간접편익을 고려한 재해예방사업의 경제성 분석 및 평가

Economic Analysis and Evaluation of Disaster Prevention Projects in Consideration of Indirect Benefits

왕원준* · 최창현** · 김동현*** · 유영훈**** · 서용석***** · 김형수*****

Wang, Won-joon*, Choi, Changhyun**, Kim, Donghyun***, Yoo, Younghoon****, Seo, Yong-Seok*****, and Kim, Hung Soo*****

Abstract

In order to derive accurate investment priority results for current disaster prevention projects, it is necessary to introduce a methodology that has improved upon the existing economic evaluation model. In this study, we used the Korean damage and loss function, which was newly developed in an R&D project of the Ministry of the Interior and Safety (MOIS). In the case of indirect benefit calculations, indirect benefit items that can be calculated for cost value were selected and developed to be applicable at the district level. As of 2014, Anmalcheon district had the highest B/C value, while the lowest B/C value was in Gwangam Second District.

Key words : Investment Priority, Economic Evaluation Model, Korean Damage and Loss Function, Indirect Benefits, District Unit

요 지

현재 국내에서 시행되고 있는 재해예방사업에 대한 정확한 투자우선순위 결과를 도출하기 위해선 기존의 경제성 평가모형을 개선한 방법론의 도입이 필요하다. 본 연구에서는 직접편익 산정을 행정안전부 R&D 과제에서 새롭게 개발한 ‘한국형 손상·손실 함수’를 사용하였다. 간접편익 산정의 경우 비용가치로 산출할 수 있는 간접편익 항목을 선정 및 개발하여 지구 단위의 소규모 지역에 적용할 수 있도록 하였다. 2014년도 기준 동두천시 5개의 하천재해위험지구에서 시행되는 재해예방사업에 시범 적용한 결과 안말천지구가 가장 높은 B/C값을 보였으며, 광암제2지구에서 가장 낮은 B/C값이 도출되었다.

핵심용어 : 투자우선순위, 경제성 평가모형, 한국형 손상·손실함수, 간접편익, 지구단위

1. 서 론

2010년 이후 기후변화 등의 영향으로 폭우, 태풍으로 인한 침수피해가 빈번하게 발생하고 있다. 도시지역에서는 시간당 30 mm 이상의 강우 발생 횟수가 1990년대와 비교했

을 때 급격하게 증가했으며, 불투수면적의 증가, 시가지내 치수시설 확충의 한계 등으로 침수피해 발생 위험이 커질 것으로 예측된다(Han, 2018). 정부에서는 홍수피해 발생위험을 사전에 파악하고 피해발생을 예방하고자 1998년부터 재해예방사업을 시행하고 있으며 개별사업의 중요도를 평

*정회원, 인하대학교 토목공학과 석사과정(E-mail: makelest@naver.com)

Member, Master's Course, Department of Civil Engineering, Inha University

**정회원, 인하대학교 수자원시스템 연구소 박사후연구원

Member, Post-Doctoral Researcher, Institute of Water Resources System, 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, (사)방재관리연구센터, 책임연구원(Tel: +82-70-7880-4634, Fax: +82-2-8282-7535, E-mail: seoyongseok8457@gmail.com)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Disaster Management Research Center

*****정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 교수(E-mail: sookim@inha.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

가하는 투자우선순위 분석을 기준으로 단계적으로 사업을 실시하고 있다(Kim et al., 2012). 투자우선순위 분석에 포함되는 세부항목으로는 경제성 평가모형을 활용한 비용편익(B/C, Benefit/Cost) 분석이 있으며, 국내를 포함하여 해외에서도 다양한 치수관련 경제성 평가모형을 사용하고 있다.

미국에서는 연방재난관리청(FEMA)에서 Hazards U.S. Multi-Hazard (Hanus-MH)라는 재난 손실 평가 소프트웨어를 사용하여 홍수로 발생하는 직접 물리적 피해, 직접 사회경제적 손실, 간접 경제적 손실을 산정하고 있다. 여기서 간접 경제적 손실은 재난에 의한 투입-산출 흐름의 변화로 발생하는 손실이며, 경제 기능의 이상으로 발생하는 추가 손실을 의미한다(Yu and An, 2013; Hyun and Kim, 2018).

일본 국토교통성(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, MLIT)에서 발간한 치수경제조사매뉴얼(2005)에서는 직접피해와 간접피해로 구분하여 침수 피해로 발생하는 피해액을 산정하였다. 이중 간접피해의 경우 교통 두절에 따른 파급피해, 라이프라인 손상에 따른 파급피해, 응급대책 비용 등을 제시하여 기존 경제성 평가모형에서 다루지 않은 간접피해 산정방법론을 제시하고 있다(MLIT, 2005).

