

## 특집호 : 인프라시설 스마트 건설기법 활용

### 특집논문

- 1 건설현장 컴퓨터비전 AI 성능에 대한 학습 이미지 데이터셋 크기 및 특화성의 영향 분석  
김진우 · 지석호
- 11 손상을 반영한 BIM 모델 기반 교량 상태평가  
윤인섭 · 에르데네 호빌라이 · 이상호
- 21 LH 단지조성공사를 위한 스마트 건설정보 통합관리 플랫폼 구축 및 실증  
박수현 · 서종원
- 33 도심지 굴착 현장 인접 지반함몰 모니터링을 위한 UGV 탑재 멀티 센서의 적응형 에너지 관리 기법  
김정우 · 정진만 · 김서연 · 정영훈 · 민홍 · 김태식

### 일반논문

- 43 수도권 고령가구의 주거이동 선택에 대한 연구 : 거주기간을 중심으로  
최정미 · 김경희 · 임미화
- 59 자연보전권역의 입지규제가 산업입지 분포에 미치는 영향  
박성구 · 이창수 · 변국일
- 81 그린인프라의 도시침수 위험 완화 효과 : 전라남도 구례군을 대상으로  
심지수 · 구형수
- 97 지역내 불균형 진단과 균형발전에 대한 함의 : 세종시를 중심으로  
이지은 · 주필주 · 송양호
- 111 무주택근로자에 대한 주택자금 세제지원이 주택보유에 미치는 효과의 비교 분석  
김성태 · 조민혜 · 임병인
- 125 패널 모형을 이용한 범죄율 및 체감안전도가 주택가격에 미치는 영향 연구  
한은국 · 정재호
- 141 재실자 및 학습 활동에 따른 국내 교육시설의 재실 음향실태 조사  
최영지
- 151 공동주택 내력벽과 가진 위치에 따른 슬래브 진동 및 바닥충격을 영향 분석  
김수홍 · 류종관 · 황재승 · 김태민

## 편집위원회

### 편집위원장

이승일 | 서울시립대 교수

### 편집위원

강순주 | 건국대 교수  
강인석 | 경상국립대 교수  
강정규 | 동의대 교수  
고진수 | 광운대 교수  
권영철 | 한라대 교수  
김건우 | 한양대 교수  
김용우 | Univ. of Washington 교수  
김의종 | 인하대 교수  
김종진 | 전주대 교수  
김형규 | 홍익대 교수  
김형민 | Univ. of Melbourne 교수  
김흥순 | 한양대 교수  
남영우 | 나사렛대 교수  
문성호 | 서울과학기술대 교수

### 편집부위원장

이명훈 | 한양대 교수

박윤미 | 서울대 교수  
박인권 | 서울대 교수  
박진철 | 중앙대 교수  
백승철 | 안동대 교수  
백인열 | 가천대 교수  
서원석 | 중앙대 교수  
성현곤 | 한양대 교수  
송정섭 | 건국대 교수  
양근혁 | 경기대 교수  
오세준 | 평택대 교수  
원재웅 | 경희대 교수  
윤갑식 | 동아대 교수  
이재경 | 홍익대 교수  
이재우 | 목원대 교수

이현정 | 경희대 교수  
임준홍 | 충남연구원 선임연구위원  
장일한 | 아주대 교수  
장재동 | Univ. of Kansas 교수  
전경수 | 성균관대 교수  
정재호 | 목원대 교수  
조영하 | Univ. of Oxford Brookes 교수  
조재열 | 서울대 교수  
지규현 | 한양사이버대 교수  
천상현 | 홍익대 교수  
최수경 | 한서대 교수  
한승훈 | 전남대 교수

# 인프라시설 스마트 건설기법 활용

Application of Smart Construction Techniques for Infrastructure Projects

최근 국내외 건설공사에서 스마트 건설기법의 적용이 빠르게 확대하고 있고, LH를 비롯하여 주요 발주기관에서도 BIM 설계를 비롯하여 무인 시공장비 운영시스템과 AI기반 안전관리 운영체계에 도입을 서두르고 있다.

4차산업혁명기술을 이용한 스마트 건설기법 적용의 궁극적인 목적은 설계 및 시공 자동화 체계를 구현하는 것이다. LH와 같은 대형 발주기관과 우수한 IT 기술력을 갖추고 있는 우리나라는 건설IT 기술 분야에서 선진국보다 비교 우위의 기술 역량을 갖고 있고 발전 가능성도 높게 평가되고 있다.

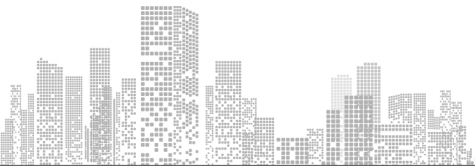
도로, 철도, 항만 등의 인프라시설 프로젝트는 광범위한 구역에서 선형적 시설 특성과 비반복적 공정 구성으로 BIM을 비롯한 스마트 건설기법 적용이 용이하지 않으나, 정부에서는 스마트 건설기술 활성화를 건설산업 발전의 나아갈 방향으로 인식하고 있고, LH에서도 단지조성 공사 등에 적극 활용을 권장하고 있다.

2~3년 전과 비교시 토목 분야에도 3D설계와 장비 자동화 및 AI 기술의 적용이 빠르게 확대되는 점을 고려하면, 스마트 건설기술에 의한 건설 산업의 패러다임 변화는 충분히 예측할 수 있다.

금번 토목분야 특집호는 이러한 스마트 건설기술에 관련된 논문 4편으로 구성되어 있으며, 인프라시설 공사에 4차산업혁명기술을 확대 적용하는 계기가 되기를 바란다.







## CONTENTS

# 토지주택연구

Land and Housing Review

Vol. 15 No. 4 [058] December 2024

### 특집호 : 인프라시설 스마트 건설기법 활용

#### 특집논문

- 1 건설현장 컴퓨터비전 AI 성능에 대한 학습 이미지 데이터셋 크기 및 특화성의 영향 분석  
김진우 · 지석호
- 11 손상을 반영한 BIM 모델 기반 교량 상태평가  
윤인섭 · 에르데네 호빌라이 · 이상호
- 21 LH 단지조성공사를 위한 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼 구축 및 실증  
박수현 · 서종원
- 33 도심지 굴착 현장 인접 지반함몰 모니터링을 위한 UGV 탑재 멀티 센서의 적응형 에너지 관리 기법  
김정우 · 정진만 · 김서연 · 정영훈 · 민홍 · 김태식

#### 일반논문

- 43 수도권 고령가구의 주거이동 선택에 대한 연구: 거주기간을 중심으로  
최정미 · 김경희 · 임미화
- 59 자연보전권역의 입지규제가 산업입지 분포에 미치는 영향  
박성구 · 이창수 · 변국일
- 81 그린인프라의 도시침수 위험 완화 효과: 전라남도 구례군을 대상으로  
심지수 · 구형수
- 97 지역내 불균형 진단과 균형발전에 대한 함의: 세종시를 중심으로  
이자은 · 주필주 · 송양호
- 111 무주택근로자에 대한 주택자금 세제지원이 주택보유에 미치는 효과의 비교 분석  
김성태 · 조민혜 · 임병인
- 125 패널 모형을 이용한 범죄율 및 체감안전도가 주택가격에 미치는 영향 연구  
한은국 · 정재호
- 141 재실자 및 학습 활동에 따른 국내 교육시설의 재실 음향실태 조사  
최영지
- 151 공동주택 내력벽과 가진 위치에 따른 슬래브 진동 및 바닥충격음 영향 분석  
김수홍 · 류종관 · 황재승 · 김태민

**발 행** 한국토지주택공사  
토지주택연구원  
(34047) 대전광역시 유성구  
엑스포로 539번길 99

**전 화** 042 866 8518

**팩 스** 042 866 8638

**Home** <https://lhri.lh.or.kr>

**발행인** 정 창 무

**인쇄처** (주)에이퍼브  
02 2274 3666

**인쇄일** 2024년 12월 28일

**발간일** 2024년 12월 31일

#### 저널발간팀

김두한 김하룡 신도겸 오명택 송기욱  
김태민 이동건 서형종

# 토지주택연구

Land and Housing Review

Vol. 15 No. 4 (058) December 2024

## Special Issue : Application of Smart Construction Techniques for Infrastructure Project

### Featured Paper

- 1 Investigating the Effects of Training Image Dataset's Size and Specificity on Visual Scene Understanding AI in Construction  
Jinwoo Kim · Seokho Chi
- 11 Condition Assessment of Bridge by BIM-based Integrated Model Reflecting Damage  
Inseop Yun · Khuvilai Erdene · Sang-Ho Lee
- 21 Development and Demonstration of an Integrated Digital Construction Platform for LH Complex Development Projects  
Soohyun Park · Jongwon Seo
- 33 Adaptive Energy Management Technique for UGV-Mounted Multi-Sensors in Monitoring Ground Subsidence Adjacent to Urban Excavation Sites  
Jung Woo Kim · Jinman Jung · Seoyoen Kim · Young-Hoon Jung · Hong Min · Taesik Kim

### General Paper

- 43 Residential Mobility Choices of Elderly Households in the Seoul Metropolitan Area: An Analysis of the Length of Residence  
Chongmi Choi · Kyounghee Kim · Mihwa Lim
- 59 The Regulation Effects of the Nature Preservation Region on the Distribution of Industrial Sites  
Sung-Koo Park · Chang-Soo Lee · Goog-Il Byun
- 81 Mitigating Urban Flood Risk with Green Infrastructure : A Case Study of Gurye-gun, Jeollanam-do  
Jisoo Sim · Hyeongsu Koo
- 97 Diagnosing Regional Imbalances and Implications for Balanced Development: A Case Study of Sejong City  
Jaeun Lee · Pilju Joo · Yangho Song
- 111 A Comparative Analysis on the Effect of Housing Funds Special Deductions and Monthly Rent Tax Credit on Housing Ownership for Non-Homeowning Wage Earners  
Sung Tai Kim · Min-hye Jo · Byung In Lim
- 125 A Study on the Impact of Crime Rates and Perceived Safety on Housing Prices using a Panel Model  
Eun-Kook Han · Jae-Ho Chung
- 141 Investigation on the Acoustic Conditions of Active Classrooms in Accordance with the Students and Classroom Activities  
Young-Ji Choi
- 151 Analysis of Slab Vibration Effects of Bearing Wall and Impacting Point in Apartment Building  
Suhong Kim · Jongkwan Ryu · Jaeseung Hwang · Taemin Kim



## CONTENTS

# 건설현장 컴퓨터비전 AI 성능에 대한 학습 이미지 데이터셋 크기 및 특화성의 영향 분석\*

## Investigating the Effects of Training Image Dataset's Size and Specificity on Visual Scene Understanding AI in Construction

김진우\*\* · 지석호\*\*\*

Jinwoo Kim\*\* · Seokho Chi\*\*\*

### Abstract

Visual scene understanding AI, a pivotal factor for digital transformation and robotic automation in construction, has primarily been researched under the hypothesis that the more training images, the higher the model performance. Alternatively, one can hypothesize that prioritizing activity-specific training images tailored to each construction phase would be more critical than merely enlarging the size of the dataset. This approach is particularly vital in dynamic construction environments where visual characteristics undergo significant changes across the construction phases, from earthmoving, foundation, and superstructure to finishing activities. In this background, we investigate the effects of a training image dataset's size and specificity on visual scene understanding AI in construction. We build an all-in-one, universal training image dataset as well as an activity-specific dataset, varying the number of training images. We then train vision-based worker detection models using each dataset and assess their performance in activity-specific, dynamic test environments. We analyze the optimal performance achieved in each test environment and how the model's performance varies depending on the dataset's size over the entire test phase. Our findings will help scientifically validate the dual hypotheses and lay a solid foundation for building and updating a training image dataset when developing a visual scene understanding AI model in dynamic construction sites.

**Keywords:** Construction Site, Visual Scene Understanding, AI, Training Dataset, Activity-Specific

### 1. 서론

건설산업은 디지털 전환과 로봇 자동화를 통해 생산성 및 안전성 혁신을 도모하고 있다. 미래 현장에서는 (반)자율로봇이 육체적으로 힘든 작업을 주로 수행하는 반면, 사람은 이 로봇을 운영하거나 새로

운 작업방식을 제안하는 등 고부가가치의 업무를 맡게 될 것이다. 더불어, 무인비행체 등 이동식 로봇은 대규모 작업장을 자율적으로 돌아다니면서 현장정보를 체계적으로 수집-저장-디지털화할 수 있고, 이를 통해 건설현장을 효율적으로 모니터링하고 관리할 수 있다. 이처럼 최첨단 디지털 및 로봇 기술은 건

\*이 논문은 한양대학교 교내연구지원사업으로 연구되었음(HY-202400000001265).

\*\*한양대학교 건설환경공학과 조교수(주저자·교신저자: jinwookim@hanyang.ac.kr)

\*\*\*서울대학교 건설환경공학부 교수(shchi@snu.ac.kr)

설산업의 고질적인 문제였던 생산성 및 안전성을 혁신하는 데 큰 도움이 될 것이다.

디지털 전환과 로봇 자동화를 실현하기 위해서는 현장에서 수집되는 다량의 이미지를 분석하여 끊임 없이 변화하는 현장상황을 이해할 수 있는 컴퓨터비전 AI가 필수적이다. 예를 들어, 건설현장에서 (반) 자율로봇이 돌아다니기 위해서는 주변의 작업자, 구조물, 이동통로 등을 인식하고 적절한 의사결정을 수행해야 한다. 이에 따라 수많은 연구자들이 물체 탐지 및 추적, 단위분할, 행동인식, 자세추정 등 다양한 컴퓨터비전 AI 기술을 조사하고, 이를 건설현장에 활용할 수 있는 형태로 개선-맞춤개발해왔다.

상당한 연구개발이 이루어졌지만 기존의 컴퓨터비전 AI 기술은 실무 적용성이 매우 낮아 실제 현장에서는 제대로 활용되지 못하고 있다. 가장 큰 원인 중 하나는 건설현장의 상황이 토공-기초-골조-마감 작업에 걸쳐 시시각각 변한다는 점을 고려하지 않고, 단순히 “학습 이미지 데이터 수가 많을수록 AI 성능이 증가할 것이다”라는 가설을 토대로 전 공종을 포괄하는 하나의 범용 데이터셋을 구축했기 때문이다. AI 문제로 변환해서 설명하면, 실제 건설현장인 시험 데이터셋의 분포가 동적으로 계속 변함에도 불구하고, 기존 연구에서는 초기에 한번 구축한 이후로 전혀 업데이트하지 않는, 정적이고 고정된 방식을 적용했다는 것이다.

이런 맥락에서 “각 공종에 특화된 학습 이미지 데이터셋을 지속적으로 업데이트-구축하면 더 높은 성능의 AI 모델을 학습할 수 있다”라는 기존과 대립하는 가설을 세울 수 있다. 이 두 가지 모두 합리적인 가설이지만, 건설분야에서 학습 이미지 데이터셋의 크기와 특화성(각 공종에 특화된 정도)이 컴퓨터비전 AI 성능에 미치는 영향에 대한 정량적 근거나 자료가 부족하여 어떤 방식으로 학습 이미지셋을 구축해야 하는지 미지수로 남아있다. 이에 따라 본 연구는 학습 이미지 데이터셋의 크기를 변경해가며 공종별

특화 데이터셋과 전 공종 범용 데이터셋을 구축하고 컴퓨터비전 AI 모델을 학습한 뒤, 토공-기초-골조-마감공종 전 단계에서 그 성능을 차례대로 비교분석한다. 특히, 건설사업에서 가장 중요한 자원이고 컴퓨터비전 AI의 기반이 되는 작업자 인식을 연구범위로 한정하였다.

## 2. 선행연구

### 2.1 건설현장 컴퓨터비전 AI 연구

최근 몇 년간 심층학습 분야의 큰 발전과 함께 많은 연구자들이 건설현장 이미지를 분석하는 방법들을 고안해왔다. 일부는 작업자의 작업유형을 인식하기 위해 합성곱신경망, 순환신경망 등 다양한 유형의 심층학습 구조를 활용하였으며(Luo et al., 2020; Roberts et al., 2020), 다른 연구자들은 굴삭기, 덤프트럭 등 중장비에 대한 그 가능성을 검증하였다(Kim et al., 2018; Kim and Chi, 2019). 최근에는 토공-기초-골조-마감공사 건설사업의 전 생애주기에 걸쳐 작업자와 중장비를 탐지하고 그들의 작업상태를 파악하는 범용적 방법론을 제안하였다(Kim et al., 2024). 반면, 컴퓨터비전 AI는 건설현장 안전 모니터링에도 적용되었다. 예를 들어, 작업자가 안전모 등의 개인보호구를 잘 착용하고 있는지를 자동으로 인식하고(Ding et al., 2022), 작업자-중장비 간 물리적 거리, 움직이는 방향 및 속도를 추정하여 충돌 가능성을 추론하기도 했다(Ding and Luo, 2024).

최근에는 현장 이미지로부터 보다 세밀하고 깊이 있는 정보를 추출하려는 연구가 진행되고 있다. 그 예로, Kim and Chi(2022)은 2차원 건설현장 이미지에 나타난 물체들과 그들의 관계를 그래프 형태로 나타내고 분류하는, 그래프신경망 기법을 제안하였으며, Yan et al.(2020)의 연구에서는 건설물체 간의 3차원 관계까지 파악할 수 있는 방안을 제시하였다. 또 다른 연구에서는 이미지 분석이 어려운 상황에서

컴퓨터비전 AI의 정확도를 향상하기도 했다. 특히 분석오류의 주요 원인인 중첩상황에서 건설 작업자 또는 중장비를 어떻게 탐지할 것인지(Wang et al., 2024), 매우 먼 거리에서 촬영된 작은 크기의 물체를 인식할 것인지(Park et al., 2023) 등에 대한 연구가 이루어졌다.

이러한 성과에도 불구하고, 컴퓨터비전 AI의 성능이 학습 데이터셋에 굉장히 의존하고(염준호, 2023; 권영주·문성호, 2023) 이를 위해 너무 많은 시간과 노력이 소요되기 때문에 실제 건설현장에서 충분히 활용되지 못하고 있는 실정이다.

## 2.2 기존의 학습 이미지 데이터셋 구축 방법

실제 현장에서 활용 가능한 컴퓨터비전 AI를 개발하기 위해 학습 이미지 데이터셋을 어떻게 효과적, 효율적으로 구축할 것인지에 대한 연구가 이루어져 왔다. 구체적으로 다음과 같은 2가지의 대표적인 방법들이 있다.

### 2.2.1 합성 이미지 생성 방법

일부 연구자들은 가상의 건설현장을 모사할 수 있는 디지털 환경에서 추출된 합성 이미지에 주목했다. 디지털 환경에서는 어떤 종류의 상황도 손쉽게 재현할 수 있고 무수히 많은 양의 이미지 데이터를 뽑아낼 수 있어 그 잠재력이 매우 높게 평가되었다. 예를 들어 Braun and Borrmann(2019)은 3차원 건물정보모델링을 활용하여 기둥, 빔 등 건축물의 구성요소에 대한 합성 이미지를 생성하고 이를 활용하여 컴퓨터비전 AI 모델을 학습하는 데 성공하였다. Lee et al.(2022)은 굴삭기 탐지를 위해 이에 대한 합성 이미지를 생성하였고, Torres Calderon et al.(2021)의 연구에서는 3차원 굴삭기 모델의 작업을 물리적으로 재현하고 굴삭기의 작업유형을 판단하는 모델을 구축하였다. 이와 유사하게, Assadzadeh et al.(2022)와 Mahmood et al.(2022) 연구에서는 굴삭

기의 2차원/3차원 자세를 추정하는 데 맞춤 개발하였다. 해당 연구들이 건축물 구성요소, 중장비에 초점을 맞추었다면 Kim et al.(2023)은 건설 작업자에 대한 가상 이미지를 합성하고 이를 활용하여 컴퓨터비전 AI 모델을 훈련시켰다. 특히, 실제 건설현장에서 수집된 데이터셋과 가상의 건설현장에서 생성된 합성 이미지를 동시에 활용하여, 그 효과를 검증하였다. 또한, Ding and Luo(2023)은 작업자와 중장비가 동시에 나타나는 현장을 모사하여 이에 대한 대규모의 합성 데이터셋을 구축하였다.

이처럼 합성 이미지 데이터셋의 잠재력이 확인되었으나 합성 이미지는 본질적으로 실제 건설현장 이미지와는 그 시각적 특성이 다르기 때문에 컴퓨터비전 AI 모델의 성능을 향상하는 데 한계가 있다(Kim et al., 2023).

### 2.2.2 실제 건설현장 이미지 수집 및 벤치마크 데이터셋 구축

많은 연구자들은 실제 건설현장에서 다량의 이미지 데이터를 직접 수집하고 라벨링하여 대규모의 건설현장 벤치마크 이미지 데이터셋을 구축하려는 노력을 진행하였다. 예를 들어, Xiao and Kang(2021)은 굴삭기, 덤프트럭, 컴팩터, 도저, 그레이더, 타워크레인 등 총 10개 유형의 건설장비에 대한 이미지를 10,000장 수집하였고, Duan et al.(2022)에서는 작업자, 안전모, 철근 등에 대한 이미지를 약 20,000장 촬영하여 실제 이미지셋을 만들었다. 이와 유사하게, Yan et al.(2023)도 작업자, 중장비에 대한 실제 이미지를 50,000장 수집하여 공개하였으며, Xuehui et al.(2021)은 174여개의 서로 다른 건설현장에서 작업자, 굴삭기, 덤프트럭, 믹서트럭 등에 대한 41,000여장의 실제 이미지를 촬영하였다. 이 같은 데이터셋이 대부분 작업자, 중장비, 자재, 도구 등의 물체를 탐지하는 데만 초점을 맞추었기 때문에 다른 연구에서는 작업자의 불안정한 행동 인식을 위한 이미지셋

을 구축하기도 했다. Yang et al.(2023)는 총 7가지의 불안정한 행동에 대한 1,595개의 비디오를 촬영하여 공개하였다. 다른 한편으로는, 최근 친환경에 대한 사회적 수요 증가에 따라 일부 연구는 건설현장에서 발생하는 먼지들에 대한 이미지 데이터를 모으고 라벨링을 수행하기도 했다(Xiong and Tang, 2021; Wang et al., 2023).

## 2.3 지식격차: 학습 이미지 양과 특화성 간의 복잡한 관계 및 AI 성능에 미치는 영향

앞에서 서술한 것처럼 학습 이미지 데이터셋 구축에 관한 많은 노력이 이루어졌으나 대부분 “학습 이미지가 많으면 많을수록 AI 성능이 증가할 것이다”라는 가설에 기반하고 있다. 하지만 주변환경이 시간에 따라 끊임없이 변화하는 건설현장에서는 학습 데이터셋의 크기뿐만 아니라, 그 데이터가 해당 공종에 얼마나 특화되어있는지에 따라 AI 성능이 매우 달라질 수 있다. 최근 연구에서도 실제 컴퓨터비전 AI를 적용하는 현장과 다른 특성을 지닌 이미지를 너무 많이 활용하면, AI 모델의 성능이 오히려 감소한다는 사실이 발견되었다(Kim et al., 2023). 이 발견은 많은 양의 이미지를 확보하는 것도 중요하지만 학습 데이터셋의 분포가 시험 이미지셋의 분포와 유사하도록 만들어야 한다는 것을 시사하며, 더 나아가 시시각각 변화하는 건설현장에서는 “각 공종에 특화된 학습 이미지셋을 구축하면 데이터 수가 다소 부족하더라도 더 높은 성능의 AI 모델을 구축할 수 있다”라는 기존과 대립하는 가설을 세울 수 있다. 예를 들어, 일정량 이상의 학습 데이터를 확보하면 데이터셋 크기 자체보다는 실제 건설현장에 진행되고 있는 공종에 얼마나 특화되어있는지가 더 중요해질 것이다. 하지만 건설분야에서 학습 이미지셋의 크기와 특화성(공종별 특화), 그리고 컴퓨터비전 AI 성능 간의 복잡한 관계에 대한 연구가 부족한 실정이며, 이에 따라 어떤 특성의 학습 이미지를 얼마나 많이

수집해야 공종별 최고 성능의 컴퓨터비전 AI 모델을 개발할 수 있는지 의문으로 남아있다.

## 3. 연구방법 및 실험설정

위 지식격차를 해소하기 위해서 본 연구는 학습 이미지셋의 크기-특화성-컴퓨터비전 AI 성능 간의 관계를 정량적으로 분석하는 실험을 다음과 같이 2단계로 수행하며, 보다 자세한 내용은 아래와 같다.

### 3.1 건설현장 전 공종 범용 및 공종별 특화 이미지 데이터셋 구축

건설현장 전 공종에 대한 이미지로 구성된 범용 데이터셋(기존 방식)과 단일 공종으로만 구성된 공종별 특화 데이터셋(제안 방식)을 준비하였다. 이를 위해 실제 건설현장 벤치마크 이미지 데이터셋을 확보한 뒤 토공-기초-골조-마감공종별로 이미지를 직접 분류하였다. 구체적으로, 174개의 실제 건설현장에서 구축되었고 공개적으로 사용 가능한 Moving Objects in Construction Sites(MOCS) 데이터셋을 채택하였다(Xuehui et al., 2021). 그 다음, 연구진이 이미지에 직접 주석을 달고 공종을 분류하였으며, 4가지 공종에 해당하지 않거나 분류하기 애매한 이미지는 포함시키지 않았다. 더불어, 다른 공종 대비 마감공사에 대한 이미지가 현저히 부족했기 때문에 Google 등 인터넷에서 1,000장을 추가로 수집하였다.

위와 같은 과정으로 토공-기초-골조-마감 공종에 대한 이미지를 모두 확보한 다음, 먼저 전 공종 범용(학습)데이터셋을 구축하였다. 특히 특정 공종에 대한 편향성을 줄이고 모든 공종에 대한 대표성과 범용성을 최대한 확보하기 위해서 공종별 이미지 수가 모두 동일하도록 무작위 선별하였고, 데이터셋 크기는 작업자 수 기준 2,000명부터 4,000명, 6,000명, 8,000명, 10,000명으로 변경해가며 총 5개의 범용 데이터셋을 구축하였다. 예를 들어, 10,000명의 데



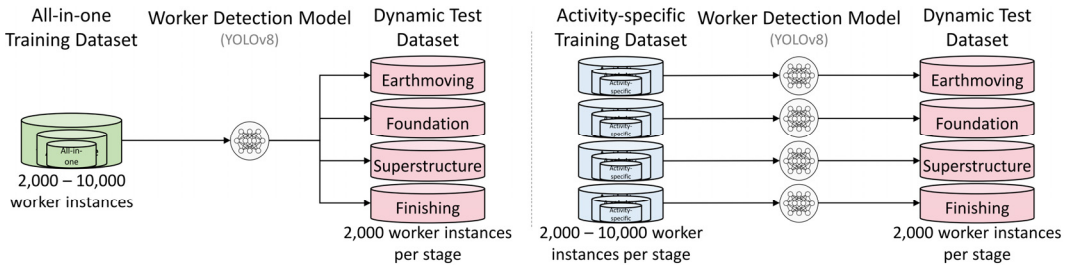


Fig. 1. Training and Test Datasets used for Training All-In-One and Activity-Specific Worker Detection Models

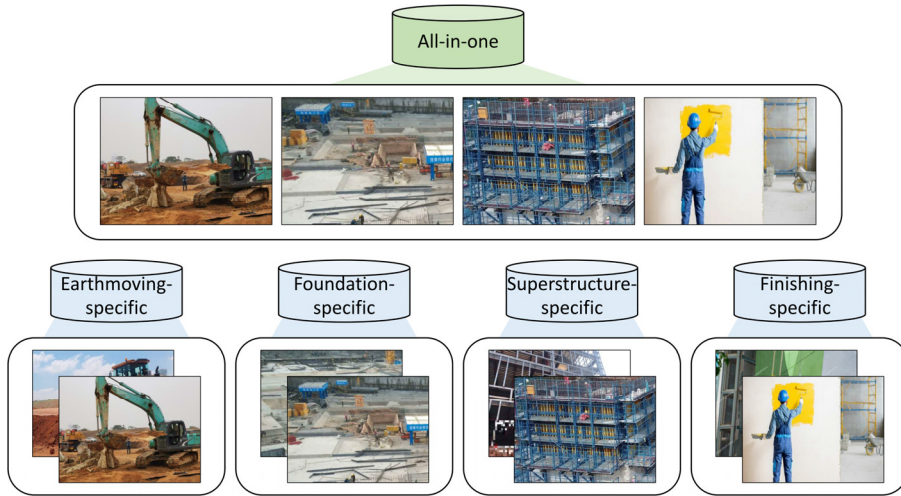


Fig. 2. Examples of Construction Worker Images included in the All-In-One and Activity-Specific Datasets

Source: MOCS Dataset by Xuehui et al. (2021)

이터셋에는 2,500명에 대한 토공, 기초, 골조, 마감 공종 이미지가 각각 포함되었다.

범용 데이터셋과 유사한 방식으로 공종별 특화(학습)데이터셋을 구축하였으며, 다만 하나의 데이터셋에는 단일 공종에 대한 이미지만 포함되었다. 예를 들어, 마감공종에 특화된 데이터셋은 마감공종에 대한 이미지로만 구성되었다. 이를 통해 총 20개의 공종별 특화 데이터셋을 준비하였다(5가지 크기의 데이터셋 크기×4가지 공종). 마지막으로, 시간에 따라 변화하는 건설현장에서의 AI 성능을 보다 면밀히 평가하기 위해서 공종별 특화 시험 데이터셋을 추가로 준비하였다. 즉, 토공-기초-골조-마감 각 공종에 대한 총 4가지의 시험 데이터셋을 구축하였으

며, 하나의 데이터셋은 2,000명의 작업자에 대한 이미지로 구성되었다.

즉, Fig. 1과 같이 전 공종 범용 및 공종별 특화 학습 데이터셋의 경우 2,000명, 4,000명, 6,000명, 8,000명, 10,000명 총 5개 크기의 작업자 이미지로 구성되었으며, 이는 다시 모델 학습과 검증을 위해 8:2로 구분되어 사용되었다. 반면에, 시시각각 변화하는 건설현장의 상황을 모사하는 시험 데이터셋은 토공 작업자 2,000명, 기초 작업자 2,000명, 골조 작업자 2,000명, 마감 작업자 2,000명 이미지로 구축되었다. 데이터셋에 포함된 이미지의 예시는 Fig. 2에서 볼 수 있다.

3.2 작업자 인식 모델 학습 및 성능 평가

앞서 구축한 학습 이미지셋의 효용성을 비교·분석하기 위해 작업자 인식 모델을 학습하고 그 성능을 평가하였다. 구체적으로, 전 공종 범용 및 공종별 특화 학습 이미지셋을 사용하여 8번째 버전의 You Only Look Once Nano(YOLOv8n) 기반의 모델을 구축하였다. YOLO는 건설분야에서 가장 많이 활용된 모델 중 하나이고 좋은 성능을 보였을 뿐만 아니라, 해당 모델의 작동 메커니즘에 대한 지식이 축적되어 왔기 때문에 연구결과와 신뢰성과 해석 가능성을 모두 확보할 수 있었다. 이를 위해 [image size: 640×640], [epochs: 300], [batch size: 16], [optimizer: AdamW with momentum of 0.9 and weight decay of 0.0005], [learning rate: 0.01]의 하이퍼파라미터를 적용하였다.

이렇게 학습된 YOLOv8n 모델은 앞서 구축된 공종별 특화 시험 데이터셋에서 성능을 평가하였으며, 이를 위해 가장 대표적인 성능지표인 Average Precision @50(AP)을 적용하였다.

4. 결과분석 및 논의

Table 1은 전 공종 범용 및 공종별 특화 데이터셋에 포함된 학습 이미지 개수를 변경하며 학습된 모델의 공종별 성능을 보여준다. 우선 모든 공종에서 동일한 양의 학습 이미지가 사용된 경우 특화 데이터셋이 범용 데이터셋보다 평균 3.8% 이상의 높은 성능을 나타냈다. 이 결과를 통해 학습 데이터셋이 시험 데이터셋과 유사한 특성을 가질수록 AI 모델이 더 잘 작동한다는 점을 다시 한번 확인할 수 있다. 특히, 10,000명의 작업자에 대한 학습 이미지가 사용된 경우 토공 이미지로만 구성된 특화 데이터셋이 전 공종 범용 데이터셋보다 AI 성능을 5.8%나 향상할 수 있었다는 점은 학습 데이터의 특화성이 미치는 영향이 상당히 중요하다는 것을 알 수 있다.

상대적으로 작은 크기의 공종별 특화 데이터셋을 사용하더라도 대규모의 범용 데이터셋과 AI 모델 성능이 유사하거나 더 높았다. Table 1을 살펴보면 모든 공종에 대한 10,000명의 작업자 이미지로 범용 데이터셋을 구성하는 것보다, 각 공종에 특화된 6,000명 작업자 이미지를 사용할 때 더 높은 성능을

Table 1. Model Performance by Dataset's Size and Specificity over the Entire Project Life Cycle

Dataset Size (# of Workers)	Dataset Specificity	Earthmoving	Foundation	Super- Structure	Finishing	Average
2,000	All-in-one	60.30%	66.70%	60.70%	86.10%	68.45%
	Activity-specific	61.90%	68.30%	62.40%	91.70%	71.08%
4,000	All-in-one	62.30%	70.80%	65.50%	89.80%	72.10%
	Activity-specific	65.50%	73.00%	68.30%	94.30%	75.28%
6,000	All-in-one	63.90%	71.90%	67.10%	91.30%	73.55%
	Activity-specific	68.50%	75.90%	71.40%	95.80%	77.90%
8,000	All-in-one	65.50%	72.50%	68.50%	93.40%	74.98%
	Activity-specific	70.40%	77.50%	74.10%	96.20%	79.55%
10,000	All-in-one	67.70%	74.40%	71.10%	94.10%	76.83%
	Activity-specific	73.50%	78.70%	74.60%	96.80%	80.90%



확보할 수 있었다. 더하여, 4,000명 작업자에 대한 공종별 특화 이미지를 사용하면 대규모의 전 공종 범용 이미지셋 대비 단 1.6% 성능 감소가 있었다. 이 결과는 각 공종에 특화된 학습 이미지를 수집하면 필요한 데이터의 양을 40~60% 가량 줄이면서도 AI 모델의 성능을 유지하거나 더 향상할 수 있음을 의미한다. 이에 따라 공종별 특화 데이터셋을 구축할 때는 전 공종 범용 데이터셋 대비 약 50%의 이미지로만 구성하여도 더 높거나 유사한 성능을 달성할 수 있을 것이다. 더불어, 본 연구에서 사용된 MOCS 데이터셋은 Fig. 2와 같이 총 174개의 서로 다른 건설현장에서 충분히 다양하고 어려운 분석조건에서 수집되었다는 점을 고려하면, 건설분야에서 상당히 일반화가 가능하고 대표성이 있는 발견이라고 볼 수 있다.

데이터셋의 유형과 관계없이 학습 이미지가 많을수록 AI 모델 성능이 증가하는 경향이 관찰되었다. 이는 데이터셋 크기-AI 성능 간 관계에 대한 기존의 지식과 일치하지만, 학습 데이터셋 크기가 클수록 특화 데이터셋의 성능 우위가 더 두드러졌다는 점이 주목할 만하다. 구체적으로, 2,000~4,000명 작업자 이미지를 수집한 경우 공종별 특화 데이터셋이 범용 데이터셋 대비 평균 2.6~3.2% 높은 성능을 보인 반면, 작업자 수가 6,000~10,000명이 되면 그 성능 차이가 4.1~4.6%로 증가하였다(Table 1). 이러한 결과는 학습 데이터가 많을수록 AI 성능이 향상되지만, 일정량 이상의 데이터가 확보되면 데이터셋 크기보다는 특화성의 영향이 더 결정적이라는 것을 시사한다.

공종에 따른 모델의 성능 변화를 살펴보면 범용 데이터셋이 특화 데이터셋보다 더 안정적이라는 것을 알 수 있으며, 이는 범용 데이터셋에는 모든 공종에 대한 이미지가 포함되었기 때문이다. 즉, 다양한 공종에 대한 이미지를 수집하면 각 공종에서 최고의 성능을 확보할 수는 없으나 토공-기초-골조-마감 전

생애주기에 걸쳐 가장 강건한 모델을 학습시킬 수 있음을 시사한다. 그러나 실제 현장에서는 미래에 수행될 공종에 대한 이미지를 수집할 수 없다는 제약조건을 유의해야 한다. 예를 들어, 토공단계에서는 마감공종에 대한 학습 이미지를 수집할 수 없기 때문에 토공-기초-골조-마감 전 공종에 걸쳐 학습 이미지를 단계적으로 업데이트해야 할 것이다. 즉, 실제 현장에서는 학습 이미지의 개수-다양성-특화성을 모두 최적화해야만 최고 성능을 확보하면서 건설사업의 전 생애주기에서 잘 작동하는 AI 모델을 구축할 수 있을 것이다.

위와 같이 흥미로운 연구결과에도 불구하고, 일부 한계점과 향후 연구가 남아있다. 예를 들어, 실제 건설현장에서는 2가지 이상의 공종이 동시에 수행되는 경우가 있다(예: 토공-기초 작업을 동시에 수행하는 경우). 그러나 본 연구에서 사용된 시험 데이터셋은 1가지 공종에 대한 이미지로만 구성되었기 때문에 해당 상황에 대한 데이터셋을 추가 구축하여 모델 성능을 비교-분석할 필요가 있다. 더불어, 연구진은 컴퓨터비전 AI의 필수기능인 작업자 인식에만 초점을 맞추었으나 향후 연구에서는 중장비, 자재 등을 탐지하거나, 행동인식, 자세추정, 단위분할 등 다른 유형의 컴퓨터비전 AI 문제를 탐구하는 것도 중요할 것이다. 이러한 노력들을 통해 학습 이미지셋의 특성(크기, 다양성, 특화성)이 컴퓨터비전 AI 성능에 미치는 복잡한 영향을 보다 잘 이해할 수 있을 것으로 기대된다.

## 5. 결론

본 연구는 학습 이미지셋의 크기와 특화성이 컴퓨터비전 AI 모델의 성능에 미치는 영향관계를 정량화-분석하였다. 이를 위해 토공-기초-골조-마감에 이르는 전 공종 범용 이미지 데이터셋과 공종별 특화 이미지셋을 구축하고 컴퓨터비전 AI 모델을 개발한

뒤, 이들의 성능을 공종별로 비교·분석하였다. 실험 결과는 공종별 특화 데이터셋을 활용할 때 단일 공종에서 가장 높은 성능의 AI 모델을 학습할 수 있었고, 더 나아가 범용 데이터셋 대비 40~60% 정도 적은 양의 학습 이미지로도 AI 성능이 유사하거나 더 높은 것으로 나타났다. 이 연구결과는 “학습 이미지 데이터 수가 많을수록 AI 성능이 증가할 것이다”라는 기존 가설보다는 “각 공종에 특화된 학습 이미지 데이터셋을 구축하면 데이터가 다소 적더라도 더 높은 성능의 AI 모델을 구축할 수 있다”라는 가설을 뒷받침하는 근거가 될 수 있다. 반면, 시간(공종)에 따른 AI 모델의 성능 변화를 살펴보면 전 공종 범용 데이터셋이 더 안정적이고 강건한 성능을 보였다. 이 결과는 건설사업의 전 생애주기 걸쳐 잘 작동하는 AI 모델을 개발하기 위해서는 기존 공종(예: 토공)에서 수집한 이미지를 다음 단계(예: 기초)에서 잘 활용하면 보다 효율적인 데이터셋 구축이 가능하다는 것을 의미한다. 이러한 연구발견들은 보다 강력한 컴퓨터 비전 AI를 학습하는 데 큰 기여를 할 것이다.

## 참고문헌

- 권영주·문성호(2023), “드론 촬영 이미지 데이터를 기반으로 한 도로 균열 탐지 딥러닝 모델 개발”, 『LHI Journal』, 14(2): 125~135.
- 염준호(2023), “무감독 SVM 분류 기법을 통한 드론 영상 경계 박스 내 차량 자동 추출 연구”, 『LHI Journal』, 14(4): 95~102.
- Assadzadeh, A., M. Arashpour, I. Brilakis, T. Ngo and E. Konstantinou (2022), “Vision-based Excavator Pose Estimation Using Synthetically Generated Datasets with Domain Randomization”, *Automation in Construction*, 134: 104089.
- Braun, A. and A. Borrmann (2019), “Combining Inverse Photogrammetry and BIM for Automated Labeling of Construction Site Images for Machine Learning”, *Automation in Construction*, 106: 102879.
- Ding, Y. and X. Luo (2024), “A Virtual Construction

Vehicles and Workers Dataset with Three-Dimensional Annotations”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133: 107964.

- Ding, Y., Liu, M., and Luo, X. (2022), “Safety Compliance Checking of Construction Behaviors Using Visual Question Answering”, *Automation in Construction*, 144: 104580.
- Duan, R., H. Deng, M. Tian, Y. Deng and J. Lin (2022), “SODA: A Large-scale Open Site Object Detection Dataset for Deep Learning in Construction”, *Automation in Construction*, 142: 104499.
- Kim, J., and S. Chi (2019), “Action Recognition of Earthmoving Excavators Based on Sequential Pattern Analysis of Visual Features and Operation Cycles”, *Automation in Construction*, 104: 255~264.
- Kim, J., and S. Chi (2022), “Graph Neural Network-Based Propagation Effects Modeling for Detecting Visual Relationships among Construction Resources”, *Automation in Construction*, 141: 104443.
- Kim, J., D. Kim, S. Lee and S. Chi (2023), “Hybrid DNN Training Using both Synthetic and Real Construction Images to Overcome Training Data Shortage”, *Automation in Construction*, 149: 104771.
- Kim, J., J. Hwang, I. Jeong, S. Chi, J. O. Seo and J. Kim (2024), “Generalized Vision-Based Framework for Construction Productivity Analysis Using a Standard Classification System”, *Automation in Construction*, 165: 105504.
- Kim, J., S. Chi and J. Seo (2018), “Interaction Analysis for Vision-Based Activity Identification of Earthmoving Excavators And Dump Trucks”, *Automation in Construction*, 87: 297~308.
- Lee, J. G., J. Hwang, S. Chi and J. Seo (2022), “Synthetic Image Dataset Development for Vision-Based Construction Equipment Detection”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 36(5): 04022020.
- Luo, X., H. Li, Y. Yu, C. Zhou, and D. Cao (2020), “Combining Deep Features and Activity Context to Improve Recognition of Activities of Workers in Groups”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 35(9): 965~978.
- Mahmood, B., S. Han and J. Seo (2022), “Implementation Experiments on Convolutional Neural

- Network Training Using Synthetic Images for 3D Pose Estimation of an Excavator on Real Images”, *Automation in Construction*, 133: 103996.
16. Park, M., D. Q. Tran, J. Bak and S. Park (2023), “Small and Overlapping Worker Detection at Construction Sites”, *Automation in Construction*, 151: 104856.
  17. Roberts, D., W. T. Calderon, S. Tang, and M. Golparvar-fard (2020), “Vision-Based Construction Worker Activity Analysis Informed by Body Posture”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(4): 04020017.
  18. Torres Calderon, W., D. Roberts and M. Golparvar-Fard (2021), “Synthesizing Pose Sequences from 3D Assets for Vision-Based Activity Analysis”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 35(1): 04020052.
  19. Wang, M., G. Yao, Y. Yang, Y. Sun, M. Yan and R. Deng (2023), “Deep Learning-Based Object Detection for Visible Dust and Prevention Measures on Construction Sites”, *Developments in the Built Environment*, 16: 100245.
  20. Wang, Q., H. Liu, W. Peng, C. Tian, and C. Li (2024), “A Vision-Based Approach for Detecting Occluded Objects in Construction Sites”, *Neural Computing and Applications*, 36(18): 10825~10837.
  21. Xiao, B. and S.-H. Kang (2021), “Development of an Image Data Set of Construction Machines for Deep Learning Object Detection”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(2): 05020005.
  22. Xiong, R. and P. Tang (2021), “Machine Learning Using Synthetic Images for Detecting Dust Emissions on Construction Sites”, *Smart and Sustainable Built Environment*, 10(3): 487~503.
  23. Xuehui, A., Z. Li, L. Zuguang, W. Chengzhi, L. Pengfei, and L. Zhiwei (2021), “Dataset and Benchmark for Detecting Moving Objects in Construction Sites”, *Automation in Construction*, 122: 103482.
  24. Yan, X., H. Zhang, and H. Li (2020), “Computer Vision-Based Recognition of 3D Spatial Relationship between Moving Objects for Monitoring Struck-By Accidents”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 35(9): 1023~1038.
  25. Yan, X., H. Zhang, Y. Wu, C. Lin and S. Liu (2023), “Construction Instance Segmentation (CIS) Dataset for Deep Learning-Based Computer Vision”, *Automation in Construction*, 156: 105083.
  26. Yang, M., C. Wu, Y. Guo, R. Jiang, F. Zhou, J. Zhang, and Z. Yang (2023), “Transformer-Based Deep Learning Model and Video Dataset for Unsafe Action Identification in Construction Projects”, *Automation in Construction*, 146: 104703.
  27. Ding, Y. and X. Luo (2023.5.29), “Monocular 2D Camera-based Proximity Monitoring for Human-Machine Collision Warning on Construction Sites”, arXiv, <https://arxiv.org/abs/2305.17931>.

## 요 약

컴퓨터비전 AI는 건설산업의 디지털 전환과 로봇 자동화의 중요한 요소로, 기존에는 학습 이미지 데이터가 많으면 많을수록 모델의 성능이 더 높아진다는 가설을 기반으로 활발히 연구되어왔다. 그러나 시간에 따라 토공-기초-골조-마감작업이 진행되는 건설현장에서는 각 공종에 특화된 이미지를 사용하는 것이 데이터셋의 크기를 확장하는 것보다 더 중요하다는 대안 가설을 세울 수 있다. 이러한 배경에서 본 연구는 학습 이미지 데이터셋의 크기와 특화성(각 공종에 특화된 정도)이 컴퓨터비전 AI 성능에 미치는 영향을 조사한다. 구체적으로, 학습 이미지 개수를 변경해 가며 전 공종 범용 이미지셋과 공종별 특화 데이터셋을 각각 준비하고, 영상 기반 작업자 탐지 모델을 학습시킨 뒤 공종별 시험 이미지셋을 활용하여 그 성능을 평가-비교분석한다. 또한, 공종별 컴퓨터비전 AI의 최고 성능과 전 생애주기에서의 모델 성능 변화, 필요한 학습 데이터 개수를 종합적으로 분석하여, 건설현장 컴퓨터비전 AI 개발을 위한 최적의 학습 데이터셋 크기와 특화성을 결정한다. 연구결과는 앞서 언급한 두 가지 가설을 과학적으로 검증할 수 있는 기초자료가 될 것이며, 더 나아가 계속해서 변화하는 건설현장에 활용할 AI 모델을 위해 학습 이미지 데이터셋을 어떻게 구축하고 업데이트해야 하는지에 대한 이론적 기반을 마련할 것이다.

**주제어:** 건설현장, 컴퓨터비전, AI, 학습 데이터셋, 공종별 특화 이미지



## 손상을 반영한 BIM 모델 기반 교량 상태평가\*

## Condition Assessment of Bridge by BIM-based Integrated Model Reflecting Damage

윤인섭\*\* · 에르데네 호빌라이\*\*\* · 이상호\*\*\*\*

Inseop Yun\*\* · Khuvilai Erdene\*\*\* · Sang-Ho Lee\*\*\*\*

## Abstract

Building Information Modeling (BIM) is a key technology in the construction industry's digital transformation and is increasingly being utilized in the planning, design, and construction phases. However, BIM application in the maintenance phase remains limited due to various technical constraints. This study proposes a methodology to activate maintenance BIM technology by conducting bridge condition assessments based on standardized procedures utilizing BIM. Several new methods were proposed in the research, such as using an integrated information model by inserting defect elements into a structural model, data linkage between structural members and damage, constructing a database using COBie, and automated condition assessment procedures. The effectiveness of the proposed methodology and the accuracy of condition assessment results were verified by a proof test using a four-span PSC bridge with various types of over 250 damage.

**Keywords:** BIM, Integrated Model, COBie, Bridge Condition Assessment

## 1. 서 론

4차 산업 기술혁신에 따른 디지털 전환이 가속화됨에 따라 BIM(Building Information Modeling)은 건설산업의 핵심 디지털 전환 기술로 자리매김하고 있으며, 빌딩을 포함한 각종 사회기반시설의 생애주기 단계에 그 적용성과 확장성을 넓혀가고 있다. 계획 및 설계 단계와 시공 단계에서의 BIM 적용은 정부의 정책에 의해 점진적으로 의무화 되어가며 다양한 연구가 진행되고 있다(송은솔·문소영, 2022). 하

지만 유지관리 분야에서의 BIM 활용은 구조물에 발생하는 손상이라는 정보를 추가적으로 연계해야 하고 일관되지 않은 형태로 누적된 대량의 비정형 데이터를 디지털화하여 관리하는게 어려워 크게 활성화되지 못한 수준이다.

BIM은 시설물 생애주기 전반에 걸친 프로세스에서 디지털 표현을 활용하여 디지털 형식의 정보교환 및 상호운용성을 촉진할 수 있으며(Eastman and Charles, 2011), 이러한 특성을 활용해 교량을 대상으로 한 BIM 기반 유지관리는 다양한 각도에서 연구

\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2021-KA163381).

\*\*연세대학교 건설환경공학과 석사과정(주저자: dbsdslstjq921@yonsei.ac.kr)

\*\*\*연세대학교 건설환경공학과 박사과정

\*\*\*\*연세대학교 건설환경공학과 교수(교신저자: lee@yonsei.ac.kr)

접근이 이루어지고 있다(Hamdan and Scherer, 2018; Artus and Koch, 2020). McGuire et al.(2016)는 BIM을 활용해 손상을 객체로 표현하여 교량의 점검, 평가 및 관리와 관련된 데이터를 연결하고 분석하였다. Chan et al.(2016)은 BIM과 컴퓨팅 및 이미징 기술을 통합한 개념적 교량 관리 프레임워크를 제시하였다. Hühwohl et al.(2018)은 RC 교량에 대한 점검정보 활용을 위해 표준화된 표현 방식을 연구하였고, Xu and Turkan(2019)는 개별 모델 요소에 결합 정보를 연결하고 관리할 수 있는 BIM 기반 유지관리 프레임워크를 제시하였으며, Isailović et al.(2020)는 손상 구성 요소를 BIM에 통합하기 위한 접근 방식을 제시하였다. 또한 Kaewunruen et al.(2021)은 BIM을 활용한 교량의 위험 기반 점검 및 유지관리 업무 프레임워크를 제시하였다. Xia and Wang(2016)은 교량 모니터링 기술을 기반으로 손상 안전성 평가를 수행하였으며, Bertola and Brühwiler(2023)는 육안검사 데이터를 기반으로 교량의 상태를 평가하기 위한 위험 기반 평가 방법론을 제시하였다.

BIM 정보교환을 지원하는 COBie(Construction Operation Building information exchange)를 활용하면 BIM 기반 반정형적 모델 객체 데이터를 정해진 규칙에 따라 스프레드시트 형식의 정형 데이터로 손쉽게 전환할 수 있어 BIM 모델 정보를 객체 지향적이고 계층적으로 관리할 수 있다(East and Nisbet, 2012). 유지관리단계에서 시설물의 BIM 모델에 담긴 정보를 표준화된 방식으로 표현, 관리할 수 있는 COBie의 특성을 활용해 다양한 시설물을 대상으로 COBie를 적용한 연구가 진행되었다(Chang et al., 2020; Chung et al., 2021).

국내 사회기반시설물은 ‘시설물안전관리에 관한 특별법’(국토교통부, 1995)에 근거해 정기적인 안전점검 및 정밀안전진단을 통해 관리되고 있다. 시설물의 상태평가는 국토안전관리원에 의해 정기적으로 개정되는 ‘시설물의 안전 및 유지관리 실시 세

부지침’(국토안전관리원, 2021)에 준하여 외관상태에 대한 육안점검과 간단한 실험 등을 통해 조사 분석되며 시설물의 상태등급이 판정된다. 이 때 상세한 데이터는 외관조사망도와 손상물량표에 기록되어 보관된다.

본 연구에서는 기존 유지관리 업무를 통해 생산된 원시 데이터를 기반으로 BIM을 이용해 교량과 교량에 발생한 개별 손상들을 디지털 모델화하고, 이를 활용해 외관조사에 의한 안전점검 업무에서의 손상에 의한 상태평가 업무를 대상으로 그 업무 절차와 데이터 처리 및 정보관리를 COBie를 활용하여 표준화된 디지털 프로세스로 전환시키는 방법을 제시하였다. 즉, 여러 구성요소로 이루어져 구조적인 복잡성을 띄는 교량 구조물을 대상으로 BIM 기술을 활용해 교량의 현 상태수준을 평가할 수 있는 자동화된 프로세스를 제시하고, 이를 실효교량을 대상으로 적용해 제시한 방법론을 검증하였다.

## 2. 모델 기반 교량 상태평가 프로세스

### 2.1 유지관리용 교량 정보모델 생성

한정된 면적에서 층(Floor)을 기준으로 공간적 모델링이 이루어지는 빌딩 구조물과 달리 교량은 도로나 철도의 선형(Alignment)을 중심으로 교축 방향으로 배치되는 상부구조와 선형을 따라 지표면과 수직으로 배치되는 하부구조로 나뉘어진다. 또한 교량은 경간(Span)별로 구분되며, 각 경간은 구조형식에 따라 복잡한 세부 구성요소들의 조합으로 이루어져 있다.

유지관리 업무에서는 많은 수의 유사 시설물을 동시에 관리할 필요성이 있기 때문에 표준화되고 최적화된 정보모델의 사용이 요구된다. 따라서 유지관리용 교량 정보모델 구축 시에는 교량의 각 부위(부재)별 최적화된 정보상세표현(LOD, Level of Development)에 기반하여 BIM의 핵심 기능인 파



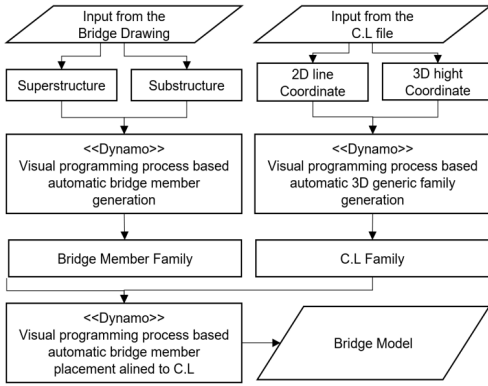


Fig. 1. Process for Parametric Modeling of Bridge

라메트릭 모델링을 최대한 활용하여 표준화된 절차에 따라 모델링이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 설계에서 사용하는 도로선형(C.L) 정보를 BIM 저작도구에서 활용할 수 있는 3D 선형 패밀리 형식으로 변환해 교량부재 배치의 중심선으로 활용할 수 있도록 하였으며, 이후 선형을 기준으로 상부구조는 교량 바닥판, 거더 및 보조부재(가로보, 세로보, 보강재 등), 하부구조는 교량받침, 교대, 교각, 기초 등의 객체를 파라메트릭 모델링 방법에 의해 순차적으로 배치할 수 있도록 하였다. 이때 중요한 점은 대상 시설물 각 부위별로 공용 중 발생할 수 있는 상태악화 수준의 정보들(결함, 손상, 보수요인 등)을 명확히 연결지어 표현할 수 있는 수준으로 모델의 LOD를 단순화, 최적화시켜주어야 한다. 교량의 LOD 및 유지관리 활용을 위한 교량 각 부위별 최적 LOD에 대해서는 Lee(2022)의 연구결과를 참고하면 된다.

또한 개별 부재의 등급을 경간 또는 위치별 최소단위로 구분하여 결정하는 상태평가 절차를 고려해 각 구성요소별 최소 단위에 따라 표현해야 하는 요소를 포함해 교량부재 패밀리를 제작하였다. 교량 표준도면과 도로선형 정보를 원시 데이터를 입력받아 Revit Dynamo를 활용한 파라메트릭 모델링 기법을 통해 교량 모델을 생성하는 표준화된 유지관리용 교량 정보모델 생성 프로세스는 Fig. 1과 같다.

## 2.2 손상의 표준화 및 모형화

공용 중 교량에 발생하는 손상(각종 결함과 노후화 증상)정보를 디지털 모형화하여 BIM 기반 교량 모델과 통합해 활용하기 위하여 손상을 표준화된 모델로 표현하는 방법을 사용하였다(Lee, 2022; 이상호 외, 2023a; 이상호 외, 2023b). 손상정보는 정기적인 점검과 진단을 통해 만들어진 보고서의 부록자료인 외관조사망도와 손상 물량표를 참조하여 생성할 수 있다. 본 연구는 PSC 교량을 대상으로 하므로 손상발생빈도와 교량 상태등급에 영향을 미치는 정도를 고려하여 총 10가지의 대표손상 유형으로 표준화하였다. 손상의 유형별로 손상의 특성, 상태, 수준을 표현하는 손상요소(Defect Element)는 BIM 모델 상에서 하나의 객체로 인식되며, 정량적인 상태평가에 활용되는 대표적인 특징들을 속성(Attribute)으로 정의하여 정보관리에 활용하였다.


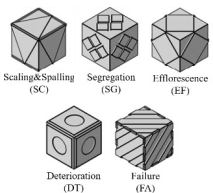



손상요소의 모델링은 BIM 저작도구 상에서의 배치 편의성, 시인성, 재사용성, 수정 용의성 등을 고려하여 표준화된 패밀리로 작성되었으며, 각 손상요소는 작은 정육면체 형태로 각 면에 표준화된 범례 형식으로 손상 유형을 상징화시킨 무늬를 표현하였다. 본 연구에 사용된 손상요소의 종류, 손상종류별 상태평가 요소, 손상종류별 관련 속성 정보 및 요소별 BIM 패밀리 표현을 Table 1에 나타내었다.

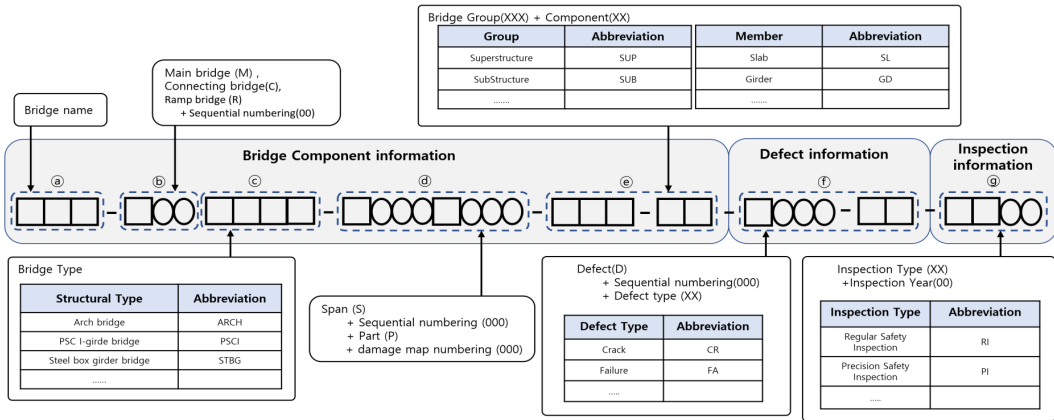
## 2.3 교량 객체 및 손상요소의 정보 식별코드

BIM 기반 교량 모델의 각 구성요소와 손상요소를 각각의 객체정보로 효과적으로 관리·활용하기 위해서는 개별적 인식과 함께 객체간의 종속관계를 파악할 수 있는 고유한 식별코드의 사용이 필수적이다. 본 연구에서는 표준분류체계에 기반해 교량의 구조적 계층 구분을 고려한 분류코드(Kim, 2010)를 본 연구목적에 맞게 확장시킨 Fig. 2와 같은 식별코드 체계를 사용하였다.

Fig. 2에 표현된 전분부 교량부재 식별정보는 대상

**Table 1.** Types and Properties of Defect Elements

Category	Evaluation Factor	Required Property	Defect Element
Crack, Crazing	Max crack width	Crack type	
	Crack length ratio	Crack width	
	Crack area ratio	Crack length	
	Critical crack occurrence	Cracking ratio	
Scaling, Spalling, Segregation, Efflorescence, Deterioration, Failure	Damage area ratio	Damage type	
	Failure length	Damage length	
		Damage width	
	Critical damage occurrence	Damage rate (%)	
Rebar Exposure	Exposure length ratio	Damage length	
	Exposure area ratio	Damage width	
	Rebar corrosion occurrence	Damage rate (%)	
Water Leak	Degree of sediment accumulation	Comment	
	Facility fault occurrence		
	Leakage occurrence		
Other	Comments	Damage type	
		Damage rate (%)	



**Fig. 2.** Identification Code for Bridge Components and Defects

교량의 명칭(a), 기능적 역할(b), 상부구조형식(c), 경간별 정보(d), 경간을 구성하는 상·하부 구성요소(e)로 구분되며, 한 경간에 복수의 동일 유형 부재가 존재할 경우 정해진 부재 배치순서에 준하여 구분할

수 있다. 후반부 손상요소 식별 정보는 손상 타입과 순번(f), 점검 유형 및 조사년도(g) 정보를 표현하면서 손상이 위치하는 부재 식별코드를 계승해 종속관계를 유지할 수 있도록 하였다. 식별코드는 필요에



따라 확장이 가능하며, 속성값으로서의 입력 시 종속관계를 통해 인식에 지장이 없는 정보들의 생략이 가능하다.

## 2.4 교량-손상 통합정보모델 생성

교량 구조물 모델과 손상을 표현한 손상모델을 통합해 하나의 유지관리용 BIM 정보모델(통합정보모델)로 관리·활용하기 위해서는 정확한 위치 정보를 기반으로 두 모델 간의 통합이 필요하다. 손상요소의 위치정보는 교량 점검자료 중 외관조사망도를 통해 얻을 수 있는데, 외관조사망도에는 손상의 위치 정보가 경간별/부재별로 2D 전개도 상에 기호형식으로 표시되어 있기 때문에 이를 3D 좌표계로 변환하여 교량 모델상의 해당부재 발생위치에 배치시키는 자동화된 과정이 필요하다.

두 모델간 통합과정은 먼저 외관조사망도에서 교량부재의 참조점과 개별 손상점들의 좌표를 추출하고, 이를 비교하여 각 손상이 존재하는 교량부재 정보를 판별한 후 판별된 정보를 바탕으로 손상 객체별 고유 식별코드를 부여한다. 다음으로 Fig. 3과 같이 정확한 위치정보 동기화를 위해 교량 모델 생성 시 사용했던 3차원 선형 좌표와 외관조사망도의 2D 좌표를 매핑하는 좌표변환식을 사용해 외관조사망

도상의 2D 위치정보를 통합정보모델의 3D 위치정보로 정확하게 변환한다. 이때 추출된 2D 좌표정보를 BIM 저작도구에서 활용할 수 있는 3차원 선형좌표로 변환하기 위해 다음과 같은 식을 사용하여 좌표변환을 수행할 수 있다.

$$Y_{3D.d.p} = \frac{Y_{3D.e.p} - Y_{3D.s.p}}{Y_{2D.e.p} - Y_{2D.s.p}} (Y_{2D.d.p} - Y_{2D.s.p}) + Y_{3D.s.p} \quad (1)$$

$$Z_{3D.d.p} = \frac{Z_{3D.e.p} - Z_{3D.s.p}}{Y_{2D.e.p} - Y_{2D.s.p}} (Y_{2D.d.p} - Y_{2D.s.p}) + Z_{3D.s.p} \quad (2)$$

$$X_{param_{3D.d.p}} = \frac{1}{X_{2D.e.p} - X_{2D.s.p}} (X_{2D.d.p} - X_{2D.s.p}) \quad (3)$$

여기서 첨자  $d.p$ 는 개별 손상의 좌표,  $s.p$ 는 참조점 중 시작점, 그리고  $e.p$ 는 참조점 중 끝점을 의미하며, 이미지에서 추출한 손상객체별 2차원 좌표( $X_{2D}, Y_{2D}$ )를 통해 손상요소 위치의 3차원 선형좌표( $X_{param_{3D}}, Y_{3D}, Z_{3D}$ )를 얻을 수 있다.

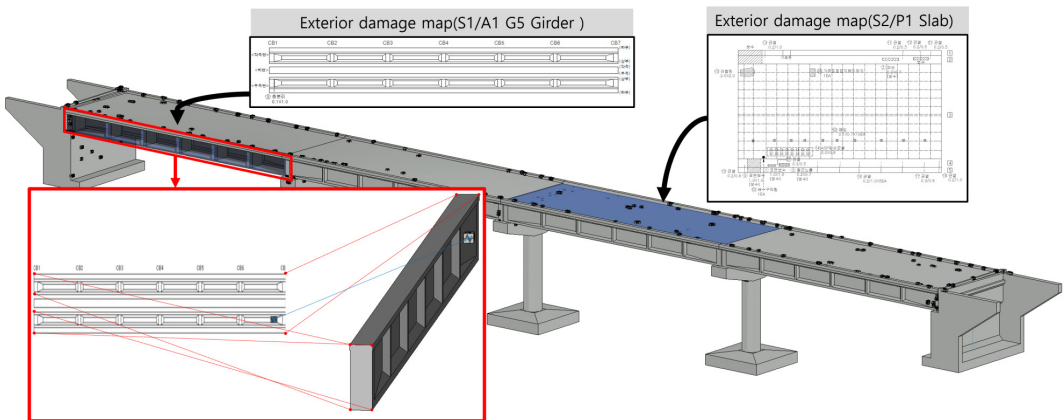


Fig. 3. Mapping 2D Defect Location Information into 3D Alignment Coordinate used for Bridge Model Creation

## 2.5 COBie를 활용한 손상정보의 계층적 관리

통합정보모델에 저장된 교량 구조부재와 손상의 정보는 객체 중심의 반정형 데이터로 이루어져 있으며, BIM 저작도구의 종류에 따라 정보를 불러내는 작업(Query)이 상이하므로 Ontology 기술을 사용하지 않으면 정보활용이 쉽지 않다. 본 연구에서는 구축된 통합정보모델과 그 정보들을 유지관리의 상태평가 업무에 직접 활용할 수 있도록 COBie를 사용하여 모델 정보를 정형데이터로 추출하고 활용하는 방법 개발이 필요하다.

이를 위해 먼저 통합정보모델을 구성하는 객체에 저장된 속성과 교량 부위별 상태평가 정보 등 유지관리 데이터를 계층적으로 관리하기 위한 COBie 매개변수의 명명 원칙을 설정하였다. 또한, 모델 객체별로 COBie 매개변수를 입력할 수 있는 속성을 추가

하였고, 추가된 속성에 교량의 구성요소와 손상 객체요소의 식별정보를 입력해 COBie 데이터를 추출할 수 있도록 하였다.

정보연계의 한 예로서 COBie 매개변수 중 Name 항목은 관리정보 최소화를 고려해 식별코드를 축약하여 표시하고, Space 항목은 요소가 포함되어 있는 영역의 정보를 표시하도록 하였다. 이 방법을 통해 Fig. 4에서 보는 바와 같이 손상객체의 Space 항목이 손상이 위치하고 있는 교량부재의 Name 항목과 일치하고, 교량부재의 Space 항목이 교량 공간의 Name 항목과 일치하도록 설정해 교량과 손상정보의 계층적 정보관리가 가능하도록 하였다.

## 2.6 손상정보 DB 생성 및 상태평가에의 활용

COBie 파일에서는 교량 모델 구성요소와 손상별 객체요소에 대한 정보가 여러 시트로 나누어 관리되고 있으며, 다수의 속성들이 포함되고 있어서 유지관리 업무별 수행을 자동화하기 위해서는 목적에 맞게 데이터를 재구성해 DB를 생성할 필요가 있다. 본 연구에서는 상태평가 업무에의 활용을 위해 구조화 질의어 SQL을 표준으로 채택한 데이터베이스 관리 프로그램을 이용하여 COBie 파일 내의 필요한 손상 객체와 교량 요소의 데이터를 선별·취합하였다. 예를 들어 COBie.Component.Sheet에서는 식별코드, 손상이 발생한 교량 요소, 외부식별자 등을 추출할 수 있고, COBie.Attribute.Sheet에서는 손상의 종류, 물량, 손상규모 등의 속성을 추출할 수 있다. 상태평가의 의사결정을 위해 필요한 정보인 손상과 연계된 교량 요소별 기본정보와 면적과 길이, 폭 등의 정보들도 손상객체와 식별코드로 연계된 교량 구성요소의 정보를 통해 동일한 방식으로 추출하였다.

상태등급 판정에 필요한 균열률이나 손상의 종류별 면적률과 같은 정보는 손상객체 데이터를 활용하는 SQL 질의를 통해 자동으로 취득하여 계산하고 저장할 수 있다. 교량부재 단위별로 계산된 손상객체

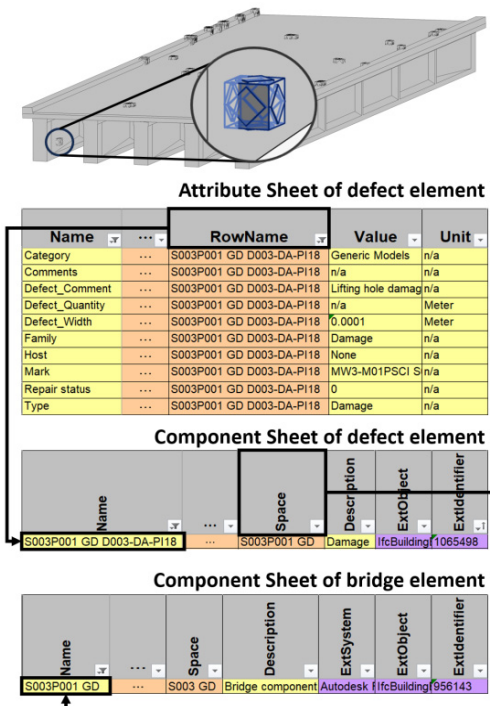


Fig. 4. Information Linkage between Bridge Member and Defect Element in COBie

데이터를 사용하면 손상 유형별 상태평가, 교량부재별 상태평가 등을 단계별로 수행하고 그 결과들을 저장할 수 있으며, 필요할 경우 교량 모델의 해당 부재 등에 손상에 의한 상태평가 정보를 추가시키거나 업데이트 할 수 있다. 또한 적절한 프로그래밍 기법을 통해 이상의 절차들을 코드화하면 교량의 상태평가 업무를 자동화시킬 수 있다.

### 3. 실교량을 대상으로 한 검증

#### 3.1 검증용 교량의 선정

본 연구에서 제시한 BIM 모델 기반 상태평가 업무 디지털 전환 방법론을 검증하기 위해 자료 취득이 가능한 실교량을 대상으로 하여 통합정보모델을 구현해보고, 이를 기반으로 상태평가를 수행하는 검증작업을 수행하였다. 검증에 사용된 교량은 길이 120m, 폭 11.2m의 4경간 PSC I형 교량이다. 교량 정보모델 생성을 위해 표준도면이 사용되었으며, 2018년에 수행된 정밀안전점검의 결과물인 외관조사망도와 손상물량표가 기본 데이터로 참조되었다.

#### 3.2 통합정보모델 구축 및 상태평가 수행

검증용 교량은 4개 경간에 걸쳐 상부구조 부재 128개, 하부구조 부재 70개로 구성되어 있으며 점검

자료에 기록된 250개의 손상을 내포하고 있다. 본 검증작업에서는 2장에서 설명한 각 단계별 절차를 거치면서 손상요소를 포함한 유지관리용 BIM 통합정보모델을 Fig. 5와 같이 구현하였다.

생성된 통합정보모델은 모든 교량부재와 교량에 존재하는 손상이 객체 기반으로 관리되도록 구현할 수 있었으며, 교량부재의 경우 설계 및 시공과정에서는 다루지 않는 보수 손상균열 최대 폭, 손상 물량 합계, 부재 단위 상태평가 등급 등이 유지관리용 속성으로 추가되었다. 손상요소의 경우에도 손상의 종류, 길이, 폭, 물량, 설명, 위치한 교량부재 정보, 보수여부 등이 속성으로 정확하게 작성됨을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 5의 손상요소의 COBie.Component.Space 속성이 해당 손상이 존재하는 교량 부재의 COBie.Component.Name 속성으로 작성되어 COBie를 활용한 손상정보의 계층적 관리가 가능함을 확인하였다. 통합정보모델로부터 추출된 COBie 파일을 통해 교량요소와 손상요소 관련 정보들이 객체 중심으로 관리 가능하고 통합정보모델-COBie 파일간 쌍방향 정보 수정과 업데이트가 가능함을 확인하였다.

객체별로 생성된 COBie 데이터를 기반으로 Revit Dynamo 프로그램과 SQL 프로그램을 통해 교량 부재 단위의 상태평가에 사용되는 데이터를 Fig. 6와 같이 구축하였다. 구축한 데이터를 바탕으로 교량부

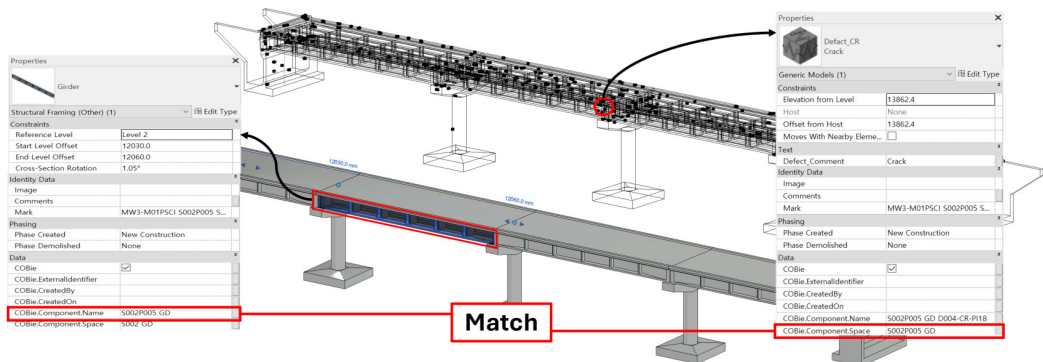


Fig. 5. Integrated Model of Test Bridge and Hierarchical Information Management between Defect and Bridge Member (Left: Structural Model, Right: Defect Elements on Structural Model)

Defect Attribute Sheet

Name	Area	Defect Name	Value	Unit	Classification
Area	S002P001 GD D005-DA-P118	0.5169	Sp/Meter	11012005	
Category	S002P001 GD D005-DA-P118	Generic M/n/a		11140363	
Comments	S002P001 GD D005-DA-P118	n/a	n/a	11010106	
Defect Comment	S002P001 GD D005-DA-P118	Repair Part/n/a		955161	
Defect Quantity	S002P001 GD D005-DA-P118	0.24	Meter	955162	
Defect Width	S002P001 GD D005-DA-P118	0.2	Meter	955163	
Family	S002P001 GD D005-DA-P118	Damage/n/a		1102051	
Mark	S002P001 GD D005-DA-P118	MW3-M011	n/a	955164	
Repair status	S002P001 GD D005-DA-P118	1	Meter	955164	
Type	S002P001 GD D005-DA-P118	Damage/n/a		1102050	

Defect Information Database

Name	Existence	Space	Category	D_width	D_quant	Flt	Comment	Repair status	Width	Quant	
S002P003 GD D001-DA-P118	1065678	S002P003 GD	DA	0.2	0.04	1	Breakage		1	0.2	0.04
S002P005 GD D002-CR-P118	1065647	S002P005 GD	CR	0.1	0.5	1	Crack		1	0.1	0.5
S002P005 GD D003-CR-P118	1065648	S002P005 GD	CR	0.1	0.5	1	Crack		1	0.1	0.5
S002P005 GD D004-CR-P118	1065649	S002P005 GD	CR	0.1	0.6	1	Crack		1	0.1	0.6
S002P001 GD D005-DA-P118	1065679	S002P001 GD	DA	0.2	0.24	6	Repair Part Float		1	0.2	0.24
S003P003 GD D001-CR-P118	1065650	S003P003 GD	CR	0.1	1	1	Crack		1	0.1	1
S003P003 GD D02-CR-P118	1065650	S003P003 GD	CR	0.1	0.01	1	Crack		1	0.1	0.01
S004P003 GD D001-CR-P118	1065651	S004P003 GD	CR	0.1	1	1	Crack and White Pollack		1	0.1	1

Bridge Component Database

Name	Existence	Space	Type	Length	Area	CR_Max	CR_Sum	CZ_Max	DA_Sum	Condition_grade
S002P001 CB	956337	S002 CB	CB		10.71					A
S002P001 GD	956141	S002 GD	GD	30000	141				0.24	B
S002P001 RA	958101	S002 RA	RA	30000	53.76	0.2	2.5		0	B

Fig. 6. Data Query between COBie Data of Defect Attribute Sheet Data and Defect Information Database and Bridge Component Database

Table 2. Condition Assessment Result of Bridge Components in Test Bridge

S1/A1	CR	CR	CZ	DA	RE	Comment
SL #1	B	B	A	B	A	-
#1	A	-	-	A	A	-
GD ...	...	...	...	...	...	...
#5	C	-	-	A	A	C
#1	A	-	-	A	A	-
CB ...	...	...	...	...	...	...
#28	A	-	-	A	A	
WS #1	-	B	-	C	-	-
RA #1	C	-	-	A	-	-
#2	B	-	-	A	-	-
EX #1	-	-	-	-	-	C
#1	A	-	-	-	-	B
BS ...	...	...	...	...	...	...
#5	A	-	-	-	-	-
PR #1	B	-	-	B	B	-

재 단위의 상태평가를 자동으로 수행하고, 검증용 교량4개 경간은 개별 경간당 존재하는 부재의 수가 많아 S1/A1 단일 경간에 존재하는 부재들의 상태평가 결과를 Table 2와 같이 정리하였다. 교량부재별로 생성된 상태평가데이터를 바탕으로 교량의 전체 상태등급도 자동으로 판정할 수 있음을 확인하였다. 자동화된 상태평가를 통해 획득한 경간별 부재등급

Table 3. Final Result of Condition Assessment in Test Bridge

Span	Super-struct.						Sub-struct.	
	SL	GD	CB	RA	WS	EX	BS	PR
S1/A1	B	C	A	C	C	C	Q	B
S2/P1	C	C	A	C	B	-	Q	C
S3/P2	B	B	A	B	C	-	Q	B
S4/P3	B	C	C	C	B	-	Q	B
- /A2	-	-	-	-	-	C	Q	A
Score	0.25	0.3	0.18	0.35	0.18	0.4	-	0.22
Weight	18	20	5	2	7	9	-	20
Result	Converted Defect Score: 0.267 Bridge Grade: C							

과 교량 전체 상태평가 결과를 Table 3과 같이 정리하였다. 평가결과들을 정밀안전점검 보고서와 비교하였을 때 S2/P1 경간 거더가 C등급으로 평가되어 보고서 상의 B등급 평가와 다른 결과를 보였다. 세부 평가과정을 분석한 결과 기존 평가과정에서 S2/P1 경간 거더에 존재하는 철근노출 손상의 평가 오류로 인해 C등급 손상을 B등급으로 판정하는 오류가 발생한 것을 확인하였다. 본 연구수행 방법론에 의한 결과들은 입력받은 손상정보와 교량 부재 정보를 활용하여 사전 정의된 손상평가 업무의 수학적 계산을 수행되어 정확한 결과를 도출하였다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 BIM 기반 유지관리의 활용성을 증대시키기 위하여 정기적인 정밀안전점검을 통해 이루어지는 교량 상태평가 업무를 손상정보를 포함한 BIM 기반 통합정보모델과 COBie 파일 기반 손상정보 DB를 사용하여 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이에 따라 세부적으로 교량에 발생하는 다양한 손상 관련 정보들을 손상요소를 사용해 객체화하고 이를 구조물 모델과 병합하여 유지관리를 통합손상모델을 생성하는 방법 및 모델상에서 손상을 식별하고 그 정보들을 구조물 정보와 연계하여 관리하는 방법을 제시하였다. 또한 건설정보교환표준인 COBie의 데이터 파일을 수정·확장하여 교량부재와 부재에 발생한 손상정보를 표준화된 객체 중심의 스프레드시트 형식의 정형데이터로 관리하는 방법, SQL 프로그램을 통해 통합정보모델과 연동되는 손상정보 DB를 구축하는 방법, 그리고 이를 활용해 교량 상태평가를 자동화된 절차로 수행할 수 있는 방법을 개발하였다. 마지막으로 제시한 방법론을 실교량에 적용하여 상태평가를 진행하고 결과를 대상 교량의 점검보고서와 비교함으로써 제시한 방법론의 효용성과 정확성을 검증하였다.

