지방하천시설물에 대한 손실함수 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Loss Function for Local River Facilities

황신범* · 김상호** · 이창희***

Hwang, Shinbum*, Kim, Sangho**, and Lee, Changhee***

Abstract

According to the statistics on damage caused by natural disasters over the past decade, most public facilities were damaged by heavy rains and typhoons. Among them, the most extensive damage was sustained by river facilities. Currently, damage to public facilities in Korea is estimated using the multidimensional method, but it is an indirect estimation for calculating damage related to private facilities by multiplying the ratio factor. In this study, river damage data in the National Disaster Management System DB, velocity for physical characteristics, and sinuosity for topographic characteristics of the stream were used to estimate the cost of damage to local stream facilities. A loss function for local river facilities was developed by applying removal techniques for statistical abnormal data from the collected data. The developed loss function can be used as basic data for river disaster mitigation measures by estimating the extent of damage to the river from heavy rains and typhoons in the future.

Key words : Loss Function, River Facilities, Public Facilities, Local River

요 지

최근 10년간 자연재해로 인한 피해 통계를 보면 호우·태풍에 의한 공공시설물의 피해가 대부분을 차지하고 있으며, 그 가운데에서도 하천시설물의 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 현재 국내에서는 다차원법을 이용하여 공공시설물에 대한 피해액을 추정하고 있지만, 사유시설물에 대한 피해액에 비율계수를 곱하여 산정하는 간접적인 추정 방법을 사용하고 있다. 본 연구에서는 지방하천시설물에 대한 피해액을 추정하기 위해 국가재난관리정보시스템(National Disaster Management System, NDMS) DB의 하천 피해자료와 하천의 물리적 특성인 유속 그리고 지형적 특성인 만곡도를 이용하였으며, 수집된 분석자료에 대한 통계학적 이상자료 제거기법을 적용하여 지방하천시설물에 대한 손실함수를 개발하였다. 본 연구에서 개발된 손실함수는 미래 발생될 호우·태풍 재해에 대한 하천의 피해액 추정을 통하여 하천 재해저감대책 마련에 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 손실함수, 하천시설물, 공공시설물, 지방하천

1. 서 론

기후변화에 따른 기상이변은 점차 강도가 커지고 빈도도 잦아지고 있는 실정이며, 이로 인해 발생하는 자연재해로 인한 재산피해는 인명피해와 함께 피해 대상물의 자산가치

가 높아짐에 따라 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. KEI (2012)에서는 2100년까지 자연재해로 인한 누적 피해비용이 약 2,800조에 이를 것으로 추정하였으며, 2017년 발간된 재해연보(MOIS, 2017)에서는 최근 10년간 발생한 자연재해 가운데 호우와 태풍에 의한 공공시설물의 피해 규모가 가장

*정회원, 상지대학교 일반대학원 토목공학과 박사과정(E-mail: drifttls@nate.com)

Member, Doctrate Course, Department of Civil Engineering, Sangji University

**교신저자, 정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 교수(Tel: +82-33-730-0476, Fax: +82-33-730-0606, E-mail: kimsh@sangji.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Sangji University

***정회원, 중원대학교 소방방재공학전공 교수(E-mail: lch75039@hanmail.net)

Member, Professor, Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Jungwon University

큰 것으로 나타났고, 공공시설물 중에서도 하천과 소하천에서 발생한 피해액이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같은 자연재해에 대비하여 인명과 재산을 보호하기 위해서는 태풍, 호우 발생 시의 공공시설물에 대한 피해규모 예측이 필요하게 되며, 피해발생 예상지역에 대한 지리적·환경적 특성을 고려한 체계적인 분석을 통한 피해규모의 예측은 재해에 대비한 재난안전 계획 수립에 활용될 수 있다(Kim et al., 2016a).

