

빅데이터 기반의 잠재적 붕괴위험 노후건축물 도출 방법 및 서울특별시 적용 연구

The Method for Analyzing Potentially Collapsible Aged Buildings Using Big Data and its Application to Seoul

임 해 연* 박 철 영** 조 성 현*** 이 강****
Lim, Hae-Yeon Park, Cheol-Yeong Cho, Sung-Hyeon Lee, Ghang

Abstract

The purpose of this study is to derive an improved method for analyzing old buildings with risk of collapse using public big data. Previous studies on the risk of building collapse focused on internal factors such as building age and structural vulnerability. However, this study suggests a method to derive potentially collapsible buildings considering not only internal factors of buildings but also external factors such as nearby new construction data. Based on the big data analysis, this study develops a system to visualize vulnerable buildings that require safety diagnosis and proposed a future utilization plan.

키워드 : 노후건축물, 붕괴가능성, 빅데이터, 도시안전

Keywords : Aged Building, Collapsibility, Big Data, Urban Safety

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 노후주택 붕괴사고가 빈번하게 발생하면서 노후주택 안전에 관한 관심이 높아지고 있다. Korea Housing Institute (2018)에 따르면, 2017년 기준 사용승인일로부터 30년이 경과된 서울시 노후주택은 167,019동으로 전체 주택의 37.2%를 차지한다. 노후건축물의 문제점 중 하나는 구조적으로 취약하다는 것인데, 노후건축물의 대부분을 차지하는 조적식 구조는 횡적 저항에 취약하여 지진이나 폭설과 같은 외부충격의 영향을 크게 받는다. 그 결과, 건축물 벽체에 균열이 가거나 심할 경우 건물이 붕괴되기도 한다. 건물의 붕괴는 거주자의 안전과 생명과 직결되는 문제다. 따라서 잠재적으로 붕괴위험이 있는 건물을 추출하고 현황을 파악하는 일은 도시의 안전을 위해 반드시 선행되어야 한다. 특히 개인소유의 소형 건축물의 경우 구조 안전진단의 사각지대가 될 수 있어 각각의 건

축물의 잠재적 붕괴 위험성을 분석하고 파악할 수 있는 도구가 필요하다(Nam, Shin, & Lee, 2017).

건물붕괴는 일차적으로 건물 노후도나 구조적 취약성과 같은 건물의 내적요인에 기인하나 외부충격의 영향도 크게 받는다. 예를 들어, 2018년 6월에 붕괴된 용산구 4층짜리 상가주택은 준공된 지 52년이 되어 노후도도 높지만 이와 함께 인근 대규모 신축공사의 영향도 받은 것으로 분석된다. 같은 해 8월에 발생한 가산동 아파트 축대 붕괴사건이나 9월에 발생한 상도동 상도유치원 흠막이 붕괴사고 또한 주변 신축공사의 영향으로 발생한 사고이다. 이처럼 건물붕괴 위험성은 건물의 노후도, 구조적 취약성과 같은 내적요인과 인근 신축공사와 같은 외적요인을 종합적으로 고려해야 하나 기존 연구들은 주로 건물 자체의 내적요인에 초점을 맞추어 분석함으로써 외적요인의 영향이 간과된 측면이 있다.

건축물의 내적요인과 외적요인을 함께 고려하기 위해서는 건물 단위의 데이터와 인근 지역 데이터를 결합하는 과정이 필요하다. 그리고 외적요인에서 인근 신축개발 현황과 같이 지속적으로 변화하는 데이터를 반영하기 위해서는 특정 시점의 분석보다는 장기적 관점에서 이를 판별할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 바람직하다. 이러한 관점에서 짧은 시간 단위로 구축된 일련의 대안들이 시기별로 나열되고 집적되어 미래 도시환경의 변화까지 고려할 수 있는 빅데이터 분석기법을 사용할 필요가 있다. 빅데이터 기반의 분석은 정책의 시행이나 의사결정

* 서울대학교 환경대학원 박사과정

** 한양대학교 대학원 도시공학과 석사

*** 서울대학교 건축학과 학사

**** 연세대학교 건축공학과 교수, 공학박사

(Corresponding author: Department of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei University, glee@yonsei.ac.kr)

이 연구는 2017년도 서울혁신챌린지 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호: IC170003

에 있어 불확실성을 줄여주기 때문에 적극적으로 활용 가치가 있고(Chang, 2018) 구축된 시스템을 통해 지속적인 관리가 가능하기 때문에 도시안전 분야와 같이 단 한 번의 사고로도 큰 피해가 예상되는 경우에 효과적이다. 최근 발생한 여러 건의 노후주택 붕괴사고로 시민들의 안전이 위협받고 있는 상황에서, 빅데이터 기반의 노후 건축물 관리 시스템은 반드시 필요하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 빅데이터 분석을 토대로 건물의 내적 요인 뿐만 아니라, 인근 신축공사 데이터와 같은 외적 요인까지 고려하여 잠재적으로 붕괴위험이 있는 건축물을 도출하는 방법을 제시하고자 한다. 이를 활용하여 서울지역에서 붕괴위험이 있는 건축물 현황을 파악함으로써 안전진단 지원의 우선순위를 도출하는 것이 연구의 목적이다.

1.2 연구의 내용 및 범위

먼저 제2장에서 노후건축물의 법적·제도적 기준을 고찰하고 건축물 붕괴요인에 관한 선행연구를 살펴본다. 이어 제3장에서는 잠재적 붕괴위험이 있는 건축물을 추출하기 위한 분석 방법 및 시스템 구성에 대해 설명한다. 제4장에서는 본 연구에서 도출한 분석 결과를 통해 서울시에서 안전진단의 우선순위가 높은 지역을 살펴본다. 이로부터 도출되는 연구의 시사점과 활용방안에 대해서는 제5장에서 정리한다.