본 연구에서 제시된 방법론은 교량뿐 아니라 다양한 사회기반시설물의 상태평가나 기타 유지관리 관련 업무에 확대 적용이 가능할 것으로 예상된다. Ontology 기법의 도입을 통한 틀 기반 의사결정지원 기술 개발과 함께 실무에서 이루어지는 점검업무를 표준화된 디지털 전환 방식으로 변환시켜줄 수 있는 몇 가지 유용한 도구들이 개발될 경우 유지관리의 한 축을 담당하는 안전점검 업무의 효율성은 획기적으로 개선될 수 있고 BIM 기반 유지관리의 활용성을 더욱 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 국토교통부(1995.4.6), “시설물의 안전관리에 관한 특별법”.
2. 국토안전관리원(2021), “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(개정)”.
3. 송은솔·문소영(2022) “토목 분야 기본설계 단계 BIM 적용성 향상을 위한 BIM 적용 프로세스 제안”, 「LHI Journal」, 13(3): 115~123.
4. 이상호·이정빈·김장호·이상호(2023a), “정보모델기법을 활용한 콘크리트 바닥판 손상의 디지털화”, 「콘크리트학회논문집」, 23 (2): 225~233.
5. 이상호·이정빈·탁호균·이상호(2023b), “BIM-COBie를 활용한 교량 상부구조의 손상정보 관리 방법”, 「대한토목학회논문집」, 43(2): 165~173.
6. Artus, M. and C. Koch (2020), “State of the Art in Damage Information Modeling for RC Bridges: A Literature Review”, *Advanced Engineering Informatics*, 46.
7. Bertola, N. J. and E. Brühwiler (2023), “Risk-Based Methodology to Assess Bridge Condition Based on Visual Inspection”, *Structure and Infrastructure Engineering*, 19(4): 575~588.
8. Chan, B., H. Guan, L. Hou, J. Jo, M. Blumenstein and J. Wang (2016), “Defining a Conceptual Framework for the Integration of Modelling and Advanced Imaging for Improving the Reliability and Efficiency of Bridge Assessments”, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 6(4): 703~714.
9. Chang, H., Y. Zhao, Z. Rao and Y. Li (2020), “Research on Intelligent Operation and Maintenance Management of Rail Telescopic Regulator”, *10th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication*, Beijing, CN, 295~298.
10. Chung, S., C.-S. Cho, J. Song, K. Lee, S. Lee and S. Kwon (2021), “Smart Facility Management System Based on Open BIM and Augmented Reality Technology”, *Applied Sciences*, 11(21): 10283.
11. East, W. and N. Nisbet (2012), *Construction Operations Building Information Exchange (COBIE): Means and Method*, Washington, D.C.: The National Institute of Building Sciences, 234~241.



12. Eastman, C. M. and M. Charles (2011), *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken: John Wiley & Sons.
13. Hamdan, A.-H. and J. R. Scherer (2018), "A Generic Model for the Digitalization of Structural Damage", *Proceedings of the Sixth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering*, Ghent, Oost-Vlaanderen, 28~31.
14. Hühthwohl, P., I. Brilakis, A. Borrmann and R. Sacks (2018), "Integrating RC Bridge Defect Information into BIM Models", *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(3): 04018013.
15. Isailović, D., V. Stojanovic, M. Trapp, R. Richter, R. Hajdin and J. Döllner (2020), "Bridge Damage: Detection, IFC-Based Semantic Enrichment and Visualization", *Automation in Construction*, 112: 103088.
16. Kaewunruen, S., J. Sresakoolchai, W. Ma and O. Phil-Ebosie (2021), "Digital Twin Aided Vulnerability Assessment and Risk-Based Maintenance Planning of Bridge Infrastructures Exposed to Extreme Conditions", *Sustainability*, 13(4): 2051.
17. Kim, B. G. (2010), "Integration of a 3-D Bridge Model and Structured Information of Engineering Documents", Doctoral Dissertation, Yonsei University.
18. Lee, J. B. (2022), "IFC BIM-Based Optimized Information Model Construction for Damage Condition Assessment of Cable Bridges", Master's thesis, Yonsei University.
19. McGuire, B., R. Atadero, C. Clevenger and M. Ozbek (2016), "Bridge Information Modelling for Inspection and Evaluation", *Journal of Bridge Engineering*, 21(4): 04015076.
20. Xia, Y. and X. Wang (2016) "Damage Safety Assessment of Highway Bridges", *International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, Foz do Iguaçu, Paraná, 2468~2472.
21. Xu, Y. and Y. Turkan (2019). "BrIM and UAS for Bridge Inspections and Management Engineering", *Construction and Architectural Management*, 27(3): 785~807.

## 요 약

건설산업 디지털 전환 기술의 핵심인 BIM은 계획·설계단계나 시공단계에서의 활용성이 점차 확대되어가고 있으나 유지관리 단계에서의 BIM 활용은 여러 가지 기술적 제약으로 아직 미미한 수준이다. 본 연구에서는 BIM 기반 유지관리 업무의 활성화를 위해 교량을 대상으로 한 상태평가 업무를 표준화된 절차에 따라 BIM 기반으로 수행할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이를 위해 손상요소를 사용하여 기본 모델상에 손상정보를 추가시킨 통합정보모델의 구축 방법, 구조물 부재정보와 손상정보의 연계 및 활용 방법, COBie를 활용한 상태평가용 DB 구축방법, 자동화된 상태평가수행 방법 등이 제시되었다. 250여개의 손상을 지닌 4경간 PSC 교량을 대상으로 제시된 방법론의 절차적 검증이 이루어졌으며 그 실효성과 상태평가 결과의 정확성이 입증되었다.

**주제어:** BIM, 통합정보모델, COBie, 교량상태평가

# LH 단지조성공사를 위한 스마트 건설정보 통합관제 플랫폼 구축 및 실증\*

## Development and Demonstration of an Integrated Digital Construction Platform for LH Complex Development Projects

박수현\*\* · 서종원\*\*\*

Soohyun Park\*\* · Jongwon Seo\*\*\*

### Abstract

This study aims to enhance the efficiency and safety of construction sites by developing and implementing an integrated platform, the Korea Land and Housing Corporation (LH) Digital Construction Open Platform (LH-COP). This national pilot smart city project platform was implemented in the Sejong 5-1 living area to evaluate its operational performance. The LH-COP system is designed to streamline data management and analysis on construction sites by integrating IoT-based safety management, real-time site monitoring, and automated equipment control. The results confirmed that LH-COP significantly improves work efficiency and safety at construction sites. Additionally, the platform enhances the interoperability of various smart construction technologies and allows for flexible, customized system applications tailored to specific site needs. The study also highlights the importance of developing operational guidelines and user manuals to further improve the system's stability and efficiency further. The findings suggest that LH-COP could become a critical technological foundation for smart city development. This research underscores the inspiring role of integrated digital platforms in advancing construction automation and creating safer, more efficient urban environments.

**Keywords:** LH-COP, IoT based Management, Digital Automation, Smart Construction, Smart City

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내 건설산업은 고령화와 숙련된 기술자 부족으로 인해 성장 동력이 저하되고 있으며, 이로 인해 건설 생산성이 정체되고 있다. 건설 기능인력 중 60대 이상의 비중은 25.7%로 역대 최고치를 기록하였으

며, 40대 이상 기능인력의 비중은 84.4%에 달해 전체 산업 취업자의 평균인 66.4%를 크게 상회하고 있다(김희용, 2023). 이는 건설업의 심각한 고령화를 나타내며, 기술 전수와 지속 가능한 생산성 유지에 대한 심각한 위협이 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 전통적인 로우테크(Low-Tech) 방식의 한계를 극복하고 정보통신기술(ICT)과의 융

\*이 논문은 「세종스마트시티 국가시범도시 조성공사 건설정보 통합관제 시스템구축 연구용역(2020-2024)」 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\*한양대학교 건설환경공학과 박사후 연구원(주저자: s10230@hanyang.ac.kr)

\*\*\*한양대학교 건설환경공학과 교수(교신저자: jseo@hanyang.ac.kr)

합을 통한 스마트 건설기술 도입이 필수적이다. 이에 대응하여 국토교통부는 『스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030』을 통해 2030년까지 건설 전 과정을 디지털화·자동화하고자 하는 목표를 설정했으며(국토교통부, 2022), 제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(‘23~’32)(안)을 통해 스마트 건설기술의 전면적 도입을 체계적으로 추진하고, 이를 통해 건설산업의 디지털 전환을 촉진하며 글로벌 경쟁력을 확보하기 위한 세부 전략을 마련하고 있다(국가과학기술자문회의, 2023).

이미 드론, 건설정보모델링(BIM), IoT 센서와 같은 첨단 기술들이 스마트 건설기술의 주요 요소로 인식되어 개별적으로 개발 및 도입이 이루어지고 있으나, 이러한 기술들은 여전히 독립적으로 운영되고 있다. 이로 인해 전체 시스템 차원에서의 효과적인 활용이 제한되고 있으며, 종합적인 통합과 상호 운용성의 부족이 심각한 문제로 나타나고 있다. 특히, 각기 다른 기술 시스템 간의 데이터 연계가 원활하지 않아 데이터의 비일관성과 관리의 비효율성이 발생하고 있으며, 스마트 건설기술이 현장에 실질적으로 적용되는 데 한계를 보이고 있다. 따라서 다양한 스마트 건설기술을 통합하여 전체적인 생산성과 안전성을 극대화할 수 있는 종합적인 스마트 건설 통합 시스템 구축이 시급한 상황이다.

본 연구는 개별적으로 운영되고 있는 다양한 스마트 건설기술을 종합적으로 통합하여 건설 현장의 생산성과 안전성을 극대화하는 방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 한국토지주택공사(LH) 세종특별본부는 세종 5-1 생활권의 자동화 시공 현장을 대상으로 ‘LH 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼(LH-Construction Open Platform, LH-COP)’을 구축하였다. 각 스마트 건설기술 간의 데이터 연계와 실시간 모니터링이 원활히 이루어지도록 하는 것을 목표로 하며 건설 현장에서 발생하는 모든 데이터를 통합적으로 관리하고 분석함으로써, 스마트 건설기술

의 효과적인 통합과 실제 적용을 위한 실질적인 지침을 제공하여 국내 건설 산업의 디지털 전환을 선도하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

스마트 건설의 구현을 위해서는 기존에 축적된 건설 정보를 재활용하고, 이를 자동화 시스템과 연계하여 건설 생산성과 안전성을 혁신하는 것이 필수적이다. 그러나 현재 각 기술별 및 시스템별로 개별적인 모니터링 솔루션이 도입되고 있어, 비용 증가와 통합 모니터링 체계의 부재가 주요 문제로 지적되고 있다. 즉, 스마트 건설기술들이 발전하고 도입되었으나, 각 기술이 독립적으로 운영됨에 따라 데이터 연계가 원활하지 않아 비일관성 문제가 발생하여 이를 실질적으로 통합하여 관리하고 운영하는 데 여전히 한계가 존재한다(Choi et al., 2022; Chung et al., 2024).

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 LH 세종 5-1 생활권의 자동화 시공 현장에서 다양한 스마트 건설기술의 데이터를 통합 관리할 수 있는 LH 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼(LH-COP)을 구축하고, 이를 테스트 베드 수준에서 적용하는 것을 목표로 한다. 이는 시공부터 준공 후 유지 관리 단계까지 모든 건설 데이터를 실시간으로 통합 모니터링하며, 각 기술 간의 데이터 연계와 상호 운용성을 강화하여 종합적인 생산성과 안전성을 높일 수 있도록 설계되었으나 본 연구에서는 실제 해당 현장 공사 일정의 이유로 인해 시공-유지관리 단계까지 완전하게 적용되지 못하고, 테스트 베드 수준에서 검증하는데 그쳤다.

본 연구는 세 가지 주요 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 세종 5-1 생활권의 자동화 시공 현장에서 IoT 기반 환경 및 안전 스마트 건설기술 센서와 시공 장비의 운영 데이터를 실시간으로 수집하고, 이를 체계적으로 관리하고 분석한다. 이 데이터는 LH-



COP에 저장되며, 건설 현장의 생산성과 안전성을 평가하는 데 중요한 역할을 한다.

두 번째 단계에서는 수집된 데이터를 바탕으로 LH-COP상에 실시간 모니터링과 데이터 시각화를 지원할 수 있도록 한다. 이는 세종 5-1 생활권 내 'LH 스마트 건설기술 관제센터'의 '스마트 건설정보 통합관제실'에서 공사 관계자(발주자, 시공사, 감리자)가 건설공사현황을 모니터링 할 수 있도록 지원한다.

마지막 단계에서는 LH-COP 테스트 베드 운영 결과를 종합적으로 분석하여, 스마트 건설기술의 통합적 적용 가능성과 효과성을 평가한다. 이 과정에서 테스트 베드 수준에서 검증된 결과를 바탕으로 시스템의 성과를 평가한다.

결과적으로 본 연구는 LH 공사의 특성을 반영한 스마트 건설기술 통합 플랫폼을 개발하고 테스트 베드 수준에서 검증함으로써, 건설 현장의 생산성과 안전성을 높이기 위한 초기 단계의 검증을 수행한다. 이를 바탕으로 LH 공사의 발주 기준에 부합하도록 시스템을 최적화하여, 향후 발주되는 다양한 LH 공사 현장에서 효과적으로 활용될 수 있도록 실질적인 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1 국내 연구 사례

국내에서는 스마트 건설기술이 다양한 현장에서 실증되고 있다. 한양대학교의 'ICT를 활용한 건설장비 관제 및 스마트 시공기술 개발' 연구(국토교통과학기술진흥원 2017)는 대표적인 사례로, 건설장비의 협업과 운영 효율성을 높이기 위해 관제 시스템을 도입했다. 이 연구에서는 작업계획 수립 기술, 현장 스캐닝 및 모델링 기술, Eco-operation 기술, 머신 가이드(Machine Guidance), 머신 컨트롤(Machine Control, MC) 기술, 안전 가이드 시스템 기술 등을 통합하여 작업 생산성을 높였으며, 제주 공공임대주택 현

장과 대학교 캠퍼스 내 토공사 현장 등에서 실증연구를 통해 건설장비의 생산성 향상 및 원가 절감을 달성하였다. 이 연구는 스마트 건설기술의 실제 현장 적용 가능성을 확인하고, 이를 통해 기술적, 경제적 이점이 있다는 것에 의의가 있다(국토교통과학기술진흥원, 2017).

국토교통부의 '도로실증을 통한 스마트 건설기술 개발사업'(2020-2025)은 사물인터넷(IoT), 드론, 빅데이터, 인공지능(AI), 가상현실(VR) 등의 기술을 융합하여 건설산업의 생산성 향상, 공기 단축, 재해를 저감, 디지털화를 목표로 하고 있다. 특히 토공 분야에서는 건설장비 자동화 및 관계기술이 중점적으로 개발되고 있으며, 현재 이를 도로공사 현장뿐만 아니라 단지 공사에 적용하여 테스트 중이다. 민간 기업 차원에서도 자체적으로 스마트 건설기술을 개발하여 건축 및 토목 현장에 시범 적용하고 있으며, 드론을 활용한 현장 관제를 통해 실시간 모니터링을 수행하고 있다(국토교통부, 2018).

국가 연구개발 과제를 통한 건설정보 통합관계 플랫폼 개발 외에도 국내 건설장비 제조사의 자체 개발을 통해 측량부터 건설기계 운용까지 건설 현장의 모든 작업을 자동화한 종합관계 솔루션(HD현대인프라코어, 2024)이 존재 하지만, 본 연구에서 고려한 상하수도 누수 감지, 기상 상황과 같은 IoT 기반 환경 센서 정보를 관제 대상으로 다루지 않았다는 점에서 차이가 있다.

### 2.2 국외 연구 사례

국외에서는 일본, 미국, 유럽 등에서 스마트 건설기술의 적용이 활발하게 이루어지고 있다. 일본의 대표적인 건설기계 제조사인 Komatsu社は 자사의 건설 중장비의 자동화뿐만 아니라 IoT 기반의 개방형 플랫폼인 'LANDLOG'를 통해 건설 현장에서 수집된 데이터를 클라우드에 저장하고, 이를 실시간으로 활용할 수 있는 시스템을 제공하고 있다. LANDLOG

는 AI 분석 기능과 실시간 클라우드 기반 데이터 관리 기능을 추가하여 데이터를 더 정교하게 분석하고, 자동화된 의사결정을 지원하여 현장의 생산성과 안전성을 더욱 강화하고 있다(김정환, 2021). 미국의 주요 건설기계 제조사인 Caterpillar社도 관제 솔루션이 존재하나 장비 상태 관리 및 장비 전제 정보 계통 관리 위주라 건설정보 통합관제라고 볼 수 없다. 이외 미국의 Trimble社와 일본의 Topcon社는 클라우드 기반 플랫폼을 통해 대규모 토공사 및 광산에서 효율적인 장비 이력 및 생산성 관리를 가능하게 하고 있다(김정환, 2021).

### 2.3 스마트시티와 스마트 건설기술

LH 세종 5-1생활권과 같은 스마트시티 프로젝트에서는 스마트 건설기술의 최신 동향이 적극 반영되고 있다. 이들 프로젝트는 IoT, AI, 빅데이터, 클라우드 컴퓨팅 등 첨단 기술을 통해 도시 인프라를 디지털화하고, 스마트 건설기술을 활용해 도시의 효율성과 안전성을 높이는 것을 목표로 한다. 최근 스마트 시티에서는 자율주행 건설장비와 실시간 데이터 분석 기술이 적극적으로 활용되고 있으며, 이러한 기술들은 도시의 지속 가능성과 효율적 운영을 가능하게 한다(김수일, 2019).

결론적으로 대규모 단지 조성공사 현장인 스마트 시티 프로젝트에서도 작업의 유연성, 효율성, 안전성을 높이고 비숙련자도 사용하기 편리한 스마트 건설장비들의 필요성이 증대되고 있으며, 효율적인 자동화 장비군(群)관리 솔루션에 대한 수요가 확대되고 있다. 이러한 건설자동화 측면에서의 스마트 건설기술은 하드웨어와 정보통신 기술의 결합으로 이루어지며, 현재까지는 개별 공종별로 개발되고 있어 전체 공사의 생산성을 제고하는 데는 한계가 있다.

국내외의 스마트 건설기술은 지속적으로 발전하고 있지만, 각 기술이 개별적으로 운영되면서 종합적인 통합과 상호 운용성의 부족이라는 큰 문제에

직면하고 있다. 이러한 문제로 인해 스마트 건설기술이 현장에서 실질적으로 적용되는 데에 한계가 있으며, 데이터 연계의 비일관성으로 인해 관리 효율성이 저하되고 있는 실정이다. 따라서 다양한 스마트 건설기술을 통합적으로 관리하고, 실시간으로 모니터링하며, 효율성을 극대화할 수 있는 종합적인 시스템이 필요하며, 특히 건설 현장에서 발생하는 모든 데이터를 일관성 있게 관리하고 분석할 수 있는 통합 관제 시스템의 구축이 필수적이다.

이에 본 연구는 선행연구의 한계점을 해결하기 위해 LH 스마트 건설정보 통합관제 시스템(LH-COP) 구축하고, 이를 LH 세종 5-1 생활권 내에서 개별 스마트 건설기술의 통합 운영 실증연구를 통해 그 효과를 평가하고자 한다.

### 3. LH 스마트 건설정보 통합관제 플랫폼

LH 스마트 건설정보 통합관제 플랫폼(LH-COP)은 단지 조성공사 현장에서의 효율성과 안전성을 확보하기 위한 중요한 솔루션이다. 이 시스템은 건설 현장의 다양한 정보를 실시간으로 통합, 분석, 관리하는 플랫폼으로, 작업의 효율성을 극대화하고 안전성을 보장하는 데 중요한 역할을 한다. LH-COP의 설계는 세종 5-1 생활권과 같은 대규모 단지조성 공사에서 필요로 하는 요구사항을 반영하여 이루어졌다(Fig. 1)

특히 드론 기반 원지형 3D 모델과 설계·시공 BIM과의 연계도 고려하여 드론을 활용한 3D 지형 Map과 설계·시공 BIM 병합을 통한 디지털 트윈 기반의 고정밀 3차원 토공 물량 관제 및 시공관리가 가능하도록 LH-COP을 구축하였다. 즉 전반적으로 설계·시공 BIM, 자동화 건설장비, 안전·친환경 센서의 데이터와 같은 다양한 스마트 자재 공법의 플랫폼(Platform) 시스템, 다양한 네트워크 장비 벤더(Vender)에 대한 통합관제도 가능하도록 LH-COP의 기본을 구축 하

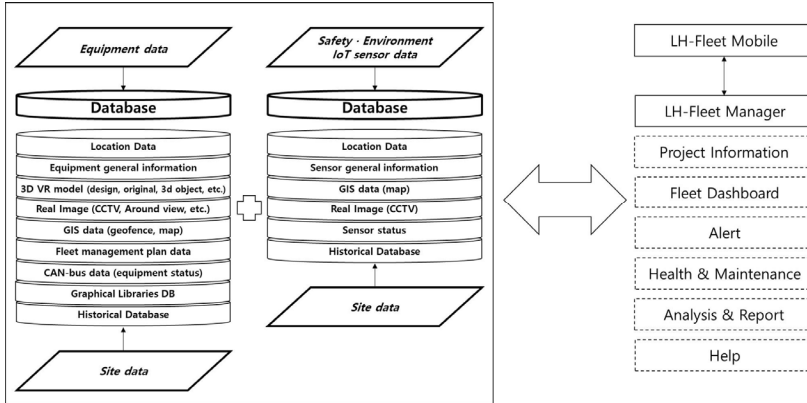


Fig. 1. LH Integrated Digital Construction Platform (LH-COP) Linkage Diagram

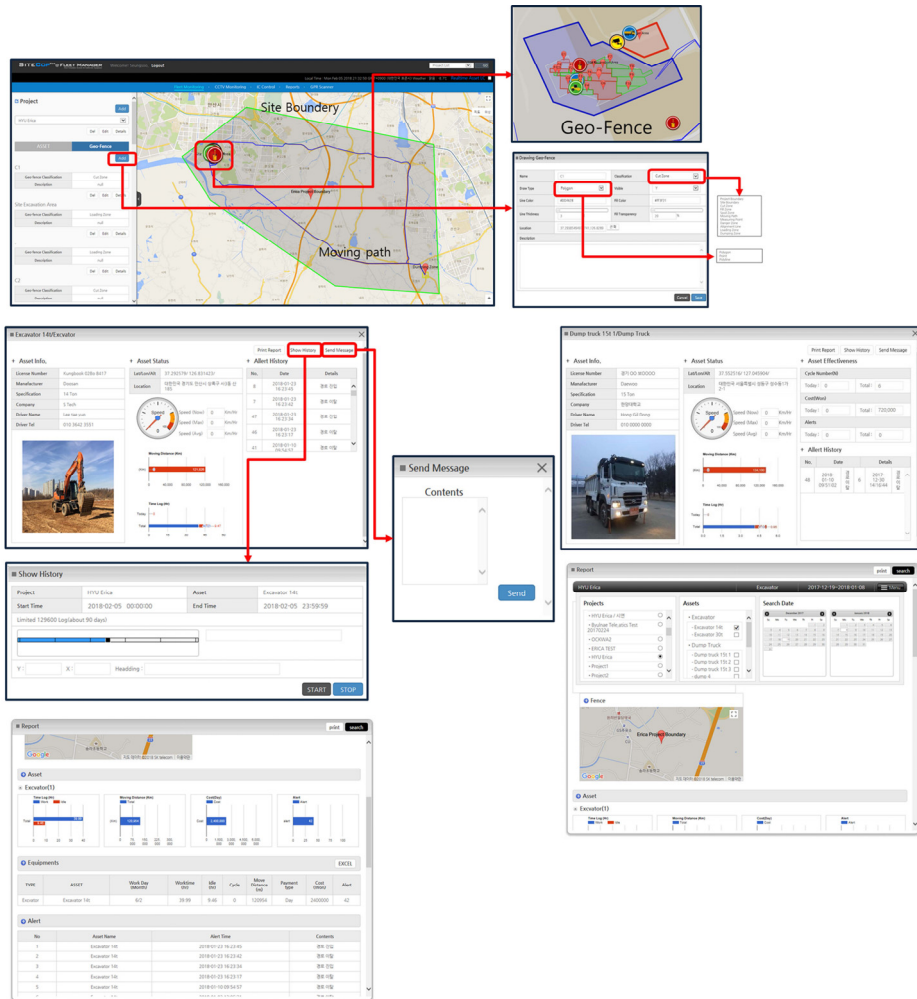


Fig. 2. Real-time Location and Status of Work Sites and Equipment using Geo-Fence (Reportable)

였다.

LH-COP은 개별 장비 단위와 플릿(Fleet) 단위의 장비군(群)을 등록하는 기능을 필수적으로 갖추고 있다. 이를 통해 프로젝트 생성, 장비 및 운전자 정보 입력, 그리고 Geo-Fence 정보를 입력할 수 있으며, 이를 기반으로 공사 현장의 바운더리를 GIS 맵 상에 설정하고, 최적화된 건설장비 경로를 설정하여 작업 효율성을 극대화할 수 있다. 또한 실시간으로 장비의 상태를 확인하는 기능을 통해 현장에 투입된 장비의 속도, 이동 거리, 작업 시간 등을 모니터링할 수 있으며, 장비가 경로를 이탈하거나 위험 구역에 진입할 경우 자동으로 경고 메시지를 전송하여 안전성을 높인다. 이러한 기능은 시스템이 제공하는 리포트스를 통해 각 프로젝트 장비의 일자별 생산성 분석을 가능하게 하여, 관리 효율성을 높인다(Fig. 2).

LH-COP에는 건설장비에 탑재되는 관제용 타겟 모델(Target Model) 모듈이 포함되어 있다. 이 모듈

은 드론과 레이저 스캐너를 활용해 부지 형상 정보를 하이브리드 방식으로 획득하고, 이를 바탕으로 3D 관제용 타겟 모델 기반의 토공 정보화 기술을 구현한다(Figs. 3~4).

또한 LH-COP의 중요한 특징 중 하나는 IoT 기반의 안전·환경 스마트 건설기술 센서를 통합할 수 있는 API(Application Programming Interface)의 개발이다. 이 API는 다양한 IoT 센서에서 수집된 데이터를 JSON 형식의 표준 포맷으로 처리하며, 각 센서 데이터가 분류되어 저장될 수 있도록 메타데이터(Metadata)를 구성한다. 이러한 구조를 통해 향후 다른 IoT 기반 스마트 건설기술 센서가 추가로 현장에 적용되더라도, LH-COP에서 가시화되고 알람 기능이 구현된다. API는 센서 종류별로 가시화 아이콘 형식과 데이터 항목을 지정할 수 있는 기능을 제공하며, 각 센서별 데이터 항목에 따라 임계값을 설정함으로써 다양한 IoT 센서 데이터 형식에 대한 알람 설정이 가능하다.

이 API는 건설 현장의 온도, 습도, 미세먼지, 소음 등의 환경 정보를 실시간으로 수집하고, 이상 상황이 발생할 경우 즉각적인 알람을 통해 신속하게 대응할 수 있도록 한다. 또한, 지능형 CCTV와 연계하여 현장 내외를 모니터링하고, 실시간으로 영상 데이터를 분석하여 이상 상황을 감지하고 LH-COP에 경고 알람을 표출한다. 이 외에도, 드론을 활용하여 공사 현황을 모니터링하고 LH-COP에서 원격으로 제어할 수 있는 기능을 포함하여, 전체적인 공정의 정밀도를 높일 수 있다(Figs. 5~8).

LH-COP은 IoT 기술과 GIS를 활용한 종합적인 관리 솔루션으로, 건설 현장에서 발생하는 다양한 데이터를 통합 관리하고, 실시간으로 가시화하며, 경고 시스템을 통해 안전성을 추구한다. 이를 통해 건설 현장의 효율성과 안전성을 동시에 확보하고, 더욱 스마트한 건설 관리가 가능해진다.

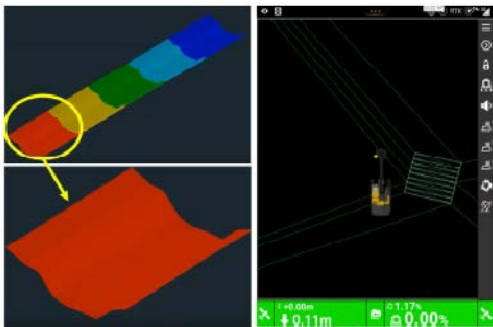


Fig. 3. 3D Target Model for Smart Construction Equipment Operation

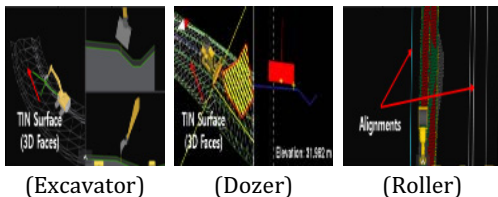


Fig. 4. Target Model for MG/MC Operation by Construction Equipment



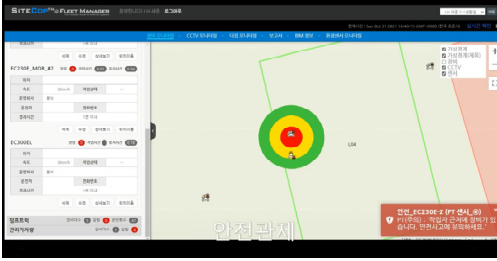


Fig. 5. IoT Sensors for Construction Safety-Yellow Circle: "Caution" / Red Circle: "Danger"

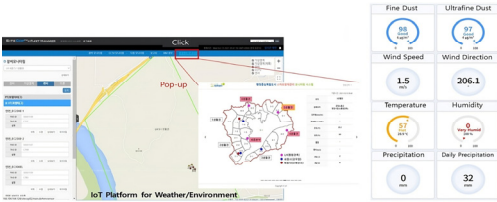


Fig. 6. IoT Sensors for Environmental Management

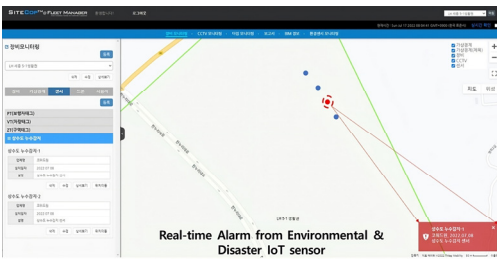


Fig. 7. IoT Sensors for Disaster Management

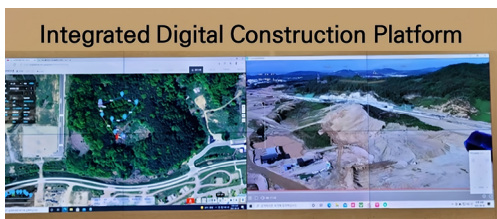


Fig. 8. Real-time Video through Drone & CCTV Control System in LH-COP

#### 4. LH 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼 운용 실증

LH 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼(LH-COP)은 이론적으로 선진적인 설계와 기능을 갖추고 있지



Fig. 9. Test Bed Area within LH 5-1 Living Area



Fig. 10. MG Excavation using Target Model and MG Screen in Excavator

만, 이러한 기능이 실제 건설 현장에서 얼마나 효과적으로 작동하는지 검증하는 것이 필수적이다. 이를 위해 본 연구에서는 세종 5-1 생활권의 스마트시티 국가시범도시에 LH-COP을 적용하여, 그 실효성을 평가하는 실증 연구를 2개월('22.04~'22.06) 동안 진행하였다(Figs. 9~10).

이 실증 연구의 주된 목적은 LH -COP이 현장에서 작업 효율성과 안전성을 실질적으로 어떻게 향상시킬 수 있는지를 평가하는 것이다. 이를 위해 세종 5-1 생활권 내 스마트 건설기술 관제센터 앞 우수관로 터파기 구간(FSM5-37~FSM5-41)에 대한 설계·시공 BIM과 자동화 건설장비, 안전·친환경 센서 데이터를 LH-COP에서 통합하여 수집되는 현장 데이터를 실시간으로 분석하였으며, 작업의 정확성과 생산성 분석 뿐만 아니라 IoT 센서와 드론을 활용한 환경 모니터링 및 안전 관리 기능이 현장에서 잘 구현되었는지 집중적으로 살펴보았다.

실증 기간에 투입된 자동화 건설장비(MG/MC 굴착기 1대, 일반 굴착기 1대, 무인 무버)의 실시간 위치, 굴착 속도, 굴착 작업 시간 등을 모니터링하여 현장의 작업 현황을 효율적으로 관리하였다. IoT 센서를 통해 미세먼지, 온도, 습도 등의 환경 정보를 실시

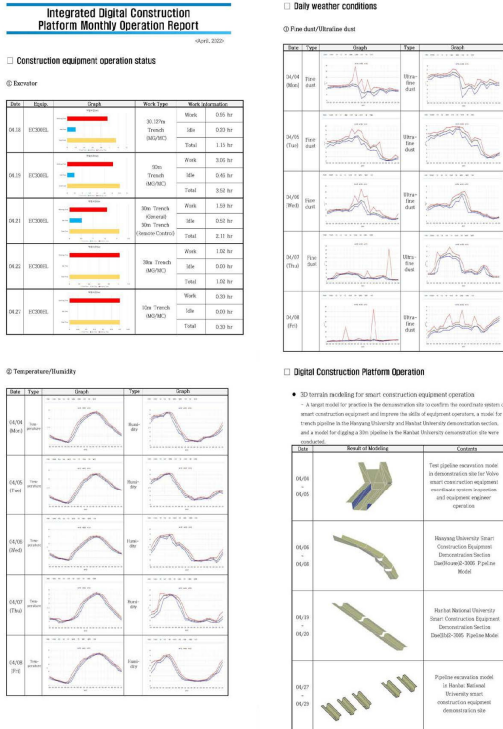


Fig. 11. Monthly Operation Report of LH-COP

간으로 확인하였으며, CCTV를 활용한 안전 관리를 통해 작업자의 안전을 강화하였다. 드론을 활용한 현장 관제와 MG/MC 장비의 원격 조종 기능은 공정(관로 터파기 및 법면)의 정밀도를 높였다(Fig. 11).

실증 연구 기간 동안 LH-COP의 운용 성과를 평가하기 위해 발주처, 도급사, 그리고 장비 운용자를 대상으로 두 차례의 대면 설문조사를 실시하였다. 설문에는 총 10명이 응답하였으며, 주제는 'LH-COP의 활용성'과 '스마트 건설장비(MG/MC) 운용을 위한 타겟 모델(Target Model) 활용성'으로 구분하였다. '건설정보 통합관제 플랫폼의 활용성'에 대한 설문은 발주처와 도급사를 대상으로, '타겟 모델 활용성'에 대한 설문은 장비 운용자를 대상으로 각각 진행되었다(Table 1).

'건설정보 통합관제 플랫폼의 활용성'에서는 크게 5개의 세부 분야로 분류하여 건설장비 모니터링, 가상

경계 및 보고서, IoT 센서(안전, 기상·환경) 및 CCTV 모니터링, 드론 관제, 자동화 장비 원격 조종 측면에서 설문을 진행하였다. 이와 유사하게 '타겟 모델 활용성'에 대한 설문도 4개의 세부 분야(좌표계 적합도, Target Model 적합도, 스마트 건설장비 적합도, 작업 활용도)로 분류하여 설문을 진행하였다.

설문 결과 LH-COP의 주요 사용자인 관리자(발주처/도급사)는 시스템의 다양한 기능이 현장 관리의 일반적인 단점을 보완하는 데 매우 유용하다고 평가하였다. 건설장비 모니터링 기능과 가상경계 설정 기능은 각각 90.67%와 93.33%의 만족도를 기록하였으며, IoT 센서 및 CCTV 모니터링 기능 역시 93.33%의 높은 만족도를 보였다. 이는 건설장비 모니터링, IoT 센서를 통한 안전 및 환경 관리, CCTV 모니터링, 자동화 장비 원격 조종 등은 현장 상황을 직접 파악하고 조치해야 하는 관리자들의 부담을 크게 줄여주었다. 반면, 드론 관제 기능은 상대적으로 낮은 73.33%의 만족도를 기록하였는데, 드론 관제 및 장비 원격 조종과 같은 특정 기능의 활용도를 높이기 위해서는 5G 통신망과 통신 거리와 같은 기본적인 현장 인프라가 완벽하게 구축되어야 한다는 점이 단점으로 지적되었다. 이러한 인프라가 충분히 갖춰지지 않은 현장에서는 시스템의 모든 기능을 최적화된 상태로 활용하는 데 한계가 있을 수 있다.

다양한 제조사의 MG/MC 장비가 LH-COP에서 작성된 타겟 모델을 원활하게 탑재할 수 있다는 점이 장점으로 평가되었다. 또한 좌표계 적합도 75%, Target Model 적합도 82%, 스마트 건설장비 적합도 80% 등의 높은 만족도를 보였으며, 작업 활용도는 83.33%로, Target Model의 활용이 작업의 품질과 효율성을 크게 향상시키는 것으로 나타났다. 이는 LH-COP이 다양한 제조사의 장비와 호환성이 뛰어나며, 현장 작업의 정확성과 효율성을 높이는 데 매우 효과적임을 보여준다.

**Table 1.** Results of the Survey on the Utilization of LH-COP Operation

Category	Survey Topic	Survey Details	Utilization Evaluation
Owner / Contractor (6 People Responding)	LH-COP Usability	Construction Equipment Monitoring	22.67 / 25 (90.67%)
		Virtual Boundary and Report	23.33 / 25 (93.33%)
		IoT Sensors (Safety, Weather/Environment) and CCTV Monitoring	23.33 / 25 (93.33%)
		Drone Control	7.33 / 10 (73.33%)
		Remote Control of Automated Equipment	14 / 15 (93.33%)
		Coordinate System Suitability	7.5/10 (75%)
Construction Equipment Operator (4 People Responding)	Usability of Target Model for Operating Smart Construction Equipment (MG/MC)	Target Model Suitability	20.5 / 25 (82%)
		Smart Construction Equipment (MG/MC) Suitability	12 / 15 (80%)
		Work Utilization	12.5 / 15 (83.33%)

또한 처음으로 스마트 건설장비(MG/MC)를 운용하는 사용자들을 위해 공사발주시 발주처나 도급사 차원에서 타겟 모델 활용에 대한 가이드라인과 매뉴얼을 수립할 필요가 있다고 지적하였다. 또한 발주처/도급사와 마찬가지로 5G 통신망과 통신 거리와 같은 기본적인 현장 인프라의 구축이 필수적이라는 점도 중요한 고려 사항으로 제기하였다.

향후 연구에서는 LH 내 다양한 건설 현장과 조건을 대상으로 LH-COP을 적용하여 일반화 가능성을 검토할 필요가 있으며, 사용자 교육과 관련된 추가적인 지원(예를 들어 LH-COP 사용자 매뉴얼 및 운영 가이드라인)도 요구된다. 또한 5G 통신망과 같은 인프라 요소가 시스템 성능에 미치는 영향을 분석하여 시스템 도입 시 필수적인 인프라 구축의 우선순위를 명확히 설정하는 것도 필요할 것이다.

## 5. 결 론

본 연구는 다양한 스마트 건설기술을 통합하여 LH 스마트 건설정보 통합관제 플랫폼(LH-COP)을 구축하고, 이를 통해 건설 현장의 효율성과 안전성, 중앙 집중적 관리의 편의성을 향상시키는 것을 목표로 하였다. 이를 기반으로 연구는 세종 5-1 생활권의 스마트시티 국가시범도시에서 LH-COP을 적용하고 그 실효성을 검증하였다.

첫째, LH-COP은 IoT 기반의 장비, 안전 및 환경 스마트 건설 술과 관제 기술을 통합하여, 부지 조성 후에도 유지 관리가 원활하게 이루어질 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 부지 조성 주체(LH)와 운영 주체(지자체) 간의 유기적인 업무 공유와 인수인계를 가능하게 하였으며, 다양한 건설 장비와 IoT 기반 스마트 건설기술 센서 데이터의 표준화 및 규격화를

도모하여, LH 현장에서 폭넓게 적용할 수 있는 기반을 마련하였다.

둘째, 실증 연구를 통해 LH-COP가 건설 현장의 이상 징후를 사전에 감지하고, 이를 통해 건설 사고를 줄이며, 공사 안전성을 확보할 수 있음을 확인하였다. 이는 환경 친화적이고 안전한 스마트시티 조성을 통해 건설 생산성을 높이고, 스마트시티 조성 비용 및 공사 주기를 단축하는 데 기여할 수 있는 가능성을 제시한다.

마지막으로 향후 연구에서 'LH 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼(LH-COP) 운영 가이드라인(안)'과 사용자 중심의 'LH 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼(LH-COP) 사용 매뉴얼'을 개발할 필요성이 있다. 이러한 가이드라인과 매뉴얼을 통해 현장 상황 인지와 관계 업무의 효율성을 높이고, 신속한 데이터 처리를 통해 시스템의 안정성을 확보할 수 있을 것이다. 특히, LH 현장 상황에 맞춰 스마트 건설기술을 유연하게 적용할 수 있도록 하여, 평면(2D) 계획이 아닌 입체(3D)로 공사의 모든 정보를 실시간으로 업데이트할 수 있는 유연한 시스템 운영을 가능하게 할 것이다.

본 연구를 통해 건설 자동화, 디지털 연결성, 친환경 및 안전 시공 등의 스마트 건설기술이 국내외 스마트시티 조성의 핵심이며, 여러 LH 신도시 사업에서 LH-COP를 포함한 전반적인 건설 자동화 적용을 의무화하고 이를 확산시켜, 스마트 건설기술의 실용적 적용을 가속화하고, 스마트시티 조성의 효율성과 안전성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 국토교통과학기술진흥원(2017), 「ICT를 활용한 건설장비 관계 및 스마트 시공 기술 개발 최종보고서」, 서울.
2. 국토교통부(2018), 「스마트 건설기술 개발사업 기획 보고서」, 서울.
3. 국토교통부(2022), 「“스마트 건설 활성화 방안 S-Construction 2030” 추진」, 세종.
4. 김수일(2019), “스마트시티의 출발점: 스마트 건설”, 「대한토목학회지」, 67(11): 14~15.
5. Choi, S., J. Woo, J. Kim and J. Y. Lee (2022), “Digital Twin-Based Integrated Monitoring System: Korean Application Cases”, *Sensors*, 22(14): 5450, doi: 10.3390/s22145450.
6. Chung, S., S. Lim, T. Chang and S. H. Chi (2024), “Diagnosis of the Current Status of Smart Construction in Korea Compared to the Global Markets”, *KSCE J. Civ. Eng.*, 28: 3575-3590, doi: 10.1007/s12205-024-2467-4.
7. 국가과학기술자문회의(2023.9.26), “제2차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획(‘23~’32)(안)”, [https://www.pacst.go.kr/jsp/council/councilArchiveView.jsp?archive\\_id=1114&](https://www.pacst.go.kr/jsp/council/councilArchiveView.jsp?archive_id=1114&)
8. 김정환(2021.8.30), “해외 건설 장비 자동화 기술의 트렌드”, 「스마트건설 글로벌 인사이트」, 1: 8~18, <https://www.smart-construction.kr/posts/5/859?page=4&menuId=29>
9. 김희용(2023.5.24), “건설산업 고령화 또 역대 최고치 찍었다”, *대한경제*, [https://m.dnews.co.kr/m\\_home/view.jsp?idxno=202305231444119280693](https://m.dnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=202305231444119280693).
10. HD현대인프라코어, “Concept-X 미래 건설 현장의 혁신적 솔루션”, 2024.10.30 읽음, <https://asia.velon-ce.com/kr/smart-solution/conceptx/overview>.



## 요 약

본 연구는 건설 현장에서의 작업 효율성 및 안전성 강화를 목표로 스마트 건설기술을 효과적으로 통합·관리하기 위한 한국토지주택공사(LH) 스마트 건설정보 통합관계 플랫폼(LH-COP)을 구축하고 이를 세종 5-1 생활권 스마트 시티 국가시범도시에 LH-COP을 적용하여 시스템의 실제 운영 성과를 분석했다. LH-COP은 IoT 기반의 안전 관리, 실시간 현장 모니터링, 그리고 자동화된 장비 제어 기능을 통합하여 건설 현장의 다양한 데이터를 체계적으로 관리할 수 있도록 설계되었다. 실증 연구 결과, LH-COP이 건설 현장에서의 작업 효율성을 높이고, 안전성을 강화하는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 확인하였으며, 이 플랫폼은 다양한 스마트 건설기술의 상호 운용성을 향상시키고, 현장에 맞춤형된 유연한 시스템 적용이 가능하도록 지원함을 확인하였다. 향후 LH-COP 운영 가이드라인과 사용자 매뉴얼의 제정을 통해 시스템의 안정성과 효율성이 더욱 강화될 수 있다. 본 연구는 LH-COP이 스마트시티 조성에서 중요한 기술적 기반이 될 수 있음을 시사하며, 향후 LH의 다양한 건설 현장에 적용될 가능성을 제시한다.

**주제어** : LH-COP, IoT 기반 관리, 디지털 자동화, 스마트 건설, 스마트 시티



# 도시지 굴착 현장 인접 지반함몰 모니터링을 위한 UGV 탑재 멀티 센서의 적응형 에너지 관리 기법\*

## Adaptive Energy Management Technique for UGV-Mounted Multi-Sensors in Monitoring Ground Subsidence Adjacent to Urban Excavation Sites

김정우\*\* · 정진만\*\*\* · 김서연\*\*\*\* · 정영훈\*\*\*\*\* · 민홍\*\*\*\*\* · 김태식\*\*\*\*\*

Jung Woo Kim\*\* · Jinman Jung\*\*\* · Seoyoen Kim\*\*\*\* · Young-Hoon Jung\*\*\*\*\* · Hong Min\*\*\*\*\* ·

Taesik Kim\*\*\*\*\*

### Abstract

This research proposes a monitoring system using Unmanned Ground Vehicles (UGVs) to address the issue of ground subsidence in urban areas. In environments where Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) face limitations due to urban obstacles, UGVs offer an effective alternative. This research aims to equip UGVs with various sensors, establish adaptive sensing management suitable for urban ground subsidence monitoring, and evaluate their effectiveness. The study involves creating a risk map by identifying areas with a high likelihood of subsidence and categorizing them into monitoring zones (M zones) that require frequent monitoring and saving zones (S zones) that allow for energy saving. A strategy is proposed to adjust the sensing intervals of the navigation sensor (NS), which detects the UGV's location, and the monitoring sensor (MS), which monitors subsidence-related factors, according to these zones. Tests simulating typical urban deep excavation scenarios confirmed that adjusting the sensing intervals of MS and NS reduces energy consumption substantially. The study highlights the importance of optimizing energy consumption based on the UGV's monitoring path, suggesting that this approach can enhance urban safety by effectively monitoring ground subsidence.

**Keywords:** Unmanned Ground Vehicle, Ground Subsidence, Multi Sensor, Energy Optimization, Adaptive Energy Management

\*본 연구는 한국연구재단의 지원(NRF-2021R1F1A1060223)을 받아 수행된 연구임.

\*\*홍익대학교 토목공학과 박사수료(주저자: lovekimj@naver.com)

\*\*\*인하대학교 컴퓨터공학과 부교수

\*\*\*\*인하대학교 인간중심컴퓨팅연구소 박사후연구원

\*\*\*\*\*경희대학교 사회기반시스템공학과 정교수

\*\*\*\*\*가천대학교 소프트웨어학부 부교수

\*\*\*\*\*홍익대학교 토목공학과 부교수(교신저자: taesik.kim@hongik.ac.kr)

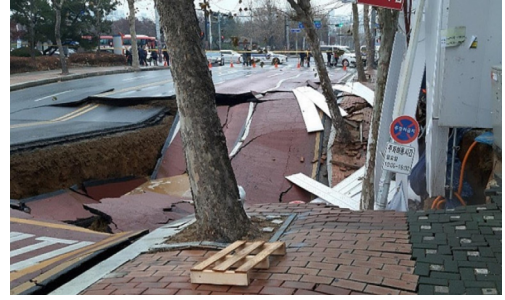
## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

4차 산업혁명과 함께 등장한 무인 비행체(Unmanned Aerial Vehicle, UAV), 일명 드론(Drone)을 공사 현장의 공정관리나 사회기반시설의 모니터링 및 유지관리에 활용하는 것은 많이 일반화되었다(권영주·문성호, 2023). 그러나 도심지는 고층 건물로 인한 비행의 어려움, 통신 중계기로 인한 무인 비행체와 파일럿 간의 통신 방해, 전력선으로 인한 자기장 교란 등 무인 비행체의 비행을 방해할 수 있는 요소들이 많아 안전한 비행을 보장할 수 없다. 따라서, 도심지와 같이 드론의 비행이 어려운 경우, 드론의 일종인 무인 지상 차량(Unmanned Ground Vehicle, UGV)을 활용한 자동화된 모니터링 시스템이 주목받고 있다. UGV는 다양한 센서를 탑재하고 지상에서 돌아다닐 수 있어 추락의 위험이 없으며, UAV에 비해 탑재 중량에 대한 제약이 작다는 장점이 있다.

도심지에서의 지반함몰은 심각한 사회적, 경제적 영향을 미칠 수 있는 중요한 문제로, 사회 인프라의 붕괴, 인명 피해 등 다양한 위험을 초래할 수 있다(조영석·장연수, 2017). 이러한 지반함몰은 주로 지하수의 과도한 사용, 노후 된 하수도 및 상수관의 누수, 지하 굴착 작업 등 다양한 요인에 의해 발생한다. 특히, 도심지에서 빈번하게 발생하는 깊은 굴착 현장 주변에 지반함몰을 유발하는 요인들이 복합적으로 공존한다면 그 문제는 더 심각해질 수 있다. 즉, 인구 밀집 지역인 도시는 지반함몰로 인한 피해가 더욱 치명적일 수 있어, 이를 예방하고 모니터링하는 기술 개발이 필요하다. Fig. 1은 도심지 깊은 굴착 현장 주변 지반함몰 모습을 나타낸다.

해당 목적을 위해 다양한 센서를 탑재한 UGV를 활용할 수 있다. UGV에 탑재 가능한 다양한 센서로는 포인트 클라우드 데이터 작성을 위한 LiDAR, 근거리 포토그래메트리를 위한 카메라, 정밀한 변위 측정을



**Fig. 1.** Ground Settlement Adjacent to Deep Excavation Site

Source: Byun (2019)



**Fig. 2.** Unmanned Ground Vehicle Developed for Ground Monitoring Purpose

위한 선 레이저 등이 있을 수 있다. UGV가 모니터링 범위를 돌아다니면서 지반함몰과 관계있는 탐지 대상들을 다양한 센서들을 이용하여 탐지하고 수집하면 UAV가 도심지에서 갖는 제약을 극복할 수 있다. 일반적으로 배터리로 구동되는 UGV의 경우, 모니터링 가능 범위와 배터리의 성능이 직결되어 있다. 따라서, 탑재된 센서의 배터리 성능과 관련하여 최적화된 탐지 주기가 중요하다. Fig. 2는 지반 침하 모니터링을 위해 개발된 UGV의 모습을 나타낸다.

본 연구의 목적은 UGV에 다양한 센서가 탑재되었을 때, 일반적인 고정 탐지 주기 대신 탐지 주기를 상황에 따라 바꾸는 적응형 센서를 이용하여 도심지 굴착현장 인접 지반함몰 모니터링에 적합한 탐지주

기 설정 기법을 제안하고 평가하는데 있다. 이를 위해 앞서 언급한 지반함몰 고위험 구역에 대한 지도를 작성하고, 이에 따른 멀티센서의 적응형 탐지 기법을 제안하였다. 이러한 기술은 도심지의 안전성을 높이고, 지반함몰로 인한 피해를 최소화하는 데 기여할 것으로 기대한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도심지 굴착으로 인해 발생하는 현장 인접 지반의 지반함몰 모니터링을 위한 UGV 탑재 멀티센서들의 적응형 탐지 기법을 설계하였다. 이를 평가하기 위해 지반함몰 고위험 지역에 대한 위험도 지도를 설정하여 평가를 진행하였다.

본 연구는 Kim et al.(2024)이 제안한 연구 결과를 활용하여 위험도 지도에서의 효율적 배터리 사용에 관한 평가를 진행하였다. 도심지에서 지반함몰이 예상되는 굴착 현장 인근의 퇴매움 구역, 하수관거 매설구역 및 인접 구조물의 피해가 발생할 수 있는 구역에서 UGV의 이동 경로에 따른 최적 에너지 사용을 위한 적응형 탐지 주기를 분석하였다. 더불어, 깊은 굴착 현장 주변을 따라 UGV가 이동할 때, 탐지 시작점의 위치 및 경로에 따라서 달라지는 에너지 소비에 대한 시뮬레이션 분석도 진행하였다.

## 2. 선행연구 검토

임무에 따른 UAV 혹은 UGV의 최적화된 경로 설정과 관련한 연구는 다수 진행됐다. Sadrpour et al.(2012)는 UGV의 임무 수행 중 에너지 소비를 예측하기 위한 모델을 제안하였으며, 이를 통해 도로 조건, 주행 형태 등 다양한 요인을 고려한 에너지 소비가 가능하게 하였다. Kilic and Omer(2019)는 산불 위험 감시를 위한 UAV 최적 경로 모델을 제시하였으며, 위험 지역에 따라 UAV가 회피하거나 혹은 우선하여 모니터링하는 경로 계획이 중요하다는 점을

강조하였다. 또한 위험도 지도를 활용한 모니터링의 효율성을 높이는 방법을 연구하였다. Våljaots and Sell(2019)는 UGV의 에너지 효율성을 분석하였다. UGV의 이동 및 센서 사용 시 에너지 소비를 최소화하기 위한 전략을 제시하였다. 에너지 효율성을 높이기 위한 다양한 기법을 실험하였으며, 이는 UGV의 적응형 센서 관리기법을 제시하였다. Bradley and Atkins(2015)는 가상 물리 시스템에서의 최적화와 제어에 관한 연구를 수행하였다. 특히 자율 주행 차량의 데이터 처리 및 센서 관리 측면에서 에너지 소비를 최소화하는 방법을 다루었다. 이 내용은 UGV의 자율 제어 및 모니터링 시스템 개발에 유용하게 사용할 수 있다고 판단한다. Guglieri et al.(2015)는 원격 조작 항공 시스템(Remotely Piloted Aircraft System, RPAS)에서 항공기의 경로 계획 전략을 다루었다. 무인 항공기가 수행하는 임무의 효율성과 에너지 소비의 균형을 맞추기 위한 경로 최적화 방법을 제안하였다. Elmakis et al.(2022)는 UAV를 사용하여 위험 지역을 추정하는 연구를 수행하였다. 연구를 통해 위험 지역을 정확하게 식별하고, 모니터링을 최적화하기 위한 방법론을 제시하였다. Liu et al.(2021)은 UGV 엣지 러닝(Edge Learning)을 결합하여 경로, 에너지 소비, 데이터 샘플의 크기를 최적화하는 모델을 제안하였다. 해당 연구를 통해 통신을 통한 서버에서의 처리가 아닌 엣지에서의 데이터 처리로 통신이 원활하지 않은 환경을 극복하고 에너지 소비를 최소화할 수 있는 UGV의 경로를 계획할 수 있다. Gokhale et al.(2021)은 자율 주행 차량의 실내 위치 추정을 위한 빠르고 에너지 효율적인 로컬라이제이션 방법을 제안하였다. 특히, 에너지 소비를 최소화하면서도 정확한 위치 추정을 가능하게 하는 알고리즘을 개발하였다. 이는 UGV의 위치 인식 및 네비게이션 성능을 향상하는 데 중요한 참고자료로 판단한다. Primatesta et al.(2018)은 UAV를 위한 위험 인지 경로 계획 방법을 제안하였다.

UAV 임무의 안전성과 에너지 효율성을 높이기 위해 위험구역을 회피하는 경로를 자동으로 생성하는 알고리즘을 개발하였다. 본 연구에서 이루고자 하는 목적과는 상반될 수도 있으나, 위험 지역을 고려한 최적화 전략을 수립하는데 유용한 내용이라고 판단한다.

Kim et al.(2017)은 공사 현장에서 센서의 최적 탐지 주기와 관련한 연구를 수행하였다. 터널 굴착 중 공사인력을 포함한 물체를 추적하기 위해 탐지 대상체의 이동성을 고려한 적응형 탐지 주기 메커니즘을 제안하였다. 이는 에너지 소비를 줄이기 위해 센서의 탐지 주기를 조정하는 방법을 다루었으며, 본 연구에서 이루고자 하는 UGV의 효율적 에너지 사용에 유용한 내용을 제공한다고 판단한다.

### 3. 적응형 센서 에너지 소비 모델

#### 3.1 모델의 개념

Kim et al.(2024)는 UGV에 탑재된 효율적인 센싱을 위해, 적응형 센서 관리 모델을 제안하였다. UGV가 모니터링 임무를 수행할 때 사용되는 모니터링 센서(Monitoring Sensor, MS)와 UGV의 위치를 파악하기 위한 네비게이션 센서(Navigation Sensor, NS)의 전력을 최소화하는 데 초점을 맞추고 있다. 위험도 지도를 기반으로 집중 모니터링이 필요한 구역(Monitoring Zone, M)과 에너지 절약이 가능한 구역(Saving Zone, S)으로 구분하고, MS의 탐지 주기와 NS의 탐지 주기를 조절하여 UGV의 에너지 소비를 최적화하였다. 본 연구에서는 Kim et al.(2024)이 제안한 적응형 관리 모델을 이용하였다.

Fig. 3는 UGV에 탑재된 NS의 탐지 주기에 따라 M 구역과 S 구역으로 분류되는 상황을 모사하고 있다. Fig. 3의  $\delta$ 는 UGV가 있는 구역 판단을 위한 NS의 탐지 주기를 나타낸다. 위험도 지도에서 M 구역으로 분류하고 있더라도, UGV가 실제로 M 구역에 있는지

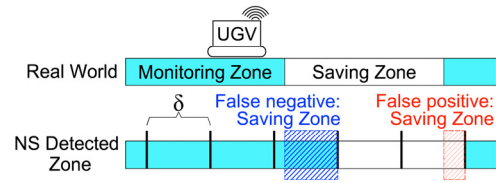


Fig. 3. Zoning in Real World and Detected Zones by UGV Navigation Sensor

S 구역에 있는지 구분하기 위해서는 NS가 위치를 탐지해야 한다. NS의 탐지 간격 사이에 UGV가 위치한 구역이 M에서 S 혹은 S에서 M으로 바뀔 수 있으며, 탐지 주기가 느리다면 구역을 잘못 인식하고 있을 확률이 높다. 즉, UGV가 이미 S 구역으로 이동했음에도 M 구역에 있는 것으로 구분될 수도 있고, UGV가 M 구역으로 이동했음에도 S 구역에 있는 것으로 구분될 수도 있다. 즉 UGV 위치를 정확하게 파악하기 위해서는 NS의 탐지 주기가 짧아야 한다. 그러나, NS의 탐지 주기가 짧아지면, NS는 많은 에너지를 사용하게 되어, 적은 에너지를 소비하는 전략에 반하게 되어, 적절한 수준을 찾아야 한다. UGV를 활용하여 지반함몰 위험도를 모니터링하는 목적을 고려할 때, 긴 탐지 주기로 인해 모니터링 해야하는 M 구역을 놓치고 지나가는 것은 바람직하지 않다. 따라서, S 구역에서는 NS의 탐지 주기를 짧게 하는 것이 바람직하다. 반면, M 구역에서는 NS의 탐지 주기를 길게 하여 NS가 사용하는 에너지를 절약하는 것이 최적 에너지 소비 전략에 부합한다.

MS의 탐지 간격 조절 전략은 명확하다. UGV가 지반함몰의 위험도가 높은 M 구역에 있을 경우, 탐지 주기를 짧게 하여 많은 데이터를 수집하는 것이 모니터링 목적에 부합한다. 반면, UGV가 상대적으로 지반함몰의 위험도가 낮은 S 구역에 있을 경우, MS의 탐지 주기를 길게 해야 에너지 소비를 줄일 수 있다. 이런 관계 모사를 위해 식 (1), (2)를 정리하였다 (Kim et al., 2024).



$$f_i(t) = \begin{cases} f_s & \text{if } s_i(t) = M \\ \frac{1}{\alpha} \cdot f_s & \text{else if } s_i(t) = S \end{cases} \quad (1)$$

$$\delta_i(t) = \begin{cases} \delta & \text{if } s_i(t) = M \\ \frac{1}{\beta} \cdot \delta & \text{else if } s_i(t) = S \end{cases} \quad (2)$$

여기서,  $f_s$ 는 MS의 기본 탐지 주기를 나타내며, UGV가 있는 구역에 따라  $\alpha$ 의 비율로 탐지 주기를 조절하게 된다. 앞서 언급한 바와 같이,  $\delta$ 는 UGV가 있는 구역 판단을 위한 NS의 탐지 주기를 나타내며,  $\beta$ 의 비율로 주기를 조절하게 된다.  $s_i(t)$ 는 시간에 따라 UGV가 있는 구역을 의미한다.

### 3.2 전력 소비 분석

UGV가 있는 구역과 관계없이 일정하게 MS의 탐지 주기를 설정할 경우, MS의 소비전력은 식 (3)과 같다. 여기서,  $P_0$ 은 단위 시간당 전력 소비량을 의미한다. 본 논문에서 센서가 소비하는 전력의 단위는 W 혹은 mW에 해당하며, 탐지 주기는 일반적으로 ms이다.

$$P_{fixed} = P_M = P_0 \cdot f_s \quad (3)$$

MS와 NS의 구역에 따라 소비전력의 적응형 관리를 위한 관계는 식 (4)과 같이 정리할 수 있다(Kim et al., 2024). MS 소비 전력은 M 구역에서  $P_M$ , S 구역에서는  $P_S$ 이며, NS의 소비전력은  $P_e$ ,  $\tau$ 는 1회 감지하는 데 걸리는 시간을 의미한다.  $Pr_M$ 은 S구역에서 M구역으로 넘어갈 확률을,  $Pr_S$ 은 M구역에서 S구역으로 넘어갈 확률을 뜻한다.

$$P_{adaptive} = \{P_M \beta \delta Pr_M + P_S \delta Pr_S + P_e \beta \tau (Pr_M + Pr_S)\} / (\beta \delta Pr_M + \delta Pr_S) \quad (4)$$

만약, NS에 의한 전력 소비가 없는 이상적인 상황이라면, MS의 M 구역과 S 구역의 이동에 따른 전력 소비는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다(Kim et al., 2024).

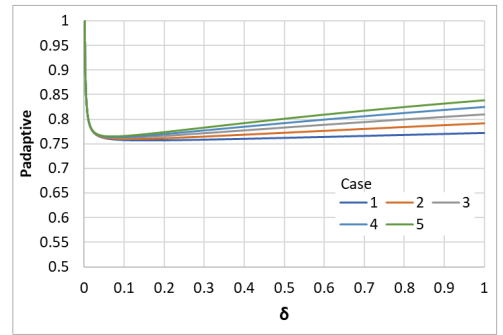
$$P_{ideal} = \frac{P_M \cdot \lambda^{-1} + P_S \cdot \mu^{-1}}{\lambda^{-1} + \mu^{-1}} \quad (5)$$

동일한 구역이 연속적으로 이어지는 경우 Fig. 4에 나타난 오탐(False Positive) 및 미탐(False Negative)은 발생하지 않는다. 이를 고려하기 위해, 식 (5)의  $\lambda$ 는 M 구역에서 S 구역으로 이동하는 비율,  $\mu$ 는 S 구역에서 M 구역으로 이동하는 비율을 의미한다. 이 비율은 다음 식 (6), (7)과 같이 정의한다.

$$\lambda = \frac{\text{No. of Groups of M Zone}}{\text{No. of M Zone}} \quad (6)$$

$$\mu = \frac{\text{No. of Groups of S Zone}}{\text{No. of S Zone}} \quad (7)$$

멀티센서의 소비전력 최적화를 전혀 고려하지 않은 경우가 식 (3)이므로, 전력 소비의 상한값에 해당



Case 1	M M M M M S S S S S	$\lambda=0.200, \mu=0.200$
Case 2	M M M S M M S S S S	$\lambda=0.400, \mu=0.400$
Case 3	M M S M M S M S S S	$\lambda=0.600, \mu=0.600$
Case 4	M S M M S M S M S S	$\lambda=0.800, \mu=0.800$
Case 5	M S M S M S M S M S	$\lambda=1.000, \mu=1.000$

Fig. 4. Variation of  $P_{adaptive}$  with Various Number of Groups of Monitoring And Saving Zones

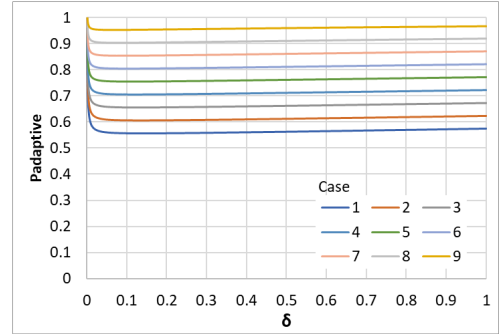
하며, 식 (5)는 이상적인 상황으로 전력소비의 하한 값에 해당하게 된다. 따라서,  $P_{adaptive}$ 는 식 (4)는 두 값 사이에 존재하게 된다.

### 3.3 구역 분포에 따른 적응형 센서 관리 분석

M 구역과 S 구역이 다양한 형태로 존재할 때, 멀티 센서의 소비전력에 대해 분석하였다. 센서들의 정확한 소비전력을 이용하기 보다는,  $P_M = 1$ 을 기준으로 사용하는 입력 변수들 사이의 비율로 분석하였다.  $\alpha = 2$ ,  $\beta = 10$ ,  $\tau = 0.1$ ,  $P_e = 1$ ,  $P_s = 0.5$ 을 사용하였다. Fig. 4는 M 구역과 S 구역이 5개씩 존재하는 모니터링 현장에서 M 구역과 S 구역의 분포에 따라 소비되는 멀티센서의 전력을 나타낸다. 모든 Case에서 NS의 위치 탐지 주기가 0에 가까울수록 에너지 소비는 매우 높으며, 탐지 주기가 증가함에 따라 급격히 감소하였다가 증가하는 양상이 나타났다. 그러나 M 구역에서 S 구역으로 바뀌거나, S 구역에서 M 구역으로 바뀌는 횟수가 늘어날수록, 즉  $\lambda$ 와  $\mu$ 가 증가할수록, NS의 탐지 주기에 따른 소비전력이 증가하는 양상이 달랐다. Fig. 4에 나타난 바와 같이, Case 5가 가장 많이 증가하였으며, Case 1이 가장 적게 증가하였다.

Fig. 5는 M 구역의 개수에 따른 UGV 탐재 멀티센서의 소비전력을 분석하였다. M 구역이 1개인 Case 1부터 M 구역이 9개인 Case 9에 대해서 분석하였다. 지반함몰 고위험도 구역으로 분류되어 MS가 짧은 주기로 지반함몰의 위험성을 모니터링하는 M 구역의 경우, MS가 많은 전력을 소비하게 된다. 따라서, M 구역이 늘어날수록 전력 소비는 커진다.

Fig. 6은 M 구역과 S 구역의 개수가 정해진 상황에서 구역의 분포가 달라질 때,  $P_{adaptive}$ 를 나타낸다. Case 1, 2, 3, 4는 M 구역이 5개, S 구역이 5개로 같고, M 구역의 모여있는 그룹도 3개로 일정하여  $\lambda$ 값이 0.6으로 고정되어 있다. 다만 S 구역의 분포에 따라  $\mu$ 가 0.6, 0.8의 값을 나타내는 상황이다. Case 1과 4



Case 1 M S S S S S S S S S  $\lambda=1.000, \mu=0.111$

Case 2 M M S S S S S S S S  $\lambda=0.500, \mu=0.125$

Case 3 M M M S S S S S S S  $\lambda=0.333, \mu=0.143$

Case 4 M M M M S S S S S S  $\lambda=0.250, \mu=0.167$

Case 5 M M M M M S S S S S  $\lambda=0.200, \mu=0.200$

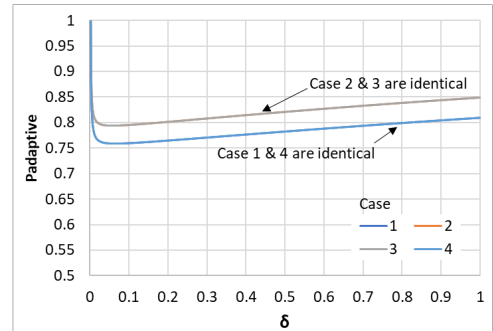
Case 6 M M M M M M S S S S  $\lambda=0.167, \mu=0.250$

Case 7 M M M M M M M S S S  $\lambda=0.143, \mu=0.333$

Case 8 M M M M M M M M S S  $\lambda=0.125, \mu=0.500$

Case 9 M M M M M M M M M S  $\lambda=0.111, \mu=1.000$

Fig. 5. Variation of  $P_{adaptive}$  with Various Number of Monitoring and Saving Zones



Case 1 M M S M M S M S S S  $\lambda=0.600, \mu=0.600$

Case 2 S M M S M M S M S S  $\lambda=0.600, \mu=0.800$

Case 3 S S M M S M M S M S  $\lambda=0.600, \mu=0.800$

Case 4 S S S M M S M S S S  $\lambda=0.600, \mu=0.600$

Fig. 6. Variation of  $P_{adaptive}$  with Various Distribution Pattern of M and S while the Number of Zones Are Given

는 구역의 분포는 다르더라도  $\lambda$ 와  $\mu$ 의 값은 같은 상황으로  $P_{adaptive}$ 는 같은 곡선으로 표현되었다. Case 2와 3도 같은  $\lambda$ 와  $\mu$ 의 값을 갖고, 같은 곡선으로 표

현이 되었다.  $\mu$ 가 0.8로 더 큰 Case 2와 3이 Case 1과 4보다 에너지 소비가 더 큰 것으로 나타났다.

UGV에 탑재한 멀티센서에 적응형 센서 관리기법을 적용하면 다음과 같은 특징이 나타난다. 지반함몰 위험도 지도에 위험구역으로 분류되는 M 구역이 많을수록, M 구역과 S 구역이 자주 바뀔수록 에너지 소모가 커지는 것으로 나타났다. 지반함몰 위험구역을 모니터링할 때, UGV의 모니터링 경로에 따라 UGV에 탑재된 멀티센서의 소비전력이 달라질 수 있음을 의미한다.

#### 4. 도심지 굴착 현장 인접 지반함몰 모니터링 시뮬레이션

본 절에서는 도심지 지반함몰 위험도 지도를 설정하고, 설정된 지도에 따라 UGV를 활용하여 모니터링 하는 동안 소비되는 전력에 대해 분석하였다. Fig. 7은 도심지에서 일반적으로 발생할 수 있는 굴착 공사 현장의 주변 상황을 묘사하고 있다. Fig. 7 Plan view를 살펴보면, 도심지 굴착 현장에 인접한 건물이 있으며, 굴착으로 인해 지반 변형이 발생하면 건물의 안전에 영향을 끼칠 수 있다. 지반함몰의 주요 원인으로 추정되는 하수관거도 근처에 있다. 되메운 구역도 굴착 지지 벽체에 인접해 있는데, 굴착 벽

체 내부 공간으로 지하수가 못 들어오게 하도록 양정하면 그 영향을 받아 지반함몰에 취약해질 수 있는 구역이다. Fig. 7의 Monitoring Plan은 이런 사안을 고려하여 M 구역과 S 구역을 분류하였다. 앞서 언급한 지반함몰의 발생 가능성이 크거나, 지반 변형으로 인해 주변에 미치는 영향이 큰 구역을 M 구역으로, 나머지는 S 구역으로 설정하였다.

UGV가 해당 깊은 굴착 현장을 모니터링할 때, 소비되는 전력에 대해서 분석하였다. Fig. 7의 A, B 지점에서 시계 방향(Clockwise)으로 혹은 반시계 방향(Counterclockwise)으로 이동하며 모니터링할 때의 소비전력은 Figs. 8, 9에 나타났다. UGV가 모니터링을 A 지점에서 시작하는 경우, 방향에 무관하게

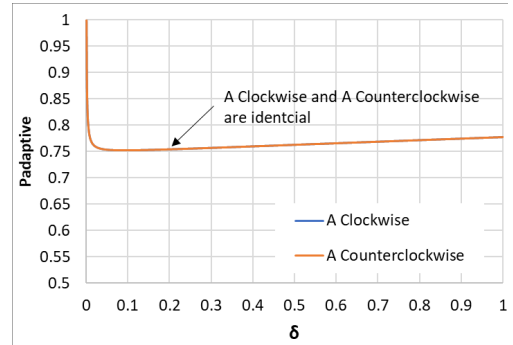


Fig. 8.  $P_{adaptive}$  When UGV Moving Clockwise or Counterclockwise from Point A

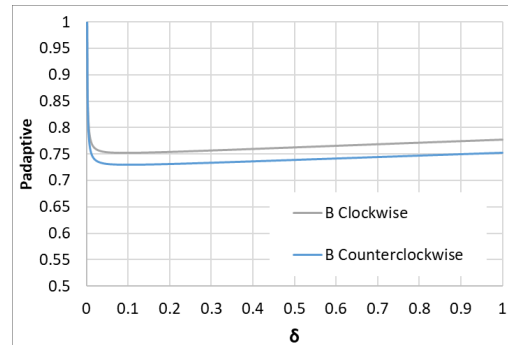


Fig. 9.  $P_{adaptive}$  When UGV Moving Clockwise or Counterclockwise from Point B

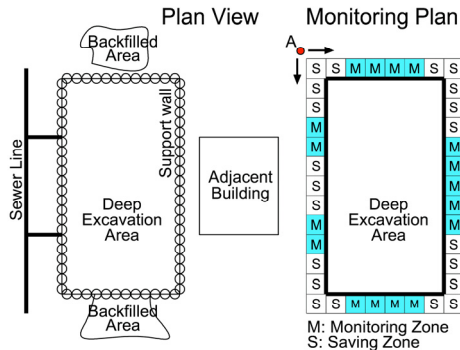


Fig. 7. Illustration of Deep Excavation Site in Urban Area and Monitoring Plan

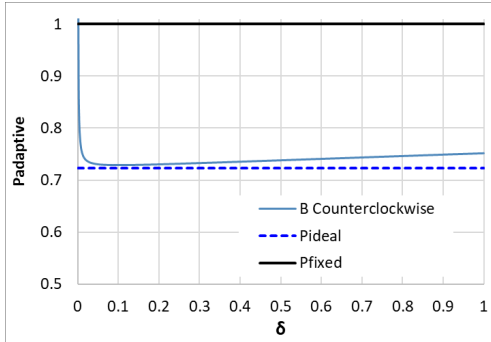


Fig. 10. Comparison between  $P_{fixed}$ ,  $P_{ideal}$  and  $P_{adaptive}$ .

멀티센서는 같은 전력을 소비하는 것으로 나타났다. 그러나 UGV가 B 지점에서 모니터링을 시작할 때, 반시계 방향으로 이동하는 경우가 시계 방향으로 이동하는 경우보다 더 적은 에너지를 소비하는 것으로 나타났다. 이는 같은 지역을 모니터링 하더라도 UGV의 시작점과 방향에 따라 멀티센서는 다른 전력을 소비할 수 있음을 의미한다. 즉, UGV를 활용하여 위험도 지도에 기반하여 모니터링을 수행할 때, 사전 분석을 통해 시작점과 경로를 설정해야 UGV의 배터리 소비를 줄일 수 있다.

Fig. 10은 Fig. 7의 위험도 지도에서 가장 작은 에너지를 사용하는 B 지점에서 반시계 방향으로 UGV가 이동할 때의  $P_{adaptive}$ , 고정형 탐지 주기를 사용할 때의  $P_{fixed}$ , 이상적인 상황에서의 소비전력  $P_{ideal}$ 을 비교하였다. 고정형 탐지 주기일 때의 소비전력에 비해서 적응형 탐지 주기를 사용하였을 때 전력 소비가 25% 이상 감소하였으며, 이상적인 전력 소비에 가까운 것으로 나타났다. 본 연구에서 분석한  $P_{adaptive}$  값을 찾는 시나리오를 사용할 경우, UGV의 배터리를 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

적응형 센서 관리기법을 탑재한 UGV를 활용한 도심지 굴착 현장 인접 지반함몰 모니터링에 관한 연

구를 수행하였다. 본 연구에서는 UGV의 모니터링 임무에서 에너지 소비를 줄이기 위해 적응형 센서 관리 전략을 제안하였다. 위험 지도를 기반으로 UGV의 모니터링 방식을 특성화하고, 멀티센서의 에너지 효율성을 분석하였다. 또한, M 구역과 S 구역의 분포를 고려하여 에너지 소비를 최소화할 수 있는 탐지 주기를 이용하여, 분석에 사용된 모델의 유효성을 검증하였다. 전형적인 도심지 깊은 굴착 상황을 가정하여 시험한 결과, MS 및 NS의 탐지 주기 조정이 에너지 소비 감소에 크게 이바지하는 것을 확인하였다. 또한, UGV의 모니터링 경로에 따른 에너지 소비 최적화의 중요성을 확인하였으며, 이러한 접근이 지반함몰 모니터링을 통해 도심지 안전성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 MS의 탐지 주기를 상황에 따라 매우 다양하게 설정해야 하는 문제에 대해서 적절한 해법을 제시하는 데 한계가 있다. 향후 본 연구에서 설정한 경우보다 더 다양한 탐지 주기를 갖는 경우에 관한 연구와 현장 실험을 통해 UGV에 탑재한 멀티센서별 에너지 소비 최적화 연구를 수행할 계획이다.

## 참고문헌

- 권영주·문성호(2023), “드론 촬영 데이터를 기반으로 한 도로 균열 탐지 딥러닝 모델 개발”, 『LHI Journal』, 14(2): 125~135.
- 변완영(2019.12.23), “국토부, ‘지반침하’ 건설현장 고강도 특별점검 실시”, 매일건설신문.  
Byun, W. Y. (2019.12.23), “The Ministry of Land, Infrastructure and Transport Conducts High-Intensity Special Inspections on Construction Sites for Ground Subsidence”, Maeil Construction News.
- 조영석·장연수(2017), “도심지 지반함몰의 초기발생 현상에 대한 흐름해석적 접근”, 『LHI Journal』, 8(1): 13~22.
- Bradley, J. and E. Atkins (2015), “Optimization and Control of Cyber-Physical Vehicle Systems”, 『Sensors』, 15(9): 23020~23049.

5. Elmakis, O., T. Shaked, B. Fishbain and A. Degani (2022), "BREEZE-Boundary Red Emission Zone Estimation Using Unmanned Aerial Vehicles", *Sensors*, 22(14): 5460.
6. Gokhale, V., G. M. Barrera and R. Venkatesha Prasad (2021), "FEEL: Fast, Energy-Efficient Localization for Autonomous Indoor Vehicles", *ICC 2021 : IEEE International Conference on Communication*, Montreal, QC, 1~6.
7. Guglieri, G., A. Lombardi and G. Ristorto (2015), "Operation Oriented Path Planning Strategies for RPAS", *Am. J. Sci. Technol.*, 2(6): 1~8.
8. Kilic, S. and O. Omer (2019), "A Self-Adaptive UAV Routing for Forest Fire Risk Mitigation: A Conceptual Model", *Proceedings of the 2019 Summer Simulation Conference*, Berlin, 1~12.
9. Kim, S., Y.-H. Jung, H. Min, T. Kim, and J. Jung (2024), "Adaptive Sensor Management for UGV Monitoring Based on Risk Maps", *Robotics and Autonomous Systems*, 172: 104605.
10. Kim, T., H. Min and J. Jung (2017), "A Mobility-Aware Adaptive Duty Cycling Mechanism for Tracking Objects During Tunnel Excavations", *Sensors*, 17(3): 435.
11. Liu, D., S. Wang, Z. Wen, L. Cheng, M. Wen, and Y.-C. Wu (2021), "Edge Learning with Unmanned Ground Vehicle: Joint Path, Energy, and Sample Size Planning", *IEEE Internet Things J.*, 8(4): 2959~2975.
12. Primatesta, S., G. Guglieri and A. Rizzon (2018), "A Risk-Aware Path Planning Method for Unmanned Aerial Vehicles", *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Dallas, TX, 905~913.
13. Sadrpour, A., J. Jin and A. G. Ulsoy (2012), "Mission Energy Prediction for Unmanned Ground Vehicles", *2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Saint Paul, MN, 2229~2234.
14. Våljaots, E. and R. Sell (2019), "Energy Efficiency Profiles for Unmanned Ground Vehicles", *Proc. Est Acad. Sci.*, 68(1): 55~65.