전 세계적으로 선진국에서는 자연재난에 효과적으로 대응하기 위한 재난피해추정시스템을 개발하여 피해를 유발하는 위험요인 분석과 피해규모의 정량적 평가기술 개발에 활용하고 있다(Munich Re, 1997; FLOODsite, 2007; USACE, 2008). 독일에서 개발된 FLEMO (Kreibich et al., 2010; Seifert et al., 2010)는 주거 및 비주거 건물을 대상으로 홍수위험도를 평가하기 위한 피해액 평가모형이며, 영국의 Multi-Coloured Manual (MCM; Penning-Rowsell et al., 2014)은 주거, 상업, 산업건물과 같은 주거용 자산과 비주거용 자산 및 농지에 대한 재해손실을 평가하는 프로그램이다. 네덜란드의 Standard Method (Kok et al., 2004)는 토지이용, 인프라, 주거, 인명 및 자동차 피해, 업무시설 및 기타로 구분되는 인벤토리 분류구조로 되어 있고, 기타의 수자원 정보시스템에서 하수처리시설과 펌프장 정보를 포함하고 있지만, 홍수로 인한 최대피해금액은 인벤토리 범주별 피해 인자(damage factor), 단위 수, 단위당 최대 피해금액을 곱하여 추산한다. 미국의 연방재난관리청에서는 GIS기반의 Hazard US Multi-Hazard (HAZUS-MH; FEMA, 2011, 2012)를 개발하여 침수구역에서 사유시설물과 공공시설물에 대한 침수심별 손상률과 함께 시설물별 피해단가를 제시하여 피해액 규모를 예측하며, 일본의 치수경제조사매뉴얼 (Ministry of Construction River Bureau, Japan [建設省 河川局], 2000)은 미국과 같이 사유시설물에 대한 침수심별 손상을 제시하여 사유시설물의 피해 규모를 예측하나 공공시설물의 경우 과거 통계를 바탕으로 사유시설물에 대한 공공시설물의 피해비율을 곱하여 피해액 규모를 예측하고 있다. 이와 같이 국외에서 풍수해로 인한 피해액 추정은 대부분 일반시설물인 주거 및 비주거 건물을 대상으로 침수심에 따른 함수관계를 이용하여 피해규모를 예측하고 있으며 (Merz et al., 2010; Green et al., 2011), HAZUS-MH에서는 교통시설물과 같은 개별 공공시설물별 피해단가를 제시하고 있는 수준이다.

국내에서는 농작물 피해를 기준으로 하는 간편법(MOCT, 2000)이 개발된 이후 침수면적과 피해액과의 관계를 고려하는 개선법(MOCT, 2001) 그리고 지리정보체계를 활용하여 피해액을 산정할 수 있도록 발전된 다차원홍수피해산정법 (Multi-Dimensional Flood Damage Analysis, MD-FDA; MOCT, 2004)이 개발되었지만, 직접적인 분석은 사유시설물을 대상으로 하고 있으며, 다차원법에서만 공공시설물의 피해액을

사유시설물의 침수심별 손상률에 따른 예측 피해액에 공공시설물별 비율계수를 곱하여 피해 규모를 산정하고 이에 대한 경제성 분석을 수행하고 있다. 이후 국내에서는 대부분 다차원법을 이용한 사유시설물의 홍수피해액 추정에 대한 연구(Lee et al., 2006; Choi, 2007; Yi et al., 2010; NDMI, 2012, 2013; Choi et al., 2013; Choi et al., 2017)를 수행하였으며, Kim (2013)은 사유시설물 피해액에 비율계수를 고려하여 공공시설물의 피해액을 산정하는 다차원법의 한계점을 개선하고자 하였다. Kim et al. (2016b)은 강원도와 충청북도 일부 시군을 대상으로 하천에서 발생한 피해구간 길이와 피해액, 강수량과 유량, 개수율과 하천연장 등의 정보를 이용하여 홍수피해함수를 개발한 바 있다.

