립 및 시행하고 있다. 매년 막대한 예산이 복구비로 투입되고 있음에도 불구하고, 복구비 투입으로 향상되는 방재능력 향상 및 피해저감 편익을 정량적으로 평가하는 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 호우로 인한 피해 뒤에 복구비를 투입하여 향상되는 방재능력 향상 정도를 정량적으로 평가하는 방안을 제시하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 최근 10년간 호우로 인한 피해가 가장 빈번하게 발생한 4개 시군구(경기도 평택시, 광주시, 포천시, 화성시)를 대상지역으로 선정하였고, 연도별 재해강우량-피해액 관계식을 이용하여 피해저감 편익을 산정하였다.
- (2) Table 3에서 제시한 바와 같이 약 8.56억 원 ~ 642.35억원의 복구비를 투입한 결과 약 3.44억 원 ~ 379.7억원의 피해저감 편익이 발생한 것으로 나타났다. 총 피

Fig. 7. Comparison of Disaster Prevention Capability and Amount of Damage (Pocheon-si)

Fig. 8. Comparison of Disaster Prevention Capability and Amount of Damage (Hwaseong-si)

Table 3. Summary of Result Unit: 1,000won

Region	Sum of disaster damage (A)	Sum of recovery cost (B)	Sum of damage reduction benefit (C)	Sum of disaster prevention improvement cost (B-A)	Improvement degree of disaster prevention capability I (C/B)	Improvement degree of disaster prevention capability II (C/(B-A))
Pyeongtaek-si	856,257	2,629,812	344,125	1,773,554	13.09%	19.40%
Gwangju-si	50,986,521	113,447,004	37,970,117	62,460,483	33.47%	60.79%
Pocheon-si	64,235,422	116,404,048	12,909,874	52,168,626	11.09%	24.75%
Hwaseong-si	6,582,421	24,265,382	4,269,765	17,682,960	17.60%	24.15%

해저감 편익을 투입된 복구비로 나누어 방재능력 향상 정도(C/B)를 평가해보면 복구비 투입으로 인해 약 11 ~ 33%의 방재능력 향상을 보이는 것으로 나타났다.

(3) 복구비가 투입되면 재난으로 망실된 방재시설물을 재난피해 이전의 수준으로 복원하는 복원복구와 향후 발생할 재난에 대비하기 위해 더 높은 수준의 방재시설물을 구축하는 개선복구가 진행된다. 하지만 재해 연보에 제시된 복구비는 복원복구와 개선복구의 구분이 명확하지 않아, 방재능력 향상에 사용된 금액을 구축하기 어려운 실정이다. 본 연구에서는 호우피해

액을 응급복구 비용으로 가정하였다. 재해연보에 제시되는 피해액의 경우 복구비 단가를 활용하여 산정하기 때문에 방재능력 향상을 위한 금액이 아닌 복원복구를 위한 금액이라고 판단하였고, 방재능력 향상을 위해 사용된 복구비는 투입된 총 복구비와 피해액의 차이로 산정하였다. 따라서 복구비에서 방재능력 향상에만 사용된 개선복구 금액을 이용하여 방재능력 향상 정도(C/(B-A))를 재평가해보면 복구비 투입으로 인해 약 19 ~ 61%의 방재능력 향상이 나타나는 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 호우로 인한 피해를 시설물 피해액만을 사용하였다. 실제로 자연재난으로 인한 피해에서 중요하게 생각되는 인명피해를 고려하지 못한 부분은 본 연구의 한계점으로 판단된다. 또한, 본 연구의 결과는 실제 방재능력이 향상된 것보다 적게 산정되었다고 판단하였다는데, 재해연보에 재해로 기록된 피해의 경우에만 피해저감 편익을 산정하였기 때문이다. 복구비 투입으로 방재능력이 향상되면 재난과 비슷한 수준의 강우에도 피해가 발생하지 않을 수 있는데, 이러한 경우를 고려하지 못한다는 한계가 있다. 피해가 조금이라도 발생한 경우만을 대상으로 하여 최소한의 피해저감 편익을 산정하였기 때문에, 실제 피해를 유발할 규모의 호우가 발생하였는데 피해가 발생하지 않은 경우의 편익을 고려한다면 방재능력 향상 정도는 더욱 증가하게 될 것이다.

가상의 피해액을 산정하기 위해 개발한 재해강우량-피해액 관계식의 경우 설명변수가 1개인 단순회귀모형이며, 호우피해 발생에 영향을 주는 강우요소를 강우의 총량만으로 분석하는 모형이다. 강우강도, 강우지속시간, 시군구내 강우편중 등의 강우요소를 추가하여 강우와 피해액의 관계식을 개발한다면 보다 적합한 평가가 가능할 것으로 판단된다.

