경험적 홍수피해 자료에 근거한 노출위험인구 기반 인명손실 평가방법 개발

Life Loss Assessment Method based on Population at Risk using Empirical Flood Damage Data

김길호* · 홍승진** · 김경탁***

Kim, Gilho*, Hong, Seungjin**, and Kim, Kyungtak***

Abstract

Annual flood disasters can result in significant losses of life and property. Minimizing casualties should be a priority in disaster prevention planning and policy. This study has developed an empirical method for estimating life loss based on past flood damage cases. Life loss was estimated according to the PAR (Population At Risk) and the occurrence probability of life losses. The PAR was determined from GIS (Geographic Information System) spatial analysis with flood inundation map and population map. The occurrence probability of life loss was determined using empirical data, such as natural disaster statistics in the NDMS (National Disaster Management System) and flooding trace map. The proposed life loss assessment method can be used in the process of modeling flood risk and determining alternatives for flood prevention project.

Key words : Life loss, Population at Risk, Inundation Map, Flood Damage, Risk

요 지

국내에서 자연재난 대부분을 차지하는 홍수는 매년 반복되어 인명과 재산상의 막대한 손실을 유발하며, 인명피해 최소화는 방재계획 및 정책수립에 있어 우선시되고 있다. 본 연구는 이를 지원하기 위한 도구로서, 과거 피해실적에 근거한 경험적 인명피해 평가방법을 개발하였다. 인명피해는 기본적으로 노출위험인구(PAR)와 인명피해 발생확률을 기반으로 하며, PAR은 침수구역도와 집계구 공간단위로 계층화된 인구 인벤토리 DB의 GIS 공간분석 결과로부터 결정된다. 그리고 인명피해 발생확률은 행정안전부의 국가재난관리시스템(NDMS) 내 인명피해 이력과 한국국토정보공사에서 제공받은 침수흔적도를 토대로 침수등급과 인구계층을 구분하여 제시하였다. 본 연구를 통해 제시된 인명피해 평가방법이 향후 재난위험지구 결정, 리스크 모델링, 방재사업 대안결정 등의 실무와 학술적 연구과정에 활발히 활용되길 기대한다.

핵심용어 : 인명피해, 노출위험인구, 침수구역도, 홍수피해, 리스크

1. 서 론

이상 자연현상 등과 같은 외부요인에 의해 인명, 재산 등이 피해를 받을 경우 이를 재해라 하며, 이러한 원치 않는 결과를 초래하는 원인을 재난이라고 한다. 즉, 재해는 돌발적

이고 불의의 외력에 의해서 토지, 건물 등 공작물이나 물품, 시설의 손괴와 망실, 사망자 및 부상자 발생, 사회인프라시설 등에 피해가 발생한 경우로 재난과 재해는 원인과 결과의 관계라 할 수 있다. 국내에서 자연재난 대부분을 차지하는 홍수는 매년 반복되어 인명과 재산상의 막대한 손실을 유발

*정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원(E-mail: kgh0518@kict.re.kr)

Member, Senior Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

**교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원(Tel: +82-31-910-0534, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: seungjinhong@kict.re.kr)

Corresponding Author, Member, Senior Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

***정회원, 한국건설기술연구원 연구위원(E-mail: ktkim1@kict.re.kr)

Member, Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

하고 있으며, 이러한 손실을 저감하기 위한 각종 계획 및 정책은 인명보호를 최우선에 두고 추진되고 있다. 이 과정에서 홍수발생 예상지역에 대한 인명손실 평가는 리스크평가, 위험지역 탐색, 사업대안 평가, 치수경제성분석, 재난대비 및 대응 계획 수립 등의 과정에 활용될 수 있다.

홍수로 인한 인명피해 추정과 관련된 국외 연구를 살펴보면, Petak and Atkisson (1982)은 인명손실을 예측하기 위하여 자연재해 데이터를 활용한 경험적인 방법을 제시하고, 이때 홍수재난 정보, 취약성 확률분포, 노출자산의 분포를 고려하였다. Stanford/FEMA 모델(McCann et al., 1985)에서는 댐 붕괴 모델과 연계하여 댐과의 거리, 최대 침수심에 따라 노출위험인구(Population At Risk, PAR)를 지역별로 세분화한 sub-PAR를 결정하고, 각 sub-PAR의 침수심에 따른 인명손실률을 반영하는 방법을 제안하였다. USBR Model (Brown and Graham, 1988; DeKay and McClelland, 1993)에서는 과거 인명피해 자료로부터 인명손실을 추정하기 위한 통계적 회귀식을 제시하였고, 회귀식 내 설명변수로서 경보발령 선행시간(warning time)을 포함하였다.

