피해자료 및 현장조사를 통한 공공건물 침수 손상함수 개발

The Development of Flood Damage Functions for Public Buildings Using Damage Data and Field Surveys

이창희* · 김상호** · 황신범***

Lee, Chang Hee*, Kim, Sang Ho**, and Hwang, Shin Bum***

Abstract

Flood damage assessment is an important factor in flood risk management. Flood depth damage functions are commonly used to estimate flood damage. Major developed countries such as the US, Japan, and those of Europe have developed flood damage estimation models based on damage analyses of past flood cases as well as the judgment of flood experts. However, such damage procedures are not applicable to Korea, because they are based on data from regions in other developed countries. To solve this problem, this study developed damage functions using actual damage data from public buildings in Korea. Damage rates were calculated for each type of public building by utilizing various damage data obtained from the mutual aid association and the building register, and data on the depth of flooding, obtained through field surveys. The damage function can then be used to analyze the cost-effectiveness of flood damage reduction measures.

Key words : Damage Function, Public Buildings, Flood Estimation Model, Field Survey

요 지

홍수에 대한 피해평가는 홍수 위험 관리를 하는데 있어서 중요한 요소다. 홍수 피해를 추정하기 위해서 일반적으로 침수심별 손상함수가 사용된다. 미국, 유럽, 일본 등 주요 선진국에서는 과거의 홍수피해에 대한 분석과 전문가의 판단에 근거하여 침수심별 손상함수를 이용한 홍수 피해 추정 모형을 개발하였다. 그러나 이러한 손상함수는 개발된 지역 데이터를 기반으로 만들어 졌기 때문에 우리나라에서는 이를 그대로 적용할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 공공건물에 대해서 우리나라의 실제 피해 데이터를 활용하여 손상함수를 개발하였다. 공제회로부터 획득한 각종 사고데이터와 현장조사에 의한 침수심 등을 이용하여 공공건물 건물유형별로 손상을 산정하였다. 손상함수는 침수 피해에 따른 홍수피해액 추정을 가능하게 함으로써, 홍수피해저감 대책에 대한 비용대비 효과분석에 활용될 수 있다.

핵심용어 : 손상함수, 공공건물, 홍수 피해 추정 모형, 현장조사

1. 서 론

1.1 연구배경

침수 피해액을 추정하기 위한 방법으로 일반적으로 침수 범위를 분석한 후 침수 구역내 침수심별 손상함수를 적용한다(Merz et al., 2010; FEMA, 2011; Green et al., 2011). 침수심별 손상함수는 특정 침수심에서 발생할 수 있는 홍수 피해를

의 형태로 건물유형별로 개발·사용되고 있으며, 미국, 유럽 및 일본 등에서는 과거의 홍수피해 조사자료와 전문가의 판단에 근거하여 침수심별 손상함수를 이용한 홍수 피해 추정 모형을 개발하였다(FEMA, 2011; Penning-Rowsell et al., 2013; Kim et al., 2014). 그러나 이러한 손상함수는 각 나라의 피해 데이터를 기반으로 개발되었기 때문에 건물 자산, 재질, 내용물 등이 다른 우리나라에서 그대로 적용할

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

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

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

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

***정회원, 상지대학교 건설시스템공학과 박사과정(E-mail: driftt@sangji.ac.kr)

Member, Ph.D Candidate, Department of Civil Engineering, Sangji University

수는 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 공공건물에 대해서 우리나라의 실제 피해 데이터를 활용하여 손상함수를 개발하였다.

1.2 연구방법

공공건물의 침수심별 손상함수 개발을 위해서 Fig. 1과 같이 실제 침수건물에 대한 현지조사를 수행하여 자산가치 평가 자료와 피해발생시 건물 규모(연면적, 층수 등), 피해면적, 침수심, 피해액 등 피해현황 자료를 수집하였다(Lee et al., 2017). 건물 요소는 건물 구조물과 건물 내용물로 구분(USACE, 1992, 1996; Smith, 1994; FEMA, 2011, 2012; Lee et al., 2017)하였고, 건물 구조물은 건물 구조체, 창호, 배관, 전기·조명, 보일러, 발전시설과 같이 건물 기초공사에서부터 준공까지 투입되는 요소를 말하며, 건물 내용물은 가구, 책, 전자기기, 카펫 등 동산이 이에 해당된다. 공공건물 유형별 침수심별 손상함수 개발을 위해 손상함수에 대한 검증에 사용할 DB를 구축하였다. 이를 위한 실제 피해가 발생한 건물에 대한 피해데이터가 필요한데, 이를 수집하기 위해 한국지방재정공제회, 교육시설재난공제회를 통하여 공제회 가입자에게 사고로 인하여 손해가 발생했을 때 그 손해액을 결정하고 공제금을 지급한 사고데이터(Claim DB)를 활용하였다. 본 연구에서는 공제회에서 가지고 있는 각종 사고데이터를 건축물대장과 연계하여 각 건물의 특성을 구분하였고, 현장조사를 통한 담당자 인터뷰를 통해 침수심 등 재해강도를 파악하여 자료를 수집 구축하였다. 구축된 자료는 기 개발된 손상함수를 보정 할 수 있는 데이터로 변환하여 DB를 구축하였으며, 공공건물 건물유형별로 손상률을 산정하였다.