## 요 약

본 연구에서 도심지 굴착 현장 인접 구역에서 발생할 수 있는 지반함몰 문제를 해결하기 위해 UGV를 활용한 모니터링 시스템을 제안하였다. 무인 비행체(UAV)의 비행이 제한되는 도심지 환경에서는 무인 지상 차량(UGV)이 효과적인 대안이 될 수 있다. 본 연구의 주요 목적은 UGV에 다양한 센서를 탑재하고, 도심지 지반함몰 모니터링에 적합한 적응형 탐지 주기를 설정하고, 이를 평가하는 것이다. 본 연구에서는 도심지에서 지반함몰의 가능성이 큰 구역을 설정하여 위험도 지도를 작성하고, 지반함몰의 위험도가 높아 모니터링을 자주 하는 M 구역과 위험도가 낮아 에너지를 절약하는 S 구역으로 구분하였다. UGV에는 UGV의 위치를 탐지하는 센서(NS)와 지반함몰 관련 항목들을 모니터링 하는 센서(MS)의 탐지 주기를 M 구역과 S 구역에 따라 조절하는 전략을 제안하였다. 전형적인 도심지 깊은 굴착 상황을 가정하여 시험한 결과, MS 및 NS의 탐지 주기 조절이 에너지 소비 감소에 크게 기여하는 것을 확인하였다. UGV의 모니터링 경로에 따른 에너지 소비 최적화의 중요성을 확인하였으며, 이러한 접근이 지반 함몰 모니터링을 통해 도심지 안전성을 높일 수 있을 것으로 기대한다.

**주제어:** 무인 지상 차량, 지반 함몰, 멀티 센서, 에너지 최적화, 적응형 센서 관리





# 수도권 고령가구의 주거이동 선택에 대한 연구 : 거주기간을 중심으로

## Residential Mobility Choices of Elderly Households in the Seoul Metropolitan Area

### : An Analysis of the Length of Residence

최정미\* · 김경희\*\* · 임미화\*\*\*

Chongmi Choi\* · Kyounghee Kim\*\* · Mihwa Lim\*\*\*

#### Abstract

A super-aged society is expected in 2025, as the elderly population, aged 65 or older, living in the Seoul metropolitan area will account for approximately 44.10%. The proportion of the elderly is expected to continue to increase up to 48.7% by 2050. Hence, there is an urgent need to establish housing policies for elderly households. This study aims to examine the effect of the length of residence of elderly households in the metropolitan area on their choice of residential mobility, identify the characteristics of elderly households, and provide policy implications. According to the analysis results of this study, elderly households in the metropolitan area have less intention to move as the length of their residence in the current location increases. Even if they intend to move, they decide to move within the current region. In particular, owner-occupiers' intention to move decreases further as the length of their residence increases, indicating that residential stability has a significant impact on the quality of life for elderly households. These results, in line with previous studies, and this study suggest that the residential mobility of elderly households is closely related to the length of residence and satisfaction with the residential environment, and should be taken into consideration when establishing future policies related to housing for elderly households.

**Keywords:** Super-Aged Society, Residential Mobility, AIP, Bivariate Probit Model with Sample Selection

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

인구 고령화는 연령분포의 중심이 고연령대로 이동하는 현상이다. 우리나라 인구 고령화의 전망은 기대수명의 증가와 출산율 감소 등의 요인으로 인

해 고령자의 범위는 점차 확대되고 있으며, 통계청의 장래인구추계(통계청, 2023b)에 의하면 2020년 기준으로 65세 이상 고령인구가 총인구의 15.7%를 차지하며 2025년 20.6%, 2050년에는 40%를 초과할 전망이다. 인구의 20% 이상이 고령인 초고령화 사회로의 진입이 임박한 것으로 예상된다. 고령인구

\*전주대학교 부동산학과 박사과정(주저자: fl-choi@naver.com)

\*\*전주대학교 부동산학과 석·박사통합과정(gaham2001@naver.com)

\*\*\*전주대학교 부동산국토정보학과 부교수(교신저자: mia5683@jj.ac.kr)

증가에 따른 다양한 문제는 개인적·가족적 차원의 문제가 아니라 사회적인 문제로 대두되고 있다. 고령인구는 이동 측면에서 다른 연령집단과 다른 패턴을 보인다. 통계청의 국내 인구이동통계(통계청, 2023a)에 따르면 2022년 전 연령층의 평균 이동률은 12%를 나타냈으며 20~34세 집단의 이동률은 평균 20% 이상으로 가장 높은 이동률을 기록했다. 35세 이상 집단에서부터 이동률은 다시 감소하였으며 나이가 많아질수록 이동률은 더욱 감소하였다. 55~64세 집단의 이동률은 10% 이하이고, 65세 이상 집단에서는 7% 미만까지 감소하여 고령자 집단 일수록 더욱 감소하였다. 청년층은 주로 교육, 직업, 결혼과 같은 요인으로 인해 활발한 주거 이동을 보이지만, 중장년층은 자녀의 교육과 경제적 안정성을 이유로 주거 이동을 결정하는 경향이 있다. 고령자의 경우 이미 정착한 주거지에서의 안정감과 지역 사회와의 연계성 때문에 주거 이동이 현저히 감소한다. 이는 고령자가 새로운 환경에 적응하기 어렵다는 점과도 관련이 있으므로 고령자의 주거 이동의사는 특히 주거환경 만족도와 거주지에 대한 애착에 의해 크게 좌우된다. 이러한 특성은 본 연구에서 수도권 고령인구의 주거 이동 의향을 분석하는 데 중요한 배경이다. 고령자의 이동은 단순한 이동이 아닌 삶의 질과 직결되는 중요한 문제이므로 이들의 주거 이동 결정요인을 심층적으로 분석하는 것이 고령자 사회에서의 주거정책 수립에 필수적 요소이다.

통계청의 인구와 인구밀도(통계청, 2023c)에 따르면, 우리나라 전체에서 수도권의 면적은 약 12%에 불과하지만, 인구는 약 50%가 집중되어 있다. 이중 수도권에 거주하는 65세 이상 고령인구는 약 44.10%로 나타났고, 2050년에는 48.7%까지 증가

할 것으로 전망된다(통계청, 2021). 수도권 지역은 행정구역상 서로 구분되어 있으나 주거·업무·생활이 밀접하게 연계된 사실상 통합된 대도시로 간주 및 고찰되고 있다. 이러한 상황을 고려해 볼 때 수도권 지역을 대상으로 한 고령가구의 거주기간에 따른 주거 이동에 관한 연구는 고령인구 주거정책 수립을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이라 예상된다. 따라서 본 연구는 고령가구의 장기 거주 경향과 주거 이동 의사와의 연관성을 분석하고, 특히 거주기간이 고령가구의 주거 이동 선택에 미치는 영향을 중점적으로 살펴보고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 수도권 지역을 공간적 범위로 설정하였고 이는 고령가구가 밀집된 수도권 지역의 고령가구 주거 이동 의사와 이동 지역 선택 요인을 살펴보고자 함이다.

주거 이동 분석을 위한 자료는 국토교통부에서 제공하는 「2021년 주거 실태 조사」(국토교통부, 2021)<sup>1)</sup> 자료를 이용하였다. 가구의 특성을 3가지 범주(가구 특성, 주거 특성, 경제적 특성)로 구분하고, 이에 따른 주거 이동 의사와 주거 이동 지역 결정요인을 분석하였다. 주거 이동 지역은 서울에서 서울, 인천에서 인천, 경기에서 경기로 이동하고자 하는 경우 수도권 지역 내 이동으로 '지역 내 이동'이라 정의하고, 수도권 외 지역으로 이동하고자 하는 경우 '지역 간 이동'으로 정의하였다. 고령가구의 주거 이동 의사가 있을 경우 주거 이동 결정요인을 분석하기 위해 표본 선택 이변량 프로빗 모형을 활용하였다. 이 모형을 통해 주거 이동 의사 여부와 주거 이동 지역 간의 상호 선택 편향을 보정하고 수도권 고령가구의

1) 주거 실태 조사는 국토교통부가 2006년부터 주거 기본법 제20조 및 동법시행령 제13조에 따라 시행하며 다양한 국민 계층이 특성에 부응하는 주택정책 수립을 조사의 목적으로 한다. 비록 2022년 주거 실태 조사 데이터가 현재 배포되었으나 연구 시작 시점에서 2021년 데이터가 최신자료였고, 2021년도와 2022년도 데이터 간에 큰 차이가 없음을 확인하여 기존 분석의 타당성을 유지하기 위해 2021년 데이터를 사용하였다.

거주기간에 따른 주거이동 선택 차이를 분석하였다.

최종적으로 각 변수가 주거 이동 의사와 이동 지역에 미치는 영향력을 검증하고 이를 바탕으로 정책적 시사점을 도출하였다.

## 2. 선행연구 검토

고령자의 기준은 분명하게 연령상으로 구분하기는 어려우나, 우리나라 노인복지법과 국민기초생활보장법 등에서 65세 이상을 노인이라고 정의하고 있고, 주요 기관과 정부 부처, 국가와 통계 사이트에서 65세 이상을 기준으로 삼고 있어 본 연구에서는 고령가구의 기준을 가구주의 연령 65세 이상으로 하였다.

최근 국내에서는 거주기간과 주거 이동에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이창효·이승일(2012)은 한국노동패널 자료를 기초로 거주기간과 생애주기에 따른 주거 이동 결정 요인을 Cox 비례위험모형을 이용하여 분석하였다. 그 결과 가구주의 연령, 거주 유형, 주택 유형이 주거 이동 및 거주기간에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 가구주 연령이 많을수록, 자가 가구일수록, 단독 주택에 거주할수록 기존 주택에 오랜 기간 거주하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 김태현(2008)은 2005년을 시점으로 서울시에 거주하고 있는 370만 가구의 이주 데이터를 분석한 결과 주거 이동이 주로 같은 행정동 내에서 이루어지며, 평균 거주기간이 약 700일이라는 결과를 도출하였다. 이러한 연구들은 거주기간이 주거 이동의 주요 변수임을 시사하며, 거주기간이 길수록 주거 이동의 빈도가 낮아진다는 결과를 보여준다. 최열·김형준(2012)은 한국노동패널 조사 데이터(1999년과 2008년)를 활용하여 수도권과 비수도권 주거 이동의 결정요인을 비교 분석하였다. 연구 결과에 따르면, 수도권에서는 거주기간이 짧을수록 주거 이동

확률이 높으며, 이는 비수도권보다 더욱 두드러지는 경향을 보인다고 제시하였다. 이러한 연구는 수도권 고령가구가 거주기간을 중요하게 인식하며 거주기간이 주거 이동 의사 결정에 중요한 요소로 작용할 수 있음을 시사한다.

주거 만족도 역시 고령가구의 주거 이동에 중요한 변수가 된다. 강태환(2006)의 연구 결과에 따르면, 주거 만족도는 주거 이동 의향에 영향을 미치는 변수일 뿐만 아니라 이전의 주거 경험과도 밀접하게 관련된 변수라고 할 수 있다. 이는 고령가구가 거주기간 동안 축적된 주거 경험과 관련이 깊으며, 거주기간이 길어질수록 주거 만족도가 높아지고 이주의사가 감소하는 경향을 보인다.

한편 초고령화 사회를 앞둔 우리나라의 현실에서 가구주가 고령인 가구의 주거 이동과 관련한 국내 선행연구를 살펴보면 주로 이동 의향(최열 외, 2007; 황선희 외, 2010), 이동 요인(이승권, 2011; 김도연 외, 2012), 이동유형(김혜원, 2009; 김도연, 2011), 이동이 노인에게 미치는 영향(이희진 외, 2010; 최영석, 2012) 등을 주제로 다루고 있다. 그러나 대부분의 연구는 주로 노인이 아닌 예비 노인층을 대상으로 이동 의향이나 시설 입주 의사를 조사하거나, 이동 요인이나 동기에만 초점을 맞추고 있다. 또한 이러한 연구들은 이동 의향과 현 거주지에 대한 주거 만족도 또는 이동 후 새로운 거주지에 대한 주거 만족도를 확인하는 데 초점을 맞추는 경우가 많았다. 그러나 고령가구는 다른 연령층에 비해 주거 이동성이 낮고, 한 번 정착한 지역에서 오랫동안 거주하는 경향이 있어 하루 중 많은 시간을 지역 사회에서 보내는 특성이 있다. 이러한 특성은 고령가구가 생활의 많은 부분을 지역 사회 내에서 해결하며, 이는 거주 지역과의 강한 연계성을 형성하게 한다(김용진, 2012).

본 연구는 기존 연구들과 달리 거주기간에 중점을 두어 수도권 고령가구의 주거 이동 선택 요인을 분

석하고자 한다. 특히 거주기간이 길수록 주거 이동 의사가 감소하고, 이주 의사가 있더라도 지역 내에서 이동할 가능성이 높은 경향을 분석하는 데에 중점을 두었다. 이를 통해 수도권 고령가구가 지역 사회와의 연계성을 중시하며, 거주기간과 주거 안정성이 주거선택에 큰 영향을 미친다는 점에서 선행연구와 차별성을 가진다.

### 3. 분석 자료 및 모형 분석

#### 3.1 분석의 자료

주거 실태 조사는 가구 설문조사를 통해 국민의 주거 생활에 관한 전반적인 사항을 파악하며, 이러한 정보를 바탕으로 중앙정부가 국민의 요구를 반영한 주택 및 주거정책을 수립하기 위해 시행한다. 본 연구는 국토교통부에서 제공하는 「2021년 주거 실태 조사」 일반 가구 표본 50,300가구의 원 데이터를 얻어 Python 프로그램을 활용하여 현재 수도권 지역에 거주하고 있는 17,718가구를 추출한 후 실증 분석할 자료를 재구축하였다.

수도권 가구의 주거 이동 의사 결정 요인 분석을 위해 Table 1과 같이 변수를 구성하였다. 주거 실태 조사 중 지급 능력을 고려한 주거 이동계획 여부 문항을 활용하였고, 해당 문항에 대한 응답은 ‘계획이 있음’, ‘계획이 없음’, ‘잘 모르겠음’으로 나뉘었다. 본 연구에서는 ‘계획이 없음’이나 ‘잘 모르겠음’으로 답하였을 때 확실한 주거 이동 의사가 없는 것으로 간주하여 ‘주거 이동 의사가 없는 것’으로 연구 모형을 설정하였다. 주거 이동 의사가 있는 경우 주거 실태 조사에서 이주 이동 계획 지역에 대해서는 세분이 되어 있지만 현 거주지에 대한 정보가 서울, 경기, 인천으로 분류된 한계가 있어 서울에서 서울, 인천에서 인천, 경기에서 경기로의 이동을 계획하는 경우 ‘지역 내 이동’으로 수도권에서 비수도권으로의 계획은 ‘지역 간 이동’으로 간주하여 추가적인 분석을

하였다.

독립변수는 가구 특성, 주거 특성, 경제적 특성으로 구성하였다. 가구 특성은 본 연구에서 밝히고자 하는 현 거주지의 거주기간에 대하여 현재 주택 마련 시점과 현재 주택 거주 시점의 문항을 활용하였다. 또한 가구주 연령 변수를 가구의 생애주기 단계가 변화함에 따라 주거 이동 양상이 달라진다는 가정하에 가구주의 연령이 55세 이상 64세 이하인 예비 고령가구, 65세 이상인 고령가구, 55세 이하인 비고령 가구로 세 가지 세부 집단을 구성하였다. 참조 집단인 비고령 가구와 비교하여 예비 고령가구와 고령가구 각각 주거이동 계획에 미치는 영향을 살펴보고자 하였고, 가구주의 성별과 학력, 가구원 수를 변수로 사용하였다. 주거 특성 변수는 현재 거주하고 있는 주택 유형과 점유 형태, 주거환경 만족도를 사용하였고, 선행연구에서 주거환경 만족도가 주거 이동 의사에 미치는 영향이 큰 것으로 나타남에 따라 세부적으로 대중교통 접근 용이성과 치안 및 범죄 방범 상태의 문항을 활용하였다. 해당 문항에서 응답자는 불만족할 경우 ‘매우 불만족’, ‘약간 불만족’으로, 만족할 경우, ‘대체로 만족’, ‘매우 만족’으로 답하였는데 본 연구에서는 ‘대체로 만족’ 및 ‘매우 만족’으로 답하였을 때 만족하는 것으로 모형을 설정하였다. 고령가구의 주거 이동 의사에 영향을 미치는 경제적 특성 변수로는, 가구 총 월 소득 및 부동산 자산을 활용하였다. 65세 이상 고령가구의 자산 구성에서 부동산이 차지하는 비율은 80.2%로 가장 높게 나타났고, 저축은 14.2%를 차지하여 50대의 저축 비중 19.3%보다 낮은 편으로 나타났다(통계청, 2021). 그 외에 주거비 부담 정도, 국민기초생활 급여 수급 가구 해당 여부를 경제적 특성 변수로 활용하였다. 한편 거주기간과 연령은 본질적으로 연관성이 클 가능성이 있다. 즉 나이가 많을수록 오랜 기간동안 한 지역에 거주했을 가능성이 있어서 두 변수가 밀접한 상관관계를 가질 수 있어 다중공선성 문제가 발

**Table 1.** Variable Description

Division	Variable	Variable Description	
Dependent Variable	Willingness to Move Residence	1: Exists	0: None
	Residential Movement Planning Area	1: Moving between regions	0: Movement within the area
Independent Variable	Period of Residence	Continuous (years)	
	Age of Head of Household	0: 65 years or older 1: 55-4 years old 2: Under 54 years old	
	Family Characteristic	Gender of Head of Household	1: Male 0: Female
		Head of Household Education	1: College graduate or higher 0: Less than college graduate
		Number of Household Members	Continuous (persons)
		Housing Type	1: Apartment 0: Others
		Type of Housing Occupancy	1: Owned 0: Others
	Residential Characteristics	Satisfaction with Residential Environment	1: Satisfied 0: Dissatisfied
		Easy Access to Public Transportation	1: Satisfied 0: Dissatisfied
		Public Security and Crime Prevention Status	1: Satisfied 0: Dissatisfied
	Economic Characteristics	Households Receiving National Basic Livelihood Security Benefits	1: Corresponding 0: Not applicable
		Housing Cost Burden	1: Burdened 0: No burden
		Gross Monthly Income	Monthly average total ordinary income (10,000 won)
		Real Estate Assets	Real estate assets (10,000 won)

생활 가능성을 고려하였다. 이를 확인하기 위해 VIF(Variance Inflation Factor)검정을 수행하였으며, 그 결과 거주기간과 65세 이상 고령가구의 VIF 값은 각각 1.148로 이는 일반적으로 다중공선성 문제로 간주하는 기준치인 10을 크게 밑도는 것으로 확

인하였다. 따라서 연령과 거주기간 간의 상관관계가 있지만 이로 인해 연구 모형의 신뢰성이 저해될 정도의 다중공선성 문제는 발생하지 않는 것으로 판단하여 거주기간과 65세 이상 고령가구를 각각 독립변수로 사용하였다.

### 3.2 실증모형 분석

일반적으로 가구의 주거 이동 의사와 그에 따른 주거 이동계획 지역은 순차적으로 이루어지는 것이 대부분이므로 이처럼 2차 이상 일련의 선택에 따른 표본의 선택성은 대부분 자료에서 흔히 야기되는 통계적 문제점이다(Maddala, 1983). 2차 이상 일련의 선택에 따른 표본의 선택성을 통제하기 위해서는 표본 선택 이변량 프로빗 모형(Bivariate Probit Model with Sample Selection)을 사용하는 것이 적합하다(최효비·최열, 2022; 임미화, 2019).

표본 선택 이변량 프로빗 모형은 선택된 집단의 선택편의를 고려한 모형으로 두 개의 종속변수를 다룬다. 주거 이동 지역을 분석할 때, 주거 이동 의사가 있는 사람들만을 대상으로 할 때 선택편의로 인한 일반적인 프로빗 모형이나 로지스틱 회귀분석을 사용하면 결과가 왜곡될 수 있는 문제가 발생한다. 이에 따라 주거 이동 의사가 있는 집단은 작위적으로 선택된 집단으로 이러한 일련의 선택에 따른 표본의 선택성을 주거 이동 의사가 있을 때만 관찰되는 종속변수의 특성을 고려한다면 표본 선택 이변량 프로빗 모형의 적용이 적합하다고 판단하였다.

이변량 프로빗 모형의 기본 식은 다음의 식 (1)로 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_{i1} &= \beta_1' X_{i1} + \epsilon_{i1} \\ Z_{i2} &= \beta_2' X_{i2} + \epsilon_{i2} \\ Y_{i1} &= 1, \text{ if } Z_{i1} > 0 \text{ and} \\ Y_{i1} &= 0, \text{ otherwise} \\ Y_{i2} &= 1, \text{ if } Z_{i2} > 0 \text{ and} \\ Y_{i2} &= 0, \text{ otherwise} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서  $X_{i1}$ 과  $X_{i2}$ 는 각각 선택한  $i$  번째 사람에 관련된 변인들의 함수를 나타낸다.  $\epsilon_{i1}$ 과  $\epsilon_{i2}$ 는 관찰되지 않는 확률 오차항으로 일련의 선택을 실행

한 개인의 확률 오차항  $\epsilon_{i1}$ 과  $\epsilon_{i2}$ 는 상관관계를 가지며, 이는 이변량 정규분포 함수(Bivariate Normal Distribution Function)로 나타난다. 이 경우 총 4가지의 가능한 가지 수를 가질 수 있는데 이 가지 수를  $\pi_n, n = 1, \dots, 4$ 라고 하면,

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \Pr(Y_{i1} = 1 \text{ and } Y_{i2} = 1) \\ &= \Phi_2(\beta_1' X_{i1}, \beta_2' X_{i2}, \rho) \\ \pi_2 &= \Pr(Y_{i1} = 1 \text{ and } Y_{i2} = 0) \\ &= \Phi_2(\beta_1' X_{i1} - \beta_2' X_{i2} - \rho) \\ &= \Phi_2(\beta_1' X_{i1}) - \pi_1 \\ \pi_3 &= \Pr(Y_{i1} = 0 \text{ and } Y_{i2} = 1) \\ &= \Phi_2(-\beta_1' X_{i1}, \beta_2' X_{i2} - \rho) \\ &= \Phi_2(\beta_2' X_{i2}) - \pi_1 \\ \pi_4 &= \Pr(Y_{i1} = 0 \text{ and } Y_{i2} = 0) \\ &= \Phi_2(-\beta_1' X_{i1} - \beta_2' X_{i2} - \rho) \\ &= 1 - \pi_1 - \pi_2 - \pi_3 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)로 표현될 수 있으며, 이때  $\Phi_2$ 는 이변량 정규 누적분포함수(Bivariate Normal Cumulative Distribution Function)를 나타내고,  $\Phi$ 는 일변량 정규 누적분포함수(Univariate Normal Cumulative Distribution Function)를 나타낸다.

본 연구의 종속변수 중 주거 이동 계획 지역 변수는 주거 이동 의사가 있을 때만 관찰되는 특성이 있다.  $Y_{i1}$ 이 단지  $Y_{i2}$ 일 경우에만 관찰될 때는 표본 선택 이변량 프로빗 모형(Bivariate Probit Models with Sample Selection)을 활용한다(Kaplan and Venezky, 1994).

주거 이동 의사에 따른 주거 이동 계획 지역의 이중 선택을 식으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} Z_{i1} &= \beta_1' X_{i1} + \epsilon_{i1} \\ Z_{i2} &= \beta_2' X_{i2} + \epsilon_{i2} \\ \text{Region}(Y_{i1}) &= 1, \text{ if } Z_{i1} > 0 \text{ and} \\ \text{Region}(Y_{i1}) &= 0, \text{ otherwise} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} Mobility(Y_{i2}) &= 1, \text{ if } Z_{i2} > 0 \text{ and} \\ Mobility(Y_{i2}) &= 0, \text{ otherwise} \end{aligned} \quad (3)$$

$X_{i1}$ 는 지역 간 이동을 선택한  $i$  번째 사람에 대한 가구 특성, 주거 특성, 경제적 특성들의 함수를 나타내는 것이고,  $X_{i2}$ 는 주거 이동 의사가 있는 것으로 선택한  $i$  번째 사람에 대한 변수들의 함수를 나타낸다. 일반적인 이변량 프로빗 모형에서처럼  $\epsilon_{i1}$ 과  $\epsilon_{i2}$ 는 관찰되지 않은 확률 교란을 의미한다. 이때 주거 이동 의사가 있는 사람들만을 대상으로 주거 이동 지역을 분석하게 된다. 오차항  $\epsilon_{i1}$ 과  $\epsilon_{i2}$ 가 이변량 정규분포를 그린다고 가정함으로써, 이러한 표본의 선택성 문제를 해결할 수 있다.  $\epsilon_{i1}$ 는 전체 모집단에서 정의되지만,  $\epsilon_{i2}$ 는 단지  $Y_{i2} = 1$ 인 하위집단에서만 정의된다. 이때  $\rho: \epsilon_{i1}, \epsilon_{i2} \sim N(0, 0, 1, 1, \rho)$ 는 식 (4)와 같이 오차항 간의 상관관계수(Unconditional Probability)를 만들 수 있다.

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \Pr(Y_{i1} = 1 \text{ and } Y_{i2} = 1) \\ &= \Phi_2(\beta_1'X_{i1}, \beta_2'X_{i2}, \rho) \\ \pi_2 &= \Pr(Y_{i1} = 0 \text{ and } Y_{i2} = 1) \\ &= \Phi_2(\beta_1'X_{i1} - \beta_2'X_{i2} - \rho) \\ &= \Phi(\beta_2'X_{i2}) - \pi_1 \\ \pi_3 &= \Pr(Y_{i1} = 0) \\ &= \Phi(-\beta_2'X_{i2}) \\ &= 1 - \pi_1 - \pi_2 \end{aligned} \quad (4)$$

## 4. 분석 결과

### 4.1 기초통계분석

수도권 가구의 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역의 결정요인을 분석하기 위해 사용된 범주형 변수 및 연속형 변수의 기초 통계량은 Table 2와 같다. 분석에 이용된 2021년 주거 실태 조사에서 분석에 이용된 거주 지역이 수도권인 17,718 가구 중 89.48%가 주거 이동 의사가 없다고 응답하였다. 주

거 이동 의사가 있다고 응답한 가구 중 76.31%는 현재 살고 있는 지역과 같은 지역으로 23.69%는 현재 거주하고 있는 지역에서 떠나 다른 지역으로 이동할 계획이 있다고 응답하였다.

분석 대상의 가구 특성은 다음과 같다. 응답한 가구 중 65세 이상 고령가구는 30.34%, 55세 이상 64세 이하 예비 고령가구는 24.14%, 54세 이하 비 고령 가구는 45.52%로 가구주의 약 78.60%가 남성이었고, 59.70%가 대졸 이상 학력인 것으로 나타났다. 거주기간은 평균 약 8년이었고, 가구원 수는 평균 약 2.44명으로 나타났다. 주거 특성을 살펴보면 거주 형태의 약 49.98%가 아파트에 거주하고 있고, 약 52.46%가 자가 소유인 것으로 나타났다.

수도권 거주 가구의 대부분은 현재 주거환경에 만족하는 것으로 나타났고, 대중교통 접근 용이성과 치안 및 범죄 방범 상태 또한 대체로 만족하는 것으로 나타났다.

경제적 특성으로는 약 4.5%가 국민기초생활보장 급여를 수급하는 가구로 나타났다. 이는 연구 대상 가구의 대부분이 경제적으로 자립적인 상태임을 시사하지만, 주거비 부담 정도의 분석 결과 약 62.90%의 가구가 주거비 부담을 느끼고 있는 것으로 나타났다. 수도권은 비수도권에 비해 주택 가격과 생활비 수준이 높으므로 주거비 부담이 더 큰 경향을 보인다. 이는 수도권의 높은 주거비용이 고령가구의 생활 안정성에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 또한, 총 월 소득은 평균 약 337만 원으로 나타났다. 평균 부동산 자산은 약 3억 4,895만 원으로 나타나 이러한 자산이 실질적인 생활비로 전환되지 않는 상황에서 주거비 부담은 여전히 큰 문제로 남을 수 있다. 이는 고령가구의 주거 안정성을 확보하기 위해 주거비 지원 프로그램의 확대 및 주거비 부담을 완화할 수 있는 다각적인 정책적 접근이 필요하다는 것을 시사한다.

**Table 2.** Descriptive Statistics

Division	Variable		Mean	S.D	Min	Max	%	
Dependent Variable	Willingness to Move Residence	Exists	0.11	0.31	0.00	1.00	10.52	
		None	0.89	0.31	0.00	1.00	89.48	
	Residential Movement Planning Area	Moving between Regions	0.24	0.43	0.00	1.00	23.69	
		Movement within The Area	0.76	0.43	0.00	1.00	76.31	
Family Characteristic	Period of Residence	Continuous (Years)	8.76	7.47	1.00	64.00	85.20	
	Age of Head Of Household	65 Years or Older	0.30	0.00	0.00	1.00	30.34	
		55-64 Years Old	0.24	0.00	0.00	1.00	24.14	
		Under 54 Years Old	0.46	0.00	0.00	1.00	45.52	
	Gender of Head of Household	Male	0.78	0.41	0.00	1.00	78.51	
		Female	0.21	0.41	0.00	1.00	21.48	
	Head of Household Education	College Graduate or Higher	0.60	0.49	0.00	1.00	59.70	
		Less Than College Graduate	0.40	0.49	0.00	1.00	40.30	
	Number of Household Members	Continuous (Persons)	2.44	1.14	1.00	8.00	43.66	
	Independent Variable	Housing Type	Apartment	0.50	0.50	0.00	1.00	49.98
			Others	0.50	0.50	0.00	1.00	50.02
		Type of Housing Occupancy	Owned	0.52	0.50	0.00	1.00	52.46
			Others	0.48	0.50	0.00	1.00	47.54
Satisfaction with Residential Environment		Satisfied	0.84	0.37	0.00	1.00	84.16	
		Dissatisfied	0.16	0.37	0.00	1.00	15.84	
Easy Access to Public Transportation		Satisfied	0.84	0.36	0.00	1.00	83.92	
		Dissatisfied	0.16	0.36	0.00	1.00	16.08	
Public Security and Crime Prevention Status		Satisfied	0.88	0.33	0.00	1.00	87.86	
		Dissatisfied	0.12	0.33	0.00	1.00	12.14	
Economic Characteristics		Households Receiving National Basic Livelihood Security Benefits	Applicable	0.05	0.21	0.00	1.00	4.68
			Not Applicable	0.95	0.21	0.00	1.00	95.32
		Housing Cost Burden	Burdened	0.63	0.48	0.00	1.00	62.90
	No Burden		0.37	0.48	0.00	1.00	37.10	
	Gross Monthly Income	Monthly Average Total Ordinary Income (10,000 Won)	336.80	236.26	0.00	2,250	59.86	
	Real Estate Assets	Real Estate Assets (10,000 Won)	34,895.40	53,564.23	0.00	675,000	147.51	

#### 4.2 고령가구의 주거 이동 의사 결정 요인 분석

Table 3에 제시된 선택 이변량 프로빗 모형을 사용하여 고령가구의 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역(지역 내 이동, 지역 간 이동)에 대한 결정요

인을 분석한 결과, 표본 선택 이변량 프로빗 모형의 오차항 간 상관관계를 나타내는 rho 값이 5% 유의 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이는 고령가구의 주거 이동 의사-주거 이동 계획 지역에

**Table 3.** Results of Bivariate Probit Analysis on the Determinants of Residential Mobility and Planning Areas of Elderly Households

Variable		Intention to Move Housing Among Elderly Households (N=17,718)				Residential Movement Planning Area for Elderly Households (N=1,807)			
		Est.	S.E.	z	P-value	Est.	S.E.	z	P-value
Household Characteristics	Period of Residence	-0.007**	0.003	-2.380	0.017	-0.004**	0.006	-0.630	0.025
	Age of Head of Household								
	Elderly Household	-0.299***	0.047	-6.300	0.000	0.064**	0.095	0.680	0.049
	Pre-Elderly Households	-0.183***	0.039	-4.650	0.000	0.049*	0.081	0.600	0.054
	Gender of Head of Household	0.060	0.039	1.550	0.122	0.014	0.079	0.170	0.862
	Head of Household Education	0.087**	0.035	2.500	0.013	0.122*	0.071	1.730	0.083
	Number of Household Members	0.028*	0.016	1.810	0.071	-0.038	0.034	-1.120	0.264
Residential Characteristics	Housing Type	-0.042	0.032	-1.330	0.185	0.080	0.065	1.240	0.213
	Type of Housing Occupancy	-0.797***	0.041	-19.520	0.000	-0.620***	0.084	-7.420	0.000
	Satisfaction with Residential Environment	-0.180***	0.040	-4.490	0.000	-0.125***	0.080	-1.570	0.117
	Easy Access to Public Transportation	0.079*	0.042	1.910	0.056	0.108	0.087	1.240	0.213
	Public Security and Crime Prevention Status	-0.213***	0.044	-4.870	0.000	-0.227***	0.085	-2.660	0.008
Economic Characteristics	Households Receiving National Basic Livelihood Security Benefits	-0.321***	0.083	-3.860	0.000	-5.509	0.568	0.000	1.000
	Housing Cost Burden	-0.063**	0.029	-2.150	0.032	-0.071	0.059	-1.220	0.223
	Gross Monthly Income	0.001***	0.000	7.420	0.000	0.001***	0.000	3.260	0.001
	Real Estate Assets	0.001	0.000	1.050	0.292	0.000	0.000	0.390	0.694
Constant		-0.880***	0.068	-13.040	0.000	-2.036***	0.136	-14.970	0.000
AthRho		2.499**	5.369	0.470	0.642				
Rho		0.987***	0.143						

Note.: \*p&lt;0.1, \*\*p&lt;0.05, \*\*\*p&lt;0.01

이르는 일련의 선택 문제를 일변량 프로빗 모형을 적용하는 경우 선택편의 문제가 발생할 수 있으므로 표본 선택 이변량 프로빗 모형의 적용이 타당함을 설명한다(박종훈, 2019).<sup>2)</sup>

고령가구의 주거 이동 의사를 분석한 결과 가구 환경 특성 변수 중 거주기간, 가구주 연령, 가구주 학력 및 가구원 수 변수가 유의한 것으로 나타났다. 특히 거주기간의 변수는 부(-)의 영향이 있는 것으로 추정

2) 만약  $p > 0$ 이고 5% 이내에서 통계적으로 유의미하다면,  $P[y_1] = P[y_2]$ : 일치  $\rightarrow E[P(y_2=1)|(y_1=1)] > E[P(y_2=1)|(y_1=0)]$ 이며,  $p < 0$ 이고 5% 이내에서 통계적으로 유의미하다면,  $P[y_1] \neq P[y_2]$ : 불일치  $\rightarrow E[P(y_2=1)|(y_1=1)] > E[P(y_2=1)|(y_1=0)]$ ,  $p$  값이 통계적으로 유의미하지 않다면, 표본선택편의가 발생하지 않은 것으로 독립적인 두 개의 프로빗 모형을 구성함.

되어 거주기간이 길어질수록 주거 이동 의사가 낮아지는 것으로 나타났고, 추정치의 표준 오차가 작으므로 추정치의 신뢰성은 높다고 할 수 있으며 통계적으로 매우 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 밝히고자 했던 고령가구가 거주기간이 길어질수록 주거 이동 의사가 없다는 사실을 확인한 결과로 이창효·이승일(2012)의 연구에서 주거 기간이 길어질수록 주거 이동 가능성이 낮아진다는 결과와도 일치한다. 이는 본 연구에서 밝히고자 했던 고령가구가 거주기간이 길어질수록 주거 이동 의사가 없어 거주하고 있는 지역 내에서 지속적인 거주를 할 수 있도록 하는 것이 초고령화 사회가 임박한 현실에서 가장 시급하게 고령가구 주거정책에 반영되어야 할 것을 시사한다.

다만 연구 결과가 수도권 고령가구에만 한정된 결과인지 아니면 전국의 고령자에게도 갖게 적용될 수 있는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한 고령가구뿐만 아니라 청년층과 중장년층까지 표본을 확대하여 동일한 분석을 수행할 때도 유사한 결과가 도출될 가능성이 있다. 거주기간이 길어질수록 한국적 주거 특성상 전세 또는 자가의 형태로 거주할 가능성이 높아지고, 이에 따라 이사할 의향이 자연스럽게 감소할 수 있기 때문이다.

가구주 연령 변수의 경우 비고령 가구에 비해 예비 고령가구, 고령가구 모두 주거 이동 의사에 부(-)의 영향이 있는 것으로 추정되어 비고령 가구에 비해 예비 고령가구, 고령가구 모두 주거 이동 의사가 없을 확률이 높으며 고령가구의 가구주 연령은 주거 이동 의사에 통계적으로 매우 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가구주의 연령이 많아질수록 주거 이동이 감소한다는(임미화, 2013; 김진엽, 2023) 연구 결과와 유사하다. 가구주 학력 변수는 고령가구의 주거 이동 의사에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났고 통계적으로 매우 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 교육 수준이

높을수록 주거 이동을 할 확률이 높게 나타난(정의철·이경애, 2013) 연구 결과와 유사하다. 한편 가구원 변수의 경우 주거 이동 의사에 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 가구원 수가 증가할수록 주거 이동 의사가 높아질 것으로 예상되나, 추정치는 0.05 수준에서 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다. 주거환경 특성 변수 중 주택의 점유 형태, 주거환경 만족도, 대중교통 접근 용이성, 치안 및 범죄 방범 상태 변수는 고령가구의 주거 이동계획에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주택의 점유 형태 변수는 부(-)의 영향이 있는 것으로 추정되어 점유형태에 따라 주거 이동 의사가 감소하는 것으로 나타났고, 통계적으로 매우 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 최열·김형준(2012)의 연구에서 자가 가구가 주거 이동 의사가 낮다는 점과 일치한다. 대중교통 접근 용이성의 변수는 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 대중교통 접근 용이성이 높을수록 주거 이동 의사가 증가할 것으로 예상되나 추정치는 0.05. 수준으로 주거 이동 의사에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 치안 및 범죄 방범 상태의 변수는 부(-)의 영향을 미치는 것으로 나타나 치안 및 범죄 방범 상태가 좋을수록 주거 이동 의사가 감소하는 것으로 나타났고, 통계적으로 매우 유의미한 것으로 나타났다. 이는 주거 만족도와 밀접하게 관련된 변수로 강태환(2006)의 연구 결과와도 일치하였다. 경제적 환경 변수에서 국민기초생활보장 급여 수급 가구 해당 여부, 주거비 부담 정도, 총 월 소득 변수는 고령가구의 주거 이동계획에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 국민기초생활보장 급여 수급 가구 변수는 부(-)의 추정치로 국민기초생활보장 급여 수급 가구에 해당하면 주거 이동 의사가 감소하는 것으로 나타났고, 이는 통계적으로 매우 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 주거비 부담 정도의 변수 또한 부(-)의 영향을 미치는 것으로 추정

되어 주거비 부담 정도가 증가할수록 주거 이동 의사가 감소하는 것으로 나타났고 추정치의 신뢰성 및 통계적으로 주거 이동 의사에 유의미한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 총 월 소득의 변수에서는 정(+)의 영향으로 추정되어 총 월 소득이 증가할수록 주거 이동 의사도 증가하는 것으로 나타났고, 표준 오차가 매우 작게 나타나 추정치의 신뢰성은 매우 높고 p 값이 매우 작으므로 통계적으로 매우 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 한편 부동산 자산 변수는 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

주거 이동 의사가 있는 고령가구를 대상으로 한 주거 이동 계획 지역 결정요인 분석 결과는 다음과 같다. 가구 환경 특성 중 고령가구의 주거 이동 계획 지역에 유의미한 영향을 미치는 변수는 거주기간, 가구주 연령 및 학력 변수인 것으로 나타났다. 가구주 연령에서 예비 고령가구보다 고령가구에서 통계적으로 유의미한 결과를 나타냈고, 이러한 결과는 거주기간이 길수록 고령가구일수록 가구주 학력이 높을수록 주거 이동 의사가 있어도 현재 살고 있는 지역 내에 머물고자 한다는 것을 나타내는 결과이다. 주거 특성 중에서는 주택점유 형태가 가장 큰 영향을 미치는 변수로 나타났다. 이러한 변수의 중요성을 고려할 때, 주택점유 형태에 따른 고령가구 주거 정책 마련이 가장 시급한 과제라고 할 수 있다. 자가주택을 소유하지 않은 가구는 주거 이동 의사를 가질 확률이 높으며, 주거 이동 의사가 있을 때는 지역 외로 이동할 확률이 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상이 자발적 이동인지 비자발적 이동인지에 관해서는 추가 연구가 필요하다. 비자발적 이동일 경우 고령가구의 주거 연속성을 확보하기 위한 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. 또한 주거환경 만족도와 치안 및 범죄 방범 상태 변수가 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 현재 살고 있는 주거지역에 대한 주거환경 만족도와 치안 및 범죄 방범 상태 변수가 때

우 유의미한 결과로 나타났다. 이 결과는 주거 이동 의사가 있는 경우에도 현재의 지역에서 연속적인 거주를 하고자 하는 것으로 추정할 수 있다. 한편 경제적 특성 변수 중에서는 총 월 소득이 정(+)의 영향을 미치는 것으로 나타나 고령가구의 경우 총 월 소득이 높을수록 현재 살고 있는 지역에서 벗어날 확률이 높은 것으로 추정되었다.

또한 Table 4와 같이 본 연구의 핵심 변수인 거주기간이 주거 이동 의사에 미치는 영향을 보다 심층적으로 분석하기 위해 거주기간과 각 독립변수 간의 상호작용 항(Effect Of Interaction Terms)을 포함한 이변량 프로빗 모형을 추가로 분석하였다. 이 분석의 목적은 거주기간이 주거 이동 의사에 미치는 영향에서 고령가구의 연령대, 주택 유형, 주거비 부담 수준 등과 같은 요인들에 따라 차별화되는지를 평가하는 데 있다.

분석 결과 대부분의 상호작용 항에서는 통계적으로 유의미한 결과를 확인하지 못했지만, 거주기간과 주택점유 형태의 상호작용 항에서는 유의미한 결과가 도출되었다. 구체적으로 거주기간이 길고 주택점유 형태가 자가인 경우 주거 이동 의사가 더욱 감소하는 경향을 보였다. 이는 자가주택에 오래 거주한 고령가구의 경우 주거 안정성과 익숙함이 주거 이동 의사를 억제하는 주요 요인으로 작용할 수 있음을 시사한다. 그러나 이러한 상호작용 항은 주거 이동 계획 지역에는 유의미한 영향을 미치지 않았으며, 이는 주택점유 형태와 관계없이 주거 이동 지역 선택에는 거주기간이 큰 영향을 미치지 않음을 의미한다.

이와 같은 분석 결과는 거주기간이 주거 이동 선택에 미치는 영향에서 주택유형별로 차별화될 수 있음을 시사하며, 주택점유 형태가 자가인 고령가구의 경우 주거 안정성에 대한 고려가 주거 이동 의사를 크게 감소시킬 수 있음을 보여준다. 반면 연령대별 차별화나 주거비 부담 수준에 따른 차별화는 확인되

**Table 4.** Analysis of Interaction Term Effects

Variable		Intention to Move Housing among Elderly Households (N=17,718)				Residential Movement Planning Area for Elderly Households (N=1,807)			
		Est.	S.E.	z	P-value	Est.	S.E.	z	P-value
Household Characteristics	Period of Residence	-0.007**	0.003	-2.380	0.017	-0.004**	0.006	-0.630	0.025
	Age of Head of Household								
	Elderly Household	-0.299***	0.047	-6.300	0.000	0.064**	0.095	0.680	0.049
	Pre-Elderly Households	-0.183***	0.039	-4.650	0.000	0.049*	0.081	0.600	0.054
	Gender of Head of Household	0.060	0.039	1.550	0.122	0.014	0.079	0.170	0.862
	Head of Household Education	0.087**	0.035	2.500	0.013	0.122*	0.071	1.730	0.083
	Number of Household Members	0.028*	0.016	1.810	0.071	-0.038	0.034	-1.120	0.264
Residential Characteristics	Housing Type	-0.042	0.032	-1.330	0.185	0.080	0.065	1.240	0.213
	Type of Housing Occupancy	-0.797***	0.041	-19.520	0.000	-0.620***	0.084	-7.420	0.000
	Satisfaction with Residential Environment	-0.180***	0.040	-4.490	0.000	-0.125***	0.080	-1.570	0.117
	Easy Access to Public Transportation	0.079*	0.042	1.910	0.056	0.108	0.087	1.240	0.213
	Public Security and Crime Prevention Status	-0.213***	0.044	-4.870	0.000	-0.227***	0.085	-2.660	0.008
Economic Characteristics	Households Receiving National Basic Livelihood Security Benefits	-0.321***	0.083	-3.860	0.000	-5.509	0.568	0.000	1.000
	Housing Cost Burden	-0.063**	0.029	-2.150	0.032	-0.071	0.059	-1.220	0.223
	Gross Monthly Income	0.001***	0.000	7.420	0.000	0.001***	0.000	3.260	0.001
	Real Estate Assets	0.001	0.000	1.050	0.292	0.000	0.000	0.390	0.694
Period of Residence*		0.013**	0.006	2.370	0.018	0.010	0.012	0.850	0.395
Type of Housing Occupancy									
Constant		-0.841***	0.068	-12.090	0.000	-2.009***	0.136	-14.260	0.000
AthRho		2.526**	5.369	0.470	0.642				
Rho		0.987***	0.164						

Note.: \*p&lt;0.1, \*\*p&lt;0.05, \*\*\*p&lt;0.01

지 않았으며, 이는 거주기간의 영향력이 이러한 요인들에 의해 크게 달라지지 않음을 의미한다.

정책적 함의로는 자가 거주 고령가구의 주거 안정성을 높이기 위해서는 주택 내 생활 편의성을 강화하거나 지역 사회의 서비스를 확충하는 것이 중요할 수 있다. 또한 거주기간이 긴 자가주택 소유 고령가

구를 대상으로 한 주거 이동 관련 정책은 이들의 이동 의사를 고려한 맞춤형 지원 프로그램이 필요할 수 있다. 이러한 정책적 접근은 고령자의 주거 이동 의사 결정에 더 현실적이고 개인화된 지원을 제공함으로써, 주거 안정성을 유지하면서도 필요 시 원활한 주거 이동을 도모할 수 있을 것이다.



## 5. 결 론

우리나라의 65세 이상 고령인구 중 수도권에 거주하는 고령인구는 약 44.10%이다. 2050년에는 48.7%까지 증가할 것으로 전망되고 있어 정책적 수요 역시 증가하는 추세로 고령가구를 위한 주거정책 수립이 시급하다. 본 연구는 2021년 주거 실태 조사 자료를 활용하여 수도권에 거주하는 고령가구의 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역 결정요인을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 주거 이동 의사와 이에 따른 주거 이동 계획 지역(지역 내 이동, 지역 간 이동)의 선택은 일련의 과정을 통해 결정된다. 이 과정에서 발생할 수 있는 표본 선택성 문제를 해결하기 위해 표본 선택 이변량 프로빗 모형(Bivariate Probit Model with Sample Selection)을 활용하였다.

본 연구에서 살펴보고자 했던 고령가구의 거주기간이 주거 이동 선택에 미치는 영향은 가구 특성 변수 중 고령가구의 거주기간이 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역과 부(-)의 관계가 있는 것으로 나타나 거주기간이 길어질수록 주거 이동 의사가 없을 확률이 높고, 주거 이동 의사가 있는 고령가구이더라도 지역 내에서 이동할 확률이 높은 것으로 추정되었다.

거주기간이 길어질수록 주거 이동 의사가 감소한다는 것은 고령가구가 오랜 기간 머문 지역에 대한 애착과 안정성을 중시한다는 것을 의미한다. 이는 고령인구가 급격한 변화를 두려워하기 때문에 한 지역에 오래 거주하면서 익숙해진 환경에 편안함을 느끼고 이와 같은 심리적 안정감이 앞으로의 계속 거주에도 긍정적 영향을 미친다는 기존 연구(성수연, 2022)결과와도 맥락을 같이 한다. 가구주 연령 또한 고령가구일수록 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역에 부(-)의 관계가 있는 것으로 나타났다. 즉 주거 이동 계획이 있는 경우에도 지역 내 이동할 확률이 높은 것으로 분석되었다. 가구원 수는 주거 이동

의사에는 유의미한 영향을 미치지 않지만, 주거 이동 계획이 있을 때 이동 지역 선택에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 한편 가구주의 학력은 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역에 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다. 고령가구의 가구 특성은 대부분 자연적으로 형성된 것이므로 이를 기반으로 한 주거정책 수립에는 한계가 있을 수 있으나 수도권 고령가구에 대한 특성을 반영하는 데에는 시사점이 있을 것으로 판단된다. 고령가구의 주거 특성 중 주택점유 형태는 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역 모두에 유의미한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 자가에 거주하는 고령가구는 주거 이동 의사가 없을 확률이 높으며, 주거 이동 의사가 있는 자가 거주 고령가구는 현재 거주 지역 내에서 이동할 가능성이 높은 것으로 나타났다. 또한 주거환경 만족도 및 치안 및 범죄 방법 상태 변수에서는 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역 모두 부(-)의 영향이 있는 것으로 나타나 현재 거주하고 있는 거주지에 대한 만족도가 높을수록 주거 이동 의사가 없고, 주거 이동 의사가 있는 경우 지역 내에서 이동할 확률이 큰 것으로 나타났다. 경제적 특성 변수 중에서 주거 이동 의사와 주거 이동 계획 지역에 가장 큰 영향을 미치는 변수로 총 월 소득이 도출되었고, 국민기초생활보장 급여 수급 가구 및 주거비 부담 정도의 변수는 모두 부(-)의 영향을 주는 것으로 나타났다. 이 같은 결과에 따라 고령가구의 소득과 계층(국민기초생활보장 급여 수급 가구), 주거비 부담 특성을 고려한 주거비 지원 정책 또한 요구된다.

초고령사회를 앞둔 현실점에서 고령가구에 대한 인식의 변화가 선제적으로 이루어져야 할 과제이며 고령가구가 현재 살고 있는 지역 사회 내에서 편안하고 안전하게 살아갈 수 있도록 하는 것이 고령가구의 삶의 질을 높일 수 있다.

본 연구는 수도권 고령가구를 대상으로 거주기간에 따른 주거 이동 선택 요인을 분석하였으나, 이 결

과가 비수도권 고령자나 다른 연령대에서도 유사하게 나타날 가능성이 있다. 수도권 고령가구에서 나타난 주거 이동 패턴이 비수도권 고령가구 혹은 비고령 가구와 차이가 있는지를 확인하는 추가 연구가 필요하다. 이러한 비교 연구는 주거정책 수립 시 지역적 차이와 연령별 특성을 더 정밀하게 반영할 수 있는 중요한 기초자료를 제공할 것이므로 향후 수도권과 비수도권, 다양한 연령대 간의 주거 이동 의사와 패턴을 비교 분석하여 보다 다양한 정책적 요구를 세분화한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 강태환(2006), “기성시가지 내에 아파트 거주민의 주거 이동 의향에 관한 연구”, 『부동산학 연구』, 12(2): 51~60.
- 김도연(2011) “노인가구의 주거 이동을 통한 주택 환경의 변화”, 석사학위논문, 서울대학교.
- 김도연·김현철·진정(2012) “농촌지역 노인가구 구성원의 특성에 관한 연구”, 『대한건축학회』, 14(3): 83~94.
- 김용진(2012), “도시 노인의 삶의 질 증진을 위한 근린 환경 요소: 자립적 생활 능력과 사회적 지지를 중심으로”, 박사학위논문, 서울대학교.
- 김진엽(2023), “자녀와의 교류가 노인 주거 이동에 미치는 영향분석”, 『LHI Journal』, 14(2): 1~17.
- 김태현(2008), “서울시 내 주거 이동의 시·공간적 특성: 수도권 거주 가구의 주택 거주기간을 고려하여”, 박사학위논문, 서울대학교.
- 김혜원(2009) “노년층의 자녀 동거 여부와 거주지 이동의 관계: 이동 방향을 중심으로”, 석사학위논문, 한양대학교.
- 박종훈(2019), “주택의 사회·경제적 함의: 투기적 수요, 소유·점유 불일치, 주거격차”, 박사학위논문, 서울대학교.
- 성수연(2022), “고령인구 밀집 지역의 사회 공간적 특성과 계속 거주 영향 요인 분석: 서울시를 사례로”, 박사학위논문, 서울시립대학교.
- 이승권(2011), “노년기 주거 이동과 주거환경 선택 요인”, 박사학위논문, 강원대학교.
- 이창효·이승일(2012), “가구 구성원 변화에 따른 주거 이동의 영향 요인 분석: 수도권 거주 가구의 주택 거주기간을 고려하여”, 『국토계획』, 47(4): 205~217.
- 이희진·이연숙·이수진(2010), “환경적 지원성과 활동적 노인의 총체적 건강 간의 관계에 대한 질적 사례 연구”, 『한국 주거학회』, 21(2): 77~86.
- 임미화(2013), “패널자료를 이용한 가구주 연령별 주거 이동 발생 요인”, 『부동산연구』, 23(2): 79~94.
- 임미화(2019), “수도권 가구의 비수도권으로 주거 이동계획에 미치는 영향 요인에 관한 연구, 『주택연구』, 27(2): 117~134.
- 정의철·이경애(2013), “고연령 소유가구의 주거 이동 및 주택점유 형태 결정요인 분석, 『주택연구』, 27(2): 51~53.
- 최열·김형준(2012), “수도권 및 비수도권의 주거 이동 결정요인 비교분석”, 『국토계획』, 47(4): 219~231.
- 최열·최진아·김지현(2007), “노인 주거 이주 및 입지 결정요인 분석”, 『부동산학회』, 29: 12~22.
- 최영석(2012), “주거 이동으로 인한 정주 환경 변화가 노인의 건강에 미치는 영향”, 석사학위논문, 명지대학교.
- 최효비·최열(2022), “이변량 프로빗 모형을 활용한 노인가구의 주거 이동 의사 결정요인 분석: 부산·울산·경남 노인가구를 대상으로”, 『부동산분석』, 8(2): 75~94.
- 통계청(2021), “고령자 통계”, 세종.
- 통계청(2023a), “국내 인구이동통계”, 세종.
- 통계청(2023b), “장래인구추계”, 세종.
- 황선혜·이연숙·윤혜경(2010), “베이비붐 세대의 은퇴 후 주거 이동계획 패턴 연구”, 『한국생태환경건축학회』, 10(5): 101~166.
- Kaplan, D. and R. L. Venzky (1994), “Literacy and Voting Behavior: A Bivariate Probit Model with Sample Selection”, *Social Science Research*, 23(4): 350~367.
- Maddala, G. S. (1983), *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- 국토교통부, “2021, 주거실태조사”, 2023.10.21. 읽음. <https://mdis.kostat.go.kr/dwnSvc/ofrSurvSearch>.

do?curMenuNo=UI\_POR\_P9240.

11.7c 읽음. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B08024&conn_path=12)

27. 통계청, “인구밀도(인구주택총조사기준): 시도”, 2023.

orgId=101&tblId=DT\_1B08024&conn\_path=12.

## 요 약

2025년 초고령사회가 임박한 시점에서 우리나라의 65세 이상 고령인구 중 수도권에 거주하는 고령인구는 약 44.10%이다. 2050년에는 48.7%까지 증가할 것으로 전망되고 있어 정책적 수요 역시 증가하는 추세로 고령 가구를 위한 주거정책 수립이 시급하다. 특히 본 연구에서는 수도권 고령가구의 거주기간이 주거 이동 선택에 미치는 영향을 살펴보고자 했으며 이에 따른 고령가구의 특성을 파악하여 정책적 시사점을 도출하고자 하였다. 연구 결과에 따르면 수도권 고령가구의 경우 현 거주지역에서 거주기간이 길수록 주거 이동 의사가 없고, 더 나아가 주거 이동 의사가 있는 경우라고 하더라도 지역 내 이동을 결정하는 것으로 나타났다. 특히, 주택의 점유 형태가 자가인 경우 거주기간이 길수록 주거 이동 의사가 더욱 감소하는 것으로 나타나 주거 안정성이 고령가구의 삶의 질에 중요한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 선행연구 및 본 연구에서도 고령가구의 주거 이동은 거주기간 및 주거환경 만족도와 밀접한 영향이 있다고 판단되며 향후 고령가구의 주거와 관련된 정책 마련 시 고려해야 한다고 판단된다.

**주제어:** 초고령사회, 주거 이동, AIP, 표본 선택 이변량 프로빗



## 자연보전권역의 입지규제가 산업입지 분포에 미치는 영향

## The Regulation Effects of the Nature Preservation Region on the Distribution of Industrial Sites

박성구\* · 이창수\*\* · 변국일\*\*\*

Sung-Koo Park\* · Chang-Soo Lee\*\* · Goog-Il Byun\*\*\*

## Abstract

This study examined various industrial location regulation policies applied to the metropolitan 'nature preservation region' and analyzed the impact of regulations in each region on the creation of planned industrial locations (via binary logistic analysis). Secondly, the characteristics of industrial location distribution by region were analyzed (via multiple regression analysis). As a result of the analysis, the probability of a factory being located in an industrial complex was 74.9% lower in the 'nature preservation region' than in the 'growth management region', and 90.5% lower in the 'special measures area (zone II)' than in areas outside the 'special measures area'. The industrial location in the 'nature preservation region' shows a stronger pattern than other regions, in terms of the individual location of medium-sized enterprises and type 4 and 5 small-scale wastewater discharge facilities in non-urban areas. In fact, the nature preservation region has been maintained for 40 years to preserve water quality and the environment. An abnormal industrial structure was formed with a ratio of factories outside the industrial complex, reaching 98.5% in 2020. This study is significant as it analyzed the characteristics of planned locations in depth, using 30,393 factories in Gyeonggi Province. Lastly, to effectively manage the environment for water quality within the 'nature preservation' region and secure industrial competitiveness, we must urgently establish a policy to expand industrial complexes that treat wastewater while suppressing the proliferation of small-scale factories.

**Keywords:** Nature Preservation Region, Site Regulations, Industrial Sites, Binary Logistic Analysis

## 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

「대한민국헌법」 제122조(대한민국정부, 1988)에 따르면, '국가는 국민 모두의 생산 및 생활의 기반이 되는 국토의 효율적이고 균형있는 이용·개발과 보전을 위하여 법률이 정하는 바에 의하여 그에 관한

필요한 제한과 의무를 과할 수 있다'고 규정하고 있다. 이에 국토 및 도시 관련 법률은 구체적인 정책 목적을 달성하기 위해 권역·지역·구역 등을 지정하고 그에 따라 적절한 규제 수단을 활용하여 토지이용을 규제하고 있다.

본 연구에서 다루고자 하는 자연보전권역 입지규제의 유형은 첫째, 균형발전을 위한 수도권규제, 둘

\*국무조정실 규제혁신추진단 전문위원(주저자: likewind123@naver.com)

\*\*가천대학교 도시계획·조경학부 교수

\*\*\*광주광역시 도시계획상임기획단 단장(교신저자: wkdb2006@korea.kr)

째, 체계적인 토지이용을 위한 용도지역규제, 셋째, 팔당상수원 보전을 위한 수질환경규제로 구분할 수 있다. 수도권 산업입지 시책의 변화를 보면, 1960년대는 국가경제 재건을 위한 산업기반 조성과 더불어 국토의 균형적 발전 시책(대도시 인구집중 방지책)을 수립하였으며, 1970년대의 수도권집중 억제 필요의 대두에 따른 공장입지 규제제도 도입(수도권 인구의 과밀집중억제에 관한 기본지침), 1980년대의 「수도권정비계획법」에 의한 직접 규제에 이어 1990년대 이후에는 간접규제(공장총량제, 과밀부담금 등)의 산업입지 정책을 추진해왔다(박현주·김광익, 1997). 또한, 2020년 「제4차 수도권정비계획(2020~2040)」이 발표되며 수도권 인구, 산업의 재배치 및 권역에 대한 논의를 통해 수도권의 과밀을 완화하고 지역균형 발전을 위한 20년 장기계획을 발표하였다(임재빈·정기성, 2021). 국토관리체계에도 큰 변화가 있었다. 준농림지역과 준도시지역을 중심으로 국토의 난개발 문제가 대두되면서 1960년대 이후 도입된 「도시계획법」과 「국토이용관리법」을 폐지하고 「선계획-후개발 체제」에 의한 토지의 이용 및 관리체제를 구축하기 위하여 2003년 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률(이하 「국토계획법」)」을 제정하였다. 한편, 수도권의 상수원인 팔당호의 수질 개선을 위해 1975년 상수원보호구역(이하 「상수원보호구역」)을 지정하고 1984년에 「수도권정비기본계획」 고시에 따라 한강수계의 수질과 녹지 등 자연환경을 보전하는 것을 목적으로 「자연보전권역」을 지정하게 되었다. 1990년대부터는 본격적인 환경기초시설의 투자와 함께 상수원 보호를 강화하기 위하여 특별대책지역('90), 수변구역('99), 배출시설설치제한지역('03), 공장설립제한지역('10)을 차례로 지정하였다.

그러나 이 같은 다양한 토지이용규제의 도입에도

불구하고 2020년 현재, 자연보전권역에서는 개별입지 공장이 전체의 98.5%(경기도청, 2020)에 이르고 있다. 산업입지 중 개별입지는 계획적 통제 및 관리가 상대적으로 어려워 난개발과 함께 환경오염의 심화가 우려되며(박상우·박영철, 1998), 산업단지에 비해 집단적인 오염처리시설에 대한 기준이 없이 개별공장이 환경기준에 따라 처리하도록 하고 있고, 건축기준을 충족할 경우 주변 토지이용 여부나 인접 토지 사용자 의견수렴 없이 건축허가와 공장설립이 가능해 다양한 문제를 발생시킨다(강호제 외, 2020).

공장설립<sup>1)</sup>과 관련된 규제 법제는 매우 광범위한 법령에 분포하면서 각 법령 간의 상호작용을 통하여 포괄적인 입법적 규제를 형성하고 있으므로 단순히 하나의 법률에 나타난 규제의 분석이나 평가를 통하여서는 그 성과를 기대하기 어렵다(강현철·차현숙, 2008). 그동안 자연보전권역에 대한 다수의 선행연구들은 주로 권역 내 개별입지 공장의 과다한 비중 에 근거하여 제도적인 문제점을 인식할 뿐, 입지정책에 대한 평가에는 부족한 부분이 있다. 따라서 자연보전권역 내 「계획입지 활성화」를 산업입지정책의 목표라고 가정한다면, 자연보전권역 내 규제수단들이 산업입지 분포에 각각 어떠한 영향을 미치고 있는지 분석해 볼 필요가 있다.

본 연구는 “자연보전권역의 복합적인 입지규제가 「제5차 국토종합계획」 및 「제4차 수도권정비계획」의 목표인 「개별입지 억제 및 계획입지 활성화」의 실현에 장애가 됨으로써 오히려 자연보전권역 지정목적의 달성을 어렵게 할 수 있다”는 가설을 바탕으로 진행하였다.

이에 본 연구는 자연보전권역 안에서 적용되는 다양한 산업입지규제가 해당 지역의 계획입지 또는 개별입지의 분포에 미치는 영향을 실증적으로 분석하

1) 공장설립이란, 공장을 신설 또는 증설하는 것을 말함. 신설은 건축물을 신축(공작물 포함)하거나 기존 건축물의 용도를 공장용도로 변경하여 제조시설등을 설치하는 것을 말하며, 증설은 등록된 공장의 공장건축면적 또는 공장부지면적을 넓히는 것을 말함(산업통상자원부, 2024b)



고, 자연보전권역의 입지정책 목표를 달성하기 위해서 개선되어야 할 점들은 무엇인지, 그 시사점을 도출하고자 한다.

## 1.2 연구 내용 및 방법

연구의 공간적 범위는 경기도 전체로 설정하였다. 경기도는 수도권 전체면적의 85.9%<sup>2)</sup>를 차지하고 있으며, 서울특별시와 인천광역시와 달리, 3가지의 수도권 정비권역(과밀억제·성장관리·자연보전)을 모두 포함하고 있다. 또한, 팔당 상수원을 중심으로 한강수계 상·하류 지역의 특성을 모두 포함하고 있어 지역별 산업입지 분포를 비교하기에 효과적이다. 시간적 범위는 「제3차수도권정비계획(2006~2020)」의 종료 시점인 2020년을 기준으로 설정하였다.

내용적 범위는 수도권의 산업입지규제에 관한 문헌 고찰과 산업입지 특성분석으로 구분된다. 먼저, 문헌 고찰에서는 토지이용규제 및 산업입지에 대한 이론을 정리하고 자연보전권역의 규제법제를 검토하였으며, 선행연구 검토를 통해 본 연구의 차별성을 제시하였다. 분석에서는 경기도 공장별 입지유형과 규모, 입지규제를 지표화하여 다양한 회귀분석을 통해 지역별 산업입지 분포의 특성을 분석하였다.

## 2. 문헌 고찰

### 2.1 토지이용규제 개념

대부분의 공장들은 원자재 및 판매시장과의 접근, 노동력의 확보용이, 집적이익 등 입지적 능률성을 만족시키기 위하여 대도시지역에 입지하려는 성향이 강하다. 따라서 산업입지정책의 우선적인 의의는 기업의 경제성을 극대화할 수 있도록 기업이 요구하는 공장부지를 공급하는 것이라 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 생산요소로서의 기능, 즉 산업생산의

효율성을 높이는 한편, 그 과정에서 발생하는 도시환경의 악화문제와 지역간 개발격차문제를 해결하기 위해 산업입지정책의 필요성이 제기된다(진영환·조혜영, 1991).

토지이용규제란 공공개입의 한 유형으로서 개별 토지이용자의 토지이용행위를 사회적으로 바람직한 방향으로 유도하기 위하여 법적·행정적 조치에 의거하여 구속하고 제한하는 방법들을 총칭하는 것이며, 주로 토지이용과 결부된 바람직스럽지 못한 외부효과를 방지하는데 역점을 둬으로써 토지이용의 효율에 기여한다(김성배·서순탁, 1992).

즉, 기업이 이윤을 극대화하기 위하여 산업입지를 선택하고 토지를 개발하는 이 과정에서 야기될 수 있는 사회문제를 해결하고 산업생산의 효율성을 높이기 위하여 공공은 입지규제를 포함한 산업입지정책을 수립하는 것이다.

### 2.2 산업입지 개념

산업입지란 작게는 산업생산에 필요한 토지, 즉, 공업용지를 의미하기도 하나, 공업용지가 단순하게 생산에 필요한 토지만을 의미하는 데 비해 산업입지는 토지의 공간적 위치도 포함하는 개념이다(진영환·조혜영, 1991). 현재 이에 대한 법률적 정의는 명확히 이루어지지 않았다. 다만, 산업단지에 입지는 경우를 제외한 공장입지를 개별입지로 보는 정의가 가장 보편적으로 사용된다(강호제 외, 2020).

산업통상자원부는 계획입지를 「산업입지 및 개발에 관한 법률(이하 ‘산업입지법’)」에 따른 산업단지로서 국가산업단지, 일반산업단지, 도시첨단산업단지 및 농공단지, 「외국인투자촉진법」에 따른 외국인투자지역, 「자유무역지역의 지정 및 운영에 관한 법률」에 따른 자유무역지역 내 공장용지로, 개별입지는 계획입지를 제외한 모든 공장입지로 각각 설명하

2) “2023 지적통계”(서울 605.2km<sup>2</sup>, 인천 1,065.2 km<sup>2</sup>, 경기 10,195.3km<sup>2</sup>)에 따라 산출(통계청, 2024).

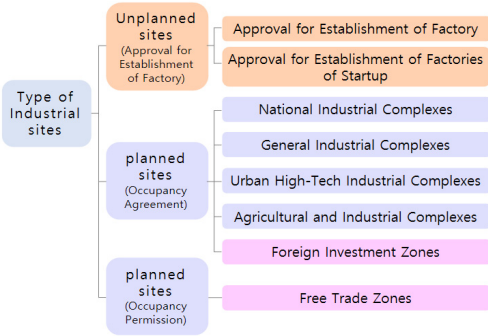


Fig. 1. Type of Industrial Sites

Source: Korea Industrial Complex Corporation (2021) (in Korean)

고 있다(한국산업단지공단, 2021). 이러한 구분 기준은 공장설립 승인 방식에 따른 것으로서 Fig. 1과 같이, 사업자가 이미 조성한 단지 내 용지를 실수요자에게 분양(임주 계약 또는 허가)함으로써 공장설립이 승인되는 것을 계획입지로, 기업이 공장용지를 매입하여 공장설립에 관한 인·허가를 개별적으로 승인 받아 조성하는 것을 개별입지로 구분한다.

한편 국토교통부에서 산업입지를 구분하는 방법은 다소 차이가 있다. 역대 「수도권정비계획(2~4차)」에서는 산업입지를 3가지로 구분하며 첫째, 「산업입지법」에 따른 산업단지, 둘째, 산업단지 외 공업지역<sup>3)</sup>, 셋째, 산업단지와 공업지역을 제외한 모든 지역 내 개별입지로 구분한다. 공업지역은 지구단위계획수립을 통해 기반시설을 공급한다는 점에서 산업단지와 유사점이 있다. 그러나 ‘산업단지관리기본계획’을 통해 입주공장의 업종과 배치를 사전에 종합적으로 계획하고 지속적으로 관리하는 산업단지와 달리, 기업의 의사에 따라 용도지역 상 가능한 건축제한(업종) 및 건축밀도(용적률·건폐율) 범위 안에서 공장설립이 자유롭다는 점에서는 개별입지와 유사하다. 즉 계획입지와 개별입지의 차이점을 기반시

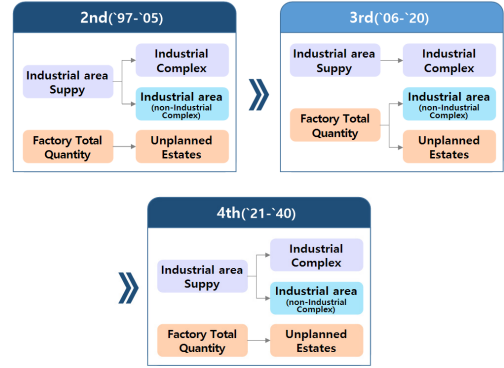


Fig. 2. Changes in Industrial Sites Supply Policy According to ‘Seoul Metropolitan Area Readjustment Plans’

Source: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (1997, 2006, 2020) (in Korean)

설의 공급 정도에 두고 있으며, Fig. 2와 같이 공업지역(산업단지 외)을 계획입지 또는 개별입지로 구분하지 않고 시기별 수도권 정비의 정책목표에 따라 별도의 입지규제방식을 유연하게 적용하고 있다.

「제3차 수도권정비계획(1996~2020)」 시기에 국토교통부는 3년 단위로 「산업단지 공급계획」을 수립하여 수도권의 산업단지 공급물량을 제한하였으며, 같은 기간 동안 산업단지 외 모든 공장에 대해서는 「수도권 공장건축 총허용량 고시」를 통해 제조시설면적의 공급물량을 제한하였다. 즉 산업입지의 관리 측면에서 산업단지는 계획입지로, 그 밖의 모든 공장용지는 개별입지로 구분하였음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서는 연구의 시간적 범위를 2020년으로 설정하였으므로 분석자료(등록공장현황, 2020년)와 「제3차 수도권정비계획(2006~2020)」의 시간적 정합성을 고려하여 계획입지는 산업단지 내 공장입지로, 개별입지는 산업단지를 제외한 공장입지로 구분하였다.

3) (1) 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의해 지정된 공업지역, (2) 같은 법에 따른 도시지역 외 지구단위계획구역 및 개발진흥지구로서 공업용도로 계획되는 면적이 3만m<sup>2</sup> 이상인 것

## 2.3 자연보전권역 내 산업입지규제 법제현황

Table 1 및 Table 2에 따라 자연보전권역 내 주요 입지규제 법률은 「국토계획법」, 「개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법」, 「산업집적 활성화 및 공장설립에 관한 법률(이하 ‘산업집적법’）」, 「산업

입지 및 개발에 관한 법률(이하 ‘산업입지법’）」, 「수도법」, 「환경정책기본법」, 「물환경보전법」 등이 있으며, 특히 수도권에서만 적용되는 「수도권정비계획법」, 「한강수계 상수원수질개선 및 주민지원 등에 관한 법률(이하 ‘한강수계법’）」이 있다.

**Table 1.** The Major Industrial Location Regulations According to Land Use Laws in Seoul Metropolitan Area

Category	Laws	Methods	Contents
Over Concentration Region	Seoul Metropolitan Area Readjustment Planning Act	Total amount Limit	Restrict the total mount of new and expanded factory construction area by 3 cities and provinces in Seoul metropolitan area
	Industrial Cluster Development and Factory Establishment Act	Area Limit	Restrict the area of a factory based on the size, location, and industry of the factory (Provided, a factory established in industrial complexes shall be excluded herefrom)
Growth Management Region	Seoul Metropolitan Area Readjustment Planning Act	Total amount Limit	Restrict the total mount of new and expanded factory construction area by 3 cities and provinces in Seoul metropolitan area
	Industrial Cluster Development and Factory Establishment Act	Area Limit	Restrict the area of a factory based on the size, location, and industry of the factory (Provided, a factory established in industrial complexes shall be excluded herefrom)
Nature Preservation Region	Seoul Metropolitan Area Readjustment Planning Act	Area Limit	Restrict the area of a factory(a industrial complexes) to 60,000 m <sup>2</sup> or less
		Total amount Limit	Restrict the total mount of new and expanded factory construction area by 3 cities and provinces in Seoul metropolitan area
	Industrial Cluster Development and Factory Establishment Act	Development Limit	Restrict the total area of all factories development in conjunction to 60,000 m <sup>2</sup> or less
		Area Limit	Restrict the area of a factory based on the size, location, and industry of the factory
Development Restriction Zone	Act on Special Measures for Designation and Management of Development Restriction Zones	All	Unable
Special Purpose Area	National Land Planning and Utilization Act	Industry Limit Density Limit	Restrict on the industry, building-to-land ratio and floor area ratio by special purpose areas - (Unable) exclusive residential, circulative commercial, green conservation, conservation control, and natural environment conservation area - (Limited allowed) general residential, commercial, green natural, green production, production control, and planned control, agricultural and forestry area - (Fully allowed) industrial area

**Table 2.** The Major Industrial Location Regulation According to Environmental Laws in Seoul Metropolitan Area

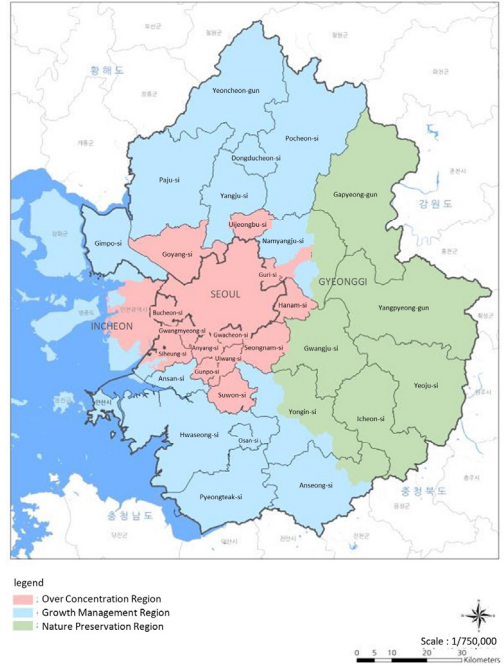
Category	Laws	Methods	Contents
Water Source Protection Area	Water Supply and Waterworks Installation Act	All	Unable
Factory Establishment Restriction Region		All	Unable
Reparian Zone	Act on the Improvement of Water Quality and Support for Residents of the Han River Basin	All	Unable
Special Measures Area	Framework Act on Environmental Policy	Industry Limit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prohibit wastewater discharge facilities larger than 200 m<sup>3</sup>/day</li> <li>• Prohibit development of facilities that emit specific noxious substances</li> </ul>
		Development Limit of Industrial Complexes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrictions on the creation of industrial complexes (industrial areas) in agricultural site (production green areas, production management areas, agricultural and forestry areas) and conservation site (natural environment conservation areas)</li> <li>• Companies moving into new industrial complexes are limited to existing factories (prohibition on change of industry) within the same special zone</li> <li>• Prohibition on relocation of individual factories in Zone II to industrial complexes in Zone I</li> </ul>
		Industry Limit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrict wastewater discharge facilities larger than 200m<sup>3</sup>/day (Provided, a facilities that send wastewater to public disposal facilities shall be excluded herefrom)</li> <li>• Restrict development of facilities that emit specific noxious substances (Provided, a facilities that send wastewater to public disposal facilities shall be excluded herefrom)</li> </ul>
		Development Limit of Industrial Complexes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrictions on the creation of industrial complexes (industrial areas) in agricultural site (production green areas, production management areas, agricultural and forestry areas) and conservation site (natural environment conservation areas)</li> <li>• Companies moving into new industrial complexes are limited to existing factories (prohibition on change of industry) within the same special zone</li> </ul>
Discharging Facility Installation Restriction Area	Water Environment Conservation Act	Industry Limit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restrict development of facilities that emit specific noxious substances (Provided, a facilities that send wastewater to public disposal facilities shall be excluded herefrom)</li> </ul>

### 2.3.1 토지이용법제 관련

우리나라 국토이용의 기본체제는 「국토계획법」에 의한 용도지역제이다. 용도지역은 전 국토를 대상으로 크게 도시지역, 관리지역, 농림지역 및 자연환경보전지역으로 구분된다. 용도지역 체계에 따른 공장 건축물에 대한 입지규제(국토교통부, 2024a, 2024c)를 살펴보면, 우선 도시지역의 공업지역에서는 업종과 폐수배출에 대한 제한이 많지 않으며 대부분의 공장 건축물을 허용하고 있다. 주거지역 및 상업지역에서는 전용주거지역과 유통상업지역을 제외한 지역에서 공장 건축물이 허용되나, 식품업(떡·빵·두부), 인쇄업, 기록매체복제업, 봉제업, 세탁업 등 도시적인 업종에 대하여 환경오염물질에 대한 엄격한 기준을 조건으로 한다. 자연녹지지역은 첨단업종, 지식산업센터, 도정공장 및 식품공장 등 일부 업종을 소규모로 허용한다.

한편 비도시지역 내 계획관리지역에서는 폐수배출시설 제5종 사업장<sup>4)</sup>에 한하여 대부분의 공장이 허용되고 있으나, 최근 난개발 방지를 목적으로 ‘성장관리계획’ 및 ‘지구단위계획’을 수립하도록 하고 있다. 농림지역과 생산녹지지역 및 생산관리지역에서는 농산품 생산과 관련된 일부 업종에 한하여 공장 건축물을 허용하되, 개발밀도를 엄격히 제한하고 있다. 끝으로 자연환경보전지역, 보전관리지역, 보전녹지지역에서는 공장의 입지가 금지되어 있다.