본 연구에서는 공공시설물 중 호우·태풍에 의하여 가장 많은 피해가 발생되어진 하천시설물을 대상으로 국가재난관리정보시스템(National Disaster Management System, 이하 NDMS)에서 과거 발생한 하천의 피해자료를 수집하고, 수자원관리종합정보시스템(Water Resources Management Information System, WAMIS)에서 하천 정보를 이용하여 재해가 발생한 하천의 수리학적, 지형학적 특성을 고려한 손실함수를 개발하고자 하였으며, 과거 발생한 재해사상을 대상으로 그 결과를 비교 검토하였다. 본 연구에서 개발한 하천시설물에 대한 손실함수는 미래 발생 가능한 하천재해에 대한 피해액을 직접 추정할 수 있는 방법으로서 하천방재 관리와 정책수립에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 하천시설물 손실함수 개발 방안 정립

2.1 피해자료 수집 및 분석

하천시설물에 대한 손실함수 개발을 위해 2009년부터 2016년까지의 NDMS DB 자료 중 호우·태풍에 의해 발생한 하천시설물 관련 피해자료를 수집하였다. 하천시설물의 경우 NDMS에서 중점관리구분을 통하여 하천과 소하천으로 구분되어 있으며, 하천은 다시 국가하천과 지방하천으로 분류되어 있다. 국가하천에서는 과거 발생한 피해발생 비율이 낮아 자료수가 매우 적으며, 소하천의 경우는 자료의 양이 매우 방대하고, 지자체에 존재하는 보고서를 수집하여 전산화를 해야 할 뿐만 아니라, 아직 기본계획이 수립 중인 하천이 많은 문제가 있어, 본 연구에서는 지방하천을 대상으로 한 손실함수를 개발하였다.

지방하천에 대한 피해내역을 조사·분석한 결과 대다수의 피해내역이 제방과 호안 유실 등 제외지에 집중되어 있어 제내지에 위치한 건물에 대한 피해액 산정에 많이 이용되는 침수심·손상률 관계의 함수식 형태는 배제하였다. 또한, 하천에 설치된 제방과 호안에 대하여 설치 시기, 제원, 방법, 점검 및 보수 이력 등의 구조적 현황과 관리정보의 수집이 어렵고, 다양한 피해양상별 피해액의 추정이 복잡하고 어렵기 때문에 본 연구에서는 지방하천에 대한 손상함수

가 아닌 피해액을 직접 추정할 수 있는 손실함수를 개발하고자 하였다. 이를 위해 과거 발생한 피해자료 중 비교적 최근 자료인 2013년부터 2016년 자료를 분석하여 함수개발에 활용하였다.

2.2 지방하천시설물 손실함수의 구축

지방하천시설물에 대한 손실함수 개발에 필요한 독립변수를 선정하기 위하여 하천의 홍수량 발생과 직접적으로 관련된 수문정보인 강우량과 유량, 하천의 지형학적 형상으로 인해 피해를 유발할 수 있는 만곡도와 하천경사, 하천의 흐름으로 인해 발생하는 물리력인 유속과 소류력 그리고 수해에 대한 하천 방어능력에 해당하는 하천 개수율 등 다양한 인자들을 검토하였다. 그러나, 손실함수의 종속변수인 피해액과의 상관성을 분석한 결과 많은 변수들이 실제 피해액과는 상관성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 지방하천시설물에서 발생한 피해액과 높은 상관성을 보이는 피해구간 길이와 하천시설물의 피해를 유발시킬 수 있는 외력인 하천 유속 그리고 지형적 특성인 만곡도를 최종적인 독립변수로 선정하여 아래와 같은 함수식으로 구성하였다.

Damage of Local River Facilities =

$$f(\text{Damage Length, Velocity, Sinuosity}) \quad (1)$$

여기서, 피해구간 길이(Damage Length)는 함수 개발 시에는 과거 지방하천에서 실제로 발생한 피해구간 길이를 사용하였지만, 태풍·호우에 의하여 발생할 미래 재해에 대한 피해액을 추정하기 위해서는 피해구간 길이를 추정하여야 한다. 이를 위해 과거 재해가 발생한 시점의 다양한 수문정보와 하천의 지형학적 특성을 모두 고려하여 피해구간 길이를 추정하기 위한 관계식을 개발하고자 하였다. 그러나 관계식의 낮은 정확도와 피해구간 길이로부터 피해액을 추정하는 과정에서 불확실성이 가중되는 문제가 있기 때문에, 본 연구에서는 2009년부터 2016년까지 과거 지방하천에서 발생한 피해구간 길이와 시군 내 전체 지방하천길이를 이용하여 Eq. (2)와 같이 각 연도별 피해길이 비율을 산정하였다. 각 시군의 연도별 피해길이 비율을 평균하여 해당 시군의 지방하천 피해발생 비율로 이용함에 따라 미래 재해에 대한 피해구간 길이를 추정할 수 있다.

