

# 토지주택연구

Land and Housing Review

Vol. 15 No. 2

056

June 2024

## 특집호 : 탄소중립을 위한 제로에너지건축 및 그린리모델링

### 특집논문

- 1 노후 공공도서관의 그린리모델링 적용 요소 조합에 따른 우선순위 도출  
심성진 · 임세현 · 김성은 · 송용우
- 9 그린리모델링 효과평가를 위한 표준공동주택  
정밀에너지해석모델 보정과 검증  
서동현
- 19 탄소중립 건물의 기술적 정의와 사례 분석을 통한  
탄소중립 달성 잠재성 분석  
정민희
- 29 그린리모델링 성과 평가 관점에서 본 준공 시점 단열 성능  
검증의 중요성  
임승민 · 김소연 · 강창호 · 김가인 · 임종연

### 일반논문

- 39 청년의 주거독립에 미치는 영향과 정책적 시사점  
정윤희 · 성진욱
- 57 재해정보를 고려한 태양광발전시설의 취약성 평가에 관한  
연구  
표희진
- 73 우리나라 대도시권 통근 효율성 비교: MAUP 회피를  
위한 Constrained Monte-Carlo Simulation의 활용  
윤현성 · 김승남
- 89 서대구역 개발이 주변 아파트 시장에 미치는 영향 분석:  
교육환경이 미치는 영향을 중심으로  
박현택 · 김진업
- 107 청년농업인 유형화 및 결정요인 분석: 전남 무안군  
청년농업인 중심으로  
이항미 · 김종하
- 125 BIM 기반 설계안전성검토의 업무 절차와 활용 방안  
에 관한 연구  
황재웅 · 윤희택 · 배준현 · 박영근

ISSN 2093-8829 (PRINT) | ISSN 2234-1765 (ONLINE)



Land and Housing Research Institute  
Korea Land & Housing Corporation

## 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

# 탄소중립, 그린리모델링 및 제로에너지건물

Carbon Neutral, Green Remodeling & Zero Energy Building

최근 우리 사회의 가장 큰 이슈 중 하나가 탄소중립이다. 특히, 기후변화에 따른 온실가스 저감을 위하여 건축분야에서는 그린리모델링 및 제로에너지건물을 중요하게 다루고 있다. 탄소중립은 인간의 활동에 의한 온실가스 배출을 최대한 줄이고, 남은 온실가스는 흡수, 제거해서 실질적인 배출량을 0(Zero)으로 만든다는 개념으로 Net-Zero, Carbon Zero라고도 한다.

그린리모델링이란 노후건축물의 에너지성능 향상 및 효율 개선 그리고 실내쾌적도 향상을 위한 환경친화적 리모델링을 말한다.

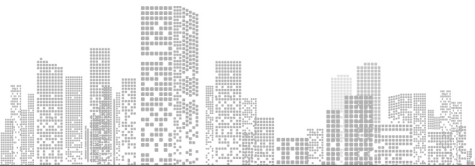
제로에너지건물(Zero Energy Building, 이하 ZEB)은 일정 기간동안 계산된 순 에너지소비 및 탄소 배출이 전혀 없는 건축물이다. 에너지 절약형 건축설계기법(Passive)과 에너지 고효율시스템(Active)을 활용해 건축물의 에너지 소요량을 최소화하고, 나머지 에너지 소요량은 신재생에너지 등을 활용해 현재의 화석연료기반 에너지원 사용을 지양하는 것이다.

토지주택연구 건축분과 위원회에서는 정부의 정책에 부응하고 탄소중립을 홍보하기 위하여 탄소중립의 사례와 잠재효과 그리고 그린리모델링의 적용요소와 효과에 관련된 연구를 특집으로 기획하였다.

이 특집 논문이 탄소중립에 대한 인식 확산과 저변 확대의 창구로 활용될 수 있기를 기대한다.

토지주택연구 건축분과 편집분과장 **박진철**





## CONTENTS

# 토지주택연구

Land and Housing Review

Vol. 15 No. 2 (056) June 2024

### 특집호 : 탄소중립을 위한 제로에너지건축 및 그린리모델링

#### 특집논문

- 1 노후 공공도서관의 그린리모델링 적용 요소 조합에 따른 우선순위 도출  
심성진 · 임세현 · 김성은 · 송용우
- 9 그린리모델링 효과평가를 위한 표준공동주택 정밀에너지해석모델 보정과 검증  
서동현
- 19 탄소중립 건물의 기술적 정의와 사례 분석을 통한 탄소중립 달성 잠재성 분석  
정민희
- 29 그린리모델링 성과 평가 관점에서 본 준공 시점 단열 성능 검증의 중요성  
임승민 · 김소연 · 강창오 · 김가인 · 임종연

#### 일반논문

- 39 청년의 주거독립에 미치는 영향과 정책적 시사점  
정윤혜 · 성진욱
- 57 재해정보를 고려한 태양광발전시설의 취약성 평가에 관한 연구  
표희진
- 73 우리나라 대도시권 통근 효율성 비교: MAUP 회피를 위한 Constrained Monte-Carlo Simulation의 활용  
윤현성 · 김승남
- 89 서대구역 개발이 주변 아파트 시장에 미치는 영향 분석: 교육환경이 미치는 영향을 중심으로  
박현택 · 김진엽
- 107 청년농업인 유형화 및 결정요인 분석: 전남 무안군 청년농업인 중심으로  
이항미 · 김종하
- 125 BIM 기반 설계안전성검토의 업무 절차와 활용 방안에 관한 연구  
황재웅 · 윤희택 · 배준현 · 박영곤

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

**전 화** 042 866 8518

**팩 스** 042 866 8638

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

**발행인** 김 연 중

**인쇄처** (주)에이퍼브  
02 2274 3666

**인쇄일** 2024년 6월 28일

**발간일** 2024년 6월 30일

#### 저널발간팁

김두한 김하룡 신도겸 오명택 송기욱  
김태민 이동건 서형중

# 토지주택연구

Land and Housing Review

Vol. 15 No. 2 [056] June 2024

## Special Issue : Zero Energy Architecture and Green Remodeling for Carbon Neutrality

### Featured Paper

- 1 Deriving Priorities Based on Combination of Green Remodeling Application Elements in Old Public Libraries  
Sung Jin Sim · Se Hyeon Lim · Seong Eun Kim · Yong Woo Song
- 9 Calibration and Verification of Detailed Prototypical Apartment Building Energy Models for Estimation of Green Remodeling Feasibility  
Donghyun Seo
- 19 Analysis of Potential to Achieve Carbon Neutrality through Technical Definition and Case Study of Carbon-Neutral Buildings  
Min Hee Chung
- 29 Importance of Preliminary Validation of Exterior Wall Thermal Resistance in the Evaluation Context of Building Energy Retrofit Projects  
Seungmin Lim · Soyeon Kim · Changoh Kang · Gain Kim · Jongyeon Lim

### General Paper

- 39 Residential Independence of Youth and Policy Implications  
Yoonhye Jung · Jinuk Sung
- 57 A Study on the Vulnerability Assessment of Solar Power Generation Facilities Considering Disaster Information  
Heejin Pyo
- 73 Commuting Efficiency Comparison of Metropolitan Areas in South Korea: Application of Constrained Monte-Carlo Simulation to Avoid the MAUP  
Hyunseong Yun · Seung-Nam Kim
- 89 Effects of Seodaegu Station Development on the Surrounding Apartment Market: Focus on the Effects of Educational Environment  
Hyeontaek Park · Jinyhup Kim
- 107 A Study on the Types and Determinants of Young Farmers: Focusing on Young Farmers in Muan-gun, Jeollanam-do  
Hyangmi Yi · Jongha Kim
- 125 Workflow Procedures and Applications in BIM-based Design for Safety (Dfs)  
Jaewoong Hwang · Heetaek Yoon · Junhyun Bae · Youngkon Park



## CONTENTS

# 노후 공공도서관의 그린리모델링 적용 요소 조합에 따른 우선순위 도출\*

## Deriving Priorities Based on Combination of Green Remodeling Application Elements in Old Public Libraries

심성진\*\* · 임세현\*\*\* · 김성은\*\*\*\* · 송용우\*\*\*\*\*

Sung Jin Sim\*\* · Se Hyeon Lim\*\*\* · Seong Eun Kim\*\*\*\* · Yong Woo Song\*\*\*\*\*

### Abstract

The Ministry of Land, Infrastructure, and Transport has been promoting strengthening energy efficiency of old buildings through public green building remodeling projects since 2020. Green remodeling includes both essential and optional construction of passive and active elements. However, there is a lack of integrated designs of passive and active systems and no standards for prioritizing these systems according to the building's age. Therefore, this study examined six public libraries in central region 2 that were expected to be high energy consuming. Remodeling strategy priorities were selected based on potential energy reduction. The libraries were divided into three groups based on their year of construction, completed in the 1980s (Model 1), 1990s (Model 2), and 2000s (Model 3). ECO2-OD, based on ISO 13790 and DINV 18599, was used as the primary energy consumption analysis tool. Simulation results indicated Model 1 and Model 2 benefited most from higher insulation and replacement of mechanical equipment. Model 3 benefited most from upgrading to more energy efficient windows.

**Keywords:** Old Buildings, Library, Green Remodeling, Passive & Active Elements, Priority

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 파리기후협약을 시작으로 전 세계적으로 지구 온난화에 따른 기후 위기에 대응하기 위해 나라별로 국가 온실가스감축 목표를 제시하고 실행하

기로 합의하였다(국토교통부, 2021). 이에 따라 대한민국 정부는 2023년 “2030 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획(안)”을 발표하였으며, 온실가스 배출량을 2018년 대비 2030년에 40%로 줄이는 것을 목표로 설정하였다(관계부처합동, 2023). 특히, 건물 부문에서는 32.8% 감축을 목표로 설정하여 정부는

\*이 논문은 22년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2022R1A6A3A01086791, No. 2023R1A2C1006066 RS-2023-00217322).

\*\*중앙대학교 건축공학과 석사과정(주저자: ssj3029@cau.ac.kr)

\*\*\*중앙대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\*\*중앙대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\*\*\*중앙대학교 건축공학과 박사 후 연구원(교신저자: yongma0930@cau.ac.kr)

신축 건물의 제로에너지화 및 기존 건물의 그린리모델링 등 에너지효율 강화를 추진하고 있다. 이를 위해 국토교통부는 2020년부터 공공건축물 그린리모델링 사업을 통해 노후 건축물의 에너지효율 강화를 추진하고 있다(국토교통부, 2023b).

노후 건축물의 성능 저하로 인한 에너지 효율성에 관한 선행연구로는 Waddictor et al.(2016)의 논문을 통해 준공 후 10년 이상 된 건축물들은 성능 저하로 인해 에너지 효율성이 낮아진다는 문제가 있다는 것을 확인하였으며, 이를 통해 건물의 에너지 효율성이 낮아지면 건물의 온실가스 배출량이 증가함으로 에너지 효율성 강화가 중요하다는 점이 확인되었다. 또한, 최선우 외(2021)와 김성민(2017)에 따르면 건물의 에너지 효율성을 강화하기 위해서는 단열 강화, 고효율 설비 사용 등의 사용이 효과적임을 확인하였다. 선행연구를 바탕으로 확인한 결과, 노후 건축물의 에너지 절감을 위해선 패시브적, 액티브적 요소가 모두 고려되어야 한다.

패시브 및 액티브 요소의 공사로는 필수공사와 선택공사가 있다. 그러나 현재는 패시브와 액티브 시스템의 통합설계가 부족하며 건축물의 노후도에 따른 적용 요소들의 우선순위에 대한 기준이 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 노후 건축물의 효과적인 그린리모델링을 위해 그린리모델링 필수공사 시 적용되는 요소 조합들의 우선순위를 선정하여 상위 3개의 우선순위를 도출하였다. 이를 위해 노후 건축물

중 많은 사람들의 이용이 가능하며, 에너지 사용량이 높을 것으로 예상되는 공공도서관 건물을 대상으로 적용 요소의 우선순위 도출에 활용하고자 하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

공공도서관이란 장우권 외(2014)에 따르면 지자체, 교육청, 사립으로 운영 중이며 지역 정보, 통계, 문화 활동, 서적 등을 제공하는 곳으로 정의할 수 있다. 이러한 건물 특성으로 남녀노소를 불문하고, 지역 주민 및 초·중·고·대학생, 어린이 등 다양한 계층이 이용하는 시설로 각 지자체별로 보유하고 있다.

이와 같은 국내 도서관수는 2020년 기준 7,565개이며, 10년 이상 노후화된 도서관은 3,620개로 전체 47.3%에 해당하여(국가도서관 통계시스템, 2024), 그린리모델링을 통한 에너지 성능 개선이 필요한 상황이다.

따라서, 중부 2지역에 위치한 공공도서관 6개소를 선정하였으며, 해당 건물들의 연면적, 규모, 창면적비 등의 기본사항을 활용하여 이를 바탕으로 Base 모델을 설정하였다. 대상 공공도서관을 준공 연도별로 Table 1과 같이 분류하였다.

Base 모델을 활용하여 연도별 법적 기준 변화와 사례 분석을 통해 얻은 데이터를 통해 Model 1~3을 설정하였다. 해당 조건 별 건물 에너지 성능분석은 ISO 13790(건물의 에너지 성능) 및 DIN V 18599를 기반으로 만들어진 ECO2-OD를 이용하였다(Chung et al., 2023). 분석된 ECO2-OD의 1차 에너지소요량

**Table 1.** Classification of Library

| Variables                          | Model 1<br>(1980s) |       | Model 2<br>(1990s) |       | Model 3<br>(2000s) |       |
|------------------------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
| Library                            | A                  | B     | C                  | D     | E                  | F     |
| Total Floor Area (m <sup>2</sup> ) | 3,605              | 4,932 | 1,164              | 4,190 | 7,923              | 4,200 |
| Building Stories                   | 3                  | 4     | 4                  | 4     | 4                  | 4     |
| Year of Building Permit            | 1988               | 1988  | 1994               | 1992  | 2000               | 2005  |

결과값의 비교를 통해 연도별 모델에 따라 우선순위를 도출하였다.

## 2. 모델 설정

공공도서관 6개소 중 2개(A, B)는 1980년대에 준공된 건물이며 2개소(C, D)는 1990년대에 준공된 건물이며 2개소(E, F)는 2000년대에 준공된 건물이다. Model 1~3의 건물 연면적, 규모, 창면적비 등과 같은 건축 부문의 설정값은 Base 모델에 따른다. Base 모델은 공공도서관 6개소의 평균 데이터이며 도서관 규모가 4층인 건물로 연면적 4,336 m<sup>2</sup>, 창면적비는 25%로 설정하였다. 또한, Model 1~3의 단

열성능의 시뮬레이션 설정값은 Table 2와 같다. 최준우 외(2021)에 따르면 기계설비 및 조명설비의 경우 그린리모델링 사례 분석을 통해 평균값을 산출하여 반영하였음을 확인하였다. 이에 따라 기계설비 및 조명설비의 경우 Model 1~3에 해당하는 도서관 건물의 평균값을 구하여 시뮬레이션 설정값으로 Table 3과 같이 정하였다.

Model 1은 1980년대에 준공된 건물로 해당연도의 열관류율 법적 기준에 따라 외벽, 바닥, 지붕의 열관류율은 0.58W/m<sup>2</sup>·K, 창호의 열관류율은 3.489 W/m<sup>2</sup>·K, 문의 열관류율은 2.5W/m<sup>2</sup>·K로 단열성능을 설정하였다. 또한, 기계설비와 조명설비의 경우 사례 분석을 통해 자료를 정리하였으며, 도서관 A,

**Table 2.** Setting of Model (Passive Elements)

| Variables:   |            | Model 1<br>(1980s)        | Model 2<br>(1990s)        | Model 3<br>(2000s)        |
|--|------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Total Floor Area (m <sup>2</sup> )                 |            | 4,336                     |                           |                           |
| Scale of Floor                                     |            | 4 <sup>th</sup>           |                           |                           |
| Thermal Transmittance<br>(Legal Standards by Year) | Outer Wall | 0.58 W/m <sup>2</sup> ·k  | 0.58 W/m <sup>2</sup> ·k  | 0.465 W/m <sup>2</sup> ·k |
|  | Window     | 3.489 W/m <sup>2</sup> ·k | 3.376 W/m <sup>2</sup> ·k | 3.84 W/m <sup>2</sup> ·k  |
|  | Door       | 2.5 W/m <sup>2</sup> ·k   | 2.5 W/m <sup>2</sup> ·k   | 1.8 W/m <sup>2</sup> ·k   |
|  | Roof       | 0.58 W/m <sup>2</sup> ·k  | 0.407 W/m <sup>2</sup> ·k | 0.325 W/m <sup>2</sup> ·k |
|  | Floor      | 0.58 W/m <sup>2</sup> ·k  | 0.58 W/m <sup>2</sup> ·k  | 0.465 W/m <sup>2</sup> ·k |

**Table 3.** Setting of Model (Active Elements)

| Variables: |                  | Model 1<br>(1980s) |            | Model 2<br>(1990s) |            | Model 3<br>(2000s) |            |
|------------|------------------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| DIV.       |                  | Total Capacity     | Efficiency | Total Capacity     | Efficiency | Total Capacity     | Efficiency |
| Mechanical | Heating          | 532.5 kW           | COP 3.0    | 400.6 kW           | COP 3.35   | 4,026.9 kW         | COP 3.78   |
|            | Boiler           | 94.95 kW           | 80.0%      | 29.1 kW            | 82%        | 3,001.8 kW         | 87.1%      |
|            | Cooling          | 310.1 kW           | COP 3.0    | 340.65 kW          | COP 3.13   | 477.27 kW          | COP 3.35   |
| DIV.       |                  | Power              | Quantity   | Power              | Quantity   | Power              | Quantity   |
| Lighting   | LED              | 80 W               | 478        | 280 W              | 243        | 257 W              | 940        |
|            | Fluorescent lamp | 55 w               | 182        | 160 W              | 6          | -                  | -          |

B의 평균값을 구하여 Model 1의 설정값으로 정하였다.

Model 2는 1990년대에 준공된 건물로 해당연도의 열관류율 법적 기준에 근거하여 외벽, 바닥의 열관류율은  $0.58\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 지붕의 열관류율은  $0.407\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 창호의 열관류율은  $3.376\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 문의 열관류율은  $2.5\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 단열성능을 설정하였다. 또한, 사례 분석을 통해 도서관 C, D의 평균값을 구하여 기계설비와 조명설비를 설정하였다. Model 2는 Model 1에 비해 창호와 지붕의 열관류율 값이 작아져 법적 기준이 강화된 것을 알 수 있다.

Model 3은 2000년대에 준공된 건물로 해당연도의 열관류율 법적 기준에 근거하여 외벽, 바닥의 열관류율은  $0.465\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 지붕의 열관류율은  $0.325\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 창호의 열관류율은  $3.84\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 문의 열관류율은  $1.8\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 단열성능을 설정하였다. 또한, 사례 분석을 통해 도서관 E, F의 평균값을 구하여 기계설비의 설정값으로 하였다. 창호의 열관류율은 법적 기준에 준수하여 설정하였으나 Model 1, 2에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 조명설비의 경우 “공공기관 에너지 이용 합리화 추진에 관한 규정”의 [별표 6]에 따르면 2020년까지 LED 등의 교체 비율이 100%로 목표로 하고 있다(산업통상자원부, 2013). 목표를 위해 도서관 F, G는 LED 조명의 비율이 100%로 되어 있어야 했다. 이를 사례 분석을 통해 확인하여 Model 3의 조명설비의 경우 LED로만 설정하였다.

### 3. 그린리모델링 변수 설정

Model 1~3의 패시브 요소와 액티브 요소의 성능은 현재 법적 기준과 효율성 측면에서 많은 차이를 보였다. 이를 통해 그린리모델링 시 적용 요소 기술들을 변수로 설정하였다. 패시브 요소에는 외벽, 지붕, 바닥의 단열과 창호, 문이 있으며 액티브의 요소에는 냉난방, 급탕의 기계설비와 조명설비가 있다. 이 요소들의 설정값은 Table 4와 같다.

#### 3.1 패시브와 액티브 변수 설정

##### 3.1.1 패시브 변수 설정

에너지효율 강화를 위한 패시브의 공사는 필수공사와 선택 공사가 있다. 이 중 필수공사에는 내·외부 단열 보강, 바닥 단열 및 난방, 고성능 창 및 문의 교체가 포함된다. 내·외부 단열 보강과 고성능 창 및 문의 교체를 통해 외부의 열의 전달을 차단하여 열적 성능을 확보할 수 있으며 바닥 단열 및 난방을 통해 실내 난방의 효과를 높여 에너지 절감에 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구의 패시브 변수 설정은 ‘건축물 에너지 절약설계기준’의 [별표 1], [별표 4]를 따른다(국토교통부, 2023a). Table 3과 같이 외벽의 열관류율은  $0.24\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 창호와 문은  $1.5\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 지붕은  $0.15\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ , 바닥은  $0.2\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 설정하였다.

##### 3.1.2 액티브 변수 설정

에너지효율 강화를 위한 액티브의 공사는 필수공

**Table 4.** Settings of Green Remodeling

| Variables:                          | Passive Elements                           |      | Active Elements |                |
|-------------------------------------|--|------|-----------------|----------------|
|                                     | Outer Wall ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ ) | 0.24 | Heating         | COP 4.3        |
| Setting Green Remodeling Conditions | Window ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )     | 1.5  | Boiler          | 100% Efficient |
|                                     | Door ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )       | 1.5  | Cooling         | COP 3.9        |
|                                     | Roof ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )       | 0.15 | LED             | -              |
|                                     | Floor ( $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ )      | 0.2  | ETC             | Replace LED    |

사와 선택 공사가 있다. 이 중 필수공사에는 고효율 냉난방장치, 고효율 보일러 고효율 조명인 LED 교체 등이 포함된다. 기존의 액티브 요소들을 고효율로 교체하는 것이 에너지 절감에 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구는 냉난방과 급탕의 경우 용량은 기존과 동일하고 효율이 좋은 것으로 교체하는 것으로 변수 설정하였다. 난방의 경우 COP 4.3으로, 냉방의 경우 COP 3.9로, 급탕의 경우 100% 효율로 설정하였다(그린리모델링창조센터, 2024). 조명설비의 경우에는 기존 LED 등은 유지하였으며 LED가 아닌 조명은 LED로 100% 교체하는 것으로 설정하였다.

### 3.2 요소 조합

패시브와 액티브의 변수를 바탕으로 한 그린리모델링 적용 요소기술의 조합의 구성단위는 단열, 창호, 기계설비, 조명으로 한다. Model 1~3은 Table 5와 같이 요소기술을 조합하였다. 조합 1~6은 2가지의 요소의 조합을 말하고, 조합 7~10은 3가지의 요소 조합을 말한다. 이 조합에서 우선순위를 상위 3개만을 도출하여 분석하고자 한다. 다만, Model 3의 경우 조명설비의 교체가 그린리모델링 시에 필요하지 않아 조명설비의 요소를 제외한 우선순위의 상위 3개를 도출하였다.

## 4. 에너지 성능분석 결과

Model 1과 Model 2의 경우 각각 1980년대, 1990년대 준공기준을 가지며 요소 조합 10개를 각각 적용한 시뮬레이션 결과는 Table 6, Fig. 1과 같다. 그린리모델링 전 1차 에너지소요량의 경우 Model 1은 144.4kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 2는 144.0kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 1과 Model 2의 1차에너지소요량 절감률을 바탕으로 분석한 결과, 단열성능 개선 및 기계설비의 교체가 포함된 경우에 높은 절감률을 나타냄을 확인하였다. 이는 준공 당시 열관류율이 현재 기준에 비해 떨어졌으며 기계설비의 효율 또한 낮은 것으로 판단된다. 우선순위를 도출한 결과, Table 7과 같이 상위 3개의 우선순위는 조합 7(27.3%, 15.6%) > 조합 9(23.2%, 12.8%) > 조합 2(23.1%, 12.7%)의 순으로 나타났다.

Model 3의 경우 2000년대 준공기준을 가지며 요소 조합 항목 10개를 각각 적용한 결과는 Table 6, Fig. 1과 같다. Model 3의 그린리모델링 전 1차에너지소요량은 139.3kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 3의 1차에너지 절감률을 바탕으로 분석한 결과, Table 7과 같이 창호의 성능 개선이 포함된 경우에 높은 절감률을 나타냄을 확인하였다. 이는 준공 당시 열관류율이 현재 기준에 비해 떨어졌으며 Model 1, 2에

**Table 5.** Combination of Elements

| DIV.           | Number of Element Combinations | Combination of Elements           |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Combination 1  | 2                              | Insulation + Window               |
| Combination 2  |                                | Insulation + Mechanical           |
| Combination 3  |                                | Insulation + Lighting             |
| Combination 4  |                                | Window + Mechanical               |
| Combination 5  |                                | Window + Lighting                 |
| Combination 6  |                                | Heating & Cooling + Lighting      |
| Combination 7  | 3                              | Insulation + Window + Mechanical  |
| Combination 8  |                                | Insulation + Window + Lighting    |
| Combination 9  |                                | Insulation + Mechanical+ Lighting |
| Combination 10 |                                | Window + Mechanical + Lighting    |

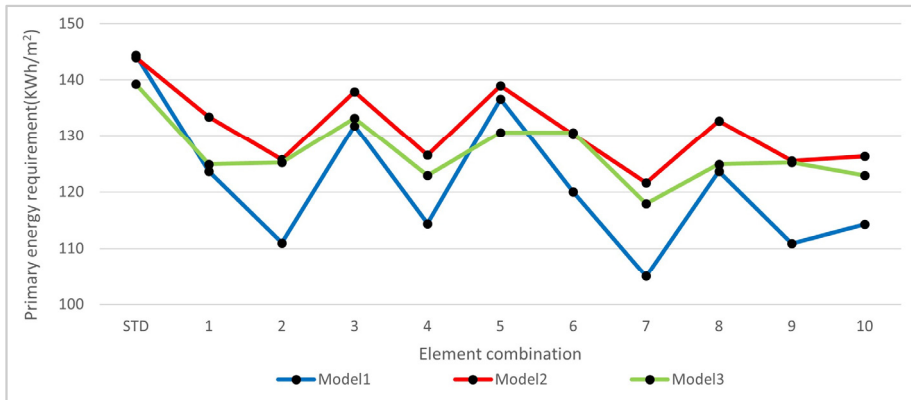
**Table 6.** Result of Element Combination

|         |       | Primary Energy Requirement (Unit: KWh/m <sup>2</sup> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DIV.    | STD   | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| Model 1 | 144.4 | 123.6  | 111.0 | 131.8 | 114.4 | 136.6 | 120.0 | 105.0 | 123.6 | 110.9 | 114.3 |
| Model 2 | 144.0 | 133.4  | 125.7 | 137.9 | 126.5 | 139.0 | 130.2 | 121.6 | 132.7 | 125.5 | 126.3 |
| Model 3 | 139.3 | 124.9  | 125.2 | 133.2 | 122.9 | 130.6 | 130.6 | 117.9 | 124.9 | 125.2 | 122.9 |

**Table 7.** Priority of Element Combination

| Priority | Model 1<br>(1980s)     | Model 2<br>(1990s)     | Model 3<br>(2000s)     |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1        | Combination 7 (27.3%)* | Combination 7 (15.6%)* | Combination 7 (15.4%)* |
| 2        | Combination 9 (23.2%)* | Combination 9 (12.8%)* | Combination 4 (11.8%)* |
| 3        | Combination 2 (23.1%)* | Combination 2 (12.7%)* | Combination 1 (10.3%)* |

Note: ( ) \* indicated rate of reduction



**Fig. 1.** Result of Model 1~3 Element Combination

비해서도 떨어져 1차 에너지소요량 절감률에 따른 우선순위 도출에 있어서 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서, 우선순위를 도출 한 결과는 Table 7와 같으며 상위 3개의 우선순위는 조합 7(15.4%) > 조합 4(11.8%) > 조합 1(10.3%)의 순으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구는 노후 건축물의 그린리모델링 시 요소기술의 조합에 따른 우선순위를 도출하고자 하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) Model 1~3의 1차 에너지소요량 분석 결과, 그 린리모델링 전 1차 에너지소요량은 각각 144.4 kWh/m<sup>2</sup>, 144.0kWh/m<sup>2</sup>, 139.3kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 1~3의 우선순위 도출 결과, Model 1과 Model 2의 경우 조합 7(27.3%, 15.6%) > 조합 9(23.2%, 12.8%) > 조합 2(23.1%, 12.7%)의 순으로, Model 3의 경우 조합 7(15.4%) > 조합 4(11.8%) > 조합 1(10.3%)의 순으로 1차 에너지소요량 절감이 크게 나타났다.
- (2) Model 1~3의 경우 현재 기준 각각 40년 이상, 30년 이상, 20년 이상 경과 된 건물로, 그린리모

텔링 시에는 Model 1과 Model 2의 경우 단열성  
능 개선과 기계설비의 교체를 우선 고려해야 하  
고, Model 3의 경우 창호의 성능 개선을 선행해  
야 필수공사의 효율성 측면에서 유리하다.

본 연구는 도서관의 평균값에 기반한 Model을 설  
정하였기에 오차의 발생에 대한 개선이 필요하며,  
그린리모델링 공사 중 필수공사에 해당하는 요소기  
술만을 수행하였다. 추후에는 선택공사에 대한 분석  
을 반영하여 도서관의 그린리모델링 가이드라인을  
도출할 수 있을 것으로 사료 된다.

## 참고문헌

1. 관계부처합동(2023), 「국가 탄소중립 녹색성장 기본  
계획(안)」, 세종.
2. 국토교통부(2021), 「국토교통 탄소중립 로드맵」, 세종.
3. 국토교통부(2023a), 「건축물 에너지 절감설계 기준」,  
세종.
4. 국토교통부(2023b), 「공공건축물 그린리모델링 지  
원사업 가이드라인」, 세종.
5. 그린리모델링창조센터(2024.3.29), 「2024년 공공건  
축물 그린리모델링 종합사업지원」, 경상남도.
6. 김성민(2017), “기존 건축물 그린리모델링 적용 요소  
기술 및 에너지 절감효과 분석”, 「한국건축 친환경설  
비학회 논문집」, 11(3): 238~245.
7. 산업통상자원부(2013), 「공공기관 에너지이용합리  
화 추진에 관한 규정」, 서울.
8. 장우권·박성우·여진원(2014), “공공도서관 발전방  
안에 관한 연구”, 「한국문헌정보학회지」, 48(1): 345~  
367.
9. 최선우·김지연·박효순·김준태(2012), “사무소 건물  
의 외피 리모델링에 따른 에너지 절감효과 및 경제성  
분석”, 「KIEAE Journal」, 12(6): 85~92.
10. 최준우·이종건(2021), “그린리모델링 사전의사결정  
지원도구 개발을 위한 공공건축물 유형별 표준모델  
구축”, 「KIEAE Journal」, 21(3): 17~23.
11. Chung, M. H., S. E. Kim, Y. W. Song, and J. C. Park  
(2023), “Strategies for Improving Impact of Energy  
Renovation: A Case Study on Korean Daycare  
Centers”, *Energy and Buildings*, 284: 12844.
12. Waddictor, D. A., E. Fuentes, L. Sisó, J. Salom, B.  
Favre, C. Jiménez and M. Azar (2016), “Climate  
Change and Building Aging Impact on Building  
Energy Performance and Mitigation Measures  
Application: A Case Study in Turin, Northern  
Italy”, *Journal of Building and Environment*, 102:  
13~25.
13. 국가도서관 통계시스템, 2024.6.7 읽음. <https://www.libsta.go.kr>

## 요 약

2015년 파리 기후 협약을 시작으로 나라별로 국가 온실가스 감축 목표를 제시하고 실행하기로 합의하였다. 이에 따라 대한민국 정부는 건물 부문에서 온실가스 배출량 32.8% 감축을 목표로 설정하였다. 이를 위해 국토교통부는 2020년부터 공공건축물 그린리모델링 사업을 통해 노후 건축물의 에너지효율 강화를 추진하고 있다. 노후 건축물의 에너지 절감을 위한 그린리모델링 공사에는 패시브 및 액티브 요소의 필수공사와 선택공사가 있다. 그러나 현재는 패시브와 액티브 시스템의 통합설계가 부족하며 건축물의 노후도에 따른 적용 요소들의 우선순위에 대한 기준이 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 노후 건축물 중 많은 사람들의 이용이 가능하며 에너지 사용량이 높을 것으로 예상되는 중부 2지역에 위치한 공공도서관 6개소를 선정하였다. 공공도서관은 준공년도에 따라 Model 1~3으로 구분하였으며 각각 1980년대, 1990년대, 2000년대 준공된 건물이다. Model 1~3의 ECO2-OD를 통한 시뮬레이션 분석으로 1차 에너지소요량 절감률에 따른 상위 3개의 우선순위를 도출했다.

**주제어:** 노후 건축물, 공공도서관, 그린리모델링, 패시브 및 액티브 요소, 우선순위



# 그린리모델링 효과평가를 위한 표준공동주택 정밀에너지해석모델 보정과 검증\*

## Calibration and Verification of Detailed Prototypical Apartment Building Energy Models for Estimation of Green Remodeling Feasibility

서동현\*\*

Donghyun Seo\*\*

### Abstract

The prototypical building energy model is very useful in building energy policies, research, and technology development. A prototypical apartment model for detailed energy analysis was proposed by Seo et al. in 2014, but sufficient verification was not possible due to the lack of reliable measurement data in predicting the model's energy consumption. However, verification is now possible thanks to a recent study that analyzed the Household Energy Panel Survey (HEPS) data that is released annually by the Korea Energy Economics Institute (KEEI) and published apartment complex benchmark data. The data was used to calibrate the prototypical apartment energy model located in the central region and constructed between 1990 and 1999. The calibrated model was used to verify the other apartment building groups with respect to region and year of completion. Meteorological data for five representative cities each in the central and southern regions were used for the simulation. A majority of the 18 groups produced results that satisfied the MBE and cv(RMSE) criteria.

**Keywords:** APT, Prototypical Building Model, Energy Analysis, Building Energy, Benchmark Data

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국토교통부가 한국부동산원과 함께 국가건물에너지 통합관리시스템 정보를 분석한 결과 2021년 건물부문 총에너지소비량은 34,344천TOE이며, 이중 공동주택에서 43.2%, 단독주택에서 15.9%를 사용하여 주거용에서 약 60%의 건물에너지소비량을 담당하는 것으로 보고하였다(국토교통부, 2021).

이를 주거용건물로 한정하여 분석하면 공동주택

의 연면적은 전체 주거용건물 총면적 18.7억 $m^2$ 의 66%를 차지하고, 에너지소비량은 총 주거에너지소비량인 20,000 천TOE의 61%를 차지한다. 일반적으로 공동주택이 다른 주거유형에 비하여 에너지효율적인 것으로 알려져 있으나, 주거부문에서 탄소중립 실현정책을 수립한다면 공동주택이 그 주요대상이 되어야 함을 이 데이터가 설명하고 있다.

건물에너지 효율강화를 위한 주요 대상으로 공동주택을 선택한다면, 효과적인 정책개발(정윤혜 외, 2013)이나 기존정책 개선을 위한 첫 단추는 공동주

\*이 연구는 국토교통부·국토안전관리원 지원 「2024 그린리모델링 플랫폼」사업의 지원을 받아 작성되었음.

\*\*충북대학교 건축공학과 부교수(seodh@cbnu.ac.kr)

택 에너지소비특성 분석이 우선되어야 한다. 이러한 분석에 활용할 수 있는 데이터로는 유정현 외(2012)의 연구에 기반하여 한국부동산원에서 2023년부터 제공하고 있는 주거건물 표준베이스라인(국토교통부, 2020), 에너지경제연구원과 에너지공단에서 3년마다 발간하는 에너지총조사, 에너지경제연구원에서 매년 공개하는 국가표준통계인 가구에너지패널조사(HEPS: Household Energy Panel Survey) 등이 있지만 공동주택의 상세한 에너지 소비특성 정보를 추출하기 위해서는 상세 데이터가 부족하거나, 분석에 상당한 노력과 시간을 필요로 하는 단점이 있다.

실무자나 연구자 및 보다 다양한 분야에서 소비특성 분석을 위해서는 1) 최소 월별/원별 소비량을 확인할 수 있고, 2) 냉방, 난방, 급탕 등 에너지소비처별 소비량의 비율을 파악할 수 있거나, 3) 에너지소비량과 건축 및 설비특성 정보와 연계하여 에너지소비가 변화하는 인과관계를 파악할 수 있는 등 보다 상세한 정보가 제공되거나 이러한 정보를 추출할 수 있는 기초데이터가 필요하다. 그러나 1)~3)에 이르는 모든 정보를 수집하거나 분석결과를 제공하는 것은 비용과 시간의 한계로 불가능하기 때문에 공학적 분석기술이 보완적으로 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 공동주택의 에너지소비특성정보의 다양한 도출을 목적으로, 기존에 발표된 표준공동주택 연구결과(서동현 외, 2014)를 활용하여, 이를 상세 건물에너지모델로 구현한 후 전형적인 공동주택 에너지소비량 벤치마크데이터를 제공한 김혜진 외(2023)의 연구결과를 활용하여 모델의 보정과 검증을 진행하였다. 이를 통해 앞서 제시한 1)~3) 정보를 연구개발자, 설계실무자, 정책개발자 등이 쉽게 활용할 수 있는 도구개발의 기초연구가 될 것이다. 또한, 이 연구결과는 공동주택의 에너지효율을 높이는 기술의 효과를 객관적으로 검증하기 어려웠던 여러 참여자들에게 시뮬레이션

측면에서 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 서동현 외(2014) 연구결과를 활용하여 정밀 건물에너지 해석도구인 eQUEST를 이용하여 표준공동주택모델을 제작한 후, 김혜진 외(2023)에서 제시한 주거에너지 벤치마크데이터를 보정 및 검증데이터로 활용하였다.

이 벤치마크데이터는 공동주택의 에너지소비량을 EUI(Energy Use Intensity, kWh/m<sup>2</sup>-yr)값으로 산정한 후 기후존, 전용면적, 준공년도로 구분하여 제시하고 있기 때문에, 중부지역과 남부지역의 대표 도시를 선정하였으며, 서동현(2017)의 연구에 기반한 도시별 표준기상데이터를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다.

## 2. 선행연구 검토

국외의 경우 Huang et al.(1991)이 당시 상업용건물 센서데이터(NBECS: Nonresidential Building Energy Consumption Survey)를 기반으로 병원, 호텔, 식당, 사무소, 슈퍼마켓, 상점, 학교, 모텔/호텔 등 37개 용도별 유형과 13개 도시를 대상으로 표준 상업용건물모델을 DOE-2를 이용하여 개발한 것이 본격적인 상세 건물에너지 모델을 이용한 표준건물 에너지소비량 특성분석의 시초가 된 것으로 판단된다. 이후 Huang et al.(1999) 및 Huang et al.(2005) 연구를 통해 CBECS(Commercial Buildings Energy Consumption Survey) 데이터를 표준건물모델의 예측결과와 비교분석한 연구를 통해 모델 검증과 검증이 완료된 모델을 이용한 활용방안을 제시하였다.

이러한 연구를 기반으로 NREL(2005)은 Building America 프로젝트의 일환으로 표준 주거건물 에너지모델을 제시하여 기존 및 신축주택에서 50%의 에

너지절약을 달성할 수 있는 비용효율적인 기술을 산업체와 건물주에게 제공하였다. 이러한 표준건물모델은 고효율 기술평가, 설계 시 최적화 분석 수행, 제어기술 효과분석, 에너지 코드나 기준 개발 및 평가 등 연구 및 실무에 다양하게 활용하고 있다.

국내의 경우 가장 파급효과가 큰 표준건물 관련 연구는 한국에너지기술연구원(2001)의 연구결과로, 건축물에너지효율등급제도의 시행을 위한 효율등급 평가방법으로 표준건물모델을 개발하여 활용하는 방안을 제안한 연구이다. 이 연구를 통해 표준공동주택모델 정의용 단위세대의 에너지소요량을 산출할 수 있는 에너지성능평가표와 표준공동주택의 정의항목과 값을 제안하였다. 한국건설기술연구원(2007)의 연구는 건물의 에너지효율등급제도 개선 방안을 제시하기 위하여 표준건물을 정의하였다. 이 연구는 우리나라와 동일한 기후대에 위치한 외국의 단위기준, 주거용 건물의 평균 에너지소비량에 대한 비교를 통해 성능개선에 대한 필요성을 파악, 정량적 비교를 위한 에너지성능 평가기법 개발 및 검증, 분석결과에 바탕한 국내에 보다 적합한 건물에너지효율등급제도의 로드맵을 주거용/비주거용 건축물 분야에 대해 제시하였다.