본 연구의 공간적 범위는 우리나라 도시 중 인구밀집도가 가장 높은 서울시로 한다. 서울시의 면적은 약 600 km²에 불과하지만 전체 인구의 18.9%가 거주한다. 현재 서울시 건축물의 약 50%가 1980년대~1990년대에 지어져 노후건축물의 비율이 높고 지속적인 개발 활동이 이루어지고 있어 외부충격으로 인한 붕괴위험이 항상 존재한다. 분석의 시간적 범위는 최신 공공개방 데이터 기준인 2018년 9월이다.

2. 제도 및 선행연구 고찰

2.1 노후건축물 정의

노후건축물의 정의는 의외로 다양하다. 먼저 법적 기준을 살펴보면 건축법 시행령 제23조의7 제1항에서 소규모 노후건축물 요건으로 사용승인 후 20년이 경과된 것으로 규정한다. 도시및주거환경정비법 시행령 제2조 제3항에서는 노후·불량건축물을 준공 후 20년 이상 30년 이하의 범위에서 시·도 조례로 정하는 기간이 지난 건축물로 규정한다. 연구 대상지인 서울시 도시및주거환경정비 조례를 살펴보면, 제4조에서 준공연도와 건축물의 층수(5층 이상과 미만)로 나누어 노후·불량건축물의 기준을 제시하고 있다. 예를 들어, 1981년 12월 31일 이전의 철근콘크리트, 철골콘크리트, 철골철근콘크리트, 강구조 건축물의 경우, 5층 이상은 20년 이상, 4층 이하의 30년 이상일 경우 노후·불량건축물로 정의한다. 한편, 1991년 1월 1일 이후 준공된 건축물에 대해서는 층수에 상관없이 모두 30년 이상일 경우 노후·불량건축물로 정의한다. 한편, Korea Housing Institute (2018)의 연구에서는 이를 단순화하여

30년 이상의 건축물을 노후건축물로 정의하여 분석을 수행하였다.

노후건축물에 대한 더욱 상세한 기준으로 서울시 도시재생본부가 제시한 ‘정비구역 내 소규모 노후건축물 안전관리 대책’ 자료를 살펴볼 필요가 있다. 해당 자료에 따르면, 안전점검이 필요한 노후건축물을 네 가지 요건으로 설명한다. 첫째, ‘50년 이상 벽돌조와 30년 이상 블록조’, 둘째, ‘특정건축물 양성화된 3층 이상 건축물이나 용도 변경된 조적조 건축물’, 셋째, ‘주민신고·요청, 자가점검·진단 후 문제점 발생으로 안전진단 요청된 건축물’, 넷째, ‘정비구역 인접 대형공사장 주변 안전 우려가 있는 노후건축물’이다(Urban Regeneration Center of Seoul, 2018). 도시재생본부가 규정하고 있는 노후건축물 기준은 준공연도와 층수를 넘어 건축재료 및 인접 대형공사장까지 고려하고 있다는 데에서 법령에서 제시하는 기준에 비해 구체적이다. 특히 넷째 규정인 ‘정비구역 인접 대형공사장 주변 안전 우려가 있는 노후건축물’에서 건축물에 영향을 주는 외부요인을 대형공사장으로 규정하고 있는 점에 주목할 필요가 있다. 그러나 그 기준이에 대해서는 보다 구체적인 범위 설정이 필요하다.

2.2 건축물 붕괴요인

앞서 건물 붕괴요인을 내적 요인과 외적 요인으로 구분하였다. 건물의 내적요인으로 내진성능이 취약하면 건물의 붕괴 가능성이 높아져(Lee, 2014) 내진설계 여부가 건축물의 구조적 안정성을 평가하는 항목으로 제시하기도 한다. 우리나라는 1988년에 처음으로 내진설계를 도입하였고, 내진설계 의무대상은 건축법 제48조의 제3항에서 정하고 있다. 1988년에는 6층 이상, 연면적 100,000m² 이상 건축에 내진설계를 처음 의무화하였고 점차 그 적용 범위를 넓혀 1996년에는 연면적 10,000m² 이상, 2005년에는 3층 이상, 연면적 1,000m² 이상, 2015년에는 연면적 500m² 이상, 2017년에는 2층 이상, 그리고 2018년에는 연면적 200m² 이상으로 강화하였다(Table 1). 따라서 현재는 실질적으로 대부분 건축물에 내진설계가 의무화되었다고 볼 수 있다. 그러나 서울특별시에는 2005년 이전에 지어진 건축물이 약 540,000동에 달하고 변경된 내진설계 규정에 맞추어 누적된 내진설계 미대상 건축물의 비율을 분석해 보면 현재 건축물의 87%가 내진설계가 되지 않은 것으로 확인된다. 구조적으로 취약한 건물이 그만큼 많다고 해석할 수 있다.

Table 1. Changes in seismic design mandate (Seoul)

Year	Number of Floors	Gross Floor Area	Earthquake-Resistant Buildings
1988	6 floors or above	100,000m ² or larger	50 (0.0%)
1996	6 floors or above	10,000m ² or larger	13,515 (13.9%)
2005	3 floors or above	1,000m ² or larger	46,525 (83.7%)
2015	3 floors or above	500m ² or larger	15,414 (93.2%)
2017	2 floors or above	500m ² or larger	4,628 (97.2%)
2018	2 floors or above	200m ² or larger	120 (82.8%)

다음으로 건축물 붕괴에 영향을 미치는 외적요인은 크게 자연재해와 인위적 재해의 두 가지로 분류된다(Lee, 2014). 건축물의 붕괴는 순간적으로 발생하는 것처럼 보이지만 실제로는 작은 부분의 피해에 뒤따르는 파괴의 연쇄적 상호반응이다. 이처럼 구조적 주요 부재의 국부적 파괴가 근접한 부재의 붕괴를 초래하고 그로 인한 추가적인 붕괴를 유발하는 연쇄 붕괴(progressive collapse) 현상은 외적요인에 의해 건물의 일부 부재가 파괴됨으로써 건물 전체가 붕괴되는 현상을 설명해준다(ASCE, 2010; Lee, 2014).

