



A study on development of flood depth-damage functions focused on school buildings

Lee, Chang Hee^a · Kim, Sang Ho^{b*} · Hwang, Shin Bum^b · Kim, Gil Ho^c

^aDepartment of Disaster Management and Safety Engineering, Jungwon University

^bDepartment of Civil Engineering, Sangji University

^cKorea Institute of Civil Engineering and Building Technology

Paper number: 17-037

Received: 20 April 2017; Revised: 14 June 2017; Accepted: 14 June 2017

Abstract

In order to analyze flood damage mitigation effects, it is necessary not only to analyze inundation areas and depth through hydraulic and hydrological analysis but also to estimate flood damages. Flood damages of structure and contents of buildings are generally analyzed according to the flood depth. In this study, we developed and applied flood depth-damage functions for the school buildings based on actual damage data. In addition, the development and modification procedure of flood depth-damage functions for school buildings is presented in this paper, and the developed damage functions are verified by comparing them with the existing method. It is expected that the process of developing and applying flood depth-damage functions presented in this study can be used in the cost benefit analysis of flood damage mitigation measures.

Keywords: Flood depth-damage functions, Flood damage, Inundation depth, School building, Cost benefic analysis

학교건물에 대한 홍수 침수심별 손상함수 개발에 관한 연구

이창희^a · 김상호^{b*} · 황신범^b · 김길호^c

^a중원대학교 이공대학 방재안전공학과, ^b상지대학교 이공대학 건설시스템공학과, ^c한국건설기술연구원 수자원·하천연구소

요 지

홍수피해저감효과를 분석하기 위해서는 수리·수문학적 분석을 통한 피해예상지역과 침수심을 분석함과 함께 피해예상지역에 대한 피해액 추정 이 가능해야 한다. 홍수피해액의 추정은 일반적으로 건물의 구조물 및 내용물에 대해서 침수심의 변화에 따라 분석된다. 본 연구에서는 실제 피해 지역의 자료들을 토대로 학교건물에 대한 침수심별 손상함수를 개발하고 적용하였다. 그리고 학교건물에 대한 손상함수의 개발절차, 침수심별 손상함수의 보완과정을 제시하였고, 그리고 손상함수의 적용결과에 대한 기존 기법과도 비교하여 검증하였다. 본 연구를 통해 손상함수를 개발하는 과정과 개발된 침수심별 손상률 그리고 함수의 적용과정은 향후 피해규모에 따른 홍수피해액 추정을 가능하게 하여 홍수피해저감 대책에 대한 비용대비 효과분석 수행에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 침수심별 손상함수, 홍수피해, 침수심, 학교건물, 비용대비효과분석

1. 서 론

우리나라는 급격한 산업화 및 도시화를 통한 경제성장과

인구 급증으로 대규모 자연재해가 발생할 경우 과거에 경험하지 못한 큰 피해가 발생할 가능성이 증가하였다. 특히 매년 집중호우와 태풍으로 인한 홍수피해는 가장 빈번히 발생하는 자연재해이다(Ministry of Public Safety and Security, 2015). 홍수피해는 주로 여름철에 발생하지만, 2016년 10월에 태풍 차바와 같이 늦은 가을까지 국지성 집중호우 혹은 태풍으로

*Corresponding Author. Tel: +82-33-730-0476
E-mail: kimsh@sangji.ac.kr (S. H. Kim)

인하여 종종 큰 피해가 발생되고 있다. 이렇게 홍수피해의 위험성이 증가하고, 발생 시기가 불규칙해짐에 따라 보다 효과적인 홍수위험관리가 요구되며, 최적의 홍수피해저감대책을 수립하기 위해서는 다양한 홍수피해저감 대책들에 대해서 비용대비 피해저감효과 분석이 필요하다(FLOODsite, 2007). 홍수피해저감효과를 분석하기 위해서는 수리·수문학적 분석을 통한 피해범위와 침수심 등 피해규모를 분석함과 함께 피해규모에 따른 홍수피해액 추정이 가능해야 하며, 이렇게 함으로써 홍수피해저감 대책에 대한 비용대비 효과분석수행이 가능하다(Kim et al., 2014).