정영선 외(2014)는 435개 건물의 건축물에너지절약계획서, 에너지성능지표(EPI) 검토서 및 해당 건물 설계도서 수집과 분석을 통해 비주거용 표준건물모델을 제안하였다. 정해권 외(2017)는 유사한 수집데이터를 기반으로 공동주택 표준건물모델을 정의하고, ECO2모델링을 통해 월별, End-Use별 소비량을 도출하였다.

이 연구들은 앞서 거론한 국외 상세 건물에너지모델 기반 연구에 근접한 것으로 판단되나, 다양한 이용특성 프로파일 조절이 어려운 ECO2를 이용하거나, 지역별, 주거건물 규모별 및 주거유형(단독 및 공동주택 등)에 따른 표준건물을 제공하지 못한 점을 연구의 한계로 언급하였다.

이러한 측면에서 서동현 외(2014)의 연구는 상세 건물에너지 해석도구 모델링을 전제로 표준공동주택모델을 정의한 국내에서 드문 연구사례로 판단된다. 그들은 이 연구에서 건축정보, 설비정보, 조명과 가전 및 냉난방설비의 운전특성 등에 관한 시간별 프로파일까지 제공하여, 연구결과에 대한 재연성을 제공하였다. 그러나, 이 연구는 End-Use 비율측면에서 에너지모델의 소비량 추정결과 검증을 제시하였으나, 당시에는 상세검증을 시행할 신뢰성있는 측정 데이터가 부족하여 월별, 년별 소비량 검증결과를 제시하고 않아 이에 관한 검증이 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

최근, 신뢰성 있는 공동주택의 전형적 소비량 연구사례가 발표되었는데 대표적인 것이 진혜선 외(2018), 김혜진 외(2023)의 연구이다. 진혜선 외(2018)의 연구는 김용인·송승영(2014)의 연구에서 시작한 연구의 연장선상에 있는 연구로, 공동주택의 에너지 소비절약을 위한 설계기준의 참고자료로서의 활용과 건축물 에너지 소비 총량제의 기준과 실제 에너지소비량과의 비교 분석을 목적으로 하였다. 서울시 내 공동주택 181개 단지를 대상으로, End-Use별 소비량 측정과 함께 영향인자인 에너지효율등급 획득 여부, 전체 세대수, 전체 사용면적, 세대평균 전용면적, 최고 층수, 코어형태, 주동형태, 주향, 사용승인 연도에 대하여 조사하였다.

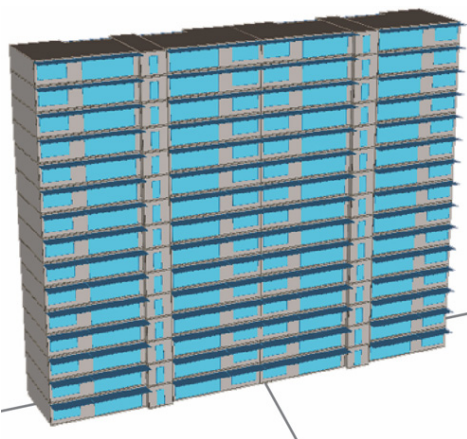
### 3. 시뮬레이션 데이터 및 프로세스

#### 3.1 표준공동주택 에너지모델

Table 1과 Fig. 1은 서동현 외(2014)의 연구에서 제시한 표준공동주택 모델의 정의내용과 에너지모델 3-D뷰를 보여주고 있다. 이 건물은 1990년대에 준공된 전용면적 84m<sup>2</sup>, 15층, 층별 4세대로 구성된 전형적인 공동주택이다.

**Table 1.** Summary of Defined Prototypical APT

| Categories            | Defined values   |
|-----------------------|--|
| Structure             | Staircase type   |
| Vintage               | 1990~1999  |
| Thermal Transmittance | Envelope: 1987 Building Code<br>SC of Window: 0.82           |
| Floor Height          | 2.6 m  |
| Stories               | 15   |
| Usable Area           | 84 m <sup>2</sup>  |
| Aspect Ratio          | 1:3  |
| Orientation           | South  |
| WWR                   | S: 57.8%, N: 37.9%,<br>Average: 47.3%                        |
| Infiltration          | 0.3 ACH  |
| People                | 3  |
| HVAC Setting          | Heating: Nov~Mar (20°C)<br>Cooling: Jun 11~Sep 10 (28°C)     |
| HVAC Type             | Gas boiler, Eff: 80%<br>A/C, COP: 2.9                        |
| LPD & Schedule        | LPD: 3.83 W/m <sup>2</sup><br>Schedule: Refer [Seo, 2014]    |
| EPD & Schedule        | EPD: 6.4 W/m <sup>2</sup><br>Schedule: Refer [Seo, 2014]     |
| NOP & Schedule        | NOP: 3<br>Schedule: Refer [Seo, 2014]                        |
| DHW & Schedule        | Design Value: 45.5 liter/Unit<br>Schedule: Refer [Seo, 2014] |

**Fig. 1.** 3-D view of Prototypical APT Model

### 3.2 표준기상데이터

이 연구에서는 충북대학교 건축환경 및 에너지연구실에서 개발(서동현, 2017)한 대한민국 표준기상 데이터를 사용하였다. 이 표준기상데이터는 NREL TMY2 제작 기준에 따라 국내기상청 데이터를 기반으로 35개 주요도시를 대상으로 개발되었으며, 한국건축친환경설비학회의 표준데이터로 채택될 예정이다. Table 2는 본 연구에서 이용한 기후존 기준 중부와남부 10개 대표도시에 관한 기본정보를 요약하고 있다.

### 3.3 가구에너지 벤치마크데이터

이 연구는 2014년 완성된 표준공동주택모델의 보정 및 검증에 위한 것으로, 김혜진 외(2023)의 연구 결과가 있어 가능해졌다고 할 수 있다. 이들의 연구가 앞서 문헌고찰에서 언급한 다른 연구결과에 비해 차별성이 있는 점은 표준소비량을 계산하기 위한 공동주택 세대가 규모, 지역별로 통계적 체계를 갖춘 층화샘플링을 거쳐 대표성을 가지고 있다고 할 수 있다.

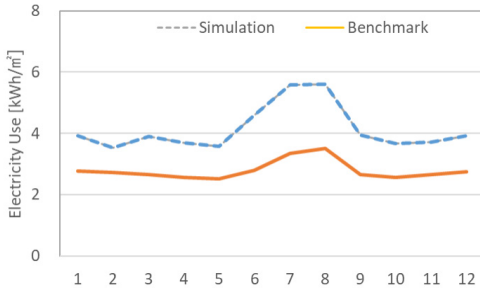
그들은 샘플세대를 기후존, 준공년도, 전용면적규모를 기준으로 그룹을 나누어 그룹별 연간 전력 및 연료 원단위(EUI: Energy Use Intensity)데이터를 제공하고 있다. 이 EUI에는 국내 효율등급기준과 달리 가전기기, 취사 등 주거건물에서 사용하는 모든 에너지가 포함되어 있다.

### 3.4 시뮬레이션 프로세스

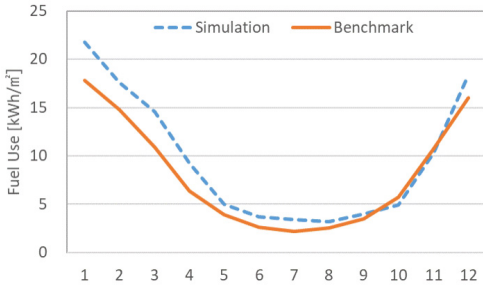
이 연구에서 시뮬레이션은 보정과 검증단계로 진행되었다. 보정은 서울에 위치한 2000년 이전에 준공된 중형규모(79.3~125.4 m<sup>2</sup>) 표준공동주택모델의 에너지원별 및 월별 벤치마크데이터를 기준으로 진행하였다. 김혜진 외(2023)의 연구에는 월별소비량이 제시되어 있지 않으나, 같은 연구그룹의 선행

**Table 2.** General Information of Selected Cities

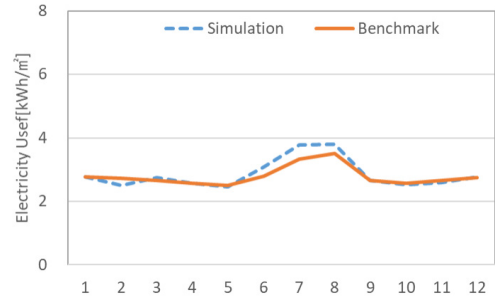
| Zn       | City     | Lat        | Lon         | Elev. | HDD  |
|----------|----------|------------|-------------|-------|------|
| Central  | Seoul    | 37°34'17"N | 126°57'56"E | 86    | 2722 |
|          | Incheon  | 37°28'39"N | 126°37'29"E | 69    | 2702 |
|          | Suwon    | 37°15'27"N | 126°58'58"E | 40    | 2757 |
|          | Cheongju | 36°38'21"N | 127°26'26"E | 59    | 2571 |
|          | Wonju    | 37°20'15"N | 127°56'47"E | 150   | 2848 |
| Southern | Busan    | 35°6'16"N  | 129°1'55"E  | 70    | 1857 |
|          | Daegu    | 35°52'40"N | 128°39'10"E | 54    | 2250 |
|          | Gwangju  | 35°10'22"N | 126°53'29"E | 70    | 2255 |
|          | Ulsan    | 35°34'56"N | 129°20'4"E  | 81    | 2100 |
|          | Jeonju   | 35°50'27"N | 127°7'1"E   | 60    | 2441 |



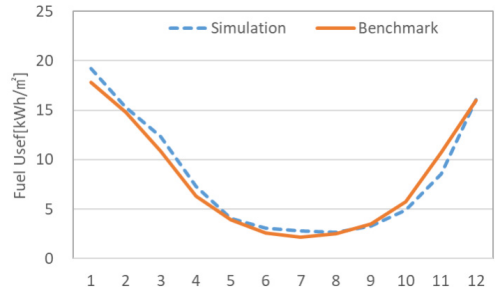
(a) Monthly Electricity Consumption



(b) Monthly Fuel Consumption

**Fig. 2.** Energy Comparison Results of APT Model before Calibration

(a) Monthly Electricity Consumption



(b) Monthly Fuel Consumption

**Fig. 3.** Energy Comparison Results of APT Model after Calibration

연구인 이나현 외(2019)에는 월별 소비량이 제시되어 있기 때문에 이 데이터를 검증용으로 활용하였다.

Fig. 2는 서동현 외(2014) 연구의 보정전 월별 전기 및 연료소비량 추정결과이며 Fig. 3은 보정을 거친 결과를 보여주고 있다. 보정전 결과는 End-Use별

소비비율 검증이 불완전한 것임을 보여주고 있으며, 보정의 방향은 전력, 연료 모두 가전기기, 급탕과 같은 계절 비탄력적 기저에너지 소비량을 감소시키고, 난방과 냉방시 설정온도나 가동시간 조절 등을 통한 에너지소비량의 증가 민감도를 낮추어야 함을 보여

**Table 3.** Excerpt of Benchmark Data [kWh/m<sup>2</sup>-yr] of Mid-size APT Group

| Zone     | Vintage     | Fuel | Elec. | Total |
|----------|-------------|------|-------|-------|
| Central  | Before 2000 | 97.0 | 33.1  | 130.1 |
|          | 2000's      | 92.8 | 31.4  | 124.4 |
|          | After 2010  | 91.1 | 32.2  | 123.3 |
| Southern | Before 2000 | 92.6 | 33.6  | 126.2 |
|          | 2000's      | 93.8 | 34.5  | 128.3 |
|          | After 2010  | 96.8 | 32.9  | 129.7 |

**Table 4.** Applied U-value Per APT Group

| Zn       | Vintage     | Element | U-value [W/m <sup>2</sup> -K] |
|----------|-------------|---------|-------------------------------|
| Central  | Before 2000 | Wall    | 0.58                          |
|          |             | Window  | 3.37                          |
|          | 2000's      | Wall    | 0.47                          |
|          |             | Window  | 3.84                          |
|          | After 2010  | Wall    | 0.36                          |
|          |             | Window  | 3.0                           |
| Southern | Before 2000 | Wall    | 0.58                          |
|          |             | Window  | 3.37                          |
|          | 2000's      | Wall    | 0.47                          |
|          |             | Window  | 3.84                          |
|          | After 2010  | Wall    | 0.36                          |
|          |             | Window  | 3.0                           |

주고 있다.

보정이 완료된 모델이 계산한 에너지소비량이 Table 3과 같이 벤치마크데이터에서 제공하고 있는 6개 그룹의 에너지소비량과 얼마나 일관성이 있는지 검증하는 절차를 진행하였다. 벤치마크데이터가 공동주택의 기후존, 준공년도, 면적규모로 제공되기 때문에 본 연구에서는 중부와 남부지역의 중형공동주택을 대상으로 준공년도별 단열기준을 Table 4와 같이 허가승인 당시의 에너지절약설계기준값을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 5는 기후존별 5개 대표도시의 가구수와 그

**Table 5.** Weight of Selected Cities for Average Energy Use Calculation

| Zn       | City     | Household | Weight |
|----------|----------|-----------|--------|
| Central  | Seoul    | 1,625,034 | 0.55   |
|          | Incheon  | 697,246   | 0.24   |
|          | Suwon    | 288,430   | 0.10   |
|          | Cheongju | 224,702   | 0.08   |
|          | Wonju    | 109,584   | 0.04   |
| Southern | Busan    | 773,935   | 0.34   |
|          | Daegu    | 616,058   | 0.27   |
|          | Gwangju  | 428,840   | 0.19   |
|          | Ulsan    | 254,106   | 0.11   |
|          | Jeonju   | 173,927   | 0.08   |

에 따른 기후존별 평균 에너지소비량 계산시 반영된 가중치값을 보여주고 있다. 5개 대표도시는 가구수를 우선으로 하였으나, 같은 기후존 내에서도 지리적 특성에 따른 에너지소비량의 차이가 있음을 감안하여 선정하였다.

## 4. 표준공동주택 에너지모델 소비량과 벤치마크데이터 비교검증

### 4.1 비교검증 기준

ASHRAE 가이드라인 14(2002)는 월별, 연간소비량을 기준으로 보정전-보정후, 리모델링전-리모델링 후 등과 같은 두 데이터세트간의 일치도 통계지표와 검증 허용오차를 제공하고 있다. 시뮬레이션에 의한 에너지소비량과 측정된 에너지 소비량(벤치마크데이터) 간의 오차는 월 단위로 분석하며, 통계지표 MBE, cv(RMSE) 계산수식은 아래 식 (1)과 (2)와 같다.

$$MBE_{year}(\%) = \sum_{month} \left[ \frac{ERR_{month}}{N_{month}} \right] \times 100 \quad (1)$$

여기서,

$$ERR_{month} = (M - S)_{month}$$

$N_{month}$ : 월의 수

M: 측정된 월별 소비량

S: 시뮬레이션 추정 월별 소비량

$$CV[\%] = \frac{RSME}{A_{month}} \times 100 \quad (2)$$

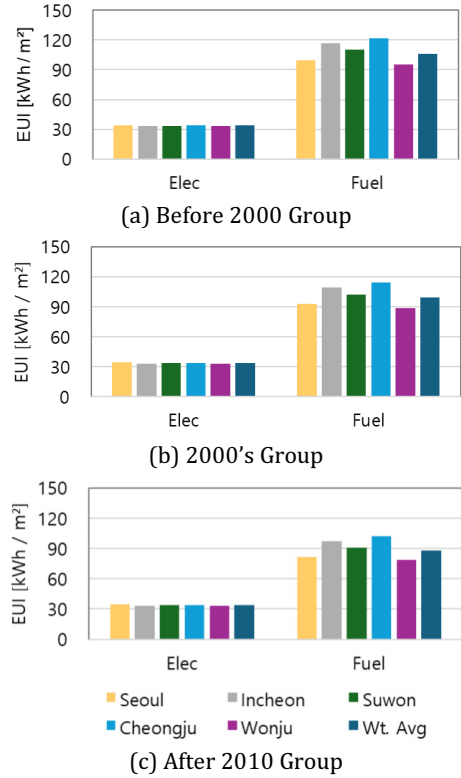
여기서,

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{month} (M - S)^2}{N_{month}}}$$

$A_{month}$  = 월평균 측정값

#### 4.2 비교검증결과

Fig. 4는 중부지역 중형 공동주택의 준공년도에 따른 도시별 및 가중평균한 중부지역 에너지소비량 추정결과를 요약하여 보여주고 있다. 주거용 건물에서 전력소비량은 비계절적 요인에 대부분 기인하고, 난방에너지소비량의 비중이 크지 않아 준공년도별 단열기준이나 기후에 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면, 난방, 급탕, 취사에 사용되는 연료소비량은 준공년도가 최근에 가까울수록 감소하는 비율이 눈에 띄게 나타나고 있다. 유사한 경향을 나타내는 남부는 지면관계상 생략하였으며, Tables 6과 7은 최종적으로 중부지역과 남부지역의 공동주택 그룹별 표준건물에너지모델 추정소비량과 벤치마크 데이터와 비교결과를 보여주고 있다. 남부지역에서 준공년도가 오래된 그룹에서 에너지모델이 약간 과다 예측을 하고, 최근 준공된 그룹에서 과소예측을 하는 것으로 나타나 난방 기간 소비량 예측성능의 개선필요성은 확인되었다. 이로 인하여 일부 그룹의 연료소비량 MBE, cv(RMSE)가 월별 기준인 각각  $\pm 5\%$ ,  $15\%$ 를 약간 상회하지만, 총에너지소비량 기



**Fig. 4.** Annual Electricity and Fuel EUI of Calibrated APT Model Per Vintage for Central Zone

**Table 6.** Comparison Result of Benchmark Data with Simulated Data for Central Zone Groups

| Vintage        | Energy | Bench-<br>mark | Simu-<br>lation | MBE<br>(%) | Cv<br>(RMSE)<br>(%) |
|----------------|--------|----------------|-----------------|------------|---------------------|
| Before<br>2000 | Elec   | 33.5           | 33.9            | 1.1        | 5.2                 |
|                | Fuel   | 97.0           | 106.0           | 9.3        | 18.7                |
|                | Total  | 130.5          | 139.9           | 7.2        | 14.1                |
| 2000's         | Elec   | 31.8           | 33.8            | 6.2        | 8.1                 |
|                | Fuel   | 92.8           | 98.9            | 6.6        | 16.8                |
|                | Total  | 124.7          | 132.7           | 6.5        | 13.6                |
| After<br>2010  | Elec   | 32.6           | 33.9            | 4.1        | 6.7                 |
|                | Fuel   | 91.0           | 87.7            | -3.7       | 15.9                |
|                | Total  | 123.6          | 121.6           | -1.6       | 12.3                |

준으로 대부분의 그룹들이 기준값을 만족하는 것으로 나타났다.

**Table 7.** Comparison Result of Benchmark Data with Simulated Data for Southern Zone Groups

| Vintage     | Energy | Benchmark | Simulation | MBE (%) | Cv (RMSE) (%) |
|-------------|--------|-----------|------------|---------|---------------|
| Before 2000 | Elec   | 33.3      | 33.4       | 0.2     | 5.4           |
|             | Fuel   | 92.6      | 101.4      | 9.5     | 19.6          |
|             | Total  | 125.9     | 134.8      | 7.0     | 14.0          |
| 2000's      | Elec   | 34.3      | 33.3       | -2.7    | 5.3           |
|             | Fuel   | 93.8      | 92.6       | -1.3    | 11.9          |
|             | Total  | 128.1     | 125.9      | -1.7    | 14.2          |
| After 2010  | Elec   | 32.6      | 33.4       | 2.3     | 7.6           |
|             | Fuel   | 97.2      | 82.5       | -15.1   | 20.8          |
|             | Total  | 129.8     | 115.9      | -10.7   | 16.1          |

## 5. 결 론

본 연구는 서동현 외(2014) 연구결과를 활용하여 정밀 건물에너지 해석도구인 eQUEST를 이용한 표준공동주택모델을 구축하고, 월별 전기와 연료 소비량을 추정한 후 김혜진 외(2023)에서 제시한 주거에너지 벤치마크데이터를 이용하여 에너지모델의 보정 및 검증결과를 제시하였다.

벤치마크데이터는 주거건물의 지역, 전용면적 규모, 준공년도에 따라 그룹으로 구분하여 제시하고 있기 때문에 모델링한 표준공동주택도 그룹의 특성에 맞게 개발되었으며, 시뮬레이션시 기상데이터도 중부 및 남부의 대표도시 장기표준기상데이터를 이용하였다.

보정전 결과는 End-Use별 소비비율은 만족하였으나 전력 및 연료의 기저소비량, 냉난방 기간의 소비량이 과다예측하는 것으로 확인되었다. 따라서, 전력, 연료 모두 기저에너지 소비량을 감소시키고, 난방과 냉방시 에너지소비량의 증가 민감도를 낮추어 Tables 6 및 7과 같이 MBE, cv(RMSE) 측면에서 기준만족도 값을 얻었다. 다만, 남부지역에서 준공연도가 오래된 그룹에서 에너지모델이 약간 과다 예

측을 하고, 최근 준공된 그룹에서 과소예측을 하는 것으로 나타나 난방 기간 소비량 예측성능의 개선필요성은 확인되었다.

보정과 검증이 완료된 공동주택 에너지모델은 에너지효율 기술적용시 에너지절약 효과를 객관적으로 제시하고, 설계 및 건물운영 단계에서 보다 신뢰성 있는 정보를 제공할 수 있으며, 정부의 건물에너지 정책의 효과를 보다 다양한 측면에서 평가하는데 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. 국토교통부(2020), “세계최초 건물 온실가스 배출표준(Baseline) UN 승인”, 세종.
2. 국토교통부(2021), “단위면적당 건물에너지사용량 꾸준히 감소”, 세종.
3. 김용인·송승영(2014), “공동주택의 에너지사용량 실태 분석 및 각종 인자가 에너지사용량에 미치는 영향 분석”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 34(6): 93~102.
4. 김혜진·신재광·서동현(2023), “주거용 건물에너지 벤치마크데이터 개발”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」, 17(6): 482~496.
5. 서동현(2017), “대한민국 표준기상데이터 처리 프로그램 개발, 검증 및 시연”, 「한국태양에너지학회 춘계 학술발표회 논문집」, 34.
6. 서동현·노병일·임병찬(2014), “상세 건물에너지 시뮬레이션을 위한 표준공동주택모델 정의에 관한 연구”, 「대한건축학회 지회연합논문집」, 16(6): 285~296.  
Seo, D. H., B. I. Noh and P. C. Ihm (2014), “A Research on Prototypical Apartment House Definition for Detailed Building Energy Simulation”, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, 16(6): 285~296.
7. 유정현·김종엽·황하진(2012), “건물부문의 에너지 효율화를 위한 국가 건물에너지 통합관리 시스템의 활용방안 연구”, 「LHI Journal」, 3(3): 263~270.
8. 이나현·김혜진·서동현(2019), “가구에너지상설표본 조사 결과를 활용한 지역, 주거유형, 전용면적, 준공연도별 주거에너지 소비특성 분석”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」, 13(6): 545~558.

9. 정영선·정해권·장희경·유기형(2014), “건축물 설계 현황 분석을 통한 국내 비주거용 표준건물의 설정에 관한 연구”, 「한국태양에너지학회 논문집」, 34(3): 1~11.
10. 정윤혜·이종성·김효진·박지영(2013), “기존 공동주택 그린홈 개보수 제도 마련을 위한 거주자 수요 조사에 관한 연구”, 「토지주택연구」, 4(2): 201~209.
11. 정해권·정영선·허정호(2017), “공동주택의 표준건물 설정에 따른 에너지소비량 산정 및 특성분석”, 「대한건축학회 논문집-계획계」, 33(9): 45~52.
12. 진혜선·임한영·이수진·김성임·임재한·송승영(2018), “표본건물 계측에 의한 공동주택 세대에서의 용도별 에너지사용량 및 CO<sub>2</sub> 배출량 연간 원단위(2016~2017) 분석”, 「대한건축학회 논문집-구조계」, 34(7): 43~52.
13. 한국건설기술연구원(2007), 「건물의 에너지효율 등급 평가기준 및 정책개발에 관한 연구」, 2005-E-BD04-P-02, 일산.
14. 한국에너지기술연구원(2001), 「에너지 절약형건물의 성능인증기준, 제도 및 보급촉진방안 연구」, KIER-1998-E-BD-01-O-09, 대전.
15. ASHRAE (2002), *ASHRAE Guideline 14-2014: Measurement of Energy, Demand, and Water Savings*, Atlanta.
16. Huang, H. J. and E. Franconi (1999), *Commercial Heating and Cooling Loads Component Analysis, LBL-37208*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
17. Huang, H. J., J. A. Roberson and O. Sezgen (2005), *Analysis of 1999 CBECS Data by Commercial Building Type, LBNL-57457*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
18. Huang, Y. J., H. Akbari, L. Rainer, R. Ritschard (1991), *481 Prototypical Commercial Buildings for 20 Urban Market Areas, Technical Documentation LBL-29798*, Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
19. NREL (2007.8.15). Building America Research Benchmark Definition, <https://doi.org/10.2172/920931>.

## 요 약

표준건물 에너지모델은 정책, 연구 및 기술개발 등에 다양한 활용성이 있다. 상세 에너지해석용 표준공동주택모델이 서동현 외(2014)에 의해 제안되었으나, 모델의 에너지소비량 예측에 성능 검증용 신뢰성 있는 측정데이터가 없어 충분한 검증이 이루어지지 못하였다. 그러나, 최근 에너지경제연구원(KEEI)에서 매년 발표하는 가구에너지패널조사(HEPS) 데이터를 분석하여 공동주택 벤치마크데이터를 발표한 연구에 힘입어 검증이 가능하게 되었다. 이 연구는 이 검증용 데이터를 이용하여 표준공동주택 에너지모델을 중부지역, 2000년 이전 모델을 기준으로 보정하고, 보정된 모델을 이용하여 지역과 준공년도가 그룹에도 유효한 성능을 보여주는지 검증하였다. 검증에는 중부, 남부 각 5개씩의 대표도시 표준기상데이터가 이용되었고, 18개의 그룹에서 대부분 MBE, cv(RMSE) 기준을 만족하는 결과를 도출하였다.

**주제어:** 공동주택, 표준건물모델, 에너지해석, 건물에너지, 벤치마크데이터



# 탄소중립 건물의 기술적 정의와 사례 분석을 통한 탄소중립 달성 잠재성 분석\*

## Analysis of Potential to Achieve Carbon Neutrality through Technical Definition and Case Study of Carbon-Neutral Buildings

정민희\*\*

Min Hee Chung\*\*

### Abstract

This study analyzes the potential to achieve carbon neutrality through the technical definition and case studies of carbon-neutral buildings. In line with the Paris Agreement of December 2015, the global community has committed to limiting the average temperature rise to below 2oC and striving to restrict it to 1.5oC above pre-industrial levels. Achieving this requires reaching a net-zero state by 2050 and necessitates transitions across various sectors including energy, land use, and transportation. This research explores the technological approaches and real-world examples of carbon-neutral buildings, assessing their feasibility and limitations. By examining the definition of carbon-neutral buildings and presenting various technological solutions and case studies from both domestic and international contexts, this study evaluates the effectiveness and practicality of carbon-neutral buildings. The findings offer specific guidelines for the design, construction, and operation of carbon-neutral buildings and provide practical information for policymakers and practitioners aiming to create sustainable built environments.

**Keywords:** Carbon Neutrality, Net-Zero, Sustainability, Technical Definition

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

세계는 2015년 12월 파리 협정에 따라 세계 평균 기온 상승을 2°C 이하로 제한하고, 기온상승을 산업화 이전 수준보다 1.5°C로 제한하려는 노력을 추진하기로 합의하였다. 기후변화에 대한 정부간 패널 보고서에 의하면(IPCC, 2018), 1.5°C 목표를 달성하

기 위해서는 2050년까지 넷제로(net-zero) 상태에 도달해야 하며, 이를 위해서는 에너지, 토지, 수송 등 광범위한 부문에 전환이 필요하다고 발표하였다. 이러한 배경에 따라 국제사회는 2050년까지의 장기 저탄소 발전 전략(LEDs: Long-term low greenhouse gas emission development strategies)을 제출하였고, 각국의 상황에 따라 탄소중립(Carbon Neutrality) 달성하기 위한 목표를 설정하였다.

\*이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. RS-2023-00217322), 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2022R111A1A01053051).

\*\*경기대학교 건축학과 교수(ecochung@kyonggi.ac.kr)

EU는 유럽 그린딜(European Green Deal)을 통해 2050년까지 탄소중립 목표를 제시하였고, 2030년까지 탄소배출을 1990년대 대비 최소 55%를 감축하는 것을 함께 제시하였다(European Council, 2019). 미국은 탈퇴했던 파리협정을 2021년 재가입하면서 2030년까지 달성할 온실가스 감축목표를 2005년 대비 50-52%로 정하고, 2050년까지 탄소중립 달성을 제시하였다(U.S. Department of State, 2021). 일본은 지구온난화대응추진본부에서 2030년까지 2013년 대비 온실가스 배출량을 46% 감축하는 것을 목표로 내세우고, 2050 탄소중립 달성을 위한 계획을 제시하였다(Government of Japan, 2021). 중국은 2030년을 기점으로 탄소배출량을 감축하고 2060년 탄소중립을 달성할 것이라고 발표하였다(FMPRC, 2020). 우리나라는 2020년 2050 탄소중립 목표를 선언하고 2021년에 기후위기 대응을 위한 탄소중립, 녹색성장 기본법을 제정하였다. 이와 같이 세계 주요국들은 각국의 여건을 고려하여 탄소중립 달성을 위한 목표를 제시하고, 관련 법령을 제정하고 있다. 탄소중립을 달성하기 위해서는 건물 부분에서의 온실가스 감축이 필수적이며, 건축물의 에너지 효율 향상 및 고효율 기기 보급 등을 통해 2050년 2018년 대비 88.1%를 감축한다는 목표를 세웠다(2050탄소중립위원회, 2021).

탄소중립에 대한 정의는 기본적으로 온실가스 배출량이 제로에 가까워지거나 상쇄되는 상태를 의미하며, 건물, 조직, 국가 등의 온실가스 배출량이 자연 생태계에 의해 흡수되거나 탄소 상쇄 프로젝트를 통해 균형을 이루는 것을 말한다. 건물, 조직, 국가 등 다양한 맥락에서 탄소중립을 정의하기 위한 온실가스 배출량이 평가 범위, 탄소 상쇄 범위, 평가 대상 기간 등에 따라 다양하게 나뉜다. 탄소중립건물을 실현하기 위해서는 탄소중립에 대한 기술적 정의를 확립하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 탄소중립 건물을 구현하기 위한 기관별 기술적 정의 요소

비교·분석하고 기관별 기술적 정의 요소에 따른 탄소중립 달성 잠재성을 평가하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 탄소중립 건물에 대한 인증을 실시하는 주요 기관별로 탄소중립 건물에 대한 정의를 고찰하고 각 기관의 기준에 따라 인증받고 실제 건축된 건물을 선정하여 기술적 정의 범위에 따른 건물 계획 특성을 분석하고자 한다. 또한 탄소중립 실현가능성을 분석하기 위하여 탄소중립 실현이 용이한 단독주택 건물을 대상으로 각 기관의 탄소중립 정의에 따른 신재생에너지시스템의 적용 범위를 비교·분석하고자 한다.

## 2. 탄소중립건물의 정의 및 사례분석

### 2.1 탄소중립 건물의 기술적 정의요소

본 연구에서는 International Living Future Institute(ILFI), USGBC, UKGBC, Climte Active에서 제시하고 있는 탄소중립 건물의 기술적 정의에 관하여 고찰하고자 한다(Table 1).

ILFI는 2006년에 설립된 국제 비영리단체로, 미래를 위한 지속가능성을 강조하고 있고, 다른 단체보다 더 엄격한 기준을 제시하고 있다(International Living Future Institute, n.d). 탄소중립건물과 관련하여 Living Building Challenge, Zero Energy, Zero Carbon 인증을 운영하고 있다. Living Building Challenge는 장소(Place), 물(Water), 에너지(Energy), 건강과 행복(Health and Happiness), 재료(Materials), 공정성(Equity), 아름다움(Beauty) 7개의 petal로 이루어져 있으며 20개의 세부 항목에 대해 평가하고 있다. 평가 대상은 건축, 기존건물의 리모델링, 인테리어, 조경 및 기반시설로 구분하며 각각 유형에 따라 필수요건을 만족시켜야 한다. 탄소중립과 관련된 기준은 에너지 petal에서 제시하고 있다. 생산 및 시공

**Table 1.** Definitions of a Carbon Neutral Building by Organizations

| Organization                          | Program                                  | Period                                      | Emissions Concerned                          | Combustion                     | Energy Performance Requirement   | Renewable Energy Boundary               |
|---------------------------------------|--|---|--|--------------------------------|--|---|
| International Living Future Institute | Living Building Challenge                | Embodied Carbon: A1-A5, Operation: 12 month | Embodied carbon & Operation carbon           | NB: Not allowed<br>EB: Allowed | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied Carbon: 20% reduction</li> <li>• NB*:20% reduction (ASHRAE 90.1-2019 or IECC 2021)</li> <li>• EB**: ASHRAE 90.1-2019 or 50% reduction EUI</li> </ul> | 105% of energy needs through on-site RE |
|                                       | Zero Energy Certification                | Operation: 12 month                         | All energy uses                              | Not allowed                    | -  | On-site RE                              |
|                                       | Zero Carbon Certification                | Embodied Carbon: A1-A5, Operation: 12 month | Embodied carbon & Operation carbon           | NB: Not allowed<br>EB: Allowed | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Embodied Carbon: 20% reduction</li> <li>• NB:20% reduction (ASHRAE 90.1-2019 or IECC 2021)</li> <li>• EB: ASHRAE 90.1-2019 or 50% reduction EUI</li> </ul>    | On-and off-site RE                      |
| USGBC                                 | LEED Zero Carbon                         | Operation: 12 month                         | Operation carbon, occupant transportation    | Allowed                        | ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2016   | On-and off-site RE                      |
|                                       | Net Zero Carbon-Construction             | Embodied Carbon: A1-A5                      | Embodied carbon                              | NB: Not allowed<br>EB: Allowed | To Be Determined   | On-and Off-site RE                      |
| UKGBC                                 | Net Zero Carbon - Operational Energy     | Operation                                   | Operation carbon (Scope 1&2)                 | NB: Not allowed<br>EB: Allowed | 35 kWh/m <sup>2</sup> /yr for residential,<br>65 kWh/m <sup>2</sup> /yr for schools,<br>55 kWh/m <sup>2</sup> /yr for commercial offices   | On-and Off-site RE                      |
|                                       | Net Zero Carbon - Whole Life             | Whole Life A1-D                             | Whole life carbon                            | NB: Not allowed<br>EB: Allowed | To Be Determined   | On-and Off-site RE                      |
| Climate Active                        | Carbon-neutral Base Building Operations  | Operation: 12 month                         | Operation carbon of building's core services | Allowed                        | 4 star NABERS Energy rating or green star  | On-and Off-site RE                      |
|                                       | Carbon-neutral Whole Building Operations | Operation: 12 month                         | Operation carbon of all energy uses & water  | Allowed                        | 4 star NABERS Energy rating or green star  | On-and Off-site RE                      |

Note: \* and \*\* indicate new building and renovated existing building, respectively

에서 소요되는 내재탄소에 대하여 베이스라인 대비 20%를 절감해야 하며, 운영탄소는 ASHRAE 90.1-

2019 또는 IECC 2021에서 제시하는 것보다 20%를 절감해야 한다. 운영단계에서 소비된 에너지는 실제

에너지 사용량 계측을 통해 이루어지며, 건물에서 소비된 모든 에너지를 포함하게 된다. 신축의 경우 대지 연소는 불가하며, 기존 건물의 경우에만 냉난방을 위한 연소만 가능하다. 탄소중립을 위한 신재생에너지는 대지 내에서 105%를 생산해야 한다. 내재탄소 절감을 위해서는 외부 프로젝트 직접 지원하여 상쇄할 수 있다. Zero energy는 건물에서 실제 사용한 모든 에너지를 대지 내 신재생에너지를 통해 100% 공급해야 한다. Zero Carbon은 Living Building Challenge와 유사한 에너지 기준을 제시하지만, 대지 내 외에서 생산된 신재생에너지를 통해 필요 에너지의 100%를 공급할 수 있다는 차이가 있다. 에너지 Petal 이외에도 다른 petal부분도 만족해야 한다.

USGBC에서 운영하는 LEED Zero 프로그램은 carbon, energy water, waste를 운영하고 있다(USGBC, 2020). 이 중 LEED Zero Carbon은 LEED Gold 이상 인증받은 건물을 대상으로, 운영기간 중 1년간 사용한 에너지와 재실자의 이동에 의해 배출한 온실가스를 대지 내외 신재생에너지로 100% 상쇄해야 한다.

UKGBC에서는 평가 대상 기간에 따라 Net Zero Carbon-Construction, Operational Energy, Whole Life로 구분한다(UKGBC, n.d.). Construction에서는 생산 및 시공에 소요되는 내재 탄소를 대상으로 평가하며, Operational Energy에서는 실제 운영 기간 중 재실자에 의해 사용된 Process load는 제외한 에너지 사용량을 대상으로 평가한다. Whole Life에서는 건물 전과정에서 사용되는 온실가스 배출량을 대상으로 한다. 내재 에너지에 대한 평가가 들어가는 Construction과 Whole life는 건물의 에너지 성능에 대한 최소 기준은 마련 중이다.

호주 정부에서 운영하는 Climate Active는 호주 기업의 자발적인 기후 조치를 독려하기 위한 국가 기후 정책 지원 프로그램이다(Climate Active, n.d.). 인증 대상은 조직, 상품, 서비스, 건물 등이다. 이 중 Carbon-neutral Base Building Operations와 Carbon-

neutral Whole Building Operations는 건물의 탄소 중립을 평가하는 프로그램으로, 건물에서의 실제 에너지 사용량을 대상으로 대지 내외 신재생에너지를 통한 온실가스 배출량 상쇄가 100% 되었는지를 평가한다. Base Building은 건물의 냉난방, 내외부 조명, 온수 등의 사용량을 범위로 하며, Whole building은 재실자에 의해 사용된 모든 에너지를 대상으로 한다는 차이점이 있다. Climate Active의 인증기간은 1년으로 다른 프로그램에 비해 가장 짧다.







각 기관의 탄소중립에 관한 기술적 정의는 탄소배출기간, 탄소배출 범위, 대지 연소, 신재생에너지의 공급 범위 등에 따라 달라진다. 특히, 제로에너지건축물 인증은 계획단계에서 예측값으로 평가했던 것과는 대비로 탄소중립 건물 인증 프로그램들은 실제 사용한 에너지 소비량을 대상으로 온실가스 배출을 상쇄하였는지를 평가하여 탄소중립 실현을 더욱 정확하게 검증한다. 이러한 평가 방식은 건물이 실제로 얼마나 지속 가능하게 운영되고 있는지를 입증하며, 계획된 대로 에너지 절감과 온실가스 배출 저감 목표를 달성하는지를 확인하는 데 중요한 역할을 한다.

## 2.2 탄소중립 건물 사례 분석

인증 프로그램에 따라 인증받은 실제 건물을 분석하여 각 프로그램의 특징을 비교하고자 한다(Table 2). Cal Guerxo는 Living Building Challenge를 인증받은 건물로 스페인에 위치한 건물이다(ILFI, n.d.). 해당 건물은 기존 건물을 리모델링하여 재사용한 건물로, 리모델링 시 기존 자재 34%를 사용하고, 1000 km 이내 지역에서 생산된 자재 36%, 5,000km 이내에서 생산된 자재 25%를 사용하여 건물의 내재에너지를 줄이기 위해 노력했다. 건물 운영 첫해 에너지 요구량이 112%를 초과 생산하여 탄소중립을 달성했으며, 내재 탄소는 브라질의 재생에너지 프로젝트에 지원하여 내재탄소 발생을 상쇄하였다.

