기후변화에 따른 미래 홍수관련 재산 피해 위험 관리 방안 분석

Analysis of the Risk Management Strategy for Future Flood-Related Property Damage Due to Climate Change

김광섭* · 김묘정**

Kim, Gwangseob*, and Kim, Myojeong**

Abstract

In this study, we analyzed countermeasure strategies such as the pump system capacity, detention basin storage capacity, drainage system supply capacity, and river restoration ratio to cope with the flood damage increase due to climate change. To establish countermeasure strategies against future property damage from flooding, we collected 19 GCM outputs, extreme hydrological characteristic data, basin characteristic data, and several observation data including four countermeasures for 113 mid-size basins. The relationships between the property damage by flooding other variables were analyzed using a constrained multiple linear regression model. The future property damage was estimated to be the largest in the Namhangang river basin and the Yangyang Namdaechon basin and was larger in the RCP 8.5 scenario than in the RCP 4.5 scenario. To prepare for this, when the four countermeasures were improved within the available room, the magnitude of the property damage was reduced to below the average or current property damage. However, there were limitations in the cost and manpower of improving all the countermeasures. For this purpose, it is necessary to establish an optimal plan by using multi-criteria decision-making methods.

Key words : Future Property Damage by Flooding, Constrained Multiple Linear Regression, GCM, Risk Management Strategy

요 지

홍수로 인한 재산 피해가 기후변화의 영향으로 증가함에 따라, 본 연구에서는 배수펌프시설용량, 우수지저류용량, 하수도 보급률, 하천개수율 등 4가지 치수 대책의 미래 홍수피해액 저감을 위한 위험 관리 방안을 분석하였다. 미래 홍수로 인한 재산 피해에 대한 대책 수립을 위하여 4가지 치수 대책을 비롯하여 19개 GCM 모형의 RCP 4.5 시나리오, RCP 8.5 시나리오에서 생산된 극치 수문량과 유역 특성 자료 및 홍수로 인한 재산 피해 현황 등의 관측 강우자료를 수집하여 113개 중권역에 대하여 분석 자료를 구축하였다. 구축된 수문, 유역 특성 자료와 홍수로 인한 재산 피해액 자료의 상관성을 구축 다중선형회귀 모형을 이용하여 홍수로 인한 재산 피해 추정치를 산정하였다. 이를 바탕으로 19개 GCM 모형에서 생산된 강우자료를 활용하여 미래의 홍수로 인한 재산 피해 추정치를 예측하였다. 미래 재산 피해를 추정한 결과, 재산 피해 추정액은 남한강 상류 유역과 양양 남대천 유역에서 피해 규모가 가장 크고, RCP 4.5 시나리오 결과보다 RCP 8.5 시나리오 피해 규모가 더 크게 추정되었다. 이를 대비하기 위해 4가지 치수 대책을 개선 가능 범위 내에서 개선하였을 시, 현재 발생한 재산 피해 평균 이하 혹은 현재 피해 정도로 피해 규모가 감소하는 것으로 분석되었다. 그러나 4가지 치수 대책을 개선하는 것은 비용, 인력 등의 한계를 지니며 이를 위해 다기준 의사결정 방법 등을 활용하여 최적 방안 마련이 필요한 것으로 판단된다.

핵심용어 : 미래 홍수 재산 피해, 구축 다중선형회귀, GCM, 위험 관리 방안

*교신저자, 정회원, 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수(Tel: +82-53-950-5614, Fax: +82-53-950-6564, Email: T.H.gs@knu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Civil Engineering, Kyungpook National University

**국토안전관리원 안전진단본부 댐항만실 직원

Engineer, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety

1. 서 론

기후변화의 지역적 영향으로 수재해의 강도와 발생 빈도가 증가하는 지역이 많아지고, 이러한 영향으로 댐, 저수지, 제방과 같은 수공구조물의 붕괴와 하천 생태계의 훼손 및 홍수로 인한 재산 피해 증가가 예상된다. 이에 따라 기후변화로 인한 홍수관련 위험의 예측과 관리 방안 마련이 필요하다. 관련 위험 관리를 위해 홍수 통합 관리 및 종합 홍수 대책 수립에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한 홍수로 인한 다양한 침수 영향에 대한 분석과 홍수 위험 지도 작성의 필요성이 대두되어 홍수 위험도 관련 웹 Geographic Information System (GIS)를 이용한 실시간 정보를 활용한 위험 정보 제공에 관한 연구가 진행되고 있다. 미국의 경우 수재해관련 위험 관리를 위해 1936년부터 2013년까지 발생한 홍수 사상들에 대한 위험 분석을 하였으며(Saharia et al., 2017), 이외에도 수재해 위험 관리를 위해 국내외 유관 기관에서 기후변화에 따른 홍수 위험 분석 및 대응에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한 특정 지역 사회, 지자체, 나라, 전세계 등 지역의 경계와 상관없이 수재해에 대한 위험 관리 대책을 마련하고 있으며(Wilby and Keenan, 2012), 홍수의 위험에 대한 객관화 및 정량화를 통하여 수재해의 위험 관리 방안을 마련하고 있다(Aronica et al., 2012; Kandilioti and Makropoulos, 2012). 기후변화의 영향을 고려한 홍수 위험의 정량화 연구도 진행되었으며(Jun et al., 2013), 이러한 홍수 위험의 정량화는 홍수로 인한 재산, 인적 피해 추정치를 제시하고 위험 저감을 위한 위험 관리 방안 수립의 기초 자료로 활용할 수 있다(Koks et al., 2015). 이 외에도 돌발홍수에 대한 건물 취약성 관련 연구(Ettinger et al., 2016), 도농 공동체에서 제방 구조물 침수시 취약성 평가 연구(Zachos et al., 2016), 동수역학적 모형을 사용하여 발생한 폭풍 해일에 대한 구조적 취약성 평가 연구(Hatzikyriakou and Lin, 2017) 등 다양한 연구가 진행되고 있다.