국내에서는 현재 간편법, 개선법, 다차원 홍수피해 산정법(이하 다차원법)과 같은 경제성 평가모형을 사용하여 분석을 수행하고 있다. 간편법의 경우 2002년 이전까지 주로 사용된 모형으로서 농작물피해액을 기준으로 피해계수를 적용하므로 예상피해액 산정이 간편하다는 장점이 있다. 다만, 사업의 경제성이 비교적 낮게 평가되고 하천이나 수계전체의 입장을 고려하지 못한다는 단점이 있다(MOIS, 2017). 개선법은 간편법에 침수면적·피해액 회귀식을 추가한 편익산정 모형으로 분석범위가 간편법에 비해 폭넓다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 예상피해액 산정에 간접편익이 고려되지 않으며, 침수피해 강도에 영향을 주는 침수심과 침수기간도 반영

하지 않았다(MOIS, 2017). 다차원법은 2004년에 개발된 경제성 평가모형으로서(MOCT, 2004), 홍수빈도개념이 적용되어 침수면적 산정 결과의 신뢰성이 높고 예상피해액 산정 결과가 개선법에 비해 정확하다고 평가되고 있다. 다만 읍면동별로 합산된 자료를 사용하기 때문에 개별 건물에 대한 피해 산정에는 한계를 가지고 있다(Lee et al., 2006; MOIS, 2017).

본 연구에서는 2014년 동두천시 풍수해저감종합계획 보고서에서 언급된 5개 하천재해위험지구(광암제2지구, 못골천지구, 안말천지구, 동막천지구, 봉동천지구)를 대상으로 개선된 경제성 평가모형을 적용해보고자 하였다. 동두천시에 위치한 하천재해위험지구를 연구대상 지역으로 선정한 이유는 다음과 같다. 우선, 신천, 상패천, 동두천과 같은 3개의 지방하천이 여러 소하천과 함께 고루 분포해 있고, 건물, 농경지 등 자산이 분포된 유형별로 지구를 선별하기 용이하기 때문이다. 또한, 과거 다른 경제성평가 모델로 시범적용해보면서 분석에 필요한 충분한 자료를 확보했기 때문이다. 본 연구에서 직접편익 산정은 현재 행정안전부 R&D 과제에서 개발한 일반자산과 공공자산에 대한 ‘한국형 손상·손실함수’를 이용하였다. 간접편익의 경우 비용가치로 산정할 수 있는 5개의 항목(응급·장기구조 비용, 생계지원 비용, 학자금 면제 지원 비용, 영업정지·정체 피해액, 응급대책비용)을 선정 및 개발하여 지구단위의 소규모 지역에 적용할 수 있도록 하였다.

Fig. 1은 본 연구의 흐름도를 나타낸 것이다. 도로명주소 전자지도, 농경지 전자지도, 센서스 기반 통계자료 등을 사용해 공간분석을 진행하였으며, 행정안전부 R&D 과제를 통해 만들어진 전국 단위 100년 빈도의 지방하천, 소하천 침수예상도를 사용해 피해액을 산정하였다. 최종적으로 직접편익과 간접편익 항목을 반영한 지구단위 B/C값을 도출하여 재해예방사업에 대한 경제성을 평가하였다.

Fig. 1. Research Flow Chart

2. 재해예방사업을 위한 경제성 평가모형

2.1 직접편익에 대한 국내 경제성 평가모형

2.1.1 기존 경제성 평가모형

재해예방사업의 투자우선순위 결정에 사용된 기존 경제성 평가모형을 비교하면 Table 1과 같다.

세 가지 평가방법 중 개선법 및 다차원법은 현재까지 재해예방사업을 포함한 치수사업의 경제성분석에서 꾸준히 사용되고 있지만, 가장 최근 모형인 다차원법이 2004년 국토교통부에서 개발된 이래로 모형의 업데이트가 지속적으로 이루어지고 있지 않다. 이에 따라 현 시점에서 자연재난이 발생했을 때 각각의 피해항목별로 예상 피해액을 제대로 산정해내지 못하고 있다. 다차원법에서 도출된 문제점은 다음과 같다.

첫째, 최신 원단위 단가의 미반영이다. 2004년 다차원법이 개발된 이래로 방법론과 함께 제시된 농경지 매몰 및 유실 면적 단가, 인명피해 손실원단위 등은 물가지수를 사용해 기준연도에 맞추어 사용했으며, 최신의 원단위 단가를 사용

해도 해당 연구에서만 반영된 임시조치였다.

둘째, 과거 저해상도의 인벤토리 자료를 사용한 공간분석이다. 다차원법에서는 일반적으로 토지피복도를 사용해 건물피해액과 농경지-농작물 피해액을 산정하는데, 최근에 만들어진 공간 인벤토리 자료인 도로명 전자지도와 팜맵 기반의 농경지 전자지도와 비교했을 때 용도별 건물, 농경지 객체 분류의 정확성, 객체별 위치 및 면적의 정밀도 등에서 큰 차이를 보인다.

또한, 다차원법은 개발 시점에서 사용 가능했었던 인벤토리 자료를 기반으로 만들어졌기 때문에 침수차량 피해액 등의 직접편익뿐만 아니라 간접편익도 반영되지 못했다.

이러한 문제점 때문에 행정안전부에서는 R&D 과제에서 개발한 ‘한국형 손상·손실함수’를 홍수피해에 따른 경제성 분석에 새롭게 도입하였다.