Damage Rate of Local River in CCD =

$$\frac{DLR \text{ in CCD}}{TLR \text{ in CCD}} \quad (2)$$

여기서, Cities, Counties, and Districts (CCD)는 시군 행정구역을 의미하며, Damaged Length of River (DLR)은 하천의 피해구간 길이, Total Length of River (TLR)은 시군 내

총 지방하천길이이다. Fig. 1은 각 광역시도별 지방하천 피해발생 비율에 대한 최소값과 최대값, 평균값의 범위를 나타낸 그래프로서 대부분의 지역에서 평균값이 낮게 나타나고 있지만, 서울특별시를 비롯한 광역시에서는 평균값이 조금 더 높은 것으로 나타났다.

Fig. 1. Rate of Local River Damage by Region

Eq. (1)의 유속(Velocity)과 만곡도(Sinuosity)는 손실함수 개발을 위해 과거 피해가 발생한 지점의 수리특성과 지형특성을 적용하여야 하는데, 두 인자 모두 공간적 범위 설정이 모호한 부분이 있기 때문에 객관적 기준의 설정을 위해 하천기본계획의 홍수량 산정지점을 이용하였다. 홍수량 산정지점은 하천기본계획이 수립될 때 하천의 홍수량 변동성을 고려하여 하천을 구획화한 것으로 국내 하천기본계획이 수립된 모든 하천은 홍수량 산정 구간이 단일화되어 있는 점을 고려하여 홍수량 산정 구간을 유속과 만곡도를 산정하는 기준으로 설정하였으며, 만곡도는 과거 피해가 발생한 지점이 위치한 홍수량 산정 구간의 직선거리와 하도중심거리와의 비로부터 산정하였다.

하지만, 유속은 하천의 유량과 지형 특성에 따라 상이한 흐름 특성이 발생하기 때문에 일반적으로 수리해석을 통한 분석 결과를 활용하는 것이 보편적이지만, 손실함수를 개발하기 위하여 과거 하천시설물에서 발생한 수많은 피해지점의 유속을 수리해석을 통하여 분석하는 것은 한정된 연구기간을 고려할 경우 현실적으로 불가능에 가까운 일이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 전국 85개 지방하천에 대해 다양한 유량 규모를 대상으로 수리해석을 실시하였으며, 그 결과를 분석하여 강우로 인한 직접적인 물리현상인 하천 유량과 하도의 운동량을 유발할 수 있는 지형적 특성인자인 하상경사를 이용하여 평균유속을 산정할 수 있는 평균유속 간략식을 Eq. (3)과 같이 개발하였다.

$$\bar{V} = 2.762 \times S^{0.186} \times Q^{0.146} \quad (3)$$

여기서, $\bar{V}$ 는 홍수량 산정 구간의 평균유속(m/sec)을 의미하며, S 는 하상경사, Q 는 유량(m^3/s)을 의미한다.

3. 지방하천시설물 손실함수 개발

3.1 분석 자료에 대한 이상자료 제거

지방하천시설물에 대한 손실함수 개발을 위해 Eq. (1)에서 나타낸 과거 지방하천에서 발생한 피해액(2017년 기준 환산 피해액)과 피해구간 길이, 피해가 발생한 홍수량 산정 구간의 평균유속과 하상경사를 추출하였으며, 손실함수의 종속변수인 피해액과 독립변수인 피해구간 길이, 평균유속 그리고 하상경사에 대한 상관성을 살펴보기 위해 Fig. 2와 같이 회귀분석을 실시하였다. Fig 2에서 보는 바와 같이 피해구간 길이와 피해액과의 결정계수(R^2)는 0.478, 평균유속은 0.388 그리고 만곡도는 0.416으로 나타났다. 분석자료 중에는 Fig. 2(a)의 피해액과 피해구간 길이 관계에서 보는 바와

같이 피해구간 길이가 길게 발생했으나, 피해액이 과도하게 작게 나타난 경우와 반대로 피해구간 길이가 매우 짧음에도 불구하고 피해액이 매우 크게 발생한 자료와 같이 비정상적인 양상을 보인 자료가 포함되어 있기 때문에 이러한 자료들에 대한 제거 과정이 필요하였다.