국내에서는 계산 홍수위 신뢰도와 관련된 다양한 요인 분석 결과를 바탕으로 하천 단면의 월류 위험도를 정량화하는 연구가 이루어졌으며(Kim et al., 2003), 홍수에 노출된 지역의 인구수, 경제 활동의 형태, 홍수로 인한 2차 피해가 발생할 설비 등 다양한 변수를 고려하여 홍수 취약도를 정량적으로 산정하는 연구도 진행되었다(T.H. Kim et al., 2011). 댐 하류지점의 홍수 조절 효과를 다양한 외부 변수를 Fuzzy 집합이론을 적용하여 홍수 조절 효과를 정량화하기도 하였으며(J. Kim et al., 2011), 기후변화 및 대규모 하천 정비 사업의 영향으로 인한 홍수에 대한 취약성 변화 연구도 진행되었다(Kim et al., 2012). 또한, 비정상성을 고려한 기후변화에 따른 미래의 홍수 취약도 변화(Sung et al., 2012), 유형별 홍수 피해에 대한 극치 강우 특성의 상관성을 분석하여 홍수 피해 취약성 비교(Lee et al., 2013), 및 최근 홍수 피해 유형에 따른 홍수 위험을 비교하고 기후변화에 따른

미래 홍수로 인한 재산 피해 예측에 관한 연구가 진행되었다(Kim and Kim, 2018a; Kim and Kim, 2018b).

기후변화의 영향으로 인하여 증가하는 홍수로 인한 재산 피해에 효율적으로 대처하기 위하여 미래의 홍수로 인한 재산 피해 추정액 산정이 필요하고 추정된 재산 피해와 치수 대책의 개선 정도 분석을 바탕으로 위험 관리가 필요하다. 본 연구에서는 가용 관측자료와 Global Climate Models (GCM) 모의 자료를 활용하여 홍수로 인한 재산 피해의 현황 및 미래 변화를 분석하고 광역에서의 홍수 피해로 인한 재산 피해 추정액을 산정하고 분석하였다. 또한, 추정된 재산 피해액과 치수 대책 개선 가능 정도 범위를 분석하고 이에 따른 위험 관리 방안을 제시하였다. 홍수로 인한 재산 피해 추정을 위해 2000~2016년에 대하여 수집한 지점 및 행정구역 자료를 113개의 중권역 단위 자료로 구성하였으며, 19개 GCM 결과 자료를 이용하여 미래 홍수 피해액 예측 및 펌프장 성능, 저류지 규모, 하천개수 및 하수도 보급 개선에 따른 피해액 저감 특성을 분석하였다.

2. 연구방법 및 입력 자료

2.1 구속 다중선형회귀모형(Constrained Multiple Linear Regression Model, CMLR)

다중회귀모형은 다양한 독립변수가 하나의 종속변수에 영향을 미치는 모형으로, 다중회귀모형을 이용한 분석의 가장 큰 장점은 특정한 하나의 독립변수가 다른 독립변수가 통제되었을 때 종속변수에 영향을 미치는 정도를 측정하는 것이다. 다중회귀모형을 이용한 분석을 통해 독립변수들 중 어떤 변수가 가장 큰 영향을 미치는지 분석할 수 있다. 이러한 이유로 단순회귀모형에서 다중회귀모형으로 확장함에 있어 이론적으로 ‘독립변수 간 다공선성과 상호작용효과가 존재하지 않는다.’라는 가정이 추가된다.

다중회귀모형 중 하나인 다중선형회귀는 하나의 종속변수와 2개 이상의 선형 상관관계 분석하는 회귀 분석 기법으로 추가적인 독립변수를 도입함으로써 오차항의 값을 줄일 수 있는 장점이 있으므로 최적 가중치를 산정할 수 있는 기법이다. 본 연구에서는 미래 홍수로 인한 재산 피해를 예측하기 위하여 다중선형회귀 모형에서 파생된 구속 다중선형회귀모형을 사용하였다. 기존의 다중선형회귀모형은 실제 홍수로 인한 재산 피해 현황을 잘 구현하기 위하여 홍수 피해를 저감시키는 변수와 홍수 유발의 원인을 제공하는 변수를 구분하지 않고 회귀계수를 산정하나, 물리적 타당성을 고려하여 회귀계수의 구속조건을 반영한 다중선형회귀모형의 경우 홍수 피해 저감관련 변수는 음의 계수로 홍수 피해 유발 변수는 양의 계수로 설정하여 물리적으로 타당한 상관관계를 반영한다. Eq. (1)은 구속 다중선형회귀모형의 기본식을 나타낸다.

$$Cost = \alpha + \sum_{i=1}^n \alpha'_i X_i + \sum_{j=1}^m \alpha''_j Y_j + \epsilon \quad (1)$$

여기서, $Cost$ 는 홍수로 인한 재산 피해 현황, X_i 는 유역의 특성값과 수문 특성값을 반영하는 변수이고, Y_j 는 다양한 치수 대책을 나타내는 변수이다. α'_i 는 양의 회귀계수, α''_j 는 음의 회귀계수이다. 본 연구의 입력 변수는 홍수 피해액의 현황 및 미래 홍수 피해액 예측을 위하여 113개 중권역에 대한 유역 특성값(DEM, 도로 등의 사회 간접 시설, 자산 밀도, 시가화율, 인구 밀도) 5가지와 수문 특성값(10분 최대 강우량, 1시간 최대 강우량, 1일 강우량 80 mm 초과 일수, 일 최대 강우량, 연강수량) 5가지 및 홍수 저감을 위한 특성값(하수도 보급률, 하천 개수율, 펌프장 용량, 우수지 저류 용량) 4가지를 입력 변수로 사용하였다.

2.2 입력 자료 구축

기후변화에 따른 홍수로 인한 재산 피해 추정액 산정과 그에 따른 위험 관리를 위해서 현재까지 발생한 피해 현황을 파악하고, 홍수 피해를 일으키는 요소와 홍수 피해를 저감시킬 수 있는 요소를 분석하여 가용자료를 수집하였다. 또한 홍수로 인한 재산 피해액 현황과의 상관 분석을 위하여 2000~2016년의 홍수 피해액 자료를 수집하였다. 홍수 피해를 발생시키는 결정적인 요소로 호우와 연관된 극치 수문량과 유역 특성치를 수집하였으며, 홍수로 인한 피해 저감을 위한 요소로는 외수범람과 내수침수에 대한 대응 치수 변수들을 수집하였다.

