



피해조사 자료를 활용한 단독주택 홍수피해 영향인자 평가

Study on Influencing Factors of Flood Damage to Single Houses using Field Survey Data

최천규* · 김경탁** · 김길호*** · 심명필****

Choi, Cheonkyu*, Kim, Kyungtak**, Kim, Gilho***, and Shim, Myungpil****

Abstract

The damages to residential buildings caused by flood disasters vary depending on impact factors such as disaster intensity and resistance factors such as building material and emergency measures. However, the relationship between these factors and flood damages is yet to be investigated due to the lack of systematic post-disaster surveys. Therefore, we conducted a field survey focused on damaged single family houses and collected data about the factors influencing flood damages. The data was analyzed to evaluate the relationship between various influencing factors and flood damage by using correlation analysis, decision tree model, and random forest method. Through the analyses, the major factors influencing building structure damages were found to be the inundation depth and height of the entrance. Moreover, the inundation depth, debris, and flow velocity were identified as the major factors influencing the building content damages. In the future, it is necessary to explore ways to enhance the resilience of buildings and reduce the influence of major factors by establishing local flood mitigation measures.

Key words : Flood Damages, Influencing Factors, Building Structure, Building Contents, Field Survey

요 지

홍수재난으로 인한 주거건물의 피해는 재난과 관계되는 충격인자와 건물재료, 피해저감을 위한 조치 등과 같은 저항인자에 따라서 상이한 결과를 나타낸다. 이러한 인자들과 홍수피해와의 관계는 그 동안 체계적인 사후조사의 부재로 인해 규명된 사례가 거의 없었다. 이에 본 연구는 단독주택을 중심으로 피해지역을 대상으로 현장조사를 실시하여 홍수피해 영향인자에 대한 정보를 수집하였고, 이를 활용하여 홍수와 관계되는 다양한 영향인자와 홍수피해 결과와의 관계를 이변량 상관분석, 의사결정나무모형, 랜덤포레스트 기법을 사용하여 평가하였다. 분석결과, 단독주택 건물구조물 피해에 영향을 주는 주요 인자는 건물내 침수심과 출입구 높이로 평가되었고, 건물내용물의 피해에 영향을 주는 주요 인자는 건물내 침수심, 이송잡물, 유속으로 나타났다. 향후 건축물 유닛 레질리언스 강화, 국지적인 홍수피해 저감대책 수립 시 본 연구에서 밝힌 인자들의 영향력을 저감하는 방향으로 추진할 필요가 있다.

핵심용어 : 홍수피해, 영향인자, 건물구조물, 건물내용물, 피해조사

1. 서 론

전 세계적으로 자연재해로 인한 경제적 손실의 20~30%

정도가 홍수에 의해 발생하고 있으며(Elmer et al., 2010), 그 피해규모도 점차 대형화되어 사회 전반에 큰 영향을 미치고 있다. 국내에서는 호우와 태풍에 의한 피해가 각각

*정회원, 한국건설기술연구원 전임연구원(E-mail: cheonkyuchoi@kict.re.kr)

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

**교신저자, 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원(Tel: +82-31-910-0267, Fax: +82-31-910-0251, E-mail: ktkim1@kict.re.kr)

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

***정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

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

****정회원, 인하대학교 사회인프라공학과 명예교수

Member, Honorary Professor, Department of Civil Engineering, Inha University

28.1%, 65.3%로 자연재난에 의한 전체 피해액에서 약 93.5%를 차지하고 있다(MPSS, 2016). 건물과 같은 피해목적물 유닛에서 홍수피해의 정도는 재난과 관계되는 물리적인 영향인자와 이를 저감 혹은 가중할 수 있는 인자들의 조합에 의해 결정된다(Elmer et al., 2010). 즉, 원인으로서는 재난으로부터 결과적인 재난피해와의 관계는 다양한 인자가 개입되는 복잡한 메커니즘에 의한 현상이다. 그러나 국내의 경우 체계적인 피해조사의 부재로 인하여 홍수피해에 영향을 미치는 인자에 대한 실증적이고 과학적인 접근을 기반으로 한 사례는 미비한 실정이다.

국의 홍수피해 영향인자 평가관련 연구는 주로 미국과 유럽에서 진행되었다. Spekkers et al. (2014)는 네덜란드 민간 보험회사에서 구축한 1998년에서 2011년도까지의 Claim DB를 활용하여 영향인자를 평가하였고, 그 결과 자산 가치, 건물면적, 가구 월수입, 재난발생 계절, 건물연수, 주택 보유형태, 저층/고층과 관련된 인자가 홍수피해와 큰 상관관계를 가지는 것으로 평가하였다. Thielen et al. (2005)는 홍수로 인해 피해가 발생한 주거건물을 대상으로 전화 인터뷰를 통해 피해정보를 수집하였고, 이로부터 침수심, 침수기간, 오염물질이 건물구조물과 건물내용물 피해에 큰 영향을 미치는 것으로 평가하였다. 이어 Thielen et al. (2007) 연구에서는 홍수피해가 발생한 3개 지역에 대해 홍수특성, 조기경보, 홍수피해, 복구, 예방조치, 홍수 경험 등에 대해 자료를 수집하고, 이로부터 지역별 홍수피해 특성을 평가하였다. 또한 홍수경보 정보는 연령대별로 구분하여 적절한 홍수피해 대비 방법을 알리는 것이 필요하다고 언급하였다. Kreibich et al. (2009)는 독일 내 피해자료를 활용하여 유속, 침수심을 비롯한 영향인자와 홍수피해간의 관계를 평가하였으며, 도로의 경우 필히 유속이 고려되어야 된다고 언급하였다. Elmer et al. (2010)은 홍수피해 규모와 침수심이 홍수피해 발생빈도와 상관관계가 높은 것으로 나타났으며, 발생빈도가 높을수록 홍수피해의 규모도 높은 것으로 평가하였다. Merz et al. (2013)에서는 홍수피해가 발생한 1,000 여개의 주거건물에 대해 설문조사를 수행하였으며, 수집된 홍수피해 인자의 정보를 데이터마이닝 기법 가운데 하나인 의사결정나무 모형을 이용하여 평가한 바 있다.