건물이 침수될 경우 건물에 대한 홍수피해액은 직접피해액과 간접피해액으로 구분되며, 여기에는 청소비용, 청소 및 수리기간 동안의 영업/운영 정지, 비급여, 긴급 홍수방어 조치에 들어간 비용 등 많은 세부 요소들이 포함되지만, 일반적으로 직접피해액 중 건물의 구조물과 내용물에 대해서 피해액을 산정한다(FEMA, 2011; FEMA, 2012; Smith, 1994; USACE, 1992; USACE, 1996). 또한 홍수로 인한 건물의 구조물과 내용물의 피해액에 영향을 미치는 인자로 침수심, 유속, 염분, 침수기간, 펄, 홍수경보 등이 있는데, 이중 침수심이 피해액에 영향을 주는 인자로 주로 이용되고 있다(Merz et al., 2010; Green et al., 2011; FEMA, 2011). 즉, 건물의 구조물 및 내용물에 대해서 침수심의 변화에 따른 홍수피해액을 추정하는 방법이 가장 대표적으로 이용되는 수단이다.

이러한 건물에 대한 피해액은 건물의 용도별로 산정되는데, 미국 HAZUS-MH에서는 주거용 건물, 상업용 건물, 산업용 건물, 농업용건물, 종교 건물, 정부 건물, 교육용 건물 등으로 구분하고, 각 용도별로 세부 용도로 나누어 피해액을 산정토록 하고 있다(FEMA, 2011). HEC-FIA 모형은 홍수로 인한 영향과 홍수를 제어하기 위한 사업 효과에 대한 평가를 수행하는데 이용되며, 피해액 산정과 관련해서는 HAZUS-MH의 DB를 이용하고 있다(USACE, 2012). 영국의 MCM (Penning-Rowell et al., 2011)은 소매업, 도매업, 업무용건물, 공장건물로 구분하고, 각 용도별로 세부 용도로 나누어 피해액을 산정한다. 여기서, HAZUS-MH와 HEC-FIA는 침수심별 손상률(자산가치 대비 피해액에 대한 비율)인 손상함수를 이용하며, MCM의 경우 침수심별 단위면적당 피해액을 이용하는 손실함수를 이용한다.

한편, 우리나라에서는 홍수피해 추정을 위한 방법으로 간편법(Ministry of Construction and Transportation, 2000), 개선법(Ministry of Construction and Transportation, 2001), 다차원법(Ministry of Construction and Transportation, 2004)이 대표적으로 이용되고 있다. 간편법은 농작물 피해를 기준

으로 피해계수를 곱하여 적용하는 방법이고, 개선법은 침수면적항을 설명변수로 하여 피해를 추정하는데 침수심에 따른 건물 피해액을 추정할 수 없다. 반면에 다차원법은 침수편입율을 산정하고 건물에 대해서 손상률에 해당하는 피해율이 제시되어 있으며, 이를 이용하여 구조물과 내용물에 대해 피해액을 추정할 수 있다(Choi et al., 2006a; Choi et al., 2006b; Yi et al., 2010). 그러나, 건물 구조물에 대해서는 단독주택, 아파트, 연립주택 등 주택 이외 다른 용도의 건물에 대해서는 피해율이 없어 우리나라 여건에 맞는 피해를 개발이 필요한 상황이다.

이에 본 연구에서는 실제 피해지역의 자료들을 토대로 학교건물에 대한 침수심별 손상함수를 개발하고 적용하였다. 이를 위해 학교건물에 대한 손상함수의 개발절차, 침수심별 손상함수의 개발결과, 보완과정, 그리고 손상함수의 적용결과에 대한 국내외 기법과의 비교결과를 제시하였다.