10분 최대 강우량, 1시간 최대 강우량, 1일 강우량 80 mm 초과 일수, 일 최대 강우량, 연강수량과 유역 특성을 나타내는

DEM, 도로 등의 사회 간접 시설, 자산 밀도, 시가화율, 인구 밀도, 하수도 보급률, 하천 개수율, 펌프장 용량, 우수지 저류 용량, 홍수와 연관된 재산 피해액 등의 관측 자료를 이용하여 분석 자료를 구축하였다.

중관기상관측시스템의 70개 관측지점에 대한 지상관측 값을 수집하여 중권역에 대한 극치 수문 특성값을 역거리 가중법을 이용하여 산정하였다. 극치 수문 특성값으로 10분 최대 강우량, 1시간 최대 강우량, 1일 강우량 80 mm 초과 일수, 일 최대 강우량, 연강수량을 구축하였고, 유역 특성값으로 유역에 대한 DEM, 도로 등의 사회 간접 시설, 자산 밀도, 시가화율, 인구 밀도 등을 활용하였다. 특히 인구 밀도 자료는 행정안전부에서 제공하는 행정동 단위의 주민등록 인구통계를 사용하였다. 자산 밀도 자료는 국토교통부에서 제공하는 시군구 단위의 부동산 가격공시에 관한 연차보고서와 지가변동을 통계 자료를 사용하였다. 시가화율과 도로 현황 자료 또한 시군구 단위의 지적통계 자료를 사용하였다. 홍수로 인한 재산 피해액의 저감과 관련된 변수로는 하수도 보급률, 하천 개수율, 펌프장 용량, 우수지 저류 용량 자료를 사용하였다. 하천 개수율 자료의 구축을 위하여 한국하천일람에서 제공하는 하천별 하천의 완전개수, 요개수 등의 개수 상태와 관련한 자료를 사용하여 중권역 자료로 구축하였다. 하수도 보급률과 배수 펌프장 용량, 우수지 저류 용량 자료는 환경부에서 제공하는 시군구 단위의 하수도 통계 자료를 이용하였다. 홍수로 인한 피해액 정보는 재해 연보에서 제공하는 기간별 시군구 형태의 자료를 활용하여 각종 홍수 피해액과 관련된 자료를 수집하여 연도별-시군구 형태로 구축하였다(Table 1).

수집한 수문 특성값, 유역 특성값, 치수 대책 변수와 홍수

Table 1. Information of Input Data

	Indicators	Type of data	Source
(a) Hydrological characteristics	Hourly maximum rainfall (mm/hr)	Point	Korea Meteorological Administration
	Ten minute maximum rainfall (mm/10min)		
	Total days of heavy rainfall (day)		
	Annual precipitation (mm/year)		
	Daily maximum rainfall (mm/day)		
(b) Basin characteristics	DEM (m)	Basin	WAMIS
	Density of population (人/km ²)	Eup, Meon, Dong	Ministry of the Interior and Safety
	Density of asset (₩/km ²)	City, Gun, Gu	Ministry of Land, Infrastructure and Transport
	Urbanization ratio (%)		
	Road statistics (km)		
(c) Counter measures for flood defense	River restoration ratio (%)	Basin	KOSIS
	Supply ratio of sewerage network (%)	City, Gun, Gu	Han River Flood Control Office
	Pump system capacity (m ³ /min)		
	Detention basin storage capacity (m ³)		
(d) Status of disaster	Property damage by flood (₩)	City, Gun, Gu	Ministry of Environment

로 인한 피해액 관련 자료들은 변수별로 단위와 범위가 다르므로 각 자료에 대하여 1과 11 사이의 값으로 표준화하여 적용하였다. 단위와 범위가 다른 자료를 이용한 지수산정 시 많이 사용하는 방법으로 최대값과 최소값을 이용하는 방법과 평균과 표준편차를 이용하는 방법이 있으며, 본 연구에서는 Eq. (2)와 같이 표준화된 변수가 음의 값을 가지지 않는 최대값과 최소값을 이용하는 방법에 모든 지수의 값을 1 이상으로 값이 되도록 0.1을 더한 후 10을 곱하여 사용하였다.

$$y_{nor} = \left(\frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} + 0.1 \right) \times 10 \quad (2)$$

여기서, y_{nor} 는 표준화된 변수, x 는 각 변수의 원자료, $y_{\min}$ 는 각 변수의 최소값, $y_{\max}$ 는 각 변수의 최대값을 의미하며 1~11 값으로 표준화하였다. 시가화율, 자산 밀도, 도로 현황, 인구 밀도, 하수도 보급률, 배수펌프의 용량, 유수지용량 및 홍수로 인한 재산 피해액 정보는 행정동과 시군구 단위로 구성되어 유역 특성값과 수문 특성값 같이 중권역 단위로 환산하여 적용하였다. 중권역 단위로 행정구역 단위의 자료를 환산하는 방법은 중권역과 행정구역이 중첩되는 면적을 산정하여 각 특성값에 대한 면적가중치를 적용하여 중권역 단위로 환산하였다.

기후변화에 따른 미래의 재산 피해를 추정하기 위하여 미래의 극치 수문 특성 및 유역 특성 정보를 수집하였으며,

수집한 19개 GCM의 정보는 Table 2에 나타내었다. 특히 GCM의 극치 수문 특성 중 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우인 RCP 8.5 시나리오와 온실가스 저감 정책이 상당히 실행되는 경우인 RCP 4.5 시나리오를 활용하였다. Yoon and Kim (2012)은 비선형 회귀 모형을 이용한 유역 특성 추계 방법을 제시하였으며, 본 연구에서는 유역 특성 중 인구 밀도를 제외한 자산 밀도, 시가화율, 도로 현황의 미래 자료는 현재의 자료를 바탕으로 거둬제공 형태의 외삽법을 이용하여 미래 유역 특성으로 예측하였고, 미래 인구 밀도는 2040년까지 통계청에서 장래추계인구를 제공하고 있어 이를 활용하고 이후의 자료는 여타 다른 유역 특성 자료와 동일하게 거둬제공 외삽법을 이용하여 미래 인구 밀도를 예측하였다.