국내에서는 MOCT (2004)에서 다차원 홍수피해산정법 (Multi-dimensional Flood Damage Analysis; 이하 다차원법)이 개발된 이후 치수경계성분석 및 치수사업 대안선정 과정 등 현재까지 현업과 다양한 연구과정에 활용되고 있다(Lee et al., 2006; Choi, 2007; Choi et al., 2013; Kim, 2013). 그 밖에 국내에서 수행된 유사연구로 NDMI (2013)에서는 HAZUS-MH 시스템에 대해 분석하고 한국형 재난손실 추정 시스템의 구축 방안을 제시하였으며, 동두천시의 홍수피해 지역에 위치한 주거건물과 상가에 대한 설문조사를 통해 홍수피해 정보를 수집하여 손실함수를 개발한 바 있다. 한편, NDMI (2014)는 피해목적물별 손상함수의 개발 체계에 대해

제안하고, 이를 전라북도 군산시를 대상으로 적용하였다. KDPA (2011)에서는 주거건물에 대한 홍수피해 조사를 위해 피해실태 조사지를 마련하여 재난지역 선정 방안 및 제도 개선 방향을 제시한 바 있다. 이처럼 그 동안 국내에서 수행된 연구는 홍수피해 인자에 대한 평가보다는 주로 손실·손상 함수 개발이 대부분이며, 홍수피해에 영향을 미치는 인자와 홍수피해 간의 관계를 규명하는 연구는 미흡한 것으로 나타났다.

한편, 다차원법을 비롯하여 국내외에서 개발된 홍수피해 추정 모델 대부분은 농작물을 제외한 피해목적물 대부분이 영향인자로서 침수심 만을 고려하고 있으며(Smith, 1994; Merz et al., 2004; Kreibich et al., 2009), 국내 유일한 피해조사 자료로서 재해보는 보상액이나 복구비 결정을 위해 조사된 자료에 근간하기 때문에 실제적인 피해조사 자료로 보기에는 한계가 있다. 국내 실정을 반영한 보다 실제적인 홍수피해 추정 모델을 개발하기 위해서는 침수심 외 영향을 미치는 다양한 인자에 대한 평가가 선행될 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 사유자산 가운데 하나인 단독주택을 중심으로 건물구조물 및 건물내용물의 경제적 피해에 영향을 미치는 홍수피해 인자에 대한 정보를 국내 홍수피해지역에 대한 현장조사를 통해 수집하고, 이를 바탕으로 단독주택 건물피해에 미치는 영향인자를 분석, 평가하였다.

2. 홍수피해조사 자료 구축

침수로 인한 단독주택의 경제적 피해를 발생하는 인자는 침수심을 포함하여 유속, 침수기간, 이송잡물, 홍수경보 등 매우 다양하며(Smith, 1994; Nicholas et al., 2001; Kelman and Spence, 2004; Thielen et al., 2005), 보다 정확한 홍수피해 추정을 위해서는 피해에 미치는 영향인자에 대한 정보의 수집과 과학적인 평가가 필요하다.

2.1 피해조사 항목

홍수피해 영향인자는 침수심, 유속, 오염물질 등 재난강도에 따른 특성을 나타내는 인자와 피해를 완화시키는 홍수경험, 조기경보 등 대상물의 특성과 관계된 비물리적 인자로 구분된다(Kreibich et al., 2007). 본 연구에서는 국외 홍수피해 영향인자 평가관련 연구에서 다루었던 인자들을 종합 검토하여 크게 재난인자, 건물인자, 홍수경험 및 경보 인자, 예방 및 긴급조치 인자, 사회경제적 인자, 피해인자로 구분하였고, 이를 기준으로 세부 조사항목들을 결정하였다. 피해조사 항목 중 재난인자는 외부적으로 가해지는 피해원인으로 조사항목으로 건물내 침수심, 침수기간, 유속, 오염물질으로 결정하였다. 여기서, 침수심은 국내외 홍수피해 관련 연구에서 주요 영향인자로 평가되고 있다(Dutta et al., 2003; Penning-Rowsell et al., 2005; Büchele et al., 2006; Hoes and Schuurmans, 2006; Kreibich and Thielen, 2008; Thielen

et al., 2008). 다음, 건물인자는 피해목적물의 특성과 관계되는 것으로 건물구조, 건물용도, 건물층수, 연면적, 출입구높이, 건물상태(품질), 건물구조물 가치, 건물내용물 가치를 조사항목으로 포함하였다. 홍수경험 및 경보 인자는 사전 홍수의 인지정도나 과거 경험으로부터 피해저감의 영향을 평가하기 위한 인자로 과거 홍수경험, 피해경험 경과시간, 과거 경험한 홍수피해 규모, 홍수경보 인지유무, 홍수경보 종류, 홍수경보 출처를 포함하였다. 예방 및 긴급조치 중 예방조치는 홍수피해를 저감하기 위해 주거자가 수행한 재난발생 전 조치이며, 긴급조치는 홍수로 인해 피해발생 당시 주거자가 긴급하게 수행한 조치를 의미한다. 여기에는 긴급조치 방법, 수행인원, 소요시간을 포함하였다. 사회경제적 인자는 단독주택 내 거주하는 가구 구성원 수, 건물소유형태, 거주 인원으로 구성하였다. 마지막으로 피해인자는 건물구조물 피해액, 건물구조물 손상항목, 건물내용물 피해액, 건물내용물 피해항목으로 구분하였다. Fig. 1은 본 연구에서 단독주택의 홍수피해 영향인자를 평가하기 위해 마련한 조사항목을 정리한 것이다.