Westwood Hills Nature Center는 ILFI의 Zero

**Table 2.** Best Practices of a Carbon Neutral Building by Organizations

| Building           | Cal Guerso   | Westwood Hills Nature Center  | Lon 6 Pancras Square  | Hanergy Renewable Energy Center  | The Forge   | Workzone East & West  |
|--------------------|--|---|---|--|---|---|
| Program            | Living Building Challenge  | Zero Energy Certified   | Zero Carbon Certified   | LEED Zero Carbon   | Net Zero Carbon Building  | Carbon -neutral Base Building   |
| Location           | Bersca, Spain  | St. Louis Park, MN, USA   | London, UK  | Beijing, China   | London, UK  | Perth, Australia  |
| Building Type      | Residential  | Institutional   | Office  | Exhibition Center  | Office  | Office  |
| Climate Zone       | Cfa  | Dfa   | Cfb   | Dwa  | Cfb   | Csa   |
| Project Area       | 275 m <sup>2</sup>   | 1,260 m <sup>2</sup>  | 49,400 m <sup>2</sup>   | 2,545 m <sup>2</sup>   | 13,000 m <sup>2</sup>   | 27,962 m <sup>2</sup>   |
| Start of Occupancy | 2019 (Renovated)   | 2020  | 2016 (Renovated)  | 2019 (Existing)  | 2022  | 2011  |
| Renewable Energy   | 4.95 kW PV   | 150 kW PV,  | 100% off-site RE  | BIPV   | 107 PV panel (100% on-site RE)  | 100% off-site RE, 99kW PV for EV  |
| Remarks            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Use of existing materials and natural materials.</li> <li>• Use of local material (&lt; 5000 km)</li> <li>• Carbon footprint 1.8 kgCO<sub>2</sub>e → offset by supporting a renewable energy project in Brazil</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• The first ZEC in cold climate</li> <li>• All-electric building</li> <li>• Operational data shows the building as energy net positive.</li> <li>• Energy modeling using future weather</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 16.8% reduction in embodied carbon from baseline</li> <li>• 47% EUI reduction</li> <li>• 27% reuse of components for the interior fit-out</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• The building exterior uses building -integrated photovoltaics design, integrating thin-film solar power generation modules into building curtain walls and roofs (7,119 m<sup>2</sup>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• The first net zero carbon commercial building in UK</li> <li>• 25% reduction in embodied carbon (A1-5)</li> <li>• 44% reduction in CO<sub>2</sub> against Part L, surpassing the GLA target</li> <li>• NABERS UK 5 Star rating.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• The NABERS Energy rating for the building increased from 4.5 Star to 6 Star</li> <li>• Certified Emissions Reductions: UN Carbon Offsets Program</li> <li>• Roof top PV for EVs</li> </ul> |
| Building           |   |    |    |   |   |    |

Energy 인증을 받은 건물이다(ILFI, n.d.). 본 건물은 냉대기후에서의 첫 인증 사례이다. 건물의 지열히트

펌프를 사용한 바닥복사난방, 150kW의 태양광발전 시스템이 적용되었다. 본 건물은 자연공원 내에 위

치한 건물로 대지 내 태양광 발전시스템의 설치 가능 면적이 많아 옥상 뿐만 아니라 대지 내 외부에도 많은 용량의 태양광발전시스템을 설치할 수 있었다. 또한 건물 계획 시 미래의 기후 변화를 예측하여 에너지 계획을 실시함으로써 운영기간 동안의 넷포지티브를 달성할 수 있었다.

Lon 6 Pancras Square는 기존건물을 리모델링하여 ILFI의 Zero Carbon을 인증받은 건물이다. 대규모 업무시설을 대상으로 Zero Carbon을 인증받았다는 점에서 의미있다. 시공단계에서 사용된 에너지는 기존 사례보다 22% 절감했으며, 저탄소 설계기법과 자재를 사용하여 내재탄소를 16.8% 감소시킬 수 있었다. 인증기준의 에너지 절감량은 기존건물 대비 30%이었지만, 본 건물은 47%의 에너지 절감을 달성하였다. 탄소중립을 위한 신재생에너지의 적용은 100%대지 외 공급을 통해 달성하였다. 본 건물이 도심에 위치하였으며, 대규모 건물인 점을 감안하면 대지 내 설치한 신재생에너지만을 통해서만 탄소중립을 달성하기 어려웠을 것이라 판단된다.

LEED Zero Carbon을 인증받은 건물은 중국 베이징에 위치한 Hanergy Renewable Energy Center이다. 본 건물은 기존 건물을 리모델링하여 LEED Platinum을 획득하고 Zero Carbon인증을 받았다. 본 건물은 태양전지 생산 업체의 전시관인 만큼 건물의 모든 외피를 BIPV형태로 적용하여 314 tCO<sub>2eq</sub>를 상쇄하는 것으로 보고되었다.

The Forge는 영국 최초의 Net Zero Carbon 상업용 건물이 되는 것을 목표로, UKGBC의 프레임워크와 Zero Carbon Building 정의에 따라 건설된 건물이다. P-DfMA(설계용 제조 및 조립)를 적용하여 공사 기간을 단축하고, 내재탄소를 25% 절감할 수 있었다. Lon 6 Pancras Square와는 달리 100% 대지 내 신재생에너지를 조달하여 탄소중립을 달성할 수 있었다.

Workzone East & West는 Climate Active의

Carbon-neutral Base Building을 인증받은 건물이다. 본 건물은 최초 건물 에너지 효율등급은 4.5 star NABERS를 획득하였으나, 효율적인 시스템으로의 개선, M&V를 통해 건물의 에너지 효율등급을 6 star NABERS로 개선하였다. 본 건물에는 99kW급의 태양광발전시스템이 설치되어 있으나, 이는 전기차의 에너지 공급원으로 사용되며, 100% 대지 외 재생에너지를 구입하여 탄소중립을 달성하였다는 점에서 다른 건물과의 차이가 있다.

다양한 인증 프로그램을 통해 탄소중립을 실현한 건물들을 비교·분석한 결과, 건물의 리모델링, 설계, 재생에너지 통합 등의 방법을 통해 탄소중립을 실현하며, 다양한 접근 방식과 기술 적용이 가능함을 보여주었다. 대부분의 인증 건물은 날씨가 온화한 온대 기후에서 탄소중립을 달성하였으며, 내재탄소를 포함할 경우 대지의 재생에너지를 포함하는 경우가 대부분이었다. 또한 내재탄소를 절감하기 위해서는 저탄소 자재의 사용 및 저탄소 설계가 반드시 포함되어야 할 것이다.

### 3. 탄소중립 달성 잠재성 분석 방법

#### 3.1 모델 개요

프로그램별로 제시된 탄소중립의 기술적 정의에 따라 탄소중립을 달성하기 위한 신재생에너지의 공급량을 비교하기 위하여 단독주택을 대상건물로 설정하고자 한다. 단독주택은 설계와 건축에서 높은 유연성을 가지고 있어 패시브 디자인 및 신재생에너지 통합이 용이하고, 에너지소비 패턴이 비교적 단순하여 탄소중립 실현이 비교적 용이한 건물이므로 단독주택을 대상건물로 선정하였다. 단독주택은 국민주택규모를 고려하여 농촌주택 표준설계도서를 참고하여 선정하였다. 분석 대상 건물은 Fig. 1과 같으며, 건물에 적용된 기술개요는 Table 3과 같다.

각 프로그램에서 제시하는 최소 에너지 성능 수준

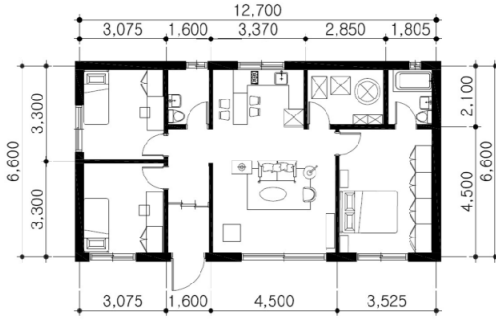


Fig. 1. Plan of a Target Detached House

Table 3. Building Parameters used in the Simulation

| Variables                            | Value                                |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Building Type                        | Detached House                       |
| Location                             | Seoul                                |
| Floor Area                           | 83.82 m <sup>2</sup>                 |
| Number of Floors                     | 1                                    |
| Floor/Ceiling Height                 | 3 m / 2.3 m                          |
| External Wall U-value                | 0.170 W/m <sup>2</sup> K             |
| Roof U-value                         | 0.150 W/m <sup>2</sup> K             |
| Floor U-value                        | 0.170 W/m <sup>2</sup> K             |
| Window U-value                       | 0.080 W/m <sup>2</sup> K             |
| Window SHGC                          | 0.430                                |
| Window VT                            | 0.400                                |
| Infiltration                         | 1.5 ACH50                            |
| Occupancy Density                    | 0.0229 people/m <sup>2</sup>         |
| Lighting Density                     | 5.5 W/m <sup>2</sup>                 |
| Power Density                        | 6.4W/m <sup>2</sup>                  |
| Mechanical Ventilation               | 0.5 ACH                              |
| Heating System                       | Floor radiant heating with boiler    |
| Heating System Efficiency            | 92%                                  |
| Fuel Type                            | Natural gas                          |
| Cooling System                       | Packaged terminal DX air-conditioner |
| COP                                  | 3.5                                  |
| Heating/Cooling Setpoint Temperature | 20°C/27°C                            |

을 만족하는 것으로 가정하였다. 각 프로그램별 에너지 성능 수준은 각 지역의 기후를 반영하여 제시되어 있어, 이를 우리나라 기후에 적용하기는 어려우므로 에너지 성능 수준은 제로에너지 수준을 준수하는 것으로 가정하였다. 대상 신재생에너지시스템은 태양 광발전시스템으로 한정하여 평가하였다. 건물의 냉난방 시스템은 도시가스를 이용한 바닥복사난방과 에어컨을 적용하였으나, 일부 프로그램에서는 대지 내 연소를 불허하므로, 전기를 사용하여 바닥복사난방을 실시하는 것으로 가정하였다. 분석 대상은 운영 단계에서 발생하는 에너지만을 대상으로 가정하여 비교하였다. 일부 프로그램에서는 실측값을 대상으로 평가하나, 에너지소비량의 일관성을 유지하기 위하여 에너지 해석값으로 대체하였다. 건물 에너지 해석은 Designbuilder를 이용하였으며 Meteororm7.0에서 제공하는 서울기상데이터를 사용하였다.

### 3.2 온실가스 배출량 산정

온실가스배출량의 평가는 “공공부문 온실가스목표관리 운영 등에 관한 지침 제23조 관련 “외부감축사업 온실가스 감축량 산정 방법론”에 의해 전기에 의한 온실가스 배출량을 식 (1)와 같이 산출하였다 (환경부, 2022).

$$ER = E \times EF_{CO2eq} / 1000 \quad (1)$$

여기서 ER은 총 온실가스 감축량(kgCO<sub>2eq</sub>), E는 전력 소비량(kWh), EF<sub>CO2eq</sub>는 조정 전력배출계수(0.46625 kgCO<sub>2eq</sub>/kg)를 의미한다.

도시가스 사용에 의한 온실가스 배출량은 식 (2)와 식 (3)에 의해 산출하였다.

$$ER = FC_{gas} \times EF_{CO2eq, gas} / 1000 \quad (2)$$

$$FC_{gas} = HG_{pf} / EC \quad (3)$$

여기서 ER은 총 온실가스 감축량( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ),  $\text{FC}_{\text{gas}}$ 는 도시가스 소비량( $\text{m}^3$ ),  $\text{EF}_{\text{CO}_{2\text{eq,gas}}}$ 는 조정 도시가스 배출계수( $2.2494\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{m}^3$ ),  $\text{HG}_{\text{PJ}}$ 는 열 에너지 소비량(MJ), EC는 순발열량  $40\text{MJ}/\text{m}^3$ 을 의미한다.

태양광발전시스템에 의해서 생산된 전기는 식 (1)에서 산출된 전기에 의한 온실가스 배출량을 상쇄하는 것으로 가정하였다.

#### 4. 탄소중립의 기술적 정의에 따른 태양광발전시스템의 요구량 분석 결과

##### 4.1 운영단계에서의 에너지 해석 결과

대상 건물의 에너지 해석 결과는 Table 4와 같다. 도시가스와 전기를 사용하는 기존 방식에 따른 건물

**Table 4.** Energy Break by End Use (Unit: kWh)

| End-Use     | Conventional |             | All-Electric |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
|             | Gas          | Electricity |              |
| Heating     | 657          | 9           | 1,867        |
| Cooling     | -            | 443         | 443          |
| DHW         | 669          | -           | 708          |
| Lighting    | -            | 1,001       | 1,001        |
| Ventilation | -            | 219         | 249          |
| Appliance   | -            | 1,889       | 1,889        |
| Annual      | 4,887        |             | 6,157        |

의 연간 최종에너지 사용량은  $4,925\text{kWh}$ 이다. 제로에너지건축물 인증기준 평가 방법에 따라 1차에너지소요량을 계산하였을 때,  $78.65\text{kWh}/\text{m}^2\text{yr}$ 로 평가되었다. 본 건물은 제로에너지 인증기준에 부합하는 건물로 분석되었다. 전체 최종에너지 사용량 중 도시가스와 전력 사용량의 비율은 27%와 73%를 각각 나타냈다. 전체 에너지 소비량 중 재실자에 의해 사용되는 기기부하의 비중은 전체 에너지소비량의 39%로 나타났다.

대상 건물이 화석연료만을 사용하는 건물로 가정하였을 때는 연간 최종 에너지소요량은  $6,157\text{kWh}$ 로 나타났다. 이는 난방과 온수 보일러를 전기로 공급함에 따른 효율 저하로 판단된다.

##### 4.2 탄소중립을 위한 신재생에너지 요구량 분석 결과

Table 5는 Living Building Challenge, LEED Zero Carbon, UKGBC의 Net Zero Carbon Operational Energy, Climate Active의 Carbon-neutral Base Building Operations에서 제시하고 있는 탄소중립의 기술적 정의에 따른 운영단계에서의 온실가스 배출량과 PV시스템에서 생산되어야 할 에너지 양을 평가한 것이다.

Living Building Challenge와 LEED Zero Carbon은 재실자에 의한 기기부하 사용 부분을 포함하여

**Table 5.** The results of Greenhouse Gas Emissions and Required PV System by Certification Programs

| Program<br>(Organization)                      | Living Building<br>Challenge<br>(ILFI) | LEED Zero Carbon<br>(USGBC) | Net Zero Carbon -<br>Operational<br>Energy<br>(UKGBC) | Carbon-neutral<br>Base Building<br>Operations<br>(Climate Active) |
|--|--|-----------------------------|---|---|
| GHG Emission<br>( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ ) | 2,870.0                                | 1,928.4                     | 1,990.0   | 1,047.9   |
| Energy to Be Produced<br>by PV Systems (kWh)   | 6,464.9                                | 4,136.0                     | 4,268.0   | 2,247.5   |
| Expected Capacity of<br>PV Systems (kW)        | 5.9                                    | 3.8                         | 3.9   | 2.1   |
| Area Required ( $\text{m}^2$ )                 | 40~59                                  | 26~38                       | 27~39   | 14~20   |

산출하였으며, UKGBC와 Climate Active에서는 5대 부하만을 대상으로 온실가스 배출량을 산출하였다. 또한 Living Building Challenge와 UKGBC에서는 전기만을 사용하는 건물로 가정하였다. 태양광발전 시스템의 설치 면적은 단위용량당 7~10m<sup>2</sup>의 면적이 필요한 것으로 가정하였다(박규섭, 2013; 조대성, 2012).

프로그램의 대상 범위에 따라 Living Building Challenge에서는 전전화 건물로 계획하고, 신재생 에너지의 생산량도 소비량이 105%로 제시함에 따라 가장 많은 태양광발전시스템의 용량을 필요로 하였다. Climate Active가 가장 적은 면적을 필요로 하였다. 우리나라 주거 건물은 대부분 도시가스를 통한 바닥복사난방을 실시하고 있어(이경희·이준기, 2021; 황광훈, 2022), 전전화로 전환하는 것은 어려울 것이다. 따라서 탄소중립 건물의 기술적 정의를 정립할 때 우리나라의 실태를 감안하여 탄소중립의 범위를 산정하는 것이 필요할 것이다. 또한 Table 5에서는 운영단계만을 대상으로 평가하였으나, 만약 내재탄소를 포함한다면 더 많은 면적을 필요로 할 것이다. 그러나 우리나라와 같이 고밀도의 도시환경에서 탄소중립을 달성하기 위해서는 대지 내 재생에너지만으로는 어려울 것으로 판단되므로 대지외 재생에너지의 구입을 통한 탄소중립 달성을 허용해야 할 것이다.

## 5. 결 론

본 연구는 탄소중립 건물의 정의를 제시하기 위하여, 탄소중립 건물 인증 프로그램을 비교하여 특성과 기술적 정의를 분석하였다. 또한 각 프로그램의 기술적 정의에 따라 단독주택을 대상으로 탄소중립을 달성하기 위한 신재생에너지의 설치·공급량을 분석하였다.

탄소중립 건물에 관한 기술적 정의 범위는 평가 대

상 기간, 탄소배출 범위, 대지 내 연소 허용 여부, 최소 에너지소비량의 규정, 신재생에너지의 공급 범위에 따라 다양하였다. Living Building Challenge는 건물의 전과정을 평가에 포함시켜 내재 탄소 저감을 위한 건축 계획이 필요함을 강조하며, 가장 엄격한 기준을 제시하였다. 반면, Climate Active는 일부 부하만을 평가 대상으로 삼아 상대적으로 낮은 기준을 설정하였다. Living Building Challenge, USGBC, UKGBC에서는 전기만을 사용하는 건물로 가정하였다.

우리나라의 경우, 대부분의 주거 건물이 도시가스를 통한 바닥 복사 난방 방식을 사용하므로 전전화 건물로의 전환은 현실적으로 어려운 상황이다. 또한 도시가스와 전기의 온실가스 배출량의 차이가 있어 발전단에서 에너지원의 변화없이 현재와 같은 수준에서 전기를 생산한다면 탄소중립을 위해 더 많은 태양광발전시스템이 필요함을 알 수 있었다. 따라서, 국내 실정을 고려했을 때, 대지 내 연소를 포함하고, 대지의 신재생에너지의 도입을 포함하여 한국형 탄소중립 건물의 정의와 기준이 마련되어야 할 것이다. 탄소중립 건물의 적용 잠재성을 높이기 위해서는 건물에서의 에너지 효율 극대화를 통한 부하 저감 및 신재생에너지의 적용이 필수적이다. 또한 향후 내재탄소를 포함하여 탄소중립을 실현해야하므로 탄소상쇄의 범위가 대지 내뿐만 아니라 대지 외부에서의 재생에너지 도입 포함하고, 다양한 신재생 에너지원의 공급을 인정해주어야 한다.

본 연구는 단독주택의 실제 에너지 소비량이 아닌 에너지 성능 예측 값으로 평가되었기 때문에, 탄소중립 인증 프로그램에서 제시하는 기준과는 차이가 발생하는 한계를 가진다. 또한, 대표 건물이 우리나라의 건물 특성을 대표하기에는 한계가 있다. 그러나, 탄소중립 달성이 비교적 용이한 건물 유형 중 하나인 단독주택을 대상으로 신재생에너지의 공급 비중을 비교함으로써, 향후 다른 건물로 확장시 참고로 활용가능할 것이다.

결론적으로, 탄소중립 건물의 정의와 기준은 각 지역의 기후, 에너지 사용 방식, 건축 기술 등을 반영한 맞춤형 접근이 필요하다. 연구 결과는 국내 탄소중립 건물 정책 수립 및 실무 적용에 중요한 참고자료로 활용될 수 있으며, 지속 가능한 건축 환경 조성에 기여할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 박규섭(2013), 「서울 학교 햇빛발전소 실태조사와 개선방향 연구」, 서울: 서울연구원, 1~5.
2. 이경희·이준기(2021) “부산시 임대아파트 및 분양아파트의 냉난방에너지 소비량 분석” 『LHI Journal』, 12(3): 79~85.
3. 조대성(2012) “건물일체형 태양광발전시스템(BIPV)의 설계 및 시공시 고려사항”, 『건설기술 쌍용』, 64: 32~41.
4. 환경부(2022.3.25), “공공부문 온실가스 목표관리 운영 등에 관한 지침”, 제23조.
5. 황광훈(2022) “수도권 및 비수도권 청년층의 주거특성 및 주거특성에 미치는 영향요인 분석” 『LHI Journal』, 15(1): 135~146.
6. 2050탄소중립위원회(2021.10.18), “2050 탄소중립 시나리오”, 2050탄소중립녹색성장위원회, <https://www.2050cnc.go.kr/base/board/read?boardManagementNo=4&boardNo=101&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=2&menuNo=15>.
7. Climate Active, “Certification”, Accessed April 24, 2024. <https://www.climateactive.org.au/>.
8. European Council (2019), “The European Green Deal”, [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/story-von-der-leyen-commission/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/story-von-der-leyen-commission/european-green-deal_en).
9. FMPRC (2020), “Statement by H.E. Xi Jinping President of the People’s Republic of China At the General Debate of the 75th Session of The United Nations General Assembly”, Ministry of Foreign Affairs of the People’s Republic of China, [https://www.fmprc.gov.cn/eng/topics\\_665678/2020zt/kjgzbdffyq/202009/t20200922\\_701134.htm](https://www.fmprc.gov.cn/eng/topics_665678/2020zt/kjgzbdffyq/202009/t20200922_701134.htm).
10. Government of Japan (2021). “Global Warming Countermeasure Plan”, <http://www.env.go.jp/earth/211022/mat01.pdf>.
11. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018), “Special report: Global warming of 1.5 C”, <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
12. International Living Future Institute (ILFI), Accessed March 28, 2024. <https://living-future.org/>.
13. U.S. Department of State (2021). “The Long-Term Strategy of the United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050”, <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/US-LongTermStrategy-2021.pdf>.
14. UKGBC, “Net Zero Carbon Buildings: A Framework Definition”, Accessed April 25, 2024. <https://ukgbc.org/resources/net-zero-carbon-buildings-a-framework-definition/>.
15. USGBC (2020), “LEED Zero Program Guide”, <https://www.usgbc.org/resources/leed-zero-program-guide>.

## 요약

본 연구는 탄소중립건물의 기술적 정의 및 사례 분석을 통해 탄소중립 달성의 잠재성을 분석한다. 2015년 12월 파리 협정에 따라 세계는 평균 기온 상승을 2°C 이하로 제한하고, 산업화 이전 수준보다 1.5°C로 제한하려는 노력을 추진하기로 합의하였다. 이를 위해 2050년까지 넷제로(net-zero) 상태에 도달해야 하며, 에너지, 토지, 수송 등 광범위한 부문에서 전환이 필요하다. 본 연구는 탄소중립을 달성하기 위한 기술적 접근과 실제 사례를 통해 탄소중립건물의 가능성과 한계를 탐구하며, 이를 통해 미래의 탄소중립 목표 설정에 기여하고자 한다. 특히, 탄소중립 건물의 정의와 그 실현을 위한 다양한 기술적 방안을 소개하고, 이를 실현한 국내의 사례를 분석함으로써 탄소중립 건물의 효과와 실행 가능성을 평가한다. 연구 결과는 탄소중립 건물의 설계, 건설 및 운영에 대한 구체적 가이드라인을 위한 정보를 제공하며, 정책 입안자와 실무자들이 지속 가능한 건축 환경을 조성하는 데 필요한 실질적 정보를 제공한다.

**주제어:** 탄소중립건물, 넷제로, 지속가능성, 기술적 정의

# 그린리모델링 성과 평가 관점에서 본 준공 시점 단열 성능 검증의 중요성\*

## Importance of Preliminary Validation of Exterior Wall Thermal Resistance in the Evaluation Context of Building Energy Retrofit Projects

임승민\*\* · 김소연\*\*\* · 강창오\*\*\*\* · 김가인\*\*\*\*\* · 임종연\*\*\*\*\*

Seungmin Lim\*\* · Soyeon Kim\*\*\* · Changoh Kang\*\*\*\* · Gain Kim\*\*\*\*\* · Jongyeon Lim\*\*\*\*\*

### Abstract

This study investigates the thermal conductivity and density of expanded polystyrene insulation materials collected from buildings under going energy retrofit projects. Due to the absence of initial thermal conductivity data, determining precise long-term patterns was challenging. Analysis based on design documents revealed that expanded polystyrene insulation maintained consistent performance over ten years. Notably, the thermal conductivity measurements of insulation samples of the same grade and age varied significantly. Additionally, the insulation density was found to be substantially below the standard specified in the design documents. The results of the experiment indicate that performance management during both construction and operation phases is lacking. It is crucial to apply building commissioning, which involves performance verification throughout the building's life cycle, to properly evaluate building energy performance improvements, such as building energy retrofit projects.

**Keywords:** EPS Insulation, Thermal Resistance, Energy Retrofit, Building Commissioning

### 1. 서론

2015년 파리협정 이후, 지속적으로 국가 차원의 탄소중립 실현을 위한 건축 부문의 역할이 강조되고 있다. 그리고 구체적인 수단으로서 신축 건물의 제로 에너지건축물 의무화와 기존 건물의 그린리모델링 확산을 위한 큰 노력이 기울여지고 있다. 규제 및 유인책의 시행이 비교적 용이한 신축 건물에 대해서는

제로에너지건축물 의무화 확대에 관한 상세한 로드맵에 따라 점진적인 범위 확대 및 조건 상향이 이루어지고 있다. 하지만 기존 건물을 대상으로 하는 그린리모델링은 그 확산을 위한 규제 및 유인책 마련이 쉽지 않아, 2025년부터 공공건축물 그린리모델링을 의무화하겠다는 내용 이상의 구체적인 로드맵이 구성되지 않은 것이 현실이다(김수민·조현미, 2020). 하지만, 국내 건축물의 총 연면적 증가율이 3%가 채

\*본 연구는 국토교통부의 재원으로 국토안전관리원의 지원(그린리모델링 지역거점 플랫폼)을 받아 수행되었음.

\*\*강원대학교 건축학과 조교수(주저자: smlim@kangwon.ac.kr)

\*\*\*강원대학교 일반대학원 에너지인프라융합학과 석사과정

\*\*\*\*강원대학교 건축도목환경공학부 학사과정

\*\*\*\*\*강원대학교 건축도목환경공학부 부교수(교신저자: jongyeon.lim@kangwon.ac.kr)

안 되는 것을 고려하면(국토교통부, 2023) 건축 부문에 할당된 온실가스배출량 절감 목표 달성을 위해서는 기축 건물에 대한 적극적인 대책이 중요함은 명백하다. 이러한 견해는 UN 보고서에서도 동일하게 언급되고 있다(UN Environment Programme, 2022).

*"Actions for new buildings will avoid unnecessary future emissions but will have limited impact on emissions being generated from the buildings sector today."*

건축물 총 연면적의 증가세는 시기, 용도 등 다양한 요인의 영향을 받아 변화하지만, 최근 5년간 평균적으로 3% 내외의 증가율로 안정되어 있다. 이는 신축건물의 제로에너지건축물화에 의해 달성할 수 있는 온실가스배출량 절감분은 로드맵에 기반하여 높은 정확도로 예측 가능하다는 것을 의미한다. 그리고 건물 부문 전체의 절감 목표 달성을 위한 잔여 배출량은 기축 건물에 대한 대책을 통해 절감해야 하므로 그린리모델링을 통해 줄여야 하는 전체 배출량(이후, GR(Green Remodeling) 스톱 절감량) 또한 예측이 가능하다고 볼 수 있다(임종연, 2021).

GR 스톱 절감량을 알고 있다면, 그 다음은 하나하나의 그린리모델링 프로젝트를 리모델링 이전 대비 어느 정도의 배출량 절감 포텐셜을 가지는지를 평가하고, 이를 통해 GR 스톱 절감량 목표 달성을 위해서는 어느 정도의 리모델링 물량이 필요한지 산출하여 그린리모델링 로드맵을 구체화해야 한다. 국토교통부와 국토안전관리원에 의해 2020년 이후 본격적으로 수행되고 있는 공공건축물 그린리모델링 사업은 그린리모델링의 비용과 편익에 관한 빅데이터를 확보하여, 향후 민간 건축물 그린리모델링 확산을 포함한 로드맵을 만들기 위한 중요한 밑거름이 될 것으로 생각한다.

그린리모델링 프로젝트의 편익, 그중에서도 온실가스배출 절감량을 정량화하는 과정은 리모델링 전후로 건축물 에너지소비가 얼마나 줄었는지를 분석

하는 것으로 귀결된다. 현재는 준공 당시의 성능과 그린리모델링 이후의 성능을, 설계도서를 기준으로 비교한 연간 1차 에너지소비량의 대소 관계를 통해 사업 성과를 평가하고 있다.

그린리모델링 비용과 편익에 대한 빅데이터가 향후 의미 있게 활용되기 위해서는 그 도출 과정이 합리적이어야 한다(이종성 외, 2010). 전술의 그린리모델링 성과 평가 방식은 그린리모델링 확산 로드맵을 구체화하기 위한 기초 자료의 측면에서 불합리한 부분을 내포한다. 국가 온실가스 감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution)는 2018년을 기준 연도로 설정하고 있기 때문이다. 건물 부문에 할당된 배출량 절감분에 대한 그린리모델링의 기여분을 예측하고 로드맵을 구체화하기 위한 기초 자료로서 그린리모델링 편익은 준공 당시 시점이 아닌 그린리모델링 직전 시점, 정확히는 2018년 시점의 건물 성능과 비교하여 도출하는 것이 합리적인 방향으로 보인다. 또한 기후 조건, 이용자 특성 등의 외란에 의한 불확실성을 배제하고 건물 성능 향상에 의한 배출량 절감분만을 추출하려는 노력이 필요하다. 이미 이와 관련된 다양한 이슈가 제기되고 있지만, 본 논문에서는 그린리모델링 이전 기존 건물의 합리적인 성능 평가를 위한 고려사항 중 시간의 흐름에 따른 건물 외피 성능 저하, 특히 단열재의 성능 열화에 주목한다.

건축용 단열재 성능 열화는 단열재 장기 열저항이라는 개념을 통해 기존에 많은 연구가 이루어져 왔으며, 장기 열저항을 측정하여 단열재 성능의 경시 변화를 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 실험실 조건에서 가속 노화 실험(ISO 11561)을 수행하여 열전도율의 경시 변화를 도출하거나(김진희 외, 2020), 실험용 건축물 외피에 설치된 단열재의 열저항을 장기 측정하여 경시 변화 양상을 제시한 연구결과가 보고되고 있으며(최현중 외, 2021), 이들 모두가 귀중한 연구 결과이지만, 실제 운용되는 건물에 설치된 이후 10년 이상 경과된 노후 단열재의 성능이 어

떻게 변화되는지에 대한 데이터가 보고된 사례가 매우 적다(김현진·최세진, 2019).

본 연구에서는 그린리모델링의 성과 평가 절차에 실제 외피 성능이 반영될 필요가 있음을 강조하며, 단열재의 장기 성능 변화를 검토하기 위해 준공 이후 11~31년 경과된 노후 건축물의 그린리모델링 현장에서 채취한 단열재 샘플을 통해 열전도율 측정 결과를 제시한다. 또한, 준공 당시 단열재의 초기 성능 정보 불확실성에 따라 측정 열전도율에 밀도의 변화를 추가로 고려해 보정 절차를 제안한다. 마지막으로 측정 및 분석 결과에 근거하여 그린리모델링 성과 평가 관점의 단열재 이슈는 장기 열저항 만큼이나 초기 성능 검증의 중요함을 강조하고자 한다.

## 2. 단열재 채취 및 열전도율 측정

### 2.1 단열재 현장 취득 개요

본 연구에서 진행한 측정의 단열재 샘플은 국토교통부와 국토안전관리원에서 시행 중인 공공건축물 그린리모델링 지원사업 대상지의 일부(그린리모델링 과정에서 외벽 단열 보강을 위해 기존 벽체의 단열재가 철거되고 단열재를 신설하는 경우에 해당)에서 채취되었다.

본 논문의 결과는 51개소(강원도 소재)의 건물에서 채취한 53개 샘플에 대한 측정 결과에 기초하고 있으며, 준공 이후 11~31년이 경과한 시점에서 채취되었고, 모두 비드법 단열재(이후, EPS, Expanded Poly Styrene)에 해당한다.

### 2.2 열전도율 측정 결과

53개의 노후 단열재 샘플은 평판 열류계법에 의한 열전도율 측정기기(Netsch사의 HFM 446)에 의해 성능 측정이 이루어졌다. 또한 이 중 34개의 노후 단열재 샘플에 대해서는 인증시험기관에 위탁하여 KS L 9016에 규정된 시험방법에 따라 얻어진 열전도율

과 비교함으로써, 자체적으로 수행한 열전도율 측정 시험의 신뢰성을 검증하였다.

Table 1은 각 단열재 샘플의 열전도율 측정 결과를 나타낸다. 자체적으로 수행된 열전도율 측정 결과는 인증시험기관의 측정 결과와 비교하여 일관되게 높게 나타나고 있지만 그 차이는 약 3% 정도로 이후 제시될 분석 결과에 큰 영향이 없다고 판단하고 이후 분석에는 자체 수행 열전도율 측정 시험 결과를 활용하였다.

Fig. 1은 설치 후 경과 연수 5년 간격으로 분류된 샘플에 대해 각 구간의 열전도율 측정치 평균과 샘플 개수를 나타낸 것이다. 설치 후 경과 연수 20년 이하의 채취 샘플이 대다수(53개 중 45개)를 차지하고 있어, 그 이상 오래된 단열재의 열전도율 측정치는 불확실성이 크다고 볼 수 있지만, 설치 후 경과 연수와 열전도율에는 큰 상관관계가 없어 보인다.

단열재의 장기 열저항을 검토하기 위해서는 제조 초기 열전도율을 파악해야 한다. 하지만, 측정 대상 샘플의 대다수(53개 중 39개)는 형별 성능 관계 내역 등의 설계도서가 남아있지 않거나, 단열재 규격 미 표기 등의 설계도서 정보 부실로 인해 제조 초기 성능 정보를 구체화할 수 없었다. 육안검사를 통해 EPS 1종과 2종을 구분하여 추정하는 것이 한계였다. 본 논문에서는 정보를 알 수 없는 39개의 단열재의 제조 초기 열전도율을, 설계도서로부터 단열재의 구체적인 정보를 확인할 수 있는 14개 단열재 샘플의 등급 내 열전도율 상한의 평균값(0.036W/mK, EPS 1종 1호 상당)으로 가정하였다.

Fig. 2은 설치 후 경과 일수에 따른 열전도율 변화량(thermal drift) 추이를 나타낸다. 제조 초기 성능에 대한 불확실한 가정이 결과에 큰 영향을 주고 있으나, 설치 후 경과 일수가 오래될수록 초기 열전도율로부터의 증가 폭이 오히려 작아지는 경향이 나타난다. 또한 동일 경과 시기의 채취 샘플에서도 열전도율 변화량의 편차가 큼을 알 수 있다.

**Table 1.** Information on Expanded Polystyrene Insulation Collected from Retrofit Sites of Aged Buildings

| Type | Class | Duration<br>Days<br>(Years) | Thermal<br>Conductivity*<br>[W/mK] | Density<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Type  | Class | Duration<br>Days<br>(Years) | Thermal<br>Conductivity*<br>[W/mK] | Density<br>[kg/m <sup>3</sup> ] |
|------|-------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| -    | -     | 9042 (24)                   | 0.0470                             | 0.0450                          | 10.90 | 1     | 2                           | 5256 (14)                          | 0.0480 0.0460 10.91             |
| -    | -     | 8414 (23)                   | 0.0416                             | 0.0400                          | 12.65 | 2     | 4                           | 4939 (13)                          | 0.0477 0.0460 10.98             |
| -    | -     | 11305 (30)                  | 0.0454                             | 0.0450                          | 13.88 | 1     | 2                           | 5284 (14)                          | 0.0434 0.0420 11.32             |
| -    | -     | 8714 (23)                   | 0.0429                             | 0.0410                          | 11.82 | -     | -                           | 8694 (23)                          | 0.0379 0.0380 18.90             |
| -    | -     | 5608 (15)                   | 0.0438                             | 0.0420                          | 11.53 | -     | -                           | 6475 (17)                          | 0.0399 0.0390 14.97             |
| -    | -     | 5650 (15)                   | 0.0446                             | 0.0430                          | 11.45 | 2     | 4                           | 5257 (14)                          | 0.0470 0.0460 10.83             |
| -    | -     | 5224 (14)                   | 0.0417                             | 0.0400                          | 13.81 | -     | -                           | 5671 (15)                          | 0.0451 0.0440 12.61             |
| -    | -     | 6319 (17)                   | 0.0425                             | 0.0410                          | 12.49 | 1     | 3                           | 5844 (16)                          | 0.0373 - 17.83                  |
| -    | -     | 5092 (13)                   | 0.0450                             | 0.0440                          | 11.02 | -     | -                           | 10856 (29)                         | 0.0419 - 13.07                  |
| -    | -     | 6252 (17)                   | 0.0434                             | 0.0420                          | 13.80 | -     | -                           | 4075 (11)                          | 0.0374 - 17.63                  |
| -    | -     | 4789 (13)                   | 0.0440                             | 0.0430                          | 10.84 | -     | -                           | 5663 (15)                          | 0.0421 - 13.20                  |
| -    | -     | 4789 (13)                   | 0.0482                             | 0.0480                          | 9.84  | -     | -                           | 4613 (12)                          | 0.0391 - 13.71                  |
| -    | -     | 6652 (18)                   | 0.0388                             | -                               | 16.73 | -     | -                           | 3818 (10)                          | 0.0358 - 14.58                  |
| -    | -     | 8769 (24)                   | 0.0452                             | -                               | 9.62  | -     | -                           | 6172 (16)                          | 0.0358 - 13.73                  |
| 1    | 1     | 5712 (15)                   | 0.0473                             | 0.0450                          | 11.03 | -     | -                           | 6929 (18)                          | 0.0409 - 13.61                  |
| 1    | 1     | 4845 (13)                   | 0.0497                             | 0.0470                          | 10.21 | -     | -                           | 5298 (14)                          | 0.0395 - 14.73                  |
| 1    | 2     | 4581 (12)                   | 0.0452                             | 0.0430                          | 11.28 | -     | -                           | 4885 (13)                          | 0.0414 - 12.93                  |
| 1    | 1     | 5053 (13)                   | 0.0448                             | 0.0440                          | 12.59 | -     | -                           | 5310 (14)                          | 0.0452 - 11.22                  |
| 1    | 1     | 5208 (14)                   | 0.0454                             | 0.0440                          | 11.76 | -     | -                           | 4429 (12)                          | 0.0442 - 11.63                  |
| 1    | 2     | 4841 (13)                   | 0.0463                             | 0.0440                          | 10.56 | -     | -                           | 7179 (19)                          | 0.0392 - 14.82                  |
| -    | -     | 5628 (15)                   | 0.0460                             | 0.0450                          | 10.02 | -     | -                           | 6293 (17)                          | 0.0444 - 12.02                  |
| -    | -     | 5628 (15)                   | 0.0407                             | 0.0400                          | 15.08 | -     | -                           | 5752 (15)                          | 0.0424 - 12.67                  |
| 2    | 4     | 5257 (14)                   | 0.0466                             | 0.0440                          | 10.77 | -     | -                           | 6144 (16)                          | 0.0413 - 13.63                  |
| 2    | 4     | 5215 (14)                   | 0.0444                             | 0.0430                          | 10.65 | -     | -                           | 7196 (19)                          | 0.0407 - 13.71                  |
| -    | -     | 4715 (12)                   | 0.0581                             | -                               | 10.34 | -     | -                           | 5403 (14)                          | 0.0446 - 13.44                  |
| -    | -     | 4941 (13)                   | 0.0424                             | 0.0420                          | 12.32 | -     | -                           | 8497 (23)                          | 0.0374 - 15.53                  |
| 1    | 1     | 5367 (14)                   | 0.0447                             | 0.0430                          | 12.91 |       |                             |                                    |                                 |

Note: \* indicate data obtained from our experiments and a certified testing agency, respectively.