자연재해에는 지진, 강풍(태풍), 폭설, 산사태 등이 있다. 자연재해로 인해 건축물에 가해지는 하중이 법적 기준에서 제시한 설계하중보다 커져 안전율을 넘게 되면 건축물이 붕괴되는 것이다. 자연재해 중 지진은 광범위한 지역에 걸쳐 막대한 인명피해와 손실을 초래한다. 1995년 일본 고베지진으로 인해 전체의 34%에 달하는 건물이 심각하게 손상되었고 9%는 붕괴된 것과(Nakashima et al., 1998) 2011년 일본 동북 대지진으로 인해 건물 약 115,000동이 붕괴·파손된 경우가 대표적인 예이다. 그 밖에도 강풍, 폭우, 폭설 등의 이상기후로 인해서 건물이 붕괴되기도 하는데 2014년 경주에서 있었던 마우나오션 리조트 체육관 붕괴사건은 폭설로 인해 지붕에 가해지는 하중이 증가하면서 야기된 사고로 분석된다.

인위적 재해는 화재, 가스폭발, 테러, 외부 진동 등을 포함하는데, 이로 인해 기둥, 보, 내력벽 등 주요 구조부재가 파괴되고 외벽, 창호시스템, 바닥슬래브 등에 손상을 주거나 파편에 의해 부가적 피해가 야기된다. 이러한 충격으로 하중이 재분배되는 과정에서 다른 구조부재의 파괴가 도미노식으로 발생할 경우 건물의 일부 또는 전체가 붕괴되기도 한다. 2001년에 뉴욕 세계무역센터 참사는 테러 폭발로 인해 건물이 붕괴된 사례이다.

화재, 가스폭발, 테러가 비일상적인 사고의 성격을 지닌다면, 보다 일상적으로 발생하는 건축공사가 인위적 재해로서 인접 건축물에 영향을 준다는 연구도 있다. Go, Lee, & Choi(2008)에 따르면 건축 공정 중에서 흙막이 공사는 인접 건물의 침하를 유발할 수 있으며 상하수도관 파손으로 대형사고로 이어질 수 있다고 위험성을 언급한다. 비슷한 관점에서 Seong, Jung, & Shin(2011)은 흙막이 굴착공사로 인한 다수의 사고 및 인접시설물에 영향을 끼친 사례를 수집 분석하여 구조설계 측면과 제도, 관리 측면에서 주요 요인 규명하고자 하였다.

이상의 선행연구들이 중요한 시사점을 제시하였음에도 불구하고 다음과 같은 한계점을 갖는다. 먼저 붕괴위험이 있어 안전진단이 필요한 노후건축물의 기준에 있어서 준공연도, 층수와 같은 건축물 내적요인을 주로 다루고 있고 붕괴에 영향을 미칠 수 있는 외부요인에 대한 고려가 미흡하다. 서울시 안전관리 대책에서 인근 대형공사장이 노후건축물 붕괴에 영향을 미칠 수 있음을 시사하고 있으나 실질적으로 이 요인을 어떠한 방식으로 반영할 것 인지는 제시되어있지 않다. 또한, 주로 건축물 붕괴사고와 관련된 사례 기반의 연구를 수행하다 보니 보다 광역

적인 관점에서 붕괴위험이 있는 건축물을 도출하고 현황을 파악하는 시도는 미흡한 측면이 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 건축물 노후도와 구조 외에도 주변 공사로 인한 외부충격 요인을 포함하여 잠재적 붕괴위험 건축물을 분석한다. 노후건축물의 기준은 2018년 6월에 개정된 서울특별시 정비구역 안전점검 대상 기준(Urban Regeneration Center of Seoul, 2018)에 따라 건축물의 구조에 따른 노후기준을 준용하며, 외부충격 요인으로 노후 건축물 주변 신축 및 착공·인허가 데이터를 활용한다. 둘째, 노후건축물 붕괴요인에 따라 서울특별시 전체 건축물에 대하여 잠재적 붕괴위험을 평가한다. 붕괴사건에 대한 정밀한 분석을 통해 붕괴사고의 위험이 있는 건축물들을 추출하고 지역별 분석을 통해 우선적으로 안전점검이 필요한 건물을 추출한다. 또한, 본 연구의 분석 알고리즘을 적용한 시스템을 웹 서비스로 구현함으로써 시민들의 안전의식을 고양시키고 지속적인 관리 방안을 제시한다.

3. 분석의 틀

3.1 빅데이터 분석기법

본 연구에서는 건축물의 내적요인과 외적요인을 함께 고려하기 위해 건물 단위의 데이터와 인근 지역 데이터를 결합하여 빅데이터 분석을 수행한다. 최근 ‘국민 중심 서비스 정부 3.0의 구현’ 정책의 시행과 함께 빅데이터의 활용으로 도시안전에 기여하기 위한 연구가 지속되고 있다. Shin, Choung, & Yun (2018)은 재난으로부터 국민의 안전을 지키기 위해 고려되어야 할 법적 규제들의 검토를 통해 빅데이터의 적극적인 활용을 제안하였다. 재난대비를 위한 보다 적극적인 대안으로 Seong, Jung, & Shin (2011)은 전염병 발생시 빅데이터를 활용하여 피해를 최소화하기 위한 방안을 제시하였다. 도시안전에 있어 Chang(2018)은 손상에 대한 데이터를 중심으로 중점대상을 도출하고 데이터 기반의 원인 분석과 이에 따른 해결안과 프로그램 및 정책을 도출하는 빅데이터 분석 플랫폼 알고리즘을 제시하였다.