Fig. 1. Procedure of Depth-Damage Function Development (Lee et al., 2017)

2. 공공건물 피해 관련 국내 자료 구축 현황

피해 자료로는 Fig. 2와 같이 침수범위와 침수심 등의 정보를 담은 침수흔적지도와 국가재난관리시스템(National Disaster Management System, NDMS)에 등록된 자료, 한국 지방재정공제회 및 교육시설재난공제회 등 피해발생시 손실발생분에 대한 공제금 지급자료 등을 활용할 수 있다.

DB Construction Status Related to Public Building Damage Data	
Data	Status
National Disaster Management System	Not recorded despite damage
Flood Trace Map	Not Included despite damage
Mutual Aid Association	Possible to collect details of damages such as public buildings list, damage, et al.

Fig. 2. DB Construction Status Related to Public Building Damage Data

침수흔적지도는 자연재해대책법 제21조에 의해 과거 침수피해 실적을 누적 관리하여 재해예방대책 수립을 위한 자료로 활용하도록 하고 있다. 그러나 침수흔적도는 침수피해가 발생한 자자체의 작성 의지에 따라 제작됨에 따라 침수피해가 발생하였지만 누락된 지자체가 많으며, 침수흔적도를 제작한 곳도 침수된 공공건물이 빠진 곳이 많아 이용에 어려운 점이 있다. 또한 침수흔적도의 침수심 정보는 노면을 기준으로 한 침수심 정보이며 건물 내 침수심을 파악하는 데는 한계가 있다. 침수흔적도를 통해서 공공건물에 대한 침수피해 여부를 파악하기에 한계가 있으므로, 침수피해 건물, 피해정도, 피해액 등을 파악하기 위해 공공건물에 대한 피해자료와 관련된 DB 조사가 필요하다.

행정안전부에서는 NDMS를 통해 국가시설에 대한 피해 DB를 취합하며 여기에 공공건물에 대한 피해자료도 포함된다. 그러나 피해가 발생했던 공공건물임에도 불구하고 입력이 되지 않는 경우가 많은 상황이다. 이는 공공건물 피해가 발생되었을 때 국가로부터 복구비를 지원받는 것이 아닌 해당 학교시설 및 지자체별로 가입된 공제회로부터 피해 복구비를 받도록 되어 있으며, 이로 인해 지자체별 재무 혹은 회계 담당부서에 피해상황이 처리되고 있기 때문인 것으로 판단된다.

이와는 별도로 공공건물에 대한 피해가 발생할 경우를 대비해서 재난공제회에 의해 피해발생시 손실부분에 대한 손실을 보상해주는 체제가 운영되고 있는데, 교육시설재난공제회는 초중고, 대학, 교육청사 등 교육부 산하 교육연구시설을 맡고 있으며, 한국지방재정공제회는 각 지자체별로 소유한 공유자산에 대해서 맡고 있다. 이들 기관에서는 피해

발생시 전문 손해사정사를 통해 건물 구조물과 내용물에 대해서 피해액을 평가 한 후 피해보상액을 지급하므로, 공공 건물에 대한 피해 현황 자료는 이들 공제회와 피해 보상액을 지급받는 회원(각 자자체 및 교육연구시설)로부터 피해 자료를 획득할 수 있다. 침수심 등 재해강도에 대한 정보 파악을 위한 정보가 부족하기 때문에 현장조사 및 시설 담당자 인터뷰를 통한 조사가 추가로 필요로 한다.