2. 침수심별 손상함수 개발

2.1 손상함수의 개발 절차

침수심별로 손상률을 산정하기 위해 Fig. 1과 같은 과정을 수행하였다. 여기서, 손상률(%)은 총 자산가치 대비 피해액의

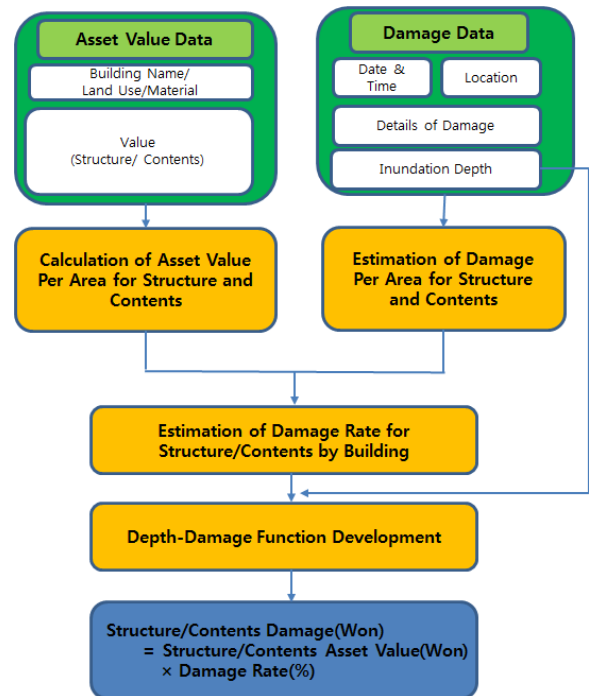


Fig. 1. Procedure of depth-damage function development

비율을 의미하며, 침수심과 손상률을 이용하여 침수심에 대한 손상률에 대해서 회귀식을 도출함으로써 손상함수가 만들어진다. 학교건물의 구조물과 내용물에 대한 침수심별 손상함수 개발을 위해서 실제 침수건물에 대한 현지조사를 수행하여 건물 구조물 및 내용물에 대한 자산가치에 대한 자료와 피해 발생시 건물 규모(연면적, 층수 등), 피해면적, 침수심, 피해액 등 피해현황 자료를 수집하였다. 이와 함께 현지조사를 통해 과거 피해건물에서 수집한 자료의 범위를 벗어나는 침수심에 대해서는 실제 피해사례가 없는 부분을 보완하기 위해 전문 손해사정사로부터 침수심별 손실률에 대한 설문분석 결과를 활용하였다. 피해자산에 침수심별 손상률 혹은 피해율을 곱해서 직접피해를 산정하는 HAZUS-MH 및 다차원법과 같이 손상함수가 만들어지게 되면 침수심에 해당하는 건물의 구조물 및 내용물에 대한 손실률을 산정하여 피해액이 산정된다.

2.2 현장 피해조사에 의한 침수심별 손상함수 개발

2016년 10월 5일 태풍 차바로 인하여 부산, 울산, 경남, 제주 등에 인명 및 재산피해가 많이 발생하였으며(MPSS, 2016), 학교건물 역시 여러 곳에서 피해가 발생하였다. 본 연구에서는 태풍 차바로 인해 피해가 발생한 곳을 중심으로 학교건물에 대한 침수피해 자료를 활용하고 조사를 수행하였는데, 그 이유는 태풍 차바로 인한 피해가 최근에 발생되었기 때문에 피해자료 등에 손실함수 개발에 필요한 자료 획득이 용이하고, 학교건물 행정담당자와의 면담 시 경험한 사건을 가장 잘 설명해 줄 수 있기 때문이다.

현장조사는 건물층수, 연면적, 피해면적 등을 기록하는 건물정보와 침수심, 침수기간, 유속 등을 기록하는 재해정보, 그리고 구조물 및 내용물에 대한 자산가치평가내역, 세부피해 내역 그리고 피해액에 관한 재산피해정보에 대해서 조사하였다. 조사는 50여개 학교건물에 대해서 수행되었는데, 조사 결과 돌풍으로 인한 피해, 유리창 및 벽, 지붕 누수로 인한 벽체 피해가 같이 침수심과는 관계없는 피해가 있으므로, 이들을 제외한 침수로 인한 피해가 발생한 건물 자료에 해당하는 13개 건물 침수자료를 이용하였다. Table 1은 침수피해가 발생한 13동 건물에 대한 현장조사 결과를 바탕으로 정리한 것이며, 구조물과 내용물에 대한 자산가치는 공제회 가입시 각 학교의 자산가치에 대한 평가 자료를 이용하였고, 피해액 자료는 이와 유사하게 피해발생시 공제회로부터 평가된 피해액 자료를 이용하였다. 자산가치와 피해액 평가자료를 이용하여 손실률을 산정하였는데, 여기서, 손실률은 단위면적당 피해액에 단위면적당 자산가치를 나눈 값이다.