빅데이터에 기반하여 공공의 안전을 위한 알고리즘의 제시와 시스템을 구현한 연구도 있다. Hwang & Park(2016)는 기존의 초등학교 안전지도의 객관성과 정확도를 향상하기 위해 공공 빅데이터의 활용이 필요함을 강조하였으며, 지도 서비스 기반의 새로운 안전지도의 제시를 통해 웹 서비스로의 구현이 안전지도의 활용성을 높여줄 수 있다고 주장하였다. Kim et al.(2017)는 기상 빅데이터를 통한 사용자 주변의 재해통계 정보와 메시지, 뉴스와 같은 실시간 데이터를 반영한 홍수피해 안전지도 서비스를 구현하였다. 웹 서비스의 구현이 위험에 처할 수 있는 시민들에게 정확도 높은 경고를 함으로써 피해를 예방하는 효과가 있음을 강조하였다. 빅데이터 기반의 분석은 정책의 시행이나 의사결정에 있어 불확실성을 줄여주기 때문에 적극적으로 활용할 가치가 있고(Chang, 2018) 구축된 시스템을 통해 지속적인 관리가 가능하기

때문에 도시안전 분야와 같이 단 한 번의 사고로도 큰 피해가 예상되는 경우에 효과적이다.

3.2 분석 요소 및 방법

Table 2는 2018년 국내에서 발생한 주요 건축물 붕괴 사고이다. 붕괴사례 중에는 용산 상가주택처럼 노후도가 높은 건축물도 있는 반면, 상도유치원은 준공된 지 4년밖에 안된 신축 건물이지만 주변 신축공사의 영향으로 붕괴되었다. 이러한 사례는 건축물 외적요인인 주변 신축공사가 붕괴에 유의미한 영향을 미친다는 것을 보여준다. 따라서 본 연구는 건축물의 잠재적 붕괴위험을 분석하기 위하여 건축물의 내적 요인인 ‘건축물 노후도’와 외적 요인인 ‘인근 신축개발 정도’를 함께 고려한다.

Table 2. Major Building Collapse Accidents of South Korea in 2018

Building Name	Completion Year	Age	Gross Floor Area(m ²) of the adjacent new construction within 150m	Percentage of the adjacent new construction
Yongsan Commercial Building	1966	52	154,955.05	Very high (Top 15%)
Gasandong Apartment complex	1998	20	60,213.89	Very high (Top 15%)
Sangdo Kindergarten	2014	4	8,519.57	High (Top 15-35%)

먼저 내적 요인인 건축물 노후도와 관련하여 서울시에서 정비구역 내 소규모 노후건축물 안전진단의 대상으로 삼고 있는 기준을 일부 준용한다. 앞서 기술한 바와 같이 서울시는 안전점검이 필요한 노후건축물 대상으로 첫째, 50년 이상 벽돌조와 30년 이상 블록조, 둘째, 특정건축물 양성화된 3층 이상 건축물, 용도 변경된 조적조 건축물, 셋째, 주민신고·요청, 자가점검·진단 후 문제점 발생으로 요청된 건축물, 넷째, 정비구역 인접 대형공사장 주변 안전 우려가 있는 노후건축물로 정의하고 있다(Urban Regeneration Center of Seoul, 2018). 본 연구에서는 첫 번째 기준인 조적조 건축물 중에서 50년 이상된 벽돌조 건축물과 30년 이상된 블록조 건축물을 노후 건축물로 추출한다.

외적요인으로는 ‘인근 신축개발 정도’, 즉 분석대상 건축물의 인근 지역에서 신축개발이 얼마나 활발하게 일어나고 있는지를 판단한다. 인근 신축개발은 현재 공사 중인 건축물과 함께 1년 내 신축된 건축물 및 인허가를 받아 곧 공사에 착수할 건축물까지 포함하여 산정한다. 공사 중인 건축물 외에 1년 내 공사가 완료되었거나 추후 공사에 착수할 건축물을 포함하는 것은 외적 요인으로 인한 건축물 구조의 균열은 충격의 누적을 통해 진행되기 때문에 현재 진행 중인 공사와 함께 최근에 완료된 건축물과 미래에 공사가 예정된 토지를 함께 고려할 때 보다 종합적으로 잠재적인 붕괴위험을 판단할 수 있기 때문이다.

인근 신축개발을 반영하는 방식은 Figure 1을 통해 설명된다. 본 연구에서는 다양한 토지 형상에 대하여 일관성 있는 거리측정과 건축물의 충격 정도를 고려하기 위해 필지의 중심점 사이의 영향 거리를 기준으로 분석하였다. 먼저 신축공사로 인해 영향을 미칠 수 있는 영향 거리를 산정하기 위해 서울시 내 연면적 10,000m² 이상인 대규모 신축공사 635개 필지(2018년 기준 1년 내 공사를 완료했거나, 공사 중이거나 인허가를 받은 신축공사 필지)와 건물이 소재한 590,077개 필지를 대상으로 필지의 평균 반경 및 표준편차를 분석하였다. 그 결과, 연면적 10,000m² 이상인 신축공사 필지의 평균 반경은 74.9m(표준편차 56.2m)이고, 건물이 있는 필지의 평균 반경은 22.9m(표준편차 11.4m)으로 나타났다. 여기에 진동과 건축물 피해의 인과관계 판단을 위한 가이드라인을 제공하는 Ministry of Environment (2002)의 ‘진동으로 인한 건축물 피해 평가에 관한 연구’에 따라 진동강도가 0.3(cm/sec) 이상일 경우 주택, 상가 기준 충격 진동 영향 범위인 53m 기준을 준용하였다. 대지의 경계선이 진원일 경우를 가정하여 대규모 신축공사의 평균 반경인 75m와 건물이 있는 필지의 평균 반경인 23m, 진동 영향범위인 53m를 합하면 약 150m로 산정된다. 따라서 아래 Figure 1과 같이 영향 범위를 150m로 설정하고, 해당 영향 범위 내에 필지의 중심점이 포함되는 신축 건축물을 추출하여 개발 연면적을 합산하는 방식으로 인근 신축개발 정도를 산정하였다.