### 3. 측정 열전도율의 보정

제조 초기 열전도율에 대한 불확실성은 EPS의 장기 열저항에 대한 분석을 어렵게 한다. 또한 초기 성능 정보가 확보된 경우임에도 동일한 시간 흐름에 놓인 단열재 샘플 사이에서 열전도율 변화량의 편차

가 크게 나타나고 있으므로, 측정 결과로부터 열전도율 경년 변화 양상을 단정적으로 판단하는 것은 어렵다.

단열재 장기 열저항에 대한 기존 연구에서는 가속 노화 시험과 장시간 사용된 단열재 샘플에 대한 측정 양쪽 모두에서 설치 후 10년 이후 시점부터 EPS

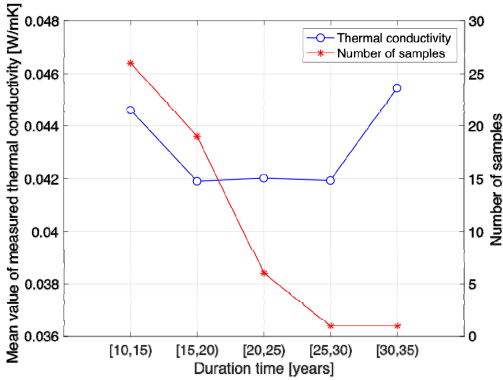


Fig. 1. Relationship between Duration Time and Thermal Conductivity of Samples

의 열전도율 변화는 미미하다고 보고되고 있으므로 (김현진·최세진, 2019), 전술의 측정 결과에는 시간의 흐름 이외 요인이 영향을 미친다고 생각할 수 있다. 본 논문에서는 현장 채취된 단열재 샘플의 밀도에 초점을 맞추어 측정 결과를 재분석한다.

### 3.1 단열재 밀도와 열전도율의 상관관계

EPS의 열전도율은 발포폴리스티렌 고체부의 열전도율, 발포 가스 기체부의 열전도율, 적외선복사에 의한 열전도율의 합계로 표현된다. 일반적인 건축용 단열재의 밀도 범위( $100\text{kg/m}^3$  이하)에서 밀도 증가는 셀의 미세화에 따른 결과로 간주하며 그로 인해 열전도율은 감소한다. EPS도 마찬가지로 밀도에 따라 단열재 등급이 구분되며, 밀도가 클수록 열전도율이 낮게 나타나는 특성을 갖는다(권영철·김석, 2019). 하지만, 그 이상 밀도가 증가하면 반대로 열전도율이 오히려 증가하는 경향을 나타낸다고 보고되고 있다(Wang et al., 2022).

Fig. 3는 채취된 단열재 샘플의 밀도와 측정 열전도율의 관계를 나타낸다. 기존 연구와 마찬가지로 음의 상관관계가 나타나고 있으며, 선형모델(식 (1))을 통해 측정 밀도 범위( $10\sim 20\text{kg/m}^3$ ) 내에서 높은 정확도로 열전도율의 예측이 가능하다.

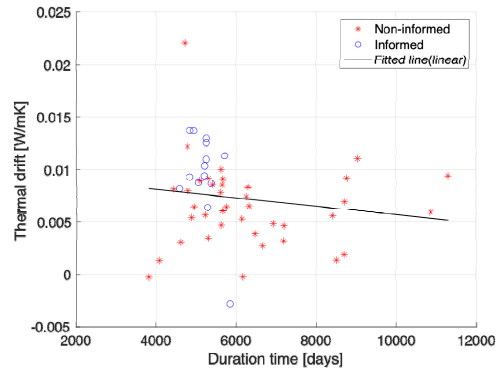


Fig. 2. Changes in Thermal Drift of Samples

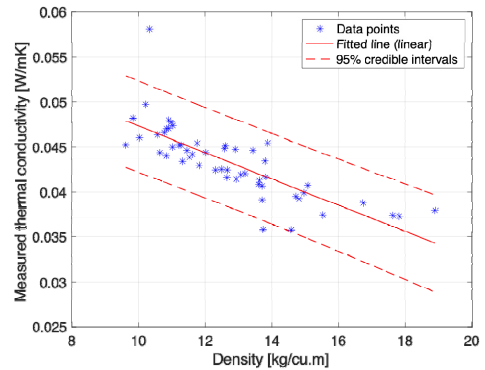


Fig. 3. Relationship between Density and Thermal Conductivity of Samples

$$\lambda_{pred} = -0.0015 \times \rho_{mea} + 0.0619 \quad (1)$$

여기서  $\lambda_{pred}$ 는 열전도율 예측치[W/mK],  $\rho_{mea}$ 는 밀도 측정치[ $\text{kg/m}^3$ ]을 의미한다.

### 3.2 단열재 샘플의 밀도 범위

EPS 단열재는 밀도에 따라 1호  $30\text{kg/m}^3$  이상, 2호  $25\text{kg/m}^3$  이상, 3호  $20\text{kg/m}^3$  이상, 4호  $15\text{kg/m}^3$  이상으로 분류하고 있으며, 밀도가 클수록 단단하고 열전도율이 낮은 특성을 갖고 있다(권영철, 2023). 전술한 바와 같이 53개 중 14개 샘플은 단열재 등급

정보가 설계도서를 통해 구체화되고 있지만, 측정된 밀도는 해당 단열재의 기준(KS M 3808)에 크게 미치지 못하고 있다(Table 1 참조). 제조 이후 보관 상태 및 건물에 설치된 조건 등에 따라, 오랜 시간에 걸쳐 단열재 밀도는 변화할 수 있으나 압축 및 습기 흡수 등에 의해 시간에 따라 밀도는 증가할 가능성이 높다고 보는 것이 일반적이다.

해당 14개 샘플은 설계도서상에서 비드법 1종 2호(열전도율 0.037W/mK 이하) 이상의 등급으로 표시되어 있으나, 이 중 13개 샘플의 밀도가 15kg/m<sup>3</sup> 미만(KS M 3808 등급 외)이 되고 있다.

이상의 측정 결과를 고려하면 설계도서상의 정보는 신뢰하기 어려운 것으로 판단되며, 이러한 설계도서에 기반하여 도출된 당시 외벽 열관류율 기준 준수 여부 또한 불투명하다.

### 3.3 열전도율 측정치 보정

전술의 분석 결과에 근거하여 채취된 단열재 샘플은 한 종류의 단열재(밀도와 열전도율의 관계가 하나의 선형모델로 설명 가능)로 가정함과 동시에, 샘플의 대다수(53개 중 47개)가 KS M 3808의 밀도 기준을 만족하고 있지 못하므로 모든 단열재 샘플의 실체는 KS M 3808 기준 외(건축물의 에너지절약 설계기준 상의 라등급 단열재)에 해당하는 것으로 가정하고 추가분석을 수행한다.

EPS를 포함한 발포플라스틱 단열재는 제조 단계에서 표면층(내부의 고배율 발포 수지 부분에 비해 밀도가 높으며, 가스 차단성을 가지므로 발포 가스의 확산 억제 효과 있음)이 형성된다. 하지만 이들 단열재는 현장 설치 과정에서 절삭 가공되며, 본 연구에서는 열전도율 측정 시험 규격에 맞추어 재단하는 과정도 추가되었으므로 상대적으로 밀도가 높은 표면층이 절삭되었다고 가정하면 기준 대비 밀도 저하는 필연적이라고 생각된다.

이상의 몇 가지 가정에 기초하여 설치 후 경과 일

수와 열전도율 변화의 관계를 면밀하게 분석하기 위해서는 동일한 밀도에서의 열전도율 분석이 이뤄져야 함에도 불구하고, 채취 단열재 샘플의 밀도는 큰 편차를 보인다(Table 1 및 Fig. 3 참조). 본 논문에서는 식 (2)를 통해 측정 열전도율에 대한 밀도보정을 수행하였으며, 보정된 열전도율을 통해 단열재 열전도율의 경시 변화에 대해 분석하는 것으로 한다.

$$\lambda_{cali} = \frac{\lambda_{pred}(\overline{\rho_{mea}}) \times \lambda_{mea}}{\lambda_{pred}(\rho_{mea})} \quad (2)$$

여기서,  $\lambda_{cali}$  는 보정된 열전도율[W/mK],  $\lambda_{mea}$  는 측정된 열전도율[W/mK],  $\overline{\rho_{mea}}$  는 측정 샘플 전체의 평균 밀도[kg/m<sup>3</sup>](=12.72),  $\lambda_{pred}$  는 식 1에 의해 산출된 열전도율 예측치를 의미한다. 이러한 보정을 통해 모든 샘플을 동일 밀도(12.72kg/m<sup>3</sup>)의 제조 초기 열전도율이 0.043W/mK인 단열재로 가정하고 측정된 열전도율을 검토할 수 있다고 생각된다.

Fig. 4은 단열재 열전도율 측정치를 밀도 보정 전과 밀도 보정 후로 나누어 설치 후 경과 일수와와의 관계를 나타낸 것이다. 밀도 보정 전의 경우 열전도율이 설치 후 시간 경과에 따라 점차 감소하는 기존 지식과 상반되는 결과를 보이는 것과 달리, 밀도 보정

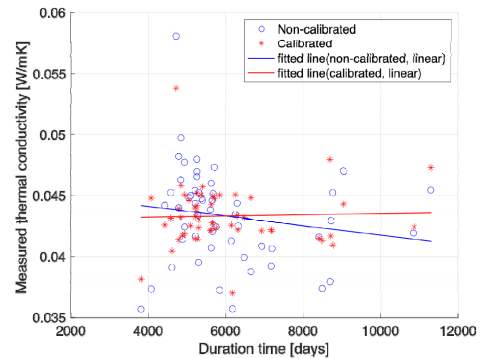


Fig. 4. Relationship between Duration Time and Thermal Conductivity Calibrated with Density

후의 결과는 설치 후 시간 경과에 따라 열전도율이 높아지는 경향을 나타낸다. 또한 EPS의 경우 설치 후 경과 연수 10년 이후 기간에서 성능 열화는 미미하므로 기존 지식과 일치하는 분석 결과를 얻을 수 있다.

또한 설치 후 경과 시간이 유사한 단열재 사이의 열전도율 편차도 절반가량 감소했음이 확인된다 (초기 열전도율(0.043W/mK)과의 RMSE(평균제곱근오차)는 보정 전 약 0.004W/mK에서 보정 후 약 0.002W/mK로 감소). 하지만 여전히 KS M 3808 기준의 단열재 등급이 달라지는 레벨의 편차를 나타내며, 동일 등급의 단열재가 설치되었다고 하더라도 시공 상태, 설치 부위, 건물 운영 조건에 따라 건물생애주기 안에서 단열재 성능변화 양상은 크게 달라질 수 있음을 예상할 수 있다.

#### 4. 그린리모델링 성과 평가 관점에서 초기 성능 검증의 중요성

본 논문에서 제시하고 있는 실험 결과는 특정 지역에 위치하는 소규모 건축물에서 채취된 샘플에 국한된 조사결과이므로 확대해석하지 않도록 주의해야 한다. 하지만 기존의 연구 결과 및 본 측정 결과에서 볼 수 있듯이 EPS 단열재의 장기 열저항의 변화는 크지 않다고 하면, EPS가 설치된 건축물의 장기 열성능은 준공 시점의 성능 및 운영 단계에서의 성능 유지를 위한 관리 여부에 지배된다고도 말할 수 있다. 설계도서와 상이한 단열재가 설치되었을 것이라는 합리적 의심이 가능한 밀도 측정 결과와 동일 등급, 동일 경과 시간 내 채취된 단열재 샘플 사이의 열전도율 편차가 심하다는 점은 준공 시점의 성능 검증 및 운영 단계의 성능 관리가 이루어지지 않고 있음을 보여준다. 그리고 탄소중립 목표 달성을 위한 건축부문의 노력으로서 그린리모델링의 성과를 검증하는 과정에서 준공 시점 및 운영 단계의 성능 검증 관점은 무엇보다 중요하다. 이것은 빌딩커미셔닝의 체계적인 적용을 통해 해결될 수 있다.

계적인 적용을 통해 해결될 수 있다.

현행 공공건축물 그린리모델링 성과 평가의 한계는 개보수 프로젝트의 기획-설계-시공-운영 전주기에서 성능 검증 관점이 부재한 것이 원인이라고 생각된다. 건물 성능 검증의 근간은 문서화된 성능 요구사항(OPR, Owner's Performance Requirements)이며, 이를 건물생애주기 동안 발휘시키기 위한 절차가 필요하다. 현재의 공공건축물 그린리모델링은 1) 성능 목표에 대한 문서화가 이뤄지지 않은 상태 (설계도서가 남아있지 않은 경우가 많고, 정량적인 노후화 진단 과정이 전무하므로 엄밀한 에너지 성능 개선율 목표를 정의할 수 없음)에서 출발하여, 2) 준공 시점 대비 에너지 성능 개선 20%라는 불명확한 성능 목표에 기초한 설계안에 미래 성능이 좌우(개별 건물의 성능개선이 아닌 과거 기준과의 일률적인 비교에 의해 “건축물의 에너지절약 설계기준” 등에 기반한 사양중심 설계가 이루어지며 건물 특성이 반영되지 못하고 성능 보장이 어려움)되며, 3) 에너지 성능 개선에 관한 주요 공정에 대한 품질 관리 부족 (에너지 성능 개선이 목표인 공사임에도 이에 대한 준공 시점의 검증 과정이 전무)에 따라 준공 이후 다양한 하자가 발생하고 있으며, 4) 배출량 절감 목표의 달성 여부는 설계 성능이 아닌 실제 배출량에 근거하여 평가함에도 건물생애주기 탄소 배출량의 가장 큰 비율을 차지하는 운영 단계에서 건축물 에너지 소비효율에 대한 유지 관리가 전혀 이뤄지지 않는 등 성능 검증 관점이 제대로 반영되어 있지 못하다.

그린리모델링, 나아가서는 제로에너지건축물을 포함한 녹색건축물 확산이 건축 부문에 할당된 배출량 절감 목표 달성에 실질적으로 기여하기 위해서는 건축프로젝트 전주기에서 성능 유지를 지원하는 절차가 필요하다. 특히 기획 및 설계단계에서 예측된 건물 성능과 준공 시점 및 운영 단계에서 평가된 성능 사이의 간극을 줄이는 것을 목표로 지속적인 성능 검증 과정이 도입되어야 할 것이다. 본 논문에서

제시한 측정 결과는 검증 과정의 부재가 건물 성능 평가에 미치는 영향에 대한 간접적인 증거로서 의의가 있다.

## 5. 결 론

2020년 이후 매년 약 2,000억 원의 국고가 투입되는 공공건축물 그린리모델링 사업은 현재의 사회 및 산업 프레임 안에서 투자 비용 회수가 어려운 그린리모델링 산업 전반의 체질 개선을 목적으로 한다고 보인다. 구체적으로는 시장 확대를 통한 초기비용 절감, 성과홍보를 통한 인식 개선 등을 통해 그린리모델링 정량적 편익 및 정성적 기대효과를 정리하여 향후 민간 확대를 도모하기 위해서 일 것이다. 그리고 이 과정에는 설계도서에 기반하여 예측된 에너지 성능 개선율이 아닌 실제 사용량에 근거하여 평가한 건축물 에너지 성능 향상의 실질적 증거가 중요한 역할을 할 것이다.

본 논문에서는 공공건축물 그린리모델링 과정에서 철거되는 단열재 샘플을 수거하여 열전도율과 밀도 등 단열성능과 관련된 물성치에 대한 측정 결과를 제시하였다. 단열재의 장기 열저항은 제조 초기 단계의 열전도율을 추정하기 위한 자료가 남아있지 않다는 한계로 인해 명확한 변화 양상을 도출하기 어려웠지만, 설계도서를 통해 추정한 정보에 기반하여 비드법 단열재의 경우 기존 지식과 동일하게 설치 후 10년 이상 경과 시 성능변화가 크지 않다는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 동일 등급, 동일 경과 기간의 단열재에서 측정된 열전도율의 편차가 크고, 특히 단열재 샘플의 밀도가 설계도서상에 기재된 설치 단열재의 등급 기준에 크게 못 미친다는 결과가 얻어졌다.

2020년 이후 이루어진 공공건축물 그린리모델링 대상지의 대부분은 재사용 승인 이후 긴 시간이 경과하지 않았기 때문에, 그린리모델링 성과에 대해

실제 에너지 사용량에 기반한 실질적 탄소 배출량 절감 증거를 제시하기까지는 시간이 필요할 것으로 보인다. 따라서 현시점에서는 설계도서에 기반한 예측을 통한 그린리모델링 성과 평가는 물론 필요하다. 그리고 향후 사용량 데이터가 축적됨에 따라 그린리모델링 성과는 다시 한번 평가될 것이라고 예상된다. 준공 시점과 운영 단계에서의 성능 검증은 이러한 평가과정에서 중요한 역할을 하게 될 것이다. 국가 탄소중립을 위해 필수적 요소인 노후 건축물 에너지 소비효율 개선 사업인 그린리모델링의 성과가 평가 절하되지 않도록 건물 성능 검증 과정 절차 정비가 필요함에 대한 근거자료로 본 연구 결과를 활용하고자 한다.

## 참고문헌

1. 국토교통부(2023), “용도별 건축물 현황 및 인허가 추이 현황”, 세종.
2. 권영철(2023), 「건축환경계획」, 세종: 한솔아카데미.
3. 권영철·김석(2019), “고성능 진공단열재의 건축적인 적용에 관한 연구”, 「LHI Journal」, 10(3): 23~32.
4. 김수민·조현미(2020), “기존 건축물의 에너지 효율화 및 리트로핏 패키지 방안”, 「LHI Journal」, 11(1): 95~101.
5. 김진희·김상명·김준태(2020), “가속도화 시험에 따른 건축용 단열재의 단열성능 및 경시변화 특성 비교 분석”, 「한국친환경설비학회 논문집」, 14(6): 791~802.
6. 김현진·최세진(2019), “20년 이상 경과된 노후건축물의 단열재 성능평가에 관한 실험적 연구”, 「한국건축사공학회지」, 19(6): 539~547.
7. 이종성·유정현·임주호·김효진(2010), “친환경주택평가기법개발 및 지원방안에 관한 연구”, 「LHI Journal」, 1(1): 27~34.
8. 임종연(2021), “탄소중립 달성을 위한 건축물 에너지 소비량 절감에 대한 기대와 과제”, 「한국그린빌딩협회지」, 22(2): 33~38.
9. 최현중·허정호·강재식·최경석·안호상(2021), “건축용 단열재의 장기 경시변화 보정계수 산정”, 「한국생

활환경학회지」, 28(2): 199~210.

10. KS(2021), “KS M 3808 발포 폴리스티렌(PS) 단열재”.
11. KS(2022), “KS L 9016 보온재의 열전도율 측정 방법”.
12. ISO(2019), “ISO 11561 Ageing of Thermal Insulation Materials: Determination of the Long-Term Change in Thermal Resistance of Closed-Cell Plastics (Accelerated Laboratory Test Methods)”.
13. UN Environment Programme (2022), *Global Status Report for Buildings and Construction*, Nairobi.
14. Wang, J., L. Hu, W. Li and Y. Ouyang (2022), “Development and Perspectives of Thermal Conductive Polymer Composites”, *Nanomaterials*, 12(20): 3574.

## 요 약

본 논문에서는 공공건축물 그린리모델링 과정에서 철거되는 단열재 샘플을 수거하여 열전도율과 밀도 등 단열 성능과 관련된 물성치에 대한 측정 결과를 제시하였다. 단열재의 장기 열저항은 제조 초기 단계의 열전도율을 추정하기 위한 자료가 남아있지 않다는 한계로 인해 정확한 변화 양상을 도출하기 어려웠지만, 설계도서를 통해 추정한 정보에 기반하여 비드법 단열재의 경우 기존 지식과 동일하게 설치 후 10년 이상 경과 시 성능변화가 크지 않다는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 동일 등급, 동일 경과 기간의 단열재에서 측정된 열전도율의 편차가 크고, 특히 단열재 샘플의 밀도가 설계도서상에 기재된 설치 단열재의 등급 기준에 크게 못 미친다는 결과를 얻었다. 준공 시점 및 운영 단계의 성능 관리가 되지 않고 있다는 것을 보여주는 실험 결과이며, 그린리모델링 등 건축물에너지 성능 개선을 적절히 평가하기 위해서는 건물생애주기에 걸친 성능 검증인 빌딩커미셔닝의 적용이 중요하다.

**주제어:** 비드법 단열재, 열저항, 그린리모델링, 빌딩커미셔닝



## 청년의 주거독립에 미치는 영향과 정책적 시사점

### Residential Independence of Youth and Policy Implications

정윤혜\* · 성진욱\*\*

Yoonhye Jung\* · Jinuk Sung\*\*

#### Abstract

This study addressed housing issues among various social problems of youth. With a focus on residential independence, this study analyzed the factors that lead youth to achieve residential independence. This study drew on nationwide data from the 'Youth Life Survey (2022)' with a sample size of 12,578. Binary logistic regression analysis was employed, with the dependent variable being residential independence. Key factors were as follows. The probability of residential independence was higher for men than women. Residential independence occurred mainly in non-metropolitan areas compared to metropolitan areas. Findings revealed that greater age, income, and assets facilitate achieving residential independence. In addition, public transport and cultural facilities were important for their residential independence, and it was found that the previous experience of residential independence had a positive effect. Policy implications derived from the findings are as follows. It is required to consider the heterogeneity and diversity of youth rather than implementing unitary policies. To ensure continuity and sustainability of self-reliance, long-term support programs are needed rather than temporary support. Moreover, it is required to offer public support comprehensively, instead of youth relying on support from personal networks, including their parents. An inclusive housing policy should be established to support youth for their residential independence in the future.

**Keywords:** Youth, Residential Independence, Housing Rights, Housing Policies, Housing Welfare

#### 1. 서론

최근 우리 사회의 전 영역에 걸쳐 청년가구의 문제가 대두되고 있다. 「청년기본법」에서 정의하는 만 19~34세의 청년은 전체 인구 중 20.4%이며, 절반은 수도권에 거주하고 있다(통계청, 2023a).<sup>1)</sup> 이들은 생애 주기 과정상 독립, 취업, 혼인 등 다양한 이행

기에 있어 다차원적이며 중첩된 문제에 놓여 있다(김승연 외, 2020). 청년 삶의 변화지표 중 사회적 자본 지표, 건강지표 등은 긍정적으로 변화하는 반면 경제지표, 주거 지표 등은 부정적으로 분석된다. 청년가구의 고용 악화 현상으로 빈곤의 탓에 빠져 있고, 자립 위험성의 증가는 주거비 부담능력이나 주거 수준을 향상시키기에는 어려운 점이 있다. 또한

1) 통계청의 국내 인구가동통계에서 전입과 전출의 차이인 순 이동을 볼 때, 2022년 청년가구 기준 서울 약 4.6만 명, 경기 1.6만 명, 인천 0.7만 명이며 그 외 모든 지역에서는 0미만의 값을 갖는다. 즉, 청년가구의 수도권으로의 집중 패턴을 나타낸다.

\*서울주택도시공사 SH도시연구원 책임연구원(주저자: jyh9097@i-sh.co.kr)

\*\*서울주택도시공사 SH도시연구원 책임연구원(교신저자: sju762@i-sh.co.kr)

주거 지표 중 하위 지표인 비 적정 주거 비율, 최저주거기준 미달가구 비율, 소득 대비 임대료 부담(Rent to Income Ratio) 모두 청년의 삶에서 부정적인 것으로 분석되었다(이태진 외, 2017; 변금선 외, 2022). 이와 더불어 청년이 부모와 동거를 하는지에 따라 주거환경이 변화한다는 연구결과는 청년의 자의든 타의든 주거독립 시 독립적 생활을 영위하기에는 어려운 환경이라는 점과 일맥상통한다(이길제, 2020; 국무조정실·보건사회연구원, 2022; 박미선 외, 2022).

청년가구에 대한 비우호적인 상황을 개선하기 위해 정부는 사회적 포용성 차원에서 청년들이 가장 체감할 수 있는 주거분야에 대한 다양한 정책을 추진하였다(박미선 외, 2017; 김강산, 2021; 성진욱·이훈, 2021; 변금선 외, 2022). 때로는 정치적으로나 정책적 대상으로써 청년을 위한 정책 사업이 최근까지 지 난무했으나 국토교통부는 193개에 달하는 청년 주거정책을 4개 유형 10개 정책으로 단순화하였다(국토교통부, 2023). 그 간 공급자 입장에서 정부와 지자체가 성과 중심으로 앞다투어 내어놓았던 파편적 정책 사업이 수요자 입장으로 바뀌는 전환점에 도래했다는 점에서 의미가 있다. 그러나 청년들의 상황은 희망보다는 절망에 가까워 보이는 지표들이 많고 획기적으로 개선되기에는 구조적 제약이 있다(통계청, 2023b; 한국은행, 2023).<sup>2)</sup> 그 간의 정책 사업들이 청년의 내적 다양성 및 이질성을 고려하지 않고 정책 수혜 가능 여부와 같은 정책대상을 단편적으로 선별하는 데 집중했다는 점은 이행기 관점에서의 청년정책 실효성 확보를 위해 비판적 고찰이

필요해 보인다(이정봉, 2021).<sup>3)</sup> 그럼에도 불구하고 현재까지 사회적으로 합의된 사항은 미래세대인 청년의 주거안정성 담보가 그들만의 문제가 아니라 다 가울 우리의 문제라는 인식하에 다양한 정책적 대안 마련과 논의가 지속되어야 한다는 점이다.

본 연구에서는 여러 분야의 청년 문제 중 주거분야를 중심으로 살펴보았다. 특히 사회 구성원으로써의 자립을 기반으로 주거독립에 미치는 영향요인 파악을 실증적으로 규명하고자 한다. 인간은 언어와 행동뿐만 아니라 물리적 환경에서도 자신의 정체성을 드러낸다. 이러한 측면에서 독립된 주거공간은 개인의 욕구 수준뿐만 아니라 본질을 파악하는 데 도움이 된다(Goffman, 1959). 사회적 자본이 충분하지 않은 상태에서의 이행기 경험은 자립 중단 가능성이 높고 불안정한 자립일 가능성이 높다(Settersten and Ray, 2010). 그럼에도 혼자 사는 청년은 2000년 6.6%에 비해 2020년의 경우 20.1%(약 193만 명)로 약 3배 증가하였다.<sup>4)</sup> 주로 단독주택, 월세에 거주하고 있다. 혼자 사는 청년의 비중은 지속적인 증가 추세를 보이는 가운데 부모와의 동거가구 비중은 줄고 있다.<sup>5)</sup> 대체적으로 청년이 혼자 사는 이유는 독립생활 선호, 통근 및 통학의 용이성 등 주관적 인식과 행동에 기반하고 있다(Erikson, 1950; Dennerstein et al., 2002; 통계청, 2023a).

타인의 도움 없이 본인 의지와 능력으로 스스로 독립을 결정하는 심리적 자립과 함께 청년가구와 같은 취약계층의 자립 용이성 측면에서 자신에 대한 이해와 지지체계의 중요성을 감안하여 분석할 필요가 있

2) 경제적 상황은 청년의 자립을 위협하는 요인이며 통계청(2023b)의 가계금융복지조사결과에 따르면 저축액 대비 금융부채는 39세 이하 140.1%로 나타난다. 한국은행(2023) 금융안정보고서에서도 가계대출 차주의 연령대별 비중이 30대 이하에서 38.3%로 타 연령대에 비해 가장 높으며 이는 소득기반이 취약하여 경제적 어려움이 가중되고 있음을 가늠할 수 있다.

3) 어떤 청년이 정책대상인지 자체가 모호했으며 중첩된 문제를 고려치 않고 중복수혜라는 관점에서 철저히 타 사업과의 연계를 배제시켜온 관료주의적 접근방법이 시도되었기 때문이다.

4) 정신분석학 이론에서는 사회심리 발달단계 측면에서 정신적 거리두기(distantiation)와 고립(isolation)되고자 하는 욕구가 주로 20~44세에서 발생한다고 주장하고 있다(Erikson, 1950).

5) 가족생애 주기 측면에서 자녀독립 후 부모는 성장감과 같은 삶의 질이 긍정적으로 향상된다는 연구가 있다. 자녀의 주거독립은 개인의 문제가 아니라 관계적 측면에서도 영향관계를 지닌다(Dennerstein et al., 2002).

다(Bauman, 2001; Lauriks et al., 2014; 박미선 외 2022). 따라서 본 연구의 목적은 청년의 인적특성, 사회·경제적 특성, 독립 경험, 정책 인식 등에 따른 사항을 추가적으로 보완하여 주거독립에 미치는 영향요인을 종합적으로 분석하고자 하며 보다 나은 청년정책의 시사점을 도출하고 제언하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 주거독립의 정의

독립의 사전적 정의는 다른 것에 예속하거나 의존하지 아니하는 상태 즉, 독자적으로 존재하는 상태를 의미한다. 사전적 정의에서도 알 수 있듯이 독자적 존재 상태를 유지하기 위해서는 경제적, 생활적, 물리적, 심리적 상태 등 상황에 따라 다양한 조건들이 다르게 고려되고 이러한 이유들로 주거독립을 한 가지로 정의하기 어렵다(이봉조, 2022).

이에 다양한 선행연구에서는 주거독립을 연구 대상 및 목적에 따라 다르게 정의하고 있으며 인간의 생애 주기와 직접적 관련이 있는 것으로 본다. 특히 청소년기에서 성인기로 성장하는 중간 단계에서 주거독립이 시작되며 주로 부모로부터 독립하여 주거를 마련하는 행위를 주거독립의 시작으로 보고 있다(김진영·이현정, 2020; 이수진 외, 2022; 장미선 외, 2022).

또 다른 연구에서는 주거독립을 물리적 공간의 분리과 주거비 지원의 경제적 독립을 포함한 것으로 정의하기도 하며 더 나아가 사회 통념상 결혼을 통한 새로운 가족 형성을 주거독립으로 보기도 한다(이지선·이영민, 2019; 이봉조, 2022). 이처럼 주거독립은 생애 주기에 따른 변화, 개인 삶의 질과 가치의 변화, 독립에 대한 사회적 변화에 따라 다양하게 해석되는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구는 독립의 다양한 정의 중 부모로부터 물리적 주택에서 독립한 것을 주거독립으로 정의하고자 한다.

### 2.2 청년가구 주거독립 관련 선행연구 고찰

청년가구 주거독립에 대한 선행연구를 살펴보면 최근 청년가구의 주거 문제가 부각되면서 주거비 부담, 주거실태, 삶의 질 평가 등에 관한 연구가 점진적으로 확장되고 있다. 반면 연구의 확장과 달리 다수의 연구가 청년가구의 주거비 부담으로 집중되는 한계가 있으며 상대적으로 청년가구의 주거독립에 관한 연구는 미미한 것을 알 수 있다.

주거독립은 앞서 용어 정의에서도 살펴본 바와 같이 주거독립을 위해 다양한 여건들이 수반되어야 하나 우선 부모로부터 물리적 독립이 주거독립의 첫걸음으로 여겨지는 만큼 주거독립을 발판으로 생활적·정신적 독립, 결혼·출산과 같은 새로운 가족 형성 등의 독립으로 확장될 필요가 있다. 이에 청년가구의 주거독립과 관련된 선행연구를 고찰하면 다음과 같다.

김진영·이현정(2020)연구는 독립 거주 청년들을 대상으로 주거 마련에 대한 경험과 주거 실태 조사를 통해 청년가구의 주거 문제점을 탐색하였다. 그 결과, 독립한 청년들은 출퇴근 문제로 주거독립을 시작하였으나 주택 거래에 대한 경험 부족 등으로 인해 적절한 주거를 선택하는 데 한계가 있었다. 특히, 독립 초기에는 교통의 편리성과 직장과의 근접성만 고려해 주거를 선택했지만 독립 이후 녹지, 문화, 실내 면적 등 다양한 주거 환경 요소의 고려가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

또 다른 연구에서는 청년 가구 중 여성의 경우 주거독립에 있어 안전한 주거환경을 우선적으로 선택하는 것으로 나타났으며 부모 역시 중요한 주거환경 요인으로 뽑았다(이봉조, 2022). 또한, 주거 독립에 있어 부모의 주거비 지원 여부는 주거독립의 중요한 조건이라는 인식이 강하게 나타났다. 즉, 주거독립에 있어 보증금, 생활비 등 부모로부터 경제적 지원을 필요로 하는 것으로 나타나 청년 가구뿐만 아니라 부모의 경제적 부담도 높은 것을 알 수 있다.

이현정·김모윤(2019) 연구에서는 수도권 내 1인 청년가구의 주거 만족도 상승 요인이 주거환경의 쾌적성, 교통 편의성, 상업시설, 방범시설 등으로 나타나 주거 만족도 상승 요인을 1인 청년가구가 주거를 선택하는 매력 요인으로 분석하였다. 반면 이웃과의 관계에 대한 만족도는 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다.

기윤환(2022) 연구는 인천시 주거실태조사 자료 중 청년·신혼부부 데이터를 활용하여 주거 선택의 결정요인을 추정하였다. 그 결과 청년은 주거 선택의 결정 요인으로 주거비 지원과 치안 및 범죄 예방, 소음 수준, 의료시설 등의 주거환경을 고려하는 것으로 나타났다.

선행연구 결과를 종합하면 청년가구의 주거독립에 있어 주거비와 같은 경제적 지원이 중요한 요인으로 작용하며 교통, 방범, 문화, 녹지, 생활 인프라 등 주거환경 요인도 주거독립의 지속성과 주거만족도 제고의 주요 변수로 작용하였다. 반면, 다수의 선행연구가 이미 독립한 청년 가구만을 대상으로 분석하고 있어 독립을 계획하고 있거나 부모와 동거하는 청년가구에 대한 분석이 부재한 실정이다. 이에 본 연구는 부모로부터 물리적 공간의 독립을 기준으로 두 집단(독립·동거) 간 차이를 통해 서로 주거독립의 영향요인을 분석한다는 점에서 선행연구와의 차별성을 갖는다.

### 3. 분석자료 및 모형

#### 3.1 분석자료

본 연구는 청년가구의 주거독립에 영향을 미치는 다양한 요인들을 분석하기 위해 전반적인 청년가구

의 일반적 특성과 주거현황 분석이 가능한 신뢰도 높은 공공데이터를 활용하고자 하였다. 이에 2022년 국무조정실과 한국보건사회연구원에서 조사한 「청년 삶 실태조사」(국무조정실·보건사회연구원, 2022) 데이터를 활용하여 연구를 진행하였다.

「청년 삶 실태조사」는 전국 17개 시·도 일반가구 내의 19~34세 가구원과 그 가구원이 속한 15,000가구를 조사하였다. 조사 도구는 청년 당사자, 청년 전문가, 관련 부처 관계자들이 다수의 협의를 통해 총 8가지 영역<sup>6)</sup>의 조사 내용을 구성하였고 청년과 관련된 타 조사통계와의 유사·중복성 검토를 통해 최종 조사도구를 작성하였다. 실태조사는 조사원 교육을 받은 전문 조사자 284명이 태블릿 PC를 활용하여 대면 면접 조사를 진행하였고 조사 기간은 2022년 7월부터 약 2달간 면접조사와 데이터 검증을 수행하였다(국무조정실·보건사회연구원, 2022).

본 연구의 경우 「청년 삶 실태조사」의 다양한 조사 영역 중 1인 미혼 청년가구의 주거독립 요인을 분석하는 것으로 연구 대상은 부모로부터 독립한 1인 미혼 청년가구와 부모와 동거 중인 청년가구를 연구 대상으로 한정하였다. 그 결과 총 12,578가구<sup>7)</sup>의 데이터를 분석에 활용하였다.

조사 내용은 전체 조사 내용 중 일반 사항, 주거, 경제 영역 문항을 활용하였고 각 영역에서 도출한 대표 변수<sup>8)</sup>와 주거독립 간 관계성을 조사하여 1인 청년가구의 주거독립 영향 요인을 파악하고자 하였다. 구체적으로 활용한 주요 변수를 정리하면 Table 1과 같다.

특히, 주거 변수 중 주거독립은 부모로부터 물리적 공간(주택)의 독립을 기준으로 구분하였으며 두 집

6) 국무조정실과 한국보건사회연구원에서 조사한 2022년 청년 삶 실태조사는 총 8가지 영역으로 조사 도구가 작성되었으며 구체적으로 A. 일반사항, B. 주거, C. 건강, D. 교육·훈련, E. 노동, F. 관계 및 참여, G. 사회인식·미래설계, H. 경제 파트가 있다.

7) 해당조사는 14,966명의 청년이 응답 데이터를 활용하였다. 산출 근거는 응답자 중 기혼자를 제외한 13,268명 중 청년 1인 독립가구 5,237명을 분석집단으로 설정하였고 비교집단으로써는 부모와 동거하고 있는 청년 7,755명의 청년 중 부모가 실질적인 가구주인 7,341명을 대상으로 하였다.

8) 2022년 청년 삶 실태조사 B.주거 파트 중 주거독립에 대한 분석이 가능한 14개 문항을 선별하여 주거 대표 변수로 활용하였다.

**Table 1.** Variables Used in the Model

| Category                            | Description   |
|-------------------------------------|---|
| General Characteristics             | • Gender, Age, Region, Highest level of education (Respondents and Father)  |
| Residential Independence            | • Living together with parents<br>• Reason for independence and living together<br>• Reason for future independence plan  |
| Residential Independence Experience | • Previous independent living experience, such as in a dormitory<br>• Intention to live in public housing   |
| Dwelling                            | • Satisfaction such as Living infrastructure, Use public transportation, Crime prevention status, Sanitary environment, Green space, Culture and facilities, Educational environment, Relationship with neighbors |
| Residential Awareness               | • The need for your own housing<br>• Residential awareness  |
| Economic Factors                    | • Income, Assets  |

단(독립·동거) 간 차이를 통해 주거독립에 있어 청년들이 주요하게 고려하는 요인 등을 통계 분석을 통해 도출하였으며 Table 1과 같다.

### 3.2 분석선정

개별 관측치가 속한 집단을 예측하기 위해서는 표본들의 정보를 활용하여 일반적으로 판별분석(Discriminant Analysis)을 활용한다. 그러나 이 경우 모든 설명변수들이 정규 분포하는 양적변수이어야 한다는 제약을 지니고 있다. 따라서 본 연구에서는 종속변수가 주거 독립 여부와 같이 이분법적으로 구분되는 범주형 변수이고, 설명변수의 구성이 명목 또는 서열척도로 측정된 질적 변수가 포함되었다는 점, 독립변수의 정규분포에 대한 가정이 필요 없다는 점 등 설명변수의 척도로 인한 제약요건을 극복할 수 있는 로지스틱 회귀분석(Logistic Regression Analysis)을 활용하였다.

분석의 목적이나 절차적 과정은 회귀분석과 유사하나 종속변수의 범주 값을 직접 사용하기보다는 0과 1사이의 값을 가질 확률을 적용함으로써 종속변수의 비연속적인 특성으로 인해 야기될 수 있는 오

류를 해소할 수 있다는 차이가 있다. 즉, 아래 식1과 같이 범주형 종속변수가 특정한 값을 가질 확률(p)의 오즈(odds)값에 자연로그를 취한 로그오즈 값을 종속변수로 치환하여 분석하는 것이 회귀분석과 다른 점이다.

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad (1)$$

## 4. 분석 결과

### 4.1 조사대상자의 일반적 특성

조사대상자의 일반적 특성은 성별, 연령, 지역, 최종학력(본인·아버지), 독립 경험, 공공임대주택 거주 의향을 중심으로 분석하였으며 구체적인 특성은 Table 2와 같다.

응답자의 성별은 남성이 50.4%, 여성이 49.6%로 유사한 응답 비율 나타났다. 청년가구의 연령은 19~24세가 54.6%로 응답 비율이 가장 높았고 다음으로 25~29세가 30.9%, 30~34세가 14.5% 순으로 나타났다.