「수도권정비계획법」은 수도권을 과밀억제권역, 성장관리권역 및 자연보전권역으로 구분(Fig. 3)하여 공업지역 및 산업단지 개발물량을 제한하며, 개별입지에 대한 공장총량제를 적용(국토교통부, 2023a, 2024b)하고 있다. 특히 자연보전권역에서는 공장용지조성사업 면적을 최대 6만 $\text{m}^2$  이하로 제한하는데, 일단의 개별입지와 산업단지에 대하여 동일한



**Fig. 3.** Regions of Seoul Metropolitan Area  
Source: Gyeonggi-do Province (2021) (in Korean)

면적제한을 적용한다. 즉 산업단지조성사업의 면적이 6만 $\text{m}^2$  이하로 제한되므로 다수의 공장이 집적되어야 하는 산업단지에서 오히려 충분한 공장용지를 확보하기 어려운 문제가 발생한다. 그 밖에도 자연보전권역 내 연접개발제한 규제(국토교통부, 2021)가 적용되고 있다.

「산업집적법」에서는 공장의 제조시설면적을 제한하되, 수도권 정비권역별로 기업규모(대·중소)와 산업입지(산업단지·공업지역·기타지역)에 따라 최대면적을 차등 적용(산업통상자원부, 2024a, 2024c)한다. 즉 중소기업에 비해 대기업에 대한 면적제한이 강하게 적용되며, 산업단지보다 공업지역에서, 공업지역보다 기타지역(공업지역 외)에서 강하게 적용된다. 과밀억제권역과 성장관리권역에서는 산

4) 1년 중 가장 많이 배출한 날을 기준으로 제1종부터 제5종까지 사업장을 구분(제1종: 2,000 $\text{m}^3$ /일 이상, 제2종: 700 $\text{m}^3$ /일 이상 2,000 $\text{m}^3$ /일 미만, 제3종: 200 $\text{m}^3$ /일 이상 700 $\text{m}^3$ /일 미만, 제4종: 50 $\text{m}^3$ /일 이상 200 $\text{m}^3$ /일 미만, 제5종: 50 $\text{m}^3$ /일 미만)(환경부, 2023b).



업단지 안에서 공장의 제조시설면적을 제한하지 않음으로써 계획입지를 유도하고 있다. 반면 자연보전 권역에서는 전반적으로 제조시설면적을 1천m<sup>2</sup> 이하의 소규모로 제한하며, 산업단지에서도 대기업의 제조시설면적을 1천m<sup>2</sup> 이하로 제한하고 있어, 타 권역에 비해 계획입지에 대한 인센티브가 부족한 상황이다. 한편 비폐수배출 공장의 제조시설면적을 제한하지 않는다.

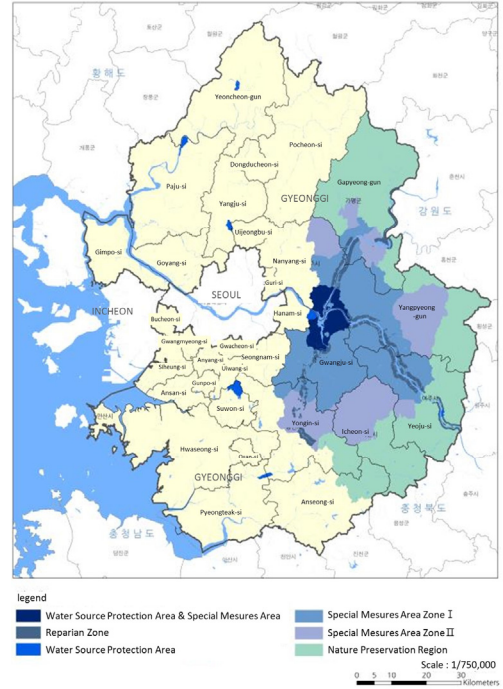
그 밖에 전국에서 유일하게 수도권 및 자연보전권역에서는 산업단지개발사업에 대한 정부의 비용 보조를 제한하고 있다.

끝으로 개발제한구역에서는 공장의 입지를 금지하고 있으나, 구역 지정 전 이미 설치된 공장에 한하여 환경오염물질 배출에 대한 엄격한 기준을 조건으로 증설이 일부 허용(국토교통부, 2023b)되고 있을 뿐 공장설립이 전면 금지되고 있다.

### 2.3.2 수질환경법제 관련

Fig. 4와 같이, 수도권 내 수질환경 보전을 위한 입지규제는 ‘상수원보호구역’을 중심으로 한강수계의 상류지역에 광범위하게 중복적으로 적용되고 있다. 우선 「수도법」에 따라 상수원보호구역 안에서는 공장설립뿐만 아니라 각종 건축물의 입지를 금지하고 있으며, 상수원보호구역의 상류 유하거리 7km 이내에는 ‘공장설립제한지역’을 지정하여 공장의 입지를 금지한다. 또한 한강수계법에 따라 남한강과 북한강의 하천구역 양안 경계로부터 500m 또는 1,000m 이내의 선형지역은 ‘수변구역’으로 지정(환경부, 2024)하여 마찬가지로 공장의 입지를 금지한다.

‘특별대책지역’은 상수원보호구역에 직접적인 영향을 미치는 상류지역에 지정(환경부, 2022b, 2023d)되며, 1일 200m<sup>3</sup> 이상의 폐수를 배출하는 시설을 원



**Fig. 4.** Regions of Pal-Dang Watershed

Source: Gyeonggi-do Province (2021) (in Korean)

칙적으로 금지하고 있으나 환경기초시설의 설치 여부와 폐수의 엄격한 배출농도 기준 및 처리방식에 따라 오염부하량이 작은 시설에 대하여 제한적으로 입지를 허용한다. 단 특별대책지역 내에서도 상수원에 미치는 영향의 정도에 따라 I·II 권역을 구분하여 입지규제의 수준을 차등 적용한다.

또한 특별대책지역에서는 산업단지조성사업을 제한하는데, 입지선정, 사업추진, 입주공장, 환경기초시설 등의 기준 조건이 엄격하게 적용(환경부, 2023c)되고 있어, 개별입지 집단화를 위한 산업단지조성사업은 현실적으로 이루어지지 못하고 있다.

그 밖에 ‘배출시설설치제한지역’을 지정(환경부, 2022b, 2023d)하여 특정수질유해물질 배출시설의 입지를 규제하고 있으며, 폐수 처리방식에 따라 오

5) 국가 또는 지방자치단체는 산업단지개발사업의 공공폐수처리시설의 설치비용을 100%까지 지원할 수 있으나, 수도권(접경지역 제외) 외의 지역에 한함(국토교통부, 2024d).



염부하량이 작은 시설에 대해서는 입지를 일부 허용한다. 해당 규제사항은 특별대책지역과 동일하게 적용되고 있다.

## 2.4 경기도 공장분포 현황

Table 3과 같이 경기도 전체 제조업 공장 50,896개소 중에서 계획입지 공장은 25.5%이며, 개별입지는 74.5%로 나타났다. 자연보전권역의 계획입지 비율은 1.5%(전체 6,542개소 중 95개소)에 불과하며, 과밀억제권역 32.6%(전체 9,375개소 중 3,060개소), 성장관리권역 28.1%(전체 34,979개소 중 9,836개소)에 비해 상대적으로 매우 낮게 분포하고 있다.

자연보전권역 안에서 계획입지의 공장용지면적과 제조시설면적은 각각 2.6%, 4.3%로 나타나, 개소수에 비해 공장규모의 비중은 다소 높다.

공장용지의 평균면적은 경기도 전체 3,114m<sup>2</sup>, 성장관리권역 3,649m<sup>2</sup>, 자연보전권역 3,374m<sup>2</sup>이며, 이

중에서 계획입지 평균면적은 경기도 전체 3,434m<sup>2</sup>, 성장관리권역 4,249m<sup>2</sup>, 자연보전권역 6,018m<sup>2</sup>로서, 공장의 평균규모는 개별입지보다 계획입지에서 다소 크게 나타났으며, 이러한 현상은 제조시설면적에서 더 크게 나타난다.

Table 4의 '자연보전권역 내 특별대책 권역별 공장분포 현황'에 따르면, 자연보전권역 내 공장의 77.6%가 특별대책지역에 입지하고 있으며, I 권역에서 52.5%로 과반수를 넘고 있다. 특별대책지역 내 계획입지 공장은 II 권역에서만 8개소가 입지하고 있으며 특별대책지역 전 지역에서 개별입지가 99.9%에 해당하고 있어, 자연보전권역 안에서도 특별대책지역 내 소규모 개별입지 확산이 심한 것을 알 수 있다. 특히 I 권역의 공장용지 평균면적은 2,197m<sup>2</sup>로 타 지역에 비해 공장의 규모가 매우 작게 분포하고 있었다.

이상의 기술통계 결과 자연보전권역 내에서 팔당

**Table 3.** Distribution of factories by Region in Gyeonggi-do

The Seoul Metropolitan Area	Industrial Sites	Number of Factories	(%)	Area of Factories (1,000m <sup>2</sup> )	(%)	Avg (m <sup>2</sup> )	Manufacturing Facility Area (1,000 m <sup>2</sup> )	(%)	Avg (m <sup>2</sup> )
Gyeonggi-do	Planned Sites	12,991	25.5	44,611.0	28.1	3,434	21,711.2	41.1	1,671
	Unplanned Sites	37,905	74.5	113,869.3	71.9	3,004	31,155.9	58.9	822
	Total	50,896	100.0	158,480.4	100.0	3,114	42,867.1	100.0	1,039
Over Concentration Region	Planned Sites	3,060	32.6	2,250.7	25.6	736	1,711.5	34.2	559
	Unplanned Sites	6,315	67.4	6,534.3	74.4	1,035	3,285.7	65.8	520
	Subtotal	9,375	100.0	8,785.0	100.0	937	4,997.2	100.0	533
	(Subtotal/Total)		18.4		5.5			9.5	
Growth Management Region	Planned Sites	9,836	28.1	41,788.6	32.7	4,249	19,814.5	45.5	2,014
	Unplanned Sites	25,143	71.9	85,833.8	67.3	3,414	23,724.2	54.5	944
	Subtotal	34,979	100.0	127,622.4	100.0	3,649	43,538.7	100.0	1,245
	(Subtotal/Total)		68.7		80.5			82.4	
Nature Preservation Region	Planned Sites	95	1.5	571.7	2.6	6,018	185.1	4.3	1,949
	Unplanned Sites	6,447	98.5	21,501.2	97.4	3,335	4,146.0	95.7	643
	Subtotal	6,542	100.0	22,072.9	100.0	3,374	4,331.1	100.0	662
	(Subtotal/Total)		12.9		13.9			8.2	

Source: Gyeonggi-do Province (2020) (in Korean)

**Table 4.** Distribution of Factories by Special Measures Area within Nature Preservation Region

The Seoul Metropolitan Area	Industrial Sites	Number of Factories	(%)	Area of Factories (1,000 m <sup>2</sup> )	(%)	Avg (m <sup>2</sup> )	Manufacturing Facility Area (1,000 m <sup>2</sup> )	(%)	Avg (m <sup>2</sup> )
Total		6542		22,072.9			4,331.1		
Zone I	Planned Sites	-	-	-	-	-	-	-	-
	Unplanned Sites	3,433	100.0	7,542.3	100.0	2,197	1,645.7	100.0	479
	Subtotal	3,433	100.0	7,542.3	100.0	2,197	1,645.7	100.0	479
	(Subtotal/Total)		52.5		34.2			38.0	
Zone II	Planned Sites	8	0.5	56.0	0.9	7,000	8.3	0.6	1,041
	Unplanned Sites	1,635	99.5	6,509.7	99.1	3,982	1,325.3	99.4	811
	Subtotal	1,643	100.0	6,565.7	100.0	3,996	1,333.6	100.0	812
	(Subtotal/Total)		25.1		29.7			30.8	
Non-Special Measures Area	Planned Sites	87	5.9	515.7	6.5	5,928	176.8	13.1	2,032
	Unplanned Sites	1,379	94.1	7,449.2	93.5	5,402	1,174.9	86.9	852
	Subtotal	1,466	100.0	7,964.9	100.0	5,433	1,351.7	100.0	922
	(Subtotal/Total)		22.4		36.1			31.2	

Source: Gyeonggi-do Province (2020) (in Korean)

상수원에 가까울수록 소규모 개별입지가 집중적으로 분포하고 있는 현상을 파악할 수 있다. 기술통계에서는 입지규제지역별로 공장입지의 분포를 파악할 수 있었다. 그러나 공장입지에 대한 입지규제별 영향력을 분석하기에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 회귀분석을 통해 입지유형 및 규모, 입지규제가 공장입지 분포에 미치는 영향을 심층적으로 분석하였다.

## 2.5 자연보전권역 선행연구 고찰

### 2.5.1 자연보전권역 제도개선 관련 연구

자연보전권역에 대한 선행연구는 대부분 개별입지 공장의 난개발에 대한 문제인식에서 비롯되었다. 한상운·차현숙(2009)은 자연보전권역의 공장입지 규제에 관한 입법평가를 통해, 자연보전권역에서의 여러 종류의 규제가 입체적이지 못하고 나열식으로 되어 있어 불필요한 중복이 있다고 평가하였다.

환경부(2009, 2010)는 자연보전권역에서 그동안 발전된 환경기술 수준을 반영하지 못하고 기업활동

및 주민생활을 과도하게 규제하는 문제점을 의식하여, 소규모 난개발 방지를 위한 산업단지화를 위하여 입지규제를 완화할 필요가 있으므로 엄격한 수질 환경기준을 적용하는 조건으로 공업용지 조성 및 제조시설면적 상한 규제를 폐지하는 등의 구체적인 방안을 제시하였다.

조영무 외(2016, 2022)는 자연보전권역의 공장 난개발을 해소하고 수질을 효율적으로 관리하기 위하여 산업단지에 대한 입지규제 개선방안을 제시하는 동시에, 일정 규모 이상의 산업단지를 조성할 경우, 공공폐수처리시설 연계를 통한 안정적인 폐수처리, 방류수수질기준 적용을 통한 오염부하량 감소, 관리조직 일원화를 통한 배출시설 관리·감독의 효율화 등을 실증적으로 입증하였다.

이윤상 외(2019)는 자연보전권역의 제도적 문제점으로서 산업단지 면적제한이 관련 시설의 공급자체를 제한하고 있어, 이에 따른 지역 낙후 문제가 심각한 상황이며, 전문가 설문조사 결과 ‘개별입지규제 강화 및 복합용도 계획입지 유도’가 시급히 필요

하다고 분석하였다.

### 2.5.2 산업입지 요인 관련 연구

안영수 외(2016)는 수도권 제조업의 입지요인으로 인구수, 기업수, 종사자수, 지하철역수, 국제항공거리, 도로율, 평균공시지가, 산업단지 총면적, 서울도심거리 등을 분석변수로 설정하고 각각의 영향력을 비교하였다. 이상의 연구에서는 주로 사회적·경제적·물리적 특성의 변수를 통한 회귀분석을 통해 산업입지요인을 분석하였으나 제도적 요인은 검토되지 않았다.

입지규제요인에 관한 연구사례로 이한일·이변송(2002)은 수도권 제조업의 이전에 대한 입지요인으로 서울과의 거리, 고속도로, 지역평균임금, 공장부지율, 집적경제 등의 지역특성이나 경제적 요인 이외에도 정부의 수도권정책을 포함한 회귀분석을 시행하였으며, 수도권 내 각 권역을 터미변수로 사용하여 권역별 입지규제정책을 상대적으로 비교하였다. 분석 결과, 집적경제 요인이 가장 크게 나타났으며, 수도권정책 변수 중에서는 개발유도권역에서 기업의 유입에 대한 정(+)의 효과가 있는 것으로 나타났다. 이후 이변송·김석영(2005)은 수도권 집중억제 정책이 신생기업의 입지 결정에 미치는 영향을 회귀분석하였으며, 수도권의 5개 권역<sup>6)</sup>을 터미변수로 활용하였다. 연구 결과 신생기업 지표와 음(-)의 효과를 나타내는 권역의 경우에는 수도권규제의 효과가 나타난 것이라고 분석하였으나 수도권규제 이외의 다른 입지규제는 고려되지 않았다.

### 2.5.3 연구의 차별성

선행연구 검토 결과 수도권 산업입지정책 요인에 관한 연구 중 수도권규제 정책요인이 반영된 연구는

있었으나 공장설립 승인에 직접적 영향을 미치는 토지이용규제 및 환경규제 또는 산업입지 유형(계획입지·개별입지)에 영향을 미치는 정책 요인을 분석한 연구는 미미하였다.

이에 본 연구에서는 다양한 입지규제 요인이 수도권의 산업입지 분포에 미치는 영향을 분석하기 위하여 회귀분석을 실행하였으며, 수도권규제 및 토지이용·수질환경 법제 등 다양한 산업입지정책을 종합적으로 분석하였다는 점에서 기존 선행연구와 차별성이 있다.

## 3. 분석의 틀

### 3.1 분석자료 구축 및 내용

이 연구의 분석에서는 2020년 12월말 기준 '경기도 등록공장현황' 자료를 활용하였다.

다만 자연보전권역 지정(1984.7.11) 전에 이미 등록된 공장은 본 연구의 분석 결과를 왜곡할 가능성이 있기 때문에 분석DB에서 제외하였다. 또한 현황자료에서 공장별로 용도지역 및 사업장 규모 내용이 누락된 결측값을 제외한 결과 경기도 전체 공장 50,896개소 중 30,393개소의 공장을 회귀분석의 모집단으로 구축하였다.

### 3.2 분석변수 설정

Table 5와 같이 분석변수는 크게 산업입지특성, 산업규모특성, 토지이용특성, 수질환경특성으로 구분하였으며, 각각의 세부 지표와 분석변수를 설정하였다.

본 연구에서는 입지규제 요인이 산업입지 또는 공장규모에 영향을 미칠 것으로 가정하였다. 따라서 산업입지특성과 산업규모특성을 종속변수로 설정

6) 당시 이변송·김석영(2005)이 분석에 활용한 통계자료의 기준시점에서는 수도권 정비권역이 5개 권역으로 구분되어 있었음.

**Table 5.** Variable Description

Category (Number of Variables)			Variables (22)	Description	Measure
Dependent Variables	Industrial Site Feature (2)	Location of Industrial (2)	Planned Estates	Factory in Industrial complex	Dummy
		According to 'Industrial Sites and Development Act'	Unplanned Estates	Factory out of Industrial complex	Dummy
Dependent Variables	Industrial Scale Feature (5)	Size of Factory (2)	Area of Factory	The area of the registered factory site	1,000 m <sup>2</sup>
		According to 'Industrial Cluster Development and Factory Establishment Act'	Manufacturing Facility Area	The sum of floor areas of all floors of a building for the installation of manufacturing facilities	1,000 m <sup>2</sup>
Independent Variables		Size of Enterprise (3)	Large Co.	Non-'small and medium enterprises'	Dummy
		According to 'Framework Act on Small and Medium Enterprises'	Medium Co.	Classification by average sales according to 'Framework Act on Small and Medium Enterprises'	Dummy
			Small Co.	Among medium enterprises, below a certain average sales	Dummy
		The Seoul Metropolitan Area (3)	Over Concentration Region	The area that transfer out of which, or readjustment of which, is deemed necessary	Dummy
			Growth Management Region	The area for which proper management of the accommodation of industries and of urban development is required	Dummy
	Land Use Feature (9)	According to 'Seoul Metropolitan Area Readjustment Planning Act'	Nature Preservation Region	The area in which preservation of the natural environment, such as the water of the Han River system and green belt areas, is required	Dummy
			Industrial Site	Industrial area	Dummy
		Industrial Standards Land Use (6)	Neighboring Site	Residential area, commercial area	Dummy
			Semi-Conservational Site	Green natural area	Dummy
		According to 'National Land Planning and Utilization Act'	Semi-Industrial Site	Planned control area	Dummy
			Agricultural Site	Agricultural and forestry area, green production area, production control area	Dummy
			Conservational Site	Green conservation area, conservation control area, natural environment conservation area	Dummy
		Special Measures Area (3)	Zone I	Areas that directly affect the water source	Dummy
			Zone II	Areas that indirectly affect the water source	Dummy
		According to 'Framework Act on Environmental Policy'	Non-Special Measures Area	Areas that do not fall under special measures areas	Dummy
		Size of Wastewater Discharge (3)	Large (Type 1·2·3)	Business establishment which discharge more than 200 m <sup>3</sup> /day	Dummy
			Medium·Small (Type 4·5)	Which discharge wastewater less than 200 m <sup>3</sup> /day	Dummy
		According to 'Water Environment Conservation Act'	Non-Discharge Wastewater	Which do not discharge wastewater	Dummy

하고, 토지이용특성과 수질환경특성은 입지규제 요인으로서 독립변수로 설정하였다.

본 연구의 분석에 사용되는 변수는 공장규모 지표를 제외하면 모두 범주형 변수에 속하므로 ‘더미변수(Dummy variable)’로 변환하였다.

### 3.2.1 산업입지특성 변수

산업입지특성 변수는 ‘계획입지’와 ‘개별입지’로 설정하였다. 문헌고찰에서 설명한 바와 같이, 「산업입지법」에 의한 산업단지 내 입지하고 있는 공장은 계획입지로, 그 밖의 공장은 모두 개별입지로 구분하였다.

### 3.2.2 산업규모특성 변수

「산업집적법」의 수도권의 입지규제 기준은 ‘공장규모’와 ‘기업규모’로 구분된다.

공장규모를 제한하는 것은 개별 공장의 면적을 제한하는 것으로서 ‘공장용지면적’과 ‘제조시설면적’이 이에 해당한다. 기업규모를 제한하는 것은 해당 공장의 설립 주체에 대한 경제적·사회적 규모를 제한하는 것으로서 수도권 안에서 대기업의 공장설립을 억제하고 있다. 따라서 산업규모특성 변수로서 첫째, 공장규모 지표는 공장용지면적과 제조시설면적으로 설정하였으며, 둘째, 기업규모 지표는 「중소기업기본법」에 의한 ‘대기업’, ‘중기업’ 및 ‘소기업’으로 구분하여 분석변수로 설정하였다.

### 3.2.3 토지이용특성 변수

토지이용특성 변수는 「수도권정비계획법」에 의한 수도권 정비권역과 「국토계획법」에 의한 용도지역으로 구분하였다.

첫째, 수도권 정비권역 지표로서 ‘과밀억제권역’, ‘성장관리권역’ 및 ‘자연보전권역’으로 분석변수를 설정하였다. 둘째, 용도지역 지표는 문헌 고찰에서 설명하였듯이, 공장 건축물의 입지 가능 여부 및 개

발 규모 정도에 따라 현행 용도지역을 재분류할 필요가 있었다. 따라서 도시지역 중 공장입지가 대부분 허용되는 공업지역을 ‘산업용지’로, 제한적으로 허용되는 주거지역과 상업지역은 ‘근린용지’로, 녹지지역 중 제한적으로 허용되는 자연녹지지역은 ‘준보전용지’로 각각 분류하였다. 또한 비도시지역에서는 공장입지가 비교적 쉬운 계획관리지역을 ‘준산업용지’로, 농림지역과 생산녹지지역, 생산관리지역은 ‘농업용지’로 구분하였다. 끝으로 공장설립이 금지되는 보전녹지지역, 보전관리지역, 자연환경보전지역은 ‘보전용지’로 구분하였다.

### 3.2.4 수질환경특성 변수

수질환경특성 변수는 폐수배출시설 공장의 입지를 제한하는 「환경정책기본법」에 의한 특별대책지역을 지표로 선정하였다. 분석변수는 특별대책지역 내 ‘Ⅰ 권역’, ‘Ⅱ 권역’ 및 ‘특별대책지역 외 지역’으로 구분하였다.

수질환경 법제에서는 「물환경보전법」에 의한 폐수배출시설의 배출량에 따라 사업장의 종류(1~5종)를 구분하고 배출량이 많을수록 입지를 강하게 제한하고 있어, 입지규제의 중요한 기준이 되고 있다. 따라서 폐수배출규모 지표는 하루 최대 폐수배출량을 기준으로  $200\text{m}^3/\text{일}$  이상의 1~3종 사업장은 ‘대규모’로, 그 미만은 ‘중·소규모’로, 폐수를 배출하지 않는 사업장은 ‘비폐수배출로’ 각각 구분하여 분석변수로 사용하였다.

## 3.3 분석의 방법 및 대상범위 구분

이 연구에서는 ‘PASW Statistics 18’ 통계프로그램을 사용하여 ‘산업입지 특성분석’과 ‘공장규모 특성분석’을 각각 시행하였다.

각각의 분석에서 모든 독립변수의 영향력을 검토하기 위하여 변수의 투입 방법은 ‘입력선택(enter)’을 사용하였다. 이 경우 상관성이 높은 변수 간 ‘다중

공선성(Multicollinearity)'을 발생시킬 수 있으므로 별도의 검증(VIF)을 통해 가장 적합한 회귀모형을 선택하였다.

### 3.3.1 산업입지 특성분석의 방법 및 대상

'산업입지의 유형은 입지규제의 영향을 받는다'는 가정 아래 공장의 산업입지(계획입지 또는 개별입지)를 결정짓는 데 있어 입지규제가 미치는 영향력을 분석하였다.

'산업입지 특성분석'에서 종속변수인 '계획입지'는 '공장은 계획입지에 해당되는가, 해당되지 않는가'의 이분법적 구조의 더미변수에 해당하므로 '이분형 로지스틱회귀분석(Binary Logistic Regression Analysis)'을 사용하였다. 독립변수는 '산업규모특성', '토지이용특성', '수질환경특성'의 변수를 사용하였다.

이 분석의 종속변수인 계획입지(산업단지)는 독립변수 중 산업용지(공업지역)와 상관성이 매우 높으며, 산업용지를 제외한 용도지역 지표의 독립변수는 모두 결측값으로 제외된다. 이 경우 분석집단을 구분하는 의미가 없으므로 경기도 전 지역을 대상으로 하나의 회귀분석을 시행하였다.

따라서 용도지역별 토지이용규제가 공장용지 분포에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 추가로 '공장규모 특성분석'이 필요하며, 자세한 내용은 다음 항에서 설명하도록 한다.

### 3.3.2 공장규모 특성분석의 방법 및 대상

'공장의 규모는 입지규제의 영향을 받는다'는 가정 아래 지역별 산업입지규제가 공장규모에 미치는 영향력을 분석하였다. 종속변수로 '공장용지면적'을 사용하며, 독립변수는 '산업규모특성' 중 기업규모, '토지이용특성', '수질환경특성'의 변수를 사용하였다. 모든 변수는 더미변수로 전환하여 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis with Dummy Vari-

ables)을 실시하였다.

앞서 설명한 바와 같이 권역별 토지이용특성을 보다 심층 분석하기 위하여 부분집단을 구분하여 분석하였다. 본 연구의 목적은 자연보전권역의 복합적인 입지규제를 심층분석하기 위한 것이므로 분석 대상을 권역별로 구분함으로써 용도지역 규제가 공장규모 특성에 미치는 영향을 권역별로 비교함으로써 자연보전권역에서의 입지 특성을 보다 효과적으로 해석할 수 있었다.

분석 대상 범위는 먼저 경기도 전 지역과 과밀억제권역, 성장관리권역, 자연보전권역으로 구분하고, 자연보전권역 안에서는 특별대책지역(I·II) 및 '외지역'으로 구분하였으므로 총 7개 부분집단을 분석 대상으로 각각의 회귀분석을 시행하였다.

## 4. 분석 결과 및 해석

### 4.1 산업입지 특성분석

공장규모지표 변수 외 모든 독립변수는 더미변수이며, 변수 간의 영향력을 비교하기 위하여 분석지표별 참조항목은 '중소기업(또는 소기업)', '성장관리권역', '특별대책지역 외 지역', '비폐수배출시설'로 설정하였다. 회귀분석 결과에 따른 분석지표별  $\text{Exp}(\beta)$  값을 통해 분석지표별 독립변수가 종속변수 '계획입지'에 미치는 영향력을 비교하였다. 분석결과는 Table 6과 같다.

Model 1의 로지스틱회귀분석 결과, 계획입지에 대하여 공장규모, 중기업, 수도권 정비권역, 특별대책지역II 권역, 폐수배출규모 변수가 유의수준 0.01에서 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

#### 4.1.1 산업규모특성 요인

공장규모 지표에 관한 분석 결과, 공장은 용지면적이 증가할수록 개별입지에 비해 계획입지를 선택할



**Table 6.** Result of Binary Logistic Regression Analysis about Planned Estates Feature in Gyeonggi-do (Model 1)

Independent Variable			Model 1				95% CI	
			$\beta$	S.E	sig.	Exp ( $\beta$ )	LLCI	ULCI
Industrial Scale Feature	Area	Area of Factory (1,000 m <sup>2</sup> )	-.063	.005	.000**	.939	.929	.949
		Manufacturing Facility Area (1,000 m <sup>2</sup> )	.228	.014	.000**	1.256	1.223	1.289
	Size of Enterprise	Large Co.	.336	.247	.174	1.399	.862	2.271
		Medium Co.	.826	.059	.000**	2.284	2.033	2.567
Land Use Feature	The Seoul Metropolitan Area	Over Concentration Region	.156	.037	.000**	1.168	1.087	1.255
		Nature Preservation Region	-1.384	.135	.000**	.251	.192	.327
Water Quality Environmental Feature	Special Measures Area	Special Measures Area (Zone I)	-18.237	756.841	.981	.000	.000	.
		Special Measures Area (Zone II)	-2.357	.432	.000**	.095	.041	.221
	Size of Wastewater Discharge	Wastewater Discharge Large (Type 1·2·3)	1.255	.158	.000**	3.509	2.576	4.780
		Wastewater Discharge Medium (Type 4)	2.036	.170	.000**	7.663	5.490	10.695
		Wastewater Discharge Small (Type 5)	.342	.055	.000**	1.408	1.265	1.567

Note 1: Dependent Variable : Planned Estates

Note 2: Reference Category : Small Co., Growth Management Region, Non-Special Measures Area, Non-discharge

Note 3: \*sig.&lt;0.05, \*\*sig.&lt;0.01, sig.&gt;0.05

가능성이 6.1% 감소하였다. 반면, 제조시설면적이 증가할수록 개별입지에 비해 계획입지를 선택할 가능성이 1.256배 증가하는 것으로 나타났다. 기업규모 지표에 대한 분석에서 중기업은 소기업에 비해 계획입지를 선택할 가능성이 2.284배 증가하는 것으로 나타났다. 대기기업은 계획입지 요인으로서 통계적으로 유의하지 않았다. 즉, 기업규모만 보았을 때, 대기기업 여부는 계획입지를 결정하는 데 있어 고려할 변수가 아니라는 의미로 해석할 수 있다.

#### 4.1.2 토지이용특성 요인

수도권 권역 지표에 관한 분석 결과 과밀억제권역에 소재한 공장은 성장관리권역 공장에 비해 계획입

지를 선택할 가능성이 1.168배 증가하는 반면 자연보전권역의 공장은 성장관리권역 공장에 비해 계획입지를 선택할 가능성이 74.9% 감소하는 것으로 나타났다.

#### 4.1.3 수질환경특성 요인

특별대책지역 지표에 관한 분석 결과 특별대책지역Ⅱ권역의 공장은 특별대책지역 외 지역의 공장보다 계획입지를 선택할 가능성이 90.5% 감소하는 것으로 나타났다. 특별대책지역Ⅰ권역은 계획입지 요인으로서 통계적으로 유의하지 않았다. 실제로 특별대책지역Ⅰ권역에는 계획입지가 존재하고 있지 않기 때문이다. 폐수배출규모 지표 분석 결과 대규모

폐수배출시설 공장이 비폐수배출시설 공장에 비해 계획입지를 선택할 가능성이 3.509배 증가하며, 중규모는 7.663배, 소규모는 1.408배 각각 증가하는 것으로 나타났다. 폐수배출량이 많을수록 계획입지를 선호하는 경향이 있음을 알 수 있다.

#### 4.1.4 산업입지 특성분석의 종합

계획입지에 관한 ‘산업입지 특성분석’ 결과의 해석은 다음과 같다. 먼저 공장용지면적 측면에서 보면, 계획입지는 한정된 산업단지 범위 안에서 조밀하게 분포하므로 개별입지에 비해서 공장용지면적에 대한 영향력이 상대적으로 감소하는 것으로 볼 수 있다. 반면 제조시설면적의 경우에는 산업단지 안에서 공장건축밀도가 개별입지에 비해 상대적으로 높아지므로 계획입지는 개별입지에 비해 제조시설면적에 대한 영향력이 높게 나타난다. 따라서 계획입지 공급 확대를 통해 효율적인 토지이용이 가능하므로 개별입지에서 공장용지가 확산하는 것을 억제하는 효과가 있다고 볼 수 있다.

기업규모 측면에서는 산업단지 내 용지 구매력이 상대적으로 양호한 중기업이 소기업에 비해 계획입지에 위치할 가능성이 크게 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 반면 대기업은 단일 기업만으로도 토지구매와 환경기초시설 설치에 필요한 자본력을 확보한다고 가정할 때, 기업의 시장성에 따라 계획입지 여부를 능동적으로 판단할 수 있으므로 비교적 자유로운 입지선택이 가능할 것이다. 따라서 대기업에 비해 중소기업의 비중이 높은 자연보전권역에서 계획입지의 공급이 개별입지를 산업단지로 유입하는 데 더욱 효과적일 수 있음을 시사한다.

입지규제 측면에서는 자연보전권역 및 특별대책지역의 입지규제가 기업으로 하여금 계획입지를 선택할 가능성을 상대적으로 낮추는 변수로 작용하고 있으며, 자연보전권역보다 특별대책지역에서 계획입지를 선택할 확률을 더욱 감소시키고 있었다. 이

는 자연보전권역에서의 면적규제 및 연접개발규제, 특별대책지역에서의 입지규제가 산업단지 조성에 복합적인 장애요인이 될 수 있다는 점을 나타내고 있다.

폐수배출규모 측면에서 보면 소규모 또는 비폐수배출시설 공장의 경우에는 상대적으로 환경기준 및 입지규제가 약하게 적용되기 때문에 계획입지보다 개별입지를 더 선호하고 있음을 알 수 있다. 따라서 자연보전권역 및 특별대책지역에서는 소규모 폐수배출시설의 경우에도 개별입지 억제제를 강화하는 동시에 계획입지로의 유도를 위해 입지규제 완화 및 지원에 대한 검토가 필요함을 시사한다.

## 4.2 공장규모 특성분석

‘공장규모 특성분석’의 종속변수는 ‘공장용지면적’을 적용하였다. 분석모형은 분석범위에 따라 Table 7의 Model 2(수도권 정비권역)와 Table 8의 Model 3(자연보전권역)으로 구분하였다.

변수 간의 영향력을 살펴보기 위하여 분석지표별 참조항목은 ‘중소기업(또는 소기업)’, ‘성장관리권역’, ‘보전용지’, ‘특별대책지역 외 지역’, ‘비폐수배출시설’로 설정하며, 표준화 계수  $\beta$ 값을 통해 독립변수가 종속변수에 미치는 상대적인 영향력을 비교하였다.

분석모형은 모두 99% 신뢰수준에서 유의하게 나타났다으며, 분석 대상 범위별 모델의 각  $\text{adj. } R^2$ 는 경기도 전 지역 .207, 과밀억제권역 .404, 성장관리권역 .172, 자연보전권역 .228, 특별대책지역 I 권역 .113, II 권역 .195, 외 지역 .189의 설명력을 보이고 있다. 모든 분석모델의 Durbin-Watson값은 1.8~2.0 사이에 분포하고 있으므로 자기상관성은 없는 것으로 분석되었다.

분석 대상 범위별 공장규모 특성분석의 결과는 Table 7과 Table 8과 같다.

**Table 7.** Result of Multiple Regression Analysis about Factory Size Feature by Regions (Model 2)

			Model 2		(Regions in Seoul Metropolitan Area)							
					2-1. Gyeonggi-do		2-2. Over Concentration		2-3. Growth Management		2-4. Nature Preservation	
			adj. R2= .207 D-W=1.914 p<0.01 N=30393		adj. R2= .404 D-W=1.949 p<0.01 N=7199		adj. R2= .172 D-W = 1.917 p<0.01 N=18057		adj. R2= .228 D-W = 1.891 p<0.01 N=5137			
			Independent Variable									
					$\beta$	VIF	$\beta$	VIF	$\beta$	VIF	$\beta$	VIF
Industrial Scale Feature	Size of Factory	Large Co. (Medium Co.)	.347**	1.029	.452**	1.077	.346**	1.027	.149**	1.014		
									.241**	1.034		
Land Use Feature	The Seoul Metropolitan Area	Over Concentration Region	-.166**	1.656								
		Nature Preservation Region	-.031**	1.147								
	Industrial Standards Land Use	Industrial Site	.124**	2.844	.048**	1.231	.120**	1.785	.085**	1.417		
		Neighboring Site	.027**	1.877			-.015*	1.131	.033**	1.265		
		Semi-Conservational Site	.053**	1.599	.022*	1.102	.050**	1.375	.121**	2.679		
		Semi-Industrial Site	.109**	2.577	.041**	1.143	.098**	1.901	.237**	3.400		
	Agricultural Site	.032**	1.201	.009	1.013	.024**	1.132	.097**	1.611			
Water Quality Environmental Feature	Special Measures Area	Zone I							-.318**	1.654		
		Zone II							-.111**	1.619		
	Size of Wastewater Discharge	Large (Type 1-2-3)	.135**	1.037	.317**	1.082	.116**	1.039	.078**	1.021		
		Medium-Small (Type 4-5)	.101**	1.030	.129**	1.005	.086**	1.024	.149**	1.045		

Note 1: Dependent Variable: Area of Factory

Note 2: Reference Category: Small & Medium Co.(or Small), Growth Management Region, Conservational Site, Non-Special Measures Area, Non-discharge

Note 3: \*sig.<0.05, \*\*sig.<0.01, sig.>0.05

**Table 8.** Result of Multiple Regression Analysis about Factory Size Feature by Zones of Special Measures Area in Nature Preservation Region (Model 3)

Independent Variable			Model 3							
			3-1. Zone I		3-2. Zone II		3-3. Non of			
			adj. R2= .113 D-W=1.927 p<0.01 N=2801		adj. R2= .195 D-W=1.884 p<0.01 N=1130		adj. R2= .189 D-W=1.893 p<0.01 N=1206			
			$\beta$	VIF	$\beta$	VIF	$\beta$	VIF	$\beta$	VIF
Industrial Scale Feature	Size of Factory	Large Co. (Medium Co.)	.129**	1.018	.185**	1.021	.179**	1.015		
			.231**	1.003	.308**	1.049	.244**	1.040		
Land Use Feature	Industrial Standards Land Use	Industrial Site	.034	1.349	.151**	1.421	.078*	1.443		
		Neighboring Site	.015	1.492	-.006	1.322	.004	1.070		
		Semi-Conservational Site	.040	4.010	.057	3.052	.063*	1.250		
		Semi-Industrial Site	.078*	5.000	.175**	3.359	.299**	1.920		
		Agricultural Site	.047*	1.660	.074*	1.818	.128**	1.406		
Water quality Environmental Feature	Size of Wastewater Discharge	Wastewater Discharge Large (Type 1·2·3)	-	-	.039	1.079	.098**	1.019		
		Wastewater Discharge Small (Type 4·5)	.182**	1.023	.119**	1.047	.162**	1.014		

Note 1: Dependent Variable: Area of Factory

Note 2: Reference Category: Small Co., Conservational Site, Non-discharge

Note 3: \*sig.<0.05, \*\*sig.<0.01, sig.>0.05

#### 4.2.1 경기도 전 지역 특성분석

Model 2-1에서 모든 독립변수가 유의한 수준에서 종속변수에 영향을 미치고 있었다. 공장규모에 가장 큰 양(+)의 영향을 미치는 요인은 대기업이며, 다음으로 폐수배출시설(대), 산업용지, 준산업용지, 폐수배출시설(소), 준보전용지, 농업용지, 근린용지의 순서로 나타났다. 수도권 지표 중에서는 공장규모에 대하여 성장관리권역의 영향력이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 자연보전권역이 과밀억제권역보다 더 높은 영향력을 나타내고 있었다. 산업기준 용도지역 지표 중 공장규모에 미치는 영향력으로는 산업용지가 가장 높은 영향력을 나타내며, 다음으로 준산업용지, 준보전용지, 농업용지, 근린용지, 보전용지의 순으로 나타났다. 폐수배출규모 지표변수 중에서는 폐수배출시설(대)(소), 비폐수배출시설 순서로 공장규모에 영향을 미치고 있다.

#### 4.2.2 수도권 정비권역별 특성분석

##### 1) 과밀억제권역

Model 2-2에서 분석변수 중 공장규모에 가장 큰 영향은 대기업이며, 다음으로 폐수배출시설(대)(소), 산업용지, 준산업용지, 준보전용지 순서로 유의한 수준에서 영향을 미치고 있었다.

##### 2) 성장관리권역

Model 2-3에서 분석변수 중 공장규모에 가장 큰 영향은 대기업이고 다음으로 산업용지, 폐수배출시설(대), 준산업용지, 폐수배출시설(소), 준보전용지, 농업용지 순서로 영향력을 나타내고 있다.

##### 3) 자연보전권역

Model 2-4에서 특이한 점은 타 권역과 다르게 중기업이 공장규모에 가장 큰 양(+)의 영향을 미치고 있다. 다음으로 준산업용지, 폐수배출시설(소), 준보

전용지, 농업용지, 산업용지, 폐수배출시설(대), 근린용지의 순서로 나타났다. 용도지역 지표 간 영향력은 준산업용지와 준보전용지에서 가장 크게 나타나고 있다. 한편 공장규모에 대해 음(-)의 영향을 미치는 요인은 특별대책지역 I 권역, II 권역 순서로 나타났다으며, 이는 자연보전권역 안에서도 특별대책지역의 입지규제가 공장규모에 큰 영향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

#### 4.2.3 자연보전권역 안에서 특별대책지역 권역별 특성분석

Model 3에서는 자연보전권역을 세분하여 각 지역별 공장규모특성을 분석하였다.

##### 1) 특별대책지역 I 권역

Model 3-1에서 주목할 점으로 용도지역 지표 중 유의한 수준의 변수는 준산업용지와 농업용지가 유일하다. 즉 I 권역에서는 타지역에서 볼 수 있는 용도지역체계에 따른 공장입지분포가 나타나고 있지 않으며, 특히 계획관리지역을 중심으로 개별입지의 확산이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

##### 2) 특별대책지역 II 권역

Model 3-2에서도 용도지역 지표 중 준산업용지가 공장규모에 가장 큰 영향력을 나타내고 있으며, 그밖에 지표별로는 중기업, 폐수배출시설(소)가 유의한 수준에서 공장규모에 가장 큰 영향력을 나타내고 있다.

##### 3) 특별대책지역 외 지역

Model 3-3에서는 준산업용지가 공장규모에 가장 큰 영향력을 나타내고 있으며, 용도지역 지표 특성은 특별대책지역과 달리 자연보전권역(Model 2-4)과 유사한 경향을 나타내고 있다.

#### 4.2.4 공장규모 특성분석의 종합

경기도 전 지역을 대상으로 공장규모에 가장 큰 영향력을 미치는 권역은 성장관리권역 나타나고 있어 수도권의 권역별 산업입지정책이 비교적 효과가 있음을 알 수 있다. 그러나 자연보전권역은 타 권역의 공장입지 특성과 반대로 대기업보다 중기업에서, 대규모 배출시설보다 소규모배출시설에서, 산업용지(공업지역) 보다 준산업용지(계획관리지역) 및 준보전용지(자연녹지지역)에서 공장규모에 대한 양(+)의 영향력을 가장 크게 나타내고 있었다. 즉 자연보전권역의 산업입지규제가 오히려 비도시지역 중심의 소규모 개별입지 공장의 확산을 야기하고 있다는 분석 결과로 해석할 수 있다. 특히 특별대책지역에서는 I 권역으로 갈수록 일반적인 용도지역체계에 따른 공장입지패턴이 거의 나타나고 있지 않아, 자연보전권역 안에서도 특별대책지역 내 부분별한 공장 난개발 현상이 있음을 알 수 있다.

한편 자연보전권역 안에서 특별대책지역 I 권역에 가까울수록 공장규모에 대한 영향력이 감소하였다. 이는 특별대책지역 입지규제가 공장규모를 억제하는 데 효과가 있음을 나타낸다.

## 5. 결 론

‘산업입지 특성분석’ 결과 자연보전권역의 공장이 성장관리권역 공장에 비해 계획입지에 입지할 확률이 74.9% 감소하였으며, 자연보전권역 내 특별대책지역의 공장이 특별대책지역 외 지역의 공장에 비해 계획입지에 입지할 확률이 90.5%로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 ‘공장규모 특성분석’에 따르면, 자연보전권역의 산업입지는 중기업의 영향을 가장 많이 받고 있으며, 계획관리지역을 중심으로 비도시지

역에서 강한 입지 특성을 나타내고 있었다. 따라서 비도시지역에 입지가 가능한 중·소규모 폐수배출시설(4·5종)을 중심으로 입지하고 있으며, 자연보전권역 안에서도 특히 특별대책지역에서 계획관리지역 중심의 공장입지 분포 특성이 더욱 강하게 나타나고 있었다.

종합하면 자연보전권역의 산업입지는 산업단지 조성사업에 대한 복합적인 입지규제와 대기업 또는 대규모 사업에 대한 규제로 인해 비도시지역을 중심으로 중기업, 중·소규모 폐수배출시설의 개별입지가 분포하는 특성이 타 권역에 비해 강하게 나타나고 있다. 특히 수질보전을 위해 특별대책지역을 지정하였음에도 불구하고 오히려 특별대책지역 안에서 계획입지의 조성이 더욱 어려운 실정이며, 타지역에 비해 폐수배출시설을 효과적으로 관리하기 어려운 산업환경을 조래하고 있다고 판단된다. 현행「물환경보전법」의 폐수 배출허용기준<sup>7)</sup>에 따르면, 폐수배출 공장이 개별적으로 폐수를 처리하여 하천으로 직접 방류하는 경우에는 공공폐수처리시설로 연계 처리할 때보다 방류수의 수질기준이 4배에서 8배까지 낮게 설정되어 있으며, 또한, 폐수배출시설 제1종부터 제3종까지의 사업장은 수질자동측정기기(TMS, Tele-Monitoring System)의 부착 의무(환경부, 2022a, 2023b)가 있는 것에 비해, 4·5종 소규모 폐수배출시설의 경우에는 그 의무조항이 없어 폐수를 법적 기준에 적합하게 처리하고 있는지 관리하기 어렵기 때문이다.

결과적으로, 자연보전권역에서 나타나는 산업입지 특성은 한강 수계의 수질을 체계적·효율적으로 관리하기 어려운 상황이므로 「수도권정비계획법」에서 규정하고 있는 ‘자연환경과 수질 보전’이라는 자연보전권역의 지정 목적을 달성하고 있다고 평가

7) 폐수배출시설의 배출허용기준에 따르면, 개별입지공장이 직접 하천으로 방류할 경우 공공처리시설의 폐수 배출허용기준(BOD 10mg/L) 보다 작게는 4배(BOD 40mg/L)에서 크게는 8배(BOD 80mg/L)까지 낮은 기준으로 폐수를 처리하고 있음(환경부, 2023a).

하기 어렵다.

이상의 연구를 토대로 자연보전권역 산업입지정책의 개선과제에 대한 시사점은 다음과 같다.

기업은 이윤을 극대화할 가능성이 있다면 정부정책에 의한 규제는 극복해야 하는 대상이 될 것이다. 따라서 정부는 사회적·경제적 여건을 객관적으로 바라보고 문제해결을 위한 실용적인 대안을 시급히 마련해야 할 것이다.

첫째, 자연보전권역의 산업단지 조성사업에 대한 면적규제를 완화할 필요가 있다. 현재 성장관리권역 내 산업단지 조성사업은 국토교통부가 전체 공급물량을 사전에 계획(수도권 공업지역 물량 공급계획)하여 수도권의 총 산업단지 면적을 전국 산업단지의 20% 이내로 엄격히 제한하는 대신, 산업단지 면적 또는 단지 내 공장건축면적의 상한을 제한하고 있지 않다. 따라서 자연보전권역에서도 계획입지 활성화를 위하여 수도권 산업단지 총 공급면적과 팔당상수원 수질 보전을 위한 환경법제의 범위 안에서 면적상한 규제를 개선할 필요가 있다. 단, 개별입지에서 폐수배출시설 공장의 신설을 금지하는 등 개별입지에 대한 규제를 강화할 필요가 있다.

둘째, 국가적 목적의 규제로 인해 피해를 받는 지역에 대해서는 그에 상응하는 적절한 지원이 이루어져야 한다. 따라서 현재 비수도권과 접경지역<sup>8)</sup>에만 적용되고 있는 산업단지 조성사업에 대한 정부 비용 보조 제도를 자연보전권역에서 조성되는 산업단지에 대해서도 시행하는 등의 지원방안을 검토하여 난개발된 개별입지 공장을 산업단지로 유도할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 자연보전권역 내 계획입지의

조성을 확대하는 것만으로 모든 문제를 해소할 수는 없을 것이다. 자연보전권역 내 산업단지에 대한 규제 개선의 조건으로 공공하수처리시설 또는 공공폐수처리시설로 연계처리하고, 비점오염저감시설 및 비상저류시설 등의 환경오염방지시설에 대한 설치를 의무화할 필요도 있다.

본 연구는 경기도 내 30,393개 공장을 모집단으로 하여 입지규제에 의한 산업입지의 특성을 심층 분석한 점에 의의가 있다. 그러나 자연보전권역 내 계획입지 활성화를 통해 기대할 수 있는 수질환경 개선 효과는 분석하지 못하였다. 따라서 후속 연구에서는 산업입지별 폐수발생량과 폐수처리방식, 방류수역 배출농도기준 등을 고려하여 실제로 계획입지에서 공공처리시설로 연계처리할 경우에 기대할 수 있는 수질개선 효과를 실증적으로 분석하는 것이 필요하다.

## 참고문헌

- 강현철·차현숙(2008), 「공장설립 규제법제에 관한 입법평가」, 서울: 한국법제연구원.
- 강호제·류승한·김주훈(2020), 「비도시 개별입지 공장의 계획적 관리를 위한 정책 연구」, 세종: 국토연구원.
- 경기도청(2020.12.31.), “경기도 등록공장현황”, 내부자료.  
Gyeonggi-Do Province(2020.12.31), “Registration Factory Atatus”, Internal Data (in Korean).
- 경기도청(2021), 「2021 경기도 규제지도」, 경기.  
Gyeonggi-Do Province(2021), *2021 Gyeonggi-do Regulatory Map*, Gyeong gi-Do (in Korean).
- 국토교통부(1997.6.4), “제2차 수도권정비계획”  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport (1997.6.4), “2nd Seoul Metropolitan Area Readjust-

8) 접경지역이란, 1953년 7월 27일 체결된 「군사정전에 관한 협정」에 따라 설치된 비무장지대 또는 해상의 북방한계선과 잇닿아 있는 시·군과 「군사기지 및 군사시설 보호법」 제2조제7호에 따른 민간인통제선 이남(以南)의 지역 중 대통령령으로 정하는 시·군을 말함(행정안전부, 2023)

9) 국가 또는 지방자치단체는 산업단지개발사업의 공공폐수처리시설의 설치비용을 100%까지 지원할 수 있으나, 수도권(접경지역 제외) 외의 지역에 한함(국토교통부, 2024d).



- ment Plans” (in Korean).
6. 국토교통부(2006.7.25), “제3차 수도권정비계획” Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2006.7.25), “3rd Seoul Metropolitan Area Readjustment Plans” (in Korean).
7. 국토교통부(2020.12.30), “제4차 수도권정비계획” Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2020.12.30), “4th Seoul Metropolitan Area Readjustment Plans” (in Korean).
8. 국토교통부(2021.12.31.), “자연보전권역 안에서의 연결개발 적용지침”
9. 국토교통부(2023.6.9a), “수도권정비계획법” 제6조~제9조, 제12조, 제18조.
10. 국토교통부(2023.8.8b), “개발제한구역의 지정 및 관리에 관한 특별조치법” 제12조, 제13조.
11. 국토교통부(2024.2.6a), “국토계획법” 제36조, 제76조.
12. 국토교통부(2024.7.2b), “수도권정비계획법 시행령” 제2조, 제9조~제14조.
13. 국토교통부(2024.7.30c), “국토계획법 시행령” 제30조, 제71조
14. 국토교통부(2024.11.12d), “산업입지법 시행령” 제26조
15. 김성배·서순탁(1992), 「토지정책수단의 국제비교: 토지이용규제를 중심으로」, 경기: 국토개발연구원.
16. 대한민국정부(1988.2.25), “대한민국헌법” 제122조.
17. 박상우·박영철(1998), 「수도권 산업입지제도의 개선방안」, 경기: 국토개발연구원.
18. 박현주·김광익(1997), 「수도권 산업입지에 관한 연구」, 경기: 국토개발연구원.
19. 산업통상자원부(2024.2.6a), “산업집적법” 제16조, 제20조.
20. 산업통상자원부(2024.2.6b), “산업집적활성화 및 공장설립에 관한 법률” 제2조.
21. 산업통상자원부(2024.7.2c), “산업집적법 시행령” 제18조의2, 제26조~제27조의2.
22. 안영수·Li, Wan·이승일(2016), “기업생애주기 관점에서의 수도권 제조업 기업의 지역별 산업진단과 입지요인 실증연구”, 「국토계획」, 51(5): 85~105.
23. 이병송·김석영(2005), “지역적 특성이 신생 제조업체의 입지결정에 미치는 영향 분석”, 「국토계획」, 40(6): 209~227.
24. 이윤상·안현·이미홍(2019), “자연보전권역 관련 제도개선 우선순위에 관한 연구”, 「LHI Journal」, 10(2): 1~13.
25. 이한일·이변송(2002), “수도권제조업체의 입지결정 요인분석”, 「대한국토·도시계획학회 2002 정기학술대회논문집」, 1(1): 711~727.
26. 임재빈·정기성(2021), “지역별 수도권으로의 인구 유출에 영향을 미치는 요인 연구: 부산시 사례를 중심으로”, 「LHI Journal」, 12(2): 47~59.
27. 조영무·박진아·박성구·김수빈(2022), 「팔당상수원 수질보전을 위한 입지기준 개선방안」, 경기: 경기연구원.
28. 조영무·이외희·홍이슬(2016), 「자연보전권역 환경보전과 산업입지의 Win-Win 방안 연구」, 경기: 경기연구원.
29. 진영환·조혜영(1991), 「산업입지정책의 평가와 발전방안」, 경기: 국토개발연구원.
30. 한국산업단지공단(2021), 「공장설립 및 관련법령 길라잡이」, 대구: Korea Industrial Complex Corporation (2021), *Factory Establishment and Related Laws Guide*, Deagu.
31. 한상운·차현숙(2009), 「자연보전권역 공장입지규제에 대한 입법평가연구」, 서울: 한국법제연구원.
32. 행정안전부(2023.5.16.), “접경지역 지원 특별법” 제2조.
33. 환경부(2009), 「자연보전권역 규제체계 개선에 관한 연구(I)」, 경기.
34. 환경부(2010), 「자연보전권역 규제체계 개선에 관한 연구(II)」, 경기.
35. 환경부(2022.12.31a), “물환경보전법” 제38조.
36. 환경부(2022.12.31b), “환경정책기본법” 제38조.
37. 환경부(2023.4.4a), “물환경보전법 시행규칙” 제26조, 제34조.
38. 환경부(2023.4.4b), “물환경보전법 시행령” 제35조, 제44조.
39. 환경부(2023.6.2c), “팔당대청호 상수원 수질보전 특별대책지역 지정 및 특별종합대책(고시)” 제15조.
40. 환경부(2023.6.27.d), “환경정책기본법 시행령” 제13조.
41. 환경부(2024.1.30), “한강수계법” 제4조, 제5조.
42. 통계청, “2023 지적통계”, 2024.8.1 읽음. <https://kosis.kr/index/index.do>.

---

 요약
 

---

이 연구에서는 수도권 자연보전권역에 적용되는 다양한 산업입지규제 정책을 고찰하고, 각 지역별 입지규제가 계획입지의 조성에 미치는 영향을 분석하였다(로지스틱분석). 둘째로 각 지역별 산업입지의 분포 특성을 분석하였다(다중회귀분석). 분석 결과 권역별로 공장이 산업단지에 입지할 가능성은, '자연보전권역'이 '성장관리권역'에 비해 74.9% 낮으며, 특별대책지역(2권역)은 특별대책지역 외 지역에 비해 90.5% 낮게 나타났다. 그리고 자연보전권역에서의 산업입지는 비도시지역에서 중기업, 4·5종 중·소규모 폐수배출시설이 개별입지하는 특성을 타 권역에 비해 강하게 나타내고 있었다. 실제로 수질환경 보전을 위해 40년간 유지된 자연보전권역에서는 산업단지 밖의 공장 비율이 98.5%(2020년)에 이르는 기형적인 산업입지 분포를 형성하고 있다. 본 연구는 경기도 내 30,393개 공장을 모집단으로 하여 계획입지의 특성을 심층분석한 점에 의의가 있다. 끝으로 '자연보전권역' 내 수질환경을 효과적으로 관리하고 산업의 경쟁력을 확보하기 위해서 폐수처리가 되는 산업단지를 확대하는 동시에 소규모의 공장이 확산하는 것을 억제하는 정책을 시급히 마련해야 된다.

**주제어:** 자연보전권역, 입지규제, 산업입지, 로지스틱회귀분석

---

# 그린인프라의 도시침수 위험 완화 효과 : 전라남도 구례군을 대상으로\*

## Mitigating Urban Flood Risk with Green Infrastructure : A Case Study of Gurye-gun, Jeollanam-do

심지수\*\* · 구형수\*\*\*

Jisoo Sim\*\* · Hyeongsu Koo\*\*\*

### Abstract

Urban flooding and its associated damages are increasingly prevalent due to the rising frequency of extreme weather events. This study empirically analyses the effectiveness of green infrastructure in mitigating risk in urban flood-prone areas. Using Gurye-gun in Jeollanam-do, South Korea, as a case study, the research identifies risky areas and evaluates the pre- and post-deployment effects of green infrastructure on reducing risk through the InVEST analytical tool. Rainfall scenarios were categorized into current, low-carbon, and high-carbon emission scenarios, under which the extent of risk improvement through green infrastructure was assessed. The findings identified Baekryeon-ri, Naengcheon-ri, and Woljeon-ri as high-risk areas within Gurye-gun. The deployment of green infrastructure not only mitigated risk in these regions but also contributed to an overall reduction in urban flood risk across Gurye-gun. This study serves as foundational research, empirically demonstrating the role of green infrastructure in enhancing urban flood resilience.

**Keywords:** Climate Change, Urban Flooding, Green Infrastructure, Nature-Based Solutions, InVEST Model

### 1. 서 론

최근 기후변화의 속도가 점차 빨라지면서 극한기후 현상의 발생 빈도와 그 규모 또한 증가하고 있다. ‘기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)’에서는 온실가스 배출로 인한 1970년대 이후의 기후변화가 지난 2000년 내 어떤 50년보다 더 빠르게 증가하고 있음

을 지적하고 있다. IPCC에서 발간한 제6차 종합보고서에 따르면 IPCC는 기후변화로 인한 영향을 평균기온의 상승, 극한 강수, 해수면 상승으로 구분하고 있다. 특히 도시환경에서 관측된 기후변화가 인간의 건강 및 생태, 주요 기반 시설 등에 악영향을 미치고 있음을 지적하고 있다(IPCC, 2023). 기후변화는 국내에서도 빠르게 진행되고 있다. 지난 106년간 우리나라의 연평균기온의 변화량은  $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{년}$ 으로

\*본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 “기후위기대응 홍수방어능력 혁신기술개발사업”의 지원을 받아 연구되었습니다(2022003460002).

\*\*부산대학교 조경학과 조교수(주저자: jisooosim@pusan.ac.kr)

\*\*\*국토연구원 도시연구본부 연구위원(교신저자: hskoo@krihs.re.kr)

상승하고 있다. 이 같은 변화는 최근 가속화되고 있으며 지난 30년 동안의 강수량은 20세기 초보다 124mm 증가했고 강한 강수의 발생 빈도가 잦아지고 있다(국립기상과학원, 2018).

기후변화로 인해 발생하는 극한기후 현상 중에서도 도시지역에 큰 영향을 미치는 현상으로는 극한 강수(홍수, 폭우 등)가 있다. 기후변화로 인한 극한 강수의 증가는 불투수 지역의 면적이 넓고 많은 인구가 밀집한 도시지역에 침수를 유발하고 있다. 도시침수의 발생 원인은 하천의 수위를 넘어서는 강우량으로 인해 발생하는 외수 범람과 기존 배수 용량 초과로 인해 발생하는 내수 침수로 구분된다(이종형·연기석, 2008; 이상호 외, 2023). 도시 내 기존 배수시설의 용량은 지역의 강우강도·강우량 등 기상조건, 토지이용계획, 계획 인원 등을 고려하지만 기후변화로 인한 변동성을 예측하여 반영하기 어렵기 때문에 극한 강수로 인한 도시침수의 발생 위험 또한 높은 상황이다.

최근 국내에서는 이러한 침수 피해를 겪고 있는 지역이 점차 많아지고 있으며, 전라남도 구례군도 여기에 해당하는 대표적인 지역 중 하나이다. 구례군의 경우 2020년 8월에 발생한 폭우로 섬진강 지류인 서시천이 범람하면서 그 일대의 주택, 농가 등이 대규모로 침수되었을 뿐 아니라, 738가구 1,149명에 달하는 이재민이 발생하였다(구례군, 2021). 이는 구례군에 도시침수에 대한 경각심을 불러일으키는 주요 계기가 되었다. 이후 구례군은 도시침수 문제의 재발을 막기 위해 환경부 주관의 ‘하수도 정비 중점 관리 지역 도시침수 예방사업’을 추진하게 되었을 뿐 아니라, 기후변화 대응정책의 일환으로 생활권 주변 녹지기반 확충 등을 포함한 도시숲 조성사업도 활발히 추진하고 있다(구례군, 2023a; 2023b).

구례군의 정책 이면에는 직접적인 도시침수 대응뿐만 아니라 간접적인 방향에서 기후변화 대응을 위한 그린인프라의 활용이 있다. 이미 다수의 연구에

서 도시 내 녹지가 기후변화 대응에 효과적임을 확인하였다. Elmqvist et al.(2019)은 도시 녹지가 도심 열 스트레스 감소에 영향을 미친다는 것을 발견했고, Dhyani and Thummarukuddy(2016)는 기후변화를 모델링하여 그린인프라가 도시 내 온실가스 감축에 기여할 수 있음을 확인하였다. 광역적인 관점에서 Pamukcu-Albers et al.(2021)의 연구는 도시 내 그린인프라가 기후변화와 팬데믹과 같은 위기에 대한 도시 회복력 강화에 필수적임을 강조하였다.

이에 이 연구는 기후변화에 대한 변동성이 높으며 정책적 의사결정이 필요한 전라남도 구례군을 대상으로 기후변화 대응을 위한 그린인프라 활용의 효과를 검증하고자 한다. 이를 위해 구례군 전역을 대상으로 극한기후로 인한 폭우에 도시침수가 발생할 수 있는 지역을 추출하고 해당 지역에 그린인프라를 도입했을 경우를 가정하여 그린인프라 도입이 도시침수 위험을 개선하는 데 미치는 영향을 유출지수를 중심으로 확인할 예정이다. 도시침수 위험지역을 도출하고 그린인프라 도입의 효과를 검토하는 주요 분석 도구로는 InVEST model에서 제공하는 도시홍수 위험완화(UFRM, Urban Flood Risk Mitigation) 모델을 사용할 예정이다. 이를 통해 기후변화로 인한 구례군의 도시침수 위험지역을 확인하고, 그린인프라의 도입이 도시침수 위험을 완화하는 데 미치는 영향을 파악하여 구례군의 도시침수 대응 및 그린인프라 확대 계획에 대한 정책적 시사점을 제공하고자 한다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1 기후변화와 도시침수

기후변화는 지구 평균기온 상승과 기후 패턴 변화를 의미하며, 이는 해수면 상승, 극단적인 기상 현상, 생태계 변화를 초래한다. 이러한 변화는 주로 인간 활동으로 인한 온실가스 배출 증가에서 기인한다. 기후변화로 인해 특정 지역에서는 홍수가 빈번해지

고, 다른 지역에서는 가뭄이 심화되는 등 극단적인 기상 현상이 나타난다(Pamukcu-Albers et al., 2021; Depietri and McPhearson, 2017).

이 중 도시침수는 기후변화로 인한 강우량 증가, 해수면 상승, 강과 하천의 범람 등으로 인해 도시 지역이 물에 잠기는 현상을 의미한다. 이는 단순히 물리적 피해 뿐만 아니라 경제적, 사회적, 환경적 영향을 미친다. 예를 들어, 2017년 허리케인 하비(Hurricane Harvey)는 미국 텍사스 주 휴스턴 지역에 엄청난 홍수를 일으켜 수십억 달러의 피해를 입혔다(Elmqvist et al., 2019). 이러한 경제적 피해는 재산 손실, 생산성 감소, 복구 비용 증가 등을 포함하며, 홍수로 인한 경제적 손실은 전 세계적으로 매년 수천억 달러에 달할 것으로 예상된다.

기후변화로 인해 도시침수의 빈도와 강도는 더욱 증가할 것으로 예측된다. IPCC 보고서에 따르면, 21세기 말까지 전 세계 해수면은 최대 1미터 상승할 수 있으며(IPCC, 2023), 이는 해안 도시의 침수 위험을 크게 증가시킬 것으로 예측되고 있다(Dhyani and Thummarukuddy, 2016). 따라서 도시침수로 인한 피해경감을 위한 방안이 필요한 시점이다.

도시계획 차원에서는 도시 전체를 아우르는 종합적인 홍수 방지 계획을 수립하는 것이 필요하다. 이는 지방 정부, 중앙 정부, 민간 부문이 협력하여 장기적인 전략을 개발하고 실행하는 것을 포함한다. 자연 생태계를 활용한 홍수 방지 방안도 주목받고 있다. 예를 들어, 습지 복원, 하천 정비, 해안선 보호를 통해 자연적으로 물을 조절하는 방식이 있다(Pamukcu-Albers et al., 2021). 지역적 대응으로는 도시 내 침수 위험지역을 식별하고, 강우량을 효율적으로 관리하기 위한 인프라를 구축하는 것이 중요하다. 예를 들어, 빗물 저류조, 배수 시스템 개선, 홍수 방어벽 등의 설치가 포함된다. 또한, 도시 내 공원, 녹지대, 식물 지붕 등을 통해 빗물을 흡수하고 도시 열섬 효과를 완화하는 것도 효과적인 대응방안이다

(김준성 외, 2022).

국내 연구에 따르면, 정세진 외(2022)는 기후변화에 따른 도시침수가 도시 교통 네트워크에 미치는 영향을 예측하는 기술을 개발하였다. 이 연구는 기후변화 시나리오를 적용하여 집중호우 시 도시하천의 침수를 예측하고, 미래 기후변화의 영향을 고려한 도로 침수로 인해 발생할 수 있는 교통 네트워크의 장애를 평가하였다. 김문모·김억기(2014)는 SLEUTH 모델을 이용하여 남양주시를 대상으로 기후변화와 토지이용변화를 고려한 도시지역의 침수 분석을 실시하였다. 이 연구는 미래 기후변화에 따른 배수체계의 성능 제고를 위해 도시계획 시 이를 반영해야 함을 강조하였다.

이와 같은 연구들은 기후변화로 인한 도시침수 문제를 해결하기 위해 다각적인 접근이 필요함을 시사한다. 따라서 도시계획과 자연기반해법을 결합하여 지역 차원에서 도시침수에 대응하는 방안을 고려해 볼 필요가 있다.

## 2.2 자연기반해법으로서 그린인프라

그린인프라(Green Infrastructure, GI)는 도시 환경에서 자연 생태계를 복원하고 보전함으로써 기후변화로 인한 영향을 완화하고 도시 회복력을 강화하는 것을 목표로 한다. 그린인프라는 공원, 녹지대, 옥상녹화, 도시숲, 빗물 정원, 선형공원(Linear Park) 등 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 이는 생태적, 경제적, 사회적 혜택을 제공한다(Pamukcu-Albers et al., 2021; Depietri and McPhearson, 2017).

생태적 관점에서 그린인프라는 도시 내 동식물의 서식처로 활용되어 종 다양성을 증가시킨다. 이는 또한 생태계의 회복력을 높인다(Beninde et al., 2015). 경제적 관점에서는 그린인프라의 일환으로 도시공원을 도입하는 경우 관광객 증가, 세수 증가, 부동산 가치의 향상 등의 효과를 발생시킨다(Crompton, 2007). 대체로 이와 관련한 연구에서는

그린인프라가 환경에 기여하는 정도를 경제성으로 치환하여 평가하기도 하고, 주변 부동산 가치를 향상시키는 효과를 통해 그 경제적 가치를 측정한다(Lin et al., 2013). 그린인프라의 사회적인 기능으로는 도시공원, 녹지 등에서 사회적 활동을 촉진한다는 점을 들 수 있다. 인종, 성별, 소득수준 등으로 발생할 수 있는 사회적 분리를 완화한다는 점에서 그린인프라의 사회적 혜택을 확인할 수 있다(Ho et al., 2005).

더 나아가 기후변화 대응효과에도 주목할 필요가 있다. 우선 그린인프라는 기후변화의 원인이 되는 온실가스 배출 감소에 기여한다. 도시 숲과 녹지대는 이산화탄소를 흡수하고 산소를 방출한다(Dhyani and Thummarukuddy, 2016). 그린인프라는 도시 열섬 현상과 홍수 및 침수 피해도 완화한다. 우선 식물과 녹지는 증산작용을 통해 주변 온도를 낮추고, 녹지 공간은 열을 흡수하여 열섬 현상을 줄인다(Elmqvist et al., 2019). 또한 그린인프라는 빗물을 흡수하고 저장하여 강우 시 발생할 수 있는 홍수와 침수를 완화한다. 빗물 정원, 녹지 회랑 등이 이러한 역할을 한다(Shafique et al., 2018).

최근에는 도시침수 문제 해결을 위한 자연기반해법의 일환으로 그린인프라의 활용 가능성을 제시하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. Skrydstrup et al.(2022)는 도시 내 홍수 완화와 침수 지연에 대한 그린인프라의 활용 효과에 대한 기존 연구와 그 결과를 검토하여 도시 규모의 홍수 적응 계획에 필요한 가치 전이 함수(Value Transfer Function)를 도출했다. 총 23개의 연구를 종합하여 자연기반해법 계획에서 필요한 그린인프라의 적정 규모를 검토하여 소규모 그린인프라의 효과가 높은 것을 발견했으며 이 같은 접근법은 도시 내 홍수 적응뿐만 아니라 그린인프라의 여가적 가치를 증진시킨다는 효과를 확인했다(Skrydstrup et al., 2022). 국내에서는 홍수로 인한 지표수 유출의 속도 지연을 위한 식재

수종에 대한 연구(지운 외, 2021) 및 홍수 관리를 위한 홍수완충구간 입지 선정(지운 외, 2022) 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

그린인프라의 활용이 기후변화에 대한 사전적, 사후적 피해를 경감한다는 점에 관해서는 많은 연구가 지지하고 있으나, 그린인프라에 대한 연구에는 여전히 몇 가지 한계가 존재한다. 우선 그린인프라의 효과를 장기적인 관점에서 평가하는 데 필요한 데이터 구득이 어렵다. 또한, 그린인프라의 설치와 관리에 필요한 비용이 높아 경제적 부담이 될 수 있다. 끝으로, 그린인프라의 효과를 특정 지역 외에 일반화하기 어렵다는 점도 한계이다(Drosou et al., 2019).

### 2.3 도시침수 위험 평가

도시침수의 위험을 평가하는 방법에는 도시침수의 공급 측면에서 강수량을 예측하는 연구(Zhang et al., 2019)와 도시지역의 배수 시스템, 건물(이창희·한건연, 2007), 도로 및 도로네트워크(손아롱 외, 2015) 등 도시지역의 물리적 특성을 고려하는 연구가 있으며, 최근 연구는 두 관점을 모두 고려하고 있다(Feloni et al., 2022).

Zhang et al.(2019)은 불확실성을 분석하여 최대 가능강수량(PMP, Probable Maximum Precipitation)과 가능최대홍수량(PMF, Probable Maximum Flood)을 산출하는 방법을 제시하였다. 그러나 도시 지역은 인간의 활동이 밀집된 지역으로 PMP와 PMF를 추정하는 데 더 복잡할 수 있다. 특히 도시 인프라로 배수시스템이 별도로 존재하며 넓은 불투수면 등은 도시환경에서 PMP와 PMF의 예측을 더욱 어렵게 한다(Gao et al., 2023). Gao et al.(2023)은 도시홍수의 위험을 평가하는 모델을 제안한 연구로 이들의 도시침수 모델은 수문학 데이터(강수량 등), 유출수리학(지형, 배수구 등), 배수학(도관, 맨홀 등), 검증 데이터 등을 포함한다. Feloni et al.(2022)은 도시의 지형, 기후, 유역 정보 등 다양한 요인을 기반으로 도



시 내 홍수의 발생과 그로 인한 영향에 대해 GIS를 사용하여 예측하였다. 그리스 서부지역을 대상으로 실제 침수지역을 표기하고, 여기에 불투수성, 토지피복, 강우량 등 세 가지 요인이 어떠한 영향을 미치는지 통계적으로 검증하였다.

도시침수의 위험을 평가하는 방법으로 공간정보 시스템의 활용이 증가하고 있다(Cabrera and Lee, 2020; Yao et al., 2024). Cabrera and Lee(2020)는 수문학적 모델링을 위한 변수를 설정하고 보정하는데 시간 및 자원이 많이 소요되며 정량적 모델링 또한 요인 설정에 전문가의 개입 등이 필요하다는 단점을 지적하며 이를 보완하는 방법으로 GIS 기반 모델링 프로세스를 제안했다. 이들의 연구는 필리핀 다바오 오리엔탈 지역을 대상으로 데이터가 부족한 지역의 홍수 취약성을 분석하기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process) 및 Maxent 모델을 사용하여 홍수 위험이 높은 지역을 식별했다(Cabrera and Lee, 2020).

도시침수와 이에 대한 지역의 적응성을 평가하는 방법 중 하나는 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) 모델이 있다. 이는 생태계서비스의 가치를 정량화하여 지도로 작성할 수 있는 대표적인 의사결정 지원 도구이다(Natural Capital Project, 2024).<sup>1)</sup> Yao et al.(2024)은 InVEST 모델과 GIS를 활용하여 미국 뉴욕시의 도시침수 위험을 평가했다. 이들은 InVEST 모델을 사용하여 뉴욕시의 물 생산량(Water Yield)과 토양, 수질정화 등을 평가하고 홍수적응성을 평가하기 위한 요인을 선정하여 뉴욕시의 홍수 적응 가능 지역을 총 다섯 단계로 도출했다(Yao et al., 2024). Kadaverugu et al.(2022)의 연구도 인도 하이데라바드를 대상으로 InVEST 모델을 사용하여 유출수를 추정하고 이 외 도시 인프라(건물, 도로 밀도 등),

식생피복 등을 반영하여 도시의 홍수 취약성을 추정하였다(Kadaverugu et al., 2022).

InVEST가 제공하는 여러 기능 중에서 도시홍수 위험완화(UFRM, Urban Flood Risk Mitigation) 모델을 적용하여 도시홍수의 위험을 평가하는 연구도 있다. Bose and Mazumdar(2023)는 인도 콜카타시(Kolkata City)의 도시홍수 상황을 검토하고 필요한 완화 방안을 찾기 위해 InVEST-UFRM 모델을 사용하였다. 이들은 콜카타 시의 홍수 위험은 특히 북부지역이 높으며 강우량 변화에 따라 홍수량이 약 71% 증가하는 것을 발견했고, 홍수 위험을 완화하기 위해 초과 유출 감소, 유출 저감 방안 등에 대책이 필요함을 지적했다(Bose and Mazumdar, 2023). Leta and Adugna(2024)은 에디오피아의 아마다시(Adama)를 대상으로 도시 구역의 홍수 위험 시나리오를 분석하고 네 가지 시나리오에서 도시홍수의 유출저감 효과와 도시홍수 정도의 차이를 시나리오별로 비교하는 데 InVEST-UFRM 모델을 사용하였다.

상기 내용을 종합하면, 최근의 연구들은 도시침수를 예측하고 평가하기 위해 기존의 모델에서 고려하는 강수, 기상 등 정보뿐만 아니라 도시지역이 갖는 특성이자 기후에도 영향을 미치는 인자인 건물, 토지피복 등을 종합적으로 고려하는 추세로 전환되고 있다. 구체적인 연구방법으로는 GIS의 활용이 증가하고 있으며 InVEST 모델 또한 도시침수의 위험성 등을 평가하는 방법으로 주목받고 있다.

### 3. 연구 방법

#### 3.1 연구의 범위

이 연구는 도시침수의 위험을 검토하고 그린인프라의 활용이 도시침수의 위험 저감에 얼마나 영향을 미치는가를 진단하며, 이를 위한 공간적 범위는 전

1) 생태계서비스는 인간이 생태계로부터 얻는 편익을 의미하며, 공급·조절·지원·문화 서비스의 네 가지로 구분된다(심지수·박윤선, 2024).

라남도 구례군으로 한정한다. 구례군은 2020년 8월 집중호우로 인해 침수피해가 발생한 지역으로 전체 농경지 699ha가 침수되고 시장 내 점포가 모두 물에 잠기는 등 총 1,807억 원의 상당의 피해액이 발생한 지역이다(구례군, 2021). 이 같은 피해로 인해 2020년 환경부 주관 ‘하수도 정비 중점 관리 지역 도시침수 예방사업’에 선정되어 총 사업비 570억 원을 확보하고, 2026년까지 도시침수 예방을 위한 사업이 진행되고 있다(구례군, 2023a).

구례군이 속한 섬진강 유역은 국가하천 중 네 번째로 큰 유역이지만, 치수 용량이 부족하여 홍수에 취약한 지역으로 평가받고 있다(이문환 외, 2011; 정재원 외, 2021). 구례군은 남부 내륙지역으로 비교적 작은 지역이나 국가하천(섬진강) 및 지방하천이 지역을 통과하고 하천을 중심으로 도시가 개발되는 등 남부 내륙지역을 대표할 수 있는 지역이기도 하다.

구례군을 대상으로 선정한 것은 집중호우로 인한 피해가 급격히 증가한 곳이자, 빠르게 사업비를 확보하고 적극적으로 대응을 시도하고 있는 곳으로 그린인프라의 활용 효과에 대한 검증뿐만 아니라 실천에 대한 시사점도 제공할 수 있기 때문이다. 내용적 범위로 도시침수의 위험을 약 100여 년 빈도로 검토하고 그린인프라를 활용한 경우에 도시침수의 위험이 얼마나 변화하는지를 검토하는 것으로 한다.

### 3.2 분석 도구

이 연구는 도시침수의 위험을 평가하고 그린인프라의 도시침수 완화 효과를 검토하기 위한 것으로서 이를 분석하는 다양한 모델 중에서 그린인프라의 효과를 평가하는 InVEST<sup>2)</sup> 모델을 주요한 분석 도구로 활용하였다. 여기서 세부 모델 중 하나인 도시홍수 위험 완화(UFRM, Urban Flood Risk Mitigation)

모델은 유역, 강우량, 도시환경 등을 고려하여 도시 내 침수의 발생에 대해 유출지수를 중심으로 평가하고 피해를 산출한다(Natural Capital Project, 2024). InVEST-UFRM 모델은 도시 환경에 적합한 도시침수 위험도를 도출하는 모델이자 생태계서비스를 기반으로 하고 있기 때문에 도시침수 위험과 그린인프라의 활용 효과를 검증하는 데 적합하다.