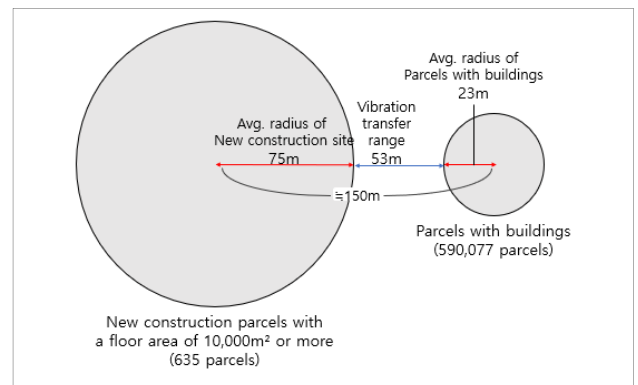


Figure 1. Method for determining the impact of new construction

위 방식으로 집계된 필지별 인근 신축개발 연면적은 상대적 개념인 5분위로 나누어 표시한다. 5분위의 기준은 ‘아주 많음(상위 15%), 많음(상위 15~35%), 보통(상위 35~65%), 적음(하위 15~35%), 아주 적음(하위 15%)’로 분류한다. 앞서 설명한 내적요인과 외적요인을 종합하여 노후건축물(준공된 지 50년 이상인 벽돌조와 30년 이상 블록조)과 주변 신축개발이 ‘아주 많음’과 ‘많음’으로 분류되는 건축물은 잠재적으로 붕괴위험이 있어 안전진단이 필요한 지역으로 구분한다(Table 3).

Table 3. Criteria of potentially collapsible aged buildings

Type	Structure	Age	Construction area within 150m
Brick (벽돌조)	벽돌조	50 years or over	top 35% or higher
Block (블록조)	블록조 석구조 기타조적조	30 years or over	

3.3 분석 알고리즘 및 시스템 구성

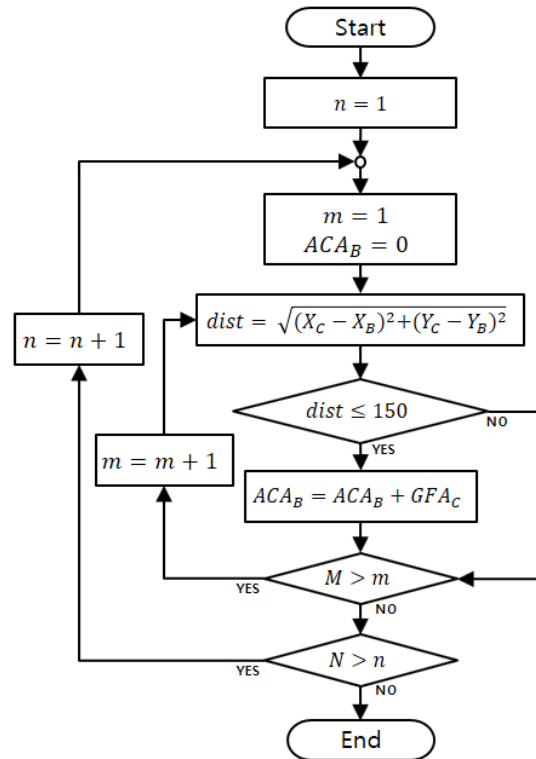
분석 알고리즘으로 먼저 내적요인인 노후화 정도에 따라 분석대상 건축물을 필터링한다. 즉, 구조체가 50년 이상된 벽돌조와 30년 이상된 블록조 건축물을 전체 데이터베이스에서 선별한다. 선별된 데이터는 잠재적 붕괴위험 알고리즘에서 노후건축물 데이터로 사용된다.

노후건축물 인근의 신축공사 규모를 반영하기 위해서는 사용승인일 2017년 이후의 신축건축물, 착공일 2013년 이후인 공사현장, 인허가일 2015년 이후의 공사예정지를 선별한다. 선별된 신축공사 데이터는 노후건축물에 미치는 영향을 파악하기 위해서 주소와 연면적을 정리한다.

서울특별시에는 약 61만개의 건축물이 있고 상당수의 건축물이 노후되었으며 최근 많은 신축공사가 이루어지고 있어 각 사례별로 분석을 진행하는데 상당한 시간이 소요되어 분석과정에서 빅데이터 분석 프로그램인 ‘R Version 3.5.1’을 활용하였다. R은 빅데이터를 손쉽게 다룰 수 있으며 다양한 통계기능을 지원하고 있어 분석을 효율적으로 진행할 수 있다. R에서 작성된 코드는 Figure 2와 같은 알고리즘으로 진행된다.

잠재적인 붕괴위험 노후건축물은 도시안전 측면에서 지속적인 관리가 필요할 뿐만 아니라, 신축공사가 추가될 경우 새로운 위험지역이 발견될 수 있다. 따라서 본 연구는 지속적인 관리를 위해 시스템을 구축하였으며 다음 Figure 3과 같이 구성된다. 먼저 공공개방 데이터베이스를 구축하고, 이를 전처리한다. 전처리는 공공데이터의 결측치와 이상치를 보정함으로써 분석의 품질을 높이기 위함으로, 건축년도, 연면적, 구조 등의 항목에 대해 작업이 진행된다. 이후 위에서 설명한 분석과정에 따라 잠재적 붕괴위험 건축물을 분석한다.

데이터베이스는 국토교통부나 서울특별시에서 제공하는 공공개방 빅데이터를 사용하였지만, 일반인이 이러한 자료를 검색하고 원하는 자료를 조합하는 것은 매우 힘들다. 특히 신축공사 인허가 정보는 매주, 건축물대장은 매월 갱신되기 때문에, 소규모 건축주가 개인소유 건축물의 붕괴위험을 검토한다는 것은 매우 어렵다. 이를 개선하기 위하여 위의 알고리즘을 웹기반 시스템인 “랜드북세이프티(<https://safety.landbook.net>)”로 구현하여 일반인도 쉽게 주변의 건축물의 붕괴위험을 분석할 수 있도록 하였다.