2.2 설문조사 및 자료구축

Buchele et al. (2006), Siegrist and Gutscher (2008), Elmer et al. (2010)은 경험적인 피해자료를 근거로 하는 것이 영향인자를 평가하거나 홍수피해 추정 모델을 개발하는 데 바람직하다고 언급한 바 있다. 본 연구는 실제적인 피해정보를 수집하기 위해 침수흔적종합보고서 (LX, 2013, 2014, 2015)와 국가 재난관리정보시스템 (National Disaster Management System, NDMS)에서의 피해이력을 검토하여 피해건물의 위치(주소정보)를 파악하고, 이를 지오코딩 하여 GIS 공간자료를 구축하였다. 다음, 구축된 건물 GIS 자료와 침수흔적도를 교차로 확인하여 명확히 침수로 인한 피해건물을 선별하였다. 조사대상 건물은 2011년부터 2014년까지의 단독주택이며, 현장조사 대상지역은 ① 주거건물, 건물내용물 등에 홍수피해가 다수 발생한 지역, ② 이재민 및 사망자가 다수 발생한 지역, ③ 침수시간 및 침수심의 분포가 다양하게 분포한 지역, ④ 대상기간 중 최근에 홍수가 발생한 지역을

중심으로 하였다. 이로부터 최종 부산광역시, 울산광역시, 경기도 광주시, 경기도 양주시, 경기도 동두천시, 경상남도 창원시, 전라북도 군산시, 전라북도 정읍시 및 전라남도 목포시로 총 9개 지역을 선정하였다.

한편, 본 연구에서 마련한 영향인자 가운데 건물인자의 정보는 도로명전자지도와 건축물대장 정보를 활용하여 구축하였다. 두 자료를 연계하기 위해 자료 내 중복되는 속성을 조합한 매칭키를 이용하였으며, 도로명전자지도는 시군구 코드, 도로명코드, 상세건물명을 조합하고, 건축물대장은 새주소도로 코드와 동명칭을 조합하였다. 건축물대장 내 누락된 정보가 존재하여 정확히 매칭이 이루어지지 않는 건물은 수기로 입력하여 보완하였다. Fig. 2는 도로명전자지도, 건축물대장을 활용하여 주거건물 정보의 구축 및 건물피해이력을 중첩하여 홍수피해를 입은 건물의 위치를 파악하는 방법을 나타낸 것이다.