InVEST-UFRM 모델의 작동 원리는 다음과 같다. 우선, 각 단위(i)당 토지이용 유형과 토양 특성에 따라 유출수를 추정하여 유출지수( $Q_{p,i}$ )에 따라 도시침수의 위험을 도출한다. 유출은 토양 및 토지의 특성에 따라 각 단위가 내포할 수 있는 잠재적 함수량( $\lambda \cdot S_{\max,i}$ ,  $\lambda=0.2$ )을 강우량(P)이 초과할 때 발생하며 유출량 산출은 수식 1에 따른다. 이는 배수가 어려워 S값이 작은 경우, 그만큼 최소한계 유출 시작점에 빠르게 도달하는 구조이다(식 (1)).

$$Q_{p,i} = \begin{cases} \frac{(P - \lambda S_{\max,i})^2}{P + (1 - \lambda) S_{\max,i}} & \text{if } P > \lambda \cdot S_{\max,i} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

유출을 저감하는 정도는 함수지수인  $S_{\max}$ 로 특정할 수 있다. 이는 수식 2에 따라 산출하며 토지이용과 토양의 특성을 고려한 유출곡선(CN, Curve Number) 값에 따라 산출된다(식 (2)). 이후, 단위당 유출 저감지수( $R_i$ )는 강우량이 잠재적 함수량 보다 작은 경우에는 유출을 전부 저감하고 그 반대의 경우에는 식 (3)에 따라 산출할 수 있다. 또한 유출량의 부피는 식 (4)에 따라 산출하였다.

$$S_{\max,i} = \frac{25400}{CN_i} - 254 \quad (2)$$

2) Natural Capital Project, “InVEST Software”, Accessed August 1, 2024. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>.

$$R_i = 1 - \frac{Q_{p,i}}{P} \quad (3)$$

$$Q_{m3_i} = Q_{p,i} \cdot unit.area \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

분석 과정은 총 3단계로 구분할 수 있다. 1단계에서는 InVEST-UFRM을 사용하여 도시침수 위험지역을 추출한다. 이후 2단계에서는 위험지역을 대상으로 그린인프라를 배치하되, 시가화건조지역이면서 하천 경계로부터 500m 이내인 곳으로 한정한다. 이는 섬진강 수계에서 수변구역을 지정하는 기준을 참조한 것이다. 단일 필지의 면적은 법적으로 명시된 공원의 면적 중 가장 작은 1,500m<sup>2</sup> 이상으로 한다. 또한 그린인프라의 종류는 도시 내 녹지로 자연형 녹지와 인공 녹지(예: 도시공원 등)를 각 50% 비율로 적용하였다. 3단계에서는 그린인프라를 배치한 이후 도시침수 위험지역을 1단계와 같은 방식으로 추출하며, 이를 통해 그린인프라의 배치가 도시침수의 위험 경감에 얼마나 기여하는지를 파악할 수 있다.

### 3.3 데이터 수집

InVEST-UFRM 모델에 필요한 데이터는 토지이용 정보, 강우량, 토양그룹(배수등급), 생물물리학적표(Biophysical Table)<sup>3)</sup>이다. 토지이용정보는 환경공간 정보서비스에서 제공하는 토지피복지도(2023년)를 활용하였으며, 이를 위해 중분류 코드를 InVEST-UFRM 모델에서 사용하는 토지이용정보 분류에 맞추었다(Table 1).

강우량은 전체 강우의 정도를 mm단위로 표기한 것으로 김선태 외(2023)를 참고하여 산정했다. 이들은 국내 극한 강수 분석을 위해 전국을 26개의 하

천 대권역으로 구분하고 SSP 기반 기후변화 시나리오를 사용하여 100년 재현빈도 강수량을 산출하였다. 이에 따르면 구례군은 섬진강 유역권에 해당하며 현재 강수량(2000~2019년)은 244.7mm/일이다. 또한 구례군의 100년 재현빈도 강수량은 저탄소 시나리오에서는 424.2mm/일, 고탄소 시나리오에서는 479.1mm/일로 도출되었다(김선태 외, 2023). 따라서 이 연구에서는 현재 강수량(244.7mm/일), 저탄소 시나리오(424.2mm/일), 고탄소 시나리오(479.1mm/일) 등 세 가지의 시나리오 값을 사용하였다<sup>4)</sup>.

토양그룹은 배수등급을 의미한다. InVEST-UFRM 모델에서는 미국 농무부(United States Department of Agriculture, USDA)가 제시한 분류에 따라 토양그룹을 총 4개(A, B, C, D)로 구분한다. 하지만, 우리나라의 국립농업과학원이 제공하는 토양환경지도는 배수등급을 총 6등급으로 분류하고 있다. 따라서 이 연구에서는 미국 농무부의 토양 그룹이 갖는 배수 속성을 기반으로 국내 토양환경지도의 배수등급을 재분류하였다(Table 2).

## 4. 연구 결과

### 4.1 도시침수 위험지역

이 연구에서는 앞서 설정한 총 3개의 강수량 시나리오에 대한 도시침수 위험지역을 도출하였으며, 그 결과는 Fig. 1과 같다. 분석 결과, 공통적으로 도시침수 위험지역으로 도출된 지역은 백련리, 냉천리, 월전리 일대인 것으로 나타났다. 세 가지 시나리오에서 각각 도시침수의 정도의 차이는 있지만, 해당 지역 모두 강수량을 유출하는 정도가 다른 지역보다

3) 생물물리학적표(Biophysical Table)는 InVEST model에서 제공하는 표로 토지피복에 따른 배수등급 등을 수치화한 것이다.

4) 미래 극한기후를 추정한 기후변화 상황지도에서는 연구 대상지의 극한 강우를 SSP5-8.5 기후변화에서 2087년 338mm, SSP1-2.6 모형에서는 2044년 287mm 등으로 예측하고 있으나 100년 재현빈도를 고려하고 있지 않기 때문에 김선태 외(2023)의 연구에서 제시한 극한 강수량을 연구에 활용하였다.

Table 1. Land Cover Re-Classification System

Land Cover Classification in Korea			Land Cover Classification InVEST-UFRM	
Classification (Code)	Subclassification	Code	Classification	Code
Urbanized Area (100)	Residential	110	Medium Intensity Developed	3
	Industrial	120	Medium Intensity Developed	3
	Commercial	130	High Intensity Developed	2
	Recreational Facilities	140	High Intensity Developed	2
	Transportation	150	Open Space Developed	5
	Public Facilities	160	Low Intensity Developed	4
Agricultural Area (200)	Rice Paddies	210	Cultivated Land	6
	Fields	220	Pasture/Hay	7
	Greenhouse Cultivation	230	Cultivated Land	6
	Orchards	240	Cultivated Land	6
	Other Cultivated Land	250	Pasture/Hay	7
Forest Area (300)	Deciduous Forest	310	Deciduous Forest	9
	Coniferous Forest	320	Evergreen Forest	10
	Mixed Forest	330	Mixed Forest	11
Grassland (400)	Natural	410	Grassland	8
	Artificial	420	Grassland	8
Wetlands (500)	Inland	510	Palustrine Scrub/Shrub Wetland	14
	Coastal	520	Estuarine Scrub/Shrub Wetland	17
Bare Land (600)	Natural Bare Land	610	Bare Land	20
	Artificial Bare Land	620	Bare Land	20
Water (700)	Inland	710	Water	21
	Marine	720	Palustrine Aquatic Bed	22

Table 2. Soil Drainage Re-Classification System

Soil Drainage Classification in Soil Environment Maps		Excellent	Good	Fairly Good	Slightly Poor	Poor	Very Poor	Others
Soil Classification System in InVEST-UFRM								
A	Soil with High Saturated Hydraulic Conductivity, Allowing for Rapid Water Absorption	○						
B	Soil with Medium Saturated Hydraulic Conductivity, Providing Good Drainage		○					
C	Soil with Low Saturated Hydraulic Conductivity, Resulting in Less Efficient Drainage			○	○			
D	Soil with Very Low Saturated Hydraulic Conductivity, Leading to Poor Drainage					○	○	○

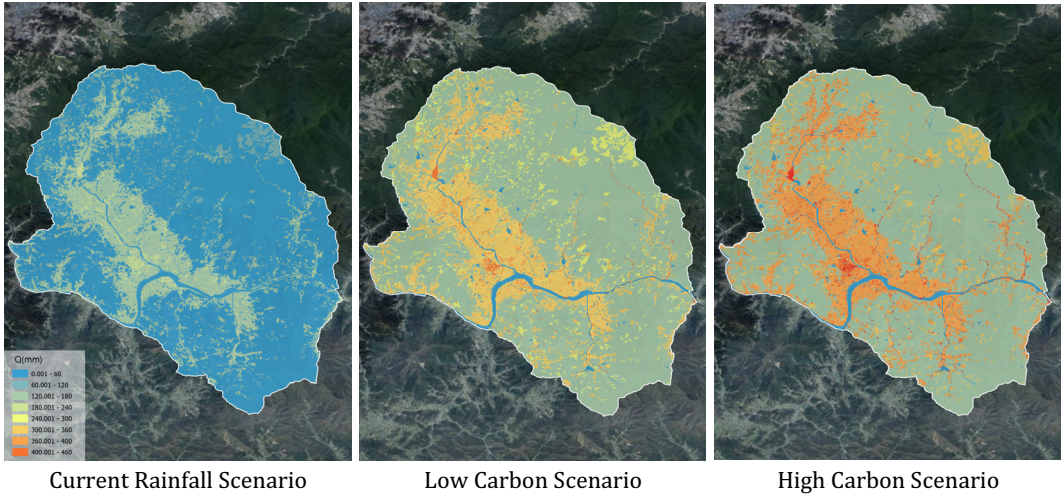


Fig. 1. Urban Flood Prone Areas in Gurye-gun

높았다.

이 중 도시침수 위험이 가장 높은 백련리는 구례읍 시가지로 대부분의 토지피복이 시가지 건조지역 (100)에 해당하고, 배수등급 또한 불량한 곳이다. 백련리의 강수량 유출 정도는 전체 강수량의 약 80~100% 정도로 비교적 높은 비율로 강수가 유출 되는 지역이다. 냉천리는 백련리만큼 시가지건조지역이 집중된 지역은 아니나 월전리 일대보다는 좀 더 많은 주거지역이 밀집된 곳으로 도시침수 위험정도가 높게 도출되었다. 냉천리 인근의 유출지수 또한 전체 강수량의 75% 정도로 높은 비율로 강수 유출이 예상되는 지역이다. 월전리는 위의 두 지역 중 가장 낮은 밀도의 주거지역이 밀집되어 있지만, 상대적으로 하천과의 거리가 가깝고 섬진강의 주요 수계와 인접한 곳으로 섬진강 인근의 농경지가 도시침수 위험지역으로 도출되었다.

이상 총 세 가지 시나리오를 통해 도시침수 위험지역을 도출한 결과, 시가지 건조지역이 밀집된 지역 두 곳과 섬진강 수계에 접해있는 농경지 인근이 공

통적으로 도시침수 위험지역으로 추출되는 것을 확인할 수 있었다. 단, 세 가지 시나리오에 따라 도시침수 위험지역의 분포가 크게 달라지지는 않아 이를 도출할 때 강수량이 아닌 다른 변수를 활용하는 것이 더 유의한 결과를 도출할 수 있음을 알 수 있었다.

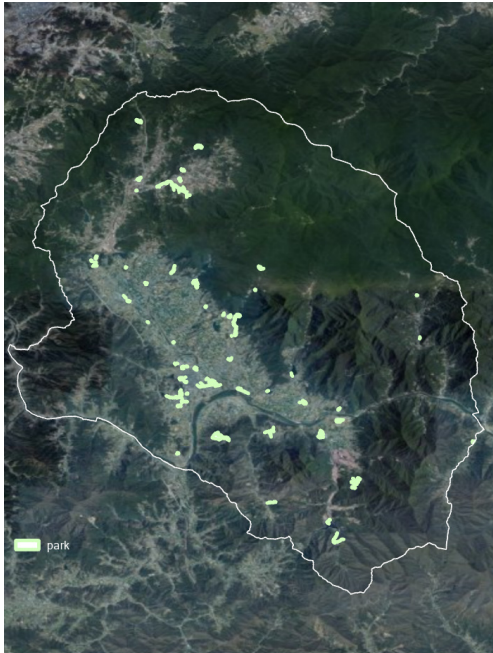
#### 4.2 그린인프라의 효과

도시침수 위험지역을 확인한 후, 다음 기준에 따라 그린인프라를 배치하였다. 우선 하천 경계를 기준으로 500m 이내인 하천 주변지역을 대상으로 도시침수 위험지역 내 유출지수(Q)를 균등(Quantile)하게 5등급으로 나누어 도시침수 위험이 가장 높은 지역 내 필지를 추출했다. 이후 토지피복을 확인하여 시가지건조지역에 해당하는 필지를 추출했다. 다음으로는 1,500m<sup>2</sup>보다 넓은 필지를 추출했다<sup>5)</sup>. 위의 네 가지 조건을 만족하는 필지 중 100개의 필지를 ArcGIS Pro에서 Python을 사용하여 랜덤으로 선택했다. Fig. 2는 이렇게 선택된 필지를 보여준다.

그린인프라를 배치한 이후, 토지피복과 배수등급

5) 그린인프라를 배치하는 데 필요한 면적의 기준은 없으나 이 연구에서는 그린인프라가 갖는 효과를 객관화하고자 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」(국토교통부, 2024)에 명시된 공원의 면적 중 가장 작은 면적인 1,500m<sup>2</sup>를 기준으로 하여 해당 면적 이상인 필지를 선정하였다.





**Fig. 2.** Green Infrastructure Deployment

을 각각 녹지와 양호로 변경하여 1단계와 같은 방식으로 InVEST-UFRM 분석을 시행했다. 시나리오별 그린인프라의 배치 전과 후는 Fig. 3과 같다. 각각의 시나리오에 대해 같은 방식으로 등급을 구분했기 때문에 시나리오별 전과 후의 비교가 가능하다. 이후 ArcGIS PRO의 래스터 계산기(Raster Calculator)를 사용하여 전과 후의 유출지수(Qmm) 차이를 도출하였다. 도시침수 위험지역에서 그린인프라를 배치하기 전의 값에서 후의 값을 뺀기 때문에 비교는 강수량을 얼마나 더 유출하지 않는가로 이해할 수 있다. 이 연구에서 사용한 도시침수 위험은 유출지수로 분석 단계별로 유출량이 mm단위로 산정되며, 그 결과는 Fig. 3의 비교 값에서 확인할 수 있다.

세 가지 시나리오 모두에서 그린인프라의 추가 배치는 도시침수 위험지역의 위험 완화에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 그린인프라의 배치는 도시침수에 대한 위험이 높은 지역의 면적을 축소하는 미시적인 효과뿐만 아니라 지역 전반에 강수

의 유출정도를 절감시키는 거시적인 효과도 보여주었다. 무엇보다 InVEST에서 활용되는 유출 곡선 지수가 각 픽셀 단위에 적용되에도 불구하고, 이처럼 지역적인 유출감소 효과로 나타난 점은 주목할 부분이다. 이는 유출 곡선 지수가 토지이용과 토양특성에 기반하여 유출을 계산하지만 실제 우수경로에 따라 인접한 픽셀 간에 상호작용으로 인해 유출이 강화되거나 감소되는 효과(Mishra et al., 2018)에 따른 것으로 판단할 수 있다.

또한 현재 강수량을 기준으로 보면, 그린인프라를 배치하기 전의 도시침수 위험이 배치 이후, 전체 지역에서 개선되고 있음을 확인할 수 있으며, 특히 위험정도가 높은 지역인 백련리, 냉천리, 월정리에서의 개선효과가 두드러졌다. 정량적으로 전과 후의 유출지수를 비교해도 하천을 중심으로 띠형으로 도시침수에 대한 유출 정도가 감소하였다.

유출지수의 감소 현상은 저탄소 시나리오와 고탄소 시나리오에서도 확인할 수 있었다. 주목할만한 점은 앞서 그린인프라를 배치하기 전에는 세 시나리오 간 차이를 확인하기 어려웠지만, 그린인프라를 배치한 이후의 효과는 그 차이가 비교적 명확하게 나타났다는 것이다. 현재 강수량보다 저탄소 시나리오, 특히 고탄소 시나리오의 경우, 그린인프라 배치로 인한 도시침수의 위험 개선 효과가 확연하게 증가하였다. 이는 그린인프라의 확보가 불확실한 기후 변화 및 그로 인한 극한기후로서 폭우 등에 대응할 수 있는 전략적 도구로 활용될 수 있음을 시사한다.

## 5. 결론 및 시사점

이 연구는 전라남도 구례군을 대상으로 그린인프라가 도시침수 위험을 완화하는가를 InVEST-UFRM을 사용하여 실증 분석한 연구이다. 점차 심화되는 기후변화와 이로 인한 극한기후, 특히 폭우에 대응하기 위한 그린인프라의 효과를 실증하기 위해, 이



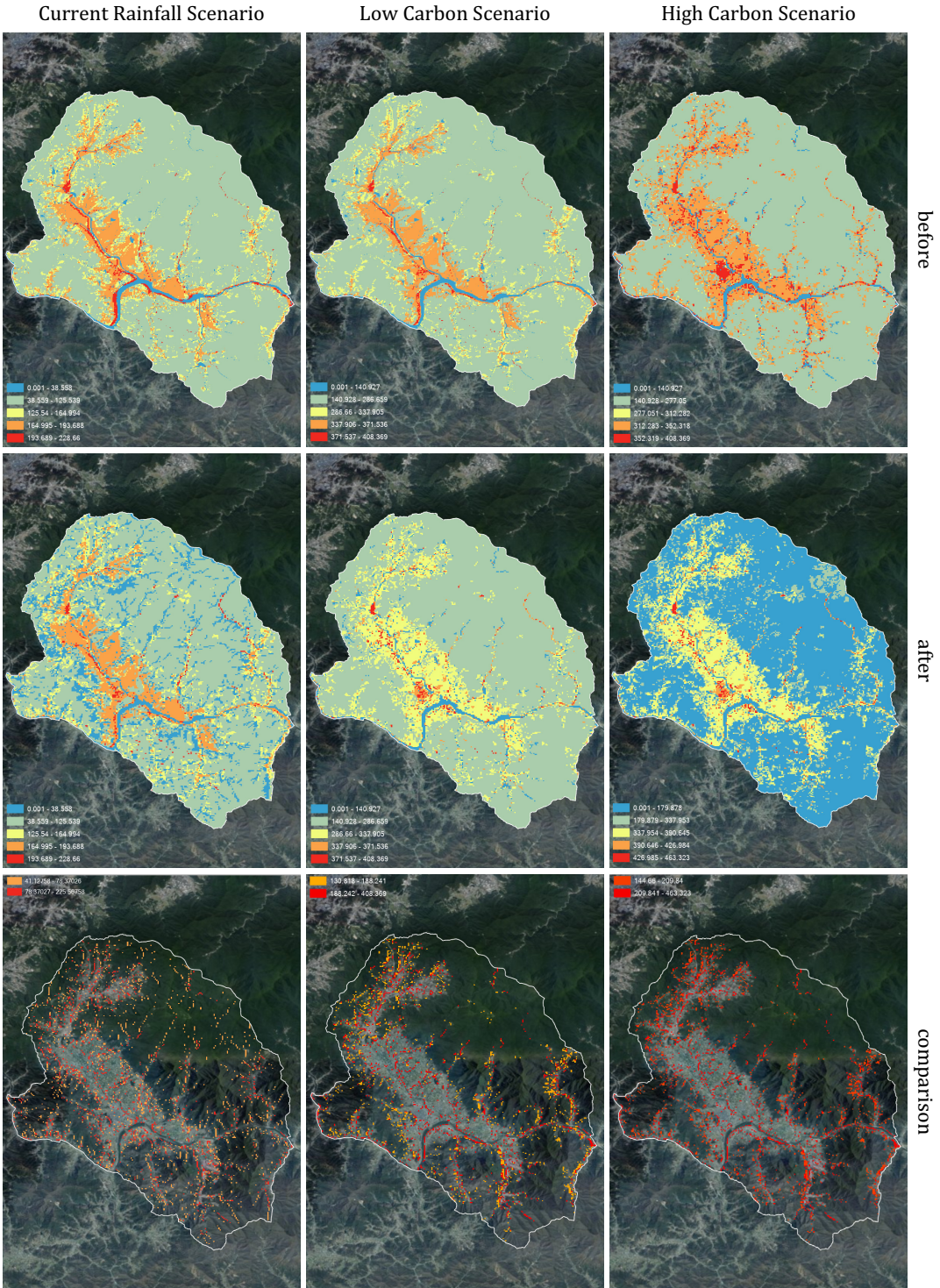


Fig. 3. Comparison of Urban Flood Prone Areas before and after Green Infrastructure Deployment

연구는 현재 강수량과 저탄소 및 고탄소 시나리오를 기준으로 도시침수 위험지역을 도출하고, 해당 지역에 몇 가지 기준에 따라 필지를 선별한 후, 그린인프라를 배치했다. 이후 같은 분석 도구를 사용하여 도시침수 위험 정도가 얼마나 개선되었는지를 확인하였다. 연구 결과, 그린인프라의 배치는 도시침수 위험지역의 면적을 축소할 뿐 아니라, 전체 지역의 도시침수 위험을 전반적으로 개선하는 효과를 지닌다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 고탄소 시나리오에서 사용한 높은 강수량의 경우에 그 효과는 낮은 강수량보다 컸다. 이는 이전의 연구에서는 검증하지 못한 부분으로 이 연구의 주요한 시사점이 될 수 있다.

이러한 결과는 도시침수 위험을 개선하는 데 있어 그린인프라의 배치가 미치는 영향을 검토했다는 점에서 다음과 같은 시사점을 가진다. 우선 1단계 도시침수 위험지역을 도출한 결과에서는 강수량의 변화가 도시침수 위험지역을 도출하는 데 유의한 변화를 도출하지 않는다는 점을 확인할 수 있었다. 강수량의 변화는 도시침수 위험지역의 위험 정도에 영향을 미치지만, 강수량이 변화한다고 해서 새로운 도시침수 위험지역이 나타나지는 않았다. 이는 도시침수 위험지역을 도출할 때, 강수량의 변화만 고려할 것이 아니라 여러 가지 다른 모델을 사용하여 중첩되는 지역을 위험지역으로 선정하는 것이 더 유효함을 의미한다.

다음으로 그린인프라의 배치는 도시침수 위험을 개선하는 데 도움이 된다. 그린인프라의 효과를 분석한 연구결과는 도시침수의 위험 정도를 개선하는 미시적이고 직접적인 효과 외에도 지역 전반에 도시침수 위험 정도를 개선하는 효과가 있었다. 또한 강수량이 높을수록 그린인프라의 배치가 도시침수 위험을 완화하는 효과가 높음을 확인할 수 있었다. 이 같은 결과는 그린인프라의 배치가 불확실한 변동성에 대응할 수 있다는 기초적인 연구결과로 활용할

수 있다.

지금까지 그린인프라의 효과는 여러 가지 관점에서 다양한 방식으로 확인할 수 있었다. 그러나 기후 변화 대응을 위한 그린인프라의 효과를 특정 지역에 한정하여 실증한 연구는 드물다. 이 연구는 전라남도 구례군을 대상으로 그린인프라의 도시침수 위험 개선 효과를 실증했다는 점에서 그 의미가 있다.

이러한 결과는 정책적 활용의 가능성 또한 가지고 있다. 최근 도시침수로 인한 사회적, 경제적 피해가 심해지면서 많은 지자체에서 이를 완화하기 위한 사업비를 확보하고 다양한 조치를 취하고 있는 상황이다. 이 연구는 그린인프라의 배치가 도시침수의 위험을 완화하고 있음을 실증함으로써 정책적 의사결정에 필요한 하나의 대안을 제공한다.

한편, 이 연구는 그린인프라의 활용이 도시침수 위험을 개선하는 것을 확인했다는 점에서 의미는 가지지만, 다음과 같은 한계도 있다. 우선 도시침수 위험지역을 도출하는 과정에서 InVEST URFM 단일 모델을 사용했다는 점에서 한계를 가진다. 이 모델은 토지피복과 토지 배수등급 등 토지가 갖는 특성에 영향을 받는 모델이다. 이 연구에서는 강수량의 변화 및 그린인프라의 배치 전후 비교 등 상대적인 차이를 비교함으로써 모델이 갖는 한계를 보완하고자 했지만, 토양이 갖는 특성이 모델에 미치는 영향을 보완하지 못했다는 한계가 있다. 더 나아가 도시침수에는 하천범람에 따른 영향도 크게 작용하나, 분석 도구가 가지는 한계로 인해 이와 관련한 모델링은 수행하지 못했다.

그린인프라는 그 종류에 따라 도시침수 위험 완화에 영향을 미칠 수 있다. 또한 그린인프라는 도시 내 탄소 저장, 종 서식처, 여가공간 제공 등 다양한 효과를 가지고 있다. 그러나 이 연구에서는 그린인프라의 종류에 따른 효과를 반영하지 않았으며, 자연기반해법이 가지는 다양한 공편익을 고려하지 못했다. 다음 연구에서는 이러한 점들을 보완할 필요가 있다.



## 참고문헌

- 구례군(2021), 「구례지역 섬진강 수해백서」, 전남.
- 구례군(2023a), “구례군, 도시 침수 예방사업에 시동 걸다”, 전남.
- 구례군(2023b), “탄소중립 실천을 위한 도시숲 조성”, 전남.
- 국립기상과학원(2018), 「한반도 100년의 기후변화」, 제주.
- 국토교통부(2024.2.13), “도시공원 및 녹지 등에 관한 법률”.
- 김문모·김억기(2014), “SLEUTH 모델을 이용한 기후 변화에 따른 도시지역 침수분석”, 「한국방재학회논문집」, 14(3): 277~290.
- 김선태·이우섭·정일원·한정민·변영화·김진욱(2023), “미래 기후변화 시나리오에 따른 한반도 유역별 극한 강수 변화 전망”, 「한국기후변화학회지」, 14(2): 83~93.
- 김준성·이종소·표희진·구형수·이상은(2022), “기후 위기시대 도시침수 예방대책: 2022년 수도권 집중호우의 교훈”, 「국토이슈리포트」, 67: 1~12.
- 손아롱·김병현·한건연(2015), “도시지역 도로 네트워크를 활용한 침수지역 예측에 관한 연구”, 「대한토목학회논문집」, 35(2): 307~318.
- 심지수·박운선(2015), “환경가치를 고려한 국유지 비축방안”, 「토지주택연구」, 15(3): 45~59.
- 이문환·정일원·배덕효(2011), “기후변화에 따른 국내 홍수 취약성 평가”, 「한국수자원학회논문집」, 44(8): 653~666.
- 이상호·강태욱·진영규·황동규(2023), “내수 침수와 하천 범람에 의한 도시 침수 현상 구원에 관한사례 연구”, 「한국방재학회논문집」, 23(5): 31~42.
- 이종형·연기석(2008), “XP-SWMM 모형을 적용한 도시지역의 침수해석”, 「한국방재학회논문집」, 8(5): 155~161.
- 이창희·한건연(2007), “건물영향을 고려한 GIS 기반 도시침수해석 모형”, 「한국수자원학회논문집」, 40(3): 223~236.
- 정세진·허다솔·김병식(2022), “기후변화에 따른 도시침수가 도시교통네트워크에 미치는 영향 예측 기술 개발”, 「한국수자원학회논문집」, 55(12): 1091~1104.
- 정재원·모혜림·이준형·유영훈·김형수(2021), “LSTM 기반 딥러닝 기법을 이용한 섬진강 구례교 지점의 홍수위 예측”, 「한국방재학회 논문집」, 21(3): 193~201.
- 지운·장은경·배인혁·안명희·배준(2022), “자연성기반기술의 홍수완충공간 조성을 위한 입지 선정 방법에 관한 연구: 대청댐 상류부터 용담댐 하류구간 사례 연구”, 「응용생태공학회 논문집」, 9(3): 131~140.
- 지운·장은경·안명희·배인혁(2021), “홍수터 식생의 물리적 특성을 고려한 흐름저항계수 산정 및 흐름특성 변화 모의”, 「응용생태공학회 논문집」, 8(4): 212~222.
- Beninde, J., M. Veith and A. Hochkirch (2015), “Biodiversity in Cities Needs Space: A Meta-analysis of Factors Determining Intra-urban Biodiversity”, *Ecology Letters*, 18(6): 581~592.
- Bose, S. and A. Mazumdar (2023), “Urban Flood Risk Assessment and Mitigation with InVEST-UFRM Model: A Case Study on Kolkata City, West Bengal State (India)”, *Arabian Journal of Geosciences*, 16(5): 320.
- Cabrera, J. S. and H. S. Lee (2020), “Flood Risk Assessment for Davao Oriental in the Philippines Using Geographic Information System-based Multi-Criteria Analysis and the Maximum Entropy Model”, *Journal of Flood Risk Management*, 13(2): e12607.
- Crompton, J. L. (2007), “The Impact of Parks and Open Spaces on Property Taxes.” in *The Economic Benefits of Land Conservation*, (ed) Constance, T. F. de Brun, 1~12, San Francisco: The Trust for Public Land.
- Depietri, Y. and T. McPhearson (2017), “Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction”, in *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*, (eds) Kabisch N., H. Korn, J. Stadler and A. Bonn, 91~109, Cham: Springer.
- Dhyani, S. and M. Thummarukuddy (2016), “Ecological Engineering for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation”, *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19): 20049-20052.
- Drosou, N., R. Soetanto, F. Hermawan, K. Chmutina,

- L. Boshier and J. U. D. Hatmoko (2019), "Key Factors Influencing Wider Adoption of Blue-green Infrastructure in Developing Cities", *Water*, 11(6): 1234.
26. Elmqvist, T., E. Andersson, N. Frantzeskaki, T. McPhearson, P. Olsson, O. Gaffney and C. Folke (2019), "Sustainability and Resilience for Transformation in the Urban Century", *Nature Sustainability*, 2(4): 267~273.
  27. Feloni, E., A. Anayiotos and E. Baltas (2022), "A Spatial Analysis Approach for Urban Flood Occurrence and Flood Impact Based on Geomorphological, Meteorological, and Hydrological Factors", *Geographies*, 2(3): 516~527.
  28. Gao, L., L. Zhang, Y. Hong, H. X. Chen and S. J. Feng (2023), "Flood Hazards in Urban Environment", *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 17(2): 241~261.
  29. Ho, C. H., V. Sasidharan, W. Elmendorf, F. K. Willits, A. Graefe and G. Godbey (2005), "Gender and Ethnic Variations in Urban Park Preferences, Visitation, and Perceived Benefits", *Journal of Leisure Research*, 37(3): 281~306.
  30. IPCC (2023), *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva.
  31. Kadaverugu, A., R. Kadaverugu, N. R. Chintala and K. V. Gorthi (2022), "Flood Vulnerability Assessment of Urban Micro-watersheds Using Multi-criteria Decision Making and InVEST Model: A Case of Hyderabad City, India", *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3): 3447-3459.
  32. Leta, B. M. and D. Adugna (2024), "Quantifying Flood Risk Using InVEST-UFRM Model and Mitigation Strategies: The Case of Adama City, Ethiopia", *Modeling Earth Systems and Environment*, 10: 3257~3277.
  33. Lin, I. H., C. Wu and C. De Sousa (2013), "Examining the Economic Impact of Park Facilities on Neighboring Residential Property Values", *Applied Geography*, 45: 322~331.
  34. Mishra, S. K., V. P. Singh and P. K. Singh (2018), "Revisiting the Soil Conservation Service Curve Number Method", in *Hydrologic Modeling: Select Proceedings of ICWEES-2016*, (ed) Singh, V. P., 667~693, Singapore: Springer.
  35. Natural Capital Project (2024), *InVEST 3.14.2*. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, Stockholm Resilience Centre and the Royal Swedish Academy of Sciences.
  36. Pamukcu-Albers, P., F. Ugolini, D. La Rosa, S. R. Grădinaru, J. C. Azevedo and J. Wu (2021), "Building Green Infrastructure to Enhance Urban Resilience to Climate Change and Pandemics", *Land-scape Ecology*, 36(3): 665~673.
  37. Shafique, M., R. Kim and M. Rafiq (2018), "Green Roof Benefits, Opportunities and Challenges: A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90: 757~773.
  38. Skrydstrup, J., R. Löwe, I. B. Gregersen, M. Koetse, J. C. Aerts, M. de Ruiter and K. Arnbjerg-Nielsen (2022), "Assessing the Recreational Value of Small-scale Nature-based Solutions When Planning Urban Flood Adaptation", *Journal of Environmental Management*, 320: 115724.
  39. Yao, S., G. Huang and Z. Chen (2024), "Evaluation of Urban Flood Adaptability Based on the InVEST Model and GIS: A Case Study of New York City, USA", *Natural Hazards*, 120: 11063~11082.
  40. Zhang, Y., V. P. Singh and A. R. Byrd (2019), "Basin-scale Statistical Method for Probable Maximum Precipitation with Uncertainty Analysis", *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(2): 04018067.
  41. Natural Capital Project, "InVEST Software", Accessed August 1, 2024. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>.

---

## 요 약

---

최근 극한기후 현상이 빈번하게 발생하면서 도시지역 내 침수 및 이로 인한 피해가 급증하고 있다. 이 연구는 도시 침수 위험지역에 대한 그린인프라의 도시침수 위험 완화 효과를 실증분석 하는 연구로 전라남도 구례군을 대상으로 위험지역을 도출하고, InVEST 분석도구를 사용하여 그린인프라 배치의 도시침수 위험 개선 효과를 전후 비교하는 연구이다. 연구에서는 강수량을 현재, 저탄소 시나리오, 고탄소 시나리오의 경우로 구분하여 각각에 대한 그린인프라의 도시침수 위험 개선 정도를 분석하였다. 그 결과 구례군의 백련리, 냉천리, 월전리 인근이 위험지역으로 도출되었다. 그린인프라의 배치는 해당 지역의 위험정도를 개선했을 뿐만 아니라 구례군 전반적으로 도시침수 위험을 개선하였다. 이 연구는 그린인프라의 활용이 도시침수 위험을 완화하는 데 영향을 미치는 것을 실증한 기초연구로 그 의미를 가진다.

**주제어:** 기후변화, 도시침수, 그린인프라, 자연기반해법, InVEST Model

---





# 지역내 불균형 진단과 균형발전에 대한 함의 : 세종시를 중심으로\*

## Diagnosing Regional Imbalances and Implications for Balanced Development : A Case Study of Sejong City

이자은\*\* · 주필주\*\*\* · 송양호\*\*\*\*

Jaeun Lee\*\* · Pilju Joo\*\*\* · Yangho Song\*\*\*\*

### Abstract

This study examines the concept of balanced development by tracking the levels and patterns of regional balance within Sejong City. It explores how the notion of balanced development has evolved in South Korea, reviews its interpretation in key international contexts, and develops indicators to diagnose and analyse regional imbalances in Sejong City. At the city's inception in 2012, the indicators were concentrated in Type 1 (balanced with favourable conditions of inequality and polarization), reflecting an overall state of balance. However, by 2019, the indicators exhibited a gradual upward trend with noticeable disparities, indicating a shift toward an imbalanced state characterised by inequality and polarization. By 2023, the indicators revealed a steep upward trajectory, suggesting the persistence of imbalances, though with a partial alleviation of polarization. The findings highlight two key implications: 1. The interpretation of regional balance and imbalance must account for historical and contextual shifts reflected in indicator analyses. 2. There is a pressing need to establish a localised framework for balanced development tailored to regional characteristics.

**Keywords:** Balanced (Unbalanced) Development, Regional Disparity, Gini Coefficient, Quintile Ratio

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 국토의 11.8%에 불과한 수도권에 인구 50.1%가 집중해 있다. 이러한 인구격차는 다양한 사회적 문제를 발생시키고 있는데, 비수도권의 인구 소멸 문제와도 연결된다(이항미 외, 2023). 비수도권의 인구 유출 문제를 지적하는 기사는 분기마다

빠지지 않고 반복 생산되고 있으며, 지방자치단체 누리집에는 귀농·귀촌, 워케이션 지원 등 인구 유치를 위한 사업 홍보 게시물이 증가하고 있다.

1960~70년대부터 수도권 쏠림 현상을 해결하기 위한 정책을 전방위적으로 시도하였음에도 불구하고 효과가 미미하였고 앞으로도 수도권 집중 현상은 지속될 것으로 예상된다. 최근에는 저출산·고령화의 누적으로 절대적인 인구감소까지 가속화되

\*본 연구는 “제3차 세종특별자치시 균형발전 기본계획”의 일부내용을 수정·보완하였음

\*\*대전세종연구원 세종연구실 연구위원(주저자: Jaani@dsi.re.kr)

\*\*\*경철대학 강사(pilmography0423@naver.com)

\*\*\*\*대전세종연구원 세종연구실 연구위원(교신저자: ysong@dsi.re.kr)

면서 저성장 시대에 대한 새로운 균형발전 정책의 필요성이 크게 요구되고 있다. 예컨대 비수도권 지역 내에서도 도시지역과 비도시지역의 고령화 수준과 경제적 양극화 정도가 상이하므로 수도권과 비수도를 단순 비교하는 것이 아닌, 다양한 차원의 격차와 불균형 문제로 시야를 확장할 필요가 있는 것이다.

한편 2012년 국가균형발전과 수도권 과밀해소 목적으로 출범한 세종시는 기존의 연기군, 충청남도 공주시, 충청북도 청원군 일부를 흡수한 지역으로, 신도심(행정중심복합도시)과 읍·면 지역이 공존하는 도농복합도시의 성격을 지닌다. 세종시는 행정수도의 기능을 부여받은 국가균형발전의 상징적 산물이라고도 볼 수 있다. 이러한 맥락에서 세종시는 출범 당시부터 신도심을 중심으로 인프라를 공급했고, 그 결과 기반시설, 생활 여건, 재정 환경 등에서 읍·면지역과 상대적 격차가 생기기 시작하였다. 본래 우리나라 국가균형발전에 기여하도록 설계된 세종시의 이면에는 지역 내 불균형 이슈가 상존하며 저출산·고령화, 저성장 고착화, 지방소멸 등의 시대적 과제에 대응할 수 있는 새로운 균형발전 전략으로의 전환도 요구되고 있다.

이와 같은 배경하에 본 연구는 세종시 지역 내 균형발전 수준과 변화 양상을 포착하는 것을 목적으로 수행되었다. 특히 현재의 균형발전 수준을 진단하는 것을 넘어 세종시 출범 이후부터 약 10년간 어떻게 균형발전 지표가 변화되어 왔고, 그 결과가 의미하는 것이 무엇인지 고찰하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 세종시 사례를 통해 시기별 균형발전의 모습을 확인하고, 이것이 현재에 시사하는 바가 무엇인지 탐색하고자 하였다. 이를 위해 균형발전의 사전적·정책적 개념은 물론 국가 차원에서 균형발전 정책의 흐름과 지역 차원에서 수립하는 균형

발전계획의 내용을 함께 살펴보았다.

분석 대상의 공간적 범위는 세종시 전역(1개 읍·9개 면·14개 동)에 해당하며 2012년, 2019년, 2023년을 기준연도로 삼고 균형발전 수준의 변화 양상을 확인하였다.

지역 내 불균형 정도를 정확하게 진단하기 위해서는 적절한 지표를 설정하는 것이 매우 중요하다. 세종시는 비교적 최근 시기에 국가균형발전의 일환으로 조성된 계획도시인만큼 타 지역과는 구분되는 특성이 존재한다. 이에 따라 본 연구는 세종시 균형발전 조례, 시정 방향, 국가 및 타 지자체 지표 등을 조사한 후 자료 확보 가능성, 대표성, 신뢰성 등을 고려하여 세종시 특성을 반영할 수 있는 지표를 개발하였다. 해당 지표의 분석 결과를 바탕으로 불균형 및 양극화 수준을 4개로 유형화하고 2012년, 2019년, 2023년을 기준으로 어떤 변화가 있었는지 비교하였다.

## 2. 이론적 고찰 및 선행연구

### 2.1 균형발전의 개념과 의미

#### 2.1.1 균형과 발전의 개념

‘균형’이라는 개념은 비교 대상 간 중간값을 의미하는 ‘평균’과는 달리 비교 대상 간 차이가 크지 않고 대체로 비슷한 경우에 주로 쓰인다(한상훈, 2022: 36). 달리 말해 평균은 객관적 비교를 전제로 한 통계적인 개념인 데 반해 균형은 주관적 가치가 개입될 여지가 다분하기에 정책 기조나 사회적 합의의 수준에 따라 그 의미가 계속 달라질 수 있다.

지역발전론 관점에서 ‘발전’이란 “하나의 사회체계 내의 개인과 집단의 다양한 욕구를 조화시켜 만족스럽지 못한 생활상태를 탈피하여 물질적·정신적으로 더 나은 생활상태를 지향하는 전체 사회체계의 변화”로 이해할 수 있다(이원중 외, 2015: 7). 정책적인 차원에서의 지역발전정책은 지역적 변화를 명시

적으로 추구하는 공간정책을 의미하거나, 실제적 관점에서 지역 간 자원 배분에 실질적으로 영향을 주는 일체의 정책수단을 의미하기도 한다(이원종 외, 2015: 8).

지역발전정책을 말할 때 일반적으로 명목적 공간정책을 의미하는 경우가 많지만, 균형발전정책은 공간뿐만 아니라 조세, 금융, 산업, 교육, 문화, 인프라 투자 등을 망라한다는 점에서 후자에 더 가깝다고 할 수 있다.

### 2.1.2 균형발전의 의미

(지역)균형발전의 사전적 의미는 “지역 간 사회·경제적 제반 여건과 삶의 질의 균등상태”를 뜻한다(김현호·김도형, 2017: 13). 이때 무엇을 균등한 상태로 볼 것인가에 대한 다양한 해석이 존재하는데 지역별 소득 및 복지 수준과 실업률 등 정태적 현상의 균등화는 물론 산업과 경제성장, 소득증가 및 인구 성장 등 동태적 현상의 균등화를 모두 포함하는 것으로 볼 수 있다(김현호·김도형, 2017: 13).

한편 우리나라 「지방자치분권 및 지역균형발전에 관한 특별법」(이하 ‘지방분권균형발전법’) 제2조는 “지역균형발전이란 지역 간 발전 격차를 줄이고 지역의 자립적 발전역량을 증진함으로써 삶의 질을 향상하고 지속가능한 발전을 도모하여 전국이 개성 있게 골고루 잘 사는 사회를 구현하는 것”으로 정의하고 있다.

지역균형발전에 있어 과거에는 경제적인 격차를 줄이는 것이 가장 중요했으나 현재는 주거, 교육, 환경, 건강, 안전 등 삶의 질을 좌우하는 다양한 요소가 함께 고려되고 있다. 기존의 발전 개념이 소득의 증가, 산업화, 근대화, 기술 진보 등 협소한 의미로 정의되는 것에 대한 비판과 함께 질적인 도약을 내포하

는 개념으로 확장된 것과도 비슷한 맥락이라고 볼 수 있다(김용웅 외, 2015: 128). 단 사전적으로 정책적으로도 균형발전 논의는 주로 ‘지역 간’에 이루어지고 있으며, ‘지역 내’ 균형발전의 의미를 찾아보기는 어렵다.

본 연구는 세종시의 불균형 및 양극화 수준을 진단하는 데 있어 주민활력, 지역경제력, 정주환경, 기초생활서비스 등 정태적 현상의 균등화와 동태적 현상의 균등화를 포괄하여 측정할 수 있도록 지표를 구성하였다. 이때 단순히 해당 지표 간 균등 정도를 비교하는 데에 그치지 않고 2012년, 2019년, 2023년 시기별 결과를 토대로 약 10년 동안의 세종시 균형발전 변화 양상을 함께 분석할 수 있도록 보완하였다.

### 2.1.3 해외국가의 균형발전 정책

균형발전의 의미를 다각도에서 해석하기 위해 우리나라보다 앞서 지방분권과 지역균형발전을 시도한 해외사례를 검토하고자 한다.

지방분권을 적극적으로 추진하고 있는 영국의 경우 이미 1920년부터 지역 간 격차 문제를 경험하였고, 지역 불균형의 심화가 2020년 단행된 브렉시트(Brexit)의 도화선으로 작용하였다고 보는 견해도 있다(차미숙 외, 2022: 161~162). 실제로 브렉시트를 어떻게 볼 것인지에 대해 주민들의 주저지 이동이 잦은 지역과 그렇지 않은 지역 간에 시각 차이가 크다는 분석도 나온다. 이에 착안하여 영국 정부는 ‘레벨링업 정책’<sup>1)</sup>을 통해 자신이 나고 자란 지역 안에서 교육, 일자리 등을 해결할 수 있고 커뮤니티에 자부심을 느낄 수 있도록 하고 있다(차미숙 외, 2022: 165). 레벨링업 정책은 요소별로 가장 낙후한 지역을 선정한 후 설정된 목표를 집중적으로 지원하는 임무지향적(Mission-Oriented) 접근방식을 취하

1) 레벨링업 정책은 낙후지역을 개선함으로써 지역 간 격차를 완화하는 ‘지역 상향평준화’ 정책으로 ①생산성, 급여, 일자리, 생활 수준 증대 ②균등한 기회 제공 및 공공서비스 개선 ③지역 자긍심 회복 ④지역사회 자율권 보장 등 4대 목표를 제시하고 있다(대한민국시도지사협의회, 2024).

고 있다(전봉경, 2022). 국가균형발전 차원에서 수도권권과 비수도권의 격차 완화에 초점을 맞추고 있는 우리나라와는 달리 영국은 정책대상과 정책목표를 구체화함으로써 낙후지역의 실질적인 삶의 질 개선을 도모하고 있음을 알 수 있다.

일본의 지역균형발전 정책은 급속한 경제성장에 따른 대도시 집중, 지방 도시의 인구감소 등을 배경으로 하고 있다는 점에서 우리나라와 유사하다. 1960년대부터 우리나라 수도권에 해당하는 도쿄권 과밀해소를 위한 정책이 추진되었고, 2000년대 이후에는 지역 간 경쟁을 통한 개발 정책으로 전환되었다(양원탁 외, 2023: 113). 일본은 2014년 「지방창생법」을 제정하고 뒤이어 제1기 마을·사람·일자리창생 종합전략을 수립하였는데 이 시기에는 지방인구 유입에 초점이 맞추어져 있었다. 제2기로 넘어오면서 관계인구 개념을 적극적으로 도입하여 기존 정주인구 유치의 한계를 극복하고자 하였으며, 지방창생 텔레워크 및 지역의 디지털 전환 정책 등 코로나19의 경험을 반영하여 새로운 전략을 추가하기도 하였다. 일본은 균형발전을 개별 정책으로 바라보다가는 지방소멸, 도시재생(창생) 등과 유기적으로 연계하여 추진하고 있음을 알 수 있다. 제1기와 제2기 사이에 정권 교체가 이루어졌음에도 불구하고 정책의 연속성이 이어지고 있다는 점 또한 우리나라에 시사하는 바가 크다(차미숙 외, 2022: 159).

마지막으로 프랑스는 1960년대부터 본격적인 균형발전정책이 시작되었는데, 당시 국토개발청은 수도권 집중현상을 완화하기 위해 고속철도, 위성도시, 균형도시 건설 등의 대규모 프로젝트를 통해 지방을 발전시키는 전략을 취했다. 국토개발청은 2014년 국토균등청으로 명칭을 변경하고 주로 낙후지역 개발에 집중하였고, 현재의 국토연계청은 소외지역에 대한 지원 기조는 견지하되 중소도시들이 자기 도시의 매력을 스스로 발견할 수 있도록 다양한 사업을 추진하고 있다(차미숙 외, 2022: 187). 프랑

스의 경우 절대적인 지역 간 평등에서 나아가 차이와 다양성을 인정하되 그 안에서 발생하는 불평등을 수정해나가는 형태를 지향한다는 점이 특징적이다(김수진 외, 2023). 지역마다 사람, 기술, 재정 등의 여건이 상이하므로 지역 주도로 정책을 기획·결정할 수 있도록 하고 있으며 중앙정부는 이를 지원하는 역할을 수행한다. 실제로 우리나라 지방시대위원회에 해당하는 프랑스의 지역결속국가청(Agence Nationale de la Cohésion des Territoires, ANCT)의 경우 행·재정, 기술, 역량 등을 망라하여 지역이 필요로 하는 부분을 지원하고 있다(곽정수, 2022.10.24).

해외 각국은 균형발전을 ‘국가균형발전’이라는 거대담론으로 접근하기보다는 지역의 다양한 당면과제와 연결 짓고 있으며, 지역의 주체성을 강조하고 있음을 확인하였다. 균형발전 정책의 실효성을 확보하기 위해서는 어디를 어떻게 지원할 것인가에 대한 구체적인 기준과 방법론을 개발할 필요가 있다. 또한, 지역의 특수성을 고려하여 지원하되, 필요시에는 당면과제 해결을 위해 서로 협력하고 연대할 수 있도록 해야 할 것이다.

## 2.2 국가차원의 균형발전 정책

### 2.2.1 2000년대 이전 균형발전 논의

우리나라의 지역 불균형 문제는 1960년대로 거슬러 올라간다. 전쟁 직후 황폐해진 국토를 재건하는 것이 최우선 과제일 수밖에 없는 상황에서 우리나라가 채택한 전략은 서울, 부산 등 성장거점을 중심으로 하는 지역발전 정책이었다. 대도시 성장거점에 국가 재원을 집중적으로 투자함으로써 주변 지역으로의 파급효과를 기대하는 불균형 성장을 의도했다고 볼 수 있다(김현호, 2019: 61). 그 결과 국가적 차원에서는 빠른 경제성장을 이뤄낼 수 있었으나 수도권 인구집중과 지방 소외 문제가 가시화되기 시작하였다. 이를 시정하기 위해 대도시 인구집중방지책(1964), 개발제한구역 도입(1971), 공공기관 지방

이전(1973) 등을 시도했으나 실질적인 효과는 거두지 못하였고 1980년대로 들어오면서 수도권 인구 집중현상은 더욱 가속화되었다. 이후 「수도권정비계획법(1982)」을 제정하고, 분산형 지방 성장거점 육성 등 낙후지역 지원정책을 병행하였으나 수도권 과밀 문제를 해결하지는 못하였다. 1990년대까지의 균형발전정책은 불균형 성장전략으로 출발한 국토정책을 보완하기 위해 시행된 것이었다면, 하나의 독립된 정책으로서 지위를 획득한 것은 노무현 정부 시기부터라고 할 수 있다(이소영 외, 2021: 14).

### 2.2.2 정부별 균형발전 정책 특징

노무현 정부는 국가균형발전을 최상위 국정 과제로 설정하고 관련 법(국가균형발전특별법), 계획(국가균형발전5개년계획), 조직(국가균형발전위원회), 재정(국가균형발전특별회계) 등 제도적 기틀을 마련하였다는 점에서 중요한 의미를 지닌다. 노무현 정부는 행정수도 건설, 공공기관 지방 이전, 혁신도시 건설 등의 균형발전 정책을 본격적으로 추진하였고, 그 연장선에서 세종특별자치시가 출범하였다고 볼 수 있다.

이명박 정부는 노무현 정부가 착수한 일련의 정책들을 유지하되 이전 정부가 강조한 ‘형평성’ 대신 ‘효율성’에 중심을 두고 지역의 글로벌 경쟁력 확보를 주창하였다(김현호, 2019: 66). 대표적으로 규모의 경제와 경쟁력 측면에서 국토 공간을 5+2 광역경제권, 7대 초광역개발권, 163개 기초생활권으로 구분하고 권역별 시책을 추진하였는데 이때 ‘균형’보다 ‘성장’과 지역별 특성화 정책을 강조하였다.

박근혜 정부는 이제까지의 균형발전정책이 실제 지역 주민의 삶의 질과 행복도 향상으로 이어지지 않는다는 점을 인식하고 기초생활권(지역행복생활권)을 중심으로 균형발전 정책을 추진하였다(차미숙 외, 2022: 41).

문재인 정부는 기존 중앙정부 주도의 하향식 균형발전 정책의 한계를 지적하며 지역 실정을 가장 잘

알고 있는 지방정부가 주체가 되어 자립적 성장기반을 마련할 수 있도록 해야 한다고 보았다. 문재인 정부는 역대 정부 중 가장 강력하게 자치분권의 이념을 실현하고자 하였으며 균형발전 정책에 있어서도 분권, 포용, 혁신에 초점을 두고 지방분권형 균형발전을 추구하였다(양원탁 외, 2023: 26).

윤석열 정부는 각자 별도법에 근거하여 추진되던 자치분권과 균형발전을 「지방분권균형발전법」으로 통합하였다. 그동안 분절적으로 추진된 자치분권과 균형발전의 계획 및 정책을 지방시대위원회를 중심으로 연계함으로써 양자를 동시에 추진하고자 한 것이다(송우경, 2023). 핵심 정책으로는 기회발전특구, 교육발전특구 등 특구제도를 적극적으로 활용하여 지방 인제가 지역 내에 정착할 수 있도록 하는 선순환 생태계 조성을 들 수 있다.

시기별로 관심도나 우선순위에 차이는 있으나 2000년대 이후 모든 집권 정부가 국가균형발전을 국정 과제로서 지속 추진해왔다(Table 1 참조). 하지만 정책 연속성이 부족한 탓에 일관된 기준에서 균형발전 수준을 파악하기는 어려우며, 여전히 중앙주도의 추진방식에서 완전히 탈피하지 못했다는 한계가 남아있다.

### 2.3 지역차원의 균형발전 정책

지역 내에서 발생하는 격차를 해소하기 위한 균형발전 정책은 지역별로 제정한 균형발전 지원 조례에 근거하고 있다.

서울시는 2003년 3월 가장 처음으로 「서울특별시 지역균형발전지원 조례」를 제정했으며, 다음으로 2006년 5월 부산시가 「부산광역시도시균형발전 지원에 관한 조례」를 제정했다.

세종시는 2013년에 「세종특별자치시 균형발전 지원 조례」를 제정하여 5년 단위로 하는 균형발전 기본계획 수립을 의무화하고 있다.

1차 기본계획(2014~2018)의 비전은 ‘균형발전을



**Table 1.** Balanced Development Policy by Administration

Administration	Major Strategy	Key Features
Roh Moo-hyun (2003-2008)	National Balanced Development	<ul style="list-style-type: none"> <li>Established institutional foundations</li> <li>Construction of Multifunctional Administrative City (Sejong)</li> <li>Formation of regional cooperation networks</li> </ul>
Lee Myung-bak (2008-2013)	Metropolitan Economics	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strengthened national competitiveness</li> <li>Strengthened economic cooperation between local regions and metropolitan areas</li> </ul>
Park Geun-hye (2013-2017)	Happiness Sphere	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implemented tailored policies for improving quality of life in various regions</li> <li>Supported regional specialized industries and startups</li> </ul>
Moon Jae-in (2017-2022)	Inclusive Balanced Development	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pursued decentralized balanced development</li> <li>Balanced regional development led by local areas</li> <li>People, space, and industry cultivation strategy</li> </ul>
Yoon Suk-yeol (2022-present)	Local Era	<ul style="list-style-type: none"> <li>Institutional linkage between decentralization and balanced development</li> <li>Proactively promoting regional revitalization through the special zone system</li> </ul>

통한 시민 삶의 질 향상'이며 '성장 기회의 지역적 편중 완화를 통한 지역간 불균형 완화'를 목표로 하고 있다. 해석하면, 세종시 전체가 골고루 균형적인 도시 인프라와 생활기반을 누릴 수 있는 도시성장 여건을 확보하고, 예정지역의 발전이 읍면지역으로까지 파급되어 세종시 전체의 발전을 견인시키는 것을 의미한다. 2차 기본계획(2019~2023)의 비전은 '시민이 행복하고 살기 좋은 균형도시 세종'이며 '자족과 자치, 상생과 연계를 통한 지역 불균형 완화'를 목표로 하고 있다. 즉, 신도심과 읍면지역의 자원연계를 강조하고 있다. 3차 기본계획(2024~2028)에서는 '시민 모두가 풍요로운 삶을 누리고 지역이 활력 넘치는 자족도시 세종'이라는 비전에 '보유·잠재자원을 활용한 "지역 특성화" 발전', '미래수요에 대응한 "생활인프라" 확충', '주민과 함께 바꾸는 "쾌적한 주거환경" 개선'을 목표로 하고 있다. 1차와 2차 계획의 차이점은 각 지역의 특성화 발전을 통해 시민의 삶의 질을 향상시키는 것이다. 즉, 각 지역의 보유자원을 찾아내서, '자족 기능'을 확보하여 균형발전을 추구한다.

국가차원의 균형발전 정책은 수도권과 그 외 지역

간 격차 완화에 초점을 맞추고 있는 반면에 지방자치단체에서는 지역내 불균형을 완화하기 위한 구체적인 전략을 모색하고 있음을 알 수 있다. 실효성 높은 전략을 도출하고, 이것이 실제로 효과적인 수단이었는지 평가하기 위해서는 시기별 지역내 불균형 정도를 파악할 수 있어야 할 것이다.

### 3. 세종시 균형발전 진단 방법

#### 3.1 분석범위

세종시의 균형발전 정도를 측정하기 위해 1개 읍·9개 면·14개 동지역을 공간적 범위로 설정했으며, 시간적 범위는 세종시 출범 시점인 2012년과 2차 세종시 균형발전 기본계획 기준연도인 2019년, 그리고 2023년을 기준으로 하여, 균형발전 수준이 어떻게 변화했는지를 살펴보았다.

#### 3.2 분석방법

지역 내 불균형 문제를 해결하기 위해서는 지역간 불균형 정도에 대해 명확하게 진단하는 것이 중요하다.



다. 균형발전을 진단하는 방법은 지역의 특성을 반영한 객관화된 지표를 개발하고 이를 지역별로 비교 분석함으로써 측정할 수 있다.

분석방법은 지표 영역 설정 → 지표개발 → 지표 측정 및 진단 등 3단계로 설정했으며, 1단계 지표 영역 설정은 세종시 균형발전 조례, 세종시 시정 방향, 읍면지역 이슈, 전문가 자문을 토대로 설정하였다.

먼저 「세종특별자치시 지역균형발전 지원조례」 제4조를 살펴보면 균형발전사업의 대상지역 선정 기준을 명시하고 있는데, 인구가 일정기간 동안 감소 또는 정체되거나 고령화의 정도가 심하여 지역발전의 저해 요인이 되고 있는 지역, 주민의 취업기반이 미약하고 소득수준이 낮은 지역, 사회기반시설이 미약하여 낙후의 원인이 되고 있는 지역, 그 밖에 개발의 시급성과 파급효과, 주민의 추진의지 및 지역간 형평성 등을 고려하여 시장이 필요하다고 인정하는 지역 등을 포함한다. 이에 근거하여 인구감소, 고령화 지역, 취업기반과 소득수준이 낮은 지역, 사회기반시설 노후 지역 등을 고려하였다.

다음으로 세종시 시정 방향의 키워드를 도출하기 위해 세종시 과별 업무계획과 민선 4기 61개의 공약을 검토하였는데, 풍부한 일자리, 청년창업, 주거환경개선, 문화예술, 건강한 삶, 돌봄 및 공동육아, 4차 산업 융복합, 주거환경개선 등이 도출되었다.

읍·면지역의 이슈는 공통적 문제점과 지역별 이슈를 도출했는데, 인구구조의 차이, 기초서비스 접근성, 노후건축물, 빈집, 농촌소멸, 난개발 문제 등의 키워드가 도출되었다. 최종적으로 ‘주민활력’, ‘지역경제력’, ‘정주환경’, ‘기초생활서비스’ 등 4개 영역으로 구분하였다.

2단계 지표개발에서는 국가 및 타 지자체의 균형발전 관련 지표를 검토하여 1차로 구분하고, 제1차,

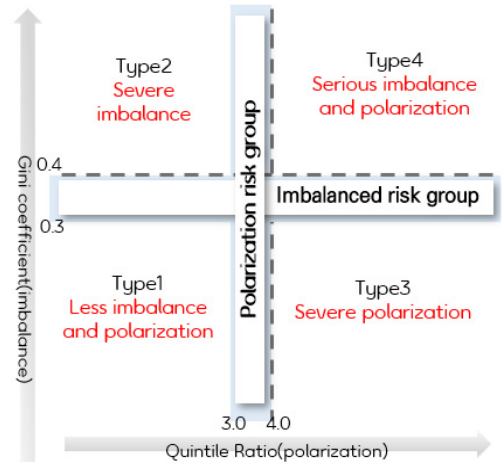


Fig. 1. Indicator Measurement and Categorization

2차 세종시 균형발전 기본계획의 지표와 <1단계: 영역의 설정>에서 도출된 키워드를 고려하여 유지지표, 대체지표, 신규지표로 구분하였다. 그리고 자료 확보가능성과 대표성, 신뢰성 등을 고려하고 전문가 자문회의를 최종 16개 지표를 도출하였다. 여기서 각 지표는 전문가 의견을 반영하였는데, 예를 들어 환경오염배출 시설 수, 인구밀도, 사설학원 수, 예술 관련 서비스업 종사자수, 보육교사수, 의사 수, 버스 운행노선 수 등의 지표가 삭제되고, 조출생률, 주차장 면수, 청년비율, 천인당 문화기반시설 연면적이 신규지표로 설정되었으며, 체육시설, 어린이집 수, 노인복지시설 등은 천인당 시설수로 대체하였다.

마지막 3단계 지표 측정 및 진단에서는 지니계수와 5분위 배율<sup>2)</sup>로 불평등 및 양극화를 측정하였다.

분석 결과는 지니계수 0.4, 5분위 배율 4.0을 기준으로 4개의 유형(유형1: 불균형 및 양극화 양호, 유형2: 불균형 심각, 유형3: 양극화 심각, 유형4: 양극화 및 불균형 심각)으로 구분하여 해석하였다(Fig. 1 참조). 또한 지니계수 0.3 이상, 0.4 이하의 범위를 불

2) 지니계수는 로렌즈곡선을 이용하여 불평등의 수준을 나타내는 보편적인 지수로, 0과 1 사이값을 가지며 0에 가까울수록 평등, 1에 가까울수록 불평등한 것으로 해석, 5분위 배율은 최상위 20%의 평균을 최하위 20%의 평균으로 나눈 값으로, 1에서 ∞사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 최상위와 최하위 집단 간 격차가 작고, 값이 커질수록 격차가 큰 것으로 해석한다.

균형 위험군으로, 5분위 배율 3.0 이상, 4.0 이하의 범위를 양극화 위험군으로 분류하여 지표상 불균형과 위험군을 파악하였다.

### 3.3 최종 진단지표

Table 2에서 보듯이, 세종시 균형발전을 진단하는 지표는 최종적으로 16개로 도출되었다.

**Table 2.** Final Indicators

Indicators (16)		Calculation Method	Year	Source
Resident Vitality	Population Growth Rate	$[(\text{Population of the current year} - \text{Population of the previous year}) \div \text{Population of the previous year}] \times 100$	2012, 2019, 2023	KOSIS (2024a)
	Aging Index	$(\text{Population aged 65 or older} \div \text{Population aged 0-14}) \times 100$	2012, 2019, 2023	
	Crude Birth Rate	$(\text{Number of births} \div \text{Annual population}) \times 100$	2012, 2019, 2023	Sejong City (2012, 2019, 2022, 2023)
Local Economic Power	Local Income Tax Per Capita	$\text{Local income tax} \div \text{total population}$	2012, 2019, 2022	
	Number of Businesses Per Thousand People	$(\text{Number of businesses} \div \text{Number of population}) \times 1,000$	2012, 2019, 2021	KOSIS (2024b)
	Number of Employees Per 1,000 People	$(\text{Number of employees} \div \text{Total population}) \times 1,000$	2012, 2019, 2021	
	Youth Ratio	$(\text{Youth population} \div \text{total population}) \times 100$	2012, 2019, 2023	
Settlement Environment	Old Building Ratio	$(\text{Number of buildings over 30 years old} \div \text{Total number of buildings}) \times 100$	2019, 2022	Open Architecture Data (2024)
	Water Supply Ratio	$(\text{water supply population} \div \text{total population}) \times 100$	2012, 2019, 2021	
	Sewer Service Ratio	$(\text{Sewage treatment area population} \div \text{total population}) \times 100$	2012, 2019, 2022	Sejong City (2012, 2019, 2022, 2023)
	Parking Lot Area	$\text{Number of parking spaces} \div \text{Number of registered cars}$	2023	
Basic Living Services	Number of Childcare Facilities Per 1,000 People	$(\text{Number of childcare facilities} \div \text{Number of infants (0-5 years old) population}) \times 1,000$	2012, 2019, 2023	Ministry of Culture, Sports and Tourism (2024)
	Total Floor Area of Public Sports Facilities Per 1,000 People	$(\text{Total floor area of public sports facilities} \div \text{total population}) \times 1,000$	2012, 2019, 2021	
	Total Floor Area of Cultural Infrastructure Per 1,000 People	$(\text{Total floor area of cultural infrastructure} \div \text{total population}) \times 1,000$	2012, 2019, 2022	
	Number of Home-Based Senior Welfare Facilities Per 1,000 People	$(\text{Number of home-based senior welfare facilities} \div \text{population over 65}) \times 1,000$	2023	
	Number of Hospital Beds Per Thousand People	$(\text{Number of hospital beds} \div \text{Total population}) \times 1,000$	2012, 2019, 2023	

\*Sejong City data for 2023 uses unpublished internal data.

Table 3. Analysis Results

Indicators		Gini Coefficient			Quintile Ratio		
		2012	2019	2023	2012	2019	2023
Resident Vitality	Population	0.47	0.45	0.39	2.58	5.77	4.57
	Aging Index	0.30	0.56	0.62	1.96	22.14	21.20
	Crude Birth Rate	0.20	0.31	0.36	1.93	3.48	4.18
Local Economic Power	Local Income Tax	0.42	0.55	0.61	6.64	4.69	6.34
	Number of Businesses	0.18	0.29	0.33	1.40	3.56	3.51
	Number of Employees	0.23	0.39	0.42	2.10	4.16	5.47
	Youth Ratio	0.06	0.13	0.13	1.11	1.55	1.45
Settlement Environment	Old Building Ratio	.	0.61	0.62	.	55.93	45.80
	Water Supply Ratio	0.39	0.10	0.04	5.40	1.24	1.04
	Sewer Service Ratio	0.39	0.11	0.07	4.55	1.27	1.17
Basic Living Services	Childcare Facilities	.	0.31	0.39	.	3.40	3.31
	Public Sports Facilities	0.59	0.65	0.66	11.94	29.41	21.59
	Cultural Infrastructure	0.68	0.62	0.66	281.47	6.76	8.85
	Hospital Beds	0.36	0.59	0.75	2.49	25.25	11.68

Note: Excludes indicators such as number of parking lots and home-based senior welfare facilities, which are difficult to analyze changes.

‘주민활력’ 영역에서는 인구증감률(%), 노령화지수(%), 조출생률(%) 등 3개 지표로 설정했으며, ‘지역경제력’ 영역은 1인당 지방소득세(원), 천인당 사업체 수(개), 천인당 종사자 수(인), 청년 비율(%) 등 4개 지표, ‘정주환경’ 영역은 노후건축물 비율(%), 상수도 보급률(%), 하수도 보급률(%), 주차장 면수(개) 등 4개 지표, ‘기초생활서비스’는 천인당 보육시설 수(개), 천인당 공공체육시설 연면적(m<sup>2</sup>), 천인당 문화기반시설 연면적(m<sup>2</sup>), 천인당 재가노인복지시설 수(개), 천인당 병상 수(개) 등 5개 지표를 도출하였다.

## 4. 세종시 균형발전 진단과 변화

### 4.1 지표분석 결과

세종시의 지역적 특성에 맞게 도출된 지표를 분석한 결과, 지표별로 지니계수와 5분위 배율에 차이가 나타났다.

Table 3에서 보듯이, 지표 전반적으로 불평등과 양극화가 높아진 것으로 나타났다. 하지만 일부 지표에서는 불평등과 양극화 정도가 감소했는데, 상수도 보급률과 하수도 보급률은 각 0.39 → 0.04, 0.39 → 0.07로 거의 평등에 가까운 수준으로 변화했으며, 또한 5분위 배율 결과도 각 5.4 → 1.04, 4.55 → 1.17로 양극화도 상당히 감소한 것으로 나타났다. 이는 세종시가 읍·면지역 상하수도 보급률 100%를 목표로 매년 인프라를 조성하고 있는 결과로 해석할 수 있다. 문화기반시설도 불평등 정도가 0.68 → 0.66로 조금 감소했으며, 5분위 배율이 281.47 → 8.85로 양극화가 아주 크게 줄어든 것으로 나타났다. 2012년에 5분위 배율이 특히 크게 나타나는 이유는 2012년 행정구역 11개 중 5개 지역에서는 2017년까지 문화기반시설이 없었고 2018년부터 점차적으로 조성되었기 때문이다.

인구수는 0.47 → 0.39로 불평등 정도는 조금 감

소했지만, 양극화는 2.58 → 4.57로 증가했다. 신도심의 인구가 폭발적으로 증가하는 반면 읍·면지역의 인구감소에 따른 결과로 해석할 수 있다.

불평등 정도가 가장 크게 증가한 지표는 병상수(0.36 → 0.75), 다음으로 노령화지수(0.3 → 0.62)이며, 노령화지수는 양극화 정도도(1.96 → 21.2) 크게 증가하였다. 지방소득세는 불평등 정도는 0.42 → 0.61로 높아졌지만, 양극화는 다소 감소(6.64 → 6.34)한 것으로 나타났다.

양극화 정도의 증가는 노령화지수(1.96 → 21.2)가 가장 컸고, 공공체육시설(11.94 → 21.59), 병상수(2.49 → 11.68) 순서로 나타났다. 공공체육시설은 읍면지역에서 상대적으로 열악하게 나타났지만, 병상수는 요양시설이 있는 전동면과 이의 지역의 양극화가 크게 나타나고 있다.

2023년 현재 세종시는 공공체육시설, 문화기반시설, 병상수, 노령화지수, 주차장, 종사자수 등에서 불평등과 양극화가 크게 나타나는데, 시민들의 삶의 질 향상과 직면한 지표들이 다수 포함되어 있다. 공공체육시설, 문화기반시설은 읍면지역에서 다양한 문화·교육·체육시설을 이용할 수 있는 복합커뮤니티센터 조성으로 해소 가능할 것이며, 병상수는 지역별 균등상태를 만드는 것 보다 가까운 지역과의 연계를 통해 해소할 수 있을 것이다. 주차장은 전체 지역에서 발생하는 문제인데, 공영주차장 확충과, 면지역의 경우에는 빈집 및 유휴공간 활용을 통해 개선할 수 있다.

#### 4.2 세종시 균형발전의 변화와 의미

앞서 분석한 2012년, 2019년, 2023년의 지표 결과를 토대로 4개의 유형(유형1: 불균형 및 양극화 양호, 유형2: 불균형 심각, 유형3: 양극화 심각, 유형4: 양극화 및 불균형 심각)으로 구분하고 전체 세종시의 균형발전의 변화를 추적하고 그 의미를 해석하였다.

Fig. 2 결과에서 보듯이, 세종시는 약 10년 동안 균형발전 정도를 측정하는 지표에서 큰 변화를 발견할 수 있었다.

2012년 출범 당시에는 세종시 신도심 개발이 본격적으로 시작되는 단계로, 세종시로 편입된 조치원읍과 이의 9개 면지역, 그리고 신도심 간의 불평등과 양극화 격차는 나타나지 않았다. 이는 유형1(불균형 및 양극화 양호)에 해당되며, 4사분면의 좌측 하단에 지표가 밀집되어 나타난다. 즉, 2012년에는 균형 상태로 해석할 수 있다.

2019년에는 신도심 개발이 매우 활발히 진행되는 시기로, 신도심에 많은 자원이 집중해서 투자되면서 다양한 인프라가 조성되었고 인구는 증가하였다. 그 결과 지표들은 평탄하게 우상향하면서 격차가 나타나기 시작하였다. 지니계수와 5분위 배율의 최대는 각 0.65, 29.4로 나타나 2012년 0.58, 11.98에 비해 크게 상승하여, 불평등과 양극화가 발생하는 불균형 상태로 변화하고 있음을 발견하였다.

2023년에는 지표의 방향이 가파르게 상향하는 것으로 나타났다. 균형발전 지표 진단 결과로만 해석한다면 2019년도와 마찬가지로 불균형 상태가 지속되고 있지만, 양극화 최대치가 21.59로 나타나 일부 완화된 것으로 분석되었다. 이는 신도심이 성장하는 동안, 읍·면지역에 많은 재원이 투자되었고, 다양한 인프라가 조성된 결과로 해석할 수 있다.

지금까지 정량적 지표분석을 통해 세종시 균형발전의 변화를 살펴보았다. 이러한 맥락 속에서 균형발전에 대한 의미를 재고찰해보고, 다음과 같이 시사점을 도출하였다.

첫 번째는 지표분석 결과를 토대로 지역내 균형과 불균형의 변화를 해석함에 있어 시대적 특성과 흐름을 반영하여야 한다는 점이다.

일반적으로 지표를 활용하여 균형발전 추이를 살펴볼 때는 그 정도가 완화되었는지, 심해졌는지를 판단하기 위함이다. 지표 결과만 본다면 세종시는

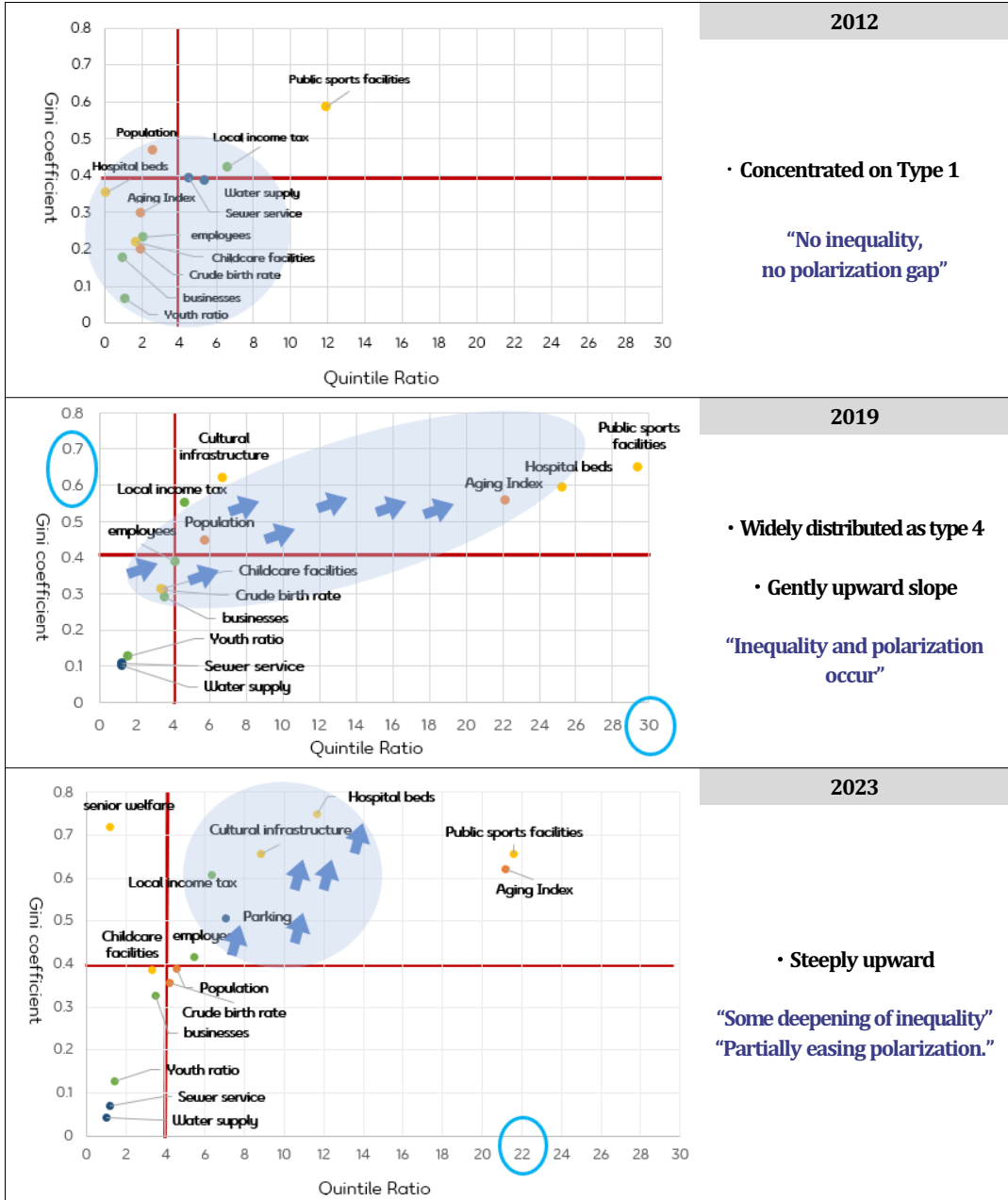


Fig. 2. Changes in Imbalance and Polarization

점점 불균형해지는 도시이다. 하지만 세종시는 수도권의 과밀해소와 국가 균형발전을 실현하기 위해 건설된 도시로, 신도심(동지역)은 인구·경제·환경 등 모든 부분에서 집중적으로 성장하고 있으며, 읍·면

지역의 인프라 수준도 인구학적 측면을 제외하면 많은 부분에서 개선되어 왔다. 2012년 세종시는 우수한 균형 상태를 보이고 있으나, 현재와 비교한다면 하향 평준화된 상태일 것이다. 따라서 지표결과로

불균형 정도를 단순히 판단하기에는 한계가 있으며, 지역의 특성과 시대적 배경을 같이 고려하는 것이 필요하다.

두 번째는 지역 특성에 맞는 균형발전의 개념 정립이다. 전술했듯이, 광역지자체에서는 5년 단위로 균형발전계획을 수립하고 있다. 여기서 균형발전은 정치·경제·사회적 차원에서 지역 불균형 또는 지역 격차가 존재함을 전제하고 있다. 세종시는 동지역과 읍·면지역의 격차를 의미하며, 상대적으로 소외되었다고 판단되는 읍·면지역의 발전 방향과 사업목표를 제시한다. 하지만 지표별 표준화 점수 결과<sup>3)</sup>에서는 동지역이 오히려 낮게 나타나는 경우가 있다. 정리하면, 역내 균형발전계획이 모든 지역의 기능적 격차를 균등한 상태로 만드는 것인지, 차이를 인정하고 함께 성장해 나가는 것인지 등에 대한 고민과 개념을 먼저 정립하는 것이 중요하다.

## 5. 결 론

우리나라 균형발전 정책의 기초는 지방자치분권을 통해 지역이 주도하는 지역균형발전을 추진하는 방향으로 변화하고 있다. 지방자치단체는 대외적으로는 국가차원에서 균형발전을 위한 주도적 역할을 해야하며, 대내적으로는 주민들의 삶의 질 향상을 위한 균형발전에 노력해야 한다. 지역에서 발생하는 기능적·공간적·사회적 격차를 완화하기 위해서는 현재 불균형의 정도를 정확히 파악하는 것이 중요하다.

지금까지 균형발전의 개념과 국내에서 균형발전의 의미가 어떻게 변화되었는지, 해외 주요 국가에서는 균형발전을 정책적으로 어떻게 해석하고 있는지에 대해 검토하였다. 국가차원에서뿐 아니라 지역차원의 대응은 균형발전 지원에 관한 조례를 제정하

여 지역내 불균형 정도를 측정하고 균형발전 정책을 수립하고 있었다.

본 연구는 세종시라는 특정 지역을 사례로, 지역의 불균형 정도를 진단하고 그 변화양상을 추적했으며, 그 결과를 통해 균형발전의 의미에 대해 고찰하였다. 타지자체와 같이 세종시 특성에 맞는 지표를 개발하여 분석하였다. 이를 통해 정량적 분석을 통한 불균형 수준을 판단하는데 있어서의 한계와 시사점도 도출할 수 있었다.