2000년 이후에는 인명피해와 관련된 다양한 영향인자를 분석과정에 반영하고, 경험적인 방법과 함께 수리학적, 지형학적, 인문사회적 요인들을 복합적으로 고려하는 연구가 등장하였다. 우선, Flood Risks to People (DEFRA, 2006)에서는 홍수특성, 인구특성, 지역특성 요인들을 종합적으로 고려하여 인명손실을 추정하였고, 부상자와 사망자를 추정하는데 위험지역(hazard zone) 내 노출된 위험인구를 기준으로 하고 있다. BC Hydro Life Safe Model (LSM) (Johnstone et al., 2005)은 시·공간 GIS 자료와 센서스 자료를 활용하여 댐 비상사태 시뮬레이션, 시각화, 피난계획 등을 모의하기 위한 모형으로, 건물유닛 단위의 상주인구를 바탕으로 하기 때문에 상당히 정교한 분석결과를 지원한다. LSM과 기능적으로 유사한 LIFESim (McClelland and Bowles, 2002; Aboelata and Bowles, 2005)은 미육군공병단(USACE)의 홍수영향평가 모형인 HEC-FIA (USACE, 2012)에 탑재된 인명손실 계산 모듈로서 댐 붕괴 위험도 평가에 주로 활용되며, 경보 시스템 효율, 경보에 대한 반응, 대규모 인구피해를 모의하는데 활용하고 있다. 특히, LIFESim의 분석과정에는 피난처의 가용성, 침수심, 유속 관계에 따라 3개로 구분된 치사율 지대(lethality zone)를 고려하고 있다.

이처럼 인명피해 추정과 관련된 연구는 과거 발생된 인명피해 사례에 근거한 경험적이고 통계적인 방법에서 인구, 건물과 관련된 고해상도 자료와 2차원 동적 수리모형을 활용하여 대피율, 사전경보 등의 영향인자를 복합적으로 고려하는 방법으로 발전하는 추세이다(Hong et al., 2018). 그러나 국내에서는 치수경제성분석 일환으로 2004년에 개발된 다차원홍수피해산정법(Multi-Dimensional Flood Damage Analysis, MD-FDA; MOCT, 2004)에서 도시유형에 따른 침수면적-인명피해 관계식에 의한 방법이 현 실무에

서 사용 중이다. 국외기술과 비교할 때, 현 다차원홍수피해 산정법에서 제시하는 인명피해 평가방법은 인구자료의 해상도와 방법론 측면에서 1980년대 초기 연구수준에 그치고 있다.

이에 본 연구는 홍수재난으로 유발되는 다양한 피해목적물 가운데 인명(인구)을 중심으로, 과거 인명피해 실적자료로부터 사후연구 과정을 통해 실용적으로 활용도가 높은 인명피해 평가방법을 제시하고자 한다. 이때, 인구규모와 공간적 분포를 설명하기 위한 인구자료(인구 인벤토리)는 기존의 행정구역(읍면동) 단위로 취합된 통계자료가 아닌 고해상도의 GIS 인구센서스 자료를 사용하였고, 최근 리스크평가 과정에서 사용되는 노출위험인구(PAR) 개념을 도입하였다.

2. 인명피해 평가체계

2.1 분석절차

본 연구에서는 인명피해에 영향을 미치는 인자로서 침수 깊이(침수심), 노출위험인구, 연령에 따른 재난취약성을 고려하며, 이러한 인자의 부정적인 영향이 증가할수록 인명피해가 비례함을 기본가정으로 한다. 분석절차는 Fig. 1과 같으며, 침수구역도에는 재난강도 및 범위에 관한 정보를 포함하고, 인명 인벤토리에는 분석지역의 인구정보, 분포, 규모에 대한 정보를 포함한다. 침수구역도는 목적에 따라 범람해석 내지는 내수침수 해석결과로부터 구축되며, 지도 상에 표현되는 침수심은 인명피해 산정시 발생확률 결정 과정에 사용된다.