2.1.2 한국형 손상·손실함수

앞에서 제시한 문제점을 해결하기 위해 한국형 손상·손실함수에서는 침수피해에 노출될 지역을 정확히 파악하고자 고해상도의 자료를 사용하였다. 원단위 단가는 한국형

Table 1. Comparisons of Three Economic Evaluation Models

Classification			Simple methods	Improvement methods	Multi-dimensional flood damage assessment (MD-FDA)
Benefit calculation concept			Current Value of Total Flood Damage Mitigation amount-Annual Average Current Value of Losses from Embankment Sites	Damage amount × Flooded Area	Target Assets × Flooded Area × Damage Rate
Asset damage	General Asset Damage	Building	Not applied (Calculated only house damages)	Flooded area-damage relational equation	Building area × Damage rate × Building cost
		Building contents	Not applied	Not applied	The number of the households × Damage rate × Household goods
		Farmland	Crop Damage × Damage Factor	Flooded area-damage relational equation	Crop Land Amount × Loss Unit Price
		Crops	Arable land area × Flooding area × Flooding rate × damage rate in flooded areas	Total flooded area × Crop price	Crop × Damage Rate × Crop Evaluation Price
		Tangible inventory assets	Not applied	Not applied	The number of the employees × Damage rate × Evaluation unit price
	Public facilities		Crop Damage × Damage Factor	Flooded area-damage relational equation	General Asset Damage × 1.694
Casualties	Loss of life		Damage factor per flooded area (10a) × Flooded area (10a) × Unit damage	Flooded area × The number of loss of life per flooded area × Unit price	Same as left
	Victim		Not applied	Flooded area × The number of victims per flooded area × Average income	Same as left
Other benefits			Crop Damage × Damage Factor	Flooded area-damage relational equation	Not applied

손상·손실함수를 적용한 항목에 대해 적절성을 검토하여 제시하였고, 피해 항목별로 계량화가 가능한 방법을 우선적으로 선별하였다.

기존의 다차원법과 비교했을 때 개선된 사항을 살펴보면 Table 2와 같으며, 주거건물자산, 산업자산(비주거건물), 차량, 농업자산, 인명 및 이재민, 공공시설물 항목에 대하여 개선된 결과가 도출되었다(Kim et al., 2018).

본 연구에서는 경제성 평가모형의 최신판인 한국형 손상·손실함수를 사용하여 재해예방사업이 시행되는 하천재해위험지구를 대상으로 직접편익을 산정하였다.

2.2 간접편익을 고려한 경제성 평가모형 제시

본 연구에서는 호우, 태풍으로 발생하는 침수피해 중 한국형 손상·손실함수로 산정되는 직접편익 외에도 5가지 간접편익(응급·장기구호 비용, 생계지원 비용, 학자금 면제 지원 비용, 영업정지·정체 피해액, 응급대책비용)을 반영하여 경제성

평가 모형을 제시하였다.

FEMA (2012)의 Hazus-MH와 같이 일반적으로 간접편익을 다루는 경제성 평가모형은 산업연관분석을 이용해 경제적 파급효과를 간접편익으로 분류하여 산정한다. 본 연구에서는 적용 가능한 간접편익 항목을 선정 및 개발하여 경제성 평가모형에 적용하였다. 다음은 각각의 간접편익 항목별로 적용된 방법론을 나타낸 것이다.

2.2.1 응급·장기구호 비용

응급·장기구호비용은 자연재난 복구비용 산정기준 개정 고시안에 나와 있는 장기 구호비를 단가로 설정하여 산정하였다. 2014년 기준 장기 구호비의 1인 1일 단가는 7,000원인데 해당 단가는 자연재난 복구비용 산정기준에 대해 개정 고시안이 나올 때마다 변경되었다. Table 3은 과거 응급·장기구호비용 단가와 산정식(Eq. (1))을 나타낸 것이다.

Table 2. Improvement of Korean Damage and Loss Function over Multi-Dimensional Method

Classification	Multi-dimensional method	Korean damage and loss function
Residential Assets / Industrial Assets (Building)	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: Statistical information of eup-myeon-dong unit - Asset Type: Residential Asset, Industrial Asset (by Industrial Classification) - Asset value: Building (alternative cost), Building contents (average price) - Damage function: Use of Japan Ministry of Land, Infrastructure and Transport data 	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: Application of detailed building information for each building object - Asset Type: Building Type Breakdown - Asset value: Present value (considered depreciation), unit-based improvement - Damage function: new development
Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> - Not subject 	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: distribution from vehicle registration statistics to county district boundaries - Vehicle type: 3 types - Asset Value: Current Value (Considering Depreciation) - Damage function: new development
Agricultural assets	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: Statistical information of municipal crop units - Crop types: Representative 7 types of paddy / field crops - Influencing factor: Flooding depth, Flooding time - Damage function: No subdivision by crops (Agricultural Disaster Investigation Method) 	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: Statistical information of municipal crop units - Crop types: Representative paddy and field crop expansion - Influencing factor: Immersion depth, time of occurrence, submersion period - Damage function: new development
Life, Victim	<ul style="list-style-type: none"> - Inventory: Demographic information - Influence factor: Flooded area (not considering flooding depth) - Quantification unit: Name of person (insurance payment), Displaced person (national income) 	<ul style="list-style-type: none"> - Inventory: Population Census by Count (Population Housing Survey) - Influence factor: Flooding depth, Vulnerable / General - Quantification standard: Improvement of unit
Public facilities	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: Sum of general asset damage amount - Influencing factor General asset damage amount (residential assets, industrial assets, vehicles, etc.) - Loss function: Use of Japan Ministry of Land, Infrastructure and Transport data (General Asset Damage * 1.694) 	<ul style="list-style-type: none"> - Basic data: Target area administrative boundary, flooding forecast - Influence factors: Flooding area, damage extension, flow rate - Loss function: New development