세종시는 2012년 출범 후 10년이 넘는 기간 동안 신도심에 모든 자원이 집중해서 투자되고 조성되고 있기 때문에, 시간이 흐를수록 지역의 격차는 당연한 결과로 볼 수 있다. 따라서 균형발전이 신도심과 읍·면지역의 기능적 격차를 균등한 상태로 만드는 것인지, 지역의 자족기능을 확보하여 형평성과 공간을 개선할 것인지에 대한 개념 정립이 필요하다. 즉, 특수한 환경을 지닌 세종시의 지역적 특성에 맞게 균형발전의 개념을 재정립할 필요가 있다. 이를 구체화 시켜보면, 세종시의 균형발전 방향은 모든 지역을 기능적 균등 상태로 만드는 것이 아닌, 각 지역의 특성과 발전을 통해 시민의 삶의 질이 향상되고, 주거환경이 개선되며, 경제활동의 기회와 기초생활 서비스 격차를 줄이는 방향이 바람직할 것이다. 여기서 중요한 부분은 각 지역이 보유한 특성과 자원을 최대한 활용하여 지역 특성화 발전에 집중해야 한다는 것인데, 조치원읍을 예로 들어보면, 거점공간, 교통인프라, 전통시장 등 집약적 상권 및 수변공간, 청년인재 보유 및 창업 클러스터 형성 등의 독특한 특징을 최대한 확장하고 활용하여, 청년창업 및 산학연클러스터 형성 지원, 주변지역과 거점시설 서비스 공급체계 구축, 노후저층주거지 관리 및 빈집 활용, 수변공간활용 및 연결 등의 전략을 마련할 수 있다.

3) 대부분의 동지역에서 사업체수, 종사자수, 주차장 수, 보육시설 등의 표준화 점수가 낮게 나타났다.



이처럼 지역의 특성을 확대하고 활용하는 전략은 세종시뿐 아니라 전국의 균형발전 방향에 반영할 수 있을 것이다. 지역내 균형발전 정책은 정량적 지표와 정성적 지표를 통해 종합적으로 판단해야 하며, 지역에 맞는 개념을 정립하여 추진하는 것이 중요하다.

본 연구는 국가균형발전과 수도권 과밀해소를 목적으로 출범하여 지속해서 성장하고 있는 세종시의 이면을 지역내 불균형 측면에서 분석하고 그 변화를 추적했으며, 이를 통해 균형발전의 의미에 대해 고찰했다는 측면에서 학술적 의미가 있다. 또한 분석 결과를 통해 향후 균형발전에 대해 고려해야 할 것을 제시했다는 측면에서는 정책적 의미가 있다. 본 연구가 정량적 분석을 통해 불균형의 정도를 측정하는 한계를 본문에서 지적했듯이, 향후 연구에서는 읍·면지역 주민들이 실질적으로 느끼는 정성적 부분까지 고려한다면, 균형발전 정책의 방향을 설정하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. 광정수(2022.10.24), “‘균형발전’ 모범국 프랑스, 대통령·총리·장관 머리 맞대 정책 결정”, 한겨레.
2. 김수진·차미숙·이혜민(2023), 「프랑스 균형발전의 가치 변화와 시사점」, 국토정책 Brief No.934, 세종: 국토연구원.
3. 김용웅·차미숙·강현수(2015), 「新지역발전론」, 파주: 한울 아카데미.
4. 김현호(2019), 「포용적 지역균형발전 정책의 구상」, 강원: 한국지방행정연구원.
5. 김현호·김도형(2017), 「지방분권형 지역균형발전정책의 설계」, 강원: 한국지방행정연구원.
6. 대한민국시도지사협의회(2024), 「영국의 지역 균형발전 정책 현황 및 전망」, 런던: 대한민국시도지사협의회 영국사무소.
7. 송우경(2023), “지방자치분권 및 지역균형발전 특별법 제정 의미와 주요 내용”, 「월간 KIET 산업경제」, 298: 7~16.
8. 양원탁·이소영·김도형·김민영·김진언·김나현(2023), 「지역균형발전을 위한 중장기 방안 연구」, 강원: 한국지방행정연구원.
9. 이소영·김현호·박진경·이재연·김상민·최민정(2021), 「신균형발전정책 구상 및 개편방안」, 강원: 한국지방행정연구원.
10. 이원종·이원종·김선기·김현호·남윤우·박경숙·박인성·배준구·설경원·이무용·이원섭·정종석·주성재·차미숙·최상철(2015), 「지역발전정책론」, 서울: 을곡출판사.
11. 이항미·최봉문·김종하(2023), “인구감소의 인구유입을 위한 정책수요에 관한 연구”, 「토지주택연구」, 14(2): 73~82.
12. 전봉경(2022), “영국형 균형발전 정책: 지역 상향평준화를 위한 레벨링업(Levelling Up) 정책의 주요 내용과 시사점”, 「국토이슈리포트」 64: 1~12.
13. 차미숙·조은주·곽윤선·전봉경·송우경·최희선·이상대·이동우·남윤우·이수진(2022), 「국가균형발전 3.0 패러다임 구축과 실천전략 연구」, 세종: 국토연구원.
14. 한상훈(2022), “지역균형발전의 의미와 성공 요인: 지방이 살아야 저점이 산다”, 「Urban Planners」 1월호: 35~38.
15. 건축데이터개방, “건축물대장” 2024.7.20 읽음. <https://open.eais.go.kr/opnsvc/opnSvcInquireView.do?viewType=7>.  
Open Architecture Data, “Building Register”, Accessed July 20, 2024. <https://open.eais.go.kr/opnsvc/opnSvcInquireView.do?viewType=7>.
16. 국가통계포털, “주민등록인구”, 2024.7.24a 읽음. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1B04005N&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=A\\_7&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B04005N&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=A_7&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE).  
KOSIS, “Resident Egregation Population”, Accessed July 24, 2024a. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT\\_1B04005N&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=A\\_7&seqNo=&lang\\_mode=ko&language=kor&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B04005N&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=A_7&seqNo=&lang_mode=ko&language=kor&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE).
17. 국가통계포털, “전국사업체조사”, 2024.7.24b 읽음. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=INH\\_1K52D01\\_29&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=208\\_20801\\_A\\_1&scrId=&seqNo=&lang\\_mode](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=INH_1K52D01_29&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=208_20801_A_1&scrId=&seqNo=&lang_mode)

- =ko&obj\_var\_id=&itm\_id=&conn\_path=MT\_ZTITL E&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do.
- KOSIS, "National Business Survey", Accessed July 24, 2024b. [https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=INH\\_1K52D01\\_29&vw\\_cd=MT\\_ZTITLE&list\\_id=208\\_20801\\_A\\_1&scrId=&seqNo=&lang\\_mode=ko&obj\\_var\\_id=&itm\\_id=&conn\\_path=MT\\_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do](https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=INH_1K52D01_29&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=208_20801_A_1&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do).
18. 문화체육관광부, "전국 문화기반시설 총람" 2024.6.15 읽음. [https://www.mcst.go.kr/kor/s\\_policy/dept/deptView.jsp?pSeq=1818&pDataCD=0417000000&pType=02](https://www.mcst.go.kr/kor/s_policy/dept/deptView.jsp?pSeq=1818&pDataCD=0417000000&pType=02).
- Ministry of Culture, Sports and Tourism, "National Cultural Infrastructure", Accessed June 15, 2024. [https://www.mcst.go.kr/kor/s\\_policy/dept/deptView.jsp?pSeq=1818&pDataCD=0417000000&pType=02](https://www.mcst.go.kr/kor/s_policy/dept/deptView.jsp?pSeq=1818&pDataCD=0417000000&pType=02).
19. 세종통계포털, "지방세, 상하수도 보급률, 주차장수, 어린이시설 수, 문화시설 면적, 노인복지시설 수, 병상수", 2024.7.20. 읽음. <https://www.sejong.go.kr/stat/stats/form.do?key=1910168795224#this>.
- Sejong Statistics Portal, "Local Taxes, Water Supply and Sewage Supply Rate, Number of Parking Lots, Number of Children's Facilities, Area of Cultural Facilities, Number of Elderly Welfare Facilities, Number of Hospital Beds", Accessed July 20, 2024. <https://www.sejong.go.kr/stat/stats/form.do?key=1910168795224#this>.

## 요약

본 연구는 세종시 지역 내 균형발전 수준과 변화 양상을 추적함으로써 균형발전의 의미에 대해 고찰하였다. 균형발전의 개념과 국내에서 균형발전의 의미가 어떻게 변화되었는지, 해외 주요 국가에서는 균형발전을 정책적으로 어떻게 해석하고 있는지에 대해 검토하였고, 세종시를 사례로 지표를 개발하여 지역의 불균형 정도를 진단하고 그 변화를 분석하였다. 2012년 출범 당시에는 유형1(불균형 및 양극화 양호)에 지표가 밀집되어 나타나며, 균형 상태로 나타났다. 그러나 2019년 지표들은 평탄하게 우상향하면서 격차가 나타나기 시작하였으며, 이는 불평등과 양극화가 발생하는 불균형 상태로 변화하고 있음을 발견하였다. 2023년 지표의 경우 방향이 가파르게 상향하는 것으로 나타났다, 불균형 상태가 지속되고 있으나 다만 양극화가 일부 완화된 것으로 검토되었다. 이러한 결과는 첫째, 지표 분석 결과를 토대로 지역내 균형과 불균형의 변화를 해석함에 있어 시대적 특성과 흐름을 반영해야 하며, 두 번째는 지역 특성에 맞는 균형발전의 개념 정립의 필요성을 시사한다.

**주제어:** (불)균형발전, 지역격차, 지니계수, 5분위배율

# 무주택근로자에 대한 주택자금 세제지원이 주택보유에 미치는 효과의 비교 분석\*

## A Comparative Analysis on the Effect of Housing Funds Special Deductions and Monthly Rent Tax Credit on Housing Ownership for Non-Homeowning Wage Earners

김성태\*\* · 조민혜\*\*\* · 임병인\*\*\*\*

Sung Tai Kim\*\* · Min-hye Jo\*\*\* · Byung In Lim\*\*\*\*

### Abstract

Using the National Survey of Tax and Benefit from 2008 to 2021, this study examines the effects of special deduction for housing funds (debt service payment of housing rental loans and long-term mortgage interests) and tax credits for monthly rent on home ownership of salaried workers without homeownership. The results indicate that, others being constant, households in metropolitan areas exhibit a lower probability of homeownership compared to non-metropolitan counterparts, with this probability rising as household size increases. Among housing types, apartments show the highest homeownership likelihood, followed by townhouses and single-family homes. The two special income deduction schemes reduce the user cost of homeownership through price and wealth effects, facilitated by housing fund accumulation, thereby enhancing homeownership probability. Conversely, tax credits for monthly rent reduce homeownership likelihood via price effects. These findings suggest that income deductions and rent tax credits exert distinct and contrasting influences on home purchase decisions.

**Keywords:** Special Deduction for Housing Funds, Special Deduction for Repayment of Principal and Interest on Housing Rental Loans, Special Deduction for Long-Term Mortgage Interest Deduction, Tax Credit for Monthly Rent, National Survey of Tax And Benefit

### 1. 서론

우리나라는 1960년 39.1%에 불과했던 도시화율이 1970년 50.1%로 처음으로 50%를 넘어섰고,

2005년에는 90%를 초과한 90.2%였고, 2015년부터 2021년까지는 91.8% 수준을 유지하다가 2022년 91.9%를 시현하였다(통계청, 2024). 이는 2022년 주민등록 총인구 약 5,144만명 중 약 4,729만명

\*본 연구는 2023 조세특례 심층평가 「무주택근로자에 대한 주택자금 특별공제 및 월세액에 대한 세액공제」(한국개발연구원, 2023)의 1장과 4장을 발췌, 인용하여 보완한 것임.

\*\*청주대학교 경제학과 명예교수(주저자: stkim@cju.ac.kr)

\*\*\*한국개발연구원 재정투자평가실 전문위원(elena@kdi.re.kr),

\*\*\*\*충북대학교 경제학과 교수(교신저자: billforest@chungbuk.ac.kr)

이 도시지역에 거주하는 것을 의미한다. 이처럼 도시화율이 빠르게 증가하면서 도시지역의 주택 부족으로 주택가격이 급등하여 주거불안정 문제가 촉발되었다. 시기에 따라 부동산가격이 하향 안정세를 보여준 시기(예시: 1971~1973년 경기불황기, 1997년 경제위기 이후)도 있었지만, 주택부족에 따른 가격급등을 해결하기 위해 정부는 기본적으로 주택공급 확대정책(한국경제 60년사 편찬위원회, 2010)을 견지하면서 주택청약제도와 부동산 관련 세제를 통한 투기억제 등과 같은 수요관리정책을 병행하였다.<sup>1)</sup> 공급확대정책과 수요관리정책의 병행에도 불구하고 인구가 밀집된 서울 및 수도권 등을 비롯한 도시의 주택가격이나 전세 또는 월세 가격은 여전히 높아 주택 구입 또는 전세나 월세 입주 등에 소요되는 주거비용이 가구에 큰 부담으로 작용해 왔음을 부인할 수 없다. 따라서 국민들은 주거비용 부담 경감을 위해 주택 구입 또는 전세자금 대출 편의성 제고와 대출금 증액, 월세액에 대한 세제지원 등을 요구하였고, 정부는 그에 대응하여 조세특례제도와 같은 세제지원 방식, 보조금 지급 또는 임대주택의 건설 공급과 같은 재정지출, 용자 및 대출 등 금융지원 등 방식으로 국민들의 주거비용 부담 경감 정책을 시행해 왔다. 여기서 중요한 것은 다양한 주거비용 부담 경감 정책들의 효과 유무인데, 그 중 세제지원에 관한 해외 연구는 주택담보대출 이자에 관한 공제제도의 효과를 다룬 미국 사례 연구가 대부분이고, 국내 연구에서는 주거비용 경감 정책의 문제점을 논의한 뒤 그 개선방안을 제시하는 수준에 그치고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 연구의 현실을 감안하여 전세주택자금 대출 원리금 상환액 및 주택담보대출 이자 상환액에 대한 특별공제제도와 월세 지출액 세

액 공제제도 등 주거비용 경감 정책의 주택보유확률 효과를 실증하여 관련 연구의 지평을 넓히고자 한다.

따라서 본 연구는 무주택근로자들을 대상으로 하는 전세 입주자의 「주택임차차입금 원리금 상환액」과 주택구입을 위한 「장기주택저당차입금 이자상환액」 등에 대한 「주택자금 특별공제」와 월세 거주자를 위한 「월세액 세액공제」 제도가 주택 구입에 미치는 효과가 다르다는 것을 2008~2021년 「재정패널」 자료에 사용자비용개념과 LOGIT 모형을 적용하여 비교하는 것에 목적이 있다.

본 연구는 서론에 이어 2장에서 국내외 선행연구들을 일별한다. 3장에서는 분석 대상 조세특례제도와 우리나라 가구들의 거주유형 분포 개요를 논의한 뒤, 조세특례제도의 조세지출액과 이용자 수 추이를 간략하게 설명한다. 4장에서는 사용자료와 분석방법, 그에 근거한 추정방정식을 제시한 뒤, 추정결과를 분석한다. 5장에서는 분석결과를 요약한 뒤, 시사점을 제시한다.

## 2. 선행연구 검토

주거 안정 관련 선행연구는 주택담보대출 이자 세액공제의 효과를 실증 분석한 해외 연구와 주거안정을 위한 세제지원제도의 문제점과 개선방안을 논의한 정성분석 위주의 국내 연구로 대별할 수 있다.

주택담보대출 이자에 대한 소득공제(Mortgage Interest Deduction, 이하 MID)가 주택소유에 미치는 영향을 논의한 해외 연구로는 Glaeser and Shapiro (2003), Stansel and Randazzo(2011), Hilber and Turner(2014), Sommer and Sullivan(2018) 등이 있다.

Glaeser and Shapiro(2003)는 MID 효과를 이론

1) 주택청약제도는 1977년 8월 18일 「국민주택 우선공급에 관한 규칙(주택공급규칙)」을 신설하면서 도입되었다. 처음에는 국민주택기금을 지원받아 건설되는 공공주택에 적용되었으나, 1978년부터 민영주택에도 청약제도를 적용하면서 현재 청약제도의 모태가 되었다.

과 실증분석 두 관점에서 분석하였다. 실증분석에 사용한 자료는 Survey of Consumer Finances(1998), American Housing Survey(1993), Neighborhood Cluster sample, General Social Survey, City and County Data 등으로 연구 내용에 부합한 통계를 적절하게 제시하고 논의하고 있다. 분석 결과, MID로 인해 주택수요가 증가하지만, 주택 소유 증가로 발생하는 사회적 효용 증가가 소득공제 도입을 정당화시킬 정도로 충분히 크지 않음을 보였다.

Stansel and Randazzo(2011)는 개인의 소득수준별 MID를 U.S. Congress's Joint Committee on Taxation(JCT)자료, 2008년 IRS(국세청)의 Statistics of Income Bulletin 자료, 1999년 등의 자료를 구축한 뒤, 소득구간별 소득공제 효과를 시나리오 분석 기법으로 분석하여 소득구간별 소득공제의 영향을 실증하였다. 분석 결과, MID는 고소득자들에게 유리하지만, 자가보유에 큰 효과가 없으므로 저소득층에 적용하는 세율 인하가 더 효과적임을 보였다.

Hilber and Turner(2014)는 Federal Housing Finance Agency(FHFA, mortgage interest rate와 주택가격지수), 1980년 Census(주택 누적수; Housing Stock), Saks(2008)가 만든 Metropolitan 수준의 규제지수 등을 1984~2007년 Panel Study of Income Dynamics(이하, PSID) 자료에 적용하여 주택 보유에 MID가 어떠한 영향을 미쳤는지 실증하였다. 분석 결과, 연방정부와 주정부의 MID가 통계적으로 유의하게 주택소유비율을 증가시키지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 개인의 주택 소유 결정에는 양(+)이든 음(-)이든 영향을 주는데, 이는 토지사용규제와 소득수준에 달려 있기 때문이라고 해석하였다. 즉, 주택공급이 더 탄력적인 곳은 MID가 주택 소유에 양(+)의 효과를 주나 고소득층에게 국한되고, 저소득층에게는 어떤 영향도 주지 않았다는 것이다. 또한, MID의 효과는 이자율과 주택공급의 가격탄력성에 크게 좌우되며, 저소득층보다 고소득층

에 대한 효과가 더 커서 역진적인 성격을 가진다고 결론짓고 있다.

Sommer and Sullivan(2018)는 PSID, Consumer Expenditure Survey(1982~2002), 2007 American Community Survey, 주택가격 시계열자료(거주 주택 실질가격지수(국제결제은행 중 미국 자료)), 1980/1990/2000 Decennial Census of Housing 자료, 1994-1998 American Housing Survey(AHS), 2020 SCF 등의 다양한 자료를 MID를 반영한 누진적 조세 체계로 설정한 Dynamic 균형모형에 적용하여 부동산 산세제가 부동산 시장에 미치는 효과를 실증하였다. 분석 결과, 다른 조건이 일정할 때, MID 폐지는 주택 수요를 감소시키지만, 균형상태에서 주택가격을 떨어뜨리고, 차입제한이 있는 계층들은 주택구입을 오히려 늘릴 것으로 예측하였고, 동시에 월세 대비 주택가격을 하락시켜 주택 보유를 더 유리하게 할 수 있는 것으로 나타났다. 그리고 MID 폐지는 고소득층에 집중되어 있던 주택서비스를 저소득층이 더 많이 소비하는 효과를 유발할 것이라는 결과를 도출하였다. 또한, Simulation 추정 결과, MID폐지로 주택가격이 하락하여 주택보유가 증가되며, 주택저당차입금도 감소하고 사회후생은 증가하는 것으로 나타났다.

다음은 홍범교·김진영(2017)과 전병욱(2021), 최보람·임영제(2021) 등의 주요 내용을 살펴본다. 홍범교·김진영(2017)은 2017년 조세특례 심층평가를 통해 주거안정 관련 소득공제 제도에 대한 지원기준 및 지원방식에 대한 타당성과 수혜자 형평성 요인에 대하여 실증분석하였고, 전병욱(2021)은 연도별 국세통계연보를 주로 사용하여 주택자금소득공제, 월세 세액공제 및 성실사업자공제 등과 같은 주거안정 관련 세제지원제도의 합리적인 개편방안을 제시하였다. 최보람·임영제(2021)는 국세통계연보 자료 등을 이용하여 주거안정 조세지출 항목의 문제점을 분석한 뒤 개선방안을 제시하였다.<sup>2)</sup>



이상에서 살펴본 기존 연구 중 국내 연구들은 주거 비용 경감정책의 타당성과 형평성 분석을 포함하여 문제점을 분석하고 그 개선 방안을 제시하고 있다는 점에서 주거비용경감을 위해 도입된 조세특례제도의 주택보유효과를 분석한 본 연구와 차이가 있고, 해외 연구들은 미국의 주거비용 경감정책인 MID제도의 주택보유효과 여부를 실증 분석하였다는 점에서 본 연구와 유사하다.

### 3. 주거 안정 지원을 위한 조세특례제도 개요와 거주유형 분포

#### 3.1 주거 안정 지원 조세특례제도 개요

대표적인 주거 안정 지원 세제지원제도에는 「주택자금 특별공제」(「주택임차차입금 원리금 상환액」, 「장기주택저당차입금 이자상환액」)과 「월세액 세액 공제」 제도가 있다. 이하에서 전술한 3개 제도에 대하여 간략하게 논의해 본다.

「주택임차차입금 원리금 상환액」(근거: 「소득세법」 제52조 제4항) 제도는 1990년 12월 31일 근로소득 세 부담을 줄이고 소득종류간 세 부담 형평성을 도모하며, 소득세율체계 조정으로 인한 세 부담을 경감시켜 주기 위해 도입되었다(근거: 소득세법 제61조의5(무주택근로자공제)). 이후 소득세법 제52조(특별공제)를 개정(1994년 12월 22일)하면서 공제액이 정액 기준에서 정률 기준으로 바뀌었다. 주거용 오피스텔과 주택을 비롯하여 오피스텔에 딸린 토지를 포함한 일정 규모 이하의 주택에 거주하는 근로소득이 있는 무주택세대주가 주택임차자금 차입금의

원리금 상환액을 지급하는 경우, 상환액의 100분의 40에 해당하는 금액(한도액 400만원)을 해당 과세기간의 근로소득금액에서 공제하고 있다.<sup>3)</sup> 이때 세대주가 공제를 받지 않으면(근거: 소득세법 제5항 및 「조세특례제한법」 제87조 제2항), 세대구성원 중 근로소득이 있는 자가 대신 공제를 받을 수도 있다.<sup>4)</sup>

「장기주택저당차입금 이자상환액」 특별공제(근거: 「소득세법」 제52조 제5항)는 중산층 및 서민층의 주택 마련을 지원하기 위해 소득세법 제52조 제3항에 규정한 제도이다(2000년 10월 23일). 이는 근로소득이 있는 무주택자 또는 1주택 보유 세대주가 취득 당시 기준시가 5억원 이하인 주택 취득을 위하여 저당권을 설정한 뒤, 장기주택저당차입금을 금융회사나 「주택도시보증법」에 따른 주택도시보증금으로부터 받고 그 이자상환액을 과세기간 근로소득에서 공제하는 것이다. 이 경우에도 세대주가 공제(근거: 소득세법 제5항과 「조세특례제한법」 제87조 제2항)를 받지 않으면 세대구성원 중 근로소득이 있는 자가 대신 공제를 받을 수 있다.<sup>5)</sup> 공제한도는 상환기간, 고정금리 여부, 비거치식 적용 여부에 따라 다르다.

「조세특례제한법」 제95조의2에 규정한 「월세액 세액공제」 제도는 근로소득자 중 총급여 7천만원 이하자(무주택 세대주)에게 월세 부담을 경감시키려고 월세 지급액 중 일부를 산출세액에서 공제하는 것이다.<sup>6)</sup> 총 급여액이 7,000만원 이하 근로소득자와 5,500만원 이하인 근로소득자로 구분하여 각각 월세액의 15%, 17%에 해당하는 금액을 산출세액에서 공제하는데, 그 한도액은 750만원이다.<sup>7)</sup> 세대

2) 이외의 국내연구로 본 연구의 분석대상인 전세와 월세시장을 다룬 박상학·김용순(2012)과 미혼 청년 가구의 월세 부담에 대하여 논의한 이현정·남상준(2017) 등이 있다.  
3) 일정 규모 이하의 주택(동법 시행령 제112조 제2항 참조)은 「주택법」에 따른 국민주택규모, 즉 주거용도로 쓰이는 면적이 1호 또는 1세대당 85제곱미터 이하인 주택을 의미한다.  
4) 주택임차자금 차입금에 해당하는 차입금은 동법 시행령 제112조 제4항을 참조하기 바란다.  
5) 장기주택저당차입금의 요건은 동법 시행령 제112조 제8, 10, 12, 14항을 참조하기 바란다.  
6) 이는 「소득세법」 제52조 제4항 제2호인 월세액의 40%를 근로소득에서 공제하는 소득공제가 세액공제로 변경된 것으로 볼 수 있다.



**Table 1.** Trends in the Number of Applicants for Special Deductions and Tax Credits

Special deduction				Special deduction			
Year	Housing	Long-Term	Tax Credits For Monthly Rents	Year	Housing Rental	Long-Term	Tax Credits for Monthly Rents
	Rental Loan	Housing			Loan	Housing	
	Principal and	Mortgage Loan			Principal and	Mortgage Loan	
	Interest	Interest			Interest	Interest	
	Repayment	Repayment			Repayment	Repayment	
	Amount	Amount			Amount	Amount	
2010	132,947	713,679	11,954	2016	467,921 (9.8)	1,210,782 (14.2)	244,763 (19.5)
2011	183,425 (38.0)	747,209 (4.7)	11,821 (-1.1)	2017	517,044 (10.5)	1,328,370 (9.7)	293,694 (20.0)
2012	239,103 (30.4)	613,761 (-17.9)	85,350 (622.0)	2018	614,294 (18.8)	1,459,748 (9.9)	339,762 (15.7)
2013	273,305 (14.3)	708,552 (15.4)	107,416 (25.9)	2019	755,985 (23.1)	1,586,728 (8.7)	400,265 (17.8)
2014	381,314 (39.5)	886,313 (25.1)	162,484 (51.3)	2020	877,662 (16.1)	1,702,853 (7.3)	537,064 (34.2)
2015	426,000 (11.7)	1,059,893 (19.6)	204,873 (26.1)	2021	1,008,976 (15.0)	1,797,273 (5.5)	580,173 (8.0)

Note: ( ) year-on-year change rate, Source: National Tax Service (2023)

주가 공제(근거: 소득세법 제52조 제4항, 제5항 및 「조세특례제한법」 제87조 제2항)를 받지 않으면, 근로소득이 있는 세대구성원이 공제를 대신 받을 수 있다.

이상에서 살펴본 두 개의 특별공제와 세액공제제도 신청자수는 Table 1에서 보듯이 지속적으로 증가하지만, 전년 대비 증가율은 제도별로 달랐다.

주택임차차입금 특별공제는 2011년과 2014년 전년 대비 증가율이 각각 38.0%, 39.5%였고, 나머지 연도는 연도마다 달랐다. 장기주택저당 차입금 특별공제 신청자수는 2012년에 전년 대비 하락하였고(-17.9%), 2014년에 전년 대비 증가율이 25.1%로 정점에 이른 뒤 계속 하락하고 있다. 월세액 세액공제제도는 2011년에만 전년 대비 감소하였지만,

2012년에 다시 전년 대비 증가율이 급증한 뒤, 연도별로 등락하고 있다.

이상의 3개 조세특례제도로 인한 조세지출총액은 2009년 3,256억원이었는데, 월세액 세액공제가 반영된 2015년에는 2,913억원으로 하락하였다. 이후 다시 급증하여 2023년에는 1조387억원으로 집계되어 2023년 기준 소득세 수입(예산 기준, 131.9조 원)의 0.8%에 이르는 것으로 나타났다.

### 3.2 우리나라의 거주유형 분포

주거안정을 위한 세제지원과 관련하여 우리나라의 소득계층별 점유형태를 2006년부터 2019년까지 살펴본다(Table 2 참조). 전국 기준 자가거주율은 2006년 55.6%에서 2019년 58.0%로 14년간

7) 해당 월세액을 결정하는 기준은 동법 시행령 제95조 제2항에 구체적으로 규정되어 있다. 참고로 소득이 7,000만원 이하 또는 5,500만원 이하인 근로자 중 종합소득금액이 각각 6,000만원, 4,500만원을 초과하는 사람은 월세 세액공제 적용 대상에서 제외한다.

**Table 2.** Trends of Residence Type by Year (2006~2019)

Year	Income Class	House Owned	Long-Term Rental Deposit	Guaranteed Monthly Rent	Monthly Rent W/ Deposit	Monthly Rent	Free
2006	Total	55.6	22.4	15.3	2.1	1.6	3.1
	High	49.66	18.79	20.31	4	3.14	4.1
	Middle	55.29	26.46	14.15	0.83	0.72	2.54
	Low	66.97	23.19	7.19	0.22	0.25	2.18
2008	Total	56.4	22.3	14.8	1.9	1.5	3
	High	51.9	16.84	20.48	3.83	2.71	4.25
	Middle	54.7	27.75	13.42	0.88	0.82	2.43
	Low	69.36	22	6.28	0.29	0.27	1.8
2010	Total	54.25	21.66	18.16	1.97	1.3	2.66
	High	46.85	16.78	25.76	4.06	2.81	3.74
	Middle	54.02	25.05	17.13	0.96	0.55	2.3
	Low	69.5	22.96	5.61	0.32	0.19	1.42
2012	Total	53.75	21.79	18.6	2.71	0.31	2.83
	High	50.45	13.79	26.43	4.87	0.66	3.79
	Middle	51.83	26.89	16.94	1.6	0.09	2.66
	Low	64.57	27.69	5.94	0.55	0.04	1.22
2014	Total	53.64	19.6	21.83	1.35	0.73	2.84
	High	47.52	14.24	29.43	2.92	1.68	4.21
	Middle	52.17	23.29	21.43	0.58	0.24	2.29
	Low	69.46	20.81	7.72	0.21	0.18	1.63
2016	Total	56.8	15.5	20.3	2.7	0.7	4
	High	46.2	12.9	28.7	5.2	1.4	5.6
	Middle	59.4	18.1	17.8	1.1	0.3	3.4
	Low	73.6	15.9	7.6	0.6	0.1	2.2
2017	Total	57.7	15.2	19.9	2.6	0.8	3.9
	High	47.5	11.5	28.9	5.3	1.6	5.1
	Middle	60.2	18	17	1	0.2	3.6
	Low	73.5	17.1	6.9	0.2	0.1	2.3
2018	Total	57.7	15.2	19.8	3.3	-	4
	High	47.2	11.6	29.1	6.6	-	5.4
	Middle	60.1	18.1	16.9	1.5	-	3.5
	Low	75.2	16.1	6.2	0.4	-	2
2019	Total	58.0	15.1	19.7	3.3	-	3.9
	High	46.4	10.9	29.5	7.2	-	5.9
	Middle	59.6	18.7	17.4	1.2	-	3.2
	Low	76.1	15.3	6.2	0.4	-	1.8

Source: Korea Housing Survey (2006~2019) (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023), excerpt from general house

2.4%p가 증가했다.<sup>8)</sup> 이 수치는 2019년 기준 자가 보유율 61.2%보다 낮아 타인 소유 주택에서 거주하는 사람들이 작지 않음을 시사해준다. 전세가구 비중은 2006년 22.4%에서 2019년 15.1%로 떨어져 자가거주 비율과 달랐다. 또한, 보증부월세와 월세 거주 비중은 2006년 각각 15.3%, 2.1%에서 2019년 19.7%, 3.3%로 증가하였다.<sup>9)</sup>

#### 4. 분석방법과 추정결과

본 연구에서는 무주택근로자에 대한 세제지원이 주택 보유에 미치는 효과를 실증하고자 「재정패널」 자료에 LOGIT 모형을 적용하였다.<sup>10)</sup>

##### 4.1 사용자비용 개념과 사용자료

주거 안정을 위한 조세특례제도가 무주택근로자들의 주택 보유에 미치는 효과는 다음과 같이 예측할 수 있다(Green and Vandell, 1999). 주택임차차입금 원리금 상환액 소득공제와 장기주택저당차입금 소득공제는 거주 주택 또는 보유주택의 세전(稅前) 사용자비용(Before Tax User Cost of Capital) (주택 관련 차입비용을 의미)을 줄여 자가주택을 구입할 확률을 높이지만, 월세 세액공제 제도는 월세의 실제 지출액(가격)을 낮추게 하여 월세 거주 의향을 높여 주택을 구입할 확률을 낮출 것이다.

본 연구에서는 자가주택의 세전 사용자비용( $U_{0,bt}$ )

은 식 (1)과 같이 정의한다.

$$UC_{0,bt} = r + \tau_p + \delta + m \quad (1)$$

여기서,  $r$ : 이자율,  $\tau_p$ : 재산세율,  $\delta$ : 순감가상각률,  $m$ : 자가주택 유지에 소요되는 비용의 비율.

이제 소득세와 재산세 공제 등 각종 세제지원이 이루어지면 세후 사용자비용( $U_{0,at}$ )은 식 (2)와 같이 쓸 수 있다.

$$UC_{0,at} = (r + \tau_p)(1 - \tau_y) + \delta + m \quad (2)$$

여기서,  $\tau_y$ : 소득세율

식 (2)를 식 (1)과 연계하여 함수형태로 다시 쓰면 식 (3)과 같다.

$$UC_{0,at} = UC_{0,bt}(1 - \tau_y\phi) \quad (3)$$

여기서,  $\phi$ : 사용자비용 중 공제되는 비중

$$\left( = \frac{\tau + \tau_p}{\tau + \tau_p + \delta + m} \right)$$

##### 4.2 기초통계량

본 연구에서는 2008~2021년 「재정패널조사」 자료를 사용하는데, 동 자료로 추정된 기초통계량을 논의해본다(Table 3 참조). 가구주가 남성인 가구는

8) 참고로 2021년 기준 주택보급률이 100%가 넘는 데도 불구하고, 광역시도 기준으로 주택보급률이 100% 이하인 지역은 서울(94.2%), 인천(97.5%), 대전(97.0%), 경기(98.6%) 등이었고, 다른 광역시도들은 전국 평균보다 높았다(통계청, 「신」주택보급률).

9) 주거실태조사에서는 점유형태를 2020년에는 ‘자가와 그 외’ 등 두 개로, 2021년과 2022년에는 자가, 임차, 무상 등 3개로 구분하고 있다. ‘자가와 그 외’ 구성비(%)를 전체·저소득층·중소득층·고소득층으로 구분해 보면, 57.9-45.4- 61.7-75.3, 42.1-54.6-38.3-24.7, ‘자가, 임차, 무상’ 구성비를 전체·저소득층·중소득층·고소득층으로 구분해 각각 제시해 보면(단위: %), (자가)(2021년) 57.3-44.8-61.9-74.6, (2022년) 57.5-45.8-60.9-74.2, (임차)(2021년) 39.0-49.5-35.4-23.8, (2022년) 38.8-48.5-36.2-24.4, (무상)(2021년) 3.7-5.7-2.7-1.6, (2022년) 3.7- 5.7 -2.9-1.4이다.

10) 재정패널조사는 한국조세재정연구원에서 매년 실시하고 있는 패널자료로 조세정책과 복지정책이 개별 경제주체인 가계에 미치는 영향 분석, 조세에 대한 부담과 복지 수혜자의 연계성 분석, 조세재정모의실험 운용 등을 목적으로 제주도·도서지역을 제외한 전국 15개 시도에 거주하고 있는 일반 가구와 가구원을 대상으로 매년(5~8월 실시) 조사원에 의한 면접타계식(face-to-face interview) 방식으로 조사하고 있는 국내의 조세·재정 관련 최고의 조사이다. 동 조사는 가구 조사표와 가구원 조사표로 구성되어 가구와 가구원에 대한 정보를 상세히 제공하고 있다.

**Table 3.** Summary Statistics

(Unit: Korean Ten Thousand Won)

Year	Sex of Household Head (Male=1)	Number of Family Members	House type			Dummy of Metropolitan (Metropolitan=1)
			Single Family House	Apartment	Townhouse	
2008	0.825	3.018	0.366	0.445	0.113	0.383
2009	0.826	3.071	0.358	0.453	0.126	0.382
2010	0.818	3.075	0.357	0.460	0.116	0.382
2011	0.813	3.067	0.357	0.477	0.113	0.382
2012	0.810	3.046	0.363	0.484	0.113	0.382
2013	0.803	3.007	0.356	0.488	0.117	0.382
2014	0.795	2.949	0.356	0.491	0.114	0.381
2015	0.787	2.888	0.346	0.503	0.118	0.381
2016	0.778	2.836	0.337	0.510	0.119	0.381
2017	0.773	2.787	0.332	0.512	0.123	0.379
2018	0.764	2.738	0.328	0.515	0.124	0.378
2019	0.759	2.704	0.322	0.520	0.127	0.378
2020	0.751	2.651	0.321	0.530	0.121	0.377
2021	0.745	2.596	0.319	0.535	0.117	0.377

Year	Current Income/ Month	Asset	Debt	Cumulative Amount of Special Deductions	Age Dummy				
					25~34	35~44	45~54	55~64	65~
2008	269	5,115	3,442	6	0.116	0.252	0.258	0.178	0.196
2009	270	5,023	3,703	15	0.092	0.249	0.264	0.186	0.209
2010	280	5,642	2,165	25	0.076	0.238	0.264	0.198	0.224
2011	302	7,295	4,134	36	0.059	0.224	0.273	0.201	0.242
2012	313	7,169	4,140	48	0.048	0.211	0.264	0.216	0.261
2013	324	7,129	4,480	58	0.036	0.199	0.266	0.221	0.279
2014	330	7,595	4,306	68	0.024	0.186	0.269	0.221	0.301
2015	339	7,572	4,323	77	0.022	0.165	0.269	0.231	0.314
2016	347	7,596	4,381	88	0.016	0.143	0.269	0.244	0.329
2017	357	8,285	4,719	100	0.011	0.128	0.261	0.255	0.345
2018	370	8,783	4,659	111	0.008	0.107	0.260	0.262	0.363
2019	395	8,971	4,863	126	0.005	0.087	0.257	0.271	0.380
2020	394	9,464	4,744	142	0.002	0.078	0.244	0.273	0.404
2021	395	10,208	5,304	157	0.002	0.063	0.231	0.280	0.425

Source: Korea Institute of Public Finance (2023)

2008년 82.5%였는데, 2009년 82.6%로 미미하게 증가한 이후 계속 하락하여 2021년 74.5%로 나타났다. 가구원수는 2008년부터 2012년까지 3명 수준을 유지하다가 2014년 2명 수준으로 하락한 이후 계속 줄어들고 있다. 주택형태는 2008년에는 단독주택 36.6%, 아파트 44.5%, 연립·공동주택 11.3%였는데, 이후에는 아파트 비중 점증, 단독주택하락, 연립·공동주택 전반적인 유지 추세를 보였다고 볼 수 있다. 분석 대상 가구 중수도권 소재 비중은 2008년 38.3%였는데, 이후 전반적으로 하락하여 2021년에는 37.7%에 이르고 있다. 월 기준 경상소득은 2008년 269만원에서 2019년까지 매년 증가하다가 2020년에 전년 대비 1만원 감소했고, 2021년에 다시 2019년 수준을 회복하였는데, 연평균 증가율은 3%인 것으로 나타났다. 자산은 2008년 5,115만원 수준에서 2009년을 제외하고 매년 증가하여 연평균 증가율이 5.5%였다. 눈에 띄는 것은 2011년, 2017년, 2020년, 2021년 자산은 전년 대비 각각 29.3%, 9.1%, 5.5%, 7.9%로 다른 연도에 비하여 높았다는 것이다. 부채는 2008년 3,442만원으로 자산규모보다 낮았고, 2008년 대비 2021년 연평균 증가율이 3.4%였고, 부채가 2011년 전년 대비 90.9%로 급증하였고, 나머지 연도는 전년 대비 등락이 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 연도별 자산과 부채 규모를 보면, 순자산(자산-부채)은 항상 0보다 큰 것으로 나타났다. 주택자금 특별소득공제 누계는 2008년 6만원에서 2021년 157만원으로 빠르게 증가하여 연평균 증가율이 28.5%에 이르렀다. 연령 더미변수의 분포를 보면, 25~34세 집단과 35~44세 집단은 각각 2008년 0.116, 0.252에서 2021년 각각 0.002, 0.063으로 현저하게 줄어 두 연령 집단의 비중이 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 반면에 45~54세 집단은 2008년 0.258에서 2021년 0.231로 크게 줄어들지 않고, 55~64세와 65세 이상은 2008년 대비 2021년 비중이 더 커서 고령화 현상과 부합하고 있

음을 알 수 있다.

### 4.3 추정방정식과 변수 설명

본 연구의 분석 대상인 3개 제도가 무주택근로자의 주택 보유에 어떤 영향을 주는지는 다음과 같은 자가주택 소유 결정요인 추정방정식으로 실증한다.

$$\begin{aligned}
 P(Own) = & F(\alpha + \beta_1 \times Y_c \\
 & + \sum_{i=2}^6 \beta_i \times Y_c \times agedummy_{i-1} \\
 & + \beta_7 \times asset + \beta_8 debt \\
 & + \gamma_1 \times \tau_y \phi \times hsddum \\
 & + \gamma_2 \times rtedum + \gamma_3 \times cdeductions \\
 & + \sum_{i=1}^5 \delta_i \times agedummy_{i-1} \\
 & + \delta_6 \times male + \delta_7 \times members \\
 & + \sum_{k=8}^{10} \delta_k \times hhtype_{k-7} \\
 & + \delta_{11} \times metro dum + \eta)
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서,  $P(Own)$ : 자가주택 보유확률, 함수  $F(\cdot)$ : 누적정규분포함수,  $\eta$ : 오차항

식 (4)에서 보듯이 자가주택 소유의 결정요인에는 소득과 자산, 부채 등의 경제적 요인, 주택자금 특별공제나 월세 세액공제 등의 제도적 요인, 가구주 연령이나 성(性) 등의 인구통계학적 변수, 그리고 주택 유형과 같은 가구 특성 요인이 있다(Table 4 참조). 첫째, 경제적 요인 변수 중 당해 연도 소득은 항상소득으로 설정하는 것이 타당하나 자료제약으로 항상소득을 구득하기 어려워 연령 더미변수와 경상소득의 교차항으로 설정한다. 가구주 연령을 나타내는 더미변수에는 가구주 연령이  $i=1$ 에 속하면 1, 기타는 0의 값을 부여한다. 연령은  $i=1$ (25~34세),  $i=2$ (35~44세),  $i=3$ (45~54세),  $i=4$ (55~64세),  $i=5$ (65세 이상) 등 5개로 구분한다. 다음은 가구의 자산변수로 금융자산과 기타 자산의 합계로 정의한다. 다른 조건이 동일하면, 자산이 많으면 자가

**Table 4.** Description of Explanatory Variables

Classification	Details	Variable Name
Economic Factor	Current Income/month	$Y_c$
	log (current income)×Age Dummy	$Y_c \times \text{agedummy}_i$
	Asset	asset
	Debt	debt
Institutional Factor	Variable Related to User Cost of Owning a House	$\tau_y \phi$
	Dummy for Housing rental loan principal and interest repayment amount	$hsddum$
	Dummy for Long-term housing mortgage loan Interest repayment amount	
	Dummy for Tax Credits for Monthly Rents	$rtdum$
	log (Cumulative Amount of Special Deductions)	$cdeductions$
Household Characteristics Factor	Age Dummy	$agedummy_i$
	Sex of Household Head (Male=1)	male
	Number of Family Members	members
	Dummy for House Type	$hhtype$
	Dummy for Metropolitan (Metropolitan=1)	$metroductum$

주택 보유확률이 커질 것이다. 참고로 「재정패널」 자료에서 조사하는 자산으로는 은행 등 금융기관 예금과 적금, 주식 보유 금액, 채권 보유 금액, 펀드 가입 금액, 연금저축, 저축성 보험과 연금성 보험, 빌려준 돈 및 기타 자산 등이 있다.<sup>11)</sup>

가구 부채는 금융기관 주택담보대출과 금융기관 대출, 신용카드 대출 및 전세 보증금, 주택자금 대출, 학자금 대출 등을 의미한다. 다른 조건이 동일하면, 부채가 많을수록 자가주택 보유확률은 하락할 것이다.

둘째, 제도적 요인을 논의해 본다. 세금 관련 설명 변수로 소득세율을 사용하는데, 가장 높은 구간의 한계세율로 정한다. 이는 누진세 체계인 우리나라 소득세제를 반영하기 위함이다. 자가주택 사용자비용 중 소득공제에 반영되는 비율(변수명:  $\phi$ )은 사용

자비용 중 공제되는 비중으로 추정하는데, 근로자 주택자금 특별공제를 받지 않는 가구는  $\phi$ 값을 0으로 적용한다.<sup>12)</sup> 한편, 본 연구에서 사용한 「재정패널」 자료에는 주택임차 차입금 원리금 상환액 소득공제와 장기주택저당차입금 소득공제를 '주택자금 공제'라는 항목으로 통합하여 조사하고 있으므로 2008년 이후 해당연도까지 장기주택저당차입금 소득공제액과 주택임차차입금 소득공제액을 누적하여 반영한다. 또한, 주택자금 특별공제와 세액공제는 더미변수로 설정하여 주택자금 특별공제 혜택을 받으면 1, 받지 않으면 0의 값,<sup>13)</sup> 월세액 세액공제 더미변수는 적용대상으로 수혜받으면 1, 받지 않으면 0의 값을 부여한다. 따라서 Table 5에서 보듯이 사용자비용에 주택자금 특별공제 더미변수를 곱하

11) 기타 자산에는 골프 등 회원권, 농기계, 가축, 선박과 건설 중장비, 귀금속, 자동차 등을 포함한다.

12) 이는 주택자금 특별공제 수혜 가구만이 더미변수 1로 설명변수에 포함되도록 추정방정식이 설정되었음을 의미한다.

13) 「재정패널조사」 자료에서 장기주택저당차입금 소득공제와 주택임차차입금 소득공제를 구분하고 있지 않아, 부득이 '주택자금 공제' 항목으로 통합하여 더미변수로 설정한 뒤, 주택소유의 사용자비용과 교차항 변수로 반영하였다.



**Table 5.** Estimation Results of Determinants of House Ownership

Variables	Total Period		
	Pooled OLS	Fixed Effect Model	Random Effect Model
log (current income)	0.096*** (7.088)	0.241*** (6.217)	0.205*** (5.945)
log (current income)×Age Dummy (25~34)	0.191** (2.039)	-0.152 (-1.135)	-0.090 (-0.647)
log (current income)×Age Dummy (35~44)	0.070** (2.029)	-0.142** (-2.014)	-0.069 (-0.982)
log (current income)×Age Dummy (45~54)	0.297*** (10.021)	-0.101 (-1.508)	-0.007 (-0.117)
log (current income)×Age Dummy (55~64)	0.066*** (2.782)	-0.184*** (-3.152)	-0.144*** (-2.626)
log (Financial Asset + Other Asset)	-0.085*** (-14.715)	-0.450*** (-24.695)	-0.441*** (-25.554)
log (Total Debt)	0.118*** (36.545)	0.176*** (25.234)	0.199*** (28.157)
Variable Related to User Cost of Owning a House ( $\tau_y \phi$ )×hsddum	0.083*** (3.897)	0.057*** (2.592)	0.069*** (3.009)
Dummy for Tax Credits for Monthly Rents	-2.830*** (-10.768)	-1.238*** (-2.735)	-1.744*** (-3.765)
log (Cumulative Amount of Special Deductions)	0.108*** (12.793)	0.265*** (10.459)	0.282*** (11.639)
Age Dummy (25~34)	-3.630*** (-7.004)	-1.800** (-2.384)	-3.400*** (-4.340)
Age Dummy (35~44)	-2.422*** (-12.596)	-1.484*** (-3.578)	-2.905*** (-7.140)
Age Dummy (45~54)	-3.068*** (-18.965)	-0.756* (-1.954)	-2.020*** (-5.507)
Age Dummy (55~64)	-0.824*** (-6.808)	0.820*** (2.619)	0.228 (0.784)
Sex of Household Head (Male=1)	0.836*** (26.486)	1.028*** (7.910)	1.516*** (12.601)
Number of Family Members	0.241*** (18.472)	0.661*** (15.817)	0.711*** (17.758)
House Type (Single Family House=1)	0.583*** (9.648)	0.964*** (5.901)	1.158*** (7.237)
House Type (Apartment=1)	1.063*** (17.781)	1.936*** (11.994)	2.203*** (13.826)
House Type (Townhouse=1)	0.388*** (5.924)	1.498*** (8.565)	1.550*** (8.988)
Dummy for Metropolitan (Metropolitan=1)	-0.590*** (-22.739)	-0.809*** (-3.488)	-1.374*** (-9.217)
Constant	-0.300*** (-3.511)		1.737*** (6.326)
log likelihood	-2.10e+04	-4794.556	-1.06e+04
chi <sup>2</sup>	8613.952	3317.520	2620.859
N	41,782	15,951	41,782
Hausman test chi <sup>2</sup>	-	318.93***	

Note: \*, \*\*, \*\*\* means 10%, 5%, 1% significance level of t-value, respectively.

여 주택자금 사용자비용을 반영하였다. 한편, 사용자비용을 구성하는 변수를 재정패널자료의 설문조사명을 이용하여 정의하면, 이자율은 “금융기관 주택담보 대출 연간 상환액÷금융기관 주택담보 대출 총 대출금액×100”, 재산세율은 “재산세율 연간 고지 금액÷작년 초 공시 가격×100”, 감가상각비율은 건

축물 유형별로 달리 적용(나창근, 2017 참조)<sup>14)</sup>, 소비지출 대비 주거비용은 “작년 한 해 월평균 주거비용÷작년 월평균 직접 소비지출×100”와 같이 계산하여 반영하였다.<sup>15)</sup> 셋째, 가구 특성 요인 중의 하나인 성별 변수는 가구주가 남성이면 1, 여성이면 0의 값을 부여하였다. 가구원수 변수는 가구의 구성원 수

14) 단독주택 연간 4% 균등상각(25년), 공동, 다가구, 다중주택 연간 3.3% 균등상각(30년), 30층 이상 초고층 아파트 연간 2% 균등상각(30년)

15) 더 자세히 설명하면,  $\phi = r / (r + \tau_p + \delta + m)$  (단,  $r$ : 이자율,  $\tau_p$ : 재산세율,  $\delta$ : 주택 감가상각률,  $m$ : 주택 유지비용 비율)에서 분모는 자가주택의 사용자비용을 나타내며 주택마련을 위한 차입금에 대한 이자를 소득공제해 주므로 분자에 이자율( $r$ )이 있다.

이다. 또한, 가구형태를 나타내는 더미변수는 특정 가구 형태이면 1, 아니면 0의 값을 갖고, 단독주택(Single Family House), 아파트(Apartment), 연립 또는 공동주택(Town House) 등 4개로 구분한다. 지역더미변수는 수도권(서울, 인천, 경기)은 1, 기타 지역은 0의 값을 부여한다. 소득세를 변수와 자가주택 사용자비용 중 소득공제에 반영되는 비율의 교차항인 설명변수  $\tau_{y\phi}$ 의 추정계수  $\gamma_1$ 의 부호가 양(+)의 값이면, 주거안정을 위한 소득공제가 자가주택의 사용자비용을 인하시켜 자가주택 보유에 기여할 것인데, 이는 주택자금 소득공제의 가격효과(Price Effect)로 해석할 수 있다. 주택자금 소득공제가 누적되면 주택을 구매할 수 있는 자산이 축적되어 주택 보유확률을 상승시켜 주택자금 특별공제 누적금액 변수의 추정계수( $\gamma_3$ ) 부호가 양(+)이면 자산효과(Wealth Effect)로 작동할 것이므로 주택자금 소득공제는 가격효과와 자산효과를 통해 주택 소유를 촉진시키게 된다고 볼 수 있다.

#### 4.4 무주택근로자의 자가주택 보유결정요인 추정결과

무주택근로자의 자가주택 보유 결정요인 추정방정식 추정 결과는 Table 5에 제시되어 있다.

추정방법은 합동(Pooled) OLS, 고정효과 모형(Fixed Effect Model), 확률효과 모형(Random Effect Model)을 사용하였다. 세 모형 중에 어떤 모형이 적절한지 식별하기 위해 Hausman Test를 수행한 결과, 고정효과 모형이 적절한 것으로 추정되어 고정효과 모형 추정결과로 설명한다.

추정 결과, 첫째, 설명변수  $\tau_{y\phi}$ 의 추정계수  $\hat{\gamma}_1$ 가 0.057로 부호가 양(+)이면서 통계적으로 유의하게 나타나서 소득공제 제도가 자가주택의 사용자비용을 인하시켜 주택을 보유하는 데 기여하였다고 해석할 수 있다. 이는 주택자금 소득공제제도가 가격효과(price effect)로 작동하고 있음을 의미한다. 둘째,

주택자금 특별소득공제 누제에 log를 취한 변수의 회귀계수는 통계적으로 유의하게 양(+)의 값(0.265)으로 나타났다. 이는 주택자금 소득공제금액 누적으로 주택을 구매할 정도의 자산이 축적되면 자가주택 보유확률을 증가시키는 자산효과(Wealth Effect)가 실증되었음을 말해준다. 셋째, 월세 세액공제 제도는 통계적으로 유의하게 음(-)의 값으로 추정되었다. 이는 월세에 대한 세액공제가 실제 월세 지출액을 줄이는 가격효과로 작용하여 월세 거주자의향을 높임으로써 자가주택 보유 확률을 떨어뜨린다고 해석할 수 있다. 넷째, 기타 통제변수의 추정결과를 논의해 본다. 수도권 더미변수의 추정계수가 -0.809로 나타나서 여타조건이 불변일 때, 주택가격이 비수도권에 비해 높은 수도권에 거주하는 가구들의 자가주택 보유확률은 낮다고 말할 수 있다. 또한, 가구원 수의 추정계수는 양(+)으로 추정되어 가구원 수가 많을수록 자가주택 소유에 대한 수요가 커진다고 볼 수 있다. 주택형태의 경우, 추정계수의 크기가 아파트, 연립·공동주택, 단독주택 순으로 커서 다른 조건이 동일할 때, 아파트로 자가주택을 보유할 확률이 가장 높음을 보여준다.

## 5. 요약 및 정책적 시사점

지금까지 주택자금 특별공제(「주택임차차입금 원리금 상환액」, 「장기주택저당차입금 이자상환액」 특별공제)과 「월세액 세액공제」 제도가 주거 보유확률에 미치는 효과를 2008~2021년 「재정패널조사」에 LOGIT 모형에 적용하여 실증하였다.

주요 분석 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 다른 조건이 불변일 때, 수도권 더미변수의 추정계수가 음(-)이면서 통계적으로 유의하여 수도권 가구의 자가주택 보유확률이 비수도권 가구에 비하여 낮았다. 또한, 가구원 수의 추정계수는 양(+)의 값으로 나타나 가구원 수가 많을수록 자가주택 보유확률이 높

아지고, 아파트, 연립공동주택, 단독주택 순으로 자가주택 보유확률이 높은 것으로 나타났다. 둘째, 자가주택 사용자비용 중 소득공제에 반영되는 비율(변수명:  $\phi$ )변수의 추정계수 부호가 양(+)으로 나타나서 주거안정을 위한 소득공제 제도가 자가주택의 사용자비용을 떨어뜨려 자가주택 보유확률을 높인다고 볼 수 있다. 이는 주택자금 소득공제의 가격효과(Price Effect)가 실증되었음을 보여준다. 셋째, 주택자금 특별소득공제 누계 변수의 추정계수가 양(+)으로 나타나서 주택자금 소득공제금액이 누적되면 주택구매에 사용할 자산으로 사용할 수 있으므로, 결국 자가주택 보유확률을 상승시키는 자산효과(Wealth Effect)가 나타났음을 잘 보여준다. 이 결과는 MID가 자가주택 보유확률을 높임을 실증한 Glaeser and Shapiro(2003)과 Sommer and Sullivan(2018)과 유사하며, MID의 자가보유확률 제고효과가 통계적으로 유의하지 않음을 보인 Stansel and Randazzo(2011)와 Hilber and Turner(2014)와는 다르다.<sup>16)</sup> 넷째, 월세 세액공제 더미변수의 부호가 통계적으로 유의하게 음(-)으로 추정되어 월세에 대한 세액공제가 가격효과로 월세 거주자의향을 높여 자가주택을 보유할 확률을 감소시킨다는 것을 보여준다. 이상의 추정 결과에서 특별공제제도와 세액공제제도가 주택보유 확률에 미치는 효과가 다르다는 사실을 확인할 수 있다.

이상의 분석 결과에서 특별공제제도는 정책목표인 자가주택 보유 확률을 높이면서 세부담도 덜게 하여 정부의 정책방향과 잘 부합하지만, 월세액 공제제도는 서민·중산층의 월세 부담을 줄여 오히려 월세 거주자의향을 높여 자가주택 보유효과를 떨어뜨리므로 주거비용경감 목표를 충족시키지만, 주택보

유를 통한 주거안정을 추구하는 장기 정책방향과는 다소 거리가 있다는 시사점을 도출할 수 있다.

## 참고문헌

1. 나창근(2017), 「꼬박꼬박 월세 나오는 수익형부동산 50가지 투자비법」, 서울: 북오션.
2. 박상학·김용순(2012), “전월세시장 구조변화 분석에 관한 연구”, 『LHI Journal』, 3(4): 379~387.
3. 이현정·남상준(2017), “비수도권 지역에 독립 거주 중인 미혼 청년 가구의 월세 부담 및 거주성 비교 분석”, 『토지주택연구』, 15(1): 1~22.
4. 전병욱(2021), “주거안정 조세지원 제도의 문제점 및 개선방안”, 『주택도시연구』, 11(2): 25~44.
5. 최보람·임영제(2021), “주거안정 조세지원에 관한 연구”, 『산업경제연구』, 34(1): 191~212.
6. 한국경제 60년사 편찬위원회(2010), 『한국경제60년사 IV. 국토환경』, 서울: 한국개발연구원.
7. 홍범교·김진영(2017), 「2017년 조세특례 심층평가 근로자의 주거안정에 관한 세제 지원」, 세종: 한국조세재정연구원.
8. Glaeser, E. L. and J. M. Shapiro (2003), “The Benefits of the Home Mortgage Interest Deduction,” *Tax Policy and the Economy*, 17: 37~82.
9. Green, R. K. and K. D. Vandell (1999), “Giving Households Credit: How Changes in the U.S. Tax Code Could Promote Home Ownership,” *Regional Science and Urban Economics*, 29: 419~444.
10. Hilber, C. A. and T. M. Turner (2014), “The Mortgage Interest Deduction and its Impact on Home Ownership Decision,” *The Review of Economics and Statistics*, 96(4): 618~637.
11. Sommer, K. and P. Sullivan(2018), “Implications of US Tax Policy for House Price, Rents, and Home Ownership,” *American Economic Review*, 108(2): 241~274.

16) 참고로 미국의 MID와 유사한 제도를 운영하고 있는 일부 국가 사례를 살펴보면, 캐나다의 경우 최초 주택구입자 세액공제(First-Time Home Buyers' Tax Credit, HBTC)(적격주택(qualifying home)을 취득한 최초 주택구매자에게 최대 \$1,500\*의 환급 불가(non-refundable) 세금 공제를 허용)제도를, 프랑스는 주택대출이자에 대한 세액공제제도(대출금에 대한 이자상환액의 일정비율을 개인소득세에서 세액 공제하지만 그 비율이 주택 취득시기 및 건축시기에 따라 다르며, 상한액 또한 인원수에 따라 달리 적용)를 운영하고 있다.

12. Stansel, D. and A. Randazzo (2011), "Unmasking the Mortgage Interest Deduction: Who Benefits and How Much?," *Policy Study* 394, Los Angeles: Reason Foundation.
13. 국세청, "국세통계포털", 2023.8.7 읽음. <https://tasis.nts.go.kr>.  
National Tax Service, "Tax Statistics Information Service", Accessed August 7, 2023. <https://tasis.nts.go.kr>.
14. 국토교통부, "통계누리", 2023.8.10 읽음. <https://stat.molit.go.kr>.  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Molit Statistics System", Accessed August 10, 2023. <https://stat.molit.go.kr>.
15. 통계청, "e-나라지표", 2024.5.7 읽음. <https://www.index.go.kr/enara>.
16. 한국조세재정연구원, "재정패널조사", 2023.7.28 읽음. <https://www.kipf.re.kr/panel/>.  
Korea Institute of Public Finance, "National Survey of Tax and Benefit", Accessed July 28, 2023. <https://www.kipf.re.kr/panel/>.

## 요 약

본 연구에서는 주택자금 특별공제(「주택임차차입금 원리금 상환액」, 「장기주택저당차입금 이자상환액」 특별공제)와 「월세액 세액공제」 제도가 주택 구입에 미치는 효과를 2008~2021년 『재정패널조사』와 LOGIT모형으로 실증하였다. 주요 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 여타조건이 불변일 때, 자가주택 보유확률은 수도권 가구가 비수도권 가구에 비하여 낮고, 가구원 수가 많을수록 증가하며, 주택형태별로는 아파트, 연립공동주택, 단독주택 순으로 주택보유확률이 높게 나타났다. 둘째, 주거안정을 위한 주택자금 특별공제 제도는 자가주택의 사용자비용을 인하시켜 자가주택을 보유하게 하는 가격효과와 주택자금 소득공제 누적이 자산효과(wealth effect)를 유발하여 자가주택 보유확률을 상승시키지만, 월세 세액공제제도는 월세에 대한 가격을 낮춰 월세 수요를 늘려 자가주택 소유확률을 낮추는 것으로 나타났다. 이상의 분석 결과에서 주택자금 특별공제 제도는 자가주택 보유확률을 높이고, 월세액 세액공제제도는 거주비용인 월세를 낮춰 자가주택 보유확률을 낮추어 두 제도의 효과가 다르다는 사실을 확인할 수 있다.

**주제어:** 주택자금 특별공제, 주택임차차입금 원리금 상환액 특별공제, 장기주택저당차입금 이자상환액 특별공제, 월세액 세액공제, 재정패널조사

# 패널 모형을 이용한 범죄율 및 체감안전도가 주택가격에 미치는 영향 연구

## A Study on the Impact of Crime Rates and Perceived Safety on Housing Prices using a Panel Model

한은국\* · 정재호\*\*

Eun-Kook Han\* · Jae-Ho Chung\*\*

### Abstract

This study investigates the impact of crime and perceived safety on housing prices using panel data for 17 metropolitan cities and provinces in South Korea from 2013 to 2022. The housing price index serves as the dependent variable, while independent variables include crime categories—violent crime, theft, and assault—as well as perceived safety as a psychological factor. Results indicate that violent crime exerts a significant positive impact on housing prices, whereas theft and assault crimes show significant negative effects, with assault crimes exhibiting a stronger influence than theft. Perceived safety positively correlates with housing prices, suggesting that regions with higher theft and assault crime rates experience lower housing prices, while lower perceived safety among residents also depresses housing values. These findings offer valuable insights for policymakers in formulating regional safety initiatives and real estate policies to enhance local housing market stability.

**Keywords:** Crime Rate, Perceived Safety, Housing Prices, Panel Model

## 1. 서론

### 1.1 배경 및 목적

범죄는 주민들에게 심리적, 사회적으로 부정적인 영향을 미친다. 범죄가 빈발하는 지역 주민들은 스트레스와 불안을 경험하며, 특히 피해자는 트라우마로 인해 정신 건강에 부정적인 영향을 받게 된다. 이로 인해 이웃 간 신뢰가 감소하고 공동체 의식이 약화되며, 일부 주민들은 이주를 고려하게 되어 결과적으로 인구 변동이 발생하게 된다. 범죄율이 높은

지역은 부정적인 이미지를 가져 외부 투자와 관광이 줄고, 이는 경제 활동에도 악영향을 미치게 된다. 또한 야간 활동 제한, 공공시설 이용 감소로 생활의 질이 저하되고, 범죄 증가로 시민들은 사회참여 활동을 줄이게 된다.

해외 연구들은 범죄가 주거 환경과 지역 경제에 미치는 부정적 영향을 입증하며, 범죄율이 높은 지역에서 주택 가격이 하락하는 경향을 보고하고 있다. 특히 폭력 범죄와 재산 범죄는 주택 가격에 부정적 영향을 미치며, 이러한 지역의 주거 매력도가 감소

\*충남경찰청 천안서북경찰서 경찰공무원(주저자: hekworld@gmail.com)

\*\*목원대학교 부동산금융보험학과 교수(교신저자: chung@mokwon.ac.kr)

함에 따라 주택 구매자들이 해당 지역을 기피하는 현상이 발생한다.

국내에서도 범죄와 주택 가격 간의 관계에 대한 연구가 진행되어 왔으나, 체감 안전도와 주택 가격 간의 복합적 관계를 심층적으로 다룬 연구는 드문 실정이다. 체감 안전도는 주민들의 생활 만족도와 밀접한 관련이 있으며, 주택 가격에도 중요한 영향을 미칠 가능성이 크다. 해외 연구에서는 주민들이 느끼는 안전도가 높을수록 주택 가격이 상승하는 경향을 보이지만, 국내 연구는 이에 관한 체계적인 분석이 부족한 상황이다.

본 연구는 지역의 안전 수준이 주택 가격에 미치는 영향을 체계적으로 분석하여 시사점을 도출하는 데 목적을 둔다. 이를 통해 지역사회 안전성을 강화하고 부동산 시장의 안정화를 도모하기 위한 정책 수립에 기초 자료로 활용될 것이다. 또한, 본 연구 결과는 투자 또는 거주 목적으로 주택을 구매하는 소비자들에게 올바른 선택의 방향성을 제시하는 데 기여하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구 분석을 위한 시간적 범위로 2013년부터 2022년까지 10년간의 데이터를 분석 대상으로 하였다. 공간적 범위는 전국 17개 광역 지방자치단체를 조사 대상으로 하였다. 또한 기존의 1개 지자체 지역의 분석을 넘어 모든 광역 지자체 비교를 중심으로 거시적인 관점에서 연구하였다.

내용적 범위에서는 독립변수인 범죄의 최종별(강력, 절도, 폭력)로 세분화하였고, 심리적인 요소인 경찰청 조사인 「종합체감안전도」 조사결과를 변수로 추가하였다.

본 연구의 방법론으로 안전과 주택 가격 결정에 관한 국내외 문헌 등을 검토하여 패널 데이터 모형으로 분석하였다.

종속변수는 주택시장의 변수인 주택매매가격지

수로 설정하였다. 독립변수는 인구 1만 명당 강력범죄발생건수, 절도범죄 발생건수, 폭력범죄 발생건수 및 경찰청 종합체감안전도 점수로 설정하였다.

패널 데이터 모형은 경제학, 정치학, 사회학 등 다양한 분야에서 시간의 흐름을 고려하는 통계적 모형이다. 분석에는 SAS(Statistical Analysis System) 프로그램의 'PROC PANEL' 절차를 사용한다.

첫 단계로, 결측값 처리와 데이터 정규화 등 데이터를 전처리하고, 데이터의 기본 특성을 파악하기 위해 기술 통계 분석을 실시한다. 다음으로 하우스만 검정(Hausman Test)을 사용하여 고정 효과 모형과 확률 효과 모형 중 적합한 모형을 선택한다. 유의수준이 0.05보다 작으면 고정 효과 모형이 적합하다고 판단한다. 고정 효과 모형은 패널 데이터 내 각 단위의 고유 특성을 통제하여 변수를 분석하며, 확률 효과 모형은 단위별 특성을 확률적으로 모델링한다.

브로시-패건 검정(Breusch-Pagan Test)을 통해 패널 모형에서 이분산성을 확인한다. 이 검정은 고정 효과와 확률 효과 모형의 잔차가 이분산성을 가지는지를 검증하며, 특히 Breusch-Pagan(Two-way) 검정은 시간과 개체 두 차원 모두에서 이분산성을 검토한다. 적합한 모형을 선택한 후 패널 자료 분석을 수행하여 변수들 간의 관계를 파악하고, 결과를 해석한다.

분석 결과는 주택 가격 결정에 영향을 미치는 요인을 이해하는 데 중요한 정보를 제공하며, 이를 바탕으로 정책 제안이나 실무적 적용 방안을 모색할 수 있다. 결과는 표로 시각화하여 명확히 제시하고, 추가 검증을 통해 연구의 정확성과 타당성을 높이고자 한다.

## 2. 이론적 고찰 및 선행연구 검토

### 2.1 범죄에 관한 이론적 고찰

Lynch et al.(2015) 등은 범죄를 “사회적 해악을 초래하고, 법적 규범을 위반하는 행위”로 정의하며,



이러한 행위가 사회적 통제 메커니즘에 의해 제재를 받아야 한다고 설명한다. 또한 범죄학이 법률뿐만 아니라, 사회적, 경제적 요인을 포함한 다학문적 접근을 통해 범죄를 연구해야 한다고 주장한다.

Siegel(2018)는 범죄를 사회적 규범과 법률을 위반하는 행위로 정의하고 있다. Siegel은 범죄가 사회적 구성물이라는 점을 강조하며, 이는 무엇이 범죄로 간주되는지는 문화와 법률 체계에 따라 크게 다를 수 있음을 의미한다. 범죄의 정의는 해악, 행위, 책임이라는 요소를 포함하며, 범죄 성립을 위해 행위 자체와 정신 상태가 모두 필요함을 강조한다.

범죄는 다양한 방식으로 사람들의 감정 및 정신건강에 큰 영향을 미칠 수 있다. 피해자는 범죄의 직접적인 당사자로 신체적, 정신적으로 안전이 위협받았다는 느낌을 받는다. 이는 두려움과 불안을 유발할 수 있으며, 특히 범죄의 성격이 폭력적일 경우 더욱 그렇다.

범죄로 인해 피해를 입은 사람들은 가해자에 대한 분노와 정의가 실현되지 않는다는 좌절감을 느낄 수 있다. 이러한 감정은 시간이 지나도 지속될 수 있다. 특히 성범죄나 가정폭력 피해자는 자신이 피해를 입은 것에 대해 죄책감이나 수치심을 느낄 수 있다. 이는 피해자가 잘못된 신념을 가지게 되어 발생하는 감정이다.

심각한 범죄 피해자는 우울증이나 외상후스트레스장애(PTSD)를 경험할 수 있다. 이는 범죄로 인한 트라우마가 장기간에 걸쳐 정신 건강에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

직접 피해자와 마찬가지로 범죄를 목격한 사람도 목격으로 인한 강력한 감정을 경험한다. 범죄를 목격한 사람들은 큰 충격과 불신을 경험할 수 있다. 이는 일상생활에서 흔히 접하지 못하는 사건을 목격했을 때, 자신이 알고 있는 세상이 얼마나 불안정하고 위협할 수 있는지를 인식하게 되면서 발생한다. 이로 인해 목격자도 두려움과 불안을 느낄 수 있고 자

신이 범죄의 대상이 될 수 있다는 생각 때문이다.

범죄 발생 원인을 설명하는 이론들은 다양하고 이 이론들은 범죄를 이해하는데 중요한 역할을 한다. 사회적, 경제적, 심리적 요인들이 복합적으로 작용한 결과라는 점을 강조한 이론들을 살펴보면, 우선, 사회구조이론(Social Structure Theories)은 에밀 뒤르켐과 로버트 머튼이 주창한 이론이다. 이들은 사회적 불평등, 빈곤, 교육과 직업 기회의 부족 등 구조적인 문제에서 범죄가 발생한다고 설명했다. 머튼의 아노미 이론은 사람들이 사회적 목표를 달성할 수 없을 때 불법적인 방법을 선택할 가능성이 높아진다고 주장한다. 이는 사회의 불균형과 규범의 붕괴가 범죄를 유발할 수 있다는 관점을 제시한다.

또한, 사회학습이론(Social Learning Theories)은 에드윈 서덜랜드(Edwin Sutherland)가 차별적 접촉이론으로 주창한 개념이다. 그는 범죄가 다른 사람들과의 상호작용을 통해 학습된 행동이라고 주장했다. 앨버트 반두라(Albert Bandura)의 사회학습이론도 같은 맥락에서 범죄가 관찰과 모방을 통해 습득된다고 설명한다. 이는 범죄가 단순한 개인의 내재된 성향이 아니라, 사회적 환경에서 학습된 결과임을 시사한다.

통제이론(Control Theories)은 트레이비스 히르시(Travis Hirschi)가 주창한 사회유대 이론에서 설명된다. 그는 개인이 가족, 학교, 사회와의 유대가 강할수록 범죄를 저지르지 않을 가능성이 높다고 주장했다. 이와 더불어 마이클 고트프레드슨(Michael Gottfredson)과 히르시는 자기 통제 능력이 부족한 사람은 충동적으로 범죄를 저지를 가능성이 크다고 설명한다.

사회갈등 이론(Conflict Theories)은 칼 마르크스(Karl Marx)의 이론에 기반을 둔다. 이 이론은 상류 계층이 법과 제도를 통해 자신의 권력과 이익을 보호하고, 하류 계층은 이러한 억압적인 법에 의해 범죄를 저지를 가능성이 높아진다고 주장한다. 사회적

불평등은 범죄의 중요한 원인이며, 범죄는 억압에 대한 저항으로도 발생할 수 있다는 점을 강조한다.

마지막으로, 심리학적 이론(Psychological Theories)은 지그문트 프로이트(Sigmund Freud)의 정신분석 이론에 기초한다. 그는 범죄가 억압된 욕망이나 무의식적 충동에서 비롯된다고 보았다. 또한, 성격 장애 이론은 범죄자가 반사회적 성격 장애와 같은 정신 병리적 문제를 가지고 있을 때 범죄를 저지르게 된다고 설명한다.

## 2.2 체감안전도에 관한 이론적 고찰

「체감안전도」라는 개념은 법률적인 용어라기보다는 사회과학적, 심리학적인 개념으로 사람들이 특정 환경에서 자신이 얼마나 안전하다고 느끼는지를 주관적으로 평가한다. 체감안전도는 물리적 안전 요소뿐만 아니라 개인의 경험, 사회적 요인, 심리적 상태 등에 의해 영향을 받는다. 또한 Raue(2019)는 체감안전도는 개인들이 특정 상황, 선택, 또는 행동이 안전하다고 결론 내리는 방법이라고 정의하고, 이 관점은 기본적인 인간의 필요를 충족시키는 것이 체감안전도의 일반적인 조건임을 주장한다. 체감안전도는 공공정책 및 사회 안전 분야에서 매우 중요한 지표로 활용되는데 이를 통해 정책 입안자들이 보다 안전하고 살기 좋은 환경을 조성하는 데 필요한 정보를 제공할 수 있다.

우리나라의 체감안전도는 행정안전부에서 조사하는 「재난관리 평가 국민체감도 조사」가 있고 경찰청, 통계청, 서울시 등 국가 및 지자체에서 다양한 종류의 체감안전도를 평가하고 있다. 그 중 경찰청 「국민 체감안전도」 조사는 경찰청이 국민들이 일상생활에서 느끼는 안전 수준을 평가하기 위해 실시하는 것으로, 범죄, 교통사고, 법질서 안전도 등 다양한 안전 요소를 고려하여 국민들이 실제로 얼마나 안전하다고 느끼는지를 파악하고, 이를 바탕으로 경찰 활동 및 안전 정책을 개선하기 위한 중요한 자료로 활용된다.

체감안전도는 주민들이 실제로 느끼는 안전 수준을 평가하는 주관적인 지표인데 설문조사 방식으로 데이터를 수집한다. 경찰청 체감안전도 조사는 매년 상반기, 하반기 2회에 걸쳐 일반국민 64,500명(258개 경찰서 × 250명)을 대상으로 RDD(Random Digit Dialing) 방식 전화 설문조사를 실시한다. 조사는 분야별(범죄안전, 교통사고안전, 법질서준수) 및 전반적 안전도를 설문조사한다.

## 2.3 주택가격의 영향 요인에 관한 이론적 고찰

주택가격에 영향을 주는 요인에 관한 이론 중 헤도닉 가격이론은 이론 경제학자 셔윈 로젠(Sherwin Rosen)에 의해 체계적으로 발전되었다. Rosen(1974)은 논문 “Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition”에서 이 이론을 상세히 설명하였다. 기본 개념은 제품이나 서비스의 가격이 그 특성들의 가치를 반영한다고 주장하였다. 즉, 주택 가격은 주택의 다양한 특성(예: 크기, 위치, 시설 등)의 가치를 반영하여 형성된다고 설명하였으며, 주택 시장뿐만 아니라 자동차, 노동 시장 등 다양한 시장에서 제품 및 서비스의 가격을 분석하는 데 응용하여 사용된다. 헤도닉 가격이론은 주택 가격은 여러 개별 특성의 가치가 종합되어 결정되는데, 예를 들어, 주택의 위치, 크기, 방 개수, 건축 연도, 주변 환경 등 다양한 요인이 주택의 전체 가격을 형성하고, 각 특성의 가격을 통해 소비자들 각 특성에 대해 얼마나 가치를 두는지 파악 가능한 이론이다.

헤도닉 가격 이론을 수학적으로 표현하면, 주택 가격  $P$ 는 여러 특성들의 가중합으로 모델링되며, 다음과 같은 식 (1)과 같이 회귀모형으로 나타낼 수 있다.

$$P = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 주택의 가격을 나타내고,  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 은

주택의 특성들을 나타내며,  $\beta_0$ 는 상수항(절편)으로, 모든 변수들이 0일 때 주택의 기본 가격을 의미한다.  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 은 각 특성이 주택 가격에 미치는 영향을 나타내는 계수로, 해당 특성이 가격에 미치는 기여도를 보여준다.  $\epsilon$ 은 오차 항으로, 이 모형에서 설명되지 않는 요인을 포함한다.

로젠의 연구는 경제학에서 품질 차이를 반영한 가격 형성을 이해하는 데 중요한 기여를 했다. 이 이론은 오늘날 부동산 시장 분석, 환경 경제학, 소비자 선호도 연구 등 다양한 분야에서 널리 활용되고 있으며, 이 이론은 그 이후 많은 연구자들에 의해 확장되고 발전되어, 오늘날 다양한 경제적 분석에서 중요한 도구로 사용되고 있다.

다음으로 부동산 외부효과 이론은 경제학의 외부효과 개념을 부동산 시장에 적용한 이론으로 특정 경제 주체의 행위가 의도치 않게 제3자에게 영향을 미치는 현상을 설명한다. 이러한 외부효과는 긍정적 외부효과(Positive Externalities)와 부정적 외부효과(Negative Externalities)로 구별되며 부동산 시장에서는 여러 형태로 나타난다.

첫째, 긍정적 외부효과는 주거지 또는 상업 지구 개발과 같은 활동이 주변 부동산 가치에 미치는 긍정적 영향을 포함한다. 예를 들어, 새로운 주거지 개발이나 상업 시설의 확충은 해당 지역의 부동산 가치를 상승시키는 요인으로 작용할 수 있다. 또한, 학교, 공원, 교통시설 등의 건설과 같은 공공인프라의 확충은 주변 지역의 부동산 가치 상승을 유발할 수 있으며, 이는 해당 지역주민들에게 긍정적인 외부효과를 제공한다.

둘째, 부정적 외부효과는 교통 혼잡, 소음, 환경오염 등과 같은 원인이 주변의 부동산 가치에 미치는 부정적 영향을 포함한다. 예를 들어, 공장이나 쓰레기 매립지와 같은 혐오 시설의 설치와 주변 지역의 환경을 악화시켜 부동산 가치를 하락시킬 수 있다. 또한, 대규모 개발로 인한 교통 혼잡은 주변 주민들

의 생활 질을 저하시킬 뿐만 아니라 부동산 가치에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

이와 같은 외부효과는 시장에서 적절히 가격이 반영되지 않는 경우가 많기 때문에, 정부는 이를 규제하거나 조정하는 역할을 수행한다. 정부는 부정적 외부효과를 완화하기 위해 환경 규제를 강화할 수 있으며, 긍정적 외부효과를 촉진하기 위해 다양한 인센티브를 제공할 수 있다. 예를 들어, 정부는 부정적 외부효과를 유발하는 행위에 대해 오염세와 같은 조세 정책을 도입하거나, 긍정적 외부효과를 유도하기 위해 보조금을 지급할 수 있다.