N : number of aged buildings
 M : number of new constructions
 B_n : n_{th} aged building
 C_m : m_{th} new construction
 ACA_B : adjacent construction area of B_n
 X_B : x coordinate of B_n
 Y_B : y coordinate of B_n
 GFA_C : gross floor area of C_m
 X_C : x coordinate of C_m
 Y_C : y coordinate of C_m

Figure 2. Algorithm for analyzing potentially collapsible aged buildings

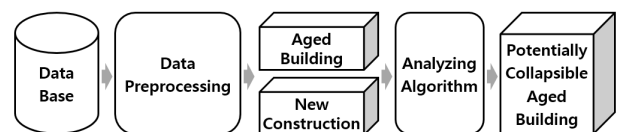


Figure 3. System Configuration

3.4 분석 자료

본 연구에서 분석에 필요한 자료는 국토교통부 건축데이터 민간개방시스템(<http://open.eais.go.kr>)과 국가공간정보포털(<http://www.nsdi.go.kr>)을 통해 수집하였다. 건축물 정보는 국토교통부 민간개방시스템에서 제공하는 건축물대장 표제부 자료를 토대로 2018년 9월 기준 서울특별시에 소재한 61만 6,326개 건축물의 주소, 규모, 구조, 용도, 건축년도 등의 정보를 수집하였다.

건축물 인허가는 ‘건축인허가’ 또는 ‘주택인허가’로 구분되어 있으며 건축물의 주소, 인허가 유형, 규모 등의 정보를 담고 있다. 인허가 유형으로는 기존건물을 허물고 공사를 진행하는 신축, 개축, 재축이 있고 리모델링 수준의 증축, 대수선, 발코니 구조변경 등이 있다. 인근 신축 공사 분석에는 굴착공사를 포함하여 인근 건축물에 강한 충격을 줄 수 있는 신축, 개축, 재축 인허가를 적용하였다.

4. 분석 결과

4.1 잠재적 붕괴위험 노후건축물 현황

Table 4는 앞서 제시한 기준에 따라 서울특별시 자치구별 잠재적 붕괴위험 건축물을 분석한 결과이다. 먼저 내적요인을 반영하여 준공된 지 50년 이상된 벽돌조 건축물과 30년 이상된 블록조 건축물을 노후건축물(B)로 추출하면 서울시 기준 노후건축물은 3만 2,388동으로 산정된다. 이는 서울시의 총 건축물인 58만 6,364동 중 5.5%를 차지한다. 여기에 인근 신축공사가 ‘아주 많음’과 ‘많음’으로 분류된 잠재적 붕괴위험 건축물(C)을 추출하면 7,634동으로 집계되는데 이는 서울시 총 건축물 중 1.3%를 차지한다.

인근 신축공사 산출 결과에 대해 보다 구체적으로 설명하면, 인근 신축공사가 ‘아주 많음(상위 15%)’으로 분류되는 경우는 150m 반경 내에서 이루어지고 있는 신축공사의 연면적이 9,813㎡ 이상인 경우로 이에 해당하는 노후건축물은 3,536동으로 집계되었다. 다음으로 ‘많음(상위 15~35%)’으로 분류되는 경우는 공사 연면적 4,622㎡~9,813㎡인 경우로 이에 해당하는 노후건축물은 3,536동이다. ‘보통(상위 35~65%)’으로 분류되는 경우는 공사 연면적이 1,985㎡~4,622㎡으로 해당 노후건축물은 7,174동으로 집계되며, ‘적음(하위 15~35%)’과 ‘아주 적음(하위 15%)’로 분류된 경우는 연면적이 767㎡~1,985㎡와 767㎡ 미만인 경우로 해당 노후건축물은 각각 5,540동, 12,040동으로 산정되었다.

잠재적 붕괴위험 노후건축물 현황을 자치구별로 살펴보면, 성북구가 965동으로 25개 자치구 중 가장 높았고, 그 다음이 동대문구(776동)와 영등포구(756건)인 것으로 나타났다. 반면, 양천구(4동), 강남구(5건), 서초구(7건)는 상대적으로 잠재적 붕괴위험 노후건축물이 거의 없었다. 자치구별 건축물 수 대비 잠재적 붕괴위험 노후건축물 비율을 살펴보면 중구가 3.6%로 가장 높았고 그 다음이 성북구(2.8%)와 동대문구(2.7%)로 나타났다. 반면에 강남3구와 양천구는 0.1% 이하의 낮은 수치를 보였다. 최근에 개발된 강남지역보다는 이전부터 서울시민이 많이 거주하던 지역에서 잠재적 붕괴위험 건축물이 많은데 오래된 지역에 잠재적 붕괴위험성 건축물비율이 높은 것은 당연한 현상으로 비율 자체보다는 이러한 현상을 파악하고 시와 구의 정책과 예산에 이러한 결과를 반영하여 사전에 있을 재해에 대비하는 게 중요할 것이다.

4.2 잠재적 붕괴위험 노후건축물 고밀지역 분석

우선적으로 안전점검이 필요한 지역을 도출하기 위해 잠재적 붕괴위험 노후건축물의 분포를 살펴보았다. Figure 4는 서울시 지도상에 각 건축물의 위치와 인근 신축공사 정도를 표시한 것으로, 자치구 단위 분석보다 구체적인 붕괴위험 노후건축물 밀집지역을 보여준다.

붕괴위험 노후건축물은 자치구별 분석에서 높은 비율을 보인 중구 초동 일대와 영등포구 영등포동 2가 일대에 집중적으로 분포하고 있으며 타 지역보다 인근 신축공사 수준이 매우 높은 지역임을 확인할 수 있다. 반면에 동일하게 높은 비율을 보인 성북구와 동대문구는 상대적으로 분포가 밀집되지 않았다. 그 외의 자치구 중에서는 성동구의 성수동 일대에서 인근 신축공사 수준이 매우 높은 건축물이 전체적으로 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있었고, 서대문구 홍은동에서도 노후건축물이 많은 지역에 대규모 신축공사가 많아 두드러지게 집중되어 있는 것을 볼 수 있었다.