청년 가구의 거주 지역은 비수도권에 거주하는 청

Table 2. Descriptive Statistics

| Category                            |  | N      | %    |
|-------------------------------------|--|--------|------|
| Gender                              | Male                                       | 6,342  | 50.4 |
|                                     | Female                                     | 6,236  | 49.6 |
| Age                                 | 19-24                                      | 6,868  | 54.6 |
|                                     | 25-29                                      | 3,886  | 30.9 |
|                                     | 30-34                                      | 1,824  | 14.5 |
| Region                              | Capital Area                               | 4,174  | 33.2 |
|                                     | Non Capital Area                           | 8,404  | 66.8 |
| Education                           | Under High School                          | 1,580  | 12.6 |
|                                     | University Attendance and Leave of Absence | 4,579  | 36.4 |
|                                     | College Graduate or Higher                 | 6,419  | 51.0 |
|                                     | Under High School                          | 6,879  | 56.2 |
|                                     | University Attendance and Leave of Absence | 30     | 0.2  |
|                                     | College Graduate or Higher                 | 5,326  | 43.5 |
| Residential Independence Experience | Experienced                                | 3,978  | 31.6 |
|                                     | No Experience                              | 8,600  | 68.4 |
| Intention to Live in Public Housing | Willing                                    | 8,584  | 68.2 |
|                                     | Not Willing                                | 3,994  | 31.8 |
| Total                               |  | 12,578 | 100  |

Note: 1-Respondent, 2-Father

년가구가 66.8%로 수도권에 비해 약 두 배 이상 높았다. 최근 기사에 따르면 2022년 기준 수도권 내 청년가구가 자가를 마련하는데 걸리는 시간이 약 15.2년으로 나타나 현실적으로 수도권 내 자가를 마련하는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다(전원준, 2024). 이는 앞서 청년가구의 거주 지역조사 결과에서도 알

수 있듯이 다수의 청년들이 비수도권 내 거주하는 것으로 나타나 자가 마련뿐만 아니라 임대(자가를 제외한 모든 형태) 형태의 주택 점유도 수도권 내에서 어려운 것을 알 수 있다.

다음으로 청년가구의 최종학력은 대졸 이상이 51.0%로 가장 높았고 다음으로 대학 재학, 휴학(36.4%)로 나타나 응답자의 87.4%가 고등교육 이상을 받은 것으로 나타났다. 한국은행(2022) 결과에 따르면 4년제 대학 졸업 이상이 2015년(19.3%) 대비 2022년(22.1%) 약 2.8%p 상승하여 전반적으로 청년가구의 최종학력이 높아진 것을 확인할 수 있었다. 보고서에 따르면 학력 상승은 청년가구의 경제활동 참가율 상승의 주요 원인 중 하나로 보고되며 주거독립에 있어서 경제적 측면에서 긍정적인 영향을 미칠 것으로 유추된다. 아버지의 최종학력은 고졸이하가 56.2%, 대졸 이상이 43.5%로 나타났다.

다음으로 청년가구의 독립에 대한 생각을 살펴보기 위해 독립경험과 공공임대주택 거주 의향에 대하여 분석하였다. 그 결과 응답자의 68.4%는 독립경험이 없었고 68.2%는 공공임대주택 거주 의향이 있다고 응답하였다.

다음은 청년의 자산과 소득에 대하여 분석하면 청년의 연간 개인소득은 분석 대상 12,578명 중 유효한 9,661명에 대해 살펴본 결과 평균 2,321만 원(중위수 2,400만 원)으로 나타났다. 개인 자산은 10,643명에 대해 평균 3,772만 원(중위수 1,000만 원)으로 축적된 자산이 미미한 것을 알 수 있다.9)

4.2 주거독립

1) 청년가구 주거독립

청년가구의 주거독립 현황을 살펴보면 응답자의 41.6%가 부모로부터 독립한 것으로 나타났다. 여기서 주거독립이란 물리적 주택의 분리를 의미하며 경

9) 본 연구에서는 타 변수들과의 관계 등을 고려하여 소득 및 자산 변수에 자연로그를 취하였다. 정규분포와 유사한 분포를 갖도록 재조정하여 효율적인 추정이 될 수 있도록 하였다.

**Table 3.** Whether or not Residential Independence

| Category                 | Independence Plan | N      | %    |
|--------------------------|-------------------|--------|------|
| Residential Independence | -                 | 5,237  | 41.6 |
| Living Together          | Yes               | 2,305  | 18.3 |
|                          | No                | 5,036  | 40.1 |
| Total                    |                   | 12,578 | 100  |

제적 독립, 생활 독립 등을 포함한 개념은 아니다. 반면, 부모와 함께 거주하는 청년가구는 58.4%로 독립한 청년가구가 상대적으로 적은 것을 알 수 있으며 구체적인 내용은 Table 3과 같다.

다음으로 주거독립을 한 청년가구의 독립 이유를 분석한 결과, 응답자의 73.6%가 직장·학교·학원 등 교통이 불편해서 독립하였다고 응답하였고 다음으로 독립할 경제적 여건 마련되지 못해서 20.7%, 가족 불화 2.7% 순으로 나타났다.

선행연구에 따르면 청년가구의 주거독립 첫 시작이 주로 대학 진학 또는 취업에 의해 비자발적으로 이루어지는 것으로 나타나 앞서 고찰한 선행연구 결과와 유사한 것을 알 수 있다(이봉조, 2022). 또한 주거비 부담으로 인해 청년 스스로 주거비를 마련하기 보다 부모나 국가의 지원 등을 통해 독립의 기초를 마련하는 것으로 나타났다(김진영·이현정, 2020; 이수진 외, 2022).

독립의 이유를 통해 현재 청년가구의 주거독립은 자발적 독립보다 비자발적 독립이 높은 것으로 해석되며 이러한 독립 형태에는 자신의 기초 자산, 부모의 경제력 등이 중요한 변수로 작용할 것으로 판단된다.

다음은 비독립 청년가구가 부모로부터 독립하지 않은 이유를 분석한 결과, 응답자의 56.0%가 독립할 경제적 여건이 마련되지 못해서라고 응답하였다. 다음으로는 직장·학교·학원 등 교통이 편해서가 22.4%, 특별한 이유가 없음 20% 순으로 나타났다.

교통의 편의성과 경제적 여건 마련의 이유는 앞서 주거독립을 한 청년가구의 독립 이유와는 반대되는 비율로 나타났으나 교통 편의성과 경제적 여건이라는 두 변수는 청년가구(독립, 비독립 청년가구 포함)의 주거독립에 있어 중요한 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

또한 특별한 이유 없이 부모와 동거하는 청년가구가 20%로 나타나 연령대별로 응답 비율을 살펴본 결과, 19~24세의 상대적으로 낮은 연령대 청년가구의 응답률이 높았다(16%). 이는 해당 가구의 연령이 타 청년층에 비해 상대적으로 낮아 스스로 부모로부터 독립할 대상이 아니라는 의사가 반영된 결과로 해석된다.

다음으로 현재 비독립 청년가구에 대하여 향후 주거독립 계획을 조사한 결과, 응답자의 31.4%는 독립 계획이 있는 것으로 나타났다. 이에 향후 독립 계획이 있는 청년가구를 대상으로 주거독립을 하려는 이유를 분석하면 다음과 같다.

주거독립 계획이 있는 청년가구의 42.3%는 독립 생활 희망을 가장 큰 이유로 꼽았고 다음으로 직장·학교·학원 등 교통이 불편해서가 29.7%, 경제적 여건이 마련되어서 13.3%, 결혼 또는 동거 예정이 12.9% 순으로 나타났다. 이러한 결과는 청년가구가 처음부터 부모로부터 독립할 의지가 없다가보다 저축금액, 보증금 등 자산 부족, 높은 주거비와 생활비, 생활여건에 맞는 주거환경 부재 등으로 독립생활을 안정적으로 유지하기 어렵기 때문에 나타난 결과로 해석된다.

2022년 경제생활 미디어에서 조사한 결과에 따르면 청년가구 4,688세대를 대상으로 주거 독립 희망 여부를 조사한 결과 응답자의 97%가 자신만의 거주 공간을 갖고 독립하기를 희망한다고 응답하여 청년가구가 주거독립에 의지가 있다는 것을 확인할 수 있었다(경신원, 2023). 이는 앞서 분석한 결과와 유사하다.

따라서 청년가구의 주거독립과 관련하여 현재 독립한 이유, 독립하지 않는 이유, 독립을 계획하는 이유 등의 결과들을 종합하면 청년가구의 약 60%는 독립을 실천했거나 독립에 의지가 있는 것으로 나타났다. 주거환경을 구성하는 다양한 요소 중 교통의 편의성과 경제적 여건 마련 등이 주거독립에 있어 중요한 요인으로 작용한 것으로 나타났다.

특히 경제적 여건 마련에는 앞서 서술한 바와 같이 다양한 요인들이 포함되어 있어 단편적 경제적 지원이 아닌 청년 일자리, 고용 안정, 주거비 지원, 청년 주택 공급 등의 복합적 지원이 필요하다.

## 2) 청년가구의 일반적 특성에 따른 주거독립 차이

독립한 청년가구의 일반적 특성을 살펴보기 위해 청년가구의 성별, 연령, 지역, 학력(응답자, 아버지), 주거독립 경험, 공공임대주택 거주 의향에 따른 주거독립 현황을 교차분석하고 카이 검증을 실시하였다. 그 결과 Table 4와 같다.

청년가구의 주거독립은 성별, 연령, 지역, 학력, 주거독립 경험, 공공임대주택 거주 의향에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 전반적으로 청년가구는 부모와 함께 거주하는 비율이 상대적으로 높았으나 성별에 따른 차이를 살펴보면 남성(42.6%)이 여성(40.7%)에 비해 주거독립 비율이 높았다.

다음으로 청년가구의 연령대별 주거독립 차이를 살펴보면 30~34세(62.9%) 청년의 주거독립 비율이 가장 높고 다음으로 25~29세(48.8%), 19~24세(32.0%) 순으로 나타났다. 즉, 청년가구 중에서도 상대적으로 연령대가 높은 청년일수록 부모로부터 주거 독립하는 비율이 높은 것을 알 수 있다.

2022년 서울청년패널 분석 결과(변금선 외, 2024)에 따르면 청년가구의 예상 독립 나이가 평균 30.6세로 나타나 30대 이상의 청년가구를 독립이 가능한 시기로 보는 것을 알 수 있다. 또한 주거독립은 독립

에 따른 주거비 마련이 필요하기 때문에 안정적 수입이 수반되어야 한다. 이에 청년가구의 연령별 경제활동 상태를 분석한 결과, 앞서 주거독립 비율이 높았던 30~34세의 청년가구가 다른 연령대 청년가구에 비해 상대적으로 경제활동 비율도 높은 것을 알 수 있다.

지역은 비수도권(42.8%) 거주 청년가구의 주거독립 비율이 수도권 거주 청년(39.3%)에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 앞서 응답자의 일반적 특성 분석 결과에서도 나타났듯이 수도권보다 비수도권 내 주거독립이 상대적으로 가능하기 때문에 나타난 결과로 해석된다.

다음은 응답자의 학력에 따른 주거독립 차이를 살펴보면 대학졸업 이상 청년가구의 주거독립 비율이(48.0%) 가장 높았고 다음으로 고졸 이하(45.5%), 대학 재학 또는 휴학(31.4%) 순으로 나타났다. 반면 동거가구에서는 대학 재학 또는 휴학 상태인 청년가구의 비율이(68.6%) 높았다. 독립 가구의 경우 대졸 이상 또는 고졸 이하 학력의 청년가구가 독립비율이 높았는데 이는 대학에 재학 중이거나 휴학 상태의 청년가구에 비해 상대적으로 직업을 갖고 경제활동하는 비율이 높기 때문에 나타난 결과로 해석할 수 있다. 추가적으로 응답자의 아버지 학력에 따라 주거독립에 차이가 있는지 분석하였다. 그 결과, 응답자의 학력 결과와 달리 아버지 학력은 고졸이하인 경우가(44.2%) 자녀 주거독립 비율이 가장 높았고 다음으로 대졸이상(41.0%) 순으로 나타났다. 즉, 청년가구의 주거독립은 부모의 학력보다는 본인의 학력에 따른 경제활동, 소득 등에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

다음은 주거독립 경험과 공공임대주택 거주 의향에 따라 주거독립에 차이가 있는지 분석하였다. 주거독립 경험의 경우 독립에 대한 간접 경험이 있는 청년가구의 주거독립 비율(48.0%)이 상대적으로 독립 경험이 없는 청년가구에 비해 높았다. 오정석·

**Table 4.** Differences in Residential Independence According to General Characteristics

| Category                            |  | Residential independence (a) |      | Living together (b) |      | Total (a+b) |     | $\chi^2$       |
|-------------------------------------|--|------------------------------|------|---------------------|------|-------------|-----|----------------|
|                                     |  | N                            | %    | N                   | %    | N           | %   |                |
| Gender                              | Male                                       | 2,700                        | 42.6 | 3,642               | 57.4 | 6,342       | 100 | 4.623<br>*     |
|                                     | Female                                     | 2,537                        | 40.7 | 3,699               | 59.3 | 6,236       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,237                        | 41.6 | 7,341               | 58.4 | 12,578      | 100 |                |
| Age                                 | 19-24                                      | 2,195                        | 32.0 | 4,673               | 68.0 | 6,868       | 100 | 684.76<br>***  |
|                                     | 25-29                                      | 1,895                        | 48.8 | 1,991               | 51.2 | 3,886       | 100 |                |
|                                     | 30-34                                      | 1,147                        | 62.9 | 677                 | 37.1 | 1,824       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,237                        | 41.6 | 7,341               | 58.4 | 12,578      | 100 |                |
| Region                              | Capital Area                               | 1,642                        | 39.3 | 2,532               | 60.7 | 4,174       | 100 | 13.569<br>***  |
|                                     | Non Capital Area                           | 3,595                        | 42.8 | 4,809               | 57.2 | 8,404       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,237                        | 41.6 | 7,341               | 58.4 | 12,578      | 100 |                |
| Education (Respondents)             | Under High School                          | 719                          | 45.5 | 861                 | 54.5 | 1,580       | 100 | 314.770<br>*** |
|                                     | University Attendance and Leave of Absence | 1437                         | 31.4 | 3,142               | 68.6 | 4,579       | 100 |                |
|                                     | College Graduate or Higher                 | 3,081                        | 48.0 | 3,338               | 52.0 | 6,419       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,237                        | 41.6 | 7,341               | 58.4 | 12,578      | 100 |                |
| Education (Father)                  | Under High School                          | 3,038                        | 44.2 | 3,841               | 55.8 | 6,879       | 100 | 22.686<br>***  |
|                                     | University Attendance and Leave of Absence | 4                            | 13.3 | 26                  | 86.7 | 30          | 100 |                |
|                                     | College Graduate or Higher                 | 2,185                        | 41.0 | 3,141               | 59.0 | 5,326       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,227                        | 42.7 | 7,008               | 57.3 | 12,578      | 100 |                |
| Residential Independence Experience | Experienced                                | 1,908                        | 48.0 | 2,070               | 52.0 | 3,978       | 100 | 95.861<br>***  |
|                                     | No Experience                              | 3,329                        | 38.7 | 5,271               | 61.3 | 8,600       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,237                        | 41.6 | 7,341               | 58.4 | 12,578      | 100 |                |
| Intention to Live in Public Housing | Willing                                    | 3,718                        | 43.3 | 4,866               | 56.7 | 8,584       | 100 | 31.284<br>***  |
|                                     | Not Willing                                | 1,519                        | 38.0 | 2,475               | 62.0 | 3,994       | 100 |                |
|                                     | Total                                      | 5,237                        | 41.6 | 7,341               | 58.4 | 12,578      | 100 |                |

Note: The criteria for independent variables follow general characteristics

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$ 

정운혜(2021) 연구에 따르면 주거복지 프로그램에 참여한 입주자는 프로그램에 대하여 긍정적 평가가 높고 프로그램 재참여와 타인 추천 경향이 높은 것으로 나타났다. 즉, 청년가구의 독립에 있어서도 공

정적 주거독립의 경험은 다음 생애 주기에 따른 주거 독립에 긍정적 영향을 미칠 것으로 해석할 수 있다.

마지막으로 공공임대주택 거주 의향에 따른 주거 독립 차이에 대한 결과를 살펴보면 공공임대주택 거

주의향이 있다고 응답한 청년가구(43.3%)가 없다고 응답한 가구(38.0%)에 비해 상대적으로 주거독립 비율이 높았다. 이재춘 외(2023) 연구에 따르면 공공임대주택 거주 가구의 월 소득 대비 임대료 비율(RIR)은 민간임대주택에 거주할 때보다 RIR이 5.0%p 줄어든다고 분석되었다. 지역에 따라 편차가 발생하나 평균적으로 주거비 부담이 감소하는 것을 알 수 있다. 즉, 독립한 청년가구는 주거비 부담을 줄이기 위해 공공임대주택에 거주할 의향이 있는 것으로 해석되며 주거독립에 주거비 부담이 직·간접적으로 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

#### 4.3 청년가구의 주거환경 만족도

주거환경 만족도는 크게 생활 인프라, 대중교통 이용, 방법상태, 위생환경, 녹지공간, 문화 및 부대시설, 교육 환경, 이웃관계로 구분되며 8가지의 주거환경에 대한 청년 가구의 주거환경 만족도를 분석하면 다음과 Table 5와 같다.

청년가구의 전반적인 주거환경 만족도는 3.73점으로 대체적으로 만족하는 것을 알 수 있다. 그중 생활인프라 만족도는 3.84로 가장 높게 나타나 주택 주변으로 생활 편의시설, 병원, 공공시설 등 다양한 생활인프라가 형성되어 있다는 것을 유추할 수 있다.

즉, 청년가구가 독립을 위한 주택을 선택할 때 건

물 자체의 물리적 환경만 고려하는 것이 아닌 생활 인프라까지 더 확장된 주거환경을 고려하는 것을 알 수 있다. 이는 주거비 부담으로 인해 양질의 주택을 선택하지 못한다 하더라도 그 주변 인프라의 편의성은 고려된다는 것을 의미한다.

다음으로 방법상태 만족도는 3.89점으로 나타나 주거를 선택할 때 범죄, 생활 안전에 대한 요인들을 고려한다는 것을 알 수 있다. 특히, 선행연구를 통해 여성 청년가구의 경우 방법 환경이 주거독립에 중요한 요인으로 고려된다는 것을 확인할 수 있었다(이봉조, 2022). 또한 대중교통 이용(3.81), 위생환경(3.80), 녹지 공간(3.83)에 대해서도 전반적으로 만족 수준을 나타냈다. 반면 이웃과의 관계(3.53), 문화 및 부대시설(3.54) 만족도는 전반적인 주거환경 만족도보다 낮게 나타났는데 해당 주거환경은 타 주거환경과 달리 공동체적 성격을 지닌 환경인 것을 알 수 있다. 즉, 타인과의 관계 맺음을 통해 형성되는 주거환경의 경우 청년가구 특성상 만족도가 상대적으로 낮았다. 교육 환경(3.65)의 경우 다른 주거환경 만족도에 비해 상대적으로 만족도가 낮았는데 이는 학령기를 지난 청년가구에 교육 환경이 주거독립을 선택하는데 주요하게 고려될 요인은 아닌 것으로 해석할 수 있다.

다음으로 주거독립 여부에 따른 주거환경 만족도 차이를 분석하기 위해 T-test 한 결과, 두 집단 간 주거환경 만족도 간 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며 Table 6과 같다. 각 집단별 주거환경 만족도를 살펴보면 독립가구는 대중교통 이용 만족도가 3.77점으로 가장 높았고 다음으로 생활인프라(3.75), 방법상태(3.71), 녹지공간(3.61), 위생환경(3.59), 교육 환경(3.47), 문화 및 부대시설(3.42), 이웃과의 관계(3.32) 순으로 만족도를 나타냈다. 반면, 동거가구는 방법상태(4.01) 만족도가 가장 높았고 다음으로 녹지공간(3.99), 위생환경(3.95), 생활 인프라(3.90), 대중교통 이용(3.84), 교

**Table 5.** Satisfaction with Residential Environment

| Category                    | Mean | SD    |
|-----------------------------|------|-------|
| Living Infrastructure       | 3.84 | .985  |
| Use Public Transportation   | 3.81 | 1.041 |
| Crime Prevention Status     | 3.89 | .918  |
| Sanitary Environment        | 3.80 | .969  |
| Green Space                 | 3.83 | 1.016 |
| Culture and Facilities      | 3.54 | 1.079 |
| Educational Environment     | 3.65 | 1.006 |
| Relationship with Neighbors | 3.53 | .895  |
| Overall Satisfaction        | 3.73 | .769  |

육 환경(3.77), 이웃과의 관계(3.68), 문화 및 부대시설(3.63) 순으로 만족도를 나타냈다.

독립 가구의 경우, 부모로부터 독립할 때 자신의 라이프 스타일 및 사이클에 따라 주거환경을 선택했다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 살펴본다면 독립가구의 경우 주거환경 만족도가 높은 순으로 주거독립에 있어 중요한 고려 요인이라 볼 수 있다. 만족도를 통해 중요 요인을 유추하는 방식의 추론은 기존 선행연구에서도 확인할 수 있다(이현정·김모윤, 2019). 즉, 1인 청년 가구인 만큼 이웃과의 관계 형성보다는 개인 삶에 가치를 더 두는 특성이 반영된 것으로 보이며 앞서 독립한 이유에서도 알 수 있

듯이 직장, 학교 학원 등 교통의 불편이라 응답하여 이러한 요인들이 반영된 결과로 해석된다.

반면 동거 가구의 경우 자신의 선택에 의해 주거환경이 형성되었기 보다 부모 또는 가족 구성원의 다양한 요구가 반영된 주거환경으로 볼 수 있다.

#### 4.4 청년가구의 주거인식 및 자가 필요성

청년가구가 생각하는 주거에 대한 인식을 살펴보면 휴식 공간의(4.35) 역할이 가장 높았고 다음으로 안전하게 보호받는 공간(4.26), 생활공간(4.16), 나만의 사적 공간(4.05)의 역할이 높은 것으로 조사되었다. 이는 서울 시민 인식조사(서울주택도시공사, 2023) 결과와 유사하게 여전히 주거의 역할과 기능으로 휴식과 보호의 기능인 주거의 순기능을 가장 중요하게 여기는 것을 알 수 있다.

다음으로 주거독립 여부에 따른 주거 인식 차이를 분석하기 위해 T-test 한 결과, 두 집단 간 주거 인식 간 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다으며 Table 7과 같다.

특히, 나만의 사적 공간에 대한 인식에서는 독립한 청년가구(4.19)가 동거가구(3.96)에 비해 상대적으로 사적 공간의 기능이 높다고 응답하였다.

즉, 독립한 청년가구는 물리적 공간의 독립을 통해 오롯이 자신의 공간이 마련되었다고 인식하며 그만큼 주거를 타인과의 공유 공간이기보다 자신만의 독립된 개인 공간으로 인식하는 것을 알 수 있다. 이러

**Table 6.** Differences in Satisfaction with Residential Environment According to Residential Independence

| Variables                   |   | Residential Environment |      |       | t(p)       |
|-----------------------------|---|-------------------------|------|-------|------------|
|                             |   | N                       | Mean | SD    |            |
| Living Infrastructure       | 1 | 5,237                   | 3.75 | .964  | 8.549 ***  |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.90 | .995  |            |
| Use Public Transportation   | 1 | 5,237                   | 3.84 | 1.007 | 3.725 ***  |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.77 | 1.064 |            |
| Crime Prevention Status     | 1 | 5,237                   | 3.71 | .904  | 18.191 *** |
|                             | 2 | 7,341                   | 4.01 | .908  |            |
| Sanitary Environment        | 1 | 5,237                   | 3.59 | .970  | 20.702 *** |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.95 | .940  |            |
| Green Space                 | 1 | 5,237                   | 3.61 | 1.011 | 21.380 *** |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.99 | .990  |            |
| Culture and Facilities,     | 1 | 5,237                   | 3.42 | 1.047 | 10.955 *** |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.63 | 1.093 |            |
| Educational Environment     | 1 | 5,237                   | 3.47 | .977  | 16.509 *** |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.77 | 1.009 |            |
| Relationship with Neighbors | 1 | 5,237                   | 3.32 | .861  | 23.142 *** |
|                             | 2 | 7,341                   | 3.68 | .888  |            |

1: Residential independence, 2: Living together

\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001

**Table 7.** Residential Awareness

| Category                     | Mean | SD    |
|------------------------------|------|-------|
| A Safely Protected Space     | 4.26 | .851  |
| Space to Relax               | 4.35 | .809  |
| A Space to Spend with Family | 3.86 | 1.326 |
| My Own Private Space         | 4.05 | 1.005 |
| Living Space                 | 4.16 | .899  |
| A Space for Asset Growth     | 3.17 | 1.375 |

**Table 8.** Differences in Residential Awareness Depending on Residential Independence

| Variables                    |   | Residential environment |      |       | t(p)       |
|------------------------------|---|-------------------------|------|-------|------------|
|                              |   | N                       | Mean | SD    |            |
| A Safely Protected Space     | 1 | 5,237                   | 4.06 | .874  | 23.439***  |
|                              | 2 | 7,341                   | 4.41 | .803  |            |
| Space to Relax               | 1 | 5,237                   | 4.22 | .835  | 15.399***  |
|                              | 2 | 7,341                   | 4.45 | .777  |            |
| A Space to Spend With Family | 1 | 5,237                   | 3.00 | 1.435 | 67.146***  |
|                              | 2 | 7,341                   | 4.48 | .802  |            |
| My Own Private Space         | 1 | 5,237                   | 4.19 | .906  | -13.121*** |
|                              | 2 | 7,341                   | 3.96 | 1.060 |            |
| Living Space                 | 1 | 5,237                   | 3.98 | .943  | 19.688***  |
|                              | 2 | 7,341                   | 4.30 | .843  |            |
| A Space for Asset Growth     | 1 | 5,237                   | 2.72 | 1.410 | 31.250***  |
|                              | 2 | 7,341                   | 3.49 | 1.256 |            |

1: Residential independence, 2: Living together  
\*p<.05, \*\*p<.01, \*\*\*p<.001

한 결과는 가족과 함께하는 공간에 대한 인식 결과에서도 확인할 수 있다. 반면 주거의 역할 중 자산증식을 위한 공간의 경우 다른 주거 역할과 달리 두 집단 모두 상대적으로 낮은 인식도를 나타냈다. 이러한 결과는 청년가구의 특성상 독립 여부와 별개로 현재 거주하는 주택이 자산 증식의 역할을 하지 못하게 때문에 나타난 결과로 해석되며 Table 8과 같다.

다음으로 청년가구의 자가 필요성을 분석하면 응답자의 89.6%가 자가로 주택을 소유하는 것이 필요하다고 응답하였고 10.4%가 필요 없다고 응답하였다. 자가에 대한 욕구는 청년 가구뿐만 아니라 모든 세대에서 나타나는 경향인 것을 알 수 있다. 서울 시민 인식조사(서울주택도시공사, 2023) 결과에 따르면

**Table 9.** The Need for Your Own Housing

| Category               | N        | %           |
|------------------------|----------|-------------|
| Need for Your Own Home | Need     | 11,271 89.6 |
|                        | Not Need | 1,307 10.4  |
| Total                  | 12,578   | 100         |

서울 시민의 72.7%가 자가 보유를 희망한다고 응답한 것으로 나타나 청년가구의 자가 필요성 결과와 유사한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 자산의 가치로서의 자가 필요성보다 점유 형태가 전·월세에 비해 자가인 경우 빈번한 주거 이동이 줄고 매달 지출되는 주거비 부담이 낮아져 주거의 안정성을 확보할 수 있기 때문에 나타난 결과로 판단되며 Table 9와 같다<sup>10)</sup>.

**4.5 청년가구 주거독립에 영향을 미치는 요인**

청년가구의 주거독립에 영향을 미치는 요인을 살펴보기 위해 앞서 분석한 다양한 변수를 활용하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 모형의 설명력을 확인하기 위해 Cox와 Snell 및 Nagelkerke R 제곱을 통해 가늠할 수 있으며 각 .364, .490으로 나타났다. 또한 모형의 적합도는 Hosmer & Lemeshow 검정 결과 유의 확률이 .266로 산출되어 유의수준의 범위를 넘어간다. 즉, 귀무가설을 채택한다는 뜻으로 모형이 적합함을 알 수 있다.

다음은 로지스틱 회귀분석에서 활용한 독립변수에 대한 영역을 크게 일반적 특성, 주거환경, 주거인식, 독립 경험, 주택소유로 구분하여 검증결과를 서술하면 다음과 같으며 Table 10과 같다. 청년가구의 주거독립은 청년가구의 일반적 특성 중 성별, 지역, 청년 학력, 수입, 자산 변수가 주거독립에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

10) 청년가구 자가 필요성의 경우 두 집단 간(독립/동거) 조사 응답률의 편차가 크게 나타나 집단 간 차이 분석인 T-test를 시행하지 않았다.

**Table 10.** Results of Logistic Regression Analysis

| Independent Var.                          |  | Coef.  | Std. Err. | p> z    | Odds Ratio | Marginal Effect<br>dy/dx Std. Err. |      |
|---|--|--------|-----------|---------|------------|------------------------------------|------|
| General Characteristics                   | Gender                                     | .138   | .057      | .015*   | 1.147      | .021                               | .008 |
|   | Age(ref:19-24)                             | -      | -         | .016*   | -          | -                                  | -    |
|   | Age(25-29)                                 | .064   | .075      | .396    | 1.066      | .010                               | .011 |
|   | Age(30-34)                                 | .254   | .092      | .006**  | 1.289      | .038                               | .014 |
|   | Region                                     | .507   | .060      | .000*** | 1.660      | .076                               | .009 |
|   | Level of Education 1<br>(Ref: High School) | -      | -         | .000*** | -          | -                                  | -    |
|   | University Attendance                      | .847   | .107      | .000*** | 2.334      | .121                               | .015 |
|   | College Graduate or Higher                 | -.280  | .086      | .001**  | .756       | -.041                              | .013 |
|   | Level of Education 2<br>(Ref: High School) | -      | -         | .157    | -          | -                                  | -    |
|   | University Attendance                      | -.054  | .775      | .944    | .947       | -.008                              | .115 |
|   | College Graduate or Higher                 | .113   | .059      | .055*   | 1.119      | .017                               | .009 |
|   | Income                                     | .261   | .035      | .000*** | 1.299      | .039                               | .005 |
| Satisfaction with Residential Environment | Assets                                     | .502   | .022      | .000*** | 1.651      | .075                               | .003 |
|   | Use Public Transportation                  | .198   | .033      | .000*** | 1.219      | .029                               | .005 |
|   | Culture and Facilities                     | .091   | .034      | .008**  | 1.095      | .014                               | .005 |
| Residential Awareness                     | Relationship with Neighbors                | -.354  | .038      | .000*** | .702       | -.053                              | .006 |
|   | A Space to Spend with Family               | -1.104 | .029      | .000*** | .332       | -.164                              | .003 |
| Residential Independence Experience       | Previous Independent Living Experience     | .331   | .061      | .000*** | 1.393      | .049                               | .009 |
|   | Intention to Live in Public Housing        | .200   | .060      | .001**  | 1.222      | .030                               | .009 |
| Home Ownership                            | The Need for Your Own Home                 | -.279  | .097      | .004**  | .757       | -.042                              | .014 |
| Constant Term                             |  | -1.311 | .325      | .000    | .269       | -                                  | -    |

Note1: Dependent- Residential independence

Note2: In case of education level 2, it matches the respondent's father's education level

-2LL 7947.771, Cox&amp;Snell R Square .364, Nagelkerke R Square .490

Hosmer &amp; Lemeshow test: Chi-square 9.986, df(8), p&gt;|z| .266

\*p&lt;.05, \*\*p&lt;.01, \*\*\*p&lt;.001

성별(OR=1.147, p<0.05)의 경우 남성이 여성에 비해 주거 독립이 1.147배 높은 것을 알 수 있으며 연령대는 청년층에서도 상대적으로 연령대가 높은 30~34세 청년가구의 주거독립 확률이 높게 나타났다. 이러한 결과는 손정연·김정원(2022) 연구 결과

에서도 확인할 수 있었다. 독립한 청년가구의 성별과 연령대를 교차 분석하면 남성이 여성에 비해 상대적으로 연령대가 높은 것을 알 수 있다. 즉, 남성이 여성에 비해 주거독립 가능성이 높은 이유는 앞서 분석한 결과와 같이 상대적으로 연령대가 높고 경제

활동 비율이 높기 때문으로 해석할 수 있다.

지역은 수도권에 비해 비수도권 청년가구의 주거 독립이 1.660배 높았다. 이는 앞서 분석한 결과에서도 알 수 있듯이 주택 가격, 주거비(임대료, 관리비 등), 생활비 등에 대한 전반적인 주거 관련 비용 부담 때문에 나타난 결과로 해석되며 상대적으로 주거비 부담이 낮은 비수도권에 정착하는 비율이 높은 것을 알 수 있다.

다음으로 학력은 청년가구의 학력이 높을수록 주거 독립 가능성이 높았으며 특히, 대학 재학 또는 휴학 중인 청년가구가 고졸 이하 가구에 비해 2.334배 주거 독립 가능성이 높았다. 이에 학력과 경제활동 상태를 교차 분석한 결과, 학력이 높은 청년가구의 경우 고졸 이하 가구에 비해 상대적으로 경제활동 비율이 높고 상용근로자의 근로형태가 높은 것을 알 수 있다. 즉, 경제적 안정성이 주거 독립에 중요한 영향을 미친다는 것으로 해석된다. 반면 아버지의 학력은 청년가구의 주거 독립에는 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

특히, 앞서 분석한 다양한 결과에서도 확인할 수 있었듯이 청년가구의 기본적인 소득( $OR=1.119, p<.001$ )과 자산( $OR=1.651, p<.001$ )은 주거 독립에 직접적 영향을 미치며 이를 회귀계수를 통해 검증한 결과 통계적으로도 유의미한 영향력이 있었다. 즉, 소득이 높고 기본 자산이 형성된 청년 가구일수록 주거 독립이 가능한 환경을 가졌다고 볼 수 있다.

다음은 주거환경 영역에서 청년가구의 주거 독립은 대중교통 이용 만족도( $OR=1.219, p<.01$ )가 한 단계 높아질수록 주거 독립 가능성이 1.219배 증가하고 문화시설 만족도( $OR=1.095, p<.001$ )가 한 단계 증가할수록 1.095배 증가하는 것으로 나타났다.

반면 이웃과의 관계 만족( $OR=.702, p<.001$ )은 만

족도가 한 단계 낮아질수록 주거 독립 가능성이 1.424( $1/0.702$ )배 증가하였다. 이는 청년가구가 다른 주거환경 요인에 비해 타인과의 사회적 교류를 주거 독립을 결정하는 중요한 요인으로 생각하지 않는 것으로 해석할 수 있다. 이는 청년가구의 개인주의적 성향과 자신만의 공간으로 독립하고 싶은 의사가 반영된 결과로 해석된다.<sup>11)</sup>

독립 경험의 경우 기존에 독립한 경험( $OR=1.393, p<.001$ )이 있고 공공임대주택 거주향이 있는 청년가구일수록 주거 독립 가능성이 높게 나타났다( $OR=1.222, p<.01$ ). 서인주(2020) 연구에 따르면 과거의 긍정적 경험은 향후 재참여 가능성을 높이고 지속적인 재참여는 서비스에 대한 충성도로 이어지는 것을 알 수 있다. 즉, 주거 독립에 대한 긍정적인 경험은 향후 임시 거처가 아닌 자신의 주택을 구입하거나 결혼 및 출산과 같이 새로운 가족을 형성하는 생애 주기 단계에서 보다 안정적으로 독립하는데 긍정적 역할을 할 것으로 판단된다.

주택 소유 영역에서는 자가의 필요성이 없다고( $OR=.757, p<.05$ ) 응답한 청년가구가 주거 독립에 있어 0.757배 독립 가능성이 높게 나타났다. 이러한 결과는 앞서 청년가구의 자가 필요성 분석 결과에서도 알 수 있었듯이 현재 분석 대상 청년가구는 주택을 자산의 가치 또는 완전한 독립이라기보다 다음 생애 주기의 매개 단계로 생각하기 때문에 나타난 결과로 해석된다.

마지막으로 앞서 전술한 바와 같이 로지스틱 회귀 분석 결과는 주거 독립 여부에 따른 확률을 추정하고 로그 오즈비로 해석함에 따라 연구결과를 직관적으로 이해하는데 어려움이 따른다. 이를 대체하는 방안으로 해당 변수가 한 단위 증가함에 따라 주거 독립에 속할 확률이 어떻게 변하는지 한계 효과

11) 주거환경에 대한 조사는 만족도 형태로 조사되었으며 본 연구에서는 주거환경에 대한 만족을 주거 독립에 있어 청년들이 중요하게 고려하는 주요 요인으로 해석하였다. 또한 앞서 4.3절에서 분석에 활용한 주거환경요인 중 방법상태, 위생환경, 교육환경의 변수는 상관분석을 통해 다중공선성에 문제로 로지스틱 회귀변수의 독립변수로 제외하고 분석하였다.

(Marginal Effect)를 통해 직관적 해석이 가능하다. 즉, 각 변수의 평균값에서 한 단위 변화가 종속변수의 확률에 미치는 한계 효과를 별도로 제시(dy/dx)하였다. 이를 통해 소득 1% 증가에 따른 주거독립의 한계효과는 0.039% 증가하는 것으로 나타나고, 주거독립의 변화율이 1% 이상 증가하기 위해서는 소득의 변화율은 26% 정도 증가하여야 하는 것으로 분석되었다. 즉, 분석대상의 중위소득 2,400만 원에서 3,000만 원이 되는 지점으로 볼 수 있다. 자산은 현재보다 14% 증가 시, 주거독립의 변화율이 1% 이상 증가하는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

미래세대를 위한 노력이 끊임없이 이어지고 있다. 그중 청년이 주요 정책대상으로 떠오르면서 주거정책의 한 축으로 자리 잡았다고 해도 과언이 아니다(김승연 외, 2020; 국토교통부, 2023). 청년이 가지고 있는 잠재적 능력은 더 이상 개인의 노력으로만 해결하기 어렵기 때문에 사회적 차원에서의 전폭적인 지지가 요구된다(이정봉, 2021). 이러한 측면에서 본 연구는 주거독립이라는 관점에서 영향을 미치는 요인들을 면밀하게 분석하고 몇 가지 정책적 시사점을 도출하고 제안하고자 한다.

첫째, 청년의 일반적 특성을 적극 반영하여 내재적 다양성 및 이질성을 고려한 정책으로 전환되어야 한다. 청년가구의 주거독립은 성별, 연령, 지역 등에 따라 차이가 있고 남성, 30~34세 연령대, 비수도권에 거주하는 청년일수록 독립 가능성이 높았다. 즉, 같은 청년의 범주 안에 있더라도 개인의 특성에 따라 독립이 가능한 주거환경이 다르다는 것을 의미한다. 모형에는 포함되지 않았지만 기초분석에서 나타나듯이 여성 청년가구의 경우 주거독립을 위해서는 다양한 주거환경 중 범죄, 생활 등의 방법 안전 확보가 필요할 것으로 판단되며 연령대별 소득 및 자산규모

에 따라 다층적인 지원이 필요하다.

둘째, 일시적 주거비 부담 완화와 같은 단편적 정책보다는 실질적으로 자립을 이행할 수 있는 장기적 정책 프로그램으로 개선되어야 한다. 최근 청년의 주거소비 면적은 감소하고 있으나 월세 상승 등으로 주거비 부담은 가속화되고 있다. 이를 위해 월세 지원과 같은 일정 기간 이내 한정된 재원을 통해 주거비 부담 문제를 지연시키기보다 근본적인 문제 해결 차원에서 주거상향 이동경로를 확보해 주는 보증금 확대 지원 등이 필요하다. 분석 결과에서도 나타나듯이 주거독립을 이행하는 데 있어서 청년이 축적하고 있는 자산이 중요한 요인으로 분석되었다. 청년의 특성상 청년가구의 주거독립은 자산증식의 가치보다 부모로부터 공간의 독립을 우선하고 이를 발판으로 경제적, 정신적, 또 다른 가족 형성의 중간 단계의 독립을 의미한다(Erikson, 1950; Goffman, 1959; Dennerstein et al., 2002; 이길제, 2020). 즉, 완전한 경제적 독립이라기보다 정부 또는 부모의 경제적·심리적 지원을 통해 독립이 가능하다는 것을 의미한다. 현재의 월세 지원과 같은 단편적 주거비 보조의 경제적 지원에서 벗어나 장기적 측면에서의 독립 기초 자금 형태의 지원이 필요하며 이와 더불어 청년 일자리, 고용 안정 등의 복합적 지원이 필요하다(이태진 외, 2017; 이정봉, 2021).