부동산 개발 과정에서는 이러한 외부효과를 종합적으로 고려해야 한다. 대규모 주거지 또는 상업 지구 개발 시, 개발자는 주변 지역사회에 미치는 영향을 분석하고, 부정적 외부효과를 최소화하거나 긍정적 외부효과를 극대화하는 전략을 수립할 필요가 있다. 이러한 접근은 부동산 개발이 사회 전체의 복지에 미치는 영향을 고려하는 데 있어 중요한 역할을 한다. 결론적으로 부동산 외부효과 이론은 부동산 시장에서 발생하는 다양한 상호작용과 그 결과를 이해하는 데 중요한 이론적 틀을 제공한다. 외부효과의 적절한 관리와 조정은 부동산 시장의 효율성을 증진시키고, 궁극적으로 사회 전체의 복지를 향상시키는 데 기여할 수 있다.

마지막으로 입지이론의 기본개념은 주택 가격은 위치에 따라 크게 달라지며, 도심 접근성, 교통망, 편의시설 접근성 등이 중요한 요인이 된다는 이론으로 입지 이론(Location Theory)의 창시자로는 주로 요한 하인리히 폰 튀넨(Johann Heinrich von Thünen)을 꼽는다. Thünen(1826)은 저서 「고립국」(Der Isolierte Staat)을 통해 농업 생산의 공간적 배치와 관련된 기본 개념을 제시하였다. 그의 이론은 농업 경제 활동이 시장의 중심에서부터 거리에 따라 어떻게 조직되는지를 설명한다.

기본 개념은 단일 중심 시장을 둘러싼 동심원 구조

를 통해 농업 활동이 배치된다고 설명합니다. 각 동심원은 특정 농업 활동에 최적화된 지역을 나타내며, 이는 시장으로부터의 거리와 운송비용에 따라 결정되고, 운송비용이 농업 생산의 공간적 배치에 중요한 영향을 미친다고 주장한다. 시장에 가까운 지역에서는 운송비용이 낮기 때문에 고가치, 부패가 쉬운 작물이 재배되고, 시장에서 멀어질수록 운송비용이 높아져 가축 사육과 같은 덜 부패하는 농업 활동이 배치된다. 시장에서 가장 가까운 지역은 낙농업, 채소 등 집약적 농업-임업-곡물 재배-가장 먼 곳은 방목 순으로 시장을 중심으로 각 동심원은 거리에 따라 다른 농업활동을 나타낸다. 튀넨의 고립국 모형은 이후 입지 이론의 발전에 중요한 기초를 제공했으며, 그의 이론은 경제 지리학, 도시 계획, 농업 경제학 등 다양한 분야에서 널리 활용되었는데 튀넨 이후 여러 학자들에 의해 확장되고 발전되었다.

그밖에 Weber(1909)는 공업 입지 이론을 통해 공업 생산이 최적의 입지를 선택하는 과정을 설명했다. 이는 운송 비용, 노동 비용, 집적 경제 등의 요인으로 고려한다. Christaller(1933)는 중심지 이론을 통해 서비스와 상업 활동이 중심지와 주변 지역 간에 어떻게 배치되는지를 설명하였다. 그의 이론은 중심지 계층 구조와 공간적 분포를 다룬다. Lösch(1954)는 경제 지역 분석을 통해 경제 활동의 공간적 분포를 보다 복잡하게 모델링했다. 그는 여러 중심지를 포함한 다양한 공간 구조를 분석하였다.

## 2.4 선행연구 검토

국내연구로, 임재만(2008)은 헤도닉모형과 위계선모형을 사용하여 범죄율이 높은 지역일수록 주택가격이 하락하는 경향을 보이고 특히 폭력 범죄가 주택 가격에 더 큰 부정적인 영향을 미친다고 확인하였다. 교육 수준이 높은 지역일수록 주택가격이 상승하는 경향을 보이고 좋은 학교와의 근접성이 주택가격을 상승시키는 중요한 요인으로 작용한다고

결론내렸다. 헤도닉 모형과 위계선모형 모두 지역적 특성과 개별 주택 특성을 동시에 고려하여 보다 정교한 분석을 가능하게 하며, 두 모형 모두 범죄율과 교육 수준이 주택 가격에 미치는 유의미한 영향을 확인했지만, 위계선모형이 보다 높은 설명력을 보인다고 분석하였다.

이중훈 외(2013)는 헤도닉가격모형을 사용하여 CCTV, 조도, 대로로부터의 이격 거리 변수는 주택의 내재가치에 영향을 주고 있으며, 예상된 부호(+)를 나타내었다. 그러나 도로위계 변수, 접도 폭 변수는 부(-)의 영향을 주고 있지만 통계적으로 유의하지 않았다고 결론내렸다. 장윤라(2015)는 헤도닉가격모형을 사용하여 재산범죄는 매매가격과 전세가격 모두에 정(+)의 유의한 영향을 미치고 범죄 발생률이 높을수록 주택 매매가격과 전세가격이 상승하는 경향을 보이며, 아파트 크기에 따른 영향에서는 대형 아파트는 소형 아파트보다 범죄에 대한 영향이 작게 나타나며 이는 대형 아파트 거주자들이 범죄 예방 및 보안에 더 많은 자원을 투입할 가능성이 높음을 시사한다고 분석하였다.

정명시(2019)는 헤도닉가격모형을 사용하여 5대 범죄율이 높을수록 주택가격에 부정적인 영향을 미치고 특히, 강도와 강간 범죄율이 주택가격 하락에 가장 큰 영향을 미치며, 사회적 약자 비율이 높은 지역은 주택가격이 낮게 형성되는 경향이 있고, 고령자 비율보다는 저소득층과 장애인 비율이 주택가격에 더 큰 영향을 미치며, 인구 밀도, 공공시설 접근성, 교통 인프라, 학군 등 통제 변수들도 주택가격에 유의미한 영향을 미치고 교통 인프라와 학군이 주택가격 상승에 긍정적인 영향을 미친다고 연구하였다. 또한 정책적 시사점으로 치안 강화 및 사회적 약자를 위한 지원 정책이 주거 안정에 필요하다고 제언하였다.

해외 연구로, Hellman and Naroff(1979)는 다중범죄율이 주택 가격에 미치는 영향을 추정하기 위해

다중 회귀 분석을 사용하였다. 이 연구에서 범죄율이 증가할수록 주택 가격이 하락하는 경향이 발견되었다. 이는 범죄가 주거 환경의 질을 저하시켜 주택 수요를 감소시키기 때문으로 해석되었다. 폭력 범죄와 재산 범죄 모두 주택 가격에 부정적인 영향을 미쳤으나, 폭력 범죄의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 폭력 범죄가 주민들에게 더 큰 심리적 불안을 초래하기 때문이다. 연구 결과로 범죄가 도시 주거용 부동산 가치에 중요한 영향을 미친다는 것을 실증적으로 보여준다. 특히, 폭력 범죄의 경우 주택 가격에 더욱 강한 부정적 영향을 미치며, 이는 정책 입안자들이 범죄율 감소를 위한 노력을 기울여야 할 필요성을 강조한다. 이 연구는 범죄 예방이 단순히 사회적 안정성뿐만 아니라 경제적 관점에서도 중요하다는 점을 강조하였다.

Rizzo(1979)는 범죄가 주거용 임대료와 부동산 가치에 미치는 영향을 회귀분석을 통하여 계량적으로 분석하였다. 연구결과, 범죄 발생률이 높은 지역에서는 주거용 임대료가 하락하는 경향이 발견되었다. 이는 범죄율 증가로 인한 거주자들의 안전 우려가 임대 수요 감소로 이어지기 때문이다. 특히 저소득층 지역에서 범죄의 영향이 더 크게 나타나, 이러한 지역의 임대료 하락폭이 상대적으로 더 컸다. 범죄율이 높은 지역은 부동산 가치에도 부정적인 영향을 미쳤다. 이는 주택 구매자들이 범죄율이 높은 지역을 기피함으로써 해당 지역의 부동산 수요가 감소하기 때문이다. 폭력 범죄는 재산 범죄보다 주택 가격에 더 큰 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 폭력 범죄가 지역 주민들의 안전 인식을 더욱 악화시키기 때문이다. 본 연구는 범죄 예방과 치안 강화가 주택 시장 안정화와 지역 경제 활성화에 중요하다는 점을 강조한다.

Dubin and Goodman(1982)은 교육과 범죄와 같은 지역 특성이 주택 가격에 미치는 영향을 헤도닉 가격 모형을 사용하여 분석하였다. 연구 결과, 교육

특성은 지역 내 학교 등급이 높을수록, 그리고 주민들의 평균 학력 수준이 높을수록 주택 가격이 상승하는 경향이 발견되었다. 이는 좋은 교육 환경이 주택 수요를 증가시키기 때문이다. 범죄 특성은 범죄율이 높은 지역에서는 주택 가격이 하락하는 경향이 있었다. 특히, 폭력 범죄율이 높을수록 주택 가격에 더 큰 부정적인 영향을 미쳤다. 재산 범죄율도 주택 가격에 부정적인 영향을 미쳤으나, 폭력 범죄율보다는 그 영향이 덜했다. 교육 환경의 개선이 주택 시장의 활성화에 기여할 수 있음을 시사한다. 범죄 예방 및 치안 강화 등 범죄율을 낮추기 위한 정책적 노력이 주택 가격을 안정시키고 지역 경제를 활성화하는데 중요한 역할을 할 수 있다고 주장하였다.

Ihlanfeldt and Mayock(2010)은 다양한 범죄 유형이 주택 가격에 미치는 영향을 패널데이터분석법을 이용하였다. 이 연구에서 폭력 범죄는 주택 가격에 상당한 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 폭력 범죄가 발생할 경우 지역 주민들의 안전에 대한 우려가 커지고, 결과적으로 해당 지역의 주택 수요가 감소하기 때문이다. 재산 범죄 역시 주택 가격에 부정적인 영향을 미치지만, 그 영향력은 폭력 범죄에 비해 상대적으로 적다. 재산 범죄는 주로 도난, 절도와 관련된 범죄로, 이러한 범죄 발생률이 높을수록 주택 가격이 하락하는 경향을 보인다. 본 연구의 결과는 범죄 예방 및 감소가 주택 시장 안정화와 지역 경제 활성화에 중요한 역할을 한다는 점을 시사한다. 특히 폭력 범죄를 줄이기 위한 정책적 노력이 강조된다. 주택 가격 하락을 방지하고 지역 사회의 안전을 강화하기 위해 범죄 예방 프로그램과 치안 강화가 필요하다고 주장한다.

Ceccato and Wilhelmsson(2016)은 범죄가 스톡홀름의 아파트 가격에 미치는 영향에 관하여 공간적자기회귀모형을 이용하여 범죄의 범죄율이 높은 지역일수록 아파트 가격이 낮다는 것을 발견했다. 특히, 폭력 범죄와 재산 범죄가 아파트 가격에 가장



큰 부정적 영향을 미치는 것으로 나타났고 범죄율이 높을수록 지역의 주거 매력도가 감소하여, 주택 구매자들이 해당 지역을 기피하는 경향이 나타났으며, 범죄 유형별 차이에서는 폭력 범죄율이 높은 지역에서는 아파트 가격이 크게 하락하는 경향이 나타났고 이는 주민들의 안전에 대한 우려가 크기 때문이라고 분석한다. 범죄 예방과 지역 안전 강화가 부동산 시장의 안정성과 성장에 중요하다는 점을 강조했고 지역 내 범죄율을 낮추기 위한 정책이 필요하며, 이는 부동산 시장에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있고 도시 계획 및 지역 개발 전략 수립 시 범죄율을 고려하여 안전한 주거 환경을 조성하는 것이 중요하다고 결론내렸다.

## 2.5 연구의 차별성

본 연구는 기존의 선행연구와 비교하여 다음과 같은 차별성이 있다.

첫째, 내용적인 면에서 범죄의 죄종(강력, 절도, 폭력)별로 분석하였고, 심리적인 요소인 경찰청 종합체감안전도를 변수로 추가하였다.

둘째, 공간적인 면에서 기존연구에서는 서울, 부산 등 일부 지역에 한정하여 분석하였으나 본 연구에서는 광역자치단체별로 분석하여 우리나라 전체 지역의 차이점을 분석하고자 한다.

셋째, 연구방법론과 시간적 범위에서 기존의 연구는 주로 횡단면적인 데이터를 활용한 헤도닉가격모형 등의 방법으로 주로 연구하였으나, 본 연구자는 패널데이터 분석을 이용하여 횡단면자료에 시계열적 자료를 추가하여 시간의 흐름에 따른 변화현상을 분석하고자 한다.

## 2.6 분석모형

패널자료는 분석기간이 시계열적 특성을 가지며 분석대상이 횡단면자료의 특성을 가진 자료로 시계

열자료와 횡단면자료가 결합된 형태의 자료이다. 패널자료에 대한 기본적인 모형은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{it} = \alpha + \beta X + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

패널 선형회귀모형에서 오차항  $\mu_i$ 를 고정효과로 볼 것인지 또는 확률효과로 볼 것인지에 따라 추정 방법이 달라지는데, 고정효과(Fixed Effects) 모형은 오차항  $\mu_i$ 를 확률변수가 아니라 추정해야 할 모수(Parameter)로 간주하고 확률효과(Random Effects) 모형은 오차항  $\mu_i$ 를 확률변수(Random Effects)로 가정한다.

이에 본 연구에서는 하우스만 검정(Hausman test)을 이용해 고정효과와 확률효과모형을 비교분석하여 선택하였다.

## 3. 실증분석

### 3.1 기술 통계분석

강력, 절도, 폭력범죄 변수들의 기술통계 분석결과는 Table 1과 같으며 인구1만 명당 강력범죄 발생 건수의 평균은 4.84, 절도범죄의 평균은 41.32, 폭력범죄의 평균은 54.73로 나타났다. 종합체감 안전도의 기술통계 분석결과는 Table 2와 같으며, 종합체감 안전도의 평균은 72.12로 나타났다. 주택매매가격지수의 기술통계 분석결과는 Table 3과 같으며, 주택매매가격지수의 평균은 92.10로 나타났다.

### 3.2 패널모형 분석 결과

#### 3.2.1 강력, 절도, 폭력범죄에 따른 주택매매가격지수 모형

17개 특별·광역·도의 주택매매가격지수를 종속 변수로 강력, 절도, 폭력범죄 3개의 범죄 관련 변수



**Table 1.** Descriptive Statistics on Violent, Theft, and Assault Crimes

Division	N	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Violent Crime	170	2.00	8.40	4.84	1.004
Theft Crime	170	24.62	98.13	41.32	12.520
Assault Crime	170	23.31	94.75	54.73	10.945

**Table 2.** Descriptive Statistics on Perceived Safety

Division	N	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Overall Perceived Safety data	170	63.34	82.21	72.17	4.617

Note: The National Police Agency's Overall Perceived Safety data for the first and second half of the year was converted into an annual average for processing

**Table 3.** Descriptive Statistics of the Housing Purchase Price Index

Division	N	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
Housing Sales Price Index	170	65.95	105.99	92.10	9.63

Note: The monthly time series data from the Korea Real Estate Board was converted into an annual average for processing)

를 독립변수로 하여 Pooled 모형, Fixed Group 모형, Random Group 모형, Two-way Random 모형 분석을 하였으며, 분석결과는 Table 4와 같다.

먼저 모형별 유의한 독립 변수를 살펴보면 Pooled 모형에서는  $\log(\text{인구 1만 명당 강력범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 폭력범죄})$ 가 유의수준 0.05에서 유의하게 나타났고 Fixed Group 모형에서는  $\log(\text{인구 1만 명당 강력범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 폭력범죄})$ 가 유의수준 0.01에서 유의하게 나타났다.

Random Group 모형에서는  $\log(\text{인구 1만 명당 강력범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 폭력범죄})$ 가 유의수준 0.01에서 유의하게 나타났으며, Two-Way Random 모형에서는  $\log(\text{인구 1만 명당 강력범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$

가 유의수준 0.01에서 유의하게 나타났으며, 추정된 모형의 결정계수를 비교해 보았을 때 Fixed Group 모형의  $R^2$ 이 0.7211로 가장 높았고, 그 다음으로 Random Group 0.3779, Pooled 0.1502, Two-Way Random 모형의  $R^2$ 값이 0.0916로 가장 낮았다.

Fixed Group에서 F 검정의 귀무가설은  $H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$ 으로 고정효과의 유무(개체효과 존재한다)에 대한 검정을 한다. F 통계량 값은 19.19( $p < 0.0001$ )로 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하므로 모형에서 개체효과가 존재함을 알 수 있다.

Random Group의 경우 Hausman 검정을 통해 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 모형이 더 적절한 한가에 대한 판단을 내릴 수 있으며, 귀무가설은 '개체효과와 설명변수 간에 상관관계가 없다'이며, 귀무가설을 기각하지 못하면 확률효과모형, 기각하면

**Table 4.** Crime Panel Model

Division	Pooled	Fixed Group	Random Group	Two-Way Random
Intercept	5.520*** (29.33)	6.010*** (36.18)	5.838*** (38.88)	5.153*** (26.54)
log (Violent Crimes per 10,000 People)	<b>0.125**</b> <b>(2.09)</b>	<b>0.220***</b> <b>(3.94)</b>	<b>0.212***</b> <b>(3.94)</b>	<b>0.160***</b> <b>(3.02)</b>
log (Theft Crimes per 10,000 People)	<b>-0.079**</b> <b>(-2.28)</b>	<b>-0.155***</b> <b>(-6.01)</b>	<b>-0.150***</b> <b>(-5.92)</b>	<b>-0.142***</b> <b>(-3.21)</b>
log (Assault Crimes per 10,000 People)	<b>-0.227***</b> <b>(-3.9)</b>	<b>-0.279***</b> <b>(-5.46)</b>	<b>-0.276***</b> <b>(-5.54)</b>	-0.091 (-1.59)
R <sup>2</sup>	0.1502	0.7211	0.3779	0.0916
MSE	0.0106	0.0039	0.00308	0.0027
F-statistic		19.19 (p<.0001)		
Hausman Test			2.48 (p=0.4798)	
Breusch-Pagan (One-way) (A)			280.15 (p<.0001)	280.15 (p<.0001)
Breusch-Pagan (Two-way) (B)				285.31 (p<.0001)
B-A				5.16 (p<.0231)

Note: \*p<0.1, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

고정효과모형을 선택한다. Hausman 검정결과 p값이 0.4798로 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하지 못으로 확률효과모형이 더 좋은 모형이라고 판단할 수 있다.

Breusch-Pagan(One-way)검정은 Random Group 모형일 때 수행하고 귀무가설은  $H_0 : \sigma_\alpha^2 = 0$ 이고 BP 검정통계량은 자유도가 1인 카이제곱분포를 따른다. 검정결과 통계량이 280.15(p<0.0001)로서 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하므로 개체효과가 존재함을 알 수 있다.

Breusch-Pagan(Two-way)검정은 개체효과와 시간효과가 동시에 존재하는지를 검정하며 귀무가설은  $H_0 : \sigma_\alpha^2 = \sigma_\gamma^2 = 0$ 이고, BP 검정통계량은 자유도가 2인 카이제곱분포를 따른다. 검정결과 285.31(p<0.0001)로서 유의수준 0.01하에서 귀무가설을

기각하므로 개체효과가 존재함을 알 수 있으며, 시간효과의 분산요소인  $\sigma_\gamma^2$ 이 0인지에 대한 판단은 BP1과 BP2의 검정통계량간의 차이를 이용해서 알 수 있으며, BP2-BP1의 값은 5.16이고, 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르며, 이때 p값은 0.0231이다. BP1과 BP2 검정을 종합하면 개체효과는 존재하고 시간의 효과도 존재한다는 것을 알 수 있다.

최종 적합한 모형은 Random Group 모형으로, 정리해 보면 식 (3)과 같고 광역자치단체별 지역에 대한 효과는 존재하지 않는다.

$$\begin{aligned}
 & \log(\text{주택가격매매지수}) \\
 &= 5.838^{***} + 0.212 \times \log(\text{인구 1명당 강력범죄}) \\
 &\quad - 0.150 \times \log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})^{***} - \\
 &\quad 0.276 \times \log(\text{인구 1만 명당 폭력범죄})^{***} \quad (3)
 \end{aligned}$$

## 3.2.2 종합체감안전도에 따른 주택매매가격지수 모형

17개 특별·광역시·도의 주택매매가격지수를 종속 변수로 종합체감 안전도를 독립변수로 하여 Pooled 모형, Fixed Group 모형, Random Group 모형, Two-way Random 모형 분석을 하였으며, 분석결과는 Table 5와 같다. 먼저 모형별 유의한 독립 변수를 살펴보면 Pooled 모형, Fixed Group 모형, Random Group 모형, Two-Way Random 모형에서 log(종합체감만족도)가 유의수준 0.01에서 유의하게 나타났다. 추정된 모형의 결정계수를 비교해 보았을 때 Fixed Group 모형의  $R^2$ 이 0.7301로 가장 높았고, 그다음으로 Random Group 0.4106, Pooled 0.3321, Two-Way Random 모형의  $R^2$ 값이 0.1252로 가장 낮았다. Fixed Group에서 F 검정의 귀무가설은  $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = 0$ 으로 고정효과와 유무(개체효과가 존재한다)에 대한 검정을 한다. F 통계량 값은 14.01( $p < 0.0001$ )로 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하므로 모형에서 개체효과가 존재함을 알

수 있다.

Random Group의 경우 Hausman 검정을 통해 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 모형이 더 적절한가에 대한 판단을 내릴 수 있으며, 귀무가설은 ‘개체효과와 설명변수 간에 상관관계가 없다’이며, 귀무가설을 기각하지 못하면 확률효과모형, 기각하면 고정효과모형을 선택한다. Hausman 검정결과  $p$ 값이 0.1164로 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하지 못으로 확률효과모형이 더 좋은 모형이라고 판단할 수 있다.

Breusch-Pagan(One-way)검정은 Random Group 모형일 때 수행하고 귀무가설은  $H_0 : \sigma_\alpha^2 = 0$ 이고 BP 검정통계량은 자유도가 1인 카이제곱분포를 따른다. 검정결과통계량이 222.14( $p < 0.0001$ )로서 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하므로 개체효과가 존재함을 알 수 있다.

Breusch-Pagan(Two-way)검정은 개체효과와 시간효과가 동시에 존재하는지를 검정하며 귀무가설

Table 5. Overall Perceived Safety Panel Model

Division	Pooled	Fixed Group	Random Group	Two-Way Random
Intercept	0.258 (0.55)	1.005*** (2.97)	0.885*** (2.63)	1.149* (1.67)
log (Overall Perceived Safety data )	<b>0.996***</b> <b>(9.14)</b>	<b>0.836***</b> <b>(10.59)</b>	<b>0.849***</b> <b>(10.82)</b>	<b>0.788***</b> <b>(4.9)</b>
$R^2$	0.3321	0.7301	0.4106	0.1252
MSE	0.0082	0.0037	0.0037	0.0028
F-statistic	14.01 ( $p < 0.0001$ )			
Housman Test	2.46 ( $p = 0.1164$ )			
Breusch-Pagan (One-way) (A)			222.14 ( $p < 0.0001$ )	222.14 ( $p < 0.0001$ )
Breusch-Pagan (Two-way) (B)			228.05 ( $p < 0.0001$ )	
B-A			5.91 ( $p = 0.0151$ )	

Note: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$

은  $H_0 : \sigma_\alpha^2 = \sigma_\gamma^2 = 0$ 이고, BP 검정통계량은 자유도가 2인 카이제곱분포를 따른다. 검정결과 228.05 ( $p < 0.0001$ )로서 유의수준 0.01하에서 귀무가설을 기각하므로 개체효과가 존재함을 알 수 있으며, 시간효과의 분산요소인  $\sigma_\gamma^2$  이 0인지에 대한 판단은 BP1과 BP2의 검정통계량 간의 차이를 이용해서 알아볼 수 있으며, BP2-BP1의 값은 0.79이고, 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르며, 이때 p값은 0.37417이다. BP1과 BP2 검정을 종합하면 개체효과는 존재하지만 시간의 효과는 존재하지 않는 것을 알 수 있다.

최종 적합한 모형은 Random Group 모형으로, 정리해 보면 식 (4)와 같고 광역자치단체별 지역에 대한 효과는 존재하지 않는다.

$$\begin{aligned} & \log(\text{주택가격매매지수}) \\ & = 0.856^{***} + 0.849 \times \log(\text{종합체감안전도})^{***} \quad (4) \end{aligned}$$

### 3.3 소결

#### 3.3.1 범죄에 따른 주택매매가격지수 모형의 분석결과

강력범죄, 절도범죄, 폭력범죄가 주택매매지수에 영향을 미치는지 분석하였다. Hausman 검정결과 Random Group 모형이 적합한 모형으로 나타났으며, Random Group 모형에서  $\log(\text{인구 1만 명당 강력범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 폭력범죄})$  모든 변수가 유의수준 0.01에서 유의하게 나타났으며, Two-Way Random 모형에서는  $\log(\text{인구 1만 명당 강력범죄})$ ,  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$ 가 유의수준 0.05에서 유의하게 나타났으며, Breusch-Pagan(Two-way) 검정결과 개체효과 및 시간의 효과도 존재하는 것으로 나타났다.

Random Group 모형에 의하면 인구 1만 명당 강력범죄가 1% 증가할 때 주택가격매매지수는 0.212%만큼 증가한다.  $\log(\text{인구 1만 명당 절도범죄})$ 가 1%

증가할 때 주택가격매매지수는 0.150%만큼 감소한다.  $\log(\text{인구 1만 명당 폭력범죄})$ 가 1% 증가할 때 주택가격매매지수는 0.276%만큼 감소한다.

강력 범죄의 증가가 주택가격에 긍정적인 영향을 미친다는 것은 다소 예상외의 결과이다. 이는 강력범죄는 절도나 폭력사건에 비하여 발생 빈도가 낮아 주민들이 위험을 인식하지 못하거나 체감하지 않는 경우일 가능성이 높다. 강력 사건은 통상적으로 빈도가 낮고, 주거지 내에서 특정한 사건들이 집중적으로 발생하지 않는 한 주민들에게 일상적인 위협으로 인식되지 않을 수 있다. 이와 같은 인지 부족은 주택 수요에 큰 영향을 주지 않기 때문에 주택가격에 미치는 부정적 효과가 제한적일 수 있다.

또한 다른 측면에서 강력범죄 발생 이후 해당 지역에 대한 치안 강화 및 경찰활동의 증가로 주민들이 느끼는 안정감은 높아질 수 있고, 또한 강력 범죄가 많이 발생하는 지역은 정부나 지방자치단체에서 재개발 대상 지역으로 지정되는 경우가 많다. 도로, 공원, 학교 등 지역 인프라가 개선되고 이는 곧 해당 지역의 생활 편의성을 높이고, 주택가격을 상승시키는 요인이 될 수 있다. 그리고 강력범죄 발생 후 초기에는 주택가격이 일시적으로 하락할 수 있지만, 이를 기회로 삼아 저평가된 주택을 구입하려는 투자자들이 있을 수 있다.

절도 범죄가 주택가격매매지수를 감소시키는 이유는 우리가 보편적으로 인식하고 있는 결론이다. 절도 범죄는 주거지의 안전성과 직결된다. 절도 범죄가 증가하면 거주자들은 생활환경이 악화되었다고 느끼며, 이로 인해 주택의 매매가치가 하락할 수 있다. 또한 절도범죄가 증가하면 해당 지역에 대한 사회적 불안이 증가하여, 주택 수요가 줄어들고 결국 주택가격이 하락할 수 있다.

폭력 범죄도 절도 범죄와 마찬가지로 주택가격에 부정적인 영향을 미치는데 절도범죄보다 미치는 영향이 크다는 결론이다. 폭력 범죄는 주민들의 안전

과 직접적으로 연관되어 있다. 폭력 범죄가 증가하면 주민들은 거주지의 안정성이 크게 저하되었다고 느끼며, 타 지역으로 이주하려는 주민들이 증가할 수 있다. 이로 인해 주택 수요가 감소하고, 주택가격이 하락하게 된다. 또한 폭력 범죄는 해당 지역의 이미지를 크게 손상시킬 수 있다. 이는 외부 투자자들이나 새로운 거주자들이 해당 지역에 대한 투자를 꺼리게 만들며, 주택가격 하락을 초래할 수 있다.

### 3.3.2 종합체감안전도에 따른 주택매매가격지수 모형의 분석결과

종합체감안전도가 주택매매가격지수에 영향을 미치는지 분석하였다.

먼저 모형의 유의한 독립 변수를 살펴보면 Pooled 모형, Fixed Group 모형, Random Group 모형, Two-Way Random 모형에서  $\log(\text{종합체감안전도})$ 가 유의수준 0.01에서 유의하게 나타났다. Hausman 검정결과에 따르면, Random Group 모형이 적합한 모형으로 나타났으며, Breusch-Pagan (Two-way) 검정결과에 의하면, 개체효과는 있으나 시간의 효과는 없는 것으로 나타났다. Random Group 모형에 의하면  $\log(\text{종합체감안전도})$ 가 1% 증가할 때 주택가격매매지수가 0.849% 만큼 증가하는 것으로 나타났다.

이는 종합체감안전도가 높아질수록 주택가격매매지수가 상승한다는 결과를 보여준다. 안전한 지역은 거주자들에게 매우 중요한 요소로, 사람들이 자신의 거주 지역을 안전하다고 느낄수록 그 지역에 머물려는 경향이 강해지고 새로운 거주자들도 이사하려는 경향이 있다. 이러한 수요 증가는 주택가격 상승으로 이어질 수 있다.

종합체감안전도가 높다는 것은 해당 지역의 범죄율이 낮다는 것을 의미하며, 이는 주거지의 안정성을 높이고 주거 환경을 개선한다. 낮은 범죄율 지역은 살기 좋은 지역으로 인식되어 주택 구매자들에게

매력적으로 다가온다. 또한, 안전한 지역은 일반적으로 교육 및 공공 서비스의 질이 높다. 좋은 학교와 양질의 공공 서비스는 가족 단위의 주택 구매자들에게 중요한 요소로 작용하며, 이는 주택 수요를 증가시키고 주택 가격을 상승시키는 요인이 된다. 이러한 요인들이 결합되어 주택 수요가 증가하고, 주택가격이 상승하는 결과를 초래한다.

## 4. 결 론

본 연구는 범죄와 체감안전도가 주택가격에 미치는 영향을 분석하기 위해 패널자료 분석모형을 사용하였으며, 시간적 범위는 2013년부터 2022년까지, 공간적 범위는 대한민국의 17개 광역 시·도를 대상으로 하였다. 종속변수로는 한국부동산원이 제공하는 주택매매가격지수(종합유형)를 사용하였고, 독립변수로는 인구 1만 명당 강력범죄, 절도범죄, 폭력범죄 발생 건수를, 심리적 변수로는 경찰청이 발표한 종합체감안전도 점수를 추가하였다.

최종적으로 범죄 패널모형의 적합한 모형은 Random Group 모형으로 선정되었다. 분석 결과, 주택가격지수에 대해 강력범죄는 양(+)의 유의한 영향을 미치는 반면, 절도범죄와 폭력범죄는 음(-)의 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 절도범죄(0.150)보다 폭력범죄(0.276)가 주택가격에 더 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 체감안전도 모형에서도 최종 적합한 모형은 Random Group 모형으로 선정되었으며, 체감안전도가 주택가격지수에 양(+)의 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 절도 및 폭력범죄가 많은 지역일수록 주택가격이 하락하고, 주민들의 체감안전도가 낮을수록 주택가격이 낮아진다는 것을 의미한다.

강력범죄는 발생 빈도가 낮고 사건의 심각성은 크지만, 대부분의 사람들이 일상적으로 경험하는 범죄 유형은 아니다. 따라서 강력범죄는 발생 시 큰 주

목을 받을 수는 있지만, 그 영향이 주택시장 전체에 즉각적이고 지속적으로 영향을 미치기는 어려울 수 있다. 반면, 절도와 폭력 범죄는 발생 빈도가 상대적으로 높아 주민들이 일상적으로 접할 가능성이 높고, 이는 생활환경의 안전성에 대한 주민들의 인식에 큰 영향을 미친다. 특히 절도나 폭력 범죄가 빈번하게 발생하는 지역에서는 지속적인 불안감과 지역에 대한 부정적 이미지가 형성되며, 이는 주택 구매 수요와 주택 가격에 더 큰 영향을 미칠 가능성이 높다.

결론적으로, 범죄는 주택 가격에 중요한 영향을 미치며, 지역사회의 안전 수준을 높이는 범죄 예방 활동이 주택 시장에 긍정적인 효과가 있을 수 있음을 시사한다. 따라서 정부와 지방자치단체가 안전 관련 정책을 수립할 때, 이러한 정책이 주택 시장에 미칠 경제적 영향을 함께 고려할 필요가 있다. 이는 주택 소비자와 투자자에게도 지역의 안전 수준이 중요한 선택 기준으로 작용할 것임을 보여준다.

다만, 본 연구는 2013년부터 2022년까지 10년간의 자료를 바탕으로 분석을 수행하였기에, 이 기간 동안의 거시경제 지표와 지역 특성 등 다양한 환경적 요인 변화를 주택가격에 미치는 영향으로 충분히 반영하지 못했다는 한계가 있다. 예를 들어, 경제성장률, 실업률, 금리와 같은 경제적 변수들은 주택 시장의 변동에 중요한 역할을 할 수 있으며, 이러한 변수들을 제외한 상태에서 범죄율과 주택가격 간의 상관관계를 분석한 결과는 해석에 일정한 제한을 가질 수 있다. 또한, 본 연구는 강력범죄, 절도, 폭력범죄에 초점을 맞추었으나, 기타 지능범죄, 풍속범죄, 교통범죄 등 다양한 범죄 유형을 포함하지 않았다. 다양한 범죄와 주택가격 간의 상관관계를 완전하게 이해하는 데 한계를 가진다. 향후 연구에서는 이러한 한계점을 보완하여 연구의 범위와 깊이를 확장할 필요가 있다.

## 참고문헌

1. 이종훈·유승규·김주형·김재준(2013), “주거지역 범죄유발환경요인이 주택의 내재가치에 미치는 영향 분석”, 『대한건축학회 논문집』, 29(10): 57~64.
2. 임재만(2008), “범죄율과 교육요인이 주택가격에 미치는 영향에 헤도닉모형과 위계선형모형 비교”, 『주택연구』, 16(3): 47~64.
3. 장윤라(2015), “범죄가 주택가격에 미치는 영향에 관한 연구”, 석사학위 논문, 건국대학교
4. 정명시(2019), “사회적 약자 및 5대 범죄율이 주택가격에 미치는 영향 분석: 부산광역시 사례를 중심으로”, 박사학위 논문, 영산대학교
5. Ceccato, V. and M. Wilhelmsson (2016), “The Impact of Crime on Apartment Prices: Evidence from Stockholm, Sweden”, *Urban Studies*, 54(1): 81~103.
6. Christaller, W. (1933). *Central places in Southern Germany*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
7. Dubin, R. A. and A. C. Goodman (1982), “Valuation of Education and Crime Neighborhood Characteristics through Hedonic Housing Prices”, *Population and Environment*, 5: 166~181.
8. Hellman, D. A. and J. L. Naroff (1979), “The Impact of Crime on Urban Residential Property Values”, *Urban Studies*, 16(1): 105~112.
9. Ihlanfeldt, K. and T. Mayock (2010) “Panel data estimates of the effects of different types of crime on housing prices”, *Regional Science and Urban Economics*, 40(2-3): 161~172.
10. Lösch, A. (1954). *The Economics of Location*, New Haven: Yale University Press.
11. Lynch, M. J., P. B. Stretesky and M. A. Long (2015), “What Is Crime?”, In: *Defining Crime*, New York: Palgrave Macmillan.
12. Raue, M., B. Streicher and E. Lerner (eds) (2019), *Perceived Safety: A Multidisciplinary Perspective*, Cham: Springer.
13. Rizzo, M. J. (1979), “The Effect of Crime on Residential Rents and Property Values”, *American Economics*, 23: 16~21.
14. Rosen, S. (1974), “Hedonic Prices and Implicit



- Markets: Product Differentiation in Pure Competition", *Journal of Political Economy*, 82(1): 34~55.
15. Siegel, L. J. (2018), *Criminology: Theories, Patterns, and Typologies*, Boston: Cengage Learning.
16. Thünen, J. H. von (1826), *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, Hamburg: Perthes.
17. Weber, A. (1909), *Theory of the Location of Industries*, Chicago: University of Chicago Press.

## 요약

본 연구는 패널 데이터 분석 모형을 활용하여 범죄와 체감 안전도가 주택 가격에 미치는 영향을 분석하였다. 연구의 시간적 범위는 2013년부터 2022년까지이며, 공간적 범위는 대한민국의 17개 광역시·도를 비교 대상으로 설정하였다. 종속 변수는 주택가격지수이며, 독립 변수로는 범죄를 강력범죄, 절도범죄, 폭행범죄로 구분하고, 심리적 변수로 체감안전도를 추가하였다. 분석 결과, 범죄 유형 중 폭력범죄는 주택가격지수에 유의미한 양(+)의 영향을 미치는 반면, 절도범죄와 폭행범죄는 음(-)의 유의미한 영향을 미쳤으며, 폭행범죄가 절도범죄보다 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 체감안전도 역시 유의미한 양(+)의 값을 보였다. 이는 절도 및 폭행범죄가 많은 지역일수록 주택가격이 낮아지고, 주민들의 체감안전도가 낮을수록 주택가격이 더욱 낮아지는 경향이 있음을 의미한다. 본 연구의 결과는 정부 및 지방자치단체가 지역 안전 및 부동산 정책을 수립하는 데 유용한 정보를 제공할 수 있다.

**주제어:** 범죄율, 체감안전도, 주택가격, 패널모형



## 재실자 및 학습 활동에 따른 국내 교육시설의 재실 음향실태 조사\*

## Investigation on the Acoustic Conditions of Active Classrooms in Accordance with the Students and Classroom Activities

최영지\*\*

Young-Ji Choi\*\*

## Abstract

The present study investigates the acoustic conditions of active classrooms based on the speech and noise levels. The speech and noise levels were measured in 29 classrooms during 57 actual classes in Korean schools. The effects of occupants and classroom activities on the speech and noise levels in occupied classrooms were examined. The present results indicate a general trend of decreasing noise levels by 6 to 12 dBA with increasing age of the students. Additionally, the noise levels in the classrooms were found to be closely related to the type of classroom activities. The results indicate that the acoustic standards should recommend reducing the unoccupied noise levels in order to minimize noise levels in active classrooms.

**Keywords:** Acoustic Conditions, Active Classrooms, Speech Levels, Noise Levels, Speech-to-Noise Ratios

## 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

교육시설의 음향설계에서 중요한 음향지표는 실내 배경소음, 잔향시간, 그리고 실간 차음성능으로 구분하며 공실 상태의 기준을 바탕으로 한다(ANSI/ASA, 2010; Department for Education, 2015). 공실의 음향 상태가 실제 학습 현장의 적절한 음성 명료도 조성에 중요하지만 재실 음향은 재실자 및 학습 활동에 의해 음향 상태가 상이하다(Bradley, 1986; Hodgson, 1999; Hodgson et al., 1999; Shield and Dockrell, 2004; Sato and Bradley, 2008; Shield et al., 2015; Pugh et al., 2015; Choi, 2016; Sala and Ranralla, 2016; Choi, 2020). 여러 국내외 교실 및 강

의실에서 수업 현장 측정을 바탕으로 한 연구 결과로 유추해볼 때(Table 1 참조) 공식과 만석 시 학습 현장의 음향 상태는 공간별로 상이하며, 특히 재실자 및 학습 활동에 의한 배경소음 증가로 인한 SNR 감소가 높은 음성 명료도 성취에 중요한 변수로 밝혀졌다. 따라서, 국내 교육시설에서의 높은 학습 성취를 위해서 공실의 음향지표를 바탕으로 실제 학습 현장(Active Classrooms)에 영향을 미치는 중요한 인자(재실자 및 학습 활동)를 반영한 재실 음향 상태(Occupied Conditions) 결과를 반영한 음향 기준과 설계가 요구된다.

Table 1에 따르면 재실자 및 학습 활동의 영향으로 재실 음향 상태가 상이하며 특히 실제 수업 현장에서의 소음 레벨은 권장기준인 35dBA를 대부분 초

\*본 연구는 한국연구재단 중견 연구지원사업의 지원을 받아 진행되었음(2021R1A2C1004449)

\*\*강원대학교 건축공학전공 교수(youngjichoi@kangwon.ac.kr)

**Table 1.** Summary of Previous Acoustic Survey on the Occupied and Noise Data in Active Classrooms

Previous Study / School	Results
Bradley (1986) / Elementary	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Background noise levels 38~45 dBA in 10 quietly occupied classrooms</li> </ul>
Hodgson (1999) / University	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean background noise levels 30~50 dBA in 30 unoccupied classrooms</li> <li>• Predicted noise levels 47~64.4 dBA in classrooms with 50% occupancy</li> </ul>
Hodgson et al. (1999) / University	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean speech and noise levels are 50.8 dBA (s.d.=3.9) and 44.4 dBA (s.d.=3.5), respectively, in 11 occupied classrooms during 18 lectures</li> </ul>
Shield and Dockrell (2004) / Elementary	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean lesson noise levels 65 dBA LAeq for typical classroom activity</li> <li>• Background noise level closely related to the classroom activity</li> </ul>
Sato and Bradley (2008) / Elementary	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean speech and noise levels are 60.1 dBA (s.d.=4.4) and 49.1 dBA (s.d.=4.3) in 30 active classrooms</li> </ul>
Shield et al. (2015) / High School	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean background noise levels and RTs are 33.6 dBA, and 0.64 s in 185 unoccupied classrooms in 13 high schools</li> <li>• Mean active noise levels and unoccupied levels are 64 dBA, and 35 dBA</li> </ul>
Puglish et al. (2015) / High School	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean background noise levels 46.5 ~52.1 dBA in 6 active classrooms</li> </ul>
Choi (2016) / University	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean room RT is 0.96 s and 0.67 s for unoccupied and occupied 12 classrooms</li> <li>• Mean background noise level, and STI value is 41.2 dBA and 0.63 in quietly occupied classrooms</li> </ul>
Sala and Ranrala (2016) / Elementary	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean activity noise levels 69 dBA LAeq and 42 dBA LA90 in 29 active classrooms</li> </ul>
Choi (2020) / University	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mean room RT is 0.64 s in occupied 12 university classrooms</li> <li>• Mean background noise level, and STI value is 43.8 dBA and 0.55 in active classrooms</li> </ul>

과함을 알 수 있다. 따라서, 국내·외 재실 음향 상태 측정 결과에서 소음 레벨은 적정  $SNR \geq 15\text{dBA}$  기준을 대부분 만족하지 못함을 알 수 있다. 국내 대학 강의실 음향실태조사에서 재실자에 의한 흡음으로 잔향시간이 줄어들고, 수업 활동에 의한 배경소음이 증가하여 음성 명료도 지표 값에 영향을 미침을 알 수 있다(Choi, 2016; Choi, 2020). 국내·외 교실 및 강의실의 재실 음향 상태 측정 결과, 수업 중 평균 음성 대 소음비(Speech to Noise Ratio, SNR)는 각각 7.9dBA와 11dBA로 명확한 언어 전달을 위한 적절한 음성 및 소음 레벨의 조성이 절실히 요구된다. 영국의 고등학교 수업 현장 음향실태조사에서는 재실자 유무에 따른 교실 내 평균 배경 소음 레벨은 각

각 35dBA와 64dBA로 약 30dBA 차이를 보였고, 공실의 배경소음과 잔향시간이 재실 시 소음 레벨을 최소화하는데 중요한 지표라고 보고하였다(Shield et al., 2015). 교육시설의 음향 기준으로 인해 학습 공간의 실내 음향 상태가 약 2배 개선되었다고 보고하였다. 이 같은 연구 결과는 국내 교육시설의 음향 기준 부재가 학생들의 학습 성취도에 충분히 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. Fig. 1에 교실의 공실 음향 상태가 재실자 및 학습 활동에 의해 재실 음향 상태에 미치는 영향을 요약하여 정리하였다.

국내 초·중·고 교실의 공실 음향 상태 측정 결과에 따르면 일부 공간의 잔향시간  $\leq 0.6\text{s}$ 을 만족하고, 공조기 미가동 시 배경 소음  $\leq 37\text{dBA}$ 를 만족하였다

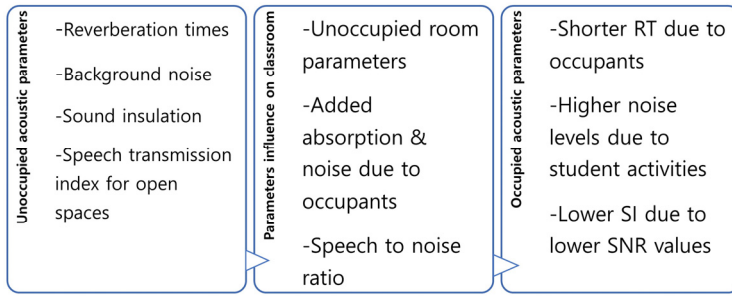


Fig. 1. Effects of Occupants and Classroom Activities on the Acoustical Conditions in Active Classrooms

(박찬재 외, 2014; 이성복 외, 2015). 실간 벽체의 차음성능 측정 결과  $STC \geq 50$ 를 만족하지 않으며, 국내 교육시설의 바닥 차음성능은 측정 결과가 전무하였다(류다정 외, 2017). 국내 교육시설의 음향 기준 부재로 인하여 상기에 기술한 측정 결과는 미국 기준(ANSI/ASA, 2010)과 비교하여 만족 여부를 판단한 것이다. 국내 초·중·고 교실의 측정 결과는 공실 음향 상태 측정을 바탕으로 재실 음향 상태에 관한 결과가 부족하다(Choi, 2023). 따라서, 국내 교육시설의 재실 음향 실태 조사가 선행되어 그 결과를 바탕으로 한 음향 기준이 제시되어야 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국내 초·중·고 및 대학교 학습공간의 재실 음향 상태를 조사하기 위해 수업 중인 교실 14개소 및 강의실 15개소 현장을 측정하였다. 총 57곳 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 재실자 및 학습 활동유형에 따른 재실 음향 상태를 조사하였다. 국내 교실 및 강의실의 높은 음성 명료도 성취를 위한 재실 음향 조건을 현장 측정 결과를 바탕으로 분석하였다.

## 2. 수업 현장의 재실 음향 상태 측정

Table 2에 국내 초·중·고 및 대학교 29개 교실의 57곳 수업 현장에서의 음성 및 소음측정에 대한 제

원을 나타냈다. 학습 연령별로 대상 공간을 구분하여 2017년~2023년에 걸쳐 측정을 실시하였다. 국외 교실 음향성능 기준(ANSI/ASA, 2010; Department for Education, 2015)은 체적 혹은 학습 활동별로 구분하여 제시하므로 대상 공간의 선정기준에 체적  $283m^3$  이하, 이론 학습이 추가 되는 공간을 적용하였다. 따라서, Table 1에 요약된 비슷한 제원의 국외 교실 및 강의실에서의 수업 현장 측정결과와 비교가 가능하다. 초·중·고 및 특수학교의 교실 14곳의 평균 체적은  $122 \sim 169m^3$ 로 특수학교 교실의 체적이 가장 작았다. 이는 학급당 학생 수에 따른 영향으로 일반 학교 3곳의 교사를 포함한 평균 재실자 수는 27명( $s.d.=3.2$ 명)인 반면 특수학교는 5명으로( $s.d.=1.5$ 명) 약 5배 정도로 평균 재실자수의 차이에 의한 영향이다. 대학교 강의실 30곳의 평균 체적은  $247 \sim 257m^3$ 로 평균 재실자 수는  $22 \sim 41$ 명으로 착석률은 약 50~65%이다. 대학 강의 현장은 2017년과 2022년 팬데믹 전·후 각각 측정을 실시하여 착석률 50%는 팬데믹 시기의 좌석 간 거리두기에 따른 영향이다.

교실 및 강의실 내 실제 수업 현장의 모니터링에서 학습 활동은 크게 수업(Plenary), 그룹학습(Group Work), 개별학습(Individual Work), 그리고 시청각 자료를 활용한 학습(Watching Video)으로 구분되며, 때에 따라 단독 수업 혹은 활동을 병행하여 진행되었다. 수업은 교사가 수업 전반에 주도적으로 학

**Table 2.** Data on Speech and Noise Level Measurements in Korean Schools

Age	8~10	12~15	21~27	20~25
School	Elementary Special	Junior high High Special	University	University
No. of Classrooms	4	10	3	12
No. of Classes	6	21	15	15
Room Volume, m <sup>3</sup>	169 (s.d.=22.5) 122 (-)*	165 (s.d.=2.3) 145 (s.d.=2.3)*	247 (s.d.=54)	257 (s.d.=58)
No. of Occupants (Including Talker)	23 (s.d.=2.0) 5 (-)*	28.8 (s.d.=1.6) 5.3 (s.d.=1.5)*	22 (s.d.=4)	41 (s.d.=12)
Occupancy, %	100	100	50	65
Classroom Activities	4 plenary 1 plenary+ group work 1 plenary+ watching video	17 plenary 1 plenary+ group work 1 plenary+ watching video 2 individual work	15 plenary	15 plenary
Time / Class	40 min	40~50 min	50 min	50 min
Mask on Talker	4 (67%)	8 (38%)	15 (100%)	0 (0%)
Measurement Periods	March-April, 2023	March-April, 2023	March-April, 2022	March-April, 2017

Note: \* for special school

습지도를 하며 학생은 교사의 지도에 따라 질문에 대답하거나 큰소리로 따라 읽는다. 개별학습은 학생이 주도적으로 책이나 주어진 정보를 활용하여 독서 혹은 조용하게 자습하거나 시험을 보는 경우를 말한다. 그룹학습은 학생이 한 책상에 그룹을 조성하여 토의하거나 움직임이 동반되는 학습 활동으로 선생은 학생활동을 돕는다. 마지막으로 교사가 수업의 이해를 돕기 위해 시청각 자료의 보조 도구를 활용하여 진행하는 수업으로 나뉜다. 초·중·고 및 특수학교에서는 단독 수업 혹은 3가지 활동을 병행한 방식으로 진행되었고, 반면 대학에서는 단독 수업 위주로 진행되었다. 학습 연령에 따라 수업 시간은 40~50분으로 차이를 보였다.

소음계(Tango Plus, Sinus) 2~4대를 1.2m 높이로 교실 전후반 좌석에 착석한 학생 귀 높이에 가깝



**Fig. 2.** Photos of Two Measurements Made in 2017 (Left) and 2022 (Right), Respectively, in a Same University Classroom During Lectures

게 위치시켰다. 교사 위치에서 약 2~8m 지점에 해당한다. 수업 현장 측정은 약 40~50분의 수업 시간을 측정하였고, 교사 목소리가 교실 내 주요 음원이었다. 수업 현장 측정이 팬데믹 전·후에 걸쳐 진행되어 수업 중 화자의 마스크 착용 비율이 대상 공간별로 0~100%로 상이하였다. 수업 현장 측정 중 교실 내 학습 활동에 의한 소음 이외에 복도, 인접실, 그리고 교사 내에서 유의한 소음 유입은 없었다. Fig. 2에



2017년과 2022년에 측정한 같은 대학교 강의실에서  
의 현장을 보여주고 있다.

### 3. 수업 현장의 음성 및 소음 레벨

#### 3.1 학습 연령과 수업 활동에 따른 음성 및 소음 레벨의 비교

Table 3에 국내 초·중·고 및 대학교 29개 교실의  
57곳 수업 현장에서의 평균 음성 레벨, 소음 레벨,  
그리고 SNR값을 표준편차와 함께 학습 연령별로  
나타냈다. Hodgson et al.(1999)이 제시한 통계 방  
법을 적용하여 주파수대역별 250ms 레벨 값을 빈  
도수 그래프로 도식화한다. 빈도수 그래프에 2개의  
큰 피크점이 나타나는데, 높은 음압레벨의 최고점  
이 음원 레벨이고 낮은 음압레벨의 최고점이 소음  
레벨을 각각 나타낸다. 빈도수 그래프의 두 피크점  
에 정규분포곡선을 피팅(Fitting)하여 각 피크점의  
값으로부터 음원과 소음 레벨을 각각 도출할 수 있  
다. 이 방법은 Table 1의 국외 초등학교와 국내외 대  
학교 수업 현장에서 음성과 소음 레벨 측정 및 도출  
에 사용되었다(Hodgson et al., 1999; Sato and  
Bradley, 2008; Choi, 2020). 자세한 방법은 참고문  
헌(Hodgson et al., 1999)에 기술되어 있다.

Table 3에 따르면, 학습 연령별로 평균 음성 및 소  
음 레벨의 차이가 현저하게 나타났다. 학습 연령이  
높아짐에 따라 수업 현장에서의 소음 레벨이 감소하  
였고, 초등학생과 중·고등학생 혹은 대학생 간의 차  
이는 약 6~12dBA로 크게 나타났다. 수업 현장에서

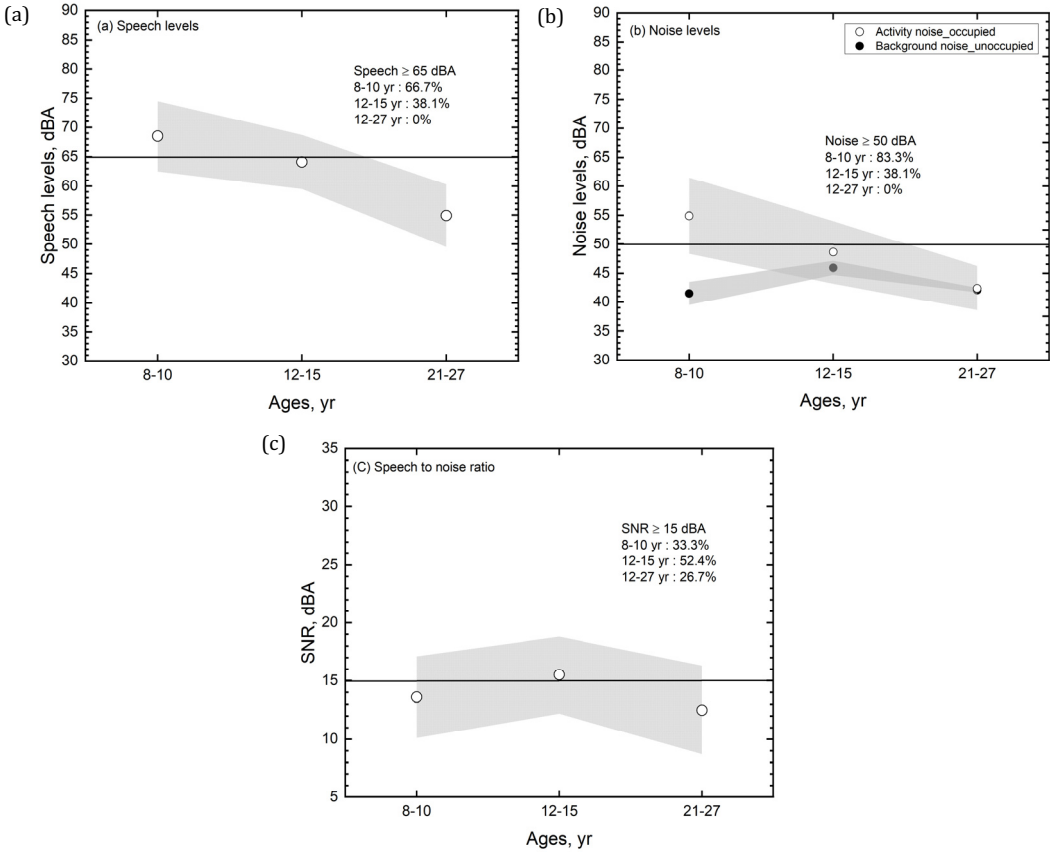
의 화자의 평균 음성 레벨도 학습 연령별로 큰 차이  
를 보였는데 약 55~68.5dBA로 연령이 낮을수록 화  
자의 음성 레벨이 높아짐을 알 수 있다. 성인 대학생  
과 초등학생과의 차이는 약 13.5dBA로 대학의 일반  
적인 강의형식의 수업방식과 달리 다양한 활동을 병  
행하여 어린 학생들의 수업 참여를 유도하는 수업방  
식의 차이에 따른 영향으로 유추된다. 특히, 초등학  
교 수업 현장에서는 소음 레벨과 학습 활동 종류와  
밀접한 관계를 보이며, 이 결과는 선행연구와 유사  
하였다(Shield and Dockrell, 2004). Table 1에 요약  
한 선행연구결과에 따르면 초·중·고등학교 수업 활  
동 중에 발생하는 평균 소음 레벨(42~77dBA)이 대  
학교에서 발생하는 소음 레벨(42~44dBA)보다 현  
저히 높게 나타났다.

Table 3의 국내 대학 강의 현장에서의 측정 결과  
에서 다소 차이를 보이는데 이는 팬데믹 전·후 각각  
측정을 진행하여 강의실 내 물리적 음향 조건에 영  
향을 주는 변수(재실자 수, 화자의 마스크 착용)에  
의한 영향으로 유추된다. 특히, 팬데믹 기간 중 강의  
실 내 화자의 마스크 착용으로 약 2dBA 낮은 음성 레  
벨에도 불구하고 재실자 수의 감소로 낮은 소음 레  
벨으로 인하여 약 4dBA 높은 SNR값을 나타냈다.

Fig. 3에 팬데믹 이후(2022, 2023년) 측정한 국내  
초·중·고 및 대학교 17개 교실의 42곳 수업 현장에  
서의 평균 (a) 음성 레벨, (b) 소음 레벨, 그리고 (c)  
SNR값을 표준편차와 함께 학습 연령별로 도식화하  
였다. Fig. 3(b)에 공실의 소음 레벨을 함께 도식화하

**Table 3.** Mean Speech Levels, Noise Levels, and Speech to Noise Ratios in 57 Active Classes (Values Where Specifications Are Exceeded Are Highlighted in Bold Italic Font)

Parameters	Age			
	8-10	12-15	21-27	20-25
Speech Levels, dBA	68.5 (s.d.=6.0)	64.1 (s.d.=4.6)	54.9 (s.d.=5.4)	57.2 (s.d.=2.9)
Noise Levels, dBA	<b>54.9</b> (s.d.=6.6)	<b>48.6</b> (s.d.=5.4)	<b>42.4</b> (s.d.=3.8)	<b>48.8</b> (s.d.=2.1)
SNR, dBA	<b>13.6</b> (s.d.=3.5)	15.5 (s.d.=3.3)	<b>12.5</b> (s.d.=3.8)	<b>8.4</b> (s.d.=2.7)



**Fig. 3.** Mean and Standard Deviations of (a) Speech Levels, (b) Noise Levels, and (c) SNR Values Averaged from Multiple Classes for 3 Different School Ages

였다. Fig. 3(a)에서 알 수 있듯이, 좌석에서의 음성 레벨이 65dBA 이상인 학습현장은 세 연령별 순으로 각각 66.7%, 38.1%, 그리고 0%로 나타났으며, 연령이 증가함에 따라 화자의 음성 레벨이 감소하였다. 이와 같은 결과는 소음 레벨에서도 동일하게 나타났다(Fig. 3(b)참조). 공실과 재실 상태의 교실 및 강의실의 소음 레벨도 학습 연령이 낮을수록 그 차이값이 약 15dBA로 크게 나타났다. 소음 레벨이 50dBA 이상인 경우는 세 연령별 각각 83.3%, 38.1%, 그리고 0%로 나타나 적정 SNR값의 조성에 영향을 미쳤다. 학습연령이 8~10세의 경우 SNR값이 15dBA 이상인 학습현장이 33.3%에 불과하였다.

Shield와 Dockrell(2004)은 영국 초등학교의 수

업 중 소음 레벨이 학습 활동과 높은 상관성이 있다고 보고하였다. 영국 초등학교 3~5학년(7~10세)의 수업 중 평균 음성과 소음 레벨은 각각 70.6dBL<sub>Aeq</sub>과 52dBL<sub>A90</sub>로 같은 학년에 해당하는 국내 초등학교 측정 결과와 음성 레벨이 유사하였다. Table 4의 결과에서 알 수 있듯이, 국내 초·중·고등학교 수업 현장에서 토론 등 그룹 활동을 병행한 수업에서 높은 소음 레벨을 나타냈으며 수업 중에 발생한 소음 레벨은 수업 활동 특성에 따라 변동이 있는 것으로 보인다. 초등학교 수업 중 그룹 활동을 하지 않은 수업(48dBA)과 실시한 수업(67dBA)의 소음 레벨 차이는 약 19dBA로 나타났다. 중학교 수업에서도 그룹 활동을 병행한 수업에서 소음 레벨이 약 10dBA 높

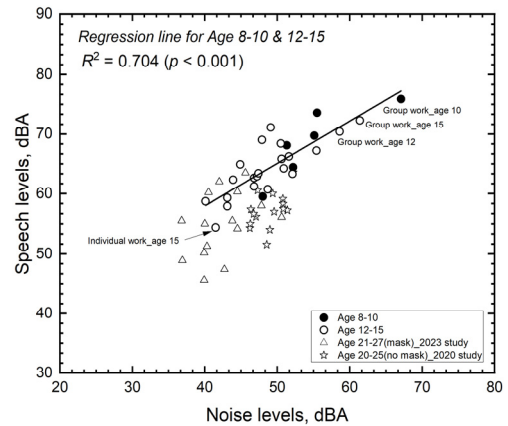
**Table 4.** Mean and Standards Deviations of Speech Levels, Noise Levels, and Speech to Noise Ratios Averaged over 27 Active Classes in Elementary, Junior High, High, and Special Schools for Different Classroom Activities

Parameters	Classroom activities			
	Plenary	Group Work	Individual Work	Watching Video
Speech Levels, dBA	65.1 (s.d.=4.5)	73.2 (s.d.=3.9)	57.8 (s.d.=4.8)	54.4 (s.d.=5.2)
Noise Levels, dBA	49.4 (s.d.=5.1)	62.9 (s.d.=6.0)	44.2 (s.d.=3.7)	50.0 (s.d.=1.8)
SNR, dBA	15.7 (s.d.=3.3)	10.3 (s.d.=2.1)	13.7 (s.d.=1.1)	14.4 (s.d.=3.4)

게 나타나 초등학교와 비슷한 양상을 보였다. 시청각 자료를 병행한 수업은 일반 수업과 비슷하거나 다소 낮은 소음 레벨을 나타냈으며, 시험을 보거나 독서 및 자습의 개별활동을 병행한 수업에서는 학습 활동 중 가장 낮은 소음 레벨(44dBA)을 보였다. 국내 초등학교에서 수업 활동 특성에 따른 소음 레벨 변화는 영국의 초등학교 수업에서도 비슷한 양상을 보이는데 6개 수업 활동에 따른 수업 중 소음 레벨의 최솟값과 최댓값은 각각 56dBL<sub>Aeq</sub>과 77dBL<sub>Aeq</sub>로 수업 활동 특성이 소음 레벨에 밀접한 관계를 보였다 (Shield and Dockrell, 2004).

27곳 수업 현장에서 수업 중 교사의 마스크 착용 유무에 따른 평균 음성 레벨은 각각 63.9dBA와 67.1dBA로 약 3dBA 차이를 나타냈다. 초·중학교 11곳 수업 현장에서 약 5dBA로 가장 크게 나타났으며, 반면 고등학교 수업현장 11곳에서는 1dBA 미만으로 가장 작았다.

Fig. 4에 57곳 수업 현장의 음성 레벨에 대한 소음 레벨을 도식화하였다. 연령별로 각 수업 현장에서 좌석에서 학생들이 듣는 평균 음성 및 소음 레벨 값을 표식을 달리하여 표기하였다. 각 수업 현장의 음성 및 소음 레벨은 측정지점 2~4곳의 평균값이다. 전술하였듯이, Table 3의 결과에서 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨은 재실자의 연령과 학습 활동 유형에 영향을 받는 것으로 나타나 음성 레벨에 따른 소음 레벨의 상관관계를 분석하여 Fig. 4에 도식화하였다. Fig. 4에서 알 수 있듯이, 성인 대학생 30곳

**Fig. 4.** Mean Speech Level Versus Noise Levels in 57 Active Classes

수업 현장의 평균 소음 레벨은 약 37~51dBA로 최소 소음 레벨이 고등학생이 독서 혹은 조용하게 자습하거나 시험을 보는 수업 활동보다 약 4dBA 낮았다. 중·고등학교 수업 현장에 비해 초등학교 수업 현장의 소음 레벨이 약 6~8dBA 높지만 그룹 활동을 병행하는 수업의 경우 두 연령층에서 가장 소음 레벨이 높게 나타났다. 따라서, 재실자의 연령 뿐만 아니라 학습 활동 특성이 수업 현장의 소음 레벨에 영향을 주는 것으로 사료된다. 본 연구 결과는 영국 및 캐나다의 초등학교와 고등학교 수업 현장에서 나타난 결과와 유사하였다(Shield and Dockrell, 2004; Sato and Bradley, 2008; Shield et al., 2015). 특히, 초·중·고등학교 및 특수학교 27곳 수업 현장에서 음성 레벨과 소음 레벨은 유의한 선형 상관관계( $R=$

0.839,  $p < 0.001$ )를 보이며 소음 레벨이 증가함에 따라 음성 레벨도 증가함을 알 수 있다. 선형 상관 관계식( $y = 0.71x + 29.45$ )에 따르면 수업 활동에 의한 교실 내 소음 레벨이 1dBA 높아지면 교사들의 음성 레벨이 약 0.71dBA 높아지는 것으로 나타났다. 대학교 강의 현장 30곳에서는 이와 같은 유의한 선형 상관 관계를 보이지 않았는데, 이는 연령별 수업방식의 차이에 따른 결과로 유추된다. 모든 57곳 수업 현장에서 공조기 가동시 허용소음레벨의 적정 권장기준  $\leq 37$ dBA(ANSI/ASA, 2010)를 초과하는 것으로 나타나 공실 조건에서 교실 및 강의실 내 소음 레벨을 최소화하여 재실 조건에서 권장 SNR값의 조성이 가능하게 해야 한다.

### 3.2 국외 수업 현장의 재실 음향 상태와 비교

영국의 초등학교와 고등학교(Shield and Dockrell, 2004; Shield et al., 2015)에서 일반적인 수업 활동시 평균 음성 레벨은 65dB  $L_{Aeq}$ 으로 국내 초·중·고등학교 및 특수학교 수업 현장 27곳의 측정 결과와 유사하였다(65.1dBA). 핀란드 초등학교 수업 현장 29곳의 평균 음성 레벨은 69dB  $L_{Aeq}$ 로 국내 비슷한 연령의 초등학교 결과(68.5dBA)와 유사하였다(Sala and Ranrala, 2016). 반면, 평균 소음 레벨은 42dB  $L_{A90}$ 로 약 13dBA 낮았는데, 이는 상대적으로 조용한 공석시 소음 레벨(34.5dBA, 공조기 가동시) 때문이라 사료된다. 핀란드 초등학교 수업 현장 측정 결과에 따르면, 수업 중 소음 레벨과 공석시 소음 레벨이 유의한 선형적인 상관관계를 나타낸다고 보고하였으며 비슷한 결과가 영국의 고등학교 음향실태조사에서도 보고되었다(Shield et al., 2015; Sala and Ranrala, 2016). 따라서, 국내 초·중·고등학교 및 특수학교 교실의 공석시 평균 소음 레벨이 43.8dBA (s.d.=3.0)로 핀란드 초등학교의 소음 레벨보다 약 10dBA 높아 수업 현장의 재실 음향 상태에 영향을 미친 것으로 나타났다. 공실 소음 레벨은 모든 교실

에서 측정하지 않아 재실 소음 레벨과의 상관관계 분석에 한계가 있다.

한편, 캐나다의 초등학교 측정 결과와 비교해 음성과 소음 레벨(60.1dBA, 49.1dBA)이 각각 9dBA와 6dBA 높게 나타났는데, 이는 수업 시간 전체를 측정하지 않고 교사가 주로 수업하고 학생이 조용히 듣는 약 15~20분의 시간을 측정한 결과로 인한 것으로 유추된다(Sato and Bradley, 2008). 캐나다 초등학교의 수업 중 평균 음성 및 소음 레벨은 국내 초등학교의 가장 조용한 수업 현장(음원 레벨: 59.5dBA, 소음 레벨: 48dBA)과 유사하였다.

이태리의 고등학교 수업 현장 6곳의 평균 소음 레벨은 46.5~52.1dB  $L_{Aeq}$ 로 국내 고등학교 수업 현장 11곳의 평균 소음 레벨(41.5~61.4dBA)에 비해 현장별 소음 레벨의 편차가 작았다(Puglish et al., 2015). 재실 잔향시간과 수업 중 소음 레벨이 유의한 상관관계가 있다고 보고하였는데, 이와 유사한 결과가 국내 대학교 강의 현장의 측정 결과에서도 보고되었다. 재실 실내 음향과 소음 레벨이 음성 명료도 지표와 높은 상관성을 나타냈으며 재실 조건에서의 음향지표 측정이 이루어져야 한다(Choi, 2020).

## 4. 높은 음성 명료도 성취를 위한 재실 음향 조건

전술하였듯이, Table 3과 Fig. 2의 국내 초·중·고 및 대학교 수업 현장의 음향실태조사에 따르면 학습 연령별로 평균 음성 및 소음 레벨의 차이가 약 13dBA로 크게 나타났다. 이와 같은 결과는 캐나다 초등학교 수업 현장에서도 유사하게 나타났는데, 초등학생의 경우 수업 활동에 의한 교실 내 소음 레벨은 학생들이 정숙한 상태보다 약 5~10dBA 증가한다고 보고하였다(Sato and Bradley, 2008). 반면, 국내 강의 현장에서는 성인 대학생의 경우 강의에 의한 소음 레벨이 학생들이 정숙한 상태보다 약

1~3.7dBA 증가하여 학습 연령이 높을수록 학습 활동에 의한 소음 레벨의 증가는 감소함을 알 수 있다 (Choi, 2020).

Table 3의 결과에서 국내 교육시설의 수업 현장의 평균 SNR값은 중·고등학교를 제외한 학교 수업 현장에서 권장 SNR값인 15dBA를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 초등학교를 대상으로 한 언어 명료도 평가 결과에 따르면 1, 3학년의 저학년 학생들의 경우 권장 SNR값 보다 3~5dBA 높은 값이 적절하다고 보고하였다(Bradley and Sato, 2008). 교실 음향에서 실내 음향과 소음 레벨은 음성 명료도 평가에 중요한 지표이며, 수업 현장의 좋은 음성 명료도 성취를 위해 높은 SNR값의 조성이 중요하다(Choi, 2020). 국내의 초·중·고등학교 수업 현장의 측정 결과를 바탕으로 평균 음성 레벨이 65dBA임을 가정할 때,  $SNR \geq 15dBA$ 를 만족하기 위해서 최대 허용 소음 레벨은 50dBA 이하가 되어야 한다. Fig. 4의 국내 초·중·고등학교 수업 현장 27곳 중 약 48%(초등학교: 83%, 중·고등학교: 38%)가 이 기준을 만족하지 못한다.

국내 초·중·고등학교와 특수학교에서 공조기 가동 시 공실 조건의 평균 소음 레벨이 40.1~47.1dBA로 국외 최대 권장기준(37dBA 이하)을 3~10dBA 초과한다(ANSI/ASA, 2010). 공실 소음 레벨을 47dBA로 가정할 때, 수업 활동이 가미된 교실 내 소음 레벨은 약 53~57dBA로 예측되어 그 결과 SNR값은 8~12dBA로 산정된다. 평균 소음 레벨 44dBA를 적용하더라도 수업 활동 시 예측되는 소음 레벨은 약 50~54dBA로 수업 활동 특성에 따라 적정 SNR값 조성할 수 없을 수도 있다. 여기서, 평균 음성 레벨 65dBA는 교사의 목소리 레벨(Speech Source Level)이 아니라 수업 중 학생의 좌석에서 들리는 교사의 음성 레벨(Received Speech Level)임을 고려한다면, 실제 교사의 목소리 레벨은 65dBA보다 높으며 이는 화자가 음성을 높이거나 크게 소리 낼 때

(Raised or Loud) 해당한다(Olsen, 1998). 따라서, 교사가 음성 레벨을 무리하게 높이지 않아도 수업 시 적정 SNR값 조성이 가능한 방법은 공실 조건의 소음 레벨을 최소화하는 것이다. 공실 소음 레벨을 35dBA로 가정할 때, 수업 중 예측 소음 레벨은 42~45dBA로 SNR값은 20~23dBA로 산정되어 적정 최소기준을 5~8dBA 초과하여 초등학교 저학년 학생에도 적합한 SNR값의 조성이 가능하다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 국내 교육시설의 실제 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 재실 음향실태를 조사하여 분석하였다. 국내 초·중·고 및 대학교 29개소 교실 및 강의실의 57곳 수업 현장에서의 평균 음성 및 소음 레벨 측정 결과에 의하면, 수업 중 재실 음향 상태는 재실자 및 학습 활동 변수에 따른 영향으로 재실자의 수와 나이가 증가할수록 수업 중 음성 및 소음 레벨이 증가하였고 이 결과는 국외 선행연구결과와 유사하였다(Hodgson et al., 1999; Shield and Dockrell, 2004; Sato and Bradley, 2008; Shield et al., 2015; Choi, 2016). 다만 현장 측정으로 인한 현실적인 제한조건으로 다양한 수업 및 학습 활동에 따른 영향을 구체적으로 분석하지 못하여 그 한계점이 있다.

교실 및 강의실의 실제 수업 현장에서 높은 음성 명료도 조성을 위해 공실 소음 레벨을 적정 기준 이하(공조기 가동 조건 37dBA 이하)로 최소화할 필요가 있다. 적정 SNR값 조성을 위해 공실 음향 조건이 중요하며 국내 교육 현장의 음향개선을 위해서 현재 부재중인 국내 교육시설 음향 기준 제정이 필수적이다(Choi, 2023). 향후 국내 교육시설의 재실 음향 지표 측정이 병행되어 공실과 재실 음향 상태 분석이 실시되어야 한다.



## 참고문헌

1. 류다정·박찬재·한찬훈(2017), “현장실험을 통한 학교교실의 벽체 차음성능 및 측로전달소음 조사”, 「한국음향학회지」, 36(5): 329~337.
2. 박찬재·류다정·경주영·한찬훈(2014), “국내 학교교실의 실내음향성능 실태조사”, 「한국음향학회지」, 33(5): 316~325
3. 이성복·김명준·양홍석(2015), “초등학교 일반교실의 음향성능 실태측정 및 평가지표 특성 고찰”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 25(7): 462~469.
4. American National Standard Institute/Acoustical Society of America (ANSI/ASA) (2010), “Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools: Part 1, Permanent Schools”.
5. Bradley, J. S. (1986), “Speech Intelligibility Studies in Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.* 80(3): 846~854.
6. Bradley, J. S. and H. Sato (2008), “The Intelligibility of Speech in Elementary School Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 123(4): 2078~2086.
7. Choi, Y. J. (2016), “Effects of Occupancy on Acoustical Conditions in University Classrooms”, *Appl. Acoust.*, 114(12): 36~43.
8. Choi, Y. J. (2020), “Evaluation of Acoustical Conditions for Speech Communication in Active University Classrooms”, *Appl. Acoust.*, 159: 107089.
9. Choi, Y. J. (2023), “Towards Better Acoustic Conditions in School Buildings in Korea: A Need for Korean Standard for Classroom Acoustics”, *J. Acoust. Soc. Kr.*, 42(2): 113~123.
10. Department for Education (2015), “Building Bulletin 93-Acoustic Design of Schools: Performance Standards”.
11. Hodgson, M. (1999), “Experimental Investigation of the Acoustical Characteristics of University Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 106(4): 1810~1819.
12. Hodgson, M., R. Rempel and S. Kennedy (1999), “Measurement and Prediction of Typical Speech and Background Noise Levels in University Classrooms during Lectures”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 105(1): 226~233.
13. Olsen, W. O. (1998), “Average Speech Levels and Spectra in Various Speaking and Listening Conditions: A Summary of Pearsons, Bennett, and Fidell (1977) Report”, *J. of Audiol.*, 7(2): 1~5.
14. Puglish, G. E., L. C. Cantor Cutiva, L. Pavese, A. Castellana, M. Bona, S. Fasolis, V. Lolorenza, A. Carullo, A. Burdorf and A. Astolfi (2015), “Acoustic Comfort in High-School Classrooms for Students and Teachers”, *Energy Procedia*, 78: 3096~3101.
15. Sala, E. and L. Ranralla (2016), “Acoustics and Activity Noise in School Classrooms in Finland”, *Appl. Acoust.*, 114(12): 252~259.
16. Sato, H. and J. S. Bradley (2008), “Evaluation of Acoustical Conditions for Speech Communication in Working Elementary School Classrooms”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 123(4): 2064~2077.
17. Shield, B. and J. Dockrell (2004), “External and Internal Noise Surveys of London Primary Schools”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 115(2): 730~738.
18. Shield, B., R. Conetta, J. Dockrell, D. Connolly, T. Cox and C. Mydlarz (2015), “A Survey of Acoustic Conditions and Noise Levels in Secondary School Classrooms in England”, *J. Acoust. Soc. Am.*, 137(1): 177~188.

## 요약

본 연구에서는 국내 초·중·고 및 대학교 학습공간의 재실 음향 상태를 조사하기 위해 수업 중인 교실 및 강의실 29개 현장을 측정하였다. 총 57곳 수업 현장에서의 음성 및 소음 레벨을 바탕으로 재실자 및 학습 활동유형에 따른 재실 음향 상태를 조사하였다. 학습 연령이 높아질수록 수업 현장에서의 소음 레벨은 약 6~12dBA 감소하였다. 그리고, 학습 활동 특성이 수업 현장의 소음 레벨에 영향을 주는 것으로 나타났다. 국내 교실 및 강의실의 높은 음성 명료도 성취를 위해 공실 조건에서 교실 및 강의실 내 소음 레벨을 최소화하여 재실 조건에서 권장 SNR값의 조성이 가능하게 해야 한다.

**주제어:** 음향상태, 수업 현장, 음성 레벨, 소음 레벨, 음성대 소음비



# 공동주택 내력벽과 가진 위치에 따른 슬래브 진동 및 바닥충격음 영향 분석\*

## Analysis of Slab Vibration Effects of Bearing Wall and Impacting Point in Apartment Building

김수홍\*\* · 류종관\*\*\* · 황재승\*\*\* · 김태민\*\*\*\*

Suhong Kim\*\* · Jongkwan Ryu\*\*\* · Jaeseung Hwang\*\*\* · Taemin Kim\*\*\*\*

### Abstract

As floor impact sound in apartment building has become a social issue, the government is strengthening the standards and management regarding this matter. To address floor impact sound, it is necessary to understand the vibration characteristics of the floor slab and derive reduction method based on this understanding. This study was conducted to investigate the effect of slab vibration by performing modal test on two sites with similar floor plans, differing only in the presence of bearing wall, and examined the influence of floor impact sound of that through computational analysis. The results of the modal test showed differences in modal frequency and mode shapes depending on the presence of bearing wall, as well as variations characteristics. The computational analysis of floor impact sound indicated that the presence of bearing wall resulted in lower vibration magnitude and sound pressure level. Additionally, an analysis of the influence of the impacting points showed that when the point of application is located at the driving point in the mode shape, the impact sound tends to be greater.

**Keywords:** Modal Test, Bearing Wall, Vibration, Computational Analysis, Impacting Points

### 1. 서 론

2022년 기준 공동주택에 거주하고 있는 가구 비율은 약 69%로 국내 거주주택 유형 중 가장 많은 비중을 차지하고 있다(통계청, 2023). 이러한 공동주택은 이웃 간 구조물을 공유하는 구조적 특성으로 인해 이웃 세대의 소음 피해에 취약하고, 실제로 이

웃 세대에 의한 소음 피해는 2012년 이후 지속적으로 증가하는 것으로 보고되었다(한국환경공단 층간소음 이웃사이센터, 2023).

이러한 층간소음이 사회적 이슈가 되면서 정부는 2009년부터 공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리 기준을 도입하였다. 초기에는 바닥슬래브 상부에 완충재와 상부 구조(경량 기포콘크리트와 모르

\*본 연구는 한국토지주택공사의 재원을 지원받아 수행한 “공동주택 내력벽과 가진 위치에 따른 슬래브 진동 및 바닥충격음 영향 분석”의 일부 내용을 수정·보완하였음.