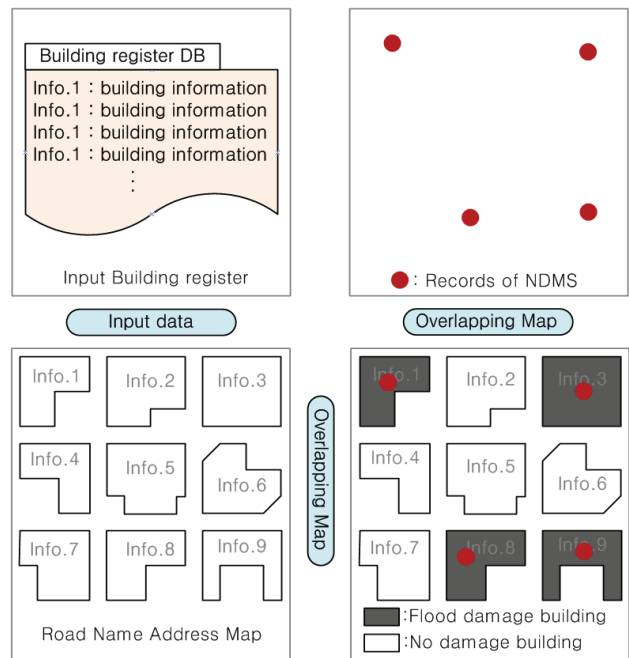


Fig. 2. Geo-spatial Information Construction of Damage Buildings

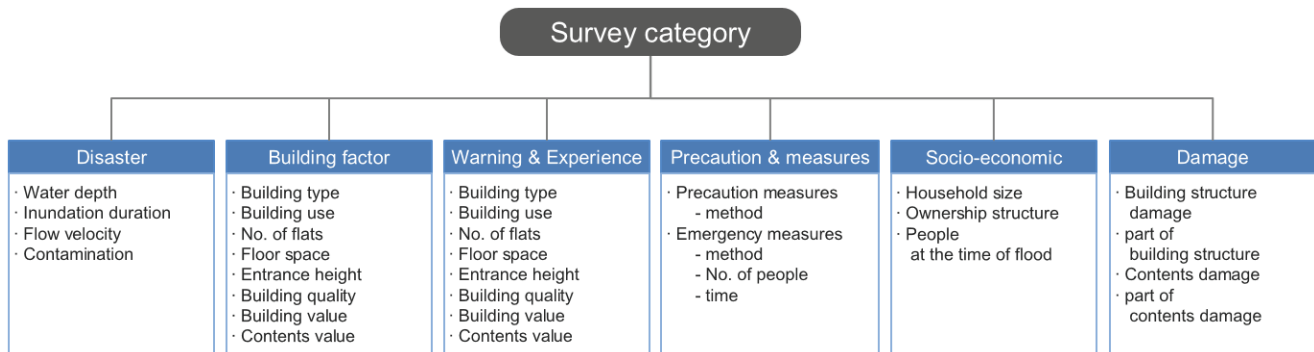


Fig. 1. Category of Influencing Factors

위 건물인자 외 조사항목은 피해이력이 있는 건물에 직접 방문을 하여 일대일 면접으로부터 조사하였다. 조사항목 가운데 분석에 직접 활용이 어려운 항목은 조합하고 점수를 부여하여 수치화하였으며, 이로부터 Table 1과 같이 최종 18개의 평가인자를 마련하였다. 여기서, 홍수피해 규모와 관련된 인자이자 자산가치 대비 피해액으로 정의되는 손상률과 관계된 인자인 건물구조물 손상률(F17), 건물내용물 손상률(F18)은 기존 다차원법에서 제시된 한국감정원의 건물신축단가를 활용한 자산가치 추정 방법을 활용하였고, 이 과정에 필요한 건물용도, 건물구조, 연면적 정보는 앞에서 언급한 건축물대장과 도로명주소자료(건물)를 참고하였고, 건물급수(건물등급)는 건물 사용연수, 현장조사 결과를 종합하여 결정하였다. 이로부터 수집된 자료 가운데 영향인자에 대한 정보가 누락되거나 오류가 있는 데이터를 제외하고 총 397개의 단독주택 홍수피해 결과를 확보하였다.

3. 홍수피해 영향인자 평가

3.1 이변량 상관관계 분석

두 변수간의 관계에서 선형성에 초점을 두고 선형관계 유무, 선형관계의 방향, 관계 정도를 판단하는 데 일반적으로 이변량 상관관계 분석 (Pearson correlation analysis)을 사용한다. 본 연구는 앞에서 구축한 홍수피해 정보를 활용하여 영향인자 간의 이변량 상관분석을 실시하였다. 그 결과를 칼라맵으로 표현하면 Fig. 3과 같으며, 95% 신뢰구간을 기준

으로 전반적으로 유의한 결과를 보였다. 우선, 종속변수로서 결과의 의미를 가지는 건물구조물 손상률(F17)과 건물내용물 손상률(F18) 인자를 중심으로 살펴보면, 나머지 16개 영향인자와의 관계가 전반적으로 건물구조물 손상률(F17)보다 건물내용물 손상률(F18)에서 높은 상관성을 보였다. 이는 외부적으로 그대로 노출되는 건물구조물에 비해 건물 내부에 위치한 건물내용물은 예방 및 긴급조치로 인해 피해 경감 효과가 있으나 침수 시 건물내용물에 비해 취약하다는 것으로 해석된다.

건물구조물 손상률(F17)과 16개의 영향인자와의 상관계수는 건물내 침수심(F6)의 경우 0.214, 유속(F8)은 0.134, 가구원수(F11)에서 0.110로 나타났고, 이를 제외한 나머지 영향인자는 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 건물내용물 손상률(F18)의 결과는 건물내 침수심(F6)에서 0.652, 유속(F8)에서 0.389, 이송잡물(F9)에서 0.234, 건물등급(F10)에서 0.180의 상관계수를 가지는 것으로 분석되었고, 반대로 음의 상관관계를 나타내는 홍수피해 영향인자는 홍수경험(F1)에서 -0.249, 피해당시 인원(F15)에서 -0.228, 홍수경보(F3)에서 -0.210의 상관계수를 가지는 것으로 분석되었다.

3.2 의사결정나무 모형을 이용한 평가

의사결정나무 모형 (decision tree model)은 데이터마이닝 (data mining) 기법 중 분류분석 (classification analysis) 방법의 하나로 의사결정규칙으로부터 나무 형태로 분석한다.

Table 1. Description of Influencing Factors

Key	Factors	Range
F1	Flood experience indicator	no(10) ~ many flood experience(0)
F2	Precautionary measures	no(0) ~ many measures undertaken(7)
F3	Flood warning indicator	no(165) ~ receiver of exactly warning(0)
F4	Emergency measures indicator	no(0) ~ many measures undertaken(14)
F5	Entrance height of building	-115cm ~ 180cm
F6	Inundation depth in building	-62cm ~ 226cm
F7	Inundation duration	0hr ~ 168hr
F8	Flow velocity indicator	still(1), medium(2), high velocity(3)
F9	Contamination indicator	no(0) ~ heavy contamination(5)
F10	Building quality	very good(1) ~ very bad(5)
F11	Household size (No. of people)	1 ~ 9
F12	No. of children (≤8)	0 ~ 2
F13	No. of persons (9~64)	0 ~ 6
F14	No. of elderly persons (≥65)	0 ~ 3
F15	People at the time of flood	0 ~ 9
F16	Ownership structure	owner of building(1), charter(2), monthly rent(3)
F17	Building structure damage ratio	low(0) ~ high(1)
F18	Building contents damage ratio	low(0) ~ high(1)