노출위험인구(PAR)는 인구 인벤토리 DB와 침수구역도 간 GIS 중첩분석(overlay analysis)으로부터 결정된다. 즉, Eq. (1)의 특정 집계구(i)에서 어느 침수구역(j)에 대한 노출위험인구(PAR_{ij})란 지리적으로 홍수위험지역에 위치한 인구를 의미한다. 여기서, POP_i 는 집계구(i) 내 취약계층 혹은 일반계층 인구수이며, (A_j/A_i) 는 특정 집계구의 총면적(A_i)과 해당 집계구 내 어느 침수구역 면적(A_j)간의 비율, 즉 침수구역 내 노출위험인구를 집계구 인구로부터 공간내삽(areal interpolation) 하기 위한 면적비이다. 그리고 인명피해 발생확률인 $P(d, c)$ 는 본 연구에서 과거 경험적 인명피해 실적자료를 통해 사전 결정한 것으로, 분석 시 침수구역도로 확인되는 침수심(d)과 연령을 기준으로 취약계층, 일반계층으로 구분한 인구유형(c)에 따라 결정된다. 이러한 인명손실(LL_{ij}) 계산과정을 수식으로 정리하면 Eq. (2)와 같다.

$$PAR_{ij} = (POP_i) \left(\frac{A_j}{A_i} \right) \text{ at } j \subset i \quad (1)$$

$$LL_{ij} = (PAR_{ij}) P(d, c) \quad (2)$$

Fig. 1. Flowchart of Life Loss Assessment by Flooding

2.2 인구 인벤토리 DB

인벤토리(inventory)란 사전에 정의된 유형분류 체계 분석과정에 필요한 자산정보의 목록을 의미하며, 타 연구에서는 노출 DB (exposure DB) 혹은 자산 DB (asset DB)라 표현되기도 한다. 이는 가용자료와 자산특성에 따라 객체자료(object data; site specific data), 혹은 읍면동이나 집계구 경계와 같은 통계구역 단위의 취합된 자료(aggregated data; surface data)로 구축된다. 인구 인벤토리 예로, Hazus-MH flood model (FEMA, 2012)에서 인구자료는 센서스블록(census block) 공간 단위의 인구정보를 사용하고, MD-FDA (MOCT, 2004)에서는 법정동(읍면동) 공간 단위의 인구정보를 사용하고 있다. 이러한 인벤토리 DB는 위치정보가 참조가능한 지형공간자료 형태이어야 하고, 일관된 자료 활용을 위해 원자료로부터 필수적인 정보들을 선별하여 표준화된 절차에 의해 재생산되어야 한다.

인구 인벤토리에 사용한 원자료는 읍면동 평균 1/30 규모의 집계구 인구통계(인구센서스)이다. 이 자료는 조사명의 변화는 있었지만, 1949년부터 시작하여 현재까지 5년 단위로 조사되고 있으며, 최근 통계청에서는 다양한 센서스 정보를 하나로 통합한 통계지리정보시스템을 구축하여 제공

중이다. 인구센서스에서 제공 중인 인구자료 가운데, 본 연구는 연령에 따른 계층구분을 위해 성/연령별 인구 데이터를 사용하였으며, 도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침(MOLIT, 2016)을 참고하여 인구계층을 일반계층(5세부터 65세 미만)과 취약계층(5세 미만, 65세 이상)으로 구분하였다. 취약인구 설정과 관련하여 수해피해지표 분석지침(MLIT, 2013)에서는 임산부, 영유아, 고령자(65세 이상), 장애인을 포함하였고, Flood Risks to People (DEFRA, 2006)에서는 75세 이상 고령자, 건강상 개인 이동이 불가능한 사람을 포함하였다. 그리고 LIFESim (McClelland and Bowles, 2002; Aboelata and Bowles, 2005)에서는 65세의 고령자를 취약인구로 구분하였다.