이를 위해 본 연구에서는 정규분포 상자도표(box plot)와 경험분포(empirical distribution) 신뢰구간을 적용하여 함수개발을 위한 1차 이상자료를 제거하고자 하였다. 여기서 정규분포 상자도표는 자료에 대한 사분위간 범위(interquartile range, IQR)를 활용하여 중앙값과 Q1, Q3, 최대값, 최소값을 이용하여 작도되는 그래프로서 Outlier 바깥 자료들의 이상점을 표현할 수 있다. 상자도표는 이상점을 처리하는데 유용하고, 자료 전체의 분포 여부를 확인하는 것이 쉬우며, 자료 집단간의 비교와 타당도(validity)의 확인이 용이하다. 경험분포는 정규분포를 따르지 않는 자료들에 적용할 수 있는 분포 함수이며, 각 개체마다 동일한 발생확률 가중치를 부여하여 자료를 분포시키는 방법으로서 표본 자료 n 의 확률표본의 누적분포함수를 추정하는 방법이다(Park, 1999). 즉, 분석

Fig. 2. Regression Graph for Dependent-Independent Variables

자료에 대한 크기 순서를 결정한 후 총 자료 수에 해당하는 분포값을 정리하는 방법이다. 본 연구의 경우 재해 특성상 낮은 재현기간에 해당되는 피해 자료가 많기 때문에 정규분포를 검토할 경우 왜도가 심하게 발생하는 문제가 있어 경험분포에 90% 신뢰구간을 적용하여 이상자료를 Fig. 3과 같이 제거하였다. 1차 이상자료의 제거 과정을 통해 생성된 자료를 대상으로 종속변수와 독립변수간의 선형 관계에서의 이상자료를 판별하는 통계학적 분석방법으로 표준화 잔차(Standardized Residuals), 쿡의 거리(Cook's Distance), 표준화 DFFIT (Standardized Difference of Fits, DFFIT) 등의 방법을 사용하여 2차 이상자료를 검토하였다. 표준화 잔차는 잔차의 표준화 값으로 추정 회귀식으로부터 관측치가 얼마나 떨어져 있는지를 나타내는 것으로 절대값이 3보다 크면 이상값일 가능성이 높다. 쿡의 거리는 회귀직선의 모양(기울기나 절편 등)에 크게 영향을 미치는 자료들을 찾는 방법으로 절대값이 1보다 클 경우 이상값으로 판별한다. 표준화 DFFIT는 영향력 통계량을 검토하는 하나의 방법으로 특정한 경우를 제외하고 나타난 예측값의 변화량을 나타내며, 절대값이 2보다 큰 경우를 이상값으로 판별한다. 본 연구에서는 언급되어진 표준화 잔차, 쿡의 거리, 표준화 DFFIT를

상용 통계프로그램인 Statistical Package for the Social Sciences (SPSS; IBM, 2013)를 이용하여 이상자료를 제거하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었는데, 두 차례의 이상치 제거 과정을 통해 피해구간 길이, 평균유속 그리고 만곡도에 대한 2017년 기준 환산 피해액과의 결정계수는 각각 0.820, 0.545 및 0.555로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 통계학적 방법은 모든 독립변수를 포함하는 선형 회귀함수에서 이상자료를 찾기 때문에 만곡도와 같이 개별 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 알아보기 위해서 구한 결정계수는 경우에 따라 낮아질 수도 있다.