Table 1의 침수심 자료와 손실률을 이용하여 회귀식을 도출하면 학교건물에 대한 손상함수를 구조물과 내용물에 대해서 Fig. 2와 같이 선형형태, 로그형태, 지수형태로 각각 나타낼 수 있는데, 여기서 선형형태의 손상함수의 결정계수가 가장 크게 나오에 따라 본 연구에서는 선형형태의 손상함수를 이용하였다. Fig. 2에서 산정된 손상함수를 이용하여 침수심에 해당하는 손실률은 Table 2와 같이 정리될 수 있다.

Table 1. Damage rate of school building

School	Asset value per area (won/m ²)		Damage per area (won/m ²)		Damage rate		Inundation depth (cm)
	Structure (a)	Contents (b)	Structure (c)	Contents (d)	Structure (c÷a)	Contents (d÷b)	
a	1,535,093	258,647	3,694	-	0%	0%	2
b	1,428,934	29,366	20,253	-	1%	0%	3
c1	1,429,000	191,954	102,803	-	7%	0%	7
c2	1,429,000	191,954	80,643	-	6%	0%	7
d	1,429,000	69,210	33,970	-	2%	0%	1
e1	1,435,931	515,192	442,493	515,192	31%	100%	195
e2	1,750,462	339,179	195,783	339,179	11%	100%	190
f	1,428,579	80,524	168,953	27,069	12%	34%	40
g	1,428,922	147,356	51,627	3,270	4%	2%	80
h	1,429,000	177,197	78,000	-	5%	0%	3
i	1,428,904	43,225	77,540	-	5%	0%	7
j	1,429,000	93,530	37,607	21,242	3%	23%	50
k	1,429,000	69,903	98,357	-	7%	0%	2