3. 홍수로 인한 재산 피해 미래 예측 및 치수 대책

3.1 재산 피해 미래 예측

기존에 활용하였던 홍수 위험 지수 산정 방법은 특정 홍수 피해 유형을 반영한 홍수 위험 지수이기보다는 종합적인 홍수 위험 지수로 홍수로 인한 재산 피해의 미래를 예측하고 위험을 경감시키는 치수 대책 제시에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 본 연구에서는 CMLR 방법을 이용하였다. 재산 피해 현황과 CMLR 방법으로 산정한 홍수 위험 지수의 비교·검증하기 위하여 평균 제곱근 오차 Root

Table 2. Information of 19 GCMs

No.	GCMs	Institution	Resolution [o]
1	CESM1-BGC	National Center for Atmospheric Research	1.250 × 0.942
2	CCSM4	National Center for Atmospheric Research	1.250 × 0.942
3	MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute	1.125 × 1.122
4	NorESM1-M	Norwegian Climate Centre	2.500 × 1.895
5	CESM1-CAM5	National Center for Atmospheric Research	1.250 × 0.942
6	CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques	1.406 × 1.401
7	MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	1.875 × 1.865
8	MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	1.875 × 1.865
9	HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre	1.875 × 1.250
10	INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics	2.000 × 1.500
11	GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.500 × 2.023
12	GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.500 × 2.023
13	MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo)	1.406 × 1.401
14	CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	0.750 × 0.748
15	CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici	1.875 × 1.865
16	HadGEM2-AO	Met Office Hadley Centre	1.875 × 1.250
17	CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	2.813 × 2.791
18	IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	3.750 × 1.895
19	IPSL-CM5B-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	3.750 × 1.895

Mean Square Error (RMSE), 상관계수 R, 평균 절대 백분율 오차 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)를 사용하였다. 검정 통계량은 지수에 대한 평균 제공근 오차는 0.23, 상관계수는 0.43, 평균 백분율 오차는 0.09로 산정되었다 (Table 3). 홍수 위험 지수의 전체적 거동을 선형 변화로만 나타내기에는 한계가 있으며 여타 모형은 과적합의 문제가 있으므로 CMLR 방법을 적용한 홍수 위험지수 미래 예측에 한계가 분명히 존재하나, 검정 통계량의 결과를 종합적으로 고려하였을 때 홍수로 인한 미래 재산 피해에 대한 합리적 전망을 가능하게 할 것으로 판단된다.

Fig. 1은 2000-2016년 사이에 발생한 홍수관련 재산 피해의 평균, 구축 다중선형회귀모형으로 산정한 목표연도별 홍수로 인한 재산 피해의 평균 추정액과 그에 따른 위험 관리 필요 유역을 나타내었다. 목표연도는 현황을 Y0로 표현하고 미래를 FY1, FY2, FY3로 표현하였다. Y0는 2000년부터 2016년까지 실제 피해가 발생한 재산 피해의 평균이고, FY1은 19개 GCM 모형을 RCP 4.5와 8.5 시나리오 적용에 따른 2010년부터 2039년까지의 평균, FY2는 GCM 모형 적용에 따른 2040년부터 2069년까지의 평균, FY3는 GCM 모형 적용에 따른 2070년부터 2099년까지의 평균이다. 기후 변화에 따른 미래 홍수로 인한 재산 피해 추정액은 태풍 매미 및 태풍 루사의 내습으로 인하여 재산 피해가 상대적으로

로 많았던 강원도 동해안 유역에서 재산 피해 추정액 증가율이 더 높게 추정되는 경향을 보이며, 이뿐만 아니라 낙동강 유역의 남강댐 유역과 감천 유역에서 다른 유역에 비하여 상대적으로 재산 피해 추정액이 미래로 갈수록 높게 추정됨을 알 수 있다.

Table 4는 대권역에 대한 목표연도별 홍수로 인한 재산 피해 추정액의 평균과 현황 대비 미래 재산 피해의 증감률을 나타내었다. 전국 113개 중권역 중 한강유역에 포함되는 유역은 26개 유역, 낙동강유역에 포함되는 유역은 33개 유역, 금강유역에 포함되는 유역은 21개 유역, 섬진강유역에 포함되는 유역은 15개 유역, 영산강유역에 포함되는 유역은 14개 유역으로 낙동강 유역에 포함되는 유역이 가장 많고 영산강 유역에 포함되는 유역이 가장 적다. 대유역별 포함되는 유역의 수가 2배 이상 차이로 인하여 대유역에서 발생하는 재산 피해 추정액 합계가 아닌 재산 피해 추정액의 평균을 이용하여 비교하였다. 2000년부터 2016년까지 홍수로 인하여 재산 피해가 가장 많이 발생한 유역은 한강유역으로 평균 156억 원의 피해가 발생하였고, 영산강유역에서 평균 27억 원의 피해가 발생하여 가장 적은 피해가 발생하였다. 17년간 평균 재산 피해가 가장 많이 발생한 한강유역에서 RCP 4.5 시나리오에서 FY3 기간으로 갈수록 평균 392억 원의 재산 피해가 추정되며, RCP 8.5 시나리오에서는 FY3 기간으로 갈수록

Table 3. Test Statistics

RMSE	R	MAPE
0.231	0.433	0.087

Fig. 1. Average of the Estimated Property Damage from Flood and Basin Requiring Risk Management for Different Target Periods According to Climate Change

Table 4. Average of the Estimated Property Damage by the Large-scale Basin (billion) and the Rate of Increase and Decrease (%)