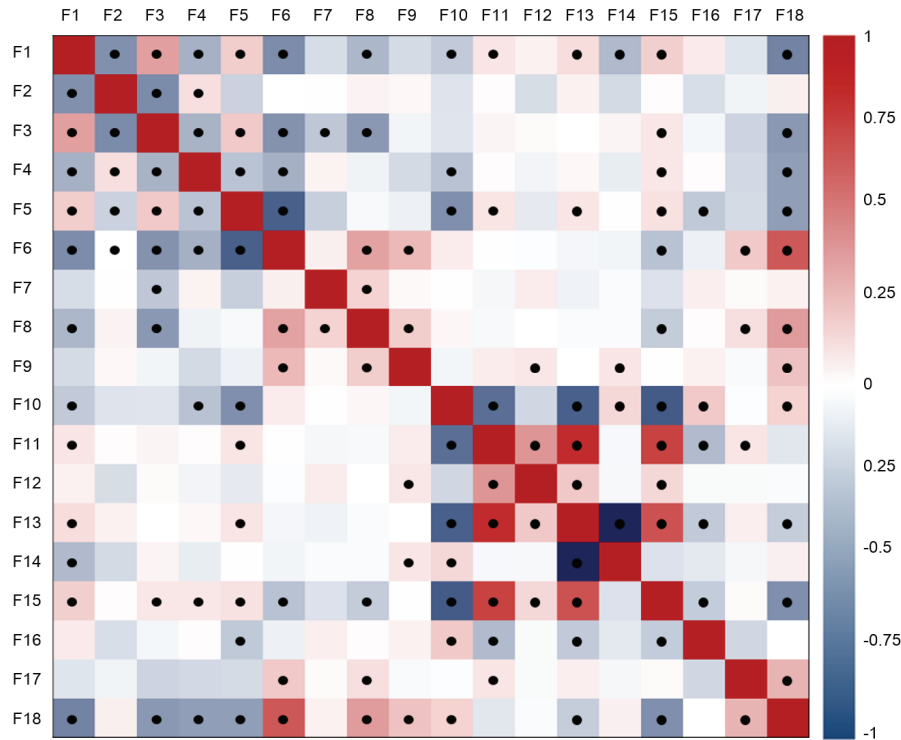


Fig. 3. Correlation Color Map (• significant at 0.05 significance)

분석결과는 나무형태의 구조를 나타내며 데이터의 분류와 예측 및 분석과정에 주로 활용된다. 의사결정나무 모형은 뿌리마디(root node)를 시작으로 가지(branch)로 연결되어 잎 (leaf) 또는 끝마디(terminal node)로 구성되며, 뿌리마디와 끝마디 사이에는 중간마디(internal node)가 위치한다(Bai, 2014). 본 연구에서는 끝마디의 데이터 수가 작으면 상세하게 분기될 수 있는 점을 고려해 최소 데이터 수를 20개로 설정하였고, 하위 중간마디로 갈수록 데이터가 상세하게 구분되기 때문에 뿌리마디부터 2단계 중간마디를 기준으로 영향인자를 선정하였다.

건물구조물 손상률(F17)과 나머지 16개 영향인자와의 관계를 의사결정나무 모형으로 평가한 결과는 Fig. 4와 같이 6개의 중간 마디와 7개의 끝마디의 구조를 보였다. Fig. 4의 가장 위쪽에 위치한 뿌리마디는 건물내 침수심(F6)이며, 건물구조물의 손상정도, 즉 건물구조물 홍수피해에 건물내 침수심이 가장 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그리고 건물내 침수심 76 cm를 기준으로 분할되었는데, 이는 침수깊이 76 cm 보다 높고 낮음에 따라 건물구조물에 미치는 영향에 큰 차이가 있음을 의미한다. 건물내 침수심이 76 cm보다 높은 상황의 경우에는 이송잡물(F9)이 큰 영향인자로 분석되었다. 반면, 건물내 침수심이 76 cm 보다 작은 경우에는 출입구 높이(F5)가 피해에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하위에는 홍수피해 경험(F1)과 가구원수(F11) 인자가 포함되었다. 한편, 본 연구에서 조사된 단독주택의 평균 출입구 높이는 36.3 cm로 나타났다.

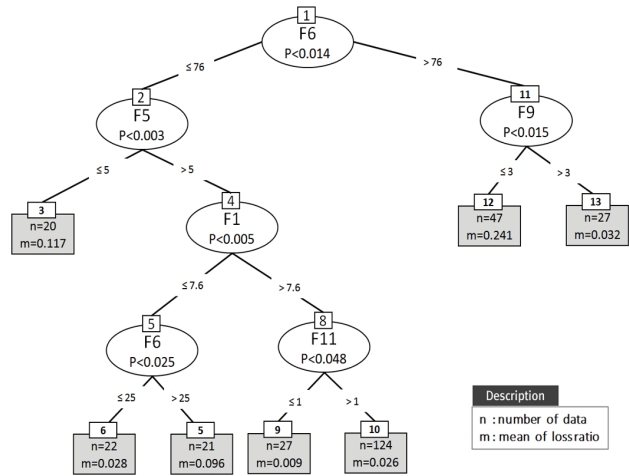


Fig. 4. Result of Decision Tree Model Analysis (F17)

다음, 건물내용물 손상률(F18)과 나머지 16개 영향인자와의 평가결과는 Fig. 5와 같이 6개의 중간마디와 7개의 끝마디로 구성되었다. 앞 결과와 마찬가지로, 여기서도 뿌리마디가 건물내 침수심(F6)으로 나타나 건물내용물 손상정도에 건물내 침수심이 가장 중요한 인자로 평가되었다. 의사결정나무의 상위에 위치한 뿌리마디는 건물내 침수심이 63 cm 기준으로 분석되었으며, 위에서 두 번째 마디 또한 건물내 침수심이 10 cm, 97.2 cm를 경계로 구분되었다. 건물내 침수심이 63 cm 이하에서는 이송잡물(F9)과 유속(F8), 건물등급(F10)이 중요한 영향인자로 분석되었다.