기존에는 복구비 투입 후의 방재능력 향상 및 피해저감 편익을 정량적으로 평가하는 방법이 없었기 때문에, 복구비 투입이 성공적인 효과를 거두었는지 정량적으로 판단하기 어려운 실정이다. 본 연구결과는 복구비 투입으로 인한 효과를 정량적으로 평가하는데 기초자료로 활용 될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원으로 수행된 연구임[MOIS-재난-2015-05].

References

- Asim, K.M., Martínez-Álvarez, F., Basit, A., and Iqbal, T. (2017). Earthquake magnitude prediction in Hindukush region using machine learning techniques. *Natural Hazards*, Vol. 85, No. 1, pp. 471-486.
- Choi, C.H., Kim, J.H., Kim, J.S., Kim, D.H., Bae, Y.H., and Kim, H.S. (2018a). Development of heavy rain damage prediction model using machine learning based on big data. *Advances in Meteorology*, Vol. 2018, Article ID 5024930.
- 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.
- Choi, C.H., Kim, Y.S., Kim, J.S., Kim, D.H., Kim, J.W., and Kim, H.S. (2018b). Indicator development and evaluation of storm and flood resilience using big data analysis: (2) Evaluation of resilience. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 4, pp. 109-123.
- Choi, S.A., Yi, C.S., Shim, M.P., and Kim, H.S. (2006). Multi-dimensional flood damage analysis (I): Principle and procedure. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 1, pp. 1-9.
- Davis, S.A., and Skaggs, L.L. (1992). Catalog of residential depth-damage functions: Used by the army corps of engineers in flood damage estimation. IWR Report 92-R-3, U.S. Army Corps of Engineer, Institute For Water Resources, Alexandria, VA.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2011). *HAZUS-MH technical manual*.
- Fire and Disaster Management Agency (FDMA). (2018). *Heisei damage situation due to heavy rain in July of Heisei 30 and situation of correspondence of fire fighting organizations etc.* 38th Report. [平成 30年 7月豪雨による被害状況及び消防機関等の対応状況について (第38報)].
- Han, D.G., Choi, C.H., Kim, D.H., Jung, J.W., Kim, J.W., and Kim, S.J. (2016). Determination of flood reduction alternatives for responding to climate change in Gyeongang Watershed. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 18, No. 2, pp. 154-165.
- Jung, J.W., Kim, Y.S., Hong, S.J., Kwon, H.S., Kim, J.W., and Kim, H.S. (2014). Effectiveness analysis of artificial wetland for flood reduction. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 4, pp. 369-377.
- Kim, G.H., Sun, S.P., Yeo, K.D., and Kim, H.S. (2012). Determination of investment priority for river improvement project at downstream of dams using PROMETHEE. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 1B, pp. 41-51.
- Kim, H.S. (2017). *Hydrology*. Goyang: Jiwoo Books.
- Kim, H.S., Choi, Y.B., Kim, K.T., Hwang, E.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. (2017a). 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.
- Kim, J.S., Choi, C.H., Lee, J.S., and Kim, H.S. (2017b). Damage prediction using heavy rain risk assessment: (2) Development of heavy rain damage prediction function. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 2, pp. 371-379.
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., and Thielen, A.H. (2010). Development of FLEMOcs: A new model for the estimation of flood losses in commercial sector. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 55, pp. 1302-1314.
- Lee, C.H., Kim, S.H., Park, I.C., and Kim, B.S. (2015). An inventory analysis for disaster loss estimation specialized in Korean environment: Focusing on HAZUS-MH flood model. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 15, No. 5, pp. 79-87.
- 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.
- Lee, S.S., and Cho, H.D. (2006). Introduction of HAZUS-MH. *Geoenvironmental Engineering*, Vol. 7, No. 3, pp. 26-30.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2018a). *Safety management daily situation: August 26 ~ September 1 Heavy rainfall situation*. Retrieved September 1, 2018 at 06:00 a.m.
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2018b). *The 2017 Annual natural disaster report*.
- Penning-Rowsell, E., Priest, S., Parker, D., Morris, J., Tunstall, S., Viavattene, C., et al. (2011). *Flood and coastal erosion risk management: a manual for economic appraisal*. London, UK: Routledge, Taylor & Francis.
- Zhai, A.R., and Jiang, J.H. (2014). Dependence of US hurricane economic loss on maximum wind speed and storm size. *Environmental Research Letters*, Vol. 9, No. 6, Article ID 064019.

Received	November 20, 2018
Revised	November 23, 2018
Accepted	November 28, 2018