\*\*전남대학교 건축도목공학과 박사과정(주저자: tfh0409@naver.com)

\*\*\*전남대학교 건축학부 교수

\*\*\*\*한국토지주택공사 연구원(교신저자: ktaemin@lh.or.kr)

타르)가 적용된 표준바닥구조에서 최소 성능 기준을 인정 받도록 기준을 운영하였다. 하지만 2019년 감사원의 감사보고서에서 인정구조를 적용한 실제 공동주택의 약 59.1 %가 저감 성능 기준 미달로 보고 되었다(감사원, 2019). 이에 정부는 2022년 8월 이후 사업승인을 신청한 단지부터 현장의 바닥충격음 차단성능을 측정 및 평가하는 사후확인제도를 도입하였고, 바닥충격음 차단성능 기준도 강화하였다(국토해양부, 2009). 평가를 위한 표준중앙충격원은 기존의 뱀머신에서 보행 충격원과 유사한 고무공으로 변경하였고, 기존의 역 A 곡선을 활용하는 평가 방법의 단점을 보완하였다(국토교통부, 2020b). 이로 인해 안정적인 현장 바닥충격음 차단성능을 구현이 요구되어 고성능 바닥구조, 흡음형 천장 등 다양한 연구(양홍석·김태민, 2020; 박지선, 2023; 김경우 외, 2022; 이성복 외, 2021; 정정호 외, 2023; 김신태·김명준, 2023; 김수홍 외, 2024)가 진행되었으나 실제 적용 시 공동주택 구조형식별 바닥충격음 저감 효과는 차이가 존재할 수 있다.

바닥충격음은 상부층에 가해진 충격력이 슬래브 진동을 유발하고 유발된 진동이 하부층으로 소리로 방사되어 발생한다. 따라서 바닥 슬래브의 진동 특성을 선행적으로 분석하고, 이를 고려한 진동 저감 공법 적용이 요구됨을 유추할 수 있다. 한편, 기존의 인정구조는 실제 현장의 슬래브의 진동 특성에 대한 고려 없이 설계된 완충재를 일괄 적용하기 때문에 바닥 슬래브의 진동 특성과 상이한 상부 바닥구조를 적용하는 경우에는 바닥충격음이 오히려 증가할 수 있는 것으로 나타났다(황재승 외, 2010). 따라서 효과적인 바닥충격음 저감을 위해서는 바닥 슬래브의 진동 특성 파악이 필수적이라 할 수 있다.

바닥 슬래브의 진동 특성은 슬래브를 구축하는 경계조건에 영향을 받게 되는데 벽식의 경우 내력벽의 위치에 영향을 받는 것으로 나타났다(김태민 외, 2020). 최근 장수명 주택에 대한 요구에 의해 가변성

과 수리용이성을 고려하여 세대 내의 내력벽이 없어지는 추세이다(이지은 외, 2021). 따라서 내력벽의 유무에 따른 슬래브의 진동 특성 또는 이 특성에 의한 바닥충격음의 영향에 대한 연구가 필요한 실정이다(양홍석 외, 2020).

본 연구에서는 내력벽 유무에 따른 공동주택의 바닥 슬래브의 진동 특성을 파악하기 위해 모달테스트(Modal Test)를 수행하였다. 대상 공동주택들은 유사한 평면을 갖도록 선정하였고, 거실과 방 사이의 내력벽 유무에 따라 2가지 타입으로 설정하였다. 모달테스트는 실제 슬래브의 거동을 예상하여 두 타입에 맞춰 수행하였다. 모달테스트를 통해 내력벽 유무에 따른 모드형상과 진동 특성을 분석하였으며, 모달테스트를 통해 얻은 진동 특성이 실제 바닥충격음에 미치는 영향을 조사하기 위해 전산해석을 수행하여 그 특성을 분석하였다.

## 2. 공동주택 바닥 슬래브 진동 특성

### 2.1 유한한 크기의 진동

Fig. 1과 같이 유한한 크기의 평판에 입사한 진동파는 평판의 끝단에서 반사되어서 평판 내 정재파(Standing Wave)가 만들어진다. 이를 평판의 고유 모드라고 하며, 주기적인 진동을 고유 진동수(Natural Frequency)라 한다.

고유진동수는 물체의 구성 재료의 물성, 크기, 경계 조건 등에 의해 결정되며, 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

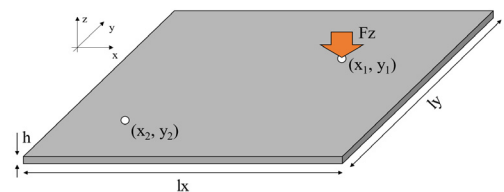


Fig. 1. Finite Plate

$$\omega_m = \sqrt{\frac{D}{\rho_t} \left[ \left( \frac{n_x \pi}{l_x} \right)^2 + \left( \frac{n_y \pi}{l_y} \right)^2 \right]} \quad (1)$$

여기서,  $D$ 는 판의 굽힘 강성(Bending Stiffness)(N/m),  $\rho_t$ 는 판의 면밀도(kg/m<sup>2</sup>),  $l_x$ 와  $l_y$ 는 각 축의 판의 길이(m),  $n_x$ 와  $n_y$ 는 각 축의 모드 차수를 나타낸다.

$D$ 는 판의 굽힘 강성으로 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있으며,  $E$ 는 재료의 탄성계수(Pa),  $\nu$ 는 포아송비,  $h$ 는 판의 두께(m)를 의미한다.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

평판은 고유 진동수에 따라 식 (3)과 같이 특정 움직임이 나타나며, 이 형상을 모드 형상(Mode Shape)이라 한다.

$$\psi_m(x, y) = 2 \sin\left(\frac{n_x \pi}{l_x} x\right) \sin\left(\frac{n_y \pi}{l_y} y\right) \quad (3)$$

식과 같이 평판의 진동 응답은 고유 진동수와 가진 주파수의 비, 가진 위치와 측정 위치에 따라 결정된다. 평판의 고유 진동수와 동일한 진동 주파수의 가진이 물체에 입사되면 진동 응답이 크게 증폭되며, 이를 공진(Resonance) 현상이라 한다(Daniel, 2012).

## 2.2 하중에 의한 평판의 응답

Fig. 1과 같이 평판의 ( $x_1, y_1$ )지점에 가진력  $F_z$ 가 가해지는 경우, ( $x_2, y_2$ )지점의 진동 응답(Transverse Displacement,  $u$ )은 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\tilde{u}(x_2, y_2, \omega) = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\psi_m(x_2, y_2) \psi_m(x_1, y_1)}{M_m [\omega_m^2 (1 + \eta) - \omega^2]} \tilde{F}_z(\omega) \quad (4)$$

여기서  $\omega_m$ 은 평판의  $m$ 차 고유 진동수,  $\varphi_m$ 은  $m$ 차 모

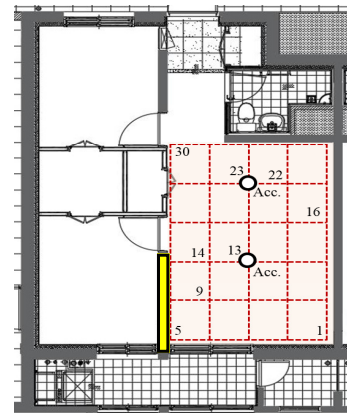
드 형상,  $M_m$ 은 평판의 질량(kg),  $\eta$ 은 손실 계수(Loss Factor)를 의미한다.

위 식과 같이 평판의 진동 응답은 모드 형상에 의해 결정되는 것을 알 수 있으며, 이는 동일 하중 크기에서도 가진 위치 또는 측정 위치에 따라 상이함을 의미한다.

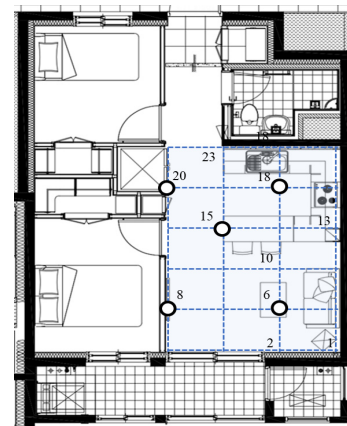
## 3. 공동주택 바닥 슬래브 진동 특성

### 3.1 실험 대상 공동주택

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 평면 구성은 유사하



Type A



Type B

Fig. 2. Points of Accelerators

\*Circles Mean Points of Accelerators; The Yellow Square at Type A Means Bearing Wall

**Table 1.** The Comparison between Area With /Without the Kitchen

Type	Constitution	Width (m)	Length (m)	Area (m <sup>2</sup> )
Type A	L+K	3.52	5.08	17.88
	L		2.17	7.64
Type B	L+K	3.53	4.76	16.80
	L		2.56	9.04

\*L Means the Living Room and K Means the Kitchen

지만, 구조 평면이 다른 전용 면적 46m<sup>2</sup>의 벽식 구조를 대상으로 바닥 슬래브의 진동 특성을 모달테스트를 이용하여 분석하였다.

Fig. 2에서 Type A는 거실과 침실 사이의 세대 내의 벽이 내력벽이고 Type B는 경량 벽체이다. 해당 공동주택의 거실의 크기는 Table 1와 같이 정리하였다. ‘바닥충격음 차단구조 인정 및 관리 기준’(국토교통부, 2020a)에서는 주방의 끝단을 기준으로 가상의 거실 면적을 산출하는데 Table 1에서는 L로 표기된 수치와 같다. L+K로 구성된 거실 면적은 본 연구에서 슬래브의 거동 및 수음실의 음향 공간을 고려하여 거실과 주방 공간을 포함한 공간을 대상으로 거실 면적을 산출한 것이다. Table 1과 같이 거실과 침실이 내력벽으로 구성된 Type A의 경우 거실 면적은 7.64m<sup>2</sup>, 경량벽체로 구성된 Type B의 경우에는 9.04m<sup>2</sup>으로 약 15.5 % 면적 차이가 존재한다. 하지만 슬래브 거동 및 음향공간을 기준으로 산출한 면적에서는 Type A는 17.88m<sup>2</sup>, Type B는 16.80m<sup>2</sup>로 약 6.0 %의 차이만 나타나 국토부 고시 기준에 비해 매우 유사하게 나타났다.

### 3.2 모달테스트 실험 방법

모달테스트는 가속도계를 고정하고 가진 지점을 이동하는 로빙 해머 방식(Roving Hammer Method)으로 수행되었다. 모달테스트는 Table 1의 L+K 면적에 대해 사전 해석을 통해 1~3차 모드형상을 고

**Table 2.** Equipment List For Modal Test

Equipment	Manufacturer	Model	Quantity
DAQ	NI	SCM205V	1
Impact Hammer	PCB	086D20	1
Vibration Calibrator	PCB	394C06	1
Accelerometer	PCB	356A16	5
Rubber Ball	Rion	Y1-01	1

려하여 약 1.0m 간격으로 Fig. 2와 같이 격자를 구성하였으며, 가속도계를 그림과 같이 바닥 슬래브에 설치하였고 각 격자점을 해머로 가진하여 측정하였다.

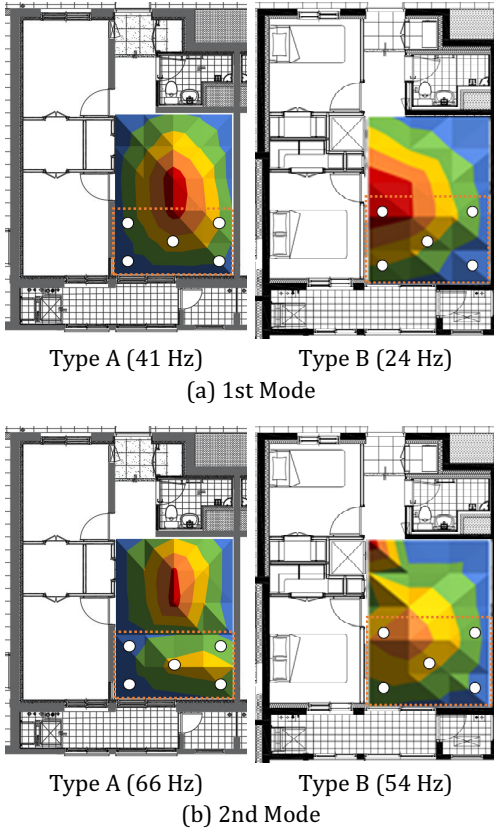
본 연구에서는 중량충격음에 대한 분석을 위해 저주파 대역의 진동 특성 분석이 가능하도록 임팩트 해머에 고무팁을 이용하였으며, 하중은 약 300Hz까지 존재하는 것을 확인되었고, 모달테스트의 재현성은 약 500Hz까지 0.9 이상의 코히런스(Coherence)가 존재하였다. 따라서 모달테스트 측정은 결과 분석은 500Hz까지 수행하였다.

Table 2는 본 연구에서 바닥 슬래브 진동을 분석하기 위해 사용된 측정 장비를 나타내며, Type A의 모달테스트 결과 데이터는 선행 연구(김태민 외, 2020) 결과를 활용하여 분석하였다.

### 3.3 모달테스트 결과

모달테스트를 분석한 결과 모드 형상은 Fig. 3(a)와 (b)와 같이 나타났다. 모드 주파수는 내력벽 유무에 따라 상이한 결과를 나타냈는데 1차 모드는 Type A에서 41Hz, Type B는 24Hz에서 나타났고 2차 모드는 Type A에서 66Hz, Type B에서 54Hz에서 나타나 내력벽이 없는 Type B에서 Type A에 비해 더 저주파 영역에서 나타났다.

1차 모드 형상의 경우 Fig. 3(a)는 Type A와 같이



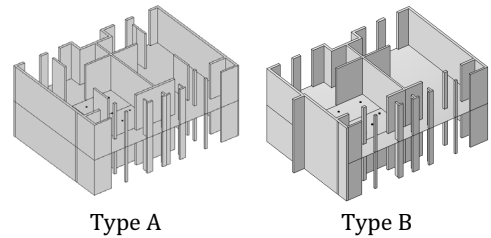
**Fig. 3. Mode Shape**

\*Type A is a Plan with Bearing Wall, Type B is without That, and White Circles Mean Measurement Point for Evaluating Floor Impact Sound Isolation Performance

내력벽이 존재하는 경우 내력벽으로 둘러 쌓인 거실 영역에서 모드 형상이 형성되는 반면, Type B는 거실부터 침실을 포함하는 상대적으로 넓은 영역에서 모드 형상이 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 이는 거실과 침실을 구분하는 세대내 벽의 구성이 구조에 영향이 미미한 경량벽체로 존재하기 때문에 모드 형상의 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 따라서 Type A의 경우에는 거실 공간을 대상으로 개별적인 진동 특성을 가지며, Type B의 경우에는 거실 및 침실 등을 포함하는 전체 세대 면적에 대한 진동 특성이 존재함을 의미한다.

**Table 3** Material Property for Computation Analysis

Material	Physical Property	Value
	Young's Modulus	23 GPa
Concrete	Density	2300 kg/m <sup>3</sup>
	Poisson's Ratio	0.167
	Loss Factor	0.01~0.03
	Sound Velocity	340 m/s
Air	Density	1.2



**Fig. 4** Computational Analysis Model

## 4. 바닥슬래브 진동과 바닥충격음 해석

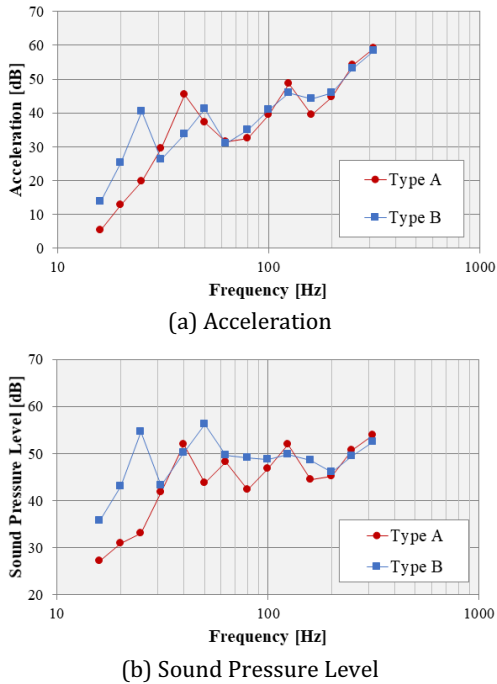
### 4.1 전산해석 모델 구성

바닥 슬래브 진동에 따른 바닥충격음 영향을 정밀하게 분석하기 위해 전산해석을 이용하여 바닥 슬래브 진동과 바닥충격음을 분석하였다. 전산해석은 COMSOL multi-physics 6.1 ver.을 이용하였으며, 전산해석 시 입력변수(충격력, 탄성계수, 손실계수)에 대한 정보는 Table 3과 같다.

해석 모델은 Fig. 4와 같이 단위세대 모델로 구성하였으며, 경계조건은 내력벽의 끝단에 고정(Fixed) 조건을 입력하였다. 하중은 KS F 16283-2에 의거하여 모서리 4개 지점과 중앙 지점에 대해 단위 하중(1.0 N)을 입력하였다.

### 4.2 유효평면과 바닥충격음

Fig. 5은 전산해석을 이용하여 분석한 바닥 슬래브의 진동과 수음실의 바닥충격음 해석 결과를 나타낸다.



**Fig. 5.** The Result of Floor Slab Vibration from Computational Analysis with/without Bearing Wall (Entire Area)

Fig. 5(a)에서 세대 내 내력벽의 존재 유무에 따라 거주파 대역에서 바닥 슬래브 진동의 차이가 존재함을 확인할 수 있다. 바닥 슬래브의 진동이 큰 경우 상대적으로 바닥충격음이 크게 발생함을 의미하며, 바닥충격음 해석 결과에서도 Fig. 5(b)와 같이 진동이 크게 나타났던 Type B가 바닥충격음이 크게 분석되었다.

단, 1/3옥타브 밴드의 40Hz에서 Type A가 상대적으로 바닥 슬래브 진동이 크게 존재하였으나, 소음 해석 결과에서는 유사한 수준으로 분석되었다. 이는 바닥충격음에 있어 수음실의 음향 특성 및 소음 방사 면적에 따른 영향이 존재하는 것으로 판단되며, 후속 연구에서 방사 면적에 따른 바닥충격음 영향을 추가적으로 분석할 예정이다.

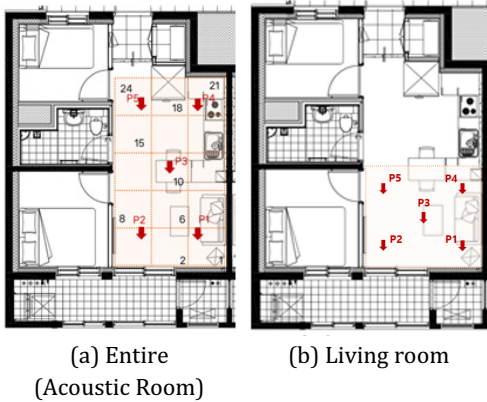
### 4.3 거실 산정 방식

바닥충격음의 측정은 Fig. 4와 같이 국토부 고시 (15)에서 명시된 거실 면적을 기준으로 측정한다. 국내의 기존 공동주택은 벽식 구조가 대다수이고, 거실의 양쪽 벽 중 한 개 이상이 내력벽으로 구성되어 있다. 그러나 장수명 주택 인증제도에 따른 정책 (김수암·양현정, 2015)과 관련하여 거주자 측면의 내구성, 가변성, 수리 용이성을 확보하기 위한 공동주택 평면이 늘어나면서 실내의 내력벽을 최소화하는 설계가 증가하고 있는 실정이며 이와 관련하여 경량벽체의 차음 성능 위주의 연구가 진행되고 있다 (김태민 외, 2022). 하지만 본 연구의 결과를 살펴보면 바닥충격음을 결정하는 바닥 슬래브의 진동은 내력벽을 경계로 형성된다. 이로 인해 상부층 가진 위치의 모드 형상 상의 위치에 따라 진동 응답의 크기가 달라질 수 있으므로 기존 국토부 고시 상 면적에서의 가진과 모드 형상을 고려한 면적에서의 가진이 가속도 크기에 있어 차이가 존재하는지 살펴볼 필요가 있다.

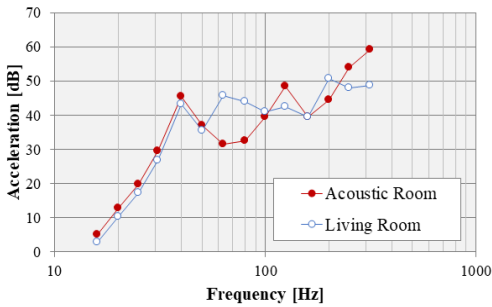
이론적으로 가진 지점이 모드 형상의 변위가 큰 지점을 가진하는 경우 동일 하중 조건에서도 상대적으로 큰 진동 응답이 존재하게 된다. Fig. 3의 하얀 원들은 국토부에서 명시한 거실면적을 기준으로 가진점 및 수음점을 나타낸 것이다. 이를 통해 1차 모드에서는 변위가 큰 지점을 가진하는 Type B가 Type A 대비 큰 진동이 발생하며, 2차 모드의 경우에도 가진 지점이 상대적으로 변위가 큰 영역이 많이 포함된 Type B에서 응답이 클 것을 예상할 수 있다. 이는 동일 충격원 조건에서도 바닥 슬래브의 진동 특성과 거실 산정 방식(가진 위치 선정)에 따른 바닥충격음 결과는 상이할 수 있음을 의미한다.

Fig. 6과 같이 거실을 산정하는 방식에 따른 가진 지점 변화를 나타낸다. 본 연구에서는 그림과 같이 거실 산정 방식이 상이한 두 방식에 따른 바닥충격

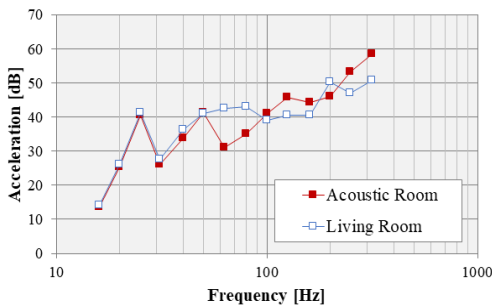




**Fig. 6.** Receiving and Impacting Point on Analysis Model for Verification of the Effect of Impacting Points



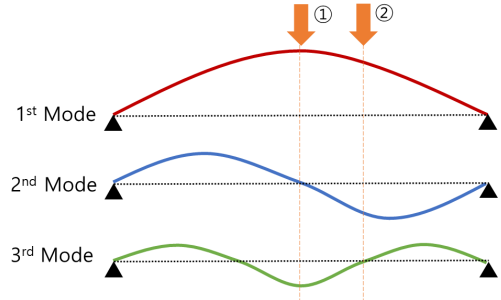
(a) Type A : Plan with Bearing Wall



(b) Type B : Plan without Bearing Wall

**Fig. 7.** Vibration of Floor Slab by Impacting Points

음을 분석하였으며, 결과는 Fig. 7과 같이 나타났다. Fig. 7의 그래프와 같이 두 타입 모두 1/3 옥타브 밴드의 50Hz까지는 거실 산정 방식에 무관하게 유사한 바닥충격음이 존재하나, 실제 바닥충격음을 측정



**Fig. 8** Vibration of Floor Slab by Impacting Points

및 평가하는 1/3 옥타브 밴드의 50Hz 이후 대역부터는 동일 세대에서도 가진 지점에 따른 진동 가속도 차이가 존재하는 것으로 분석되었다. 특히 중량 충격음을 결정하는 1/3옥타브 밴드의 50~80Hz에서는 거실 산정 방식에 따른 진동 가속도 편차가 약 10 dB 까지 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 거실 산정 방식에 따라 달라지는 가진 지점에 의해 바닥 슬래브의 모드 형상 상의 위치에 따라 진동 응답의 크기가 달라질 수 있으며 더 나아가 바닥충격음에 있어 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

예를 들어 Fig. 8과 같이 보의 중앙 지점(Fig. 8의 1번 화살표 지점)과 1/3지점(Fig. 8의 2번 화살표 지점)을 각각 가진한다고 가정한다면, 중앙 지점을 가진하는 조건에서는 1차 모드와 3차 모드에서는 응답이 크게 존재하지만 2차 모드의 경우에는 노드(Node)에 해당되어 진동 응답이 작을 수 있다. 반면, 1/3지점을 가진하는 조건에서는 1차와 2차 모드가 반응하지만 3차 모드의 경우에는 노드에 해당되는 지점을 가진하기 때문에 진동 응답의 크기가 미미할 수 있다. 이와 같이 바닥 슬래브의 진동은 모드 형상의 가진 지점에 따라 진동 응답의 크기가 달라질 수 있으며, 노드 지점 또는 인근 지점을 가진하는 경우에는 진동 응답의 크기가 상대적으로 미미하게 존재할 수 있다. 따라서 동일한 하중 조건에서도 가진 지점에 따라 진동 응답의 크기가 상이하며, 결과적으로 바닥충격음의 발생 크기도 달라질 수 있음을 의

미한다. 이러한 현상은 동일한 평면 구성과 동일 하 중 조건에서도 내력벽의 유무, 거실 위치, 가진 지점의 산정 방식 등으로 바닥충격을 측정 결과가 차이가 나타날 수 있음을 의미한다.

다만, 본 연구는 소형 평면에 한정되어 수행한 연구이기 때문에 일반화를 위해서는 벽식 구조 이외의 구조 형식이나 면적, 재료 특성, 충격력의 크기 등 다른 변수들의 영향 또한 고려해야 하고 이에 추가적 연구가 필요하다 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 바닥충격음을 결정하는 바닥 슬래브의 진동 특성과 관련하여 평면이 유사한 벽식 구조를 대상으로 세대 내 내력벽 유/무에 따른 바닥 슬래브의 진동 특성을 분석하고, 전산해석을 이용하여 바닥충격음 영향을 분석하였다.

모달테스트 결과 유사한 평면임에도 내력벽의 유무에 따른 모드 주파수와 모드 형상의 차이가 존재하였으며, 내력벽의 유무가 바닥 슬래브의 진동 특성을 결정하는 지배적인 요소로 작용하는 것을 실험적으로 확인하였다.

이러한 진동 특성이 바닥충격음에 미치는 영향을 정밀하게 조사하기 위해 수행한 전산해석 결과 내력벽이 있는 경우가 상대적으로 진동 크기와 음압의 크기가 작게 나타났다. 이는 내력벽이 존재하여 슬래브의 거동을 한정시키고 방사면적이 줄어든다면 바닥충격음에 있어 상대적으로 유리할 수 있음을 시사한다.

추가적으로 가진점 위치에 따른 바닥충격음 영향을 분석하였다. 국토부 고시 상의 거실 면적과 선행 연구의 유효 면적 측면에서 분석한 결과 내력벽 유무와 상관없이 50Hz까지는 유사한 경향을 보였으나 이후 주파수 대역에서는 차이가 나타났다. 이는 모드 형상에서 가진 위치에 따른 진동 응답 차이가

존재하기 때문에 발생하는 것으로 분석되었으며, 실제 공동주택에서는 생활충격원 위치에 따라 바닥충격음 평가 성능 대비 큰 바닥충격음이 발생할 수 있음 또한 의미한다.

추후, 구조적으로 다르지만 유사하게 설계된 평면에 대해 모달테스트와 바닥충격음을 측정하여 구조별 진동 특성을 살펴보고 효과적인 바닥충격음 저감을 위한 설계에 대한 분석을 수행할 예정이다.

## 참고문헌

1. 감사원(2019), “공동주택 바닥충격음 저감제도 운영 실태”, 서울.
2. 국토교통부(2020.2.20a), “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”.
3. 국토교통부(2020.6.10b), “공동주택 바닥충격음 차단성능 사후 확인제도 도입 방안”.
4. 국토해양부(2009), 제2008-538호 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준” 제13조.
5. 김경우·신혜경·박상희·이종원(2022), “방진재 적용 바닥구조의 바닥충격음 차단성능”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 32(6): 631~637.
6. 김수암·양현정(2015), “장수명 주택 인증제도의 내용과 특성”, 「한국구조학회 학술대회논문집」, 79~84.
7. 김수홍·류종관·황재승(2024), “전산해석을 통한 질량동조감쇠기 적용 슬래브의 바닥충격음 저감 성능 검증”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 34(1): 84~94.
8. 김신태·김명준(2023), “공동주택 바닥충격음 저감을 위한 천장공법 개발”, 「대한건축학회 논문집」, 67(8): 21~24.
9. 김태민·배진영·양홍석(2020), “바닥 슬래브 진동 특성을 이용한 바닥충격음 요인 분석 연구: 유효 평면”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 30(3): 276~285.
10. 김태민·양홍석·김태호·배진영·박원학·유호원·현승진(2022), 「공동주택 세대간 경계벽의 현장 차음성능 향상 기술 개발」, 대전: 한국토지주택공사 토지주택연구원, 105~124.
11. 박지선(2023), “공동주택 바닥용 건조모르타르의 물-결합재비에 따른 유동성 및 압축강도 변화 특성 연구”, 「아시아태평양융합연구교류 논문집」, 9(12): 103~114.

12. 양홍석·김태민(2020), “공동주택 뜬바닥 구조층 구성에 따른 바닥충격음 차단성능 실험적 연구”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 30(2): 119~128.
13. 양홍석·김태민·배진영·이봉재·지원길(2020), 「공동주택 바닥충격음 저감 설계·시공 제어 요인 분석 연구」, 대전: 한국토지주택공사 토지주택연구원, 86~94.
14. 이성복·김신태·안장호·김명준(2021), “벽체지형 천장 배후 흡음재 설치에 따른 수음실 흡음력 변화와 중량충격음 차단성능 주파수 대역별 상관관계 고찰”, 「한국건축환경설비학회 논문집」, 15(6): 723~734.
15. 이지은·노정열·권수혜·김승모(2021), “장수명주택 인증을 고려한 OSC공법 주택의 가변형 평면계획 연구”, 「LHI Journal」, 12(4), 103~117.
16. 정정호·곽준혁·박종진(2023), “음향메타물질 기반 바닥충격음 차단형 천장마감구조”, 「대한건축학회 논문집」, 67(8): 49~52.
17. 통계청(2023), “거처의 종류별 가구(2023)”, 서울.
18. 한국환경공단 층간소음 이웃사이센터(2023), “층간소음 통계자료(2023)”, 서울.
19. 황재승·문대호·박홍근·홍성걸·홍건호(2010), “완충재의 동특성에 따른 중량충격음 증폭에 관한 해석적 연구”, 「한국소음진동공학회 논문집」, 20(7): 651~657.
20. Daniel, J. I. (2012), *Engineering Vibration* (3rd ed.), U.S.A.: Pearson.

## 요 약

공동주택 바닥충격음은 이웃간 분쟁을 넘어 심각한 사회적 문제로 대두되고 있으며, 다양한 바닥충격음 저감 연구가 진행 중에 있다. 본 연구에서 바닥충격음을 결정하는 바닥 슬래브의 진동 특성을 분석하기 위해 내력벽 유무 및 거실 산정 방식 등에 따른 바닥 슬래브 진동을 모달테스트를 이용하여 분석하였다. 실험 대상은 벽식 구조의 소형 공동주택을 대상으로, 평면이 유사하지만 세대 내 내력벽이 존재하는 타입과 존재하지 않는 타입을 선정하였다. 모달테스트 측정 결과 내력벽이 존재하지 않는 경우에는 바닥 슬래브의 진동 특성이 전체 세대의 바닥 면적에서 발생하는 것으로 분석되었으며, 이에 따라 내력벽이 존재하지 않는 경우에는 상대적으로 큰 바닥충격음이 발생하는 것으로 분석되었다. 이는 방사면적 및 수음실의 음향특성의 영향으로 판단되며, 후속 연구에서 보다 면밀한 분석을 수행할 예정이다. 추가적으로 거실 공간의 산정 방식에 따른 바닥충격음 영향을 전산해석을 이용하여 분석하였으며, 분석 결과 동일 세대에서도 거실 공간 산정 방식, 즉 가진 위치 변경에 따른 바닥충격음 차이가 존재하였다. 특히, 중량충격음을 결정하는 1/1옥타브 밴드의 63Hz에서 약 10dB 편차가 존재하였으며, 개별적인 진동 특성이 강하게 존재하는 주파수 대역에서는 가진 위치이 따른 편차가 상대적으로 크게 발생할 수 있음을 의미한다. 이러한 결론은 향후 공동주택 구조 평면 설계시 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 진동 응답의 크기를 저감시키며, 가진 위치에 따른 진동 편차를 저감할 수 있는 설계 방안을 수행할 예정이다.

**주제어:** 모달테스트, 내력벽, 진동, 전산해석, 가진위치



# 「토지주택연구」 발간 및 편집규정

2010. 07. 23 제정  
2012. 02. 27 수정  
2016. 08. 01 개정  
2020. 01. 17 개정  
2020. 08. 04 개정  
2020. 12. 04 개정  
2021. 07. 22 개정  
2022. 03. 25 개정  
2022. 12. 28 개정  
2023. 03. 24 개정  
2023. 12. 22 개정  
2024. 01. 18 개정  
2024. 06. 30 개정

## 제 1 장 투 고

### 제 1 조 (원고의 대상 및 종류)

1. 「토지주택연구」(영문명 「Land and Housing Review」)는 국토, 주택 및 도시관련 분야의 연구성과를 수록하는 전문 학술지로서, 논문을 게재하는 것을 원칙으로 한다. 논문은 창의적인 연구결과 및 일정한 주제에 관한 연구성과·동향·전망을 학술논문의 형식에 따라 기술한 것을 말한다.
2. 투고원고는 실무 및 정책에 적용할 수 있는 연구성과를 게재하도록 한다.

### 제 2 조 (원고의 분량)

1. 논문의 분량은 그림 및 표를 포함하여 A4 용지 2단 편집 10매 내외로 한다.
2. 원고 분량이 본 규정보다 지나치게 초과 또는 미달하는 경우에는 본지 편집위원회가 투고자에게 조정을 요구할 수 있으며, 투고자는 이에 따라야 한다.

### 제 3 조 (원고의 작성)

1. 모든 원고는 본지의 원고작성 방법에 따라 작성하여야 한다.
2. 원고의 작성 언어는 국문 또는 영문을 원칙으로 한다.
3. 원고는 워드프로세서(한글 또는 word)를 이용하여 A4용지에 작성함을 원칙으로 한다.
4. 원고는 키워드까지는 1단으로, 본문부터는 2단으로 편집한다.

### 제 4 조 (원고의 접수)

1. 원고는 논문투고시스템을 통해 수시로 접수하며, 원고가 접수된 일자를 원고접수 일자로 한다.
2. 논문 투고자는 논문투고시스템에 논문제목, 논문개요, 키워드, 저자, 참고문헌, 본문을 등록해야 한다.
3. 접수된 원고 중 투고규정 및 원고작성 방법에 의거해 작성하지 않은 원고는 본지 편집위원회에서 저자에게 수정 및 보완을 요구할 수 있고, 투고자는 이에 따라야 한다.

## 제 5 조 (투고 논문)

1. 투고자는 투고시 다음과 같은 사항이 포함된 경우 관련 정보 등을 제출하여야 한다.
  - 가. 저자 및 논문과 관련된 이해관계로 인하여 논문 결과 및 게재에 영향을 미칠 수 있는 이해상충 정보가 포함된 경우
  - 나. 공동저자로 특수관계인(연구자가 미성년자(만19세 이하인 자) 또는 가족(배우자, 자녀 등 4촌 이내))이 포함된 경우
2. 투고자는 인권, 생명윤리, 환경보호에 대한 보편성을 확보하도록 투고 원고를 기술해야 한다.
3. 투고자는 투고 원고가 젠더 혁신 정책에서 추천하는 가이드라인을 준수하도록 하고, 연구주제와 기술 방법, 결과 등을 점검하여야 한다.

## 제 2 장 원고작성 방법

### 제 6 조 (논문의 구성)

1. 국문논문의 구성
  - 가. 국문논문의 경우, 국문제목, 영문제목, 국문저자명, 영문저자명, 영문요약(Abstract), 영문주제어(Keywords), 본문(서론, 본론, 결론), 참고문헌, 국문요약, 국문주제어, 부록 등의 순서로 구성한다. 단, 부록은 필요한 경우에 한하여 작성한다.
  - 나. 저자의 소속 및 직위는 논문 첫 페이지의 하단에 각주로 작성하되, 국문으로 작성한다.
2. 영문논문의 구성
  - 가. 영문논문의 경우, 영문제목(Title), 영문저자명(Authors), 영문요약(Abstract), 영문 키워드(Keywords), 본문(Body), 참고문헌(References), 국문요약, 국문주제어, 부록(Appendix) 등의 순으로 구성한다.
  - 나. 저자의 소속 및 직위는 논문 첫 페이지의 하단에 각주로 작성하되, 영문으로 작성한다.

### 제 7 조 (논문제목의 표기)

1. 논문제목은 연구내용을 간결하고 명확하게 표현할 수 있도록 기재한다.
  - 가. 국문논문의 경우, 국문제목을 먼저 작성하고, 아래에 영문제목을 작성한다. 한자 또는 영어로 표기하지 않으면 의미 전달이 곤란한 경우에는 괄호 안에 한자 또는 영어를 병기한다.
  - 나. 영문논문의 경우, 영문제목(부제목 포함)의 첫 글자는 대문자로 시작한다. 제목 내의 단어는 전치사와 접속사, 관사를 제외하고는 첫 글자를 대문자로 시작한다.  
예: Schematic Layout Design Process for Apartment Dwelling
2. 논문에 부제목이 있는 경우, 국·영문 논문 공히 주제목 다음에 ‘:’을 표기하고 부제목을 기재한다.

### 제 8 조 (저자의 표기)

1. 논문 제목 아래에 저자명을 기재함을 원칙으로 한다.
  - 가. 국문논문의 경우, 저자의 국문이름을 먼저 기재하고, 아래에 영문이름을 기재한다.
  - 나. 영문논문의 경우, 저자의 영문이름을 기재한다.



## 2. 표기 방법

- 가. 영문저자명은 이름, 성의 순서로 기재한다. (예: Gildong Hong, Gil-Dong Hong)
- 나. 저자가 복수일 경우, 주 저자(main author)가 맨 앞에 오도록 한다. 저자명의 오른쪽 어깨에 \*, \*\*, \*\*\*, ... 을 표기하고, 저자와 저자 사이에 가운뎃점(·)을 넣어 구분한다.
3. 토지주택연구 심사규정 제6조 제3항에서 정하는 심사결과가 게재가 또는 수정후게재로 판정된 이후에는 저자를 추가하거나 삭제할 수 없으며, 저자의 유형도 변경할 수 없다.
4. 심사결과가 게재가 또는 수정후게재로 되기 전에 저자를 추가하거나 삭제 또는 유형 변경을 하고자 할 때에는 [별표 1]\*의 논문저자 수정요청서를 제출하여야 한다.

## 제 9 조 (저자의 소속 및 직위 표기)

1. 논문 첫 페이지 하단에 각주로 표기하며 \*, \*\*, \*\*\*, ... 을 표기하여 구분한다.
2. 모든 저자는 소속기관과 직위를 표기하고 주저자와 교신저자의 경우 연락처(E-mail주소)와 함께 표시한다.
3. 표기방법
  - 가. 국문
    - 1) 토지주택연구원 경영정책연구실 연구원(주저자: First Author@lh.or.kr)
    - 2) 토지주택대학교 공공정책학과 교수(교신저자: Corresponding@lh.or.kr)
    - 3) 토지주택연구원 건설환경연구실 연구위원
  - 나. 영문
    - 1) Research Fellow, Dept. of Administration & Policy Research, Land & Housing Institute (First Author: Main@lh.or.kr)
    - 2) Professor, Dept. of Public Policy, Land & Housing College (Corresponding Author: Correspond@lh.or.kr)
    - 3) Senior Research Fellow, Dept. of Civil & Environ. Research, Land & Housing Institute

## 제 10 조 (영문요약(Abstract) 및 국문요약 작성)

1. 영문요약(Abstract) 및 국문요약은 연구목적, 연구방법, 연구결과, 연구의 시사점, 향후 연구방향 등을 중심으로 작성한다.
2. 영문요약은 상단 좌측에 ‘Abstract’으로 기재하고 200단어 내외로 작성한다.
3. 국문요약은 상단 중앙에 ‘요약’으로 기재하고 700자 내외로 작성한다.

## 제 11 조 (주제어(Keywords) 표기)

1. 영문요약 하단에는 ‘Keywords’라고 기재하고 콜론(:)을 표기한 후 5개 내외의 영문주제어를 작성한다.
2. 국문요약 하단에는 ‘주제어’라고 기재하고 콜론(:)을 표기한 후 5개 내외의 국문주제어를 작성한다.

## 제 12 조 (본문 작성방법)

1. 본문은 학술논문의 통상적인 전개방식에 따라 작성한다.
2. 원고의 읽기와 교정이 용이하도록 용지의 상하좌우 및 행간에 여백을 두어야 한다.

3. 각주는 반드시 본문 해당면의 하단에 위치하도록 한다.
4. 본문의 단락 처음에는 들여쓰기(10pt)를 한다.

### 제 13 조 (표기 언어 및 표기 방법)

1. 국문원고의 경우, 의미전달 상 필요한 경우에 한하여 한자 및 외래어를 괄호 안에 표기할 수 있다.
2. 목차 및 본문의 장, 절, 항 등의 번호 전개는 1., 1.1, 1.1.1, 1), (1), ①의 순으로 한다.
3. 장 타이틀은 위와 아래 각각 1행씩을 비우고, 절 타이틀은 위만 1행을 띄우고, 항 타이틀은 행을 비우지 않는다.
4. 숫자는 아라비아 숫자를 사용하고, 모든 단위는 미터법을 사용한다.

### 제 14 조 (표 및 그림)

1. 표 및 그림의 제목과 내용은 영문으로 작성한다.
2. 표 번호는 Table 1, Table 2의 순으로 표 상단 좌측에 제목과 함께 명기한다.
3. 그림 또는 사진 번호는 Fig. 1, Fig. 2의 순으로 그림 하단의 중앙에 제목과 함께 명기한다.
4. 본문에 들어가는 도표 및 사진은 수정 없이 바로 인쇄할 수 있도록 작성하여 제출한다. 특별한 경우를 제외하고 컬러인쇄를 하지 않으므로 이에 유의하여 흑백으로 인쇄하여도 식별이 가능하도록 한다.
5. 인용한 도표 및 사진의 경우에는 자료의 출처를 영문으로 작성한다. 국문자료인 경우 영문으로 번역한 출처 마지막에 ‘(in Korean)’을 추가한다.
6. 국문논문은 참고문헌에 표, 그림 출처 문헌을 국문과 영문으로 각각 작성한다. 영문 전환 후 마지막에 ‘(in Korean)’을 추가한다. 영문논문은 영문만 작성한다.

### 제 15 조 (인용문헌, 각주 및 참고문헌 표기법)

#### 1. 인용문헌

가. 본문 중에 인용문헌은 다음과 같이 저자와 발표년도를 기재한다. 단, 필요한 경우에는 인용한 쪽수 (page)를 밝힐 수 있다.

- ① 단독연구: 장병권(2000)에 의하면 ..., Smith(1992, 82~83)는 ..., 이들 연구(유승호, 1996; 임창호, 1998)에 의하면 ..., ... 라는 견해도 있다(황혜선, 1999: 25~27).
- ② 공동연구(2명인 경우): 김주찬·민병일(2003)에 의하면 ..., Getis and Ord(1992)는 ..., ... 라고 말하고 있다(Howe and Linaweaver, 1967; Weeks and McMahon, 1973).
- ③ 공동연구(3명 이상인 경우): 이동필 외(2001)는 ..., ... 라고 지적하였다(Maidment et al., 1985).

나. 국문 저자명은 성과 이름을 다 밝히고, 영문저자명은 성만 기재한다. 일본 저자명은 국문 저자명의 표기방법에 준한다.

#### 2. 각주

가. 본문 중에 부연 설명을 필요로 하는 내용이 있을 경우, 해당 내용의 마지막 글자 오른쪽 어깨에 일련 번호(예: 1), 2), 3), ...)를 붙이고, 해당 페이지 하단에 각주로 처리한다.

나. 각주에서 자료 출처를 밝힐 경우, 표기방법은 인용문헌 작성방법에 준한다.

### 3. 참고문헌

가. 본문에 인용된 문헌만 참고문헌 목록에 표기한다.

나. 참고문헌은 원어로 표기함을 원칙으로 하되, 영문문헌을 제외한 모든 문헌은 영문을 병기하여야 한다.

다. 국문 참고문헌을 가나다순으로 먼저 열거한 후 동양문헌을 기재한다. 그 다음 서양문헌을 알파벳순으로 나열한 후, 인터넷 사이트를 기재한다.

라. 논문의 경우, 저자, 출판년도, 제목, 학술지명 및 페이지를 밝히고, 논문 제목은 “ ”안에 넣는다. 학술지명은 「 」(국문 및 동양문헌) 또는 이탤릭체(서양문헌)로 표시한다.

마. 단행본의 경우, 저자, 출판년도, 서명, 출판지: 출판사의 순으로 기록하고, 서명은 「 」(국문 및 동양문헌) 또는 이탤릭체(서양문헌)로 표시한다.

바. 동일한 저자의 문헌은 연대순으로 나열하고, 동일한 연도의 문헌이 2개 이상 있을 경우에는 순서에 따라 연대 뒤에 a, b, c …를 기입한다.

사. 서양문헌의 첫 번째 저자는 성, 이름순으로 표기하며 두 번째 저자부터는 이름, 성순으로 표기한다.

아. 저자가 복수일 경우, 모든 저자를 다 밝힌다.

자. 영어논문에서 참고문헌 중 국문학술지명을 표기할 때 학술지 고유의 영어명으로 표기하는 것을 원칙으로 한다. 만일, 고유한 영어학술지명이 없는 경우에는 한글 학술지명을 소리나는 대로 적고 괄호속에 학술지명을 영어로 번역하여 표기한다.

차. 한글논문 또는 국문단행본을 영어논문에서 표기할 경우 논문명·단행본명을 영어로 번역한 후 말미에 (in Korean)을 추가하여 한글로 된 참고문헌임을 표기한다.

카. 이상 참고문헌 작성요령의 예시는 아래와 같다.

#### [단행본]

① 국문단행본: 저자(출판년도), 「도서명」, 출판지: 출판사.

- 노용희(1987), 「한국의 지방자치」, 서울: 녹원출판사.

② 영문단행본: 저자(출판년도), 도서명(이탤릭체), 출판지: 출판사.

- McShane, W. (1990), *Traffic Engineering*, Englewood Cliffs: Prentice Hall.

#### [공저에서 특정 저자의 글(챕터)]

③ 국문 단행본 챕터 인용: 저자(출판년도), “제목”, 「도서명」, 대표 편저자, 출판지: 출판사.

- 홍길동(2010), “지방화와 도시경쟁력”, 「지방자치단체 100년」, 박문수, 서울: 을지사.

④ 영문 단행본 챕터 인용: 저자(출판년도), “제목”, in 도서명(이탤릭체), (ed) 대표 편저자, 인용페이지, 출판지: 출판사.

- Kelly, J. D. (2010), “Seeing red: Mao Fetishism, Pax Americana, and the Moral Economy of War.” in *Anthropology and Global Counterinsurgency*, (ed) Beatrice, J., 67~83, Chicago: University of Chicago Press.

### [학회지 등 정기간행물]

- ⑤ 국문논문: 저자(출판년도), “제목”, 「정기간행물명」, 권(호): 쪽 수.
- 최상철(1992), “동북아 연안역의 환경 및 생태계 보존을 위한 협력”, 「환경논총」, 30: 35~106.
  - 박근석·박은규·권치홍·남원석(2011), “Social-mix 단지에서의 입주자참여 및 갈등이 주거만족에 미치는 영향에 대한 탐색적 연구”, 「토지주택연구」, 2(3): 239~247.
  - 조은진·정창무(2007), “생태 및 유비쿼터스 기술과 거주자 특성의 상관성에 관한 연구”, 「대한 국토·도시계획학회 2007 추계학술대회 논문집」, 1,105~1,112.
- ⑥ 영문논문: 저자(출판년도), “제목”, 정기간행물명(이탤릭체), 권(호): 쪽 수.
- Moss, M. L. (1987), “Telecommunications, World Cities, and Urban Policy”, *Urban Studies*, 24(6): 634~546.
  - Nam, Y. and R. Ooka (2011), “Development of Potential Map for Ground and Groundwater Heat Pump Systems and Application to Tokyo”, *Energy and Buildings*, 43: 677~685.
  - Sun, F. P., C. Liang and C. A. Rogers (1994), “Experimental Model Testing Using Piezoceramic Patches as Collocated Sensors - Actuators”, *Proceedings of the 1994 SEM Spring Conference and Exhibits*, Baltimore, MI.
- ⑦ 인쇄 중 또는 미발표 자료: 저자(출판년도), “제목”, 「정기간행물명」(영문은 이탤릭체), (인쇄 중; 영문 in press).
- 김길동(2001), “역사환경 관련법이 농촌지역에 미친 영향”, 「국토계획」(인쇄 중).
  - Gerloff, R. (2002), “Rediscovering the Village”, *Urban Planning* (in press).
- ⑧ 영어논문에서 국문 참고문헌 표기: 저자명(출판년도), “제목”, 정기간행물명(이탤릭체), 권(호): 쪽수 (in Korean).
- Hong, K. D. (2011), “A study on priorities~”, *Journal of Korea Planners Association*, 52: 3~14 (in Korean).

### [학위논문]

- ⑨ 국문학위논문: 저자(취득년도), “논문제목”, 학위명, 취득학교명.
- 홍길동(2011), “도시정비사업을 위한 주민참여적 거버넌스 구축에 관한 논문”, 박사학위논문, LH 토지주택대학.

### [번역서]

- ⑩ 번역서: 역저자명(역)(출판년도), 「도서명」, 출판지: 출판사(원저자명(출판년도), 제목(이탤릭체), 에디션 번호, 출판지: 출판사).
- 송경현, 박용훈(역)(1994), 「교통과 도시계획」, 서울: 명보문화사(Blunden, W. R. and J. A. Black (1984), *The Land-use/Transport System*, 2nd ed., New York: Pergamon Press).

### [정부, 기업 등의 간행물 및 보도자료, 법률 및 고시, 지침]

- ⑪ 정부 간행물: 기관명(발행년도), 「간행물명」, 출판지.  
- 서울특별시(1992), 「하수도 기본계획 재정비 보고서」, 서울.
- ⑫ 정부 보도자료: 보도기관명(연도), “기사명”, 출판지.  
- 국토교통부(2012), “행정중심복합도시 추진 계획”, 경기.  
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2012), “Multifunctional Administrative City”, Gyeonggi-Do.
- ⑬ 법률, 고시, 지침, 판결: 작성기관명(공시 년. 월. 일), “법률명”(부제목).  
- 국토교통부(2021. 5. 21), “공공임대주택 예비입주자 업무처리지침”.  
- 경찰청(2021. 5. 13), “도로교통법” 제2조8항.

### [신문기사]

- ⑭ 신문기사: 기자명(기사 년, 월, 일), “기사명”, 매체명.  
- 고길동(2013. 5. 20), “박근혜 정부의 도시재생정책”, 동아일보.  
- Krugman, A. (2007, May 21), “Fear of Eating”, New York Times.

### [인터넷 및 온라인 자료]

- ⑮ 인터넷 자료
  - 작성일자를 아는 경우: 저자명(기관명)(작성일자), “글제목”, (website이름), URL.  
- 이길동(2013.7.22), “보행자 중심의 가로”, 한국도시계획가협회, [http://www.kiup.org/rg4\\_board](http://www.kiup.org/rg4_board)  
- Posner, R. (2010, Feb 21), “Double Exports in Five Years?”, The Becker-Posner Blog, <http://unchicagolaw.typepad.com/beckerposner/2010/02/double-exports-in-five-years-posner.html>.
  - 작성일자를 모르는 경우: 저자명(기관명), “글제목”, 읽은 날짜. (website이름), URL.  
- 서울특별시, “2003년 서울시 통계연보”, 2014.8.1 읽음. <http://www.metro.seoul.kr/kor2003/main/index.html>.  
- McDonald's Corporation, “McDonald's Hapy Meal Toy Safety Facts”, Accessed July 19, 2009. <http://www.mcdonalds.com/corp/about/factsheets.html>.
- ⑯ 온라인 저널: 저자(발표년도), “제목”, 「정기간행물명」(영문은 이탤릭체), 권(호): 쪽수, DOI.  
- Kossinets, G. and D. J. Watts (2009), “Origins of Homophily in and Evolving Social Network”, *American Journal of Sociology*, 115: 405~450, doi: 10.1086/599247.

### 제 16 조 (기타 등 표기)

1. 연구비의 출처와 사사(謝辭, acknowledgement)는 논문 첫 페이지의 각주에 기재하되, 저자의 소속과 직위 앞에 오도록 한다.
2. 편집위원회는 게재 확정된 논문의 저자명 다음에 원고접수일, 수정원고 접수일과 심사완료일을 기재한다.

3. 게재가 확정된 논문은 저자에게 요청하여 해당논문이 가지는 실무 및 정책적 시사점을 작성하여 결론 부분에 포함시킬 수 있도록 한다.

### 제 3 장 발간 및 기타

#### 제 17 조 (논문 교정)

1. 편집위원회는 심사자의 심사결과 및 수정 확인 결과 ‘게재가’로 최종 판정된 논문에 대해 최종 교정을 담당한다.
2. 편집위원회는 오탈자, 비문(非文), 논리 전개의 오류, 논문의 편집 등을 교정하거나, 저자에게 수정을 요구할 수 있다.

#### 제 18 조 (논문의 게재순서)

1. 논문의 게재순서는 원칙적으로 편집분과별 구성의 순서를 따른다.

#### 제 19 조 (논문게재 편수 제한)

1. 동일한 호수의 논문집에 동일 투고자(주저자, 교신저자 및 공동저자)의 논문은 2편을 초과하여 게재할 수 없다.

#### 제 20 조 (심사료 및 투고료의 지급)

1. 「토지주택연구」에 투고하여 심사가 진행된 논문의 모든 심사자에게는 소정의 심사비를 지급하며, 심사비는 토지주택연구원 원장이 정하는 별도의 기준에 따른다. 단, 심사료는 해당 논문의 게재여부가 최종 확정된 뒤에 지급한다.
2. 주저자가 외부인으로 「토지주택연구」에 투고하여 게재된 논문에 한하여 소정의 투고료를 지급하며, 투고료는 토지주택연구원 원장이 정하는 별도의 기준에 따른다. 단, 투고료는 해당 논문이 최종 발간된 뒤에 지급한다.

#### 제 21 조 (발행 횟수와 시기)

1. 본지는 1년에 4회 발행하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 본지 편집위원회가 필요하다고 인정할 경우 발행횟수를 조정할 수 있다.
2. 본지 발행일은 3월 31일, 6월 30일, 9월 30일, 12월 31일로 한다. 다만, 발행횟수를 조정할 경우, 발행일은 본지 편집위원회에서 정한다.

#### 제 22 조 (발행 부수)

1. 본지의 발행부수와 인쇄의 질 등은 편집위원회에서 정한다.



제 23 조 (논문게재 요청 및 저작권 이양 동의)

1. 토지주택연구에 투고하는 논문의 대표저자는 토지주택연구 논문 저작권 이양 동의서에 서명하여 제출하여야 한다.

부 칙

제 1 조 (시행일)

이 규정은 2024년 01월 18일부터 시행한다.

[별표 1]

「토지주택연구」 투고논문 저자 수정 요청서 양식(안)

논문명	
수정요청 내용	(당초) (수정)
수정요청 사유	

「토지주택연구」 발간 및 편집규정 제8조제4항에 따라 위와 같이 논문저자 수정을 요청합니다.

년 월 일

저자 1	소속:
	직위:
	성명: (인)
저자 2	소속:
	직위:
	성명: (인)
저자 3	소속:
	직위:
	성명: (인)
저자 4	소속:
	직위:
	성명: (인)

\* 투고 당시의 모든 저자가 서명하여야 하며, 필요시 난을 추가하여 기입하십시오.

# 「토지주택연구」 심사규정

2010. 07. 23 제정  
2020. 01. 17 개정  
2020. 08. 04 개정  
2020. 12. 04 개정  
2021. 07. 22 개정  
2021. 12. 23 개정  
2022. 11. 10 개정  
2024. 01. 18 개정

## 제 1 조 (목적)

이 규정은 토지주택연구 편집위원회 규정 제4조에 규정된 「토지주택연구」 투고원고에 대한 심사기준 및 절차에 관한 지침을 정함을 목적으로 한다.

## 제 2 조 (원고모집 공고)

1. 편집위원회는 토지주택연구와 관련 학회의 학술지 및 홈페이지 등에 원고모집에 관한 사항을 게시한다.
2. 원고모집을 공고함에 있어서는 투고절차, 논문작성 및 문헌인용방법, 심사기준 및 절차에 관한 기본적인 사항을 고지하여야 한다.

## 제 3 조 (원고접수)

1. 편집위원회 간사(이하 편집간사)는 원고를 접수하고, 각 투고자에게 접수결과를 통보한다.
2. 편집간사는 투고자의 인적사항, 논문제목, 접수일자, 분량 등을 기재한 접수결과표를 작성하여 편집위원장에게 송부한다.
3. 편집위원장은 원고가 편집위원회에서 정한 발간 및 편집규정에 현저히 위배된다고 판단하는 경우에는 투고자에게 수정을 요구할 수 있다.

## 제 4 조 (심사위원의 선정 및 심사원고 송부)

1. 편집위원장은 각 투고원고에 대해 3인의 심사위원을 선정하고, 각 심사위원에게 심사기한을 정해주고 심사원고를 송부한다. 논문 심사기간은 원칙적으로 2주 이내로 한다.
2. 심사위원을 선정함에 있어서는 해당분야에 대한 심사위원의 전문성을 고려하고 심사의 공정성을 기할 수 있도록 유의한다. 투고자와 동일한 소속기관에 종사하는 자 등 심사의 공정성을 해칠 우려가 있는 심사자의 위촉은 원칙적으로 배제한다.
3. 심사원고에는 투고자의 인적사항이 기재되어서는 안 되며, 이미 기재되어 있거나 내용 가운데 인적사항을 추론할 수 있는 부분은 삭제한다.

## 제 5 조 (투고원고에 대한 심사)

1. 심사위원은 투고원고를 심사 후 심사평가서(심사의견, 판정결과)를 작성하여 심사기간 내에 온라인 저널투고시스템에 제출토록 한다.
2. 심사위원은 투고원고를 심사함에 있어서 주제의 창의성, 연구방법의 적절성, 내용의 완결성, 논문작성

및 문헌인용방법의 정확성, 연구결과의 학문적 기여도 등을 심사기준으로 한다.

## 제 6 조 (투고원고에 대한 게재여부의 결정)

1. 편집위원장은 심사위원의 심사평가가 완료된 후 투고원고에 대한 게재여부의 결정을 위한 편집회의를 개최한다.
2. 편집위원장은 심사결과표를 작성하여 편집회의에 보고하고, 편집회의에서는 이를 토대로 게재여부를 결정한다. 다만 투고원고의 게재여부에 대한 최종결정이 있을 때까지 투고자 및 심사위원의 인적사항이 공개되지 않도록 유의하여야 한다.
3. 투고원고에 대한 게재여부 판정은 다음 심사기준표의 기준에 의해 게재가, 수정후게재, 수정후재심, 게재불가를 판정한다.

심사위원1	심사위원2	심사위원3	심사결과
게재가	게재가	게재가	게재가
게재가	게재가	수정후게재	수정후게재
게재가	게재가	수정후재심	수정후게재
게재가	게재가	게재불가	수정후게재
게재가	수정후게재	수정후게재	수정후게재
게재가	수정후게재	수정후재심	수정후게재
게재가	수정후게재	게재불가	수정후게재
게재가	수정후재심	수정후재심	수정후재심
게재가	수정후재심	게재불가	수정후재심
게재가	게재불가	게재불가	게재불가
수정후게재	수정후게재	수정후게재	수정후게재
수정후게재	수정후게재	수정후재심	수정후게재
수정후게재	수정후게재	게재불가	수정후게재
수정후게재	수정후재심	수정후재심	수정후재심
수정후게재	수정후재심	게재불가	수정후재심
수정후게재	게재불가	게재불가	게재불가
수정후재심	수정후재심	수정후재심	수정후재심
수정후재심	수정후재심	게재불가	수정후재심
수정후재심	게재불가	게재불가	게재불가
게재불가	게재불가	게재불가	게재불가

### ※ 심사판정 기준

- ① 게재가: 현재 상태로 논문을 그대로 토지주택연구에 게재해도 되는 경우
- ② 수정후게재: 경미한 수정을 한 후 추가 심사절차 없이 토지주택연구에 게재해도 되는 경우(다만, 수정후게재에 해당하는 판정에 대해서도 위원회에서 게재 전에 수정한 결과를 확인할 필요가 있을 경우 위원회에 알릴 수 있다.)
- ③ 수정후재심: 논문의 내용 및 방법론에 문제가 있으나, 수정이 가능하고 심사자가 수정결과를 확인

하고자 다시 심사를 해야 하는 경우

- ④ 게재불가: 논문의 내용 및 방법론에 결정적인 문제가 있어 수정이 불가능하다고 여겨지는 경우
4. 게재불가로 판정받은 논문을 재투고할 경우는 게재불가 사유로 지적된 내용을 반영하여 재투고할 수 있다.
5. 재투고 논문의 제목과 내용은 기존논문과 달라야 하며 재투고가능여부는 편집위원회에서 결정한다. 다만, 이 경우 다른 원고와 동일한 조건에서 심사과정을 거치게 된다.
6. 편집위원장은 게재가 확정된 논문에 한해 표절검사를 실시하고, 그 결과를 바탕으로 저자에게 수정을 요구할 수 있다.

#### 제 7 조 (심사결과 통보, 논문 수정기간 및 이의 신청)

1. 편집위원장은 편집회의 후 즉시 각 투고자에게 결정 결과 및 이유, 사후 절차를 내용으로 하는 공문을 발송한다.
2. 게재가 또는 수정후게재인 경우 투고자는 심사결과를 통보받은 후 6개월 이내에 최종본을 제출하여야 하며, 부득이한 경우 6개월을 연장할 수 있다.
3. 수정후재심인 경우 투고자는 심사결과를 통보받은 후 원칙적으로 3개월 이내에 수정논문을 제출하여야 하며, 그렇지 않은 경우 논문투고를 포기한 것으로 간주한다. 단, 수정논문을 3개월 이내에 제출할 수 없을 경우에는 사전에 사유서를 제출하여야 하고, 편집위원회가 사유를 인정하면 허용된다.
4. 게재불가 결정을 받은 투고자는 편집위원장에게 이의신청을 할 수 있으며, 편집위원장은 이의신청에 대해서 가결 또는 기각여부를 결정한다.
5. 편집위원장이 이의신청에 대해 가결을 결정한 때에는 심사위원을 다시 선정하고 심사를 의뢰하여 그 결과에 따라 게재가 또는 게재불가 결정을 한다.

#### 제 8 조 (최종원고의 제출, 교정 및 편집)

1. 게재가의 결정을 통보 받은 투고자는 정해진 기간 내에 최종원고를 작성하여 편집간사에게 제출한다.
2. 최종원고에 대한 교정 및 편집에 관한 사항은 편집위원장이 결정하며, 필요한 때에는 최종원고를 투고자에게 송부하여 교정을 볼 수 있게 할 수 있다.

#### 제 9 조 (논문게재예정증명서의 발급)

편집위원장은 학술지 발행 이전에 최종적으로 게재가 확정된 원고에 대하여 투고자의 신청이 있는 경우에는 ‘논문게재 예정증명서’를 발급한다.

#### 제 10 조 (게재논문의 전자출판)

게재가 확정된 논문은 전자출판을 원칙으로 한다.

## 부 칙

#### 제 1 조 (시행일)

이 규정은 2024년 01월 18일부터 시행한다.

# 「토지주택연구」 편집위원회 규정

2010. 07. 23 제정  
2016. 07. 29 개정  
2020. 01. 17 개정  
2020. 12. 04 개정  
2024. 02. 21 개정

## 제 1 조 (목적)

이 규정은 한국토지주택공사 토지주택연구원(이하 ‘LHRI’라 칭함)의 「토지·주택·도시와 관련된 정책·제도 및 건설·환경분야 학술지」(이하 ‘토지주택연구’ 이라 칭함) 발간을 위한 편집위원회의 구성과 운영에 관한 사항을 정함을 목적으로 한다.

## 제 2 조 (구성)

1. 편집위원의 구성은 LHRI 및 국내외의 국토·주택, 도시, 부동산, 건축, 토목 등 각 연구분야 전문가로 위촉하며 외부위원의 수가 전체 편집위원회의 과반수가 되도록 한다.
2. 편집위원장을 제외한 편집위원은 편집부위원장, 편집분과장, 내외부 편집위원으로 구성한다.
3. 「토지주택연구」의 국제화를 위하여 영문초록 등의 질을 제고할 수 있도록 Abstract Editing Committee를 구성한다.

## 제 3 조 (편집위원의 선임 및 임기)

1. 편집위원장은 LHRI 원장이 선임한다.
2. 편집부위원장, 편집분과장과 편집위원은 편집위원장이 추천하고 LHRI 원장이 선임한다.
3. LHRI 원장은 위원회의 업무를 효율적으로 지원하기 위하여 간사를 선임할 수 있다.
4. 편집위원의 임기는 2년으로 하며, 연임할 수 있다.

## 제 4 조 (편집위원장의 업무)

편집위원장의 주요업무는 다음과 같다.

1. 편집위원 추천과 편집분과장회의와 편집위원회 소집 및 운영
2. 학술지 편집에 관한 내용 기획 및 총괄
3. 투고된 원고의 심사를 위한 심사위원 선임, 심사의뢰 및 심사내용 통보
4. 윤리위원회 구성, 연구윤리위반 사항 발생시 윤리위원회에 심의 의뢰 및 윤리위원회의 결정을 당해 투고자에 통보
5. 기타 편집위원회 운영에 필요한 업무



## 제 5 조 (편집부위원장 및 편집분과장의 업무)

편집부위원장과 편집분과장의 주요업무는 다음과 같다.

1. 편집위원장 주관 편집분과장회의 참석
2. 편집부위원장은 편집위원장 유고시의 업무대행
3. 해당분과 편집위원 추천과 분과위원회 소집 및 운영
4. 해당분과 학술활동 기획 및 건의
5. 해당분과 투고논문 심사위원 추천
6. 편집위원장 판정 해당논문의 게재여부 판정에 대한 지원
7. 기타 편집위원장이 요청한 사항과 편집분과의 운영에 필요한 업무

## 제 6 조 (편집위원회의 업무)

이 위원회의 주요업무는 다음과 같다.

1. 학술지의 편집 및 출판, 원고의 모집 및 게재여부 판정 등 학술지 편집에 관한 제반업무를 관장
2. 투고 및 심사 등 편집위원회의 업무와 관련된 지침의 제·개정
3. 기타 편집위원장이 필요하다고 판단하는 업무

## 제 7 조 (운영)

1. (정기회의) 편집위원회는 학술지 발행과 맞추어 연 4회 개최한다.
2. (임시회의) 편집위원장이나 편집위원 과반수의 요구가 있는 경우 편집위원장이 소집할 수 있다.
3. 본 위원회의 의결은 편집위원 1/3 이상의 출석과 출석위원 과반수의 찬성에 의한다.
4. 다만, 사전에 위임한 자는 출석한 것으로 간주한다.

## 제 8 조 (편집위원 회의비)

편집위원이 편집위원회와 관련된 회의에 참석하는 경우, LHRI 원장이 정하는 별도의 기준에 따라 소정의 회의비가 지급된다.

# 부 칙

## 제 1 조 (시행일)

이 규정은 2024년 02월 21일부터 시행한다.

# 「토지주택연구」 윤리규정

2010. 07. 23 제정  
2020. 01. 17 개정  
2021. 05. 14 개정  
2021. 07. 22 개정  
2022. 07. 22 개정  
2024. 01. 18 개정

## 제 1 장 총 칙

### 제 1 조 (목적)

이 규정은 「토지주택연구」의 연구활동과 관련하여 연구윤리를 확립하고 연구부정행위를 사전에 예방하며, 연구부정행위 발생시 공정하고 체계적인 진실성 검증과 처리를 위한 편집위원회 산하 연구윤리위원회(이하 ‘윤리위원회’라 한다)의 운영에 관한 기본적인 사항과 연구윤리위반에 대한 조치, 그 절차 등 제반사항을 규정함을 목적으로 한다.

### 제 2 조 (연구윤리규정 서약)

「토지주택연구」에 투고한 저자는 연구윤리규정(이하 ‘윤리규정’이라 한다)에 서약한 것으로 간주한다.

### 제 3 조 (연구윤리규정 위반 행위 범위)

연구윤리규정 위반행위는 다음의 연구부정행위와 명예침해 행위를 포함한다.

1. 연구의 부정행위는 다음 각호와 같이 연구의 제안·수행 및 연구결과의 발표과정에서 위조·변조·표절·부당한 저자표시·자료의 중복사용 등으로 연구의 진실성을 해치는 행위를 말한다.
  - 가. ‘위조’라 함은 자료나 연구결과를 허위로 만들고 이를 기록하거나 보고하는 행위를 한다.
  - 나. ‘변조’라 함은 연구와 관련된 자료·과정·결과를 사실과 다르게 변경하거나 누락시켜 연구가 진실에 부합하지 않도록 하는 행위를 말한다.
  - 다. ‘표절’이라 함은 원저자의 아이디어·논리·고유한 용어·데이터·연구과정·분석체계·연구 결과 등을 출처를 밝히지 않고 임의로 활용하는 경우와 출처를 밝혔지만 인용부호 없이 타인의 저술이나 논문의 문구와 아이디어 등을 원문 그대로 옮기는 경우를 말한다.
  - 라. ‘부당한 저자 표시’는 연구내용 또는 결과에 대하여 학술적 공헌 또는 기여를 한 사람에게 정당한 이유 없이 저자자격을 부여하지 않거나, 학술적 공헌 또는 기여를 하지 않은 자에게 저자 자격을 부여하는 행위를 말한다.
2. 중복 게재와 관련된 사항은 다음을 따른다.
  - 가. 국내 한국연구재단 등재지, 등재후보지 또는 국외 학술지에 게재된 논문이나 이와 유사한 논문은 「토지주택연구」에 투고, 게재할 수 없다.

- 나. 교내학술지 등 한국연구재단 등재지나 등재후보지가 아닌 학술지에 게재된 논문은 수정·보완된 경우에 한하여 「토지주택연구」에 투고, 게재할 수 있으며, 이 경우 반드시 그 수정·보완 사실을 명시하여야 한다.
  - 다. 학술대회 등에서 발표된 논문이나 그 일부를 그대로 또는 수정·보완하여 「토지주택연구」에 투고하는 경우에는 반드시 그 사실을 명시하여야 한다.
  - 라. 연구보고서나 그 일부를 그대로 또는 수정·보완하여 「토지주택연구」에 투고하는 경우에는 반드시 그 사실을 명시하여야 한다.
3. 「토지주택연구」에 투고하는 논문은 국내 다른 한국연구재단 등재지, 등재후보지나 국외 학술지에 동시에 또는 선·후에 관계없이 중복 투고할 수 없으며, 그 대상은 심사과정 중에 있는 논문을 포함한다.
  4. 투고논문에 대한 심사를 의뢰 받은 심사자는 본 윤리규정을 준수하여 심사하여야 한다.
  5. 정당한 이유 없이 타인의 명예를 침해하는 표현을 사용하는 행위를 포함한다.
  6. 투고자는 이해상충, 특수관계인 정보제공, 생명윤리, 젠더혁신정책 등 윤리준수 사항을 준수하고, 편집위원회와 논문심사자는 공정한 심사를 위해 관련 규정을 준수하여야 한다.

#### 제 4 조 (연구윤리규정 위반행위 판정 및 벌칙)

1. 연구윤리규정 위반에 대한 제보가 있으면, 편집위원장은 검증조사를 위한 필요한 조치를 취한다.
  - 가. 편집위원장은 위반내용을 확인하고 연구윤리위원회 심의안건으로 상정한다.
  - 나. 연구윤리위원장은 필요시 조사위원회를 선임하여 검증절차를 진행한다.
  - 다. 편집위원장은 윤리위원회의 판정결과와 사유를 당해 투고자에게 통보한다.
  - 라. 피조사자가 이의신청을 한 경우 윤리위원장은 재판정을 위하여 윤리위원회를 개최하고 조사위원회와 제보자, 피조사자의 진술을 듣는다.
2. 조사결과 위반행위가 인정된 경우 다음의 조치를 취한다.
  - 가. 편집위원장은 홈페이지와 토지주택연구에 연구윤리규정 위반행위에 대해 공시한다.
  - 나. 당해 투고논문은 게재 취소되며, 이미 게재된 논문에 대해서는 토지주택연구 논문목록에서 삭제한다.
  - 다. 당해 투고자는 향후 3년 동안 토지주택연구에 투고하는 것을 금지한다.

## 제 2 장 연구윤리위원회

#### 제 5 조 (구성)

본 운영규정의 목적을 달성하기 위하여 연구윤리위원회를 설치하여 운영한다.

1. 제보 등으로 연구윤리위반의 의심이 드는 때에는 편집위원장이 윤리위원회를 구성한다.
2. 윤리위원회 위원은 편집위원회 위원장이 선임한다.
3. 윤리위원회는 편집위원장을 포함하여 7인 이내로 구성한다.

4. 윤리위원회 위원장은 편집위원이 아닌 위원 중에서 호선으로 한다.
5. 윤리위원회의 간사는 본 편집간사가 겸하며, 간사는 의결권을 가지지 아니한다.

#### 제 6 조 (기능)

위원회는 「토지주택연구」의 연구윤리 확립과 관련된 다음 각호의 사항을 심의·의결한다.

1. 연구부정행위의 조사에 관한 사항
2. 연구부정행위 조사결과에의 처리 및 후속조치에 관한 사항
3. 기타 연구윤리의 확립과 관련하여 위원장이 부의하는 사항

#### 제 7 조 (심의 및 의결)

1. 위원회 회의는 위원 과반수의 출석과 출석위원 3분의 2이상의 찬성으로 의결한다.
2. 심의·의결의 공정을 기하기 어려운 사유가 있는 위원은 당해 심의·의결에 관여할 수 없다.
3. 연구윤리규정위반 심사대상자에게는 결정에 앞서 소명의 기회를 부여하여야 한다.
4. 필요한 경우 위원이 아닌 자를 회의에 참석시켜 의견을 들을 수 있다.
5. 회의는 비공개로 원칙으로 한다.
6. 기타 사항은 위원회에서 결정한다.

#### 제 8 조 (위원회 및 위원의 준수사항)

1. 위원회 및 위원은 본 연구윤리 규정에 의거하여 심의·의결하여야 한다.
2. 위원회 및 위원은 제보자의 신원 등 위원회 직무와 관련하여 취득한 사항에 대하여 비밀을 유지하여야 한다.

#### 제 9 조 (비밀유지의 의미 등)

1. 위원회는 제보자를 보호하고 피조사의 명예를 부당하게 침해하지 않도록 노력하여야 한다.
2. 제보·조사·심의·의결 및 건의 등과 관련된 일체의 사항은 비밀로 하되, 상당한 공개의 필요성이 있는 경우 위원회의에서 의결을 거쳐 공개할 수 있다.
3. 위원회에 참여한 위원은 심의·의결 등의 조사과정에서 취득한 정보를 누설해서는 안된다.

#### 제 10 조 (경비)

LHRI는 위원회의 운영에 필요한 경비가 발생할 경우 예산의 범위 내에서 지급할 수 있다.

### 부 칙

#### 제 1 조 (시행일)

이 규정은 2024년 01월 18일부터 시행한다.

## 「토지주택연구」 논문을 모집합니다

한국토지주택공사 토지주택연구원(LHRI)은 토지·주택·도시 분야에서 정책과 기술을 망라하는 학술교류의 장을 마련하기 위해 「토지주택연구(Land and Housing Review)」를 발간하고 있습니다. “토지·주택·도시와 관련된 정책·제도 및 건설·환경분야”의 논문을 수시로 모집하고 있사오니 관심있는 분들의 많은 투고를 바랍니다.

• 원고매수: A4 용지 2단 편집 10매 내외

• 논문분야: 토지·주택·도시와 관련된 정책·제도 및 건설·환경 기술 분야

인문·사회 (Humanities & Social Science)	국토(국토 및 지역계획, 도시행정, 해외 및 북한도시개발 등), 주택(주거복지, 주택관리, 주거학 등)
	도시(도시계획, 생태·환경계획, 조경·경관계획 교통계획, 공간정보 등)
	부동산(토지·부동산시장분석, 부동산금융, 부동산 개발, 주택경제 등)
공학·기술 (Engineering Science & Technology)	건축(건축계획 및 설계, 건축구조, 건축환경, 건축설비 및 에너지, 건축시공 등)
	토목(지반, 도로, 구조재료, 토목환경, 건설관리, 스마트건설, 수자원 등)

### • 작성방법

- 원고는 「토지주택연구」 논문작성 방법에 따라 작성해야 합니다.
- 「토지주택연구」의 논문작성 방법 등 관련 양식 및 규정은 토지주택연구원 홈페이지 ‘논문투고’ 메뉴를 참조하시기 바랍니다.

• 논문접수: 수시모집

• 발간주기: 계간(3월 31일, 6월 30일, 9월 30일, 12월 31일)

### • 제출처 및 문의

- 제출처: 토지주택연구원 홈페이지(<https://lhri.lh.or.kr>) 메인화면 ‘논문투고’
- 문 의: Tel) 042-866-8518, Fax) 042-866-8638, E-mail) [lhreview@lh.or.kr](mailto:lhreview@lh.or.kr)

※ 「토지주택연구」는 토지·주택·도시와 관련된 정책·제도 및 건설·환경기술 관련 연구를 장려하기 위해 투고료 및 심사료를 받지 않습니다.



### Special Issue : Application of Smart Construction Techniques for Infrastructure Project

#### Featured Paper

- 1 Investigating the Effects of Training Image Dataset's Size and Specificity on Visual Scene Understanding AI in Construction  
Jinwoo Kim · Seokho Chi
- 11 Condition Assessment of Bridge by BIM-based Integrated Model Reflecting Damage  
Inseop Yun · Khuvilai Erdene · Sang-Ho Lee
- 21 Development and Demonstration of an Integrated Digital Construction Platform for LH Complex Development Projects  
Soohyun Park · Jongwon Seo
- 33 Adaptive Energy Management Technique for UGV-Mounted Multi-Sensors in Monitoring Ground Subsidence Adjacent to Urban Excavation Sites  
Jung Woo Kim · Jinman Jung · Seoyoen Kim · Young-Hoon Jung · Hong Min · Taesik Kim

#### General Paper

- 43 Residential Mobility Choices of Elderly Households in the Seoul Metropolitan Area : An Analysis of the Length of Residence  
Chongmi Choi · Kyounghee Kim · Mihwa Lim
- 59 The Regulation Effects of the Nature Preservation Region on the Distribution of Industrial Sites  
Sung-Koo Park · Chang-Soo Lee · Goog-Il Byun
- 81 Mitigating Urban Flood Risk with Green Infrastructure : A Case Study of Gurye-gun, Jeollanam-do  
Jisoo Sim · Hyeongsu Koo
- 97 Diagnosing Regional Imbalances and Implications for Balanced Development : A Case Study of Sejong City  
Jaeun Lee · Pilju Joo · Yangho Song
- 111 A Comparative Analysis on the Effect of Housing Funds Special Deductions and Monthly Rent Tax Credit on Housing Ownership for Non-Homeowning Wage Earners  
Sung Tai Kim · Min-hye Jo · Byung In Lim
- 125 A Study on the Impact of Crime Rates and Perceived Safety on Housing Prices using a Panel Model  
Eun-Kook Han · Jae-Ho Chung
- 141 Investigation on the Acoustic Conditions of Active Classrooms in Accordance with the Students and Classroom Activities  
Young-Ji Choi
- 151 Analysis of Slab Vibration Effects of Bearing Wall and Impacting Point in Apartment Building  
Suhong Kim · Jongkwan Ryu · Jaeseung Hwang · Taemin Kim