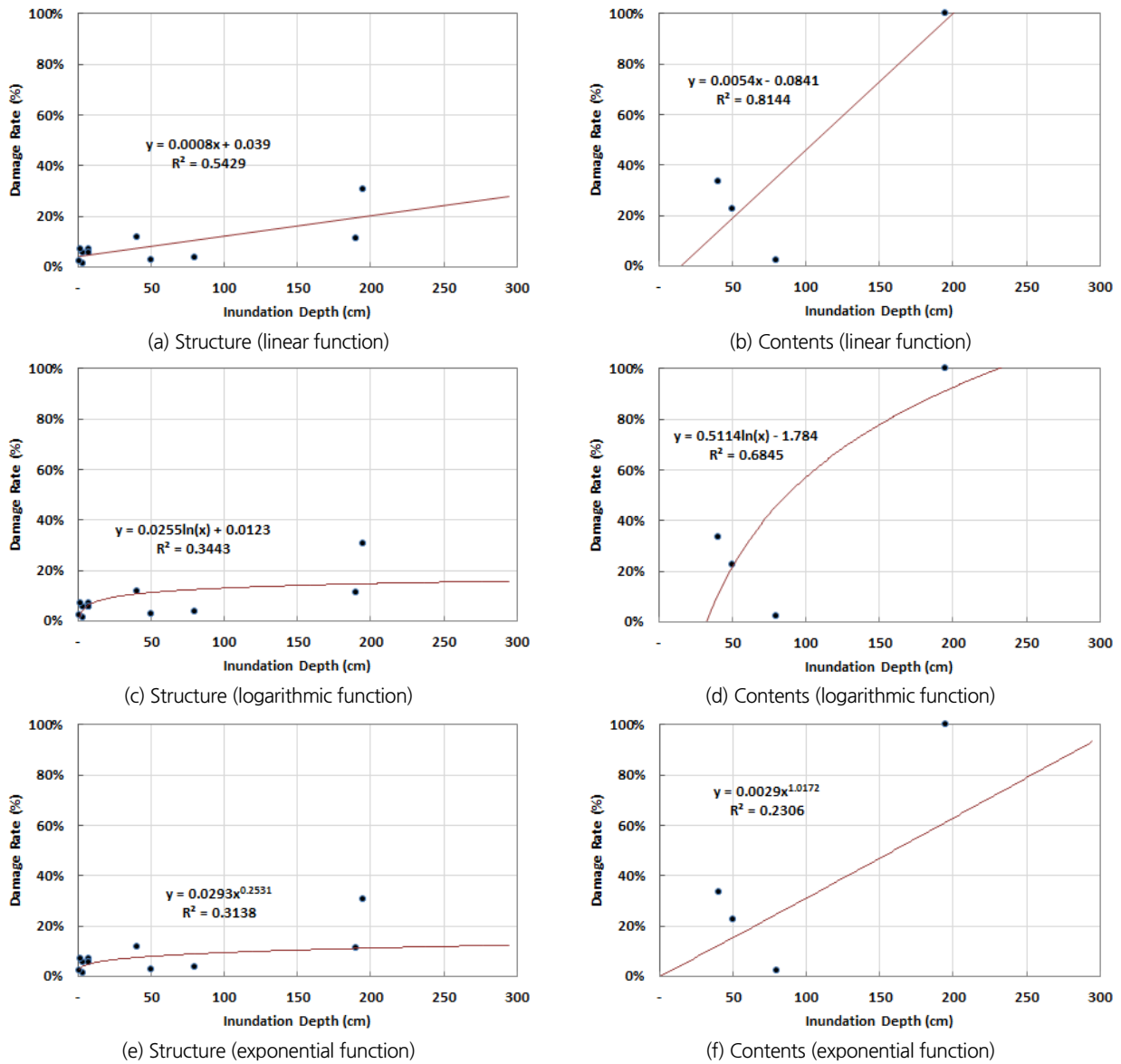


Fig. 2. Depth-damage function on school building based on field survey

Table 2. Estimated damage rate by depth-damage function based on field survey

Inundation depth (cm)		0	20	40	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Damage rate (%)	Structure	0	5	7	8	11	13	15	18	20	23	25	27
	Contents	0	13	23	34	49	64	79	95	100	100	100	100

2.3 전문가(손해사정사) 설문에 의한 침수심별 손상함수의 보완

현지조사를 통해 과거 피해건물에서 수집한 자료의 범위를 벗어나는 침수심은 실제 피해사례가 없으므로 이러한 부분을 보완하기 위해 보험가입자에게 사고로 인하여 손해가 발생했을 때 그 손해액을 결정하고 보험금을 산정하는 업무를 수

행하는 손해사정사들을 통해 학교건물에 대해 침수심별 손상률에 대한 설문 조사를 실시하였다. 건물 구조물에 대해서 조사를 실시하였는데, 건물신축단가표(Korea Appraisal Board, 2016)를 참조하여 Table 3과 같이 피해 발생이 예상되는 공정별로 침수심 손상률을 기입하도록 구성하였다. 전문가는 총 8명이 참여하였으며 Table 3은 침수로 인한 공종별 세부 손상

Table 3. Inundation depth related damage rate of each construction type for school by expert survey

Category		Damage rate (%) by inundation depth (m)										
		0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2.1	2.1~2.4	2.4~2.7	2.7~3.0
Building construction	Temporary work	8	9	14	15	21	21	26	36	39	41	42
	Foundation and earth work	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Reinforced concrete work	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Masonry work	3	3	3	4	5	5	6	13	14	14	14
	Waterproof work	1	1	3	3	6	6	6	8	8	8	8
	Plaster work	3	3	6	8	11	12	14	19	20	21	21
	Stone work	0	0	0	3	5	5	8	10	10	11	11
	Tile work	8	14	16	19	20	22	22	26	26	27	28
	Carpentry	11	21	28	28	40	41	44	51	57	60	60
	Window construction	12	15	21	22	33	41	44	50	53	54	54
	Glazing	11	14	19	19	33	35	36	47	49	51	51
	Painting work	13	21	28	31	40	41	47	49	53	54	56
	Roof and gutter	0	0	0	1	3	3	4	4	4	5	5
	Interior finishing work	15	17	23	26	34	36	38	45	49	49	53
	Metal work	9	10	12	14	20	21	23	31	36	37	38
Others	2	2	15	15	16	16	16	16	16	26	26	
Transportation	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	
Utilities installation	Electrical installation	7	7	20	23	33	36	41	48	49	50	55
	Heating equipment	2	2	9	14	20	23	28	31	32	33	33
Others	Overhead	4	4	5	6	8	9	9	10	11	13	13
	Design	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Supervising	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 4. Selected school building structure damage rate by inundation depth

Inundation depth (cm)		0	20	40	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Damage rate (%)	Field survey	0	5	7	8	11	13	15	18	20	23	25	27
	Expert survey	0	4	4	8	10	14	16	18	22	23	24	25
	Selected damage rate	0	5	7	8	11	13	15	18	22	23	24	25

항목 응답사항을 정리한 것이다.