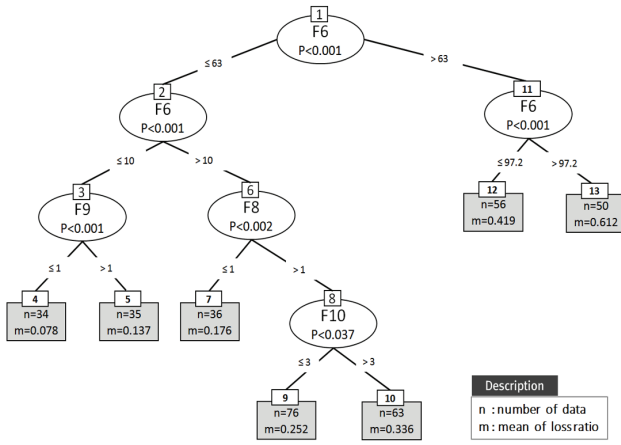


Fig. 5. Result of Decision Tree Model Analysis (F18)

3.3 랜덤 포레스트를 활용한 영향인자의 평가

랜덤 포레스트(random forest) 기법은 기계학습 분류 기법 중의 하나이며, 앞의 의사결정나무 분석결과를 통합하는 방식이다. 의사결정나무는 동일한 하나의 데이터 집합(data set)에서 한 번의 훈련용 데이터(training)를 생성하고 학습하여 하나의 의사결정나무 모형으로 예측하지만, 랜덤 포레스트는 동일한 하나의 데이터 집합에서 여러 개의 훈련용 데이터를 만들어 여러 번의 학습을 통해 여러 개의 의사결정나무를 생성하여 이들을 결합한 결과를 예측한다. 랜덤 포레스트는 학습된 데이터들로 결정된 의사결정나무 모형을 생성하는 과정에서 데이터를 가공 및 제거하지 않고 무작위로 선정된 데이터를 활용하며, 이로부터 데이터 분류에 효과적인 데이터를 선정하고 중요한 변수들을 평가한다. 랜덤 포레스트 기법은 의사결정나무 모형을 활용하기 때문에 속도가 빠르고, 반복하여 분석되기 때문에 의사결정나무가 과적합(over fitting)되지 않는다는 장점을 가지고 있다. 이러한 랜덤포레스트 기법은 분석에 활용된 데이터에 포함된 다수의 변수를 여러 개의 의사결정나무 모형을 생성하여

각각의 모형을 구성하는 마디에 위치한 변수들의 중요도를 평가하는데 활용할 수 있다(Lee, 2011).

본 연구에서는 홍수로 인한 단독주택의 피해규모를 대변하는 건물구조물 손상률(F17)과 건물내용물 손상률(F18)에 영향을 미치는 인자를 평가하기 위해 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 16개 인자들의 중요도를 평가하였다. 건물구조물 손상률(F17)을 중심으로 평가한 결과는 출입구 높이(F5)가 1.07의 중요도로 계산되어 가장 중요한 영향인자로 분석되었고, 다음으로 0.93의 중요도를 보인 건물내 침수심(F6)이 두 번째로 중요한 인자로 평가되었다. 이것들을 제외한 나머지 14개의 영향인자는 중요도가 모두 0.5 이하로 평가되었다. 다음, 건물내용물 손상률과 16개 영향인자 간의 랜덤 포레스트 결과는 3.00의 중요도를 보인 건물내 침수심(F6)이 나머지 인자보다 월등히 중요한 것으로 분석되었고, 중요도 0.5 이상의 건물내 침수심(F6), 출입구 높이(F5), 홍수피해 당시 거주인원(F15), 이송잡물(F9) 인자가 중요한 영향인자로 평가되었다. 이상의 결과를 정리하면 Fig. 6과 같다.

4. 결과종합 및 평가

본 연구는 주거건물인 단독주택을 중심으로 홍수로 인하여 발생하는 피해에 미치는 영향인자를 규명하기 위하여 이변량 상관관계 분석, 의사결정나무 모형, 랜덤 포레스트 기법을 활용하였고, 각각의 분석결과를 이변량 상관관계 분석의 경우 상관관계수 ± 0.2 이상, 의사결정나무는 중간마디 2단계 이내, 랜덤 포레스트 기법은 중요도 0.5 이상을 기준으로 각각의 결과들을 종합하였다. 3가지 평가방법에서 기준에 따라 선정된 영향인자의 수는 다르나, 영향인자와 피해액과의 관계를 통해 선정된 주요 영향인자는 동일하게 선정된 것으로 판단된다. 우선 건물구조물 피해와 관련된 건물구조물 손상률(F17)의 경우 세 가지 방법 모두 건물내 침수심(F6)을 가장 중요한 영향인자로 평가하였고, 출입구 높이(F5)는