Basin	Current (2010-2016) Avg.		RCP 4.5			RCP 8.5		
			FY1	FY2	FY3	FY1	FY2	FY3
Hangang	15.6	Avg.	28.3	37.7	39.2	29.4	36.6	51.3
		Ratio	81.7%	142.1%	151.6%	88.9%	134.6%	229.2%
Nakdonggang	12.4	Avg.	15.9	20.0	22.7	17.6	21.9	29.5
		Ratio	27.5%	60.6%	82.2%	41.8%	75.9%	137.4%
Geumgang	4.0	Avg.	8.4	11.9	13.5	9.2	12.4	16.4
		Ratio	107.9%	194.3%	234.3%	127.6%	208.2%	306.8%
Seomjingang	6.1	Avg.	7.2	8.9	10.8	7.5	9.8	13.7
		Ratio	16.9%	44.5%	75.9%	22.3%	59.5%	123.7%
Yeongsangang	2.7	Avg.	5.4	6.8	7.9	5.7	7.3	9.7
		Ratio	95.5%	147.8%	186.4%	108.5%	166.9%	251.9%
Korea	9.3	Avg.	14.6	19.1	20.9	15.6	19.7	26.9
		Ratio	57.0%	105.4%	125.1%	68.1%	111.6%	190.1%

*FY1: 2010-2039, FY2: 2040-2069, FY3: 2070-2099

평균 513억 원의 재산 피해가 추정되어 정량적인 증가량이 가장 많이 산정되었다. 17년간 평균 40억 원의 재산 피해가 발생한 금강유역에서 FY3 기간에 RCP 4.5 시나리오로 135억 원의 재산 피해가 추정되고 동일 기간에 RCP 8.5 시나리오로 164억 원이 추정되어 각 시나리오에 따라 234%, 307% 증가하여 대권역 중 가장 높은 증가율이 추정되었다. 17년간 전국의 평균은 93억 원의 재산 피해가 발생하였으며 기후변화에 따라 RCP 4.5 시나리오에서 FY3 기간에 증가율이 125%인 209억 원의 재산 피해가 추산되고 동기간에 RCP 8.5 시나리오에서 증가율이 190%인 269억 원의 재산 피해가 추산되었다. 미래 재산 피해 추정액 결과를 바탕으로 치수 대책 수립이 필요한 강원도 동해안 같은 유역에 대한 투자 우선순위를 파악할 수 있고 치수 대책 현황과 개선 가능 범위 분석을 통하여 유역별로 타당한 위험 관리 대응 전략 수립이 가능할 것으로 판단된다.

3.2 미래 침수 피해 예측

기후변화에 따라 증가하는 홍수로 인한 재산 피해에 대하여 위험 관리 전략을 제시하기 위하여 본 연구에서 구축 다중선형회귀모형 구성 시 음의 회귀계수로 설정한 홍수 대응 능력 관련 변수를 활용하였다. 본 연구에서 사용한 홍수 대응 능력 관련 변수는 하천 개수율, 하수도 보급률, 우수에 대한 양수량, 우수지용량 등 4가지를 활용하였으며, 4가지 치수 대책 변수의 현황 및 개선 가능 범위를 분석하여 치수 대책 변수 개선을 통한 위험 관리 전략을 제시하였다. 하천 개수율 및 하수도 보급률의 개선 가능 범위는 100%에서 현황을 제외한 범위이며, 우수에 대한 양수량과 우수지 용량의 개선 가능 범위는 현황과 관계없이 각 중권역에서 우수에

대한 양수량과 우수지 용량의 증가량이 많을수록 좋으나 치수 대책 개선에 필요한 사업비, 설치부지 등 현실적인 부분을 고려해야 하므로 본 연구에서는 현황의 3배로 개선 가능 범위를 한정하였다(Fig. 2). 각 치수 대책 변수에 대해 개선 가능 범위 분석 이후 본 연구에서는 차례로 하천 개수율의 개선, 하수도보급률의 개선, 우수에 대한 양수량의 증가, 우수지 용량 증가 시 홍수로 인한 재산 피해 추정액의 증감에 대한 변화 분석을 통한 위험 관리 전략을 제시하였다.

하천 개수율의 개선으로 감소한 목표연도별 홍수로 인한 재산 피해의 평균 추정액과 그에 따른 추가 대책이 필요한 유역을 Fig. 3에 나타내었다. Table 5는 하천 개수율의 개선으로 변화된 목표연도별 재산 피해 추정액 평균과 현황 대비 미래 재산 피해 증감률을 나타내었다. 양양 남대천 유역, 낙동강 상류부, 섬진강과 영산강 유역을 중심으로 홍수로 인한 재산 피해가 감소함을 알 수 있다. 특히 섬진강 유역의 경우 현재 발생하는 피해와 비교할 때, 하천 개수율의 개선만으로 재산 피해 추정액이 최대 120% 감소하여 현재 대비 3%의 증가율을 나타내었다. 현재 재산 피해가 가장 많이 발생하는 한강 유역의 경우 하천 개수율의 개선으로 RCP 8.5 시나리오에서 FY3 기간에 74억 원 재산 피해 추정액이 감소하는 것으로 산정되어 정량적인 재산 피해 추정액 감소량이 가장 높은 유역으로 선정되었다. 금강 유역은 재산 피해 추정액이 현재 대비 최고 307% 증가하는 유역으로 금강 유역의 하천 개수율의 개선으로 인하여 재산 피해 증가율이 124% 감소한 183%가 증가할 것으로 추산되었다. 하천 개수율의 개선으로 인하여 전국적으로 RCP 4.5 시나리오에서는 47억 원, RCP 8.5 시나리오에서는 58억 원의 재산 피해가 감소할 것으로 추정되며, 이는 50%와 63%가 감소한

Fig. 2. Current Status and Room of Counter Measures for Flood Defense

Fig. 3. Risk Management Strategy According to Climate Change-Improve River Restoration Ratio

Table 5. Average of the Estimated Property Damage According to Risk Management Strategy (billion) and the Rate of Increase and Decrease (%) - Improve River Restoration Ratio

Basin	Current Avg. (2010-2016)		RCP 4.5			RCP 8.5		
			FY1	FY2	FY3	FY1	FY2	FY3
Hangang	15.6	Avg.	22.6	31.9	32.6	25.5	30.3	43.9
		Ratio	44.9%	104.3%	109.1%	63.8%	94.6%	181.8%
Nakdonggang	12.4	Avg.	12.7	16.1	18.2	14.1	16.5	23.3
		Ratio	2.0%	29.4%	46.4%	13.0%	32.6%	87.6%
Geumgang	4.0	Avg.	5.5	8.0	9.1	6.5	8.2	11.4
		Ratio	35.2%	97.8%	124.4%	60.6%	102.8%	182.6%
Seomjingang	6.1	Avg.	4.3	4.9	5.7	3.6	4.3	6.3
		Ratio	-30.1%	-20.4%	-6.5%	-41.5%	-29.2%	3.1%
Yeongsangang	2.7	Avg.	4.2	5.1	5.9	4.5	5.5	7.4
		Ratio	52.3%	86.0%	115.2%	64.7%	101.2%	171.1%
Korea	9.3	Avg.	11.2	15.0	16.2	12.4	14.8	21.1
		Ratio	20.4%	61.8%	74.8%	33.7%	59.4%	127.5%