건물신축단가표(Korea Appraisal Board, 2016)의 공종별 단가 구성비와 Table 3의 공종별 손상률을 이용하여 침수심별로 공종별 단가 구성비에 공종별 손상률을 곱한 값들을 합함으로써 침수심별 건물 구조물에 대한 손상률을 산정할 수 있다. Table 4와 같이 현장조사 기반 손상률과 비교한 결과 전문가 조사 기반 손상률은 현장피해조사 기반 손상률과 유사한 값을 보이고 있는 것을 확인할 수 있었다. 다만 현장피해조사 사례는 210 cm 이상의 침수 사례가 없기 때문에 현장피해조사 사례에 해당하는 침수범위에 대해서는 현장피해조사 기반 손상률을 적용하고, 이를 벗어나는 침수심에 대해서는 전문

가 조사를 통해 산정한 손상률을 적용하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3. 개발된 손상함수에 대한 검증

학교건물에 대한 손상함수의 검증을 위하여 미국의 HAZUS-MH, 영국의 MCM, 그리고 국내 다차원법(Multi-Dimensional Flood Damage Analysis, MD-FDA)과 비교분석을 수행하였다. 미국의 HAZUS-MH의 학교에 대한 구조물과 내용물에 대한 침수심별 손상률과 다차원법의 주택에 대한

구조물과 내용물에 대한 피해율은 Table 5와 같은데, 다차원 법의 경우 주택 이외의 건물에 대한 피해율이 없으므로 주택에 대한 피해율을 이용하였다. 구조물과 내용물을 구분하지 않은 영국의 MCM의 경우 Table 6과 같이 침수심별 단위면적당 손실액 자료를 이용하였다.

Tables 5 and 6을 이용하여 실제 피해가 발생한 학교건물에

적용하여 본 연구에서 개발한 손상함수와 비교한 결과는 Table 7 and Fig. 3과 같다. 개발된 손상함수의 적용결과 실제 피해액과의 오차는 구조물, 내용물, 그리고 합계에 대해서 각각 3%, -22%, -8%를 나타내었다. 한편 HAZUS-MH를 적용할 때 손상률에 대해서는 Table 5의 HAZUS-MH 손상률을 적용하였고, 국내 자산가치를 대입하여 피해액을 산정하였

Table 5. Comparison of US HAZUS-MH, MF-FDA with this study for damage rate

Inundation depth (cm)		0	20	40	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Damage rate (%) (structure)	HAZUS-MH	0	3	7	7	9	9	10	11	13	15	17	-
	MF-FDA (house)	0	15	15	32	32	64	64	64	95	95	95	100
	This study	0	5	7	8	11	13	15	18	22	23	24	25
Damage rate (%) (contents)	HAZUS-MH	0	18	29	38	53	64	68	70	72	75	79	-
	MF-FDA (house)	0	14.5	14.5	32.6	32.6	50.8	50.8	50.8	92.8	92.8	92.8	100
	This study	0	13	23	34	49	64	79	95	100	100	100	100

Table 6. Comparison of UK MCM with this study for the loss per unit area

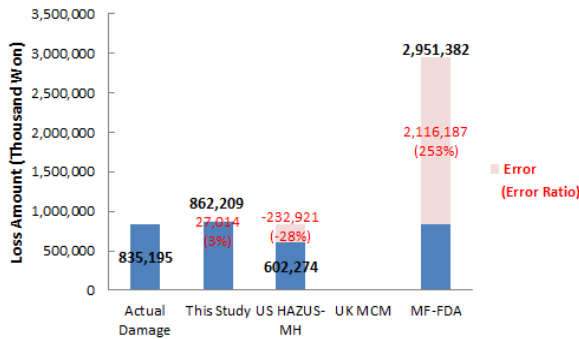
Inundation depth (cm)	Loss per area of MCM (won/m ²) (applied exchange rate: 1,214)	Loss per area of this study (won/m ²)	
		Damage rate (%)	Loss per area (= average asset value per area × damage rate)
0	0	0	0
25	18,210	5.5	80,138
50	163,890	7.5	109,385
100	242,800	11.5	167,880
150	382,410	15.5	226,375
200	491,670	19.5	284,870