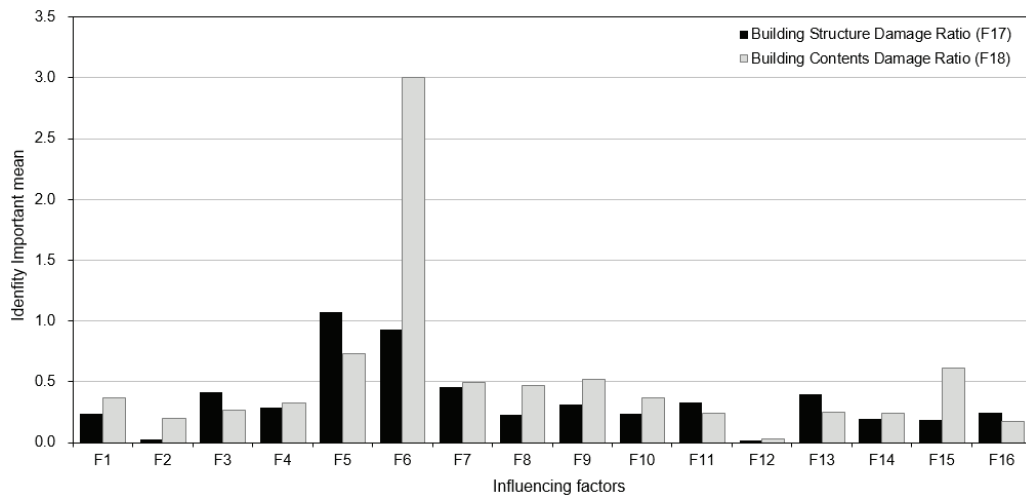


Fig. 6. Result of Random Forest Analysis

이변량 상관관계 분석을 제외한 의사결정나무 모형, 랜덤 포레스트 기법에서 중요한 인자로 평가되었다. 건물내 침수심(F6) 인자의 경우 건물 구조체, 창호, 외부마감 등 건물 외부에 위치한 건물구조물 요소들과 건물내부 마감, 보일러 등 건물 내부의 요소들이 전반적으로 침수심의 깊이에 따라 피해규모가 변화됨을 의미한다. 그리고 건물내 침수심과 상반되는 개념인 출입구 높이(F5)의 경우 출입구 높이가 높을수록 건물의 기초높이가 높아 건물내부로의 수침 위험을 저감해주기 때문으로 판단된다.

다음, 건물내부에 대부분 위치하고 가재자산과 관련된 건물내용물 손상률(F18)의 경우 세 가지 방법 모두 건물내 침수심(F6)과 이송잡물(F9)을 중요한 영향인자로 평가하였고, 랜덤 포레스트를 제외한 이변량 상관관계 분석, 의사결정나무 모형에서 유속(F8)을 중요한 영향인자로 평가하였다. 건물구조물 피해 영향인자와 마찬가지로 건물내 침수심은 공통적으로 중요한 영향인자로 평가하였고, 모래, 오염물질 등을 동반하는 이송잡물이 상대적으로 건물구조물에 비해 건물내용물의 중요한 영향인자로 평가하였다. 반면, 본 연구에서 수집한 피해 대부분이 저유속으로 조사되어, 일정규모 이상의 유속에서 민감하다고 알려진 건물구조물 피해에 비해 건물내용물에서는 저유속에서는 중요한 영향인자로서 피해에 민감하게 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 표로 정리하면 Table 2와 같다.

5. 결론

본 연구에서는 과거 홍수피해 지역을 대상으로 설문조사를 수행하여 단독주택에 대한 홍수피해 정보를 구축하였으며, 이를 통해 단독주택의 건물구조물과 건물내용물 피해에 영향을 미치는 인자를 이변량 상관관계 분석, 의사결정나무

모형, 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 평가하였다. 본 연구의 주요 결론을 정리하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 과거 홍수피해가 발생한 단독주택을 대상으로 설문조사를 수행하여 총 397개 피해건물에 대한 정보를 수집하여 재난, 건물, 예보/경험, 사전사후조치, 주거형태와 관련된 16개 영향인자를 마련하고 수치적인 평가를 위해 정량화하였다. 여기서 제안한 건축물대장과 도로명주소자료(건물)를 연계한 건물정보는 재난손실모델에서 고해상도 인벤토리 구축에 활용할 수 있으며, 피해조사에 포함된 조사항목은 향후 재난피해 사후조사 과정에 참고할 수 있다.
- (2) 이변량 상관관계 분석, 의사결정나무 모형, 랜덤 포레스트 기법을 활용하여 평가한 건물구조물 피해에서는 건물내 침수심과 출입구높이가 주요 영향인자로 평가되었고, 건물내용물 피해에서는 건물내 침수심, 이송잡물, 유속이 주요 영향인자로 평가되었다. 공통적으로 평가된 건물내 침수심은 대부분의 홍수손실모델에서 건물 손상함수 설명변수로 침수심을 채택하는 것이 타당함을 보였고, 정밀한 모델을 위해서는 이송잡물, 유속, 출입구 높이 등의 영향인자들을 추가적으로 고려할 필요가 있다.
- (3) 본 연구에서 중요하다고 평가된 영향인자 가운데 침수심, 유속 등은 유역과 같은 복합적이고 공간적인 관점에서의 치수대책과 연결되나, 건물출입구 높이, 유송잡물은 건물신축 과정 혹은 건물 유닛을 중심으로 한 피해저감 대책, 레질리언스 강화와 깊은 연관이 있다. 본 연구에서 규명한 주요 홍수피해 영향인자를 저감하는 방향으로 다각도의 대책 마련이 필요하다.

Table 2. Summary of Evaluation Results

Method	Influencing Factors	
	Building Structure Damage Ratio (F17)	Building Contents Damage Ratio (F18)
Pearson correlation analysis	- F6 (Inundation depth in building)	- F6 (Inundation depth in building) - F8 (Flow velocity indicator) - F9 (Contamination indicator)
Decision tree analysis	- F1 (Flood experience) - F5 (Entrance height of building) - F6 (Inundation depth in building) - F9 (Contamination indicator)	- F6 (Inundation depth in building) - F8 (Flow velocity indicator) - F9 (Contamination indicator)
Random forest	- F5 (Entrance height of building) - F6 (Inundation depth in building)	- F5 (Entrance height of building) - F6 (Inundation depth in building) - F9 (Contamination indicator) - F15 (People at the time of flood)
Main Influencing Factor (By frequency order)	- F6 (Inundation depth in building) - F5 (Entrance height of building)	- F6 (Inundation depth in building) - F9 (Contamination indicator) - F8 (Flow velocity indicator)

본 연구에서 조사된 단독주택 피해정보는 최근 심각한 홍수사례가 없어, 건물전과반과와 같은 심각한 피해를 포함하지 않아 건물내 침수심 1 m 이하의 수침사례가 대부분이다. 일반적인 손상함수의 설명범위를 침수심 3 m 내외로 볼 때 다양한 피해규모를 포함하고 단독주택 외 비주거건물에도 확대할 필요가 있다. 피해정보 구축을 위한 사후조사의 일환으로서 향후에는 제도적으로 마련되어 보다 다양한 피해정보를 국가차원에서 제공될 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 정부(행정안전부)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 [MOIS-재난-2015-05].