*FY1: 2010-2039, FY2: 2040-2069, FY3: 2070-2099

Fig. 4. Risk Management Strategy According to Climate Change-Improve River Restoration Ratio and Drainage System Capacity Ratio

75%, 128%의 재산 피해 증가율을 나타낸다. 재산 피해가 가장 많이 증가할 것으로 추정되는 남한강 상류, 양양 남대천

을 비롯한 전반적인 한강 유역, 남강댐, 감천 유역을 중심으로 추가 위험성 관리가 필요할 것으로 판단된다.

Table 6. Average of the Estimated Property Damage According to Risk Management Strategy (billion) and the Rate of Increase and Decrease (%)—Improve River Restoration Ratio and Drainage System Capacity Ratio

Basin	Current Avg. (2010-2016)		RCP 4.5			RCP 8.5		
			FY1	FY2	FY3	FY1	FY2	FY3
Hangang	15.6	Avg.	18.5	26.4	26.6	21.0	24.7	36.7
		Ratio	18.4%	69.4%	70.4%	34.5%	58.1%	135.3%
Nakdonggang	12.4	Avg.	10.1	12.8	14.4	8.7	10.0	15.3
		Ratio	-18.4%	3.1%	16.2%	-29.5%	-19.4%	23.1%
Geumgang	4.0	Avg.	3.2	4.7	5.2	4.0	4.8	7.3
		Ratio	-19.4%	18.0%	30.5%	-0.2%	19.6%	82.5%
Seomjingang	6.1	Avg.	2.8	3.2	3.8	2.1	2.6	4.0
		Ratio	-54.3%	-47.3%	-37.6%	-65.9%	-58.0%	-34.8%
Yeongsangang	2.7	Avg.	3.2	3.9	4.5	3.5	4.2	5.8
		Ratio	20.0%	45.3%	65.0%	31.3%	56.5%	113.2%
Korea	9.3	Avg.	8.8	11.8	12.6	9.0	10.6	15.8
		Ratio	-5.8%	27.3%	35.4%	-2.9%	13.7%	70.2%

*FY1: 2010-2039, FY2: 2040-2069, FY3: 2070-2099

하천 개수율 개선과 더불어 하수도 보급률 개선으로 감소한 목표연도별 홍수로 인한 재산 피해 추정액 평균과 그에 따라 추가 치수 대책이 필요한 유역을 Fig. 4에 나타내었으며, Table 5는 하천 개수율과 하수도 보급률 개선으로 산정된 목표연도별 재산 피해 추정액 평균과 현황 대비 미래 재산 피해 증감률을 나타내었다. 하수도 보급률의 개선으로 인하여 남부지방을 중심으로 홍수로 인한 재산 피해 추정액이 감소하는 경향을 보이며 남부지방뿐만 아니라 양양 남대천을 비롯한 한강 동해, 한강 서해 유역에서 홍수로 인한 재산 피해 추정액이 감소함을 알 수 있다. 하천 개수율과 하수도 보급률 개선으로 인하여 우리나라 전체에서 RCP 4.5 시나리오에서는 FY3 시기에 평균적으로 126억 원의 재산 피해가 발생할 것으로 추정되어 평균 83억 원이 감소하고, RCP 8.5 시나리오에서는 동시기에 평균적으로 158억 원의 재산 피해가 발생하는 것으로 추정되어 평균 111억 원의 재산 피해가 감소할 것으로 예상된다. 또한 한강 유역의 경우 FY3 시기에 평균 367억 원의 피해가 발생할 것으로 추정되나 2가지 치수대책 개선으로 146억 원이 감소될 것으로 추정되어 5가지 대권역 중 추정액 감소량이 가장 높을 것으로 예상된다. 현재 대비 증가율이 가장 많이 감소하는 유역은 치수 대책 개선 전 307%에서 2가지 치수 대책 개선 후 82%가 증가할 것으로 추정되는 금강 유역으로 예상되었다. 남한강 상류, 양양남대천을 포함하는 한강 유역, 금강 유역 및 영산강 유역에서 하천개수율, 하수도보급률 이 외의 치수 대책으로 추가 위험 관리가 필요할 것으로 판단된다(Table 6).

하천 개수율과 하수도 보급률 개선된 이후 추가로 양수량을 개선하였을 때, 목표연도별 홍수로 인한 재산 피해 추정액 평균과 그에 따라 추가 치수 대책이 필요한 유역을 Fig.

5에 나타내었으며, Table 7은 하천 개수율, 하수도 보급률, 양수량 개선으로 산정된 목표연도별 재산 피해 추정액 평균과 현황 대비 미래 재산 피해 증감률을 나타내었다. 양수량의 경우 앞서 언급하였듯이 현황 대비 3배까지 개선할 수 있다고 판단하였다. 한강 동해안 유역, 남한강 상류 유역을 비롯한 한강 유역을 중심으로 개선되며, 수명강 유역을 포함하는 낙동강 남해, 일부 섬진강 유역에서 양수량 개선이 필요한 것으로 예상되었다. 양수량을 추가로 개선함으로 인하여 RCP 4.5 시나리오에서는 우리나라 전체 평균 23억 원이 감소한 103억 원이 추정되고 RCP 8.5 시나리오에서는 13억 원이 감소한 145억 원이 추정되었다. 특히 낙동강 유역의 경우 RCP 4.5 시나리오에서 54억 원이 재산 피해가 감소할 것으로 추정되었고, 한강 유역의 경우 RCP 8.5 시나리오에서 28억 원의 재산 피해가 감소할 것으로 추정되었다. 금강 유역과 영산강 유역은 추가 양수량 개선으로 재산 피해가 거의 감소하지 않는 것으로 추정되었다.