Table 7. Application results of the depth-damage function and comparison with existing methods

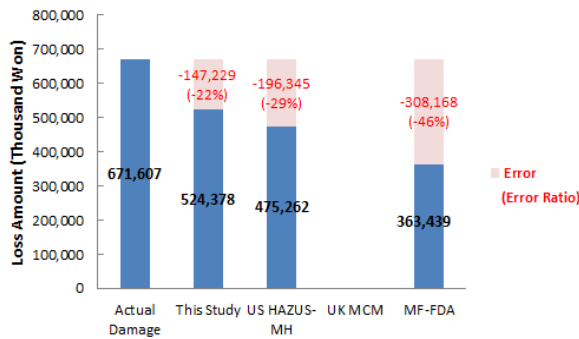
Category		Loss amount (thousand won)	Error (thousand won)	Error ratio
Actual damage	Structure	835,195	-	-
	Contents	671,607	-	-
	Total	1,506,801	-	-
This study	Structure	862,209	27,014	3%
	Contents	524,378	-147,229	-22%
	Total	1,386,587	-120,214	-8%
US HAZUS-MH	Structure	602,274	-232,921	-28%
	Contents	475,262	-196,345	-29%
	Total	1,077,536	-429,265	-28%
UK MCM	Total	1,869,406	362,605	24%
MF-FDA (house)	Structure	2,951,382	2,116,187	253%
	Contents	363,439	-308,168	-46%
	Total	3,314,821	1,808,020	120%

는데, 구조물, 내용물, 그리고 합계에 대해서 각각 -28%, -29%, -28% 과소 산정되는 것으로 분석되었다. 영국의 MCM 의 경우 구조물과 내용물에 대해서 구분되어 있지 않고 전체 피해액에 대해서만 분석할 수 있는데, 분석결과 24% 과다 산정되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 다차원법의 경우는 학교건물에 대한 피해율이 없으므로 주택에 대한 피해율을 대입하여 적용하였는데, 구조물에 대해서는 피해액이 253% 가량 과다 산정되었고, 내용물에 대해서는 -46%로 과소 산정 되는 것으로 분석되었다.

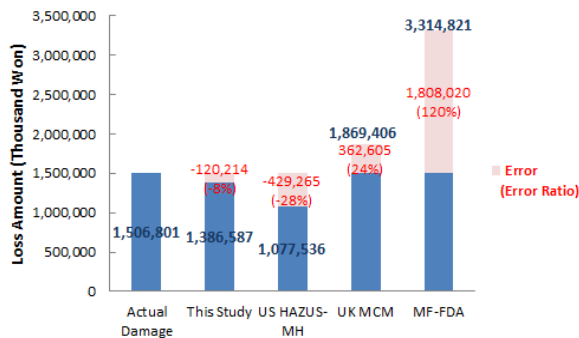
적용결과 본 연구에서 개발한 손상률을 적용한 경우 국내 실제 피해액을 가장 잘 반영하는 것으로 분석되었는데, 다만 내용물에 대해서는 오차가 구조물 보다는 다소 크게 나타났다.



(a) Loss amount of structure



(b) Loss amount of contents



(c) Total loss amount

Fig. 3. Error of application results

이는 내용물에 대한 피해액이 구조물에 비해서 변동성이 큰 부분이 있기 때문이다. 변동성이 큰 이유로 첫째는 내용물의 경우 구조물과 달리 침수상황에 응급대처와 내용물 종류에 영향을 많이 받는다. 즉, 건물 침수시 구조물에는 벽체와 바닥재, 그리고 기타 설비시설은 고정되어 있기 때문에 침수시 피해가 발생되지만, 내용물은 상층 등 안전한 곳으로 이동가능한 부분이 있기 때문에 이동 여부에 따라 내용물 피해액을 줄일 수 있으며, 일부 내용물의 경우 청소 후 재이용이 가능한 것들도 있는 등 침수가 되더라도 내용물 종류에 따라 피해액이 다양하게 발생된다. 두 번째로는 건물별도 공간 활용 여건이 다양하여 동일한 침수심에 대해서 피해액의 변동폭이 크게 발생 된다. 즉, 도서관, 급식소, 교실, 실습실 등이 위치하는데 따라 관련 내용물이 연계됨에 따라 동일한 침수심에 대한 피해내용이 달라져 변동폭이 크게 발생된다. 향후 보다 많은 피해사례를 지속적으로 조사할 필요가 있으며, 이를 통해 손상함수를 개선하기 위한 연구가 계속 진행되어야 하겠다.