셋째, 청년을 위한 지불 가능한 주택 공급 시 효율성 측면과 함께 효과성을 고려한 세심한 설계가 필요하다. 독립한 청년가구는 대중교통 이용, 생활 인프라, 방법상태에 대한 주거환경 만족도가 높게 나타났다. 이는 청년의 주거독립을 위해 주거환경을 충분히 고려한 입지 선정이 요구된다는 연구결과와 일치한다(이상영 외, 2020). 청년가구의 경우 주거비 부담으로 인해 양질의 주택을 선택하지 못하는 한계가 있으며 총체적인 주거환경 측면에서 다소 열악한 지역으로 내몰리고 있는 실정이다. 한정된 재원을 통한 정책 자금의 효율성 및 효과성을 동시에

고려하기 위해서는 대중교통 연계성, 문화시설 등 생활 인프라의 활용을 최대화할 수 있는 곳에 공급되어야 한다.

마지막으로 주거독립을 위한 다양한 주택 유형 및 점유형태를 제공하여 청년의 이행기 및 생애 주기 관점에서의 선택권을 확대할 필요가 있다. 예를 들어 주거독립의 중간단계로서 경제적·정신적·생활적 독립을 위한 단기간 거주 형태의 청년 주택 유형도 고민해 볼 필요가 있다. 청년가구는 주거의 다양한 기능 중 휴식과 보호의 기능을 가장 중요하게 생각하며 독립한 주택을 자산 축적의 가치보다 완전한 독립을 위한 중간단계로 생각한다. 반면 청년기에서 가족 형성기로 넘어가는 단계의 경우 대부분 독립에 대한 준비과정 없이 바로 독립 단계로 들어서게 된다. 이러한 현실들은 독립한 청년가구뿐만 아니라 미독립 청년가구에게도 부담감을 안긴다. 앞선 분석 결과에서도 알 수 있듯이 독립을 원하지 않는 것이 아닌 다음 생애 주기로 넘어가는 단계의 완충공간이 없기 때문에 독립에 대한 두려움으로 적극적인 독립을 주저하고 있는 것으로 짐작된다(Settersten and Ray, 2010). 또한 주거독립을 경험한 경우와 공공임대주택 거주 의향이 있는 경우 주거독립에 긍정적인 영향을 미치는 요인으로 파악됨에 따라 공공부문의 정책적 지원 차원에서 일반적인 주택 공급 모델은 아니나 주거독립에 대한 직·간접 경험을 이행할 수 있는 토대 마련이 필요하다.

청년의 주거문제는 비단 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 일시적이고 과도기적인 측면에서 조망되어 왔으나 빠른 속도로 문제가 가속화되면서 사회 전반의 지속가능성을 저해하는 상황에 직면하고 있다(Bauman, 2001; Lauriks et al., 2014). 본 연구는 청년의 다양한 사회문제 중 주거독립을 실행하는 요인에 대해 실증 분석하였으나 아직 주거독립을 이행하지 않았거나 못하고 있는 청년들에 대한 추가적인 검토가 요구된다. 이에 추후 연구를 통해 다양한 유

형의 청년가구를 대상으로 주거독립에 대한 연구를 진행하고자 한다. 청년의 이행기 지연은 개인의 생애 주기 단절, 만혼, 저출생 등 사회 전체적인 측면에서의 손실로 이어질 수밖에 없다. 이러한 점에 비추어 가장 체감할 수 있는 주거상황에 대해 보다 포괄적인 차원에서 통합적인 노력이 필요하다. 나아가 미래세대의 주요 구성원으로써 자립할 수 있도록 전폭적인 사회적 지지가 마련되어야 한다.

## 참고문헌

1. 경신원(2023.2.7), “독립하고 싶지만 돈이 없는 청년들에게 이런 걸 해주세요”, 오마이뉴스.
2. 국무조정실·보건사회연구원(2022), 2022년 청년 삶 실태조사, 세종.
3. 국토교통부(2023), “내게 맞는 청년 주거정책, 마이홈에서 찾아보세요”, 세종.
4. 기윤환(2022), “청년·신혼부부의 주거선택요인에 관한 연구: 인천시를 중심으로”, 『LHI Journal』, 50: 13~26.
5. 김강산(2021), 「청년 주거정책의 현황과 개선과제」, 서울: 국회입법조사처.
6. 김승연·최광은·박민진(2020), 「장벽사회, 청년 불평등의 특성과 과제」, 서울: 서울연구원.
7. 김진영·이현정(2020), “청년의 독립주거 마련과 경험에 관한 탐색적 연구”, 『한국생활과학회지』, 29(6): 1017~1034.
8. 박미선·이재춘·김근용·이운상·천현숙(2017), 「1인 가구 증가에 따른 주택정책 대응방안 연구」, 세종: 국토연구원.
9. 박미선·조윤지·전혜란(2022), 「2030 미혼 청년의 주거여건과 주거인식」, 세종: 국토연구원.
10. 변금선·김상일·김승연·김진하·안현찬·김성아·박민진·임아름·류아현·이종선(2022), 「2022 서울청년패널 기초분석보고서」, 서울: 서울연구원.
11. 변금선·박민진·류아현(2024), 「2022 서울청년패널로 본 청년의 삶」, 서울: 서울연구원.
12. 서울주택도시공사(2023), “서울시민 80%는 후분양제와 분양원가 공개 원해”, 서울.
13. 서인주(2020), “국내 인터넷신문은행의 서비스품질

- 및 충성도에 관한 연구: K뱅크와 카카오뱅크”, 「소비자학연구」, 31(1):133~158.
14. 성진옥·이훈(2021), 「서울시 청년 및 신혼부부가구의 주거실태와 정책방안」, 서울: SH도시연구원.
15. 손정연·김정원(2022), 「성인지 통계로 보는 서울 청년의 일과 삶」, 서울: 서울시여성가족재단.
16. 오성석·정윤희(2021), 「서울시 장기공공임대주택 입주자 삶의 질 향상 기본계획에 의한 주거복지프로그램 만족도 평가 연구」, 서울: SH도시연구원.
17. 이길제(2020), 「부모의 소득·자산 및 분가 여부를 고려한 청년 주거정책 대상 분석」, 세종: 국토연구원.
18. 이봉조(2022), 「상품화·금융화된 주택시장에서의 의존적 독립과 주거선택전략」, 「공간과 사회」, 32(3): 248~288.
19. 이상영·김준형·서정렬·최명섭(2020), 「임대주택산업론」, 서울: 커뮤니케이션북스.
20. 이수진·장유진·안옥희(2022), “독립 여부에 따른 청년세대의 주거의식: 대구·경북 대학생을 중심으로”, 「한국주거학회논문집」, 33(1):97~104.
21. 이재춘·강미나·이건우(2023), 「공공임대주택 입주가구 관점에서의 주거비 절감과 주거 상황」, 세종: 국토연구원.
22. 이정봉(2021), 「이행기 관점 청년정책에 대한 비판적 검토」, 서울: 한국노동사회연구소.
23. 이지선·이영민(2019), “이동과 정주가 공존하는 경제의 집: 혼자 사는 청년들의 ‘집 만들기’ 실천과 ‘집’의 의미”, 「한국도시지리학회지」, 22(2):93~109.
24. 이태진·우선희·최준영(2017), 「청년층의 주거 실태는 어떠한가」, 세종: 한국보건사회연구원.
25. 이현정·김모윤(2019), “청년층 1인 가구의 사회경제적 지위 및 주거수준 변화에 관한 종단적 연구”, 「한국주거학회지」, 30(4):55~64.
26. 장미선·김태완·김지윤(2022), “청년가구의 삶의 질에 영향을 미치는 주거관련 지표에 관한 연구”, 「한국주거학회지」, 33(5):9~16.
27. 전원준(2024.1.10), “저출산 부추기는 청년 주거 불안”, 아시아투데이.
28. 통계청(2023a), “인구주택총조사 결과로 분석한 우리나라 청년세대의 변화(2000~2020)”, 대전.
29. 통계청(2023b), “2023년 가계금융복지조사 결과”, 대전.
30. 한국은행(2022), 「노동공급 확대 요인 분석: 청년층과 고령층을 중심으로」, BOK 이슈노트 No. 2022-35, 서울.
31. 한국은행(2023), 「금융안정보고서(2023.06.)」, 서울.
32. Bauman, Z. (2001), “Identity in the Globalising World”, *Social Anthropology*, 9(2): 121~129.
33. Dennerstein, L., E. Dudley, and J. Guthrie (2002), “Empty Nest or Revolving Door? A Prospective Study of Women’s Quality of Life in Midlife during the Phase of Children Leaving and Re-Entering the Home”, *Psychol Med*, 32(3): 545~550. doi: 10.1017/s0033291701004810.
34. Erikson, E. H. (1950), *Childhood and Society*, New York: Norton.
35. Goffman, E. (1959), *The Presentation of Self in Everyday Life*, New York: Doubleday.
36. Lauriks, S., M. A. de Wit, M. C. Buster, T. J. Fassaert, R. van Wifferen and N. S. Klazinga (2014), “The Use of the Dutch Self-Sufficiency Matrix (SSM-D) to Inform Allocation Decisions to Public Mental Health Care for Homeless People”, *Community Mental Health Journal*, 50(7): 870~878.
37. Settersten, R. and E. B. Ray (2010), *Not Quite Adults: Why 20-Somethings Are Choosing a Slower Path to Adulthood, and Why It’s Good for Everyone*, New York: Bantam books.

## 요약

최근 우리 사회의 전 영역에 걸쳐 청년 세대의 문제가 대두되고 있다. 이들은 생애 주기 과정상 독립, 취업, 혼인 등 다양한 이행기에 있어 다차원적이며 중첩된 문제에 놓여 있으며 특히, 가장 체감할 수 있는 주거분야에서 주거독립의 관점에서 살펴보았다. 사회적 자본이 충분하지 않은 상태에서의 독립은 주거독립 중단 가능성이 높고 불안정한 독립일 가능성이 높다. 그럼에도 많은 청년들은 자의든 타의든 주거독립으로 인해 어려운 환경에 놓여 있다. 이에 청년가구와 같은 취약계층의 자립 용이성 측면에서 자신에 대한 이해와 지지체계의 중요성을 감안하여 분석을 하였다. 분석 결과, 청년의 일반적 특성에 국한하기보다 내재적 다양성 및 이질성을 고려한 정책이 요구된다. 또한 일시적 주거비 부담 완화와 같은 단편적 정책보다 실질적으로 자립을 이행할 수 있는 장기적 정책이 필요하며 이와 더불어 청년 일자리, 고용 안정 등의 복합적 지원도 필요하다. 청년가구의 주거독립에 미치는 주요 영향요인으로 대중교통 이용과 문화시설 등에 대한 생활 인프라의 요구를 확인할 수 있었다. 한정된 재원인 정책자금의 효율성 및 효과성을 동시에 고려하기 위해서는 입지 선정에 세심하게 고려해야 한다. 또한 주거독립을 위한 다양한 주택유형 및 점유형태를 제공하여 청년의 이행기 및 생애 주기 관점에서의 선택권을 확대할 필요가 있다. 청년의 이행기 지연은 개인의 생애 주기 단절, 만혼, 저출생 등 사회 전체적인 측면에서의 손실로 이어질 수밖에 없다. 이러한 점에 비추어 가장 체감할 수 있는 주거상황에 대해 보다 포괄적인 차원에서 통합적인 노력이 필요하다. 나아가 미래세대의 주요 구성원으로써 자립할 수 있도록 전향적인 사회적 공감대와 지지가 필요하다.

**주제어:** 청년, 주거독립, 주거권, 주택정책, 주거복지

## 재해정보를 고려한 태양광발전시설의 취약성 평가에 관한 연구

### A Study on the Vulnerability Assessment of Solar Power Generation Facilities Considering Disaster Information

표희진\*

Heejin Pyo\*

#### Abstract

This study aims to develop an evaluation method for solar power facilities considering disaster impacts and to analyse the vulnerabilities of existing facilities. Haenam-gun in Jeollanam-do, where the reassessment of existing facilities is urgent, was selected as the study area. To evaluate the vulnerability from a more objective perspective, principal component analysis and entropy methods were utilised. Seven vulnerability assessment indicators were selected: maximum hourly rainfall, maximum wind speed, number of typhoon occurrence days, number of rainfall days lasting more than five days, maximum daily rainfall, impermeable area ratio, and population density. Among these, maximum hourly rainfall, maximum wind speed, maximum daily rainfall, and number of rainfall days lasting more than five days were found to have the highest weights. The overlay of the derived weights showed that the southeastern regions of Haenam-eup and Bukil-myeon were classified as Grade 1 and 2, whereas the northern regions of Hwawon-myeon, Sani-myeon, and Munnae-myeon were classified as Grade 4 and 5, indicating differences in vulnerability. Of the 2,133 facilities evaluated, 91.1% were classified as Grade 3 or higher, indicating a generally favourable condition. However, there were more Grade 1 facilities than Grade 2, highlighting the need for countermeasures. This study is significant in that it evaluates solar power facilities considering urban disaster resilience and is expected to be used as a basic resource for the installation of new facilities or the management and operation of existing ones.

**Keywords:** Storm and Flood Damage, Natural Disasters, Solar Power Generation Facilities, Vulnerability Assessment

## 1. 서론

### 1.1 연구의 필요성 및 목적

우리나라를 포함한 세계 주요국의 탄소중립 선언으로 탄소 감축 필요성에 대한 공감대가 확대되고 있다. 우리나라도 이에 동참하기 위해 기후 위기 대응을 위한 탄소중립 녹색 성장 기본법, 2050 탄소중립 추진전략, 2050 장기저탄소 발전전략(Long-

term low greenhouse gas Emission Development Strategies, LEDS) 등 탄소중립 이행을 위한 법·제도적 기반과 구체적인 이행전략을 마련하고 있다. 이 이행전략에는 국내 온실가스 배출량에서 86%를 차지하는 에너지 부분의 저감을 위한 신재생에너지 확대를 비중 있게 포함시키고 있다. 최근에 수립된 법정 계획인 '제1차 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획(2023~2042년)'에서도 감축정책으로 석탄발전 감

\*국토연구원 전문연구원/서울시립대학교 도시공학과 박사과정(pyo0224@krihs.re.kr)

**Table 1.** Damage to Solar Power Generation Facilities by the State Over the Past Five Years

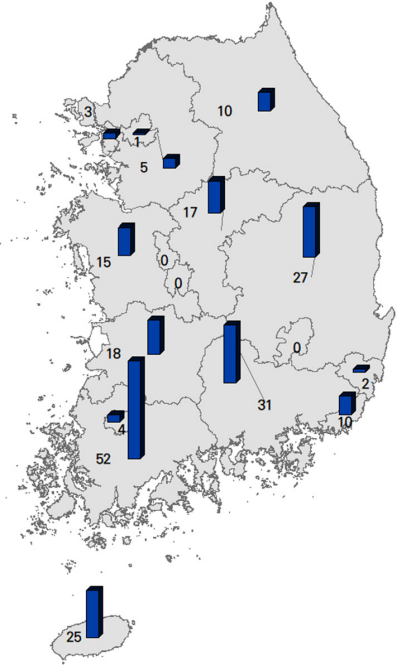
| Classification    | Year | Number of Damages | Classification   | Year | Number of Damages |
|-------------------|------|-------------------|------------------|------|-------------------|
| Seoul             | 2019 | 1                 |                  | 2018 | 1                 |
| Busan             | 2019 | 3                 | Jeollabuk-do     | 2020 | 12                |
|                   | 2020 | 7                 |                  | 2022 | 5                 |
| Daegu             | 2022 | 2                 |                  | 2018 | 1                 |
| Incheon           | 2019 | 1                 | Jeollanam-do     | 2019 | 7                 |
|                   | 2020 | 2                 |                  | 2020 | 3                 |
| Gwangju           | 2020 | 2                 |                  | 2021 | 10                |
|                   | 2022 | 2                 |                  | 2022 | 31                |
| Ulsan             | 2022 | 2                 |                  | 2018 | 1                 |
| Gyeonggi-do       | 2019 | 1                 | Gyeongsangbuk-do | 2019 | 4                 |
|                   | 2020 | 4                 |                  | 2020 | 9                 |
|                   | 2018 | 1                 |                  | 2022 | 13                |
| Gangwon-do        | 2020 | 4                 | Gyeongsangnam-do | 2019 | 3                 |
|                   | 2022 | 5                 |                  | 2020 | 15                |
| Chungcheongbuk-do | 2018 | 3                 |                  | 2021 | 1                 |
|                   | 2020 | 14                |                  | 2022 | 12                |
| Chungcheongnam-do | 2019 | 3                 | Jeju-do          | 2018 | 1                 |
|                   | 2020 | 7                 |                  | 2019 | 5                 |
|                   | 2021 | 2                 |                  | 2020 | 16                |
|                   | 2022 | 3                 |                  | 2022 | 3                 |
| Subtotal          |      | 69                | Subtotal         |      | 153               |
| Total             |      |                   |                  |      | 222               |

Source: Authoring Based on Lee (2022) (in Korean)

축, 재생에너지 확대 등 에너지 전환 부문에 가장 큰 비중을 두며 중요성을 강조하고 있다. 이러한 추세에 맞추어 국내에서는 탄소중립 목표치 달성을 위해 재생에너지 보급에 속도를 높이고 있다. 그중 태양광발전시설은 타 에너지원에 비해 부지의 제약이 덜하다는 장점이 있어 국내 재생에너지 중에서 가장 빠르게 성장하고 있으며, 2018년 35,508개였던 태양광발전시설은 2021년 두 배에 가까운 68,635개로 증가했다.

그러나 급증한 태양광발전시설의 수만큼 부작용도 증가했다. 한국에너지공단이 집계한 자료에 따르면 최근 5년간(2018년~2022년 9월) 태양광발전시

설의 피해 사례는 총 222건으로, 2018년에는 단 8건이었던 피해 건수가 2019년에는 28건, 2020년에는 95건으로 크게 증가했다(이동우, 2022). 지역별로 살펴보면 전남이 52건으로 가장 많은 피해가 발생했고, 경남, 경북, 제주가 그 뒤를 따르며 시설이 집중 설치되는 비수도권에서 피해가 크게 나타났다(Table 1). 이러한 피해의 원인은 다양하게 존재하지만 주요 원인으로 지적되는 것은 태풍과 집중호우이다. 한국에너지공단이 공개한 5년간 피해 사례의 원인은 모두 집중호우와 태풍이며, 시기도 여름철인 7월부터 9월에 집중되어 있다. 5년 동안의 태양광설비 사고 유형을 분석한 이진철 외(2019)의 연구도 사고



의 주요 원인으로 집중호우에 의한 토사유출, 태양광 설비파손과 태풍 등 강풍으로 인한 태양광 설비 파손을 지적했다. 구체적으로 산지태양광발전시설의 경우 배수로 설치, 성토 등이 완료되지 않은 상태에서 폭우로 인한 토사유출로 시설의 손상이 발생하며, 건물과 일반부지에 설치된 태양광발전시설의 경우 기초 및 지지대가 최대풍속을 견디지 못해 시설의 손상이 발생했다고 분석했다.

이와 같은 상황에서 정부는 자연재해로 인한 위험을 최소화하기 위해 입지요건 검토 과정에서 재해영향평가 등의 협의를 이행하고 있다. 이 제도는 강수량, 유출량, 토사유출량, 토양침식, 사면의 경사도 등의 지표를 활용하여 홍수, 산사태, 침식 등 재해 유형별 위험요인과 영향을 분석하고 저감대책 마련을 목적으로 한다. 재해영향평가는 홍수량 산정모형을 기반으로 개발 전후 단계의 위험영향을 분석하고 있다. 하지만 수자원 전문가의 주관적인 판단에 따라 모형이 결정되기 때문에 결과가 일관되지 않고(금호준 외, 2021; 이정민 외, 2010), 5천 제곱미터 이상의 시설만을 평가대상으로 한정하고 있어 소규모 태양광발전 시설의 경우에는 평가대상에서 제외되는 한계가 있다.

이에 본 연구는 모든 태양광발전시설을 대상으로 일관된 취약성 평가가 필요하다는 인식하에 피해 주요 원인인 풍수해를 중심으로 태양광발전시설의 취약성 평가 방법을 개발하고 기존 시설의 취약성을 평가하는데 목적이 있다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 전라남도 해남군이며 최소 통계단위인 집계구를 분석단위로 한다. 시간적 범위는 가장 최신화된 공간자료 기준인 2022년으로 설정하였다.

전라남도 해남군은 지가가 저렴하고 전국 평균보다 10% 이상 높은 일사량을 자랑하며, 해안에서 불

어오는 바람이 가열되기 쉬운 태양광 발전 장치의 가열을 막아 발전효율을 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다(장승범, 2006). 이러한 이유로 태양광발전시설이 꾸준히 설치되어 왔으며, 2022년 기준 총 2,133개의 시설로 전라남도에서 가장 많은 시설을 보유하고 있다. 그러나 해남군이 위치한 전라남도는 5년간 태풍 및 집중호우로 인한 태양광발전시설 피해가 가장 많이 발생한 지역이다. 더욱이 최근 해남군에서 환경영향평가와 개발행위허가 등의 절차를 준수하지 않고 설치된 591개 위법 태양광발전시설이 적발됨에 따라 시설 안전성에 대한 재검토가 요구되는 상황이다. 이러한 점을 종합했을 때, 본 연구의 대상지로 해남군이 적절하다고 판단된다.

태양광발전시설의 취약성 평가 절차는 Fig. 1과 같다. 먼저 문헌조사를 통해 직·간접적으로 영향을 미칠 것으로 예상되는 평가 인자를 수집하고, 수집된 평가 인자 중 해남군과 상관성이 높은 인자들을 선정하기 위해 주성분 분석을 수행한다. 다음으로, 평가 결과의 객관성을 확보하기 위해 데이터 기반의 정량적 분석기법인 엔트로피 기법을 활용하여 선정된 평가 인자의 가중치를 도출한다. 마지막으로 이를 대상지에 적용하여 기존 시설의 취약성을 평가하고, 결과를 종합하여 시사점을 도출한다.

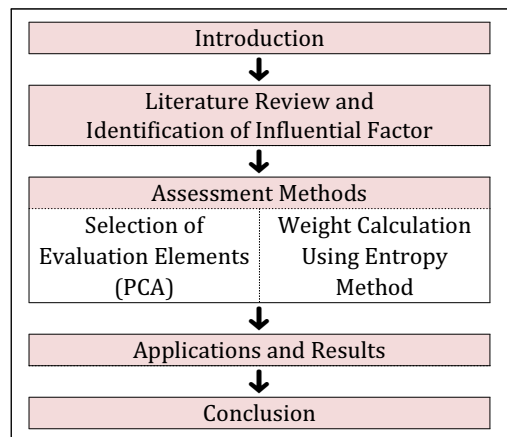


Fig. 1. Flow of Research

### 1.3 선행연구 검토

태양광발전시설과 관련된 국내 연구를 살펴보면 환경성, 효율성을 극대화하기 위한 입지 선정 연구가 주를 이루고 있다(Table 2). 구체적으로 이지영·강인준(2010)은 환경성을 고려한 입지 기준과 제약요인을 선정하고, 부산광역시를 대상으로 구별 입지 등급을 분석하였다. 이 연구는 태양광발전시설 설치 시 입지 선정 기준의 필요성을 제기하고 입지에 대한 논의를 활발히 하는데 기여하였다. 이후 환경뿐만 아니라 사회적 영향, 효율성 등 다양한 요인을 고려한 연구들이 다수 수행되었다. 박정일 외(2012)는 환경성과 효율성을 고려한 적정 입지 요소와 함께 제약요소를 제시하였고, 박유민·김영호(2012)는 환경과 사회적 영향을 최소화하기 위한 입지요소를 제시하고 전라남도에 위치한 기존 시설의 타당성을 검토하였다. 이기림·이원희(2015)는 기상, 지리,

경제, 문화, 환경 등 다양한 요인을 종합적으로 고려하여 입지 선정의 정확성을 높이기 위한 연구를 수행하였다.

앞서 언급한 연구들을 포함한 다수의 선행 연구들은 지형, 기후, 경제적 요인 등 태양광발전시설의 효율성 향상을 위한 요인만을 고려하고 있어 재해로부터 시설의 취약성을 반영한 연구는 부재한 상황이다. 이러한 상황에서 최근 해외에서는 이를 고려한 연구가 수행되고 있다. Yılmaz et al.(2023)은 홍수와 침식, 중요 시설과의 거리 등을 포함하여 태양광발전시설의 입지 적정성 평가를 위한 요소를 도출하고, Türkiye, Mentese를 대상으로 실증 분석하였다. Khan et al.(2023)은 홍수취약성을 포함한 지리, 기술, 경제성 등 10가지 평가 요인을 도출하고 이를 파키스탄에 적용하여 태양광발전소 건설에 가장 적합한부지를 선정하였다. 하지만 국내의 대부분의 선행연구

**Table 2.** Literature Review

| Title  | Methodology                 | Application Region           | Reference                          |
|--|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| A Study of PV System Facilities Using Geo-Spatial Information System   | AHP-GIS                     | Busan                        | Lee and Kang (2010)<br>(in Korean) |
| An Evaluation and Suggestion of Photovoltaic Power Plant Locations Based on Environmental and Social Impacts, and Sustainability   | ANP-GIS                     | Jeollanam-do                 | Park and Kim (2012)<br>(in Korean) |
| A Study on GIS Based Suitability Analysis of Solar Photovoltaic Power Generation Using Correlation Analysis                        | Correlation Analysis, GIS   | Jeollanam-do                 | Park et al. (2012)<br>(in Korean)  |
| Solar Power Plant Location Analysis Using GIS and Analytic Hierarchy Process   | AHP-GIS                     | Daegu and Gyeongsangbuk-do   | Lee and Lee (2015)<br>(in Korean)  |
| Study for Planning Optimal Location of Solar Photovoltaic Facilities Using GIS   | GIS                         | Nationwide                   | Yun et al. (2019)<br>(in Korean)   |
| Exploring Flood and Erosion Risk Indices for Optimal Solar PV Site Selection and Assessing the Influence of Topographic Resolution | AHP-GIS                     | Mentes,e district of türkiye | Yılmaz et al. (2023)               |
| Solar PV Power Plant Site Selection Using a GIS-Based Non-Linear Multi-Criteria Optimization Technique                             | Full Consistency Method-GIS | Pakistan                     | Khan et al. (2023)                 |

는 AHP, FUCOM 등 다기준의사결정법을 활용하여 평가 요인을 도출하고 있어 응답자의 지식, 경험에 따라 평가 결과가 영향을 미칠 수 있다는 한계가 존재한다.

본 연구는 데이터 기반의 확률·통계적인 기법을 사용하여 재해요인을 고려한 태양광발전시설의 취약성 평가 방법을 개발하고, 기존 시설의 취약성을 평가하고자 한다. 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 그간 국내 연구에서 고려하지 않았던 재해요인을 검토하여 기존 시설의 취약성을 재검토하였다. 둘째, 재해가 가지는 불확실성을 반영할 수 있도록 정보이론 기반의 연구 방법을 활용하여 평가요소를 도출하였다. 셋째, 태양광발전시설의 안전성 확보를 위한 정책적 시사점을 제시하고자 하였다.

## 2. 연구 설계

### 2.1 영향인자 조사

태양광발전시설의 취약성 평가를 수행하기에 앞서 지표 선정을 위해 피해에 직·간접적으로 관련된 영향인자를 도출하였다. 본 연구에서는 피해의 주요 원인인 풍수해와 간접적으로 영향을 미치는 태양광발전시설 입지에 관련된 문헌을 조사하였다(Table 3).

먼저 풍수해 평가에 대한 연구를 살펴보면, 김근영·김상원(2010)과 김상원·김근영(2012)은 국내 시·군·구 또는 시·군의 풍수해 안전성 평가를 목적으로 인구 및 경제, 토지이용, 환경, 방재 4개 분야의 평가항목을 제시하였다. 주진걸 외(2012)는 풍수해 위험요소에 따른 위험도 산정을 목적으로 재해발생 지수, 재해취약성지수, 재해피해분석지수 3개 분야별 평가항목을 제시하였다. 김금지·윤성환(2023)은 특·광역시, 도, 시·군·구 등 도시 규모에 따른 위험도 평가를 목적으로 기상, 인명, 도시기반시설, 환경 4개 분야의 평가항목을 제시하였고, 박상식(2015)

은 풍수해위험지수를 개발하며 수리구조물, 풍수해 위험지구 지정현황, 우수관거 보급률, 과거 10년 동안의 재산 및 인명피해, 불투수면적비 등 10개의 평가요인을 제시하였다.

태양광발전시설 입지에 관한 선행연구의 대부분은 효율성 향상을 위한 최적입지 평가를 목적으로 하고 있으며, 일부 연구에서만 입지 제약요인을 다루고 있다. 이지영·강인준(2010)은 환경을 고려한 입지 설정을 목적으로 공사 중인 장소, 역사적인 장소, 유보지를 제약요인으로 제시하였고, 박정일 외(2012)는 환경성과 효율성을 고려한 입지 선정을 위해 국토환경성평가, 지가가 높거나 인구가 밀집한 도시지역을 제약요인으로 선정하였다. Yilmaz et al.(2023)은 홍수와 침식을 고려한 태양광발전시설의 적정 입지 선정을 위해 하천댐 붕괴 관련 홍수위험지수와 침식위험지수를 위험지수로 고려하였고, 그 밖에 지리적 요인으로 인구밀집지역, 도로, 송전선과의 거리, 토지이용을 영향요인으로 제시하였다. Khan et al.(2023)은 홍수 민감성 지표로 수로 및 수역까지의 거리와 경제적 기준으로 인구밀집지역 및 도로까지의 거리를 제시하였다. Kim and Park(2021)은 태양광발전시설의 산사태 민감도 분석을 목적으로 기후와 지형, 산림 유형, 토지이용을 제시했다.

검토 결과, 선행연구들은 기상과 같은 재해 유발요인뿐만 아니라 인구, 기반시설, 토지이용 등 재해 영향요인을 함께 고려하고 있다는 공통점이 있었다. 다만 효율성 향상을 배경으로 한 태양광 발전 시설 연구의 특성상 특정 지역이나 시설과의 거리 등 효율성을 높이기 위한 경제적 민감도를 함께 고려하고 있음을 확인할 수 있었다.

### 2.2 후보지표 선정 및 자료구축

재난에 취약한 지역은 재난을 유발할 수 있는 기상 현상이 자주 발생하고, 재난에 취약한 사회적, 지형적 조건을 가지고 있으며 동일한 재해가 발생하였을

**Table 3.** Summary of Variables Exploited in the Previous Studies

| Category                            | Title                              | Factors  |
|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| Flood Risk Assessment               | Kim and Kim (2010)<br>(in Korean)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Population and economy) population density, number of disaster victims, employment density</li> <li>• (Landuse) park and forest area, land area, river area</li> <li>• (Environment) embankment area, ditch area, maintenance area</li> <li>• (Etc) sewage coverage rate, precipitation amount, precipitation days</li> </ul>  |
|                                     | Kim and Kim (2012)<br>(in Korean)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Social&amp;economy) population density, employment density, rate of disaster victims</li> <li>• (Landuse) green area, land area, river area</li> <li>• (Disaster prevention facilities) embankment area, sewage rate, catchment area</li> <li>• (Natural environment) precipitation, precipitation days, wind speed</li> </ul>   |
|                                     | Joo et al. (2012)<br>(in Korean)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Disaster occurrence index) number of disasters by grade over the past 10 years</li> <li>• (Disaster vulnerability index; social) population density, proportion of dependent population, casualty</li> <li>• (Disaster vulnerability index; topography) landslides, disaster risk areas, drainage density, semi-basement households, vinyl house area</li> <li>• (Disaster damage analysis index) average disaster damage by disaster level</li> </ul> |
|                                     | Kim and Yoon (2023)<br>(in Korean) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Climate) rainy days, typhoon</li> <li>• (Human) exposed people, vulnerable people</li> <li>• (Urban infrastructure) semi-basement building, old building, impermeable area, underground road, no sewerage</li> <li>• (Environment) river, flood prone river area</li> </ul>  |
|                                     | Park (2015)<br>(in Korean)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Vulnerability) water structures (drainage culverts and channels, pump stations, reservoirs), storm and flood risk sections, stormwater pipe penetration rate, river opening rate, disaster warning facilities</li> <li>• (Risk) property damage over the past 10 years, human casualties over the past 10 years, impermeable area ratio</li> </ul>   |
| Solar Power Plant Location Analysis | Lee and Kang (2010)<br>(in Korean) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Places under construction</li> <li>• Historic places</li> <li>• Reserved land</li> </ul>  |
|                                     | Park and Kim (2012)<br>(in Korean) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• National environmental assessment rating (level 1 and 2)</li> <li>• Distance from livestock facilities (within 1 kilometer)</li> <li>• Densely populated areas</li> </ul>   |
|                                     | Park et al. (2012)<br>(in Korean)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• National environmental assessment rating (level 1 and 2)</li> <li>• Urban area</li> </ul>   |
|                                     | Lee and Lee (2015)<br>(in Korean)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Distance of the historic site/cultural assets</li> <li>• Residence</li> </ul>   |
|                                     | Yilmaz et al. (2023)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Risk) flood hazard index, erosion risk index</li> <li>• (Distance) distance from densely populated areas, distance from roads, distance from transmission lines and transformation centers</li> <li>• Landuse</li> </ul>   |
|                                     | Khan et al. (2023)                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• (Flood susceptibility criteria) distance to water ways, distance to water bodies</li> <li>• (Economic criteria) distance to populated area, distance to roads</li> </ul>  |

때 타 지역에 비해 피해가 크게 발생된다는 특징을 가지고 있다(주진걸 외, 2012: 76).

본 연구는 선행연구 고찰을 바탕으로 기후, 인구, 지형, 토지이용 4가지 부문을 기준으로 연구 목적과의 적합성, 대표성, 데이터취득 가능성 등을 고려하여 평가지표를 선정하였으며, 최종적으로 선별된 후보지표는 Table 4와 같다.

기후요인은 기상현상에 의한 취약성을 평가하기 위한 항목으로써, 기후의 빈도와 강도는 피해 발생 가능성과 직접적으로 관계가 있다. 본 연구는 풍수해의 빈도와 강도를 모두 고려하기 위해 강우 및 태풍발생일수와 일 및 시간당 최대 강수량, 5일 이상 강수 지속기간, 최대풍속을 후보 지표로 선정하였다. 기후요인 자료는 기상청(Korea meteorological administration)에서 제공하는 일 강수량, 1시간 최대강수량, 최대풍속, 최대 순간풍속 자료를 활용하여 구축하였다. 구축 시 해남군 경계로 25km 이내의 15개 기상관측소 자료를 활용하였으며, 기상관측소 값을 공간보간법(IDW)을 통해 집계구 값으로 산출하였다.

인구요인은 재해에 직접적인 영향을 받는 요인으로 인명피해 발생 규모를 예측하기 위한 항목이다. 대상 지역에 인구가 많을수록 재해에 대한 노출도가 높고 어린이 또는 노약자 등 대비·대응이 취약한 인구가 많을수록 피해 규모가 클 것으로 판단된다. 이에 인구밀도와 행정안전부 지역안전지수에서 정의하고 있는 65세 이상 14세 이하의 재난약자 인구수를 후보 지표로 선정하였다. 자료는 통계청 집계구 단위의 연령별 인구수와 총인구를 활용하여 산출하였다.

지형 요인은 지형에 의한 재해 노출 또는 영향력을 의미한다. 이진철 외(2019)는 태양광발전시설의 사고 원인으로 집중호우에 의한 토사유출과 강풍으로 인한 설비파손을 지적했다. 배수능력이 낮고 바람에 의한 영향이 높을수록 취약성이 높을 것으로 판단된다. 이를 반영하기 위해 물이 빠져나가

는 정도를 측정한 토양 배수등급과 모든 방향에 대한 평균 바람 영향을 나타내는 바람영향지수를 후보 지표로 선정하였다. 자료는 농촌진흥청 국립농업과학원의 배수등급 데이터와 한국지질자원연구원의 바람영향지수 데이터를 활용하여 구축하였다. 배수등급과 바람영향지수는 값이 클수록 배수능력이 낮고 바람영향이 크다는 것을 나타내기 때문에 데이터 구축 시 집계구 단위로 할당한 후 최대등급과 최댓값으로 산출하였다.

마지막으로 토지이용은 대상지의 피해 가능성을 평가하는 항목으로, 위험이 발생할 우려가 있는 토지를 의미한다. 이에 대한 지표로는 풍수해 발생이 우려되는 지역인 풍수해 위험지역과 자연재해위험지구, 토사유출 우려가 있는 산사태 위험지역, 그리고 불투수 면적비를 후보지표로 선정하였다. 자료는 해남군의 내부 자료와 환경공간정보서비스에서 제공하는 토지피복 현황을 활용하였으며, 집계구 단위로 면적을 할당하여 산출하였다.

### 3. 취약성 평가 지표 선정

#### 3.1 표준화 과정

먼저 서로 다른 단위 및 성질을 가지는 변수들 간의 연산을 위해 이를 통합하는 표준화 과정이 필요하다. 표준화 방법은 매우 다양하나 일반적으로 순위매기기(ranking), 정규화 점수(Z-score) 및 축척 재조정(re-scaling) 방법이 많이 사용된다(김지은 외, 2019: 444). 그중 본 연구는 국내 취약성 평가에서 가장 많이 사용되는 정규화 점수(Z-score) 방법을 활용하여 모든 자료들의 평균이 0, 표준편차가 1이 되도록 표준화하였다.

#### 3.2 주성분 분석을 통한 평가 인자 선정

주성분분석(PCA: Principal Component Analysis)은 다변량비모수적(non-parametric) 방법을 이용

**Table 4.** Candidate Influencing Factors for Vulnerability Assessment of Solar Power Generation Facilities

| Classification | Factors                        | Definition  | Unit   | Data  |
|----------------|--------------------------------|---|--|---|
| Climate        | Disaster Frequency             | Number of days with rainfall of 10 mm or more   | Average number of days 10 mm/day over the past 10 years (2013-2022)                        | Day   |
|                |                                | Number of days with rainfall of 25 mm or more   | Average number of days 25 mm/day over the past 10 years (2013-2022)                        | Day   |
|                |                                | Number of days with rainfall of 20 mm or more   | Average number of days 20 mm/day over the past 10 years (2013-2022)                        | Day   |
|                | Disaster Intensity             | Number of typhoon occurrence days   | Number of times the maximum wind speed was 17 m/s or more in the past 10 years (2013-2022) | Number  |
|                |                                | Number of rainfall days lasting more than five days   | Average number of days with rainfall exceeding 5 days over the past 10 years (2013-2022)   | Day   |
|                |                                | Maximum daily rainfall  | Average maximum daily precipitation over the past 10 years (2013-2022)                     | mm  |
|                |                                | Maximum hourly rainfall   | Average maximum precipitation per hour over the past 10 years (2013-2022)                  | mm  |
|                |                                | Maximum wind speed  | Average daily maximum wind speed over the past 10 years (2013-2022)                        | m/s   |
|                | Population                     | Number of people aged 65 to 14  | Number of people aged 65 to 14 as of 2022  | Person  |
|                |                                | Population density  | Population density as of 2022  | Person/m <sup>2</sup>                               |
| Topography     | Soil drainage grade            | Maximum level of drainage class   | Class  | National Institute of Agricultural Sciences         |
|                |                                |   |  | Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources |
|                | Wind impact index              | Wind exposure index of terrain  |  |   |
| Land Use       | Areas susceptible to landslide | Area of areas susceptible to landslide as of 2022   | m <sup>2</sup>   | Haenam-gun  |
|                | Natural disaster prone areas   | Area of natural disaster prone areas as of 2022   | m <sup>2</sup>   |   |
|                | Area of risk area              | Area of risk area according to local comprehensive plans for storm and flood damage reduction of 2016 | m <sup>2</sup>   |   |
|                | Impermeable area ratio         | Percentage of impervious surface area in 2022   | %  | Environmental Geographic Information Service        |

Note 1) The impervious surface area is based on the calculation method of environmental spatial information service, and is divided into single residential facilities (111), communal residential facilities (112), industrial facilities (121), commercial/office facilities (131), and mixed in the land cover map. Region (132), culture, sports, and recreation facilities (141), airport (151), port (152), railroad (153), road (154), other transportation and communication facilities (155), basic environmental facilities (161) Extracted from the area of educational/administrative facilities (162), other public facilities (163), facility cultivation areas (231), and ranches/fish farms (251).