3.2 회귀분석을 통한 손실함수 개발

이상자료가 제거된 과거 피해자료들을 대상으로 지방하천시설물에 대한 손실함수를 상용 통계프로그램인 SPSS의 다중선형회귀식 기능을 이용하여 선형 형태의 회귀식과 함께 비선형 형태의 회귀식을 Table 1과 같이 개발하였다. 선형 및 비선형 형태로 개발되어진 회귀방정식(Regression Equation, R.Eq.)에 대한 결정계수는 Table 1의 R.Eq. (5)를 제외하고 대부분 비슷한 정도를 나타내었다. 본 연구에서는 수집된 피해자료의 범위보다 더 큰 규모의 재해가 발생

Fig. 3. Regression Graph for Dependent-Independent Variables after 1st Removing Outliers

Fig. 4. Regression Graph for Dependent-Independent Variables after 2nd Removing Outliers

Table 1. Development of Linear and Nonlinear Regression Equation

No.	Regression Equation (R.Eq.)	Determination Coeff. (R^2)	Selection
1	$DC_{LR} = 222.318 \times DL + 7176.293 \times V + 3504.165 \times S_n$	0.861	●
2	$DC_{LR} = -0.138 \times DL^2 + 4032.673 \times V^2 + 18785.179 \times S_n^2 + 320.522 \times DL + 30424.234 \times V + 51155.404 \times S_n$	0.874	
3	$DC_{LR} = 1614.492 \times DL^{0.634} \times V^{0.484} \times S_n^{0.438}$	0.884	
4	$DC_{LR} = 1168.450 \times DL^{0.750} + 390.502 \times V^{3.375} + 623.543 \times S_n^{3.692}$	0.874	
5	$DC_{LR} = DL^{1.846} + V^{9.548} + S_n^{9.648}$	0.610	

시 안정적인 피해액 추정 경향을 보일 수 있는 선형 형태의 회귀식인 R.Eq. (1)을 손실함수로 선정하였다. 함수 개발에서 함수 형태에 의한 결정계수가 확고한 차이를 보이지 않는 경우 일반적으로 선형 형태의 함수식을 선정하여 활용하고 있다.

$$DC_{LR} = 222.318 \times DL + 7176.293 \times V + 3504.165 \times S_n \quad (5)$$

여기서, DC_{LR} 은 지방하천시설물의 피해액(천 원, 2017년

환산액 기준)을 의미하며, DL 은 피해구간 길이(m), V 는 평균유속(m/sec) 그리고 S_n 은 하천의 만곡도를 의미한다.

4. 지방하천시설물 손실함수 적용성 검토

본 연구에서 개발된 지방하천시설물에 대한 손실함수의 적용성 검토를 위해 함수 개발에 직접적으로 사용된 2013년~2016년 자료와 함수 개발에 사용되지 않은 기왕년 자료를 포함하는 2009년~2016년 자료에 손실함수를 적용하여 적용성 및 정확성을 검토하였다. 적용 결과에 대한 객관적인

검토를 위하여 모형의 정확성에 대한 평가항목으로 많이 사용되는 지표인 오차(Error), 상대오차(Percentage Error, 이하 PE), 평균절대오차(Mean Absolute Error, 이하 MAE), 평균절대오차비(Mean Absolute Percentage Error, 이하 MAPE), 평균제곱근오차(Root Mean Squared Error, 이하 RMSE) 등을 검토하였다. Table 2는 함수 개발에 사용된 2013년부터 2016년까지의 피해자료 중 이상자료를 제외한 자료들을 대상으로 적용한 결과를 나타내고 있으며, Table 3은 2009년부터 2016년까지 이상자료를 포함한 전체 피해자료들을 대상으로 적용한 결과를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 이상자료를 제외한 자료들을 대상으로 한 Table 2의 RMSE는 약 1,296만 원~3,487만 원, 평균 2,591만 원으로 비교적 정확도가 높게 나타났으나, 과거 전체 자료를 대상으로 한 적용 결과인 Table 3에서는 RMSE가 약 1,672만 원~3억 원이며, 평균 1억 4,811만 원으로 크게 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 전체 자료를 대상으로 할 경우 연도별 자료에 포함되어 있는 이상자료로 인해 오차가 크게 증가한 것으로 사료된다.