References

- Bai, J.S. (2014). A study on priority of determinants of career decision level and career preparation behavior in high school students based on decision tree analysis. Ph.D. dissertation, Soonchunhyang University.
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thielen, A., Ihringer, J., Oberle, P., et al. (2006). Flood-risk mapping: Contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 6, pp. 485-503.
- Choi, C.K., Kim, G.H., Yeo, K.D., Shim, M.P., and Choi, Y.S. (2013). Optimal size determination of flood mitigation facilities in a watershed using geo-spatial information system and economic analysis: Focused on dam height raise project. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 16, No. 4, pp. 64-78.
- Choi, S.A. (2007). Analysis of economic effectiveness for flood control of dam. Ph.D. dissertation, Inha University.
- Dutta, D., Herath, S., and Musiak, K. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, Vol. 277, No. 1-2, pp. 24-49.
- Elmer, F., Thielen, A.H., Pech, I., and Kreibich, H. (2010). Influence of flood frequency on residential building losses. *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 10, pp. 2145-2159.
- Hoes, O., and Schuurmans, W. (2005). Flood standards or risk analyses for polder management in the Netherlands. *ICID 21st European Regional Conference*, Frankfurt (Oder) and Slubice, Germany and Poland.
- KDPA (Korea Disaster Prevention Association). (2011). *Study on improvement scheme of criteria for estimating natural disaster damage*.
- Kelman, I., and Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, Vol. 73, No. 3-4, pp. 297-309.
- Kim, G.H. (2013). A study on estimation of flood damage and development of flood damage index on public facilities. Ph.D. dissertation, Inha University.
- Kreibich, H., Müller, M., Thielen, A.H., and Merz, B. (2007). Flood precaution of companies and their ability to cope with the flood in August 2002 in Saxony, Germany. *Water Resources Research*, Vol. 43, W03408. doi:10.1029/2005WR004691.
- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwarz, J., et al. (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 9, pp. 1679-1692.
- Kreibich, H. and Thielen, A.H. (2008). Assessment of damage caused by high groundwater inundation. *Water Resources Research*, Vol. 44, W09409. doi:10.1029/2007WR006621
- Lee, J.J. (2011). *Datamining using R, SAS, MS-SQL*. Freedom academy inc.
- 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.
- LX (Korea Land and Geospatial Information Corporation). (2013). *Flood inundation trace report in 2012*.
- LX. (2014). *Flood inundation trace report in 2013*.
- LX. (2015). *Flood inundation trace report in 2014*.
- Merz, B., Kreibich, H., and Lall, U. (2013). Multi-variate flood damage assessment: A tree-based data-mining approach. *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 13, pp. 53-64.
- Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A., and Schmidtke, R. (2004). Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 4, pp. 153-163.
- MOCT (Ministry of Construction and Transportation). (2004). *A study on the economic analysis in flood control project*.
- MPSS (Ministry of Public Safety and Security). (2016). *Disaster annual report in 2015*.

- NDMI (National Disaster Management Institute). (2013). *Detailed design of disaster loss estimation system and investigation of disaster area*.
- NDMI. (2014). *Development of mid and long term roadmap for natural disaster damage estimation*.
- Nicholas, H., Holt, G.D., and Proverbs, D. (2001). Towards standardising the assessment of flood damaged properties in the UK. *Structural Survey*, Vol. 19, No. 4, pp. 163-172.
- Parker, D.J., Green, C.H. and Thompson, P.M. (1987). *Urban flood protection benefits: A project appraisal guide*. Aldershot, England: Gower Technical Press.
- Penning-Rowsell, E., Johnes, C., Tunstall, S., Tapsell, S., Morris, J., Chatterton, J., et al. (2005). *The benefits of flood and coastal risk management: A handbook of assessment techniques*. UK: Middlesex Univ. Press.
- Siegrist, M., and Gutscher, H. (2008). Natural hazards and motivation for mitigation behavior: People cannot predict the affect evoked by a severe flood. *Risk Analysis*, Vol. 28, No. 3, pp. 771-778.
- Smith, D.I. (1994). Flood damage estimation: A review of urban stage damage curves and loss functions. *Water SA*, Vol. 20, No. 3, pp. 231-238.
- Spekkers, M.H., Kok, M., Clemens, F.H.L.R., and ten Veldhuis, J.A.E. (2014). Decision-tree analysis of factors influencing rainfall-related building structure and content damage. *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 14, pp. 2531-2547.
- Thieken, A.H., Kreibich, H., Müller, M., and Merz, B. (2007). Coping with floods: Preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 52, No. 5, pp. 1016-1037.
- Thieken, A.H., Muller, M., Kreibich, H., and Merz, H. (2005). Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. *Water Resources Research*, Vol. 41, W12430. doi:10.1029/2005WR004177
- Thieken, A.H., Olschewski, A., Kreibich, H., Kobsch, S., and Merz, B. (2008). Development and evaluation of FLEMOps: A new flood loss estimation MOdel for the private sector. In D. Proverbs, C.A. Brebbia, E. Penning-Rowsell (Eds.), *Flood Recovery, Innovation and Response* (pp. 315-324), WIT Press.

Received	September 26, 2018
Revised	October 1, 2018
Accepted	October 11, 2018