Note 2) Grade 1 (very good), Grade 2 (good), Grade 3 (slightly good), Grade 4 (slightly poor), Grade 5 (poor), Grade 6 (very poor)

하여 정보의 손실이 최소가 되도록 결정한 몇 개의 주요 성분으로 요약하여 원래의 데이터가 포함하는 정보와 거의 같아지도록 구성하는 것을 의미한다(정수정 외, 2010: 70). 따라서 주성분 분석은 최적의 해를 도출하는 것으로 알려져 있다(홍준호 외, 2020: 141). 본 연구에서는 도출된 영향인자 중 해 남군과 상관성이 떨어지는 인자를 제거하기 위해 주성분 분석을 수행하였다.

주성분 분석을 통해 평가 인자를 선정하는 과정은 다음과 같다. 표준화된 자료를 바탕으로 각 영향인자 사이의 상관성을 파악하기 위해 두 가지 인자 사이의 상관계수를 계산하여 상관관계 매트릭스를 작성하고, 이를 활용하여 고유값 및 고유벡터를 추정한다(김지은 외, 2019: 445). 그 결과 각 주성분의 고유치가 1 이상 또는 누적 기여율이 80%를 넘는 것을

기준으로 하여 주성분을 선택한다(정수정 외, 2010: 71). 그러나 주성분 분석의 개수를 결정할 때 일반적으로 주관적인 판단에 의한 경우가 많다. 1개의 주성분의 설명력이 크다고 판단되면 1개의 주성분을 취하는 경우도 있으며, 1개의 주성분으로 설명력이 충분하지 않을 경우 2개 이상의 주성분을 취할 수 있다.

2절에서 도출된 평가 인자를 주성분 분석한 결과는 Table 5와 같다. 분석수행 전 요인 간 공통성을 높이기 위해 0.4 이하의 요인은 제거하였다. 또한 KMO와 Bartlett 구형성 검정을 이용하여 요인분석의 적합성을 확인한 결과, KMO 0.665, Bartlett 구형성 검정치는 0.001로 적합한 것으로 판단되었다. 주성분 분석 결과, 3개의 요인이 추출되었고, 제1주성분은 37.9%, 제2주성분은 24.3%, 제3주성분은 16.6%로 총 76%의 설명력을 가진다. 본 연구는 과반수에 가

**Table 5.** Results of Principal Component Analysis

| Factors   | Communalities | Component |        |        |
|---|---------------|-----------|--------|--------|
|   |               | 1         | 2      | 3      |
| Maximum Hourly Rainfall                             | .952          | .935      | -.219  | -.077  |
| Maximum Wind Speed                                  | .902          | -.933     | .011   | -.145  |
| Number of Typhoon Occurrence Days                   | .927          | -.920     | -.119  | -.033  |
| Number of Rainfall Days Lasting More than Five Days | .834          | .879      | .244   | .041   |
| Maximum Daily Rainfall                              | .684          | .816      | .121   | .059   |
| Impermeable Area Ratio                              | .929          | .641      | -.378  | -.137  |
| Population Density                                  | .861          | .545      | -.265  | -.196  |
| Number of Days with Rainfall of 25 mm or More       | .892          | -.012     | .963   | .025   |
| Number of Days with Rainfall of 10 mm or More       | .406          | .252      | .936   | .112   |
| Number of Days with Rainfall of 20 mm or More       | .572          | -.209     | .927   | -.014  |
| Soil Drainage Grade                                 | .861          | -.151     | .015   | .916   |
| Wind Impact Index                                   | .906          | .247      | -.148  | .907   |
| Area of Risk Area                                   | .545          | -.078     | .368   | .635   |
| Eigenvalues   |               | 4.934     | 3.169  | 2.168  |
| Proportion of Variance                              |               | 37.956    | 24.375 | 16.680 |
| Cumulative Proportion                               |               | 37.956    | 62.331 | 79.011 |

KMO=.665, Bartlett's  $\chi^2=2674.08$  ( $p<.001$ )

Note 1: Factor extraction method: principal component analysis

Note 2: Rotation method: Varimax with Kaiser normalization

까운 설명력을 가지는 제1주성분을 평가인자로 채택하였다. 제1주성분에는 시간당 최대 일강수량, 최대 풍속, 태풍 발생일수, 지속기간 5일 이상 강수일수, 1일 최대 일강수량, 불투수 면적비, 인구밀도 등 7개의 평가 인자가 포함되어 총 7개의 인자를 최종 평가 지표로 선정하였다.

### 3.3 엔트로피를 활용한 가중치 도출

가중치를 산정하기 위해 AHP 기법, 델파이 기법 등이 많이 사용되나, 응답자의 주관적 판단에 따라 결과가 달라질 수 있는 한계가 존재한다. 반면 엔트로피 기법은 의사결정자의 주관적 요소를 배제하고 주어진 데이터의 속성을 이용하여 가중치를 추정해낼 수 있는 객관성이 검증된 방법이다(김지은 외, 2019: 445). 이러한 특성으로 인해 데이터의 정량적인 특성을 활용하여 재해의 불확실성을 고려할 수 있어 홍수와 산사태 등 재해 취약성 평가와 수문학에서 활발히 활용되고 있다(이규민 외, 2020; 김지은 외, 2019; 이선미 외, 2020 등).

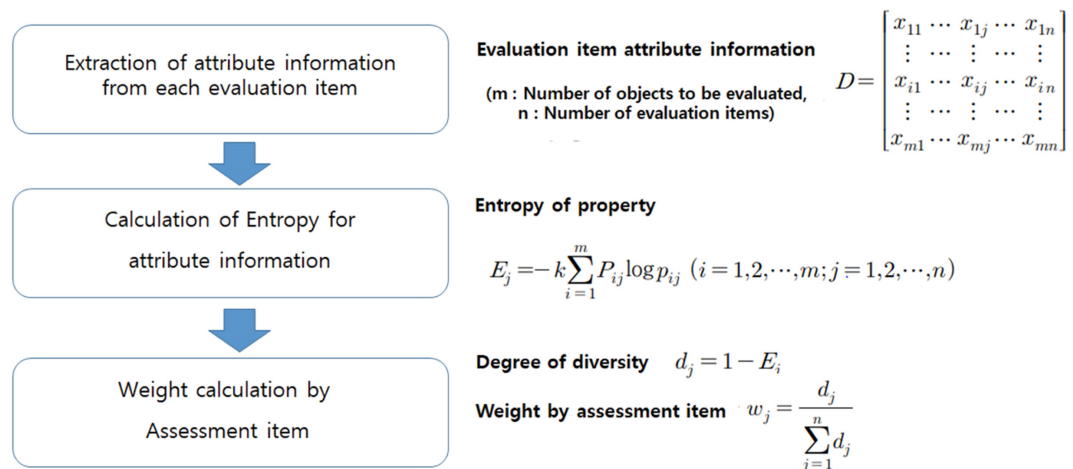
엔트로피 가중치 산정 절차는 다음과 같다(Fig. 2). 먼저 지표의 변수들의 표준화 과정을 거친 후 대안-

속성 행렬을 적용하여 엔트로피  $E_j$ 를 산정한다. 이후 각 평가 인자에 대한 가중치를 구하기 위해 사용되는 자료들의 다양성 척도인  $d_j$ 를 계산하며, 이 값들을 속성정보에 대해 정규화한 것이 해당 평가 인자의 가중치  $w_j$ 가 된다(김지은 외, 2019: 445).

위의 과정을 통해 도출된 가중치는 Table 6과 같다. 시간당 최대 일강수량에 대한 가중치가 가장 높게 나타났으며 그 외 최대풍속, 1일 최대 일강수량, 지속기간 5일 이상 강수일수 등 순으로 높은 가중치를 나타냈다. 반면 인구밀도는 타 지표에 비해 현저

**Table 6.** Weights of Evaluation Factors Applying the Entropy Method

| Evaluation Factors                                  | Weight |
|---|--------|
| Maximum Hourly Rainfall                             | 0.202  |
| Maximum Wind Speed                                  | 0.198  |
| Number of Typhoon Occurrence Days                   | 0.137  |
| Number of Rainfall Days Lasting More than Five Days | 0.159  |
| Maximum Daily Rainfall                              | 0.170  |
| Impermeable Area Ratio                              | 0.113  |
| Population Density                                  | 0.021  |



**Fig. 2.** Procedure for Entropy Weight

Source: Ha and Chung (2019: 189), Kim et al. (2019: 445) (in Korean)

히 낮은 가중치가 도출되었는데, 이는 자료가 흩어진 정도에 따라 가중치를 산출하는 엔트로피 방법의 특성상 보간법을 사용한 다른 데이터에 비해 값의 분포가 낮기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4. 결과 및 고찰

3장에서 도출된 지표별 가중치를 적용하여 중첩하면 재해요인을 고려한 태양광발전시설의 취약성을 분석할 수 있다. 분석 결과를 토대로 취약 정도를 구분하기 위해 자치단체의 안전을 관리하는 제도 중 하나인 지역안전지수 산출 기준을 활용하여 5등급으로 구분하였다. 지역안전지수는 1등급 10%, 2등급 25%, 3등급 30%, 4등급 25%, 5등급 10%로 설

정한다. 평가는 2022년 기준 태양광발전사업으로 허가된 2,133개 시설을 대상으로 하였다.

##### 4.1 집계구별 평가 결과

지표별 분석 결과를 집계구 단위에 중첩한 결과는 Fig. 3과 Table 7과 같다. 분석 결과, 전반적으로 남동지역에 1, 2등급이 집중 분포하며 취약한 것으로 나타났으며, 화원면, 산이면, 문내면 등 북쪽 지역의 경우 주로 4, 5등급이 분포하며 안전한 지역으로 나타났다. 특히 취약지역은 해남읍, 북일면 등 비교적 인구가 집중되는 도심지역에 다수 분포하는 것으로 나타났는데, 이는 태풍 및 강우 영향요소뿐만 아니라 불투수 면적비, 인구밀도 등 도심지역 특성이 결과에 반영된 것으로 판단된다.

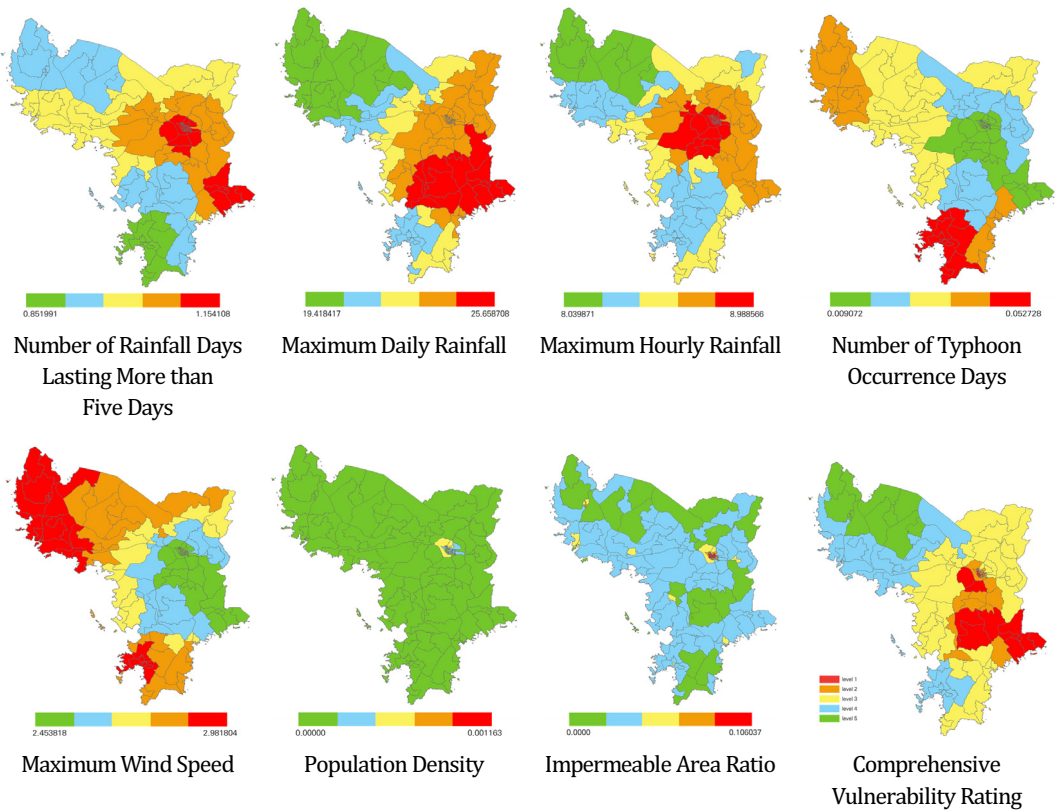


Fig. 3. Analysis Results

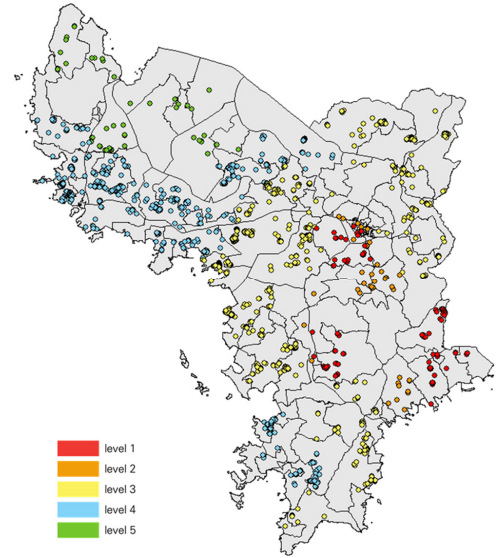
**Table 7.** Analysis Results by Administrative District in Haenam-gun

| Level   | Number of Output Area | Eup/Myeon  |
|---------|-----------------------|--|
| Level 1 | 16                    | Haenam-Eup (8),<br>Bukil-Myeon (5),<br>Hyeonsan-Myeon (2),<br>Samsan-Myeon (1)   |
| Level 2 | 41                    | Haenam-Eup (33),<br>Samsan-Myeon (5),<br>Bukpyeong-Myeon (1),<br>Songji-Myeon (1),<br>Hyeonsan-Myeon (1)   |
| Level 3 | 52                    | Bukpyeong-Myeon (11),<br>Hwasan-Myeon (8),<br>Okcheon-Myeon (6),<br>Haenam-Eup (6),<br>Hwangsan-Myeon (5),<br>GyeGok-Myeon (4),<br>Masan-Myeon (4),<br>Hyeonsan-Myeon (3),<br>Songji-Myeon (3),<br>Bukil-Myeon (2),<br>Songji-Myeon (15),<br>Munnae-Myeon (12),<br>Hwangsan-Myeon (9),<br>Hwawon-Myeon (2),<br>Sani-Myeon (2),<br>Masan-Myeon (1),<br>Hwasan-Myeon (1) |
| Level 4 | 42                    | Hwawon-Myeon (9),<br>Sani-myeon (7)  |
| Level 5 | 16                    |  |

#### 4.2 기존 시설의 평가 결과

집계구별 분석 결과를 토대로 시설별 등급을 도출한 결과는 Fig. 4와 같다. 등급별 시설의 수를 살펴보면, 4등급 시설이 953개소로 가장 많았고, 3등급 919개소, 1등급 142개소, 5등급 72개소, 2등급 47개소로 3등급 이상의 시설이 91.1%로 대부분 양호한 수준으로 나타났다.

그러나 1등급에 해당하는 시설이 142개로 2등급 시설보다 많이 도출되어 이에 대한 대책이 시급한



| Level   | Number of Facilities (Proportion) |
|---------|-----------------------------------|
| Level 1 | 142 (6.7%)                        |
| Level 2 | 47 (2.2%)                         |
| Level 3 | 919 (43.1%)                       |
| Level 4 | 953 (44.7%)                       |
| Level 5 | 72 (3.4%)                         |

**Fig. 4.** Vulnerability Assessment Results of Solar Power Generation Facilities in Haenam-gun

상황으로 보인다. 특히 시설의 허가 연도를 살펴보면 다수의 시설이 2017~2018년에 허가받은 시설로 나타났는데, 이러한 결과는 설치 기준 완화 정책이 영향을 미친 것으로 판단된다. 2017년 정부는 재생에너지 보급 확대를 위해 도로·주거지역으로부터의 이격 거리를 100m 이내로 완화하는 ‘태양광발전 입지 가이드라인’을 제정하였다. 완화 기준에 따라 설치된 태양광발전시설의 경우 거주지와의 인접성이 취약성에 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 시설별 평가결과에서도 인구가 밀집된 해남읍과 북일면에 1등급 시설이 다수 위치하고 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 기준 완화 시점에 설치된 시설의 재검토가 필요하며, 더 나아가 일관된 완화정책 보

다 지역의 특성에 맞춘 완화 정책이 필요하다는 시사점을 제시한다.

## 5. 결 론

본 연구는 기후변화로 태양광발전시설의 피해가 가중되고 있으나 이에 대응할 수 있는 제도가 미흡하다는 문제에서부터 시작하였다. 이에 전라남도 해남군을 연구 대상으로 재해정보를 고려한 태양광발전시설의 취약성 평가를 위한 평가 기준과 방법을 마련하고, 기존 태양광발전시설의 취약성을 평가하였다. 취약성 평가는 데이터의 정량적 특성을 활용하여 기후변화의 불확실성을 반영할 수 있도록 통계적 기법인 주성분 분석과 엔트로피 기법을 사용하였다. 주성분 분석 결과, 전라남도 해남군의 태양광발전시설 취약성을 평가하기 위한 주요 지표는 시간당 최대 일강수량, 최대풍속, 태풍 발생일수, 지속기간 5일 이상 강수일수, 1일 최대 일강수량, 불투수 면적비, 인구밀도 등 7가지 지표가 선정되었고, 엔트로피 기법을 통해 지표별 가중치를 산출한 결과 시간당 최대 일강수량, 최대풍속, 1일 최대 일강수량, 지속기간 5일 이상 강수일수 순으로 높은 가중치가 도출되었다. 계산된 가중치를 합산하여 취약성을 도출한 결과, 남동지역에 1, 2등급이 집중 분포하는 경향이 나타난 반면 화원면, 산이면, 문내면 등 북쪽 지역의 경우 4, 5등급이 주로 분포하며 비교적 안전한 지역으로 나타났다. 시설별로는 2,133개 시설 중 91.1%가 3등급 이상의 시설로 대부분 양호한 것으로 나타났다으나 1등급 시설이 142개로 2등급 시설보다 많이 도출되어 이에 대한 대책 마련이 필요한 상황으로 나타났다.

본 연구 결과에 따른 정책적 제언은 다음과 같다. 첫째, 해남군 도시군 조례 내 태양광 발전 시설 허가 기준의 보완이 필요하다. 해남군은 군 조례 제19조의3에 발전 시설에 대한 허가 기준을 제시하고 있으

며, 도로, 자연취락지구, 주거 밀집 지역, 관광지와의 이격 거리, 그리고 산지 태양광의 경우 경사도를 규제 사항으로 명시하고 있다. 그러나 본 연구 결과 시간당 최대 일강수량, 최대풍속, 태풍 발생일수, 지속기간 5일 이상 강수일수, 1일 최대 일강수량 등 재해 빈도와 강도, 기후 관련 지표가 시설 취약성에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이에 따라 재해 및 기상 요인을 허가 기준에 반영할 수 있도록 보완 방안을 검토할 필요가 있다.

둘째, 기존 시설의 재평가와 재해영향평가의 대상 확대가 필요하다. 현재 수행되는 재해영향평가는 일정 규모 이상의 사업만을 대상으로 하고 있어 평가 대상에 포함되지 않는 시설이 있다. 따라서 기존 시설의 재평가가 이뤄져야 할 것이며, 도시의 경우 부지확보의 어려움으로 작은 규모로 설치되는 경우가 많기 때문에 시설의 규모와 관계없이 취약성을 평가할 수 있도록 대상 시설 확대 방안이 논의될 필요가 있을 것이다.

본 연구는 그동안 성능 및 효율성을 고려한 기존 연구에서 벗어나 시설의 취약성을 고려하였다는 점에서 의의가 있으며, 본 연구의 결과가 향후 시설 설치 시 또는 기존 시설의 관리 및 운영 시 피해 잠재력을 확인할 수 있는 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한 본 연구는 해남군에 국한하여 적용하였지만, 제시된 평가방법을 기반으로 다양한 변수와 방법론을 검토하고 발전시킨다면 지역 및 도시단위로 확대 적용할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해 연구 대상 지역의 확대와 신뢰도 확보를 위한 후속연구가 필요할 것이다.

## 참고문헌

1. 김호준·김학수·고택조(2021), “복합유역 홍수량 산정 및 개발지역 하류 통수능 평가”, 「한국방재학회」, 21(4): 187~195.
2. 김근영·김상원(2010), “풍수해에 대한 우리나라 기

- 초단치단체의 안전성 평가를 위한 다기준 의사결정기법의 활용방안 연구”, 「한국지역개발학회 하계종합학술대회 논문집」, 33~44.
- Kim, G. Y. and S. W. Kim (2010), “Developing The Evaluationg Approach for Flood-Disaster Safety of Kaeon Local Govenmments Using a Multi-Criteria Decision-Making Processl”, *The Korean Regional Development Association*, 33~44. (in Korean)
3. 김금지·윤성환(2023), “기후변화 적응을 위한 재해 위험도 평가방법론 구축 및 적용에 관한 연구”, 「대한건축학회논문집」, 39(3): 161~170.  
Kim, K. J. and S. H. Yoon (2023), “Establishing and Applying Disaster Risk Assessment Methodologies for Climate Change Adaptation”, *Architectural Institute of Korea*, 39(3): 161~170. (in Korean)
  4. 김상원·김근영(2012), “네트워크 분석적 의사결정기법을 활용한 우리나라 시군의 풍수해 안전성 평가연구”, 「한국지역개발학회」, 24(2): 1~14.
  5. 김지은·박지연·이주현·김태웅(2019), “주성분 분석 및 엔트로피 기법을 적용한 사회·경제적 가뭄 취약성 평가”, 「한국수자원학회」, 52(6): 441~449.  
Kim, J. E., J. Y. Park, J. H. Lee and T. W. Kim (2019), “Socioeconomic Vulnerability Assessment of Drought Using Principal Component Analysis and Entropy Method”, *The Korea Water Resources Association*, 52(6): 441~449. (in Korean)
  6. 박상식(2015), “풍수해위험지수를 활용한 지역별 방재기상특보 기준 설정기법”, 박사학위논문, 단국대학교.  
Park, S. S. (2015), “Methodology of Regionalized Meteorological Disaster Warning Level Considering Storm Hazard-Index”, D. dissertation, Dankook University. (in Korean)
  7. 박유민·김영호(2012), “환경적·사회적 영향을 고려한 태양광발전소의 기존 입지 타당성 평가 및 지속가능한 입지 제안”, 「한국경제지리학회」, 15(3): 437~455.  
Park, Y. M. and Y. H. Kim (2012), “An Evaluation and Suggestion of Photovoltaic Power Plant Locations based on Environmental and Social Impacts, and Sustainability”, *The Economic Geographical Society of Korea*, 15(3): 437~455. (in Korean)
  8. 박정일·박민호·최승영(2012), “상관분석을 이용한 GIS 기반 태양광발전소 적지분석 연구”, 「한국지적학회」, 28(2): 91~107.  
Park, J. I., M. H. Park and S. Y. Choi (2012), “A Study on GIS Based Suitability Analysis of Solar Photovoltaic Power Generation Using Correlation Analysis”, *The Korean Society of Cadastre*, 28(2): 91~107. (in Korean)
  9. 윤성욱·백이·장재경·최덕규·강동현·손진관·박민정·강석원·권진경(2019), “GIS를 이용한 태양광시설 설치를 위한 적정지역 선정에 관한 연구”, 「한국생물환경조절학회」, 28(3): 243~254.  
Yun, S. W., Y. Paek, J. K. Jang, D. K. Choi, D. H. Kang, J. K. Son, M. J. Park, S. W. Kang and J. K. Gwon (2019), “A Study for Planning Optimal Location of Solar Photovoltaic Facilities using GIS”, *The Korean Society For Bio-Environment Control*, 28(3): 243~254. (in Korean)
  10. 이규민·최진원·전경수(2020), “사회적 평가 지표를 반영한 도시 홍수취약성 평가”, 「LHI Journal」, 11(1): 109~116.
  11. 이기림·이원희(2015), “GIS와 계층분석법을 이용한 태양광 발전소 입지 분석”, 「한국지리정보학회」, 18(4): 1~13.  
Lee, K. R. and W. H. Lee(2015), “Solar Power Plant Location Analysis Using GIS and Analytic Hierarchy Process”, *The Korean Association of Geographic Information Studies*, 18(4): 1~13. (in Korean)
  12. 이동우(2022.10.2), “태양광 태풍·폭우에 ‘와르르’... 5년간 설비 사고 220건, 아시아경제.  
Lee, D. W. (2022.10.2.), “Solar Typhoons and Heavy Rains ‘Rumbled’... 220 Equipment Accidents in 5 Years”, *Asia Economy*.
  13. 이선미·최영제·이재웅(2020), “엔트로피 가중치 산정방법을 활용한 도시지역 홍수취약성 평가”, 「한국방재학회」, 20(6): 389~397.
  14. 이정민·윤정란·김영진·진규남·한형근(2010), “사건 재해영향성검토 시 합리적인 홍수유출 모의모형 선정에 관한 연구”, 「LHI Journal」, 1(1): 75~82.
  15. 이지영·강인준(2010), “GSIS 기술을 활용한 태양광 시설 입지선정에 관한 연구”, 「대한공간정보학회」, 18(2): 99~105.  
Lee, J. Y. and I. J. Kang(2010), “A Study of PV System Facilities Using Geo-Spatial Information System”, *Korea Spatial Information Society*, 18(2): 99~105. (in Korean)

16. 이진철·김의경·권태훈·전민수·진명은·이규상·강병주(2019), “태양광 설비의 사고 유형 분석”, 「한국태양에너지학회」, 17(2): 7~11.
17. 장승범(2006.7.8.), “전남 서남해안 일사량 많고 지가 저렴 태양광발전 최적지”, 한국수산업경제.
18. 정수정·김용수·김태형(2010), “주성분분석을 이용한 사면의 위험성 평가”, 「한국지반공학회」, 26(10): 69~79.
19. 주진걸·이정호·박무중(2012), “풍수해 위험환경 평가모형 개발”, 「한국방재학회」, 12(4): 75~81.  
Joo, J. G., J. H. Lee and M. J. Park (2012), “Development of Flood Risk Assessment Model”, *Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(4): 75~81. (in Korean)
20. 하준혁·정건희(2019), “전국 시군구 대상 대설 취약성 분석”, 「한국방재학회」, 19(6): 187~195.  
Ha, J. H. and G. H. Chung (2019), “Snow Vulnerability Analysis for Administrative Districts in South Korea”, *Korean Society of Hazard Mitigation*, 19(6): 187~195. (in Korean)
21. 홍준호·오민지·조용빈·이경희·조완섭(2020), “다차원 데이터의 군집분석을 위한 차원축소 방법: 주성분 분석 및 요인분석 비교”, 「한국빅데이터학회」, 5(2): 135~143.
22. Khan, A., Y. Ali and D. Pamucar (2023), “Solar PV Power Plant Site Selection Using a GIS-based Non-Linear Multi-Criteria Optimization Technique”, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(20): 57378~57397.
23. Kim, H. G. and C. Y. Park (2021), “Landslide Susceptibility Analysis of Photovoltaic Power Stations in Gangwon-do Republic of Korea”, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1): 2328~2351.
24. Yilmaz, K., A. E. Dincer and E. N. Ayhan (2023), “Exploring Flood and Erosion Risk Indices for Optimal Solar PV Site Selection and Assessing the Influence of Topographic Resolution”, *Renewable Energy Volume*, 216(119056): 1~16.

## 요 약

본 연구는 재해영향을 고려한 태양광발전시설의 평가 방법을 개발하고, 기존 시설의 취약성 분석을 목적으로 한다. 기존 시설의 재평가가 시급한 전라남도 해남군을 연구 대상지로 선정하였으며, 보다 객관적인 관점에서 취약성을 평가할 수 있도록 주성분 분석과 엔트로피 기법을 연구 방법으로 활용하여 대상지의 취약성을 평가하였다. 취약성 평가지표는 시간당 최대 일강수량, 최대풍속, 태풍 발생일수, 지속기간 5일 이상 강수일수, 1일 최대 일강수량, 불투수 면적비, 인구밀도 등 7개가 선정되었으며, 시간당 최대 일강수량, 최대풍속, 1일 최대 일강수량, 지속기간 5일 이상 강수일수 순으로 높은 가중치가 도출되었다. 도출된 가중치를 중첩한 결과 해남군 지역별로는 해남읍, 북일면 등 남동지역은 1, 2등급이, 화원면, 산이면, 문내면 등 북쪽 지역의 경우 4, 5등급이 분포하며 취약성의 차이를 보였으며, 시설별로는 2,133개 시설 중 3등급 이상 시설이 91.1%로 양호한 편이나 2등급보다 1등급의 시설 개수가 많아 이에 대한 대책이 필요한 상황으로 나타났다. 본 연구는 도시방재력을 고려하여 태양광발전시설을 평가하였다는 점에서 의의가 있으며, 향후 시설 설치 시 또는 기존 시설의 관리 및 운영 시 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어:** 풍수해, 자연재해, 태양광발전시설, 취약성 평가



# 우리나라 대도시권 통근 효율성 비교 : MAUP 회피를 위한 Constrained Monte-Carlo Simulation의 활용\*

## Commuting Efficiency Comparison of Metropolitan Areas in South Korea : Application of Constrained Monte-Carlo Simulation to Avoid the MAUP

윤현성\*\* · 김승남\*\*\*

Hyunseong Yun\*\* · Seung-Nam Kim\*\*\*

### Abstract

To evaluate the efficiency of commuting patterns, various commuting indicators such as excess commute and commuting potential utilized have been developed and used. It is crucial to calculate these indicators reasonably to reveal the differences in commuting patterns among metropolitan areas and to consider these in the process of formulating commuting policies. However, commuting indicators are generally calculated at the administrative district level, and thus, they are not free from the problem of the modifiable areal unit problem (MAUP). This issue can undermine the rationality of comparing commuting efficiency between metropolitan areas, making it necessary to handle the calculation of commuting indicators carefully. Therefore, this study utilises Monte Carlo Simulation to calculate optimal, actual, and maximum commuting distances, and thereby presents the excess commute and the commuting potential utilized. To apply Monte Carlo Simulation to the context of South Korea, a constrained Monte Carlo Simulation is conducted, where residential and workplace locations used in the simulation are selected based on the actual locations of buildings. The analysis is conducted on 13 metropolitan areas with established metropolitan plans using the 2016 Household Travel Survey data. The commuting indicators calculated through the simulation showed minimal differences compared to the results obtained through conventional methods. The comparison of commuting efficiency among metropolitan areas revealed that even if the degree of spafial balance between residential and workplace locations is similar, the actual commuting patterns can differ significantly. It is suggested that further research considering characteristics such as the area of each metropolitan region will be necessary in the future.

**Keywords:** Metropolitan Area, Commuting Efficiency, MAUP, Constrained Monte-Carlo Simulation

\*이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며(NRF-2019S1A5A8036584), 대한국토·도시계획학회 2023년 추계학술대회 우수논문상 수상작을 수정·보완하여 작성하였다.

\*\*중앙대학교 스마트시티학과 박사과정(주저자: kkum456@cau.ac.kr)

\*\*\*중앙대학교 사회기반시스템공학부 부교수(교신저자: snkim@cau.ac.kr)

## 1. 서론

급속한 경제 발전과 인구 증가, 도시의 외연적 확산으로 전 세계의 통근 통행량과 이로 인한 사회적 비용은 지속적으로 증가해 왔다(Van Ommeren, 2018). 12세 이상 인구의 절반 이상이 통근자인 우리나라 또한 예외는 아닌데, 평균 통근 시간이 OECD 평균의 2배 이상에 달하는 등 통근으로 인한 사회문제가 다른 국가에 비해 심각한 상황이다(국토지리정보원, 2021). 통근 거리와 통근 시간의 증가는 사회적 비용을 초래할 뿐 아니라 통근자의 일과 삶의 균형(work-life balance)과 삶의 질에 부정적인 영향을 미치고 있어 중앙정부와 지자체에서는 통근의 효율화를 위해 다핵화 정책 등의 노력을 지속적으로 시행해 왔다(Bai et al., 2021; Jun, 2019; Jun et al., 2018; Kim and Han, 2012; Kwon, 2021).

통근으로부터 야기되는 문제를 해결하기 위해서는 무엇보다 현재의 통근 패턴을 정확하게 파악하는 것이 중요하다. 즉, 대도시권 통근 패턴의 비효율성을 객관적인 지표를 활용해 측정할 필요가 있다는 것이다. 통근 패턴을 파악하기 위한 지표로 '실제 평균 통근 거리'와 함께 "모든 통근자가 가장 가까운 곳으로 통근할 경우 얻을 수 있는 최소의 평균 통근 거리"로 정의되는 '최적 통근 거리'가 널리 사용되고 있다(Jun, 2020; Jun et al., 2016; Ma and Banister, 2006a; Sohn, 2005; 김현우·김호연, 2011; 송미령, 1998; 이삼수, 2004; 이소희·이명훈, 2003; 전명진, 1995; 전명진·정지은, 2011). 이외에도 최적 통근 거리의 반대, 즉 "모든 통근자가 가장 먼 곳으로 통근할 경우 얻을 수 있는 최대의 평균 통근 거리"인 '최대 통근 거리'와 이들 지표를 통해 계산된 '초과 통근율', '통근 잠재력 사용률' 등의 지표도 통근 패턴 평가를 위해 보편적으로 활용된다(Ma and Banister, 2006a; Ma and Banister, 2006b; Ma and Banister, 2007; Kanaroglou et al., 2015).

그런데, 이러한 지표를 합리적인 통근 정책의 근거로 활용하기에는 두 가지 한계가 있다. 첫째, 우리나라 대도시권의 사회경제적 및 지리공간적 특성은 상이하므로 도시공간구조의 변화가 통근 패턴에 미치는 영향이 모든 대도시권에서 동일한 방향, 또는 강도로 나타나는지는 미지수라는 점이다(Grunfelder et al., 2015; Hipp et al., 2022; Ma and Banister, 2007; 권창기·정현욱, 2007; 정진원 외, 2020; 허재원·나종익, 2012). 즉, 직주의 공간적 분포가 서로 유사한 두 대도시권에서 통근 패턴이 다르게 나타난다면, 통근 패턴의 효율화를 위해 각 대도시권에 적용되어야 할 해결책도 다를 수 있다는 것이다. 둘째, 이러한 지표는 일반적으로 행정구역 단위로 산출되기 때문에 공간단위 수정 가능성 문제(MAUP: Modifiable Areal Unit Problem)에서 자유롭지 못하다는 한계가 있다(Horner and Murray, 2002; Ma and Banister, 2006a; Niedzielski et al., 2013; Small and Song, 1992). 따라서 지표의 산출 결과를 대도시권 간의 비교나 시계열 비교에 그대로 사용하면 다소 편향된 결론으로 이어질 우려가 있다. 통근 지표 산출 과정에서 발생하는 MAUP의 해결을 위해 행정구역 내부에서 발생하는 통근 거리에 통근자의 평균 통근 거리를 사용하거나 행정구역의 크기에 비례한 값을 대입하는 등의 방안이 제시되어 왔다(Frost et al., 1998; Horner and Murray, 2002; O'Kelly and Lee, 2005; Sang et al., 2011; Small and Song, 1992). 하지만 이러한 방안은 지표 산출이 행정구역 단위로 이루어지기에 MAUP에 대한 근본적인 해결책은 되지 못했는데, 최근에는 이를 극복하기 위한 보다 근본적인 대안으로 지표 산출을 개인 단위로 수행하는 Monte-Carlo Simulation 기반 접근 방법이 제시되었다(Hu and Wang, 2015). 이 방법을 적용할 경우, MAUP에 구애받지 않고 통근 지표를 산출할 수 있기 때문에 대도시권 간 통근 패턴을 합리적으로 비교할 수 있다.

이러한 배경하에 본 연구에서는 MAUP로부터의 영향을 최소화하면서 우리나라 대도시권의 통근 패턴을 비교하고자 도시·교통 분야 연구에서 사용되는 Monte-Carlo Simulation 기반 접근을 통해 각 대도시권의 통근 지표를 산출하였다(Hu and Wang, 2015; 강재영·김종진, 2024). 구체적으로, Hu and Wang(2015)이 제시한 방법을 우리나라 대도시권에 알맞게 적용하기 위하여 시물레이션에 사용되는 주거지와 근무지가 실제 주거용 건물과 비주거용 건물의 위치에서 선택되어야 한다는 제약조건을 추가한 Constrained Monte-Carlo Simulation을 수행하였다. 2016년 가구통행실태조사 자료를 활용하여 광역도시계획이 수립된 14개 대도시권 중 제주 대도시권을 제외한 내륙의 13개 대도시권을 시물레이션하고 그 결과를 비교하였다.

이후의 논의는 다음과 같다. 우선 2장에서는 통근 지표의 정의와 지표 측정 방법에 관련된 선행연구를 검토하고, 3장에서 본 연구에서 사용한 데이터와 시물레이션 방법을 설명한다. 4장에서는 시물레이션 결과와 그 비교 결과를 설명하고, 이를 바탕으로 5장에서 결론과 시사점을 제시한다.

## 2. 선행연구 검토

Hamilton(1982)에 의해 처음 제시된 최적 통근 거리(optimal commuting distance)는 현재의 직주 분포를 바탕으로 모든 통근자가 가장 가까운 곳으로 통근할 경우 얻을 수 있는 최소의 평균 통근 거리로 정의될 수 있다. 당시 그가 이 개념을 소개한 주된 목적은 단핵구조 도시모형에 오류가 있음을 보여주기 위함이었으나, 최적 통근 거리라는 새로운 개념은 이내 학계의 큰 관심을 끌었고 점차 통근 관련 연구에 널리 사용되었다(Jun, 2020; Jun et al., 2016; Kanaroglou et al., 2015; Ma and Banister, 2006a; 2006b; Ma and Banister, 2007; Sohn, 2005; 김현

우·김호연, 2011; 송미령, 1998; 이삼수, 2004; 이소희·이명훈, 2003; 전명진, 1995; 전명진·정지은, 2011).

Hamilton(1982)은 최적 통근 거리와 실제 평균 통근 거리를 사용하여 '낭비 통근(wasteful commuting)'이라는 개념을 함께 제시하였다. 낭비 통근은 실제 통근 거리에서 최적 통근 거리를 뺀 값과 실제 통근 거리의 비율로 계산된다. 그는 이를 직주의 불균형이 통근 거리에 미치는 영향의 정도로 해석했는데, 미국 전체의 최적 통근 거리가 평균 1.1 마일인데 반해 실제 통근 거리는 평균 8.7 마일로 산출되었다는 점을 지적하면서 단 13%의 통근 거리만이 직주의 불균형으로 인해 설명된다고 주장하였다.

그러나 Hamilton(1982)이 제시한 최적 통근 거리 계산법은 도시가 단핵구조일 때를 가정하여 만들어졌을 뿐만 아니라 실제 직주의 분포를 고려하지 못했다는 한계가 있어, 현재는 White(1988)가 제시한 선형 프로그래밍(linear programming) 기반 계산 방법이 널리 사용되고 있다. 이 방법은 각 행정구역의 출발 통근량과 도착 통근량이 실제와 동일하면 서도 전체 통근 거리의 합이 최소가 되도록 하는 통근 OD를 구하는 것이다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다(식 (1)). White(1988)는 이 방법을 통해 계산한 낭비 통근율을 제시하며, 실제 낭비 통행은 Hamilton(1982)이 제시한 것만큼 크지 않다고 주장했다. 이후, 두 연구 결과에 차이가 발생한 원인은 행정구역 단위의 차이에서 비롯된 것이 Small and Song(1992)에 의해 밝혀졌다. 그들은 중립적인 용어 사용을 위해 '낭비 통근'을 '초과 통근(excess commuting)'이라 칭하였는데, 그 이후 '초과 통근' 또는 '초과 통근율'이 보다 널리 사용되는 용어로 자리 잡았다(Ma and Banister, 2006a).