Table 3. Unit price of Emergency and Long-term Relief Expenses by Year

Year	2011	2014	2018
Unit price of Relief Cost (KRW / person)	6,000	7,000	8,000

$$\begin{aligned}
& \text{Emergency and long-term relief costs} \\
& = \text{Emergency and long-term relief costs} \\
& \quad \text{Unit price (KRW / person)} \\
& \times \text{Disaster victims by district} \\
& \times \text{Average Evacuation Days}
\end{aligned} \quad (1)$$

이재민수는 이재민 피해액을 산정하면서 도출된 이재민수를 적용하면 되며, 평균대피일수는 ‘수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 (제4판)’에서 과거 10년간의 재해연보를 참고하여 제시한 10일을 적용하였다.

2.2.2 생계지원 비용

2018년 자연재난 복구비용 산정기준 개정 고시안에서는 가구의 구성원 수에 따라 생계지원비를 차등하여 지급하고 있다. 하지만 자연재해위험지구별로 피해가 발생한 가구 내 구성원의 수를 정확히 파악하는 것은 어렵다.

그러므로, 본 연구에서는 생계지원비 지급 단가를 과거 자연재난 복구비용 산정기준에서 사용되었던 당해연도 정부 양곡 방출가격으로 설정하였다. 예를 들어 2014년 기준 80kg에 해당하는 정부 양곡 5가마의 방출 가격은 910,000원이며, 본 연구에서는 침수피해를 입은 가구 모두가 생계지원비를 받는다고 가정하였다. 일반적으로 침수피해를 입은 가구는 주거건물 1층에 거주하는 가구에 해당하므로 생계지원 비용과 관련된 산정식은 Eq. (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
& \text{Cost of support for living} \\
& = \text{Total households on the first floor of} \\
& \quad \text{residential buildings affected by flooded damage}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \text{Rice support 5 unit per household} \\
& \quad (1 \text{ unit} = 80 \text{ kg})
\end{aligned} \quad (2)$$

2.2.3 학자금 면제 지원 비용

학자금 면제 지원 비용은 자연재난 복구비용 산정기준 개정 고시안을 근거로 하여 피해를 입은 고등학생을 대상으로 6개월분의 학자금을 100% 지원하는 것을 말한다.

본 연구에서는 대상지역에 거주하는 성연령별 인구수 중 고등학생에 해당하는 17~19세의 연령대에서 이재민이 발생했을 경우 2017년도 이전에는 비전문계 고등학교 단가를 사용하며, 2017년도부터는 일반고(공립, 사립 단가 동일) 기준의 단가를 사용하여 피해액을 산정하였다. 이재민이 된 고등학생들은 모두 학자금 지급 대상으로 분류된다고 가정하며, Table 4와 Eq. (3)은 2018년 기준 경기도 고등학교별 지원 학자금과 산정식을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
& \text{School exemption support} \\
& = \text{Number of High school age victims} \\
& \times \text{6-month expenses}
\end{aligned} \quad (3)$$

2.2.4 영업정지·정체 피해액

영업정지·정체로 인한 피해액은 대상 지역에서 침수피해를 입은 사업장(비주거건물)을 대상으로 산정한 영업정지·정체일수에 따른 피해액을 말한다. 손실 원단위는 기준연도 산업유형별 종사자수 1명당 부가가치액을 사용한다. 즉 대상 지구 내에서 근무하는 산업유형별 총 종사자수에 대하여 침수된 사업장수에 비례해 영업정지·정체 피해액을 산정하는 것이다. 관련 산정식은 Eq. (4)와 같다.

Table 4. 6-month expenses for Kyunggi High School (As of 2018)

Classification		Support Scholarship	Classification		Support Scholarship
General high school (National or Public)	Special area (Seoul)		Specialized high school (National or Public)	Special area (Seoul)	
	First-class area "Ga" (Equalized area)	685,800		First-class area "Ga" (Equalized area)	685,800
	First-class area "Na" (Unequalized area)			Second-class area "Ga" (Unequalized area)	
	Second-class area "Ga" (Eup area)	503,400		Second-class area "Na" (Eup area)	324,000
	Second-class area "Na" (Myeon area)	445,800		Second-class area "Na" (Myeon area)	306,000
	Third-class area (Rural area)	334,800		Third-class area (Rural area)	216,000
General high school (Private)	Express area (Seoul)		Specialized high school (Private)	Express area (Seoul)	
	First-class area "Ga" (Equalized area)	685,800		First-class area "Ga" (Equalized area)	685,800
	First-class area "Na" (Unequalized area)			First-class area "B" (Unequalized area)	
	Second-class area "Ga" (Eup area)	503,400		Second-class area "Ga" (Eup area)	324,000
	Second-class area "Na" (Myeon area)	445,800		Second-class area "Na" (Myeon area)	306,000
	Third-class area (Rural area)	334,800		Third-class area (Rural area)	216,000
Broadcasting high school		40,200			