3. 공공건물에 대한 현장조사

3.1 공제회 자료로부터 현장조사 지역의 추출

2016년 태풍 차바 및 2017년 수해로 인해 교육시설재난공제회 및 한국지방재정공제회의 복구비 지급자료를 토대로 현장조사를 실시하였다. 교육시설재난공제회로부터 복구비 지급시설 자료가 총 238건이 수집되었고, 한국지방재정공제회에서는 복구비 지급이 0원인 곳을 제외하고, 총 189건의 복구비 지급시설에 대한 자료가 수집되었다. 교육시설재난공제회는 지급항목은 구조물, 물품(내용물), 부속물로 구분하고 있으며, 한국지방공제회는 구조물, 시설물(내용물)로 구분해서 관리 된다. 그러나 이중 상당부분이 풍해, 산사태, 붕괴, 누수 피해 등이 혼재되어 있어 침수로 인한 피해 건물을 추려내는 작업이 필요로 하는데, 재해보상금 지급과 관련한 보고서 등 상세내역 자료를 획득하기 어려운 관계로 개별시설별로 유선통화를 통한 확인 작업과 현장조사의 효율성을 높이기 위해 피해지점들이 밀쳐져 있는 곳을 선정하여 현장조사 수행지역을 추렸다(Fig. 3).

Fig. 3. Screening and Determination of Survey Sites

Table 1. Damage Distribution of Public Buildings

Category		N	Min. (Won)	Max. (Won)	Ave. (Won)	St. Dev. (Won)
Structure	Public Office	9	1,087,000	80,214,000	21,756,556	24,343,858
	School Building	48	891,000	600,975,000	54,886,619	110,603,352
	Youth and Silver Facility	16	500,000	250,043,000	31,332,625	59,908,292
	others	24	1,784,000	2,279,770,000	258,519,220	573,507,970
Contents	Public Office	2	1,178,034	3,954,522	2,566,278	1,963,273
	School Building	23	180,000	490,462,620	37,415,496	101,854,521
	Youth and Silver Facility	0	-	-	-	-
	others	1	925,000	925,000	925,000	-

최종적으로 교육시설재난공제회 자료 중 교육시설재난공제회 자료 238건 중 68건(구조물, 내용물 피해가 중복으로 발생한 곳 포함해서 총 49곳), 한국지방재정공제회 자료 189건 중 37건에 대해서 현장조사를 수행하였다.

3.2 건축용도별 현황 및 피해금액별 현황

현장조사는 공공업무시설, 교육연구시설, 노유자시설, 문화및집회시설, 수련시설, 의료시설, 장례시설, 관광휴게시설, 1종근린생활시설에 대해서 수행되었고, 이중 문화및집회시설, 수련시설, 의료시설, 장례시설, 관광휴게시설, 1종근린생활시설에 대한 조사자료가 각 유형별로 충분하지 않기 때문에 기타로 분류하였다.

현장조사 결과 피해금액에 대해 건물 피해액, 내용물 피해액으로 정리한 결과는 Table 1과 Fig. 4와 같다. 공공업무시설은 구조물 피해에 대해서 약 백만원에서 약 8천만원까지, 내용물 피해에 대해서 약 백만원에서 약 4백만원까지 피해액이 발생한 것으로 조사되었다. 교육연구시설은 구조물 피해에 대해서 약 9십만원에서 약 6억원까지, 내용물피해에 대해서 18만원에서 약 4억9천만원까지 피해액이 발생한 것으로 조사되었다. 노유자시설은 구조물 피해에 대해서 5십만원에서 약 2억5천만원까지 피해액이 발생한 것으로 조사되었고, 나머지 기타시설은 구조물에 대해서 약 1백7십만원에서 약 22억원까지 피해액이 발생한 것으로 조사되었다.

3.3 침수흔적도에 의한 피해지역 사전조사

침수흔적지도는 자연재해대책법 제 21조에 의해 과거의 침수피해 실적을 누적 및 관리하여 당해지역의 침수피해상황을 알 수 있도록 하며 각종 개발계획 수립 시 재해예방대책 수립을 위한 자료로 활용된다. 침수흔적지도는 침수구역, 침수심, 침수시간에 대한 정보와 지적도를 기반으로가 작성되며, 한국국토정보공사는 2006년부터 현재까지 침수흔적조사보고서를 작성해 오고 있다.