4. 결론

본 연구의 목적은 학교건물을 대상으로 홍수에 대한 침수심별 손상함수 개발에 관한 연구를 수행한 것으로 본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 손상함수의 개발 절차를 마련하고, 현장 조사를 통해 학교 건물 자산가치, 및 침수심 정보 및 세부 피해현황을 조사 수집·분석하였고, 전문가 설문조사를 실시한 결과를 토대로 손상함수를 개발하였다.
- 2) 침수심 자료와 손상률을 이용하여 회귀식을 도출하고, 구조물과 내용물에 대해서 손상함수를 개발하여 산정된 손상함수에 적용하여 침수심에 해당하는 손상을 도출하였다.
- 3) 학교건물에 대한 손상함수의 검증은 위하여 실제 피해자료와 함께 다차원법, 미국의 HAZUS-MH, 영국의 MCM 의 침수심별 손상률과 비교하였으며, 본 연구에서 개발한 손상률을 적용한 경우 국내 실제 피해액을 가장 잘 반영하는 것으로 분석되었다.
- 4) 내용물에 대해서는 오차가 구조물 보다는 다소 크게 나타났다는데, 내용물의 경우 구조물과 달리 침수상황에 응급대처와 내용물 종류에 영향을 많이 받고, 건물별도 공간 활용 여건이 다양하기 때문인 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구를 통해 손상함수를 개발하는 과정과 개발된 침수

심별 손상률의 적용과정은 향후 피해규모에 따른 홍수피해액 추정을 가능하게 하여 홍수피해저감 대책에 대한 비용대비 효과분석 수행에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국민안전처 재난예측및저감연구개발사업의 연구비 지원(MPSS-자연-2015-79)에 의해 수행되었습니다.

References

- Choi, S. A., Yi, C. S., Shim, M. P., and Kim, H. S. (2006a). "Multi-Dimensional Flood Damage Analysis (I): principle and procedure." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 1, pp. 1-9.
- Choi, S. A., Yi, C. S., Shim, M. P., and Kim, H. S. (2006b). "Multi-Dimensional Flood Damage Analysis (II): application." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 39, No. 1, pp. 11-22.
- FEMA (2011). *HAZUS-MH technical manual*.
- FEMA (2012). *Getting started with HAZUS-MH 2.1*.
- FLOODsite (2007). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*, T9-06-1. <http://www.floodsite.net>
- Green, C. H., Viavattene, C., and Thompson, P. (2011). *Guidance for assessing flood losses: CONHAZ report*, Flood Hazard Research Centre - Middlesex University, Middlesex, WP6 Report.
- 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.
- Korea Appraisal Board (2016). *2016 Building unit price table*.
- 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 and Transportation (2000). *River design criteria*, Seoul, Korea.
- Ministry of Construction and Transportation (2001). *A study on economic analysis of flood protection*, Seoul, Korea.
- Ministry of Construction and Transportation (2004). *A study on economic analysis in flood control projects - Multi-Dimensional Flood Damage Analysis*, Seoul, Korea.
- Ministry of Public Safety and Security (2015). *Statistical annual report of disaster*, Korea.
- Ministry of Public Safety and Security (2016). *Safety management daily report portal site*. <https://www.safekorea.go.kr>
- Penning-Rowsell, E., Priest, S., Parker, D., Morris, J., Tunstall, S., Viavattene, C., Chatterton, J., and Owen, D. (2011). *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.
- 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.
- USACE (1996). *Analysis of nonresidential content value & depth-damage data for flood damage reduction studies*, IWR Report 96-R-12.
- USACE (2012). *HEC-FIA, flood impact 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," *Nat Hazards*, Vol. 55, No. 2, pp. 251-272.