Table 4. Distribution of potentially collapsible aged buildings by district

District (Gu)	Num. of buildings (A)	Num. of over 30-year-old buildings (B)	Percentage of aged buildings (B/A)	Num. of potentially collapsible aged buildings (C)	Percentage of potentially collapsible aged buildings (C/A)
Gangnam	23,929	29	0.1%	5	0.0%
Gangdong	19,756	361	1.8%	208	1.1%
Gangbuk	27,209	2,599	9.6%	498	1.8%
Gangseo-gu	25,092	371	1.5%	112	0.4%
Gwanak	32,322	563	1.7%	156	0.5%
Gwangjin	24,965	310	1.2%	93	0.4%
Guro	21,616	1,099	5.1%	225	1.0%
Geumcheon	15,320	229	1.5%	140	0.9%
Nowon	13,216	803	6.1%	20	0.2%
Dobong	15,752	418	2.7%	31	0.2%
Dongdaemun	29,273	3,720	12.7%	776	2.7%
Dongjak	24,651	1,394	5.7%	447	1.8%
Mapo	24,860	1,304	5.2%	379	1.5%
Seodaemun	22,693	1,664	7.3%	370	1.6%
Seocho	18,435	50	0.3%	7	0.0%
Seongdong	18,152	1,751	9.6%	297	1.6%
Seongbuk	34,819	4,463	12.8%	965	2.8%
Songpa	24,010	263	1.1%	28	0.1%
Yangcheon	17,676	91	0.5%	4	0.0%
Yeongdeungpo	25,562	1,806	7.1%	756	3.0%
Yongsan	23,720	2,636	11.1%	417	1.8%
Eunpyeong	32,121	2,261	7.0%	576	1.8%
Jongno	25,260	1,953	7.7%	321	1.3%
Jung	18,291	1,827	10.0%	651	3.6%
Jungnang	27,664	423	1.5%	152	0.5%
Total	586,364	32,388	5.5%	7,634	1.3%

5. 결론

우리나라는 해방 이후 70~80년대 급격한 경제성장 및 도시화 과정을 거치며 단기간에 많은 건축물들이 건설되었으나 이후 건축물의 유지관리가 체계적으로 이루어지지 않고 있다. 그 결과, 노후건축물 붕괴사고와 같은 높은 사회적 비용을 지불하고 있으며 도시안전이 위협받고 있다. 따라서 보다 효율적인 안전진단을 수행하기 위해서는 노후건축물을 대상으로 잠재적인 붕괴위험요인을 분석하고 이에 따른 잠재적 붕괴위험 노후건축물을 도출해내는 것이 매우 중요하다.

이러한 관점에서 본 연구는 서울특별시에서 제공하는 공공개방 빅데이터를 이용하여 잠재적 붕괴위험이 높은 건축물을 내적요인(건물 노후도)과 외적요인(인근 신축개발 정도)라는 척도를 종합적으로 분석하는 시스템을 구축하였다. 본 연구의 기여점은 다음과 같다.

첫째, 기존의 연구들은 주로 건축물의 연수와 같은 내적요인을 중심으로 잠재적 붕괴위험 노후건축물을 도출함에 따라, 노후건축물은 아니지만 주변 신축공사의 영향으로 붕괴 위험성이 높아지는 가능성을 배제하는 경우가 많았다. 이에 본 연구는 주변 신축공사의 공간데이터를 포함하여 분석함으로써 노후건축물 붕괴에 영향을 미치는 요인들을 보다 정교하게 반영하고자 하였다. 또한 신축공사 데이터도 공사전(인허가 취득), 공사 중, 공사 후 1년으로 세분화하여 정확도를 높이고자 하였다.

둘째, 본 연구에서는 붕괴위험이 있는 건축물을 추출하는 알고리즘을 시스템화하고 시각화하여 안전진단을 수행하는 지자체 및 일반인들도 쉽게 사용할 수 있는 웹서비스인 랜드북 세이프티를 개발하였다. 국토교통부 홈페이지에 노후건물과 신축공사 정보가 있지만 자료가 방대하고 형태가 상이하여 개인이 데이터를 종합하여 시각화하는 데는 어려움이 있음을 감안할 때, 이러한 시도는 보다 효율적으로 붕괴위험 노후건축물 정보를 전달할 수 있을 것으로 판단된다.

잠재붕괴 건물을 추출하는 과정에서 데이터의 한계로 지반, 고저차와 같이 붕괴에 영향을 줄 수 있는 요인들을 포함하지 못한 것은 연구의 한계로 남는다. 소형 건축물의 붕괴사례는 국가 데이터베이스에 기록된 사례가 충분하지 않아 보다 고도화된 빅데이터 기반 기계학습방법이나 통계적 검증을 하지 못한 것도 연구의 한계로 남는다. 향후 국가 차원의 많은 빅데이터가 축적되게 되면 후속 연구를 통해 더욱 심도있는 분석이 가능하리라고 본다.

본 분석 결과는 붕괴위험 건축물에 대한 주요 정보를 제공하지만 건물 자체 안전성을 검증해 주는 것은 아니다. 본 결과를 통해 안전진단을 우선적으로 실시해야 할 건축물을 신속하게 도출함으로써 보다 효율적인 안전진단을 유도하고, 데이터를 기반으로 해당 지역은 적절한 정책수립과 예산편성을 하여야 할 것이다. 개인은 본인이 소유하거나 거주하고 있는 노후건축물의 위험분석을 통한 자체 진단과 함께 지자체 도움을 받아 사전에 불행한 사태를 대비하는 것이 중요하다.