Fig. 2와 같이 인구 인벤토리 DB의 베이스맵은 집계구경계 전자지도(.shp)이며, 여기서의 집계구번호를 매칭키로 일반계층과 취약계층으로 구분한 집계구 인구통계(성/연령별 인구)(.txt)를 연계하여 구축한다. 보다 실용적이고 직관적인 분석결과의 종합(reporting)을 위하여 인벤토리 항목으로 행정구역 정보(법정동)를 포함하였는데, 법정동 정보의 경우 인구센서스 자료에서 제공되지 않기 때문에 별도의 매핑과정을 필요로 한다.

Fig. 2. Scheme of Population Inventory DB

2.3 인명피해 발생확률

본 연구에서 정의하는 인명피해 발생확률이란 위험지역의 노출위험인구(PAR)를 기준으로 한 1인당 사상자 발생확률(인/인)이며, 이를 재난강도(침수깊이)와 인구계층 유형에 따라 구분하여 제시하였다. 이 개념은 홍수재난의 취약성과 관계되며, 피해 실적자료에 근거한 사후연구 과정으로부터 결정할 수 있다. 국내에서 홍수(호우)와 관련된 인명피해 실적자료는 한국국토정보공사의 침수흔적도, 행정안전부의 재해연보(MOIS, 2018), 그리고 재해연보의 원자료를 DB화하여 행정전산망에서 운용 중인 국가재난관리시스템(NDMS) DB가 대표적이다.

인명피해 발생확률 결정을 위해 본 연구에서는 침수흔적도와 구체적인 인명피해 정보를 포함하는 NDMS DB를 활용하였다. NDMS에서는 사상자의 나이(만), 성별, 사고일시, 사고지역, 피해구분(부상, 사망, 실종), 사고요인(건물붕괴, 침수, 하천급류, 하천범람 등), 재난유형(호우, 태풍, 대설, 강풍, 풍랑) 등에 대한 정보를 제공한다. 수집한 2006년부터 2016년까지 전체 인명피해의 약 90%가 호우, 태풍에 의해 발생되었고, 호우, 태풍에 의한 인명사고 총 366건 가운데 사망자(실종 포함)는 214명(58%), 부상자는 152명(42%)으로 나타났다. 이 가운데 인명피해 발생확률 분석에 사용된 인명 사고건은 침수흔적도 구축여부, 재난유형(홍수, 침수), 사고유형(침수, 하천범람)을 고려하여 최종 부산광역시('12), 김제시('12), 진도군('12), 남해군('12), 경기광주시('11), 하남시('10), 고양시('09), 봉화군('08), 울산광역시('08), 양주시('06), 평택시('06), 평창군('06) 사례로 결정하였다.

재난강도 영향인자인 침수심은 피해자료의 축적정도에

따라 침수심 구간을 세밀화 할 수 있는데, 본 연구에서 실제 인명피해 발생확률 결정에 사용된 자료수가 충분하지 않은 점을 고려해 침수깊이 1 m를 경계로 2개 구간(1 m 미만, 1 m 이상)으로 구분하였다. 인명피해 발생확률 분석 절차는 (1) NDMS DB로부터 사고발생 지점의 위치 확인, (2) 발생지역 인구 인벤토리 구축, (3) 인구 인벤토리와 침수흔적도를 이용하여 대상지역 PAR 결정, (4) 사상별 인명피해정보(취약계층 사상자, 일반계층 사상자)와 노출위험인구간의 관계 분석이다.

Tables 1과 2의 인명피해 사례로부터 결정한 인명피해 발생확률은 Table 3과 같이 침수심 1 m 미만의 경우 일반계층에서는 0.000114(인/인), 취약계층에서는 0.000279(인/인)으로 나타났고, 침수심 1 m 이상 구간의 경우 일반계층에서는 0.000395(인/인), 취약계층에서는 0.000872(인/인)으로 분석되었다. 결과적으로 침수깊이가 크고 연령측면에서 취약한 계층일수록 높은 인명피해 발생확률을 보였다.