공제회 자료는 피해액에 대한 정보를 구할 수 있는 반면 침수심과 같은 재해강도와 관련된 정보가 없다. 이에 따라 한국국토정보공사를 통해 제작된 침수흔적도를 이용하여 공제회 피해건물에 대해서 분석을 하였다. 예를 들어 조사를

Fig. 4. Graph of Damage Distribution of Public Buildings

수행한 지역 중 충북지역의 경우 공제회 등을 통해 실제 피해가 발생한 공공건물을 침수흔적도와 비교해 본 결과 충북지역 교육연구시설 1곳만 침수흔적도내에 위치하는 것으로 나타났으며, 부산, 울산, 경남지역 지역 역시 실제로 침수 피해가 났음에도 침수흔적도상에는 포함되지 않은 상황이었다. 따라서 공제회의 피해액 지급건물에 대한 침수심 정보 획득을 위해서는 피해지역에 대한 직접 조사를 통해 침수여부를 파악하고, 침수심 정보를 파악해야 할 필요가 있다.

3.4 현장조사

공공건물에 대해서 현장탐문을 통한 피해조사를 수행하

였다. 우선, 공공건물에 대한 피해조사를 위해 교육시설재난 공제회와 한국지방재정공제회로부터 보험 Claim 자료를 이용하여 피해건물, 피해액 등에 대한 정보를 사전 분석하였다. 피해건물 리스트가 확인된 후에는 현장탐문을 통하여 피해조사를 수행하였다. 현장탐문조사는 Table 2와 같이 건물충수, 연면적, 준공년도, 지하층 이용현황 등을 기록하는 건물에 대한 정보와 Table 3과 같이 침수심 그리고 구조물 및 내용물에 대한 세부피해 내역과 피해액에 관한 재산 피해정보로 구성하였다(Lee et al., 2017). Table 3의 손상률은 단위면적당 자산가치에 대한 단위면적당 피해액의 비율로 산정되었다.

Table 2. Example of Investigation of Building information on Public Buildings

Building Name	Use of Building Laws	Basement	Ground Floor	Damage-free height (cm)	Basement Floor
○○Community Service Center	Public Office	1	4	20	Machine Room, Storage
○○Community Service Center	Public Office	1	4	50	Machine Room, Storage, Parking Lot
○○high school	School Building	1	4	32	Machine Room
○○Elementary School	School Building	1	4	40	Restaurant
○○Special-Education School	School Building	-	4	40	-
○○City Childcare Support Center	Youth and Silver Facility	1	4	40	Machine Room, Education Place
○○ Center for the disabled	Youth and Silver Facility	1	3	10	Machine Room, Education Place
○○Municipal nursery school	Youth and Silver Facility	1	2	40	Machine Room, Education Place

Table 3. Example of Investigation of Property Damage on Public Buildings

Building Name	Damage area (m^2)	Depth (cm)	Damage (1,000 Won)	Damage per Area (Won/m^2)	Damage Ratio
○○Community Service Center	100	90	12,000	120,000	7.72%
○○Community Service Center	50	200	9,218	184,360	11.86%
○○high school	10	50	25,000	58,408	3.76%
○○Elementary School	110	60	8,921	81,100	5.22%
○○Special-Education School	600	50	36,636	61,060	3.93%
○○City Childcare Support Center	1,000	133	25,035	25,035	1.61%
○○Center for the disabled	15	50	80,214	140,603	9.04%
○○Municipal nursery school	268	10	1,087	4,056	0.26%

현장조사는 교육연구시설재난공제회 및 한국지방재정공제회 피해자료를 이용하여 현장조사를 수행하였고, 그 결과를 정리하였다. 현장조사는 침수당시 근무를 하였거나 당시 상황을 파악하고 있는 직원을 대상으로 인터뷰형식으로 수행하였다.

4. 공공건물의 용도별 손상을

4.1 공공업무시설

4.1.1 구조물 손상률

Fig. 5와 같이 현장조사를 통해 총 9건이 집계되었고, 침수심은 최소 10 cm, 최대 200 cm 였으며, 손상률은 2%에서 21%의 분포를 가지는 것으로 조사되었다.

Fig. 5. Damage Function of Public Office Structure

4.1.2 내용물 손상률

Fig. 6과 같이 현장조사를 통해 총 2건이 집계되었고, 침수심은 각각 80 cm, 200 cm 였는데, 손상률은 100%를 가지는 것으로 조사되었다. 해당 시설은 모두 창고 용도로 사용하고 있었으며, 수해시 창고시설에 보관 중이던 물품들이 모두 손상되었다.