Business delay damage

$$= \text{Number of workers by industry type} \\ \times \text{Value-added per worker by industry type} \\ \times \text{Flooded non-residential buildings ratio} \\ \times \text{Number of days of business suspensions and delays by flooding depth} \quad (4)$$

Table 5는 침수심별 영업정지·정체일수를 나타낸 것으로서 일본 국토교통성에서 발간한 치수경제조사매뉴얼 (2005)을 참고하였다.

또한, 2014년 기준 산업유형별 종사자수는 한국표준산업분류(9차)를 기준으로 통계자료가 제공되기 때문에 KOSIS에서 제공하는 산업유형별 부가가치에 대해 동일한 산업끼리 매칭하기 위해선 Table 6과 같이 적용해주면 된다.

2.2.5 응급대책비용(가정 및 사업장)

응급대책비용은 일본 국토교통성에서 발간한 치수경제조사매뉴얼(2005)을 참고하여 산정하였다(MLIT, 2005). 가정에서의 응급대책비용은 주거건물의 침수에 따른 청소노동의 대가와 대체활동에 따른 추가비용의 합을 산정한 것이다. 사업장은 가정과는 달리 사업장별 대체활동에 따른 추가비용만을 산정하고 청소노동의 대가는 산정하지 않았는데, 그 이유는 청소노동자로부터 발생하는 부가가치와 중복되기 때문이다. Eqs. (5)-(7)은 가정에서 발생하는 응급대책비용에 대한 산정식이며 가구별 침수심에 따른 청소일수는 Table 7에 제시하였다.

Cost of emergency measures (Home)

$$= \text{Cleaning labor cost} + \text{Additional costs for alternative activities (Home)} \quad (5)$$

Table 5. Days of Business Suspensions and Delays by Flooding Depth

Classification	Below building entrance height	Flooding depth				
		Less than 0.5 m	0.5 ~ 1 m	1 ~ 2 m	2 ~ 3 m	More than 3 m
Business suspensions and delays	6	8.8	12.6	20.6	33.6	45.2

Table 6. KOSIS and Korea Standard Industrial Classification (9th)

KOSIS Standard Industry Classification	Korean Standard Industry Classification (9th)
Agricultural fishery	Agriculture, forestry and fishing
Mining industry	Mining industry
manufacturing business	manufacturing business
Electricity, gas, steam and water business	Electricity, gas, steam and water business
Construction industry	Construction industry
Wholesale and retail business	Wholesale and retail business
transportation business	transportation business
Accommodation and restaurant business	Accommodation and restaurant business
Publishing, video, broadcasting, telecommunications and information service	Publishing, video, broadcasting, telecommunications and information service
Finance and Insurance	Finance and Insurance
Real Estate and Leasing	Real Estate and Leasing
Business Service	Professional, scientific and technical services
	Business facility management and business support service
Public Administration, Defense and Social Security Administration	Public Administration, Defense and Social Security Administration
Educational Service	Educational Service
Health and social work	Health care and social welfare service
Cultural and other service industries	Sewage and Waste Treatment, Raw Material Regeneration and Environmental Restoration
	Art, sports and leisure services
	Associations and organizations, repair and other personal services

Table 7. Number of Days Spent Cleaning by Flood in the Home (days)

Classification	Below building entrance height	Flooding depth				
		Less than 0.5 m	0.5 ~ 1 m	1 ~ 2 m	2 ~ 3 m	More than 3 m
Cleaning days	4	7.5	13.3	26.1	42.4	50.1

◦ Cleaning labor cost = The number of households affected by flooding × Non-regular cleaner's wages per day × Cleaning days by flooding depth (6)

◦ Additional costs of alternative activities (Home) = The number of households affected by flooding × Expenditure costs for alternative activities by generation (7)

가정에서 발생하는 대체활동에 따른 지출부담 단가는 Table 8에서 2014년 기준 소비자물가지수(총지수)와 2014년 기준 원엔환율을 적용하여 단가를 재산정하였다. 가정에서 발생하는 청소노동대가는 2014년 기준 한국표준산업 분류(9차) 중 'N. 사업시설관리 및 사업지원서비스업'에 포함되는 비정규 청소 노동자의 하루 임금 총액을 적용했으며, 2014년의 경우 일당(8시간) 최저임금은 82,668원이다. 또한, 주거건물 유형에 따라 1층에 거주하는 가구수는 대상 지역 주거건물 유형별 총가구수에 단독주택 1층, 아파트 10층, 연립, 다세대 주택은 3층의 평균층수를 나누어 산정하였다. Eq. (8)은 사업장의 대체활동에 따른 추가비용 산정식이며 지출부담 원단위 단가는 Table 9에 나타내었다.