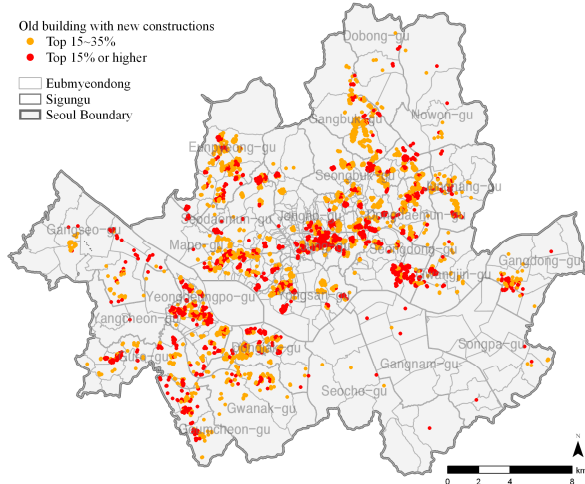


Figure 4. Potentially Collapsible Aged Buildings, Seoul

4.3 잠재적 붕괴위험 노후건축물 탐색기

본 연구에서 도출된 결과는 해당 노후건축물의 구체적인 위치정보를 보여주는데 제약이 있다. 따라서 보다 손쉽게 잠재적 붕괴위험 노후건축물을 탐색하고 확인할 수 있는 랜드북 세이프티 웹서비스(<https://safety.landbook.net>)를 구축하였다. 랜드북 세이프티 웹서비스는 Table 5와 같이 건물 특성(토지 면적, 건물 노후년수, 건물 연면적, 건물 층 수, 건물 구조)과 외부요인(주변 신축공사 정도) 등 다양한 조건에 해당하는 건축물을 손쉽게 도출할 수 있다. 뿐만 아니라, 본 탐색기에서 특정 필지를 클릭하면 해당 필지의 정보와 함께 반경 150m 내 신축개발 현황이 지도에 표시되며 신축개발 세부정보(개발 시점, 개발단계, 주소, 주용도, 연면적)도 함께 제시된다. 본 시스템은 붕괴에 영향을 줄 수 있는 건축물 내부요인과 외부요인을 지도상에 시각화한 것으로 각 지자체에서 노후건축물 안전진단을 위한 의사결정을 할 때 유용하게 활용될 것으로 생각된다. 뿐만 아니라, 시민들도 손쉽게 거주지 주변의 노후건축물 현황을 알 수 있게 도와주고 안전에 대한 의식을 고양시킨다는 점에서 공공안전에 기여할 수 있다.

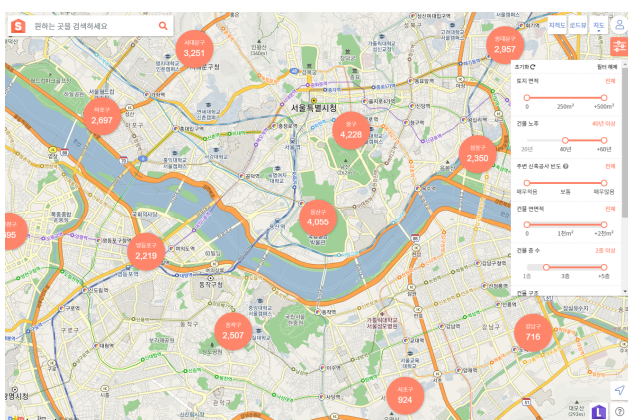


Figure 5. Implemented System "Landbook Safety"

REFERENCES

1. American Society of Civil Engineers, (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Virginia, ASCE, 233-235.
2. Chang, H. (2018). Big Data Application Algorithm for Safe Community Implementation, Urban Design Institute of Korea, 19(1), 37-51.
3. Choung, Y., Choy, I., & Bae, Y. (2016). Social security aimed disaster response policy based on Big Data application, Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, 20(4), 683-690.
4. Go, K., Lee, G., & Choi, M. (2008). A Case Analysis of the Economic Impact on Accidents during Excavation, Proceeding of the Conference of the Journal of the Korea Institute of Building Construction, 8(1), 7-10.
5. Hwang, H., & Park, J. (2016). Development and Application of the Elementary School Safety Map Based on Public Data, Social Studies Education, 55(4), 115-129.
6. Hwang, J., Yang, S., Park, J., & Kwon, Y. (2016). A Study on the Characteristics of the Current Building Deterioration and Remodeling Situation in Korean Cities, Urban Design Institute of Korea, 17(1), 65-82.
7. Kim, H. (2008). A Study on the Constructing Database and Its Utilization Direction of Old Building using GIS, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 11(4), 172-181.
8. Kim, Y., et al. (2017). Design and Implementation of a Flood Disaster Safety System Using Real Time Weather Big Data, Journal of the Korea Contents Society, 17(1), 351-362.
9. Korea Housing Institute (2018). Analysis on the Present Situation of Housing Deterioration and Implication. Seoul.
10. Lee, K. (2014). Causes and Prevention of Building Collapses, Korea Institute of Educational Facilities, 21(4), 18-21.
11. Nakashima, M., Inoue, K., & Tada, M. (1998). Classification of Damage to Steel Buildings Observed in the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake, Engineering Structures, 20(4-6), 271-281.
12. Nam, H., Shin, S., & Lee, Y. (2017). Safety Management for Small-sized Aging Buildings, Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 37(1)
13. Seong, J., Jung, S., & Shin, J. (2011). A Study for Safety Management on Ground Excavation by Analysis of Accident Events, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 15(6), 175-183.
14. Shin, J., Choung, W., & Yun, K. (2018). A Legal Study on the Development of Disaster Technology Using Big Data, Kyunghee Legal Studies, 53(3), 357-388.
15. Urban Regeneration Center of Seoul. (2018). Safety Management of Small-scale Old Buildings in Maintenance Area.
16. Ministry of Environment. (2002). A Study on the Evaluation of Damage to Buildings due to Vibration.
17. Building Data Public Open System, <http://open.eais.go.kr>.
18. Korea National Spatial Data Infrastructure Portal, <http://www.nsdi.go.kr>.

(Received Oct. 31 2018 Revised Nov. 27 2018 Accepted Feb. 1 2019)