3. 적용성 평가

홍수피해 저감 목적으로 계획된 원주천댐 건설사업을 대상으로 본 연구에서 제시한 인명피해 평가 방법의 적용성을 평가하였다. 원주천 유역은 2002년에 2건, 2006년에 1건의 인명사고가 발생하였고, 2010년과 2011년에는 집중호우로 인하여 원주천 제방이 유실되는 등 과거 빈번하게 홍수피해가 발생한 지역이다. 여기서는 2017년 타당성재조사(KDI, 2017) 당시 분석된 Fig. 3의 사업시행 전(without project), 200년 홍수빈도에서의 침수구역도를 활용하여 적용과정을

Table 1. Occurrence Probability of Vulnerable and General Class at 0~1m Inundation Depth

	PAR in 0~1m depth (No. of person)		Observed life losses (No. of person)		Occurrence probability (per person)	
	Vulnerable population	General population	Vulnerable population	General population	Vulnerable population	General population
Goyang ('09)	18	127	-	1	-	0.007887
Yangju ('06)	22	128	-	1	-	0.007813
Hanam ('10)	8	57	-	1	-	0.017617
Pyeongtaek ('06)	74	533	-	1	-	0.001876
Pyeongchang ('06)	1	7	1	1	0.783699	0.136091
Gimje ('12)	44	199	-	1	-	0.005032
Jindo ('12)	23	93	2	-	0.087455	-
Namhae ('12)	40	203	1	-	0.025138	-
Busan ('12)	19,472	81,718	3	2	0.000154	0.000024
Bonghwa ('08)	52	77	-	1	-	0.012994
Ulsan ('08)	5,171	29,814	-	2	-	0.000067
Gwangju ('11)	176	888	-	2	-	0.002252
Total	25,101	113,844	7	13	0.000279	0.000114

Table 2. Occurrence Probability of Vulnerable and General Class at Inundation Depth of 1m or More

	PAR in depth of 1m or more (No. of person)		Observed life losses (No. of person)		Occurrence probability (per person)	
	Vulnerable population	General population	Vulnerable population	General population	Vulnerable population	General population
Goyang ('09)	1	5	-	-	-	-
Yangju ('06)	3	18	-	-	-	-
Hanam ('10)	-	-	-	-	-	-
Pyeongtaek ('06)	269	1,725	-	-	-	-
Pyeongchang ('06)	15	97	-	-	-	-
Gimje ('12)	1	6	-	-	-	-
Jindo ('12)	56	256	-	-	-	-
Namhae ('12)	58	482	-	-	-	-
Busan ('12)	1,128	3,581	-	-	-	-
Bonghwa ('08)	6	10	1	1	0.168039	0.104701
Ulsan ('08)	636	3,318	-	1	-	0.000301
Gwangju ('11)	121	616	1	2	0.008264	0.003247
Total	2,294	10,115	2	4	0.000872	0.000395

Table 3. Occurrence Probability of Life Loss

Classification	Depth	
	0 ~ 1m	1m ~
General population	0.000114	0.000395
Vulnerable population	0.000279	0.000872

설명하고, 이것을 포함한 홍수빈도별 사업시행 전후 분석결과를 간략히 제시하였다.

Fig. 3. Inundation Map in Study Area (KDI, 2017)

3.1 인벤토리 DB 구축

원자료인 집계구 인구통계(성/연령별 인구)(.txt)와 집계구경계 전지도도(.shp)는 통계청에서 운영하는 통계지리정보서비스(<https://sgis.kostat.go.kr/>)로부터 수집하였다. 우선, 집계구 인구통계(성/연령별 인구) 자료로부터 일반계층, 취약계층 인구를 구분하여 결정하고, 집계구 고유번호를 기준으로 두 자료를 연계, 매칭하여 GIS 공간자료로 재생산하였다. 결과보고(reporting)를 위한 법정동 정보는 행정안전부에서 매월 제공하는 법정동-행정동 매핑파일을 이용하여 각 집계구의 관할 법정동 정보를 추가하였다. 이러한 과정으로부터 구축된 인벤토리는 집계구 고유번호, 법정동, 취약계층 인구, 일반계층 인구 정보를 포함하며, 661개의 집계구로 구성된 원주시 인구 인벤토리의 기본통계는 Table 4와 같다. 한편, 집계구 면적이 작다는 것은 인구밀도가 높은 도시화 지역임을 의미하는데, Fig. 4와 같이 원주천 인근이 도심지역이고, 상대적으로 집계구 면적이 크고 인구밀도가 낮은 외곽지역에서 취약계층의 비중이 높은 것을 알 수 있다.