Additional Costs for Alternative Activities (Workplace) = The number of non-residential buildings affected by flood damage × Expenditure

costs for alternative activities by workplace (8)

본 연구에서는 사업장을 산업활동이 수행되고 있는 비주거건물로 간주하고 침수지역과 중첩된 비주거건물을 침수심에 따라 분류하여 대체활동에 따른 지출부담 단가를 산정하였다.

3. 간접편익을 고려한 경제성 분석 적용

3.1 대상지역 및 사업 선정

본 연구에서는 2014년도 동두천시 풍수해저감종합계획 보고서에서 언급된 5개 하천재해위험지구의 재해예방사업을 대상으로 간접편익을 고려한 경제성 분석을 수행하였다. 하천재해위험지구는 각각 광암제2지구, 동막천지구, 못골천지구, 봉동천지구, 안말천지구이다. Table 10은 하천재해위험지구별 위치 및 저감대책과 함께 재해예방사업비의 총액이 기재되어 있다. 재해예방사업비의 경우 할인율(5.5%)을 적용하여 2014년을 기준으로 연도별 사업비를 합산한 금액을 나타내었다. 해당 금액은 비용편익 분석에서 비용(C)에 해당한다.

3.2 지구별 재해예방사업 경제성 분석

앞에서 언급한 5개의 동두천시 하천재해위험지구를 대상으로 100년 빈도의 지방하천, 소하천 침수피해가 발생했을 때 지구별 직접피해와 간접피해를 산정하였다. 100년 빈도 지방하천, 소하천 침수예상도는 행정안전부 R&D 과제에서

Table 8. Unit cost of Household Expenditure on Alternative Activities (cost/family) (As of 2014)

Classification	Below building entrance height	Flooding depth				
		Less than 0.5 m	0.5 ~ 1 m	1 ~ 2 m	2 ~ 3 m	More than 3 m
Unit price	1,014,909	1,815,764	2,540,348	3,394,102	4,011,659	4,223,252

Table 9. Unit cost of Expenditure on Alternative Activities in Business Establishment (cost/business establishment) (As of 2014)

Classification	Below building entrance height	Flooding depth				
		Less than 0.5 m	0.5 ~ 1 m	1 ~ 2 m	2 ~ 3 m	More than 3 m
Unit price	5,781,907	11,379,285	21,085,508	45,836,991	80,651,453	81,426,475

Table 10. Total Project Cost by River Disaster Risk District in Dongducheon-si (2014)

District name	Storm and flood damage type	Location	Storm and flood reduction measures	Total project cost as of 2014 (million won)
Gwangam Second district	River disaster	199-2, Buhyeon-dong (Gwangam-dong)	Maintenance business according to the basic river plan	801
Dongmakcheon district	River disaster	38-5, Soyo-dong (Sangbongam-dong)	Maintenance business according to the small river maintenance comprehensive plan	5,062
Mokgolcheon district	River disaster	434-7, Bosan-dong	Same as above contents	1,395
Bongdongcheon district	River disaster	243-8, Soyo-dong (Sangbongam-dong)	Same as above contents	2,293
Anmalcheon district	River disaster	213-1, Soyo-dong (Habongam-dong)	Same as above contents	3,029

제작한 지도를 사용하였으며, 각각의 지구에서 발생하는 피해액은 재해예방사업이 완료되면 0이 된다고 가정하였다. 따라서 지구 내 침수피해로 발생하는 피해액은 모두 편익으로 간주할 수 있다. 본 연구에서는 2014년도에 5개 지구에서 100년 빈도의 지방하천, 소하천 침수피해가 발생했다고 가정하고 편익을 산정하였다.

또한, 피해의 원인인 지방하천과 소하천의 침수가 중첩되어 발생한 지역은 각각의 침수심을 비교했을 때 더 큰 침수심으로 일괄 적용하였다. 다음은 5개의 하천재해위험지구 중 편익이 가장 크게 발생한 지구와 가장 작은 지구의 자산분포와 항목별 피해상황을 나타낸 것이다.

3.2.1 안말천지구

안말천지구는 다른 4개의 하천재해위험지구와 비교했을 때 지구내 침수지역이 차지하는 비율이 제일 크다(Fig. 2). 비록 다른 지구와 비교했을 때 지구 내에 위치한 건물의 수는 많지 않지만, 가장 큰 침수면적 때문에 주거건물, 비주거 건물에서 피해가 발생하였고, 이는 응급대책비용을 포함한 간접편익에도 영향을 주었다(Table 11).