하천 개수율, 하수도보급, 양수량과 함께 유수지 용량을 개선하였을 때, 목표연도별 홍수로 인한 재산 피해 추정액 평균과 그에 따라 추가 치수 대책이 필요한 유역을 Fig. 6에 나타내었다. Table 8은 하천개수율, 하수도보급률, 양수량, 유수지 용량 개선으로 산정된 목표연도별 재산 피해 추정액 평균과 현황 대비 미래 재산 피해 증감률을 나타내었다. 유수지 용량 개선 범위는 양수량 개선과 동일하게 현황 대비 3배까지 개선할 수 있다고 판단하였다. 재산 피해가 가장 많이 발생할 것으로 추정한 남한강 상류 유역에서 4가지 치수 대책 중 유수지 용량을 추가 개선함으로 인하여 재산 피해가 가장 많이 감소할 것으로 추정된다. 유수지 용량을 추가로 개선함으로 인하여 3가지 치수 대책 개선

Fig. 5. Risk Management Strategy According to Climate Change-Improve River Restoration Ratio, Drainage System Capacity Ratio, and Pump System Capacity

Table 7. Average of the Estimated Property Damage According to Risk Management Strategy (billion) and the Rate of Increase and Decrease (%)—Improve River Restoration Ratio, Drainage System Capacity Ratio, and Pump System Capacity

Basin	Current Avg. (2010-2016)		RCP 4.5			RCP 8.5		
			FY1	FY2	FY3	FY1	FY2	FY3
Hangang	15.6	Avg.	17.0	24.4	24.5	19.4	22.7	33.9
		Ratio	9.0%	56.6%	57.1%	24.2%	45.3%	117.3%
Nakdonggang	12.4	Avg.	6.3	8.0	9.0	7.6	8.5	13.3
		Ratio	-49.4%	-35.3%	-27.3%	-38.8%	-31.3%	7.4%
Geumgang	4.0	Avg.	3.2	4.7	5.2	4.0	4.8	7.3
		Ratio	-19.6%	17.7%	30.1%	-0.4%	19.4%	82.1%
Seomjingang	6.1	Avg.	1.6	1.9	2.3	1.7	2.1	3.3
		Ratio	-73.8%	-69.4%	-63.1%	-72.1%	-65.8%	-45.3%
Yeongsangang	2.7	Avg.	3.2	3.8	4.3	3.5	4.1	5.6
		Ratio	16.8%	41.5%	60.7%	27.9%	52.4%	108.8%
Korea	9.3	Avg.	7.1	9.8	10.3	8.3	9.6	14.5
		Ratio	-23.4%	5.3%	10.9%	-11.2%	3.3%	56.0%

*FY1: 2010-2039, FY2: 2040-2069, FY3: 2070-2099

Fig. 6. Risk Management Strategy According to Climate Change-Improve River Restoration Ratio, Drainage System Capacity Ratio, and Pump System Capacity and Detention Basin Storage Capacity

Table 8. Average of the Estimated Property Damage According to Risk Management Strategy (billion) and the Rate of Increase and Decrease (%)—Improve River Restoration Ratio, Drainage System Capacity Ratio, and Pump System Capacity and Detention Basin Storage Capacity

Basin	Current (2010-2016) Avg.		RCP 4.5			RCP 8.5		
			FY1	FY2	FY3	FY1	FY2	FY3
Hangang	15.6	Avg.	11.5	17.4	16.9	13.2	15.3	24.9
		Ratio	-26.3%	11.6%	8.6%	-15.1%	-2.2%	59.3%
Nakdonggang	12.4	Avg.	4.9	6.4	7.2	6.1	6.8	11.1
		Ratio	-60.2%	-48.3%	-41.8%	-50.7%	-45.4%	-10.9%
Geumgang	4.0	Avg.	3.2	4.7	5.2	4.0	4.7	7.2
		Ratio	-20.2%	16.8%	29.1%	-1.1%	18.4%	81.0%
Seomjingang	6.1	Avg.	1.6	1.9	2.2	1.7	2.1	3.3
		Ratio	-73.9%	-69.5%	-63.2%	-72.2%	-65.9%	-45.6%
Yeongsangang	2.7	Avg.	2.2	2.6	3.0	2.4	2.8	4.0
		Ratio	-19.7%	-3.4%	10.5%	-12.7%	4.6%	47.7%
Korea	9.3	Avg.	5.3	7.5	7.9	6.3	7.2	11.6
		Ratio	-42.6%	-18.9%	-15.4%	-32.5%	-22.3%	24.2%

*FY1: 2010-2039, FY2: 2040-2069, FY3: 2070-2099

대비 RCP 4.5 시나리오에서 26.3% 감소한 79억 원의 재산 피해가 추정되고 RCP 8.5 시나리오에서 31.8% 감소한 116억 원의 재산 피해가 추정되었다. 5대강 유역 중 FY3 시기에 76억 원, 90억 원의 재산 피해가 감소된 한강 유역이 감액된 재산 피해가 가장 큰 것으로 추정되었다. 영산강 유역의 경우 FY3 시기에 50.2%, 61.1% 재산 피해가 감액될 것으로 추정되었으며, 금강 유역과 섬진강 유역은 유수지 용량 개선으로 재산 피해가 거의 감소하지 않을 것으로 추정되었다. 4가지 치수 대책을 개선함으로 인하여 대부분의 유역에서 재산 피해가 감소할 것으로 추정되며 그럼에도 불구하고 일부 유역에서는 추가 치수 대책이 필요한 유역도 있음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

기후 변화 영향으로 인한 홍수의 발생 빈도와 강도의 증가는 직간접적인 재산 피해 증가를 유발하고 있어 재산 피해가 증가할 것으로 예상되는 유역에 대책 마련이 필요하다. 홍수로 인한 재산 피해 현황과 관측자료 및 GCM 결과자료를 이용하여 중규모 유역의 전국규모 미래의 재산 피해를 추정하였다. 또한 미래의 재산 피해 추정액과 4가지 치수 대책의 현황 및 개선 가능 범위 분석을 통한 홍수로 인한 재산 피해 감소량을 추정하였다. 19개 GCM 모형에 대한 113개 중규모 유역의 주요 수문 변수 즉 10분 최대 강우량, 1시간 최대 강우량, 1일 강우량 80 mm 초과 일수, 일 최대 강우량, 연강수량과 유역 특성을 나타내는 DEM, 도로 등의 사회 간접 시설, 자산 밀도, 시가화율, 인구 밀도, 하수도 보급률, 하천 개수율, 펌프장 용량, 유수지 저류 용량, 홍수와 연관된 재산 피해액 등의 관측 자료를 이용하여 분석 자료를 구축하였다.