Table 4. Statistics of Population Inventory DB (Wonju-si)

	Min.	Max.	Sum.	Mean	Standard Deviation
General Population	0	3,418	273,768	414.2	157.3
Vulnerable Population	0	315	52,477	79.4	41.8

Fig. 4. Population Inventory DB of Wonju-si (left: General Population, right: Vulnerable Population)

3.2 노출위험인구(PAR) 및 인명피해 평가

어느 집계구 공간 내 침수구역이 부분적으로 발생할 시 해당구역에서의 노출위험인구(PAR)는 인벤토리 구축의 기본 공간단위인 집계구의 인구 데이터에서 해당 구역의 공간 데이터로 세분화되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 공간내삽 과정을 집계구의 세밀한 밀도를 고려해 면적크기를 기준으로 등배분하는 방식을 사용하였고, 이를 MD-FDA (MOCT, 2004)에서 언급된 용어인 침수편입률이라 정의하였다. 예를 들어, Fig. 5의 0.153 km²의 면적을 가지는 집계구에서의 취약인구가 163명이고, 해당 집계구 내에서 1 m 미만 침수구역 면적이 0.072 km²일 때 취약계층의 PAR은 $163 \times (0.072 / 0.153)$ 에 따라 77명으로 결정된다. 이러한 과정을 전체 침수지역에 분석한 결과 일반계층 8,375명, 취약계층 1,896명으로 총 10,271명의 노출위험인구가 존재하는 것으로 나타났다.

최종적으로 노출위험인구 계산결과에 인명피해 발생확률(Table 3)을 반영한 결과는 Table 5와 같으며, 해당 홍수상과 인구 상황에서 인명피해(사상자)는 약 3.25명으로 예상되었다.

Fig. 5. Example of Calculation PAR

Table 5. PAR and Expected Life Losses in Flooding Boundary

	Inundation depth: 0 ~ 1 m		Inundation depth: 1 m ~		Total
	General POP.	Vulnerable POP.	General POP.	Vulnerable POP.	
PAR (person)	4,135	926	4,240	970	10,271
Occurrence Probability	0.000114	0.000279	0.0003954	0.0008719	
Life Losses (person)	0.47	0.26	1.68	0.85	3.25

3.3 홍수빈도별 사업시행 전후 평가결과

치수경제성분석을 비롯한 사업평가를 위해서는 앞에서 절차적으로 설명하는 데 사용한 상황 외 다양한 홍수빈도에서의 결과를 사업시행전, 사업시행후 상황에 대해 분석하여야 한다. 동일한 절차에 의해 홍수빈도(50, 80, 100, 200년)별 사업시행전과 사업시행후에서의 인명피해 분석결과를 정리하면 Fig 6과 같으며, 이 사업의 경우 홍수빈도가 클수록 인명피해 저감효과가 큰 것으로 분석되었다.

Fig. 6. Results by with/without Project and Flood Frequency

4. 결 론

본 연구에서는 행정안전부로부터 제공받은 NDMS의 인명피해 자료와 한국국토정보공사의 침수흔적도를 활용하여 경험적인 과거 피해실적에 근거한 인명피해 발생확률을 제시하고, 재난손실모델 체계 하 인명피해 평가방법을 절차적으로 제시하였다. 본 연구로부터 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 기존에 인명피해 평가에 사용된 다차원 홍수피해산정법(MD-FDA)은 2004년 개발 당시 국가차원에서 서비스되는 양질의 인구자료가 부족하였기 때문에 보다 정밀하고 정확한 자료로 개선할 필요가 있었다. 이에 본 연구에서는 집계구 공간 단위의 센서스 인구통계자료를 활용한 인벤토리 DB를 표준화하여 향후 일관성 있는 자료를 사용하기 위한 토대를 마련하였다.
- (2) 인명피해 평가과정에 노출위험인구(PAR) 개념을 도입하여 실제 위험지역에 위치한 인구를 기준으로 한 피해평가 방법을 제시하였다. 그리고 노출위험인구를

모수로 한 인명피해 발생확률을 과거 피해실적 자료에 근거하여 제시하였다. MD-FDA에서 고려하지 않은 재난강도(침수심)와 인구특성에 따른 취약성을 복합적으로 반영할 수 있게 되었다.