또한, 해당 지구는 신천과 소하천에서 발생하는 침수피해가 중첩해서 발생했기 때문에 침수심이 1 m 이상인 경우에만 피해가 발생하는 농경지 피해에도 큰 영향을 주었다. 비록, 지구 내에 거주하는 총인구수가 적어 인명피해와 이재민

Fig. 2. Anmalcheon District Asset Distribution and Flooded Area**Table 11.** Amount of Damage in Anmalcheon District

Classification		Anmalcheon District
Direct benefit (₩One thousand)	Building damage	5,709
	Building contents damage	4,249
	Vehicle damage	18,632
	Farmland damage	6,599
	Crop damage	4,552
	Loss of life	-
	Victim	-
	Road facility damage	11,530
	Waterwork/Sewer system damage	4,633
Direct benefit total amount (₩One thousand)		55,904
Indirect benefit (₩One thousand)	Business delay damage	35,552
	Emergency and long-term relief costs	-
	Cost of support for living	-
	School exemption support	-
	Cost of emergency measures	161,056
Indirect benefit total amount (₩One thousand)		196,608
Total amount (₩One thousand)		252,512

Fig. 3. Gwangam Second District Asset Distribution and Flooded Area

Table 12. Amount of Damage in Gwangam Second District

Classification		Gwangam Second District
Direct benefit (₩One thousand)	Building damage	-
	Building contents damage	-
	Vehicle damage	174
	Farmland damage	-
	Crop damage	118
	Loss of life	-
	Victim	-
	Road facility damage	251
	Waterwork/Sewer system damage	101
Direct benefit total amount (₩One thousand)		644
Indirect benefit (₩One thousand)	Business delay damage	-
	Emergency and long-term relief costs	-
	Cost of support for living	-
	School exemption support	-
	Cost of emergency measures	-
Indirect benefit total amount (₩One thousand)		-
Total amount (₩One thousand)		644

피해가 발생하지는 않았지만, 다른 지구와 비교했을 때 건물과 농경지, 농작물, 공공시설물에서 두드러진 차이를 보였다.

3.2.2 광암제2지구

광암제2지구는 안말천지구와 비교했을 때, 지구 내에 건물이 차지하는 비율은 매우 크지만, 지방하천인 동두천에서 발생하는 침수피해가 국소지역에서만 영향을 주고 있다 (Fig. 3). 한국형 손상·손실함수에서 건물피해는 건물 폴리곤의 중심점이 침수지역과 중첩되어야 피해가 일어난 것으로 간주한다. 그러므로 광암제2지구에서 건물 및 건물 내용물 피해액은 발생하지 않았으며, 밭과 중첩된 침수지역의 침수심도 작았기 때문에 농경지 피해액도 발생하지 않았다. 이에 따라 관련된 간접편익도 산출되지 않아, 5개의 하천재해위험지구 중 가장 낮은 총편익이 발생하였다(Table 12).

3.3 지구별 재해예방사업 경제성 분석 결과

5개의 하천재해위험지구에서 시행된 재해예방사업의 경제성을 분석한 결과는 Table 13과 같다. B/C값을 산출한 결과 안말천지구, 못골천지구, 봉동천지구, 동막천지구, 광암제2지구 순으로 B/C값이 높았으며, 안말천지구의 경우 B/C값이 0.08로 가장 높았다. 인명피해는 5개 지구 모두 발생하지 않았는데, 노출위험인구수에서 인명피해 발생확률을 적용하여 피해인구수를 산정하는 한국형 손상·손실함수의 특성상 극단적인 상황이 아니라면 지구단위의 소규모 지역에서는 인명피해가 발생하지 않기 때문이다. 이재민 피해는 인명피해보다 발생확률은 높지만, 이 역시도 충분한

주거건물이 있는 지구에서 넓은 면적의 침수가 일어나야 발생한다. 예를 들어 동막천지구는 건물면적 기반의 집계구 인구밀도를 사용한 공간분석을 통해 583명의 총인구수가 거주한다는 결과를 얻었지만, 좁은 범위에 한정해서 침수가 발생했기 때문에 이재민은 발생하지 않았다. 결론적으로 간접편익을 반영한 지구단위의 재해예방사업 경제성 분석을 수행한 결과 응급·장기 구호비, 생계지원비와 같이 사상자수, 이재민수를 반영한 편익 항목보다 영업정지·정체 피해액, 응급대책비용 등의 항목이 B/C값 결과 도출에 더 유의미한 영향을 주었다.

4. 결 론

재해예방사업별로 시행되는 투자우선순위 분석에서 효율성 항목으로 분류된 경제성분석에서는 B/C값이 더 높은 사업일수록 효율적인 투자로 간주한다. 하지만, 기존 경제성평가모형에서 정밀도와 정확도를 높은 한국형 손상·손실함수를 적용한 결과 5개 지구 모두가 1보다 작은 B/C값이 도출되었다. 일반적으로 B/C값이 1이상이어야 사업 타당성이 있다고 평가되는데, 도출된 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째로 지구단위 피해지역에 적용했을 때 직접편익이 낮게 산정되었기 때문이다. 건물의 경우 중심점 방식을 사용하여 건물의 중심점에 해당하는 포인트와 침수예상도의 중첩여부에 따라 침수피해 여부를 판단했기 때문에 지구단위 소규모 지역에서는 건물 피해가 낮게 산정되었다. 또한,