Fig. 6. Damage Function of Public Office Contents

4.2 교육연구시설

4.2.1 구조물 손상률

Fig. 7과 같이 현장조사를 통해 총 48건이 집계되었고, 침수심은 최소 1 cm, 최대 200 cm, 평균 40 cm 였으며, 손상률은 0.1%에서 58%, 평균 9%의 분포를 가지는 것으로 조사되었다.

Fig. 7. Damage Function of School Building Structure

4.2.2 내용물 손상률

Fig. 8과 같이 현장조사를 통해 총 23건이 집계되었고,

손상률은 0.2%에서 100%, 평균 20%의 분포를 가졌다. 특히 190~200 cm의 침수심이 발생한 곳은 3곳 중, 2곳은 100% 손상률을 보였고, 1곳은 12%의 손상률을 보였다. 이는 건축 물대장 상 교육연구시설로 같은 용도로 표기되어 있더라도 실제로 침수발생 공간이 사용되고 있었던 용도(강당, 교실, 창고, 식당 등) 및 침수 피해시 상황 대처 과정에 따라 물품 손상률이 크게 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 8. Damage Function of School Building Contents

4.3 노유자시설

Fig. 9와 같이 노유자시설은 구조물에 대한 피해내역만이 파악되었고, 현장조사를 통해 총 16건이 집계되었다. 침수심은 최소 2 cm, 최대 150 cm, 평균 40 cm였으며, 손상률은 0.3%에서 18%, 평균 6.5%의 분포를 가지는 것으로 조사되었다.

Fig. 9. Damage Function Youth and Silver Facility

4.4 기타시설

Fig. 10과 같이 나머지 기타시설은 현장조사를 통해 구조물에 대해서는 총 24건이 집계되었고, 내용물에 대해서는 1건만 수집되었다. 침수심은 최소 1 cm, 최대 200 cm, 평균 73 cm였으며, 손상률은 0.2%에서 27%, 평균 6.7%의 분포를 가지는 것으로 조사되었다.

Fig. 10. Damage Function of Others

5. 결 론

본 연구에서는 공제회에서 가지고 있는 각종 사고데이터와 현장조사를 통해 공공건물 건물유형별로 손상률을 산정하였다. 침수심 자료와 손상률을 이용하여 회귀식을 도출하고, 구조물과 내용물에 대해서 손상함수를 개발하였다.

손상률 분석 결과 손상률에 대한 회귀방정식의 결정계수가 높지 않게 나타난 이유는 동일 건물용도(예컨대 공공업무시설)일지라도 바닥재 등 마감재 재질이 건물마다 다르고, 건물별로 공간 활용 여건이 다양하여 동일한 침수심에 대해서 피해액의 변동폭이 크게 발생되기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 사무실, 급식소, 창고, 기계실 등의 배치 형태에 따라 피해 양상이 달라짐에 따라 동일한 침수심에 대한 피해내용이 달라져 변동폭이 크게 발생대해서는 내용물에 대해서는 피해 자료가 없어 비교에는 한계가 있었다. 향후 보다 많은 피해사례를 지속적으로 조사가 이루어진다면 국내 모든 건물유형별 손상함수가 개발될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

References

- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2011). *HAZUS-MH Technical Manual*.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2012). *Getting Started with HAZUS-MH 2.1*.
- 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.

- Kim, S.H., Kim, B.S., Lee, C.H., and Chung, J.H. (2014). Development of depth-damage function by investigating flooded area with focusing on building damage. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 47, No. 8, pp. 717-728.
- Lee, C.H., Kim, S.H., Hwang, S.B., and Kim, G.H. (2017). A study on development of flood depth-damage functions focused on school buildings. *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 50, No. 8, pp. 513-520.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., and Thieken, A. (2010). Review article "Assessment of economic flood damage". *Natural Hazards Earth System Sciences*, Vol. 10, pp. 1697-1724.
- 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*.
- Smith, D. (1994). Flood damage estimation - A review of urban stage-damage curves and loss functions. *Water SA*, Vol. 20, No. 3, pp. 231-238.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1992). *Catalog of Residential Depth-Damage Functions Used by Army Corps of Engineers in Flood Damage Estimation*, IWR Report 92-R-3, Fort Belvoir, Virginia: U.S. Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (1996). *Analysis of nonresidential content value & depth-damage data for flood damage reduction studies*. IWR Report 96-R-12, Fort Belvoir, Virginia: U.S. Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center.

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