- (3) 과거 12개 홍수사상으로부터 결정한 인명피해 발생확률은 침수심이 클수록, 취약계층(0~4세, 65세 이상)일수록 높은 값을 보였고, 인구계층 및 침수심 크기에 따라 최소 1만명 당 1.14명, 최대 1만명 당 8.72명의 확률로 인명피해가 발생하는 것으로 분석되었다.
- (4) 본 연구에서 제시한 인명피해 평가방법을 원주천담 건설사업에 적용한 결과, 사업시행 전의 경우 홍수빈도에 따라 1.77명에서 3.25명까지 인명피해가 발생하는 것으로 나타났고, 사업시행 후에는 최소 1.49명에서 최대 2.39명까지 발생되어 사업시행에 따른 인명피해 저감효과를 뚜렷이 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제안한 인명피해 평가방법은 홍수사상에 따라 예상되는 인명피해 규모를 평가하기 위한 것으로, 홍수 예방사업 계획수립을 위한 치수경제성분석, 리스크 평가를 위한 재난손실 모델링 과정에 활용될 수 있다. 그러나 여기서는 NDMS에서 제공하는 한정된 인명피해 자료만을 사용하여 자료보완을 통한 인명피해 발생확률 개선이 필요하다. 그리고 NDMS는 현재 행정전산망에서 운용되고 있어 자료 접근성이 낮고, 불분명한 자료가 상당 포함되어 있다. 연구자료로써 상당한 가치가 있는 피해 원자료를 체계적으로 정제하여 DB화하고, 이를 일반 연구자에게 제공될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업(MOIS-재난-2015-05)과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(19AWMP-B121100-04) 지원으로 수행되었습니다.

References

- Aboelata, M.A., and Bowles, D.S. (2005). *LIFESim: A model for estimating dam failure life loss*. Report to Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers

- and Australian National Committee on Large Dams.
- Brown, C.A., and Graham, W.J. (1988). Assessing the threat to life from dam failure. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 24, Vol. 6, pp. 1303-1309.
- Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). (2006). *Flood risks to people*. Environment Agency and DEFRA, London, UK.
- DeKay, M.L., and McClelland, G.H. (1993). Predicting loss of life in cases of dam failure and flash flood. *Risk Anal.*, Vol. 13, No. 2, pp. 193-205.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). *Hazus-MH flood technical manual*.
- Hong, S.J., Kim, G.H., and Kim, G.T. (2018). Current status life losses by natural disaster. *Water for Future*, Vol. 51, No. 4, pp. 50-53.
- Johnstone, W.M., Sakamoto, D., Assaf, H., and Bourban, S. (2005). Architecture, modelling framework and validation of BC hydro's virtual reality life safety model. *Proceedings of the International Symposium on Stochastic Hydraulics*, Nijmegen, the Netherlands.
- Korea Development Institute (KDI). (2017). *Re-assessment study of feasibility of Wonju Stream Dam*.
- McCann, M.W., Franzini, J.B., Kavazanjian, E., and Shah, H.C. (1985). *Preliminary safety evaluation of existing dams*. Report No. 69, The John A. Blume Earthquake Engineering Centre, Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA.
- McClelland, D.M., and Bowles, D.S. (2002). *Estimating life loss for dam safety risk assessment—A review and new approach*. IWR report 02-R-3. Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers.
- Ministry of Construction and Transportation (MOCT). (2004). *A study on the economic analysis in flood control projects*.
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (2013). *Flood damage index analysis guide*. Tokyo. (国土交通省 水管理・国土保全局 (2013), 水害の被害指標分析の手引, 東京.)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016). Retrieved from <http://m.molit.go.kr/viewer/skin/doc.html?fn=619334c99ea09ada1a6b755aeaa5342b&rs=/viewer/result/20160512>
- Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2018). *2017 Statistical yearbook of natural disaster*.
- Petak, W.J., and Atkisson, A.A. (1982). *Natural hazard risk assessment and public policy*. Springer-Verlag.
- Statistics Korea. *Statistical Geographic Information Service*. Retrieved from <https://sgis.kostat.go.kr/>
- US Army Corps of Engineers (USACE). (2012). *HEC-FIA flood impact analysis: User's manual*.

Received	October 14, 2019
Revised	October 15, 2019
Accepted	November 20, 2019