Table 13. B/C Analysis of Five Districts

Classification		Gwangam 2nd district	Mokgolcheon district	Anmalcheon district	Dongmakcheon district	Bongdongcheon district
Direct benefit (₩One thousand)	Building damage	-	-	5,709	-	4,479
	Building contents damage	-	-	4,249	-	2,239
	Vehicle damage	174	38,275	18,632	46,533	8,473
	Farmland damage	-	493	6,599	7	-
	Crop damage	118	579	4,552	54	296
	Loss of life	-	-	-	-	-
	Victim	-	805	-	805	805
	Road facility damage	251	947	11,530	2,775	1,632
	Waterwork/Sewer system damage	101	380	4,633	1,115	656
Direct benefit total amount (₩One thousand)		644	41,479	55,904	51,289	18,580
Indirect benefit (₩One thousand)	Business delay damage	-	-	35,552	-	15,122
	Emergency and long-term relief costs	-	80	-	80	80
	Cost of support for living	-	184	-	184	184
	School exemption support	-	-	-	-	-
	Cost of emergency measures	-	-	161,056	-	28,540
Indirect benefit total amount (₩One thousand)		-	264	196,608	264	43,926
Total amount (₩One thousand)		644	41,743	252,512	51,553	62,506
B/C		0.0008	0.0299	0.0833	0.0101	0.0273

공공시설물 피해액에서도 교량, 도시시설, 공익, 농지 등 다양한 공공시설물 중 본 연구에서는 도로시설물과 상·하수도시설물 피해액만 고려하였기 때문에 직접피해액이 낮게 산정되었다. 둘째는, 간접편익 항목 비중이 낮기 때문이다. 본 연구에서 안말천 지구와 봉동천지구에서 직접편익 대비 간접편익의 비중은 각각 3.51배(직접편익 55,904(천원), 간접편익 196,608(천원)), 2.36배(직접편익 18,580(천원), 간접편익 43,926(천원))로 도출되었지만, 동일한 지역에 다차원법을 적용하여 산정했을 때에는 5~9%의 비중을 차지했다. 직접편익이 낮게 산정되어 간접편익이 크게 산정된 것으로 보이지만 일반적으로 B/C 값이 제대로 도출되기 위해서는 추가적인 간접편익 항목의 반영이 필요하다. 이 문제는 본 연구의 한계점이라 할 수 있다.

정부에서는 재해예방사업에 대한 투자우선순위를 결정시 정량적인 가치뿐만 아니라 정성적인 가치도 다방면으로 고려한다. 간접편익 항목은 그동안 사업에 대한 투자우선순위를 결정할 때 고려되지 못했던 재해예방사업의 숨겨진 편익항목으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 인명피해와 이재민 피해, 가정 및 산업에서 유발되는 간접편익 항목을 다루었지만, 실제로 각 분야별로 산정할 수 있는 간접편익은 매우 다양하며(Hyun and Kim, 2017), 재해로 유발되는 정신적

피해, 침수로 인한 교통두절 절감편익, 환경오염물질 저감편익 등이 있다. 본 연구에서는 간접편익을 산정할 때 건물 내부침수심별 영업정지·정체일수, 가정에서 대체활동에 따른 지출부담 단가와 같이 일본에서 사용 중인 피해일수 및 원단위 단가를 참고하였지만, 추후 지구단위 재해예방사업에 대한 경제성 분석을 수행할 때, 한국형 원단위 단가, 영업정지·정체일수 등을 도입하고 비중이 큰 간접편익 항목을 모형에 반영하면 개선된 결과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05).

References

- Dongducheon City. (2014). *Comprehensive plans to mitigate damage from storm and flood*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). *Multi-hazard loss estimation methodology flood model HAZUS-MH 2.1 technical manual*.

- Han, K.Y. (2018). Urban flood mitigation against climate change. *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol. 66, No. 10, pp. 20-21.
 - Hyun, S.H., and Kim, H.Y. (2017). Developing statistics if the direct and indirect socioeconomic losses from storm and flood to construct regional spatial information system. *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 17, No. 4, pp. 95-107.
 - Hyun, S.H., and Kim, H.Y. (2018). Indirect socioeconomic losses from natural and human-caused disaster: The cases of Typhoon Bolaven-Tembin and Sewol Ferry accident. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 18, No. 4, pp. 297-309.
 - 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, G.H., Choi, C.K., Hong, S.J., and Kim, K.T. (2018). Study on Development of Economic Flood Risk Model for Private Property. *Proceedings of KSCE 2018 convention*, Korean Society of Civil Engineers, pp. 38-39.
 - 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.
 - Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (2005). *Water supply economic survey manual*.
 - Ministry of the Interior and safety (MOIS). (2017). *Natural disaster risk improvement district management guidelines*.
 - Ministry of Construction & Transportation (MOCT). (2004). *A study on the economic analysis in flood control projects - Multi-dimensional flood damage analysis-*.
 - Yu, S.Y., and An, H.U. (2013). Study of flood loss estimation using Hazus-MH 2.1. *The Journal of Risk Management*, Vol. 24, No. 1, pp. 29-58.
-
Received	October 19, 2019
Revised	October 21, 2019
Accepted	November 8, 2019