5. 결 론

국내 지방하천에서 집중호우와 태풍으로 인해 발생 가능한 피해액을 추정하기 위하여 과거 국내에서 발생한 하천

피해자료를 수집하여 지방하천시설물에 대한 피해액을 추정할 수 있는 손실함수를 개발하였다. 본 연구에서 수행한 연구내용은 다음과 같다.

- (1) 2009년부터 2016년까지 국내에서 발생한 하천시설물에 대한 피해자료를 국가재난관리정보시스템(NDMS) DB로부터 수집하였으며, 지방하천시설물에서 발생한 피해자료를 분석하여 피해액 추정을 위한 손실함수의 독립변수로 피해구간 길이, 유속, 만곡도를 선정하였다.
- (2) 손실함수 개발을 위해 구축된 피해구간 길이, 유속, 만곡도 및 피해액 자료에 대한 이상자료 제거를 위해 경험분포 90% 신뢰구간 및 통계학적 방법(표준화 잔차, 쿡의거리, 표준화 DFFIT)을 적용하여 신뢰성 있는 자료들을 선별하였다.
- (3) 이상자료가 제거된 자료들을 이용하여 다양한 형태의 회귀식을 개발한 후 결정계수 비교 및 피해액 추정 경향 등을 고려하여 선형 형태의 지방하천시설물 손실함수를 개발하였으며, 과거 발생한 피해자료에 대해 적용하여 적정성을 검토하였다.

본 연구에서 개발된 호우·태풍 재해에 따른 지방하천시설물 손실함수는 기존의 제내지 내 침수구역 생성에 따라 피해액을 추정하는 방법론에 의해 예측하기 어려웠던 제외

Table 2. Application Results for the Selected Damage Data of Local River Facilities

Year	Actual Damage Cost (1,000won, 2017)	Estimated Damage Cost (1,000won, 2017)	Error (1,000won)	PE (%)	MAE (1,000won)	MAPE (%)	RMSE (1,000won)
Total	7,553,397	7,622,426	69,029	1	19,820	76	25,912
2013	5,702,188	5,522,747	- 179,441	- 3	19,395	68	24,596
2014	449,578	505,483	55,905	12	21,721	166	34,871
2015	5,621	18,580	12,959	231	12,959	231	12,959
2016	1,396,010	1,575,616	179,606	13	21,732	50	27,091

Table 3. Application Results for the Total Damage Data of Local River Facilities

Year	Actual Damage Cost (1,000won, 2017)	Estimated Damage Cost (1,000won, 2017)	Error (1,000won)	PE (%)	MAE (1,000won)	MAPE (%)	RMSE (1,000won)
Total	122,797,103	90,635,874	- 32,161,229	- 26	60,646	140	148,114
2009	17,002,443	15,581,872	- 1,420,571	- 8	37,045	86	82,575
2010	29,985,608	19,819,772	- 10,165,836	- 34	106,988	303	300,068
2011	47,459,500	33,584,827	- 13,874,673	- 29	53,976	113	102,235
2012	16,303,233	10,202,735	- 6,100,498	- 37	59,527	120	147,920
2013	9,152,322	7,212,369	- 1,939,953	- 21	31,104	171	53,369
2014	543,011	1,605,736	1,062,725	196	75,835	336	176,375
2015	8,102	40,846	32,744	404	16,372	514	16,724
2016	2,342,884	2,587,717	244,833	10	32,422	76	45,453

지 내 시설물에 대한 직접적인 피해액을 추정할 수 있는 함수이다. 이와 같은 손실함수는 하천에서의 피해액 규모를 사전에 예측함으로써 대규모 재산피해가 예상되는 지역에 대한 선제적 예방조치 등의 하천 피해저감 활동에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05). 이 논문은 2018년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