본 연구에서는 19개 GCM 모형과 CMLR법을 이용하여 미래의 홍수로 인한 재산 피해 추정하였고, 추정된 재산 피해 결과를 2000년부터 2016년까지 발생한 홍수로 인한 재산피해 현황 평균과 비교하였다. 미래 재산 피해 추정액은 남한강 상류 유역과 양양 남대천 유역에서 피해 규모가 가장 크게 추정되고, RCP 4.5 시나리오 결과와 비교하여 RCP 8.5 시나리오의 결과 피해 규모가 더 크게 추정되었다. 4가지 치수 대책 중 한 종류의 치수 대책을 개선함으로 인하여 재산 피해 추정액이 현재의 재산 피해 현황 수준으로 감소되는 것은 한계가 있음을 보였다. 이러한 한계에 극복하기 위해 4가지 치수 대책을 모두 개선할 경우 RCP 4.5 시나리오의 FY3 시기에 발생할 것으로 추정되는 재산 피해액은 평균 79억 원으로 2000년부터 2016년까지 발생한 재산 피해 현황(93억 원)과 비교하여 -15.4% 감소하는 것으로 나타났으며, RCP 8.5 시나리오에서는 현재 대비 24.2%가 증가한 평균 116억 원의 재산 피해가 추정되어 4가지 치수 대책 개선 전 평균 269억 원(현재 대비 190%)의 재산 피해가 추정된

것에 대비하여 현저히 감소함을 알 수 있었다. 그러나 전 유역에 4가지 치수 대책을 개선하는 것은 치수 대책 개선에 필요한 사업비, 인력 등 현실적인 문제를 초래하고 있어, 다기준 의사결정 방법 등을 활용하여 치수 대책 개선으로 인한 이익, 치수 대책 개선에 필요한 비용을 고려하여 최적 방안 마련이 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 국립재난안전연구원의 지원(담당: 넝 기반 실시간 침수예상도 추정기술 개발, 주요연구-2021-09-01-02)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

References

- Aronica, G.T., Franza, F., Bates, P.D., and Neal, J.C. (2012). Probabilistic evaluation of flood hazard in urban areas using monte carlo simulation. *Hydrological Processes*, Vol. 26, pp. 3962-3972.
- Ettinger, S., Mounaud, L., Magill, C., Yao-Lafourcade, A.F., Thouret, J.C., Marville, V., et al. (2016). Nelida manrique llerena I building vulnerability to hydro-geomorphic hazards: Estimating damage probability from qualitative vulnerability assessment using logistic regression. *Journal of Hydrology*, Vol. 541, pp. 553-562.
- Hatzikyriakou, A. and Lin, N. (2017). Simulating storm surge waves for structural vulnerability estimation and flood hazard mapping. *Natural Hazards*, Vol. 89, pp. 939-962.
- Jun, K.S., Chung, E.S., Kim, Y.G., and Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impacts. *Expert Systems with Applications*, Vol. 40, No. 4, pp. 1003-1013.
- Kandiloti, G., and Makropoulos, C. (2012). Preliminary flood risk assessment: The case of Athens. *Natural Hazards*, Vol. 61, No. 2, pp. 441-468.
- Kim, H.S., Park, G.J., Kim, S.D., Choi, M.H., Park, M.J., and Yoon, J.Y. (2012). Assessment of flood vulnerability considering climate change and large-scale river restoration project. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 2, pp. 107-113.
- Kim, J., Choi, C., and Yi, J. (2011). Development of flood control effect index by using Fuzzy set theory. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers B*, Vol. 31, No. 5A, pp. 415-429.
- Kim, J.H., Han, K.Y., and Seo, K.W. (2003). Application of uncertainty method fer analyzing flood inundation

- in a river. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 36, No. 4, pp. 661-671.
- Kim, M., and Kim, G. (2018a). Analysis of the applicability of flood risk indices according to flood damage types. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 38, No. 1, pp. 29-39.
- Kim, M., and Kim, G. (2018b). Flood damage cost projection in Korea using 26 GCM outputs. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 51, No. S-1, pp. 1149-1159.
- Kim, T.H., Han, K.Y., and Cho, W.H. (2011). Vulnerability analysis in the Nakdong river basin for the utilization of flood risk mapping. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 14, No. 3, pp. 203-222.
- Koks, E.E., Jongman, B., Husby, T.G., and Botzen, W.J. (2015). Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science and Policy*, Vol. 47, pp. 42-52.
- Lee, M.W., Kim, T.W., and Moon, G.W. (2013). Assessment of flood damage vulnerability considering regional flood damage characteristics in South Korea. *Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 4, pp. 245-256.
- Saharia, M., Kirstetter, P.E., Vergara, H., Gourley, J.J., and Hong, Y. (2017). Characterization of floods in the United States. *Journal of Hydrology*, Vol. 548, pp. 524-535.
- Sung, J.H., Baek, H.J., Kang, H.S., and Kim, Y.O. (2012). The assessment of future flood vulnerability for seoul region. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 14, No. 3, pp. 341-352.
- Wilby, R.L., and Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, Vol. 36, No. 3, pp. 348-378.
- Yoon, Y.H., and Kim, J.T. (2012). Estimations of the student numbers by nonlinear regression model. *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, Vol. 23, No. 1, pp. 71-77.
- Zachos, L.G., Swann, C.T., Altinakar, M.S., McGrath, M.Z., and Thomas, D. (2016). Flood vulnerability indices and emergency management planning in the Yazoo Basin, Mississippi. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 18, pp. 89-99.

Received	July 16, 2021
Revised	July 19, 2021
Accepted	January 11, 2022