References

- Choi, C.K., Kim, G.H., Yeo, K.D., Shim, M.P., and Choi, Y.S. (2013). Optimal size determination of flood mitigation facilities in a watershed using geo-spatial information system and economic analysis: Focused on dam height raise project. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 16, No. 4, pp. 64-78.
- 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. *J. Korea Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 6, pp. 421-431.
- Choi, S.A. (2007). *Analysis of economic effectiveness for flood control of dam*. Ph.D. dissertation, Inha University.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2011). *HAZUS-MH technical manual*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). *Getting Started with HAZUS-MH 2.1*.
- FLOODsite. (2007). *Evaluating flood damages: Guidance and recommendations on principles and methods*. Rept No. T9-06-1, Retrieved from <http://www.floodsite.net>
- Green, C.H., Viavattene, C., and Thompson, P. (2011). *Guidance for assessing flood losses: CONHAZ report*. WP6 Report, Flood Hazard Research Centre - Middlesex University, London, UK.
- IBM. (2013). *SPSS statistics 22 algorithms*.
- Korea Environment Institute (KEI). (2012). *Economic analysis of climate change in Korea*.
- Kim, G.H. (2013). *A study on estimation of flood damage and development of flood damage index on public facilities*. Ph.D. dissertation, Inha University.
- Kim S.H., Lee C.H., and Kim Y.S. (2016a). Current Status and Improvement of Flood Damage Estimation for Public Assets, *Water for Future*, Korea Water Resources Association, Vol. 49, No. 1, pp. 56-61.
- Kim, S.H., Lee, C.H., Kim, Y.S., and Hwang, S.B. (2016b). A study on development of flood damage estimation function for river infra structure with NDMS and WAMIS. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 16, No. 4, pp. 81-87.
- Kok, M., Huizinga, H.J., Vrouwenfelder, A.C.W.M., and Barendregt, A. (2004). *Standard method 2004 damage and casualties caused by flooding*. Report No. DWW-2005-009, Road and Hydraulic Engineering Institute, Nederland.
- Kreibich, H., Seifert, I., Merz, B., and Thielen, A.H. (2010). Development of FLEMOcs - A new model for the estimation of flood losses in the commercial sector. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 55, No. 8, pp. 1302-1314.
- Lee, K.H., Choi, S.A., Kim, H.S., and Shim, M.P. (2006). Application of multi-dimensional flood damage analysis for urban flood damage. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 4B, pp. 363-369.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., and Thielen, A. (2010). Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards Earth System Sciences*, Vol. 10, pp. 1697-1724.
- Ministry of Construction River Bureau (建設省 河川局). (2000). *Flood control economic research manual (Draft)* (治水経済調査マニュアル(案)). Japan.
- Ministry of the Interior and Safety. (2009~2017). *Statistical yearbook of natural disaster*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (2000). *River design criteria*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (2001). *A study on economic analysis of flood protection*.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (2004). *A study on economic analysis in flood control projects - Multi-dimensional flood damage analysis*.
- Munich-Re. (1997). *Flooding and insurance*. No. 302-00751, Munich Re- insurance Co. München, Germany, pp. 11-17.
- Natrional Disaster Management Research Institute (NDMI). (2012). *Study on development of loss estimation method for urban flood*.
- Natrional Disaster Management Research Institute (NDMI). (2013). *Detailed design of disaster loss estimation*

system and investigation of disaster area.

- Park, S.H. (1999). *Regression analysis*. Seoul: Minyoungsa.
- Penning-Rowsell, E., Priest, S., Parker, D., Morris, J., Tunstall, S., Viavattene, C., et al. (2013). *Flood and coastal erosion risk management: A manual for economic appraisal*.
- Seifert, I., Kreibich, H., Merz, B., and Thielen, A.H. (2010). Application and validation of FLEMOcs - A flood-loss estimation model for the commercial sector. *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 55, No. 8, pp. 1315-1324.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2008). *HEC-FDA*

flood damage reduction analysis user's manual.

- Yi, C.S., Lee, J.H., and Shim, M.P. (2010). GIS-based distributed technique for assessing economic loss from flood damage: Pre-feasibility study for the Anyang Stream Basin in Korea. *Natural Hazards*, Vol. 55, No. 2, pp. 251-272.

Received	October 14, 2019
Revised	October 15, 2019
Accepted	November 8, 2019