행정구역  $i$ 와  $j$ 사이의 거리  $C_{ij}$

행정구역  $i$ 에서  $j$ 로 통근하는 통근자 수  $x_{ij}$

행정구역  $i$ 에 사는 통근자 수  $R_i$   
 행정구역  $j$ 로 통근하는 통근자 수  $E_j$   
 전체 통근자 수  $N$ 에 대하여

$$\sum_j \chi_{ij} = R_i, \sum_i \chi_{ij} = E_j, \chi_{ij} \geq 0 \text{ 를 만족하고}$$

$$\sum_i \sum_j (C_{ij} \chi_{ij}) / N \text{ 를 최소화 하는}$$

$$\chi_{ij} \text{로 이루어진 OD행렬을 구한다} \quad (1)$$

초과 통근율은 대도시권의 통근 패턴을 쉽게 이해할 수 있는 지표라는 점에서 그 의미가 있지만, 이 지표를 활용하여 도시권 간의 비교나 시계열 비교를 수행한다면 잘못된 결론으로 이어질 가능성이 있다. Ma and Banister(2007)는 최적 통근 거리와 실제 평균 통근 거리의 변화에 따라 나타날 수 있는 초과 통근율의 변화를 11개 시나리오로 나누어 제시하였다. 예를 들어, 최적 통근 거리와 실제 평균 통근 거리

가 모두 증가하는 상황에서, 최적 통근 거리의 증가 폭이 실제 평균 통근 거리의 증가폭보다 더 크게 나타난다면 초과 통근율은 줄어들 것이다. 따라서, 합리적인 통근 패턴의 효율성 평가를 위해서는 “현재의 직주 분포를 바탕으로 모든 통근자가 가장 먼 곳으로 통근할 경우 얻을 수 있는 최대의 평균 통근 거리”로 정의되는 지표인 최대 통근 거리를 함께 살펴볼 필요가 있다(Kanaroglou et al., 2015; Ma and Banister, 2006a; Ma and Banister, 2007). 이렇게 산출한 최대 통근 거리와 최적 통근 거리, 그리고 실제 평균 통근 거리를 활용해 해당 대도시권의 통근 패턴 효율성 수준을 보다 정확하게 확인할 수 있다. 즉, 실제 평균 통근 거리가 최적 통근 거리에 가깝다면 효율적인 통근 패턴을 보이는 것이고, 반대로 최대 통근 거리에 가깝다면 보다 비효율적인 통근 패턴을 보이는 것으로 볼 수 있다(Ma and Banister, 2006a). 또한, 최대 통근 거리, 최적 통근 거리, 그리

**Table 1.** Summary of Commuting Indices

| Index                                      | Meaning  |
|--|--|
| Optimal Commuting Distance $C_{\min}$      | The average commuting distance when all commuters commute to the closest workplace. The lower value represents that the housings and jobs are spatially balanced.  |
| Actual Commuting Distance $C_{\text{obs}}$ | The actual commuting distance of commuters.  |
| Maximum Commuting Distance $C_{\max}$      | The average commuting distance when all commuters commute to the farthest workplace. The commuting pattern could be investigated by comparing the maximum commuting distance to the optimal and the actual commuting distance.   |
| Excess Commuting $C_{ex}$                  | $C_{ex} = (C_{\text{obs}} - C_{\min}) / C_{\text{obs}}$<br>The lower value represents that commuting distance is close to the theoretical minimum distance, and represents that the commuting pattern corresponds to the urban spatial structure.                                    |
| Commuting Potential Utilized $C_u$         | $C_u = (C_{\text{obs}} - C_{\min}) / (C_{\max} - C_{\min})$<br>The lower value represents that commuting distance is short, compared to the theoretical maximum distance, and represents that commuting pattern is efficient considered the spatial separation of housings and jobs. |

Source: Kanaroglou et al. (2015)

고 실제 평균 통근 거리를 활용하여 통근 잠재력 사용률(commuting potential utilized) 수치를 계산할 수 있다(Kanaroglou et al., 2015).

통근 지표에 대해 분석한 Kanaroglou et al.(2015)에 따르면, 각 지표는 다음과 같이 해석할 수 있다(Table 1). 최적 통근 거리는 낮을수록 직주의 공간적 균형이 잘 이루어져 있음을 의미하고, 최대 통근거리와 실제 평균 통근 거리와의 비교를 통해 현재 통근 패턴의 특징을 파악할 수 있다. 초과 통근율은 낮을수록 이론상 실현 가능한 최소의 통근 거리와 가까운 수치의 통근 거리가 현상으로서 나타나고 있음을 의미하고, 통근 잠재력 사용률은 낮을수록 이론상 관측 가능한 최대의 통근 거리에 비해 낮은 수치의 통근 거리가 현상으로서 나타나고 있음을 의미한다.

상술한 통근 지표는 행정구역 단위로 산출하는 것이 일반적이다. 그러나 이 방식은 측정 단위(즉, 행정구역)의 위계(규모)나 경계에 따라 발생하는 오차, 즉 MAUP로부터 자유롭지 못한 근본적인 한계를 보인다(Horner and Murray, 2002; Ma and Banister, 2006a; Niedzielski et al., 2013; Small and Song, 1992). 행정구역 단위 산출에서는 행정구역의 중심지점 간 거리를 통근 거리로 사용하는데, 행정구역의 형태나 면적 등에 의해 통근자의 실제 통근 거리와의 오차가 발생하게 된다. 이때, 행정구역의 면적과 형태는 도시권마다 상이하므로 도시권 간 비교의 합리성을 확보하기 어렵다는 한계가 있었다.

이러한 한계를 극복하고자 MAUP로 인한 영향을 최소화하기 위한 방법들이 다양하게 고안되어 왔다. 가장 대표적인 방법은 행정구역 내 통근 거리에 0이 아닌 다른 수치를 대입하는 것이다(Horner and Murray, 2002). 예를 들어 Small and Song(1992)은 행정동 별 출발 통근자의 평균 통근 거리를 행정구역 내 통근 거리로 활용하였고, Frost et al. (1998), O'Kelly and Lee(2005), Sang et al.(2011) 등은 행정구역의 면적에 비례한 값을 사용하였다. 그러나

이들 방법은 MAUP를 근본적으로 해결한 것이 아니라는 한계를 지니고 있다.

MAUP에 대한 근본적인 해결을 위해서는 데이터의 지리적 위치가 행정구역 단위가 아닌 개인 단위로 제공될 필요가 있다. 그러나, 가구통행실태조사와 같은 통근 관련 자료의 경우 개인정보의 보안과 같은 이유로 행정구역 단위로 집계된 자료만 제공되고 있는 것이 현실이다. Hu and Wang(2015)은 이러한 한계를 극복하고자 Monte-Carlo Simulation을 사용하여 행정구역 단위의 자료를 개인 단위로 분해하였다(식 (2)). 그들은 시뮬레이션에 사용되는 주거지와 근무지를 행정구역 내에서의 출발 통근량과 도착 통근량에 비례하여 완전 무작위로 선택하였다. 예를 들어 통근자의 50%를 시뮬레이션 한다고 가정하면, 200명이 출발하고 100명이 도착하는 행정구역에서 100곳의 주거지와 50곳의 근무지가 완전 무작위로 선택되도록 하였다. 최종적으로, 선택된 주거지와 근무지 간 네트워크 거리를 측정하여 전체 통근 거리의 합이 최소가 되도록 주거지와 근무지를 쌍으로 묶은 후 그 평균 통근 거리를 최적 통근 거리로 사용하였다. Hu and Wang(2015)은 이 방법을 사용하면 통근 지표를 개인 단위로 산출하게 되어 MAUP를 회피할 수 있고, 따라서 보다 정확한 통근 지표를 계산할 수 있다고 설명하였다.

주거지  $k$ 와 근무지  $l$  사이의 거리  $C_{kl}$

시뮬레이션하는 통근자 수  $n$ 에 대하여

$$\sum_{l=1}^n f_{kl} = 1, \sum_{k=1}^n f_{kl} = 1,$$

$k$ 에서  $l$ 로의 통행이 선택될 경우  $f_{kl} = 1$ ,

이외에는 0을 만족하고,

$$\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n (C_{kl} f_{kl}) / n \text{ 를 최소로 하는}$$

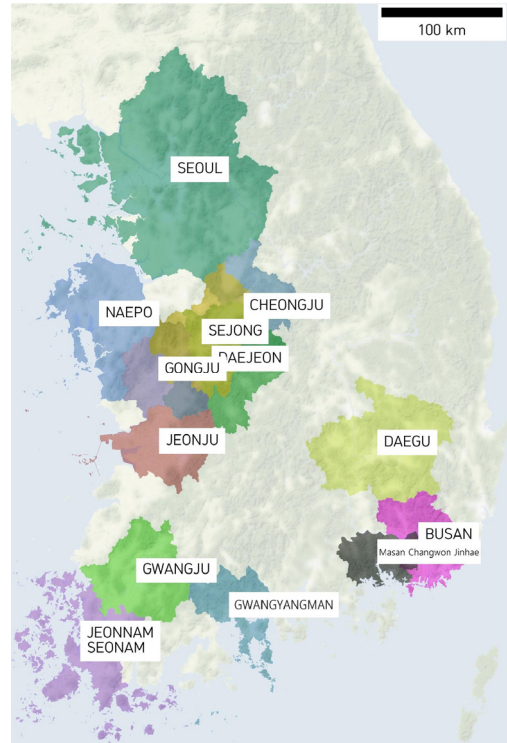
$f_{kl}$ 로 이루어진 OD행렬을 구한다 (2)

하지만, Hu and Wang(2015)의 접근 방법은 주거지와 근무지를 행정구역 내에서 완전 무작위로 선택하게 되므로, 우리나라의 대도시권에 그대로 적용하면 산이나 강과 같이 실제로 건축물이 위치할 수 없는 공간을 배제할 수 없는 문제가 발생한다. 따라서, 본 연구에서는 그들의 접근 방법을 확장하여 주거지와 근무지가 실제로 존재하는 건축물 위치에서만 선택되도록 하는 Constrained Monte-Carlo Simulation을 적용하였다. 3장에서는 본 연구의 분석 대상과 분석에 사용한 자료, 그리고 Constrained Monte-Carlo Simulation에 대해 자세히 설명한다.

### 3. 분석의 틀

#### 3.1 분석 대상 및 자료

본 연구는 광역도시계획이 수립된 전국 14개 대도시권 중 제주 대도시권을 제외한 13개 대도시권을 대상으로 한다(Fig. 1). 제주 대도시권은 내륙의 대도시권과 다르게 고립된 교통망을 가지고 있어 본 연구의 대상에서 제외하였다. 통근 형태 자료는 2016년 전국 가구통행실태조사 결과를 활용하였다. 연구 수행 시점에서 구득 가능한 최신의 가구통행실태조사 자료는 2021년의 것이었다. 그러나, 2021년은 COVID-19의 유행으로 인해 통행 패턴의 변화가 있었고(Lee et al., 2023), 조사 표본율 또한 0.22%로 2016년의 1.15%에 비해 크게 낮았기 때문에 2016년 가구통행실태조사 자료를 분석에 활용하였다. 가구통행실태조사 자료의 목적통행 출발 행정동과 도착 행정동, 그리고 통행의 목적을 기준으로 대도시권 및 행정동 별 출발 통근량과 도착 통근량을 산출하였다. 대도시권 외부에서 출·도착하는 통근이 지표의 산출 결과에 영향을 미칠 수 있음이 알려져 있으나, 이를 시뮬레이션에 포함하면 대도시권의 범위가 거대해져 더 큰 오차로 이어질 가능성이 있으므로 시뮬레이션의 대상은 각 대도시권 내부에서 출·



**Fig. 1.** Boundary of the Metropolitan Areas Simulated in This Study

Note: Some of the Islands are Not Drawn for Better Readability

도착하는 통근으로 한정하였다(Kanaroglou et al., 2015; Ma and Banister, 2006a). 행정동 경계도와 네트워크 도면은 가구통행실태조사와 함께 제공된 자료를 사용하였고, 결측치와 이상치를 제거한 93,494 통행을 분석에 활용하였다.

본 연구에서는 주거지와 근무지가 실제로 존재하는 건축물 위치에서만 선택될 수 있다는 제약 조건을 추가하여 보다 정확한 시뮬레이션을 수행하고자 하였다. 그러나, 2016년 당시의 용도별 건축물 좌표는 현재 시점에서 구득이 어려웠기에 국가공간정보 포털에서 제공하는 용도별 건물정보 데이터베이스와 세움터에서 제공하는 말소건축물대장을 활용하여 2016년 당시의 용도별 건축물 현황을 복구하였다. 2023년 5월 22일 기준 용도별 건물정보 데이터

베이스에서 2017년 이후 사용승인된 건축물을 제외하고, 말소건축물대장에서 2017년 이후 말소된 건축물을 추가하여 2016년 당시 존재하였던 건축물 리스트를 구축하였다. 말소건축물대장에는 좌표 정보가 포함되어 있지 않아 등록된 주소를 Naver API를 활용하여 공간 좌표로 변환하였다. 복구된 용도별 건축물 데이터를 용도가 주거용인 건물과 주거용이 아닌 건물로 분리하여 두 개의 데이터베이스를 구축하였다. 오피스텔의 경우 주거와 비주거용 용도가 모두 발생할 수 있으므로 주거용과 비주거용 건물 데이터베이스에 모두 포함시켰다.

### 3.2 Constrained Monte-Carlo Simulation 수행 방법

상술한 과정을 통해 구축한 데이터를 토대로 대도시권 별 최적 통근 거리, 최대 통근 거리, 그리고 실제 평균 통근 거리를 산출하기 위하여 Constrained Monte-Carlo Simulation을 수행하였다. 시뮬레이션의 구체적인 수행 순서는 다음과 같다. 우선 가구 통행실태조사 자료를 바탕으로 행정동별 출발 통근량과 도착 통근량을 파악하였다. 시뮬레이션에 사용할 통근자의 비율에 비례하여 행정동 별로 시뮬레이션에 사용할 주거용 건물과 비주거용 건물을 무작위로 추출하였다. 예를 들어 행정동별 출발 통근량이 200, 도착 통근량이 100인 행정동에서 시뮬레이션 비율을 25%로 설정할 경우, 해당 행정동에 위치한 주거용 건물 중 50동과 비주거용 건물 중 25동을 무작위로 추출하였다. 비록 일정 비율 이상에서는 시뮬레이션 비율에 따른 산출 결과의 차이가 나타나지 않았지만(Hu and Wang, 2015), 보다 정확한 시뮬레이션을 위하여 오류가 발생하지 않는 가장 높은 비율을 대도시권 별로 설정하였다. 만일 주거용과 비주거용 건물 수가 일치하지 않는 경우 보다 많은 건물 데이터에서 적은 건물 데이터의 수와 일치하도록 무작위로 제외하였다.

시뮬레이션에 사용할 건축물을 추출한 후, 각 건축물 간 네트워크 거리를 계산하여 거리 행렬을 구축하였다. 주거용 건물에서 출발하여 비주거용 건물에 도착하는 네트워크 거리를 python의 geopandas와 NetworkX 패키지를 활용하여 계산하였다. 구축된 거리 행렬과 아래의 수식을 활용하여 선형 프로그래밍을 통해 최적 통근 거리를 산출하였다(식 (3)). 선형 프로그래밍에는 python과 gurobi 패키지를 사용하였다. 계산된 개인 단위 최적 통근 거리를 평균하여 대도시권의 최적 통근 거리를 산출하였다. 이와 동일한 방식으로 최소의 값을 찾는 대신 최대의 값을 찾아 최대 통근 거리를 산출하였다.

실제 평균 통근 거리의 경우, 시뮬레이션 비율을 100%로 하고 주거용 건축물과 비주거용 건축물을 추출한 후 실제 행정동 간 통근 OD에 비례하여 건축물을 1대 1로 무작위로 매칭하였다. 매칭된 건축물 쌍에 해당하는 네트워크 거리를 실제 통근 거리로 보고, 그 평균값을 실제 평균 통근 거리로 사용하였다.

주거용 건물 데이터베이스  $R$ ,  
비주거용 건물 데이터베이스  $E$ 에 대하여  
 $k \in R, l \in E$ 를 만족하는  
주거지  $k$ 와 근무지  $l$  사이의 거리를  $C_{kl}$ ,  
시뮬레이션하는 통근자 수를  $n$ 이라 할 때

$$\sum_{l=1}^n f_{kl} = 1, \sum_{k=1}^n f_{kl} = 1,$$

$k$ 에서  $l$ 로의 통행이 선택될 경우  $f_{kl} = 1$ ,

이외에는 0를 만족하고,  $\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n (C_{kl} f_{kl}) / n$ 를

최소·최대로 하는  $f_{kl}$ 로 이루어진

OD행렬을 구한다

(3)

시뮬레이션은 Intel Core i9-10980XE 3.0GHz CPU,

256GB 2,666MHz RAM을 가진 워크스테이션을 사용해 수행하였다. 하나의 대도시권을 시뮬레이션 하는데 적게는 수 시간부터 많게는 만 하루에 가까운 시간이 소요되었다. 메모리(RAM)의 한계로 인하여 서울 대도시권은 최적 및 최대 통근 거리 산출에 샘플의 18%를 무작위추출하여 사용하였다. 약 11,000개 샘플을 가지고 수행된 서울 대도시권의 경우 메모리를 약 240GB까지 사용하였다.

Constrained Monte-Carlo Simulation의 유용성을 평가하기 위해, 기존의 통근 지표 산출 방법을 활용하여 통근 지표를 산출하고 이를 시뮬레이션의 결과와 비교하였다. 기존의 통근 지표 산출 방법은 행정동의 중심 지점(centroid)을 거리 산출의 기준으로 삼는 방법으로, 행정구역 단위의 선형 프로그래밍 방법을 사용하되, 행정구역 내 통근 거리는 Frost et al.(1998), O'Kelly and Lee(2005), Sang et al.(2011) 등에서 활용된 바와 같이 행정구역의 면적에 비례한 값을 사용하였다. 상술한 과정을 거쳐 산출된 최적 통근 거리, 최대 통근 거리, 그리고 실제 평균 통근 거리를 대도시권 별로 제시하고 각 대도시권의 통근 효율성을 상대적으로 평가하였다. 4장에서는 그 결과에 관해 설명한다.

## 4. 분석 결과

### 4.1 산출 방법 간 비교

Table 2와 Fig. 2는 우리나라 내륙의 13개 대도시권으로 대상으로 한 통근 지표를 기존의 방법과 Constrained Monte-Carlo Simulation을 사용하여 각각 산출한 결과를 비교한 것이다. 산출 방법에 따른 통근 지표값의 차이는 전반적으로 작은 수준으로 나타났으나, 그 크기는 대도시권에 따라 다소 편차가 있는 것으로 확인되었다. 첫째, 최적 통근 거리는 3개 대도시권을 제외하고는 기존 산출 방법의 결과가 시뮬레이션 결과보다 더 크게 나타났다. 차이의 크기는 서울 대도시권에서 0.06km로 가장 작게 나타났다고, 전남 서남 대도시권에서 1.66km로 가장 크게 나타났다. 둘째, 실제 평균 통근 거리는 광양만 대도시권과 전남 서남 대도시권에서는 시뮬레이션의 결과가 기존 방법의 결과보다 더 작게 나타났지만, 다른 대도시권에서는 반대로 나타났다. 차이의 크기는 광양만 대도시권이 0.18km 차이로 가장 작게 나타났다고, 광주 대도시권이 1.31km 차이로 가장 크게 나타났다. 셋째, 최대 통근 거리는 모든 대도시권에서 시뮬레이션의 결과가 기존 방법의 결과보다 더

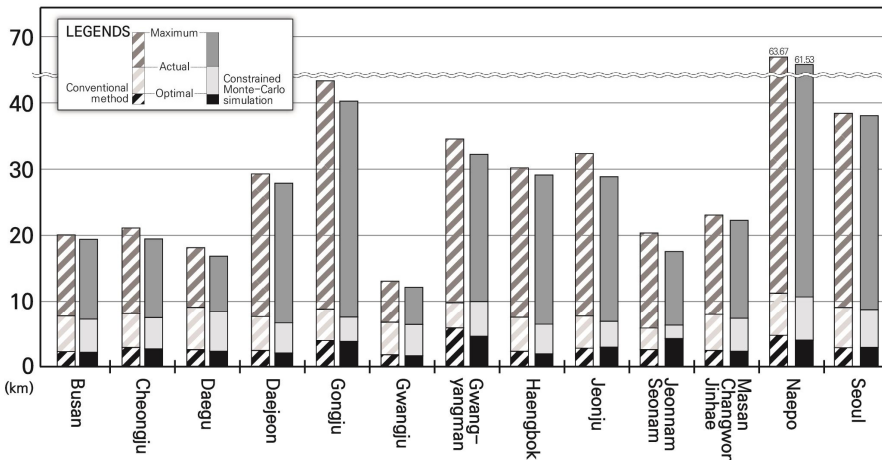


Fig. 2. Comparison of the Commuting Indices by Calculation Method

**Table 2.** Comparison of the Commuting Indices by Calculation Method

| Metropolitan Area     | Method        | No. of Commuters | Optimal | Actual   | Maximum  |
|-----------------------|---------------|------------------|---------|----------|----------|
| Busan                 | Conventional* | 8,054            | 2.28 km | 7.71 km  | 20.06 km |
|                       | Monte-Carlo   | 8,003            | 2.17 km | 7.22 km  | 19.40 km |
| Cheongju              | Conventional  | 1,088            | 2.91 km | 8.08 km  | 21.11 km |
|                       | Monte-Carlo   | 1,066            | 2.68 km | 7.46 km  | 19.48 km |
| Daegu                 | Conventional  | 3,943            | 2.58 km | 9.08 km  | 18.14 km |
|                       | Monte-Carlo   | 3,877            | 2.34 km | 8.44 km  | 16.86 km |
| Daejeon               | Conventional  | 4,206            | 2.45 km | 7.63 km  | 29.28 km |
|                       | Monte-Carlo   | 4,163            | 2.07 km | 6.65 km  | 27.87 km |
| Gongju                | Conventional  | 235              | 3.97 km | 8.85 km  | 43.33 km |
|                       | Monte-Carlo   | 196              | 3.83 km | 7.54 km  | 40.27 km |
| Gwangju               | Conventional  | 2,831            | 1.80 km | 6.74 km  | 13.07 km |
|                       | Monte-Carlo   | 2,797            | 1.64 km | 6.41 km  | 12.16 km |
| Gwangyangman          | Conventional  | 199              | 5.89 km | 9.81 km  | 34.54 km |
|                       | Monte-Carlo   | 147              | 4.60 km | 9.99 km  | 32.23 km |
| Haengbok              | Conventional  | 4,238            | 2.32 km | 7.53 km  | 30.21 km |
|                       | Monte-Carlo   | 4,221            | 1.95 km | 6.46 km  | 29.11 km |
| Jeonju                | Conventional  | 325              | 2.80 km | 7.72 km  | 32.35 km |
|                       | Monte-Carlo   | 239              | 2.95 km | 6.87 km  | 28.89 km |
| Jeonnam seonam        | Conventional  | 136              | 2.59 km | 5.88 km  | 20.37 km |
|                       | Monte-Carlo   | 102              | 4.25 km | 6.31 km  | 17.55 km |
| Masan Changwon Jinhae | Conventional  | 1,651            | 2.45 km | 7.95 km  | 23.06 km |
|                       | Monte-Carlo   | 1,596            | 2.35 km | 7.35 km  | 22.27 km |
| Naepo                 | Conventional  | 593              | 4.76 km | 11.25 km | 63.67 km |
|                       | Monte-Carlo   | 557              | 4.02 km | 10.69 km | 61.53 km |
| Seoul                 | Conventional  | 61,886           | 2.87 km | 9.07 km  | 38.41 km |
|                       | Monte-Carlo   | 11,134           | 2.93 km | 8.75 km  | 38.07 km |

\* Calculate at TAZ level, used  $d_{ii} = \sqrt{R/\pi}$  for intrazonal distance of zone i.

If the minimum distance between zone i and j  $Y_{ij} < d_{ii} (i \neq j)$ ,  $D_{ii} = (Y_i^{\min} / d_{ii}) \times Y_i^{\min}$  was used instead

작게 나타났다. 편차는 서울 대도시권의 0.34km와 전주 대도시권의 3.46km 사이로 나타났다.

이러한 차이는 두 산출 방법의 차이에서 비롯된 것으로 생각된다. 기존의 산출 방법은 각 행정동의 중심 지점(centroid)을 기준으로 하여 행정동 간 거리를 측정하는 반면, Constrained Monte-Carlo

Simulation에서는 각 출발지점과 도착지점 간의 거리를 모두 측정하여 사용한다. 이 때, 지형지물의 영향으로 중심 지점 간 거리보다 출발지점과 도착지점 간 거리가 매우 길게 나타난다면 시뮬레이션의 결과가 기존 방법의 결과보다 더 크게 나타날 가능성이 존재한다. 광양만과 전남 서남 대도시권의 경우 도서

지역에 많은 통근자가 위치하는 특성을 가지고 있기 때문에 다른 대도시권과 상이한 결과가 나온 것으로 생각된다. 반면, 서울 대도시권의 경우 도서 지역이 차지하는 비율이 상대적으로 작고, 사회기반시설이 잘 갖추어져 있기 때문에 방법에 따른 산출 결과의 차이가 상대적으로 작게 나타난 것으로 판단할 수 있다.

각 대도시권의 샘플 수 또한 산출 결과의 차이에 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 만일 어떠한 행정 동에서 충분히 많은 수의 샘플이 무작위로 선택된다면, 그 샘플들은 행정동 전역에 걸쳐 고르게 위치할 확률이 높아지므로 중심 지점을 기준으로 한 산출 결과와의 차이는 상대적으로 작아질 것이다. 그러나, 샘플의 수가 적을수록 선택된 샘플의 위치는 행정동 내에서 고르게 분포하지 않을 확률이 높아지고, 이에 따라 산출 방법에 따른 결과의 차이 또한 상대

적으로 크게 나타날 것으로 예상할 수 있다.

Constrained Monte-Carlo Simulation과 기존 방법의 산출 결과를 비교한 결과, 두 방법 간 차이의 양상은 대도시권 전반에 걸쳐 유사하게 나타났다. 일부 대도시권의 경우 다른 대도시권과는 다소 상이한 특성을 보였는데, 이는 기존 산출 방법에서 발생하는 오차가 대도시권의 지형이나 행정구역의 형태 및 면적 등에 의해 상이하게 발생하기 때문에 나타나는 현상으로 생각된다. 이에, 본 연구에서 수행한 시물레이션의 결과를 채택하고 이를 바탕으로 4.2에서 대도시권 간 통근 효율성의 차이를 파악하였다.

## 4.2 대도시권 간 비교

우리나라 내륙의 13개 대도시권으로 대상으로 한 시물레이션 수행 결과는 Table 3, Fig. 3과 같다. 최

**Table 3.** Results of the Constrained Monte-Carlo Simulation by Metropolitan Area

| Metropolitan Area     | Area                   | Simulation Rate* | Optimal | Actual   | Maximum  | Excess | Utilized |
|-----------------------|------------------------|------------------|---------|----------|----------|--------|----------|
| Busan                 | 1,899 km <sup>2</sup>  | 99.4%            | 2.17 km | 7.22 km  | 19.40 km | 69.90% | 29.30%   |
| Cheongju              | 3,403 km <sup>2</sup>  | 98.0%            | 2.68 km | 7.46 km  | 19.48 km | 64.03% | 28.43%   |
| Daegu                 | 4,977 km <sup>2</sup>  | 98.3%            | 2.34 km | 8.44 km  | 16.86 km | 72.24% | 41.97%   |
| Daejeon               | 5,123 km <sup>2</sup>  | 99.0%            | 2.07 km | 6.65 km  | 27.87 km | 68.90% | 17.76%   |
| Gongju                | 2,584 km <sup>2</sup>  | 83.4%            | 3.83 km | 7.54 km  | 40.27 km | 49.14% | 10.17%   |
| Gwangju               | 2,995 km <sup>2</sup>  | 98.8%            | 1.64 km | 6.41 km  | 12.16 km | 74.37% | 45.30%   |
| Gwangyangman          | 1,853 km <sup>2</sup>  | 73.9%            | 4.60 km | 9.99 km  | 32.23 km | 53.99% | 19.52%   |
| Haengbok              | 3,597 km <sup>2</sup>  | 99.6%            | 1.95 km | 6.46 km  | 29.11 km | 69.81% | 16.59%   |
| Jeonju                | 2,457 km <sup>2</sup>  | 73.5%            | 2.95 km | 6.87 km  | 28.87 km | 57.08% | 15.14%   |
| Jeonnam Seonam        | 3,711 km <sup>2</sup>  | 75.0%            | 4.25 km | 6.31 km  | 17.55 km | 32.63% | 15.46%   |
| Masan Changwon Jinhae | 1,624 km <sup>2</sup>  | 96.7%            | 2.35 km | 7.35 km  | 22.27 km | 68.08% | 25.11%   |
| Naepo                 | 3,507 km <sup>2</sup>  | 93.9%            | 4.02 km | 10.69 km | 61.53 km | 62.39% | 11.59%   |
| Seoul                 | 11,704 km <sup>2</sup> | 18.0%            | 2.93 km | 8.75 km  | 38.07 km | 66.56% | 16.57%   |
| Average**             | 4,494 km <sup>2</sup>  | 42.6%            | 2.91 km | 7.70 km  | 28.13 km | 62.24% | 22.53%   |

\* If the count of the housing and non-housing building data does not match, the larger data was randomly undersampled to match the number.

\*\* Arithmetic mean of each metropolitan area, not weighted.

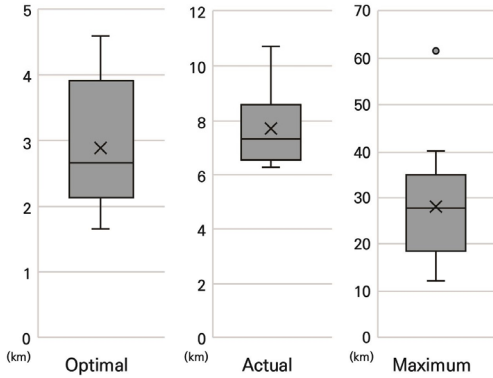


Fig. 3. Boxplots of Optimal, Actual, and Maximum Commuting Distance

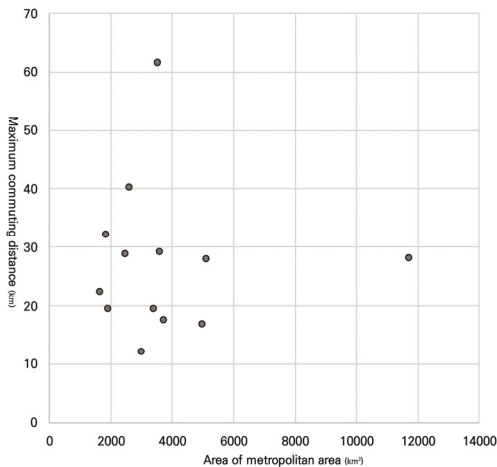


Fig. 4. Pariplot of Area of Metropolitan Area and Maximum Commuting Distance

적 통근 거리는 전체 대도시권 평균 2.91km로 계산되었다. 대도시권 별로는 광주 대도시권이 1.64km로 가장 짧았고, 광양만 대도시권이 4.60km로 가장 긴 것으로 확인되었다. 최적 통근 거리는 직주의 물리적인 균형을 직관적으로 보여주는 지표이므로 (Kanaroglou et al., 2015), 우리나라는 대도시권에 따른 직주의 균형이 최대 2.8배에 달할 정도로 상당히 크게 나타나는 상황임을 확인할 수 있다. 한편, 최대 통근 거리는 전체 대도시권 평균 28.13km로 계산되었고, 광주 대도시권이 12.16km로 가장 짧고

전남 서남 대도시권이 61.53km로 가장 길었다. 대도시권에 따른 최대 통근 거리의 차이는 최대 5.06배로 확인되는데, 최대 통근 거리가 면적에 비례한다는 선행연구의 보고와 달리(Kanaroglou et al., 2015) 면적과의 상관관계가 다소 모호하게 나타났다(Fig. 4). 이는 대도시권에 따른 도서지역 등의 지리적 특성과 사회기반시설의 차이로 인한 현상으로 생각되나, 그 상세한 원인에 대해서는 추가적인 연구를 통해 확인이 필요하다.

실제 통근 패턴은 물리적인 직주의 균형과는 다소 다른 양상을 보였다. 실제 평균 통근 거리 계산 결과, 전체 대도시권 평균은 7.70km로 나타났다. 세부적으로는 전남 서남 대도시권이 6.31km로 가장 짧고, 내포 대도시권이 약 1.69배 더 긴 10.69km로 가장 긴 것으로 확인되었다. 그런데 최적 통근 거리를 고려하여 전남 서남 대도시권의 초과 통근율을 계산하면 32.63%로 산출되는데, 이는 내포 대도시권의 62.39%와 크게 차이를 보인다. 가장 짧은 최적 통근 거리를 보인 광주 대도시권의 실제 평균 통근 거리는 6.41km로, 74.37%의 초과 통근율을 보이면서 전국 대도시권 중 가장 높은 수치를 기록하였다. 통근 잠재력 사용률 또한 대도시권 별로 크게 상이하게 계산되었다. 가장 낮은 통근 잠재력 사용률을 보인 대도시권은 공주 대도시권으로, 10.17%의 수치를 가지는 것으로 계산되었다. 가장 높은 수치는 광주 대도시권의 45.30%였다.

시뮬레이션 결과를 도표로 나타낸 Fig. 2를 통해서 대도시권 간 통근 패턴 차이의 특성을 더욱 명확하게 이해할 수 있다. 대도시권에 따른 차이가 가장 극명하게 나타나는 지표는 최대 통근 거리이다. 최적 통근 거리와 실제 평균 통근 거리는 그에 비하면 상대적으로 차이가 작게 나타나는 것으로 보이지만, 비율로는 각각 최대 2.8배, 1.69배 차이가 나타난다. 흥미로운 점은 직주의 물리적 균형과 실제 통근 패턴이 일치하는 정도가 대도시권에 따라 다르게 나타

난다는 점이다. 예를 들어, 지리적으로 인접한 공주 대도시권과 내포 대도시권은 각각 3.83km, 4.02km의 최적 통근 거리를 보이며 유사한 수준의 직주의 물리적 균형을 가지는 것으로 파악되었다. 그러나, 실제 평균 통근 거리는 각각 7.54km, 10.69km로 상당한 차이를 보이고, 초과 통근율도 각각 49.14%, 62.39%로 나타났다. 서울 대도시권과 전주 대도시권 또한 마찬가지로, 거의 동일한 최적 통근 거리를 보이지만 초과 통근율은 각각 66.56%, 57.08%로 약 9.5%p의 차이를 보인다. 이는, 직주의 물리적 균형이 유사한 수준이라고 해서 실제 통근 패턴이 반드시 동일하게 나타나지는 않는다는 것을 보여준다.

시뮬레이션 결과에 따르면, 전체 13개 대도시권 중 전남 서남 대도시권과 공주 대도시권이 상대적으로 효율적인 통근 패턴을 보였다. 전남 서남 대도시권의 경우 가장 낮은 초과 통근율(32.63%)을 보여주었다. 이는 이론상 가능한 가장 짧은 통근 거리에 비해 높지 않은 수준의 실제 평균 통근 거리가 관측됨을 의미하여, 도시 공간 구조와 실제 통근 패턴이 상대적으로 잘 일치하고 있는 것을 보여준다. 공주 대도시권은 가장 낮은 통근 잠재력 사용률(10.17%)을 가지는 것으로 분석되었다. 이는 이론적으로 가능한 가장 긴 통근 거리보다 현저히 낮은 수준의 실제 평균 통근 거리가 관측된다는 것을 의미하며, 통근자가 직주의 물리적 분리에도 불구하고 짧은 통근 거리를 유지하고 있음을 보여준다.

상대적으로 비효율적인 통근 패턴을 보이는 대도시권은 광주 대도시권과 대구 대도시권이었다. 두 대도시권 모두 높은 수준의 초과 통근율(각각 74.37%, 72.24%)을 보여주었는데, 이는 도시 공간 구조와 통근 패턴의 불일치도가 다른 대도시권에 비해 높은 수준으로 나타나는 것을 의미한다. 또한 통근 잠재력 사용률도 각각 45.30%, 41.97%로 높은 수준으로 나타났다. 이는 직주의 물리적 분리에 따라 통근 패턴 또한 상대적으로 길게 나타나는 것을 의미한다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 최적 통근 거리, 실제 평균 통근 거리, 최대 통근 거리와 이를 활용해 계산되는 초과 통근율과 통근 잠재력 사용률 지표를 활용하여 광역도시계획이 수립된 내륙 13개 대도시권의 통근 패턴 효율성을 살펴보았다. 통근 지표의 산출 과정에서 발생하는 MAUP를 해결하고자 Hu and Wang(2015)이 제시한 Monte-Carlo Simulation 기반 접근법에 시뮬레이션 되는 주거지와 근무지의 위치가 실제로 존재하는 건물 위치에만 존재할 수 있다는 제약 조건을 추가한 Constrained Monte-Carlo Simulation을 활용하였다. 용도별 건물정보 데이터베이스, 말소건축물대장을 이용하여 주거지로 사용될 주거용 건물 데이터베이스와 근무지로 사용될 비주거용 건물 데이터베이스를 구축하여 2016년 가구통행실태조사 자료와 함께 시뮬레이션에 사용하였다. 시뮬레이션 결과를 기존 분석 방법을 활용한 통근 지표 산출 결과와 비교하고, 시뮬레이션 결과를 바탕으로 대도시권 간 통근 패턴 효율성을 비교하였다.

분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 산출 방법에 따른 통근 지표값의 차이는 전반적으로 작은 수준으로 확인되었다. 차이는 대도시권의 특성에 따라 다소 다른 양상으로 나타났다. 우선, 도서지역을 다수 포함하고 있는 지역의 경우 산출 방법에 따라 통근 지표가 상대적으로 많은 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존 산출 방법에서는 행정동의 중심 지점 간 거리를 활용하는 반면 시뮬레이션에서는 각 주거지와 근무지 간의 거리를 활용하기 때문에 각 대도시권의 지리적 특성이 반영된 결과로 해석할 수 있다. 한편, 샘플 수가 적은 대도시권도 다소 차이가 크게 나타났는데, 이는 표본 집단의 수가 적은 경우 중심 지점에서 먼 곳에 샘플이 위치할 확률이 높아지고, 이에 따라 중심 지점을 기준으로 한 기존 산출 방법과의 차이가 거치는 것으로 이해할 수 있다.

둘째, 시뮬레이션 결과 대도시권 간 통근 패턴 차이가 다소 존재하는 것으로 확인되었다. 최대 통근 거리가 최대 5.06배 차이로 가장 큰 격차를 보였고, 최적 통근 거리와 실제 평균 통근 거리도 대도시권에 따라 각각 최대 2.8배와 1.69배로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 통근 잠재력 사용률 또한 최대 4.45배 차이가 나는 것으로 산출되면서 대도시권에 따라 통근 패턴의 효율성이 상이하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 초과 통근율도 마찬가지로 최소 32.63%에서 최대 74.37%까지 큰 편차를 보이는 것으로 나타났는데, 공주 - 내포 대도시권이나 서울 - 전주 대도시권과 같이 최적 통근 거리가 유사한 대도시권이라도 실제 평균 통근 거리는 상이하게 나타나고, 이에 따라 초과 통근율에 차이가 발생하는 것이 확인되었다. 이는 직주의 물리적 균형이 유사하더라도 실제 통근 패턴이 반드시 그와 일치하게 나타나지는 않는 것을 보여주고, 통근 관련 정책을 시행할 때 대도시권에 따른 차이를 적극적으로 반영할 필요가 있다는 점을 시사한다. 상대적으로 효율적인 통근 패턴은 전남 서남 대도시권과 공주 대도시권에서 확인되었고, 비효율적인 통근 패턴은 광주와 대구 대도시권에서 나타났다.

본 연구는 MAUP의 영향을 최소화한 통근 지표를 바탕으로 대도시권 간 통근 패턴 비교의 합리성을 제고하였다는 점에서 의의를 가진다. 그간 MAUP는 대도시권 간 통근 지표 비교의 합리성을 저해하는 것으로 알려져 왔다. 통근 관련 통계 자료는 일반적으로 행정구역 단위로 제공되어 통근자의 실제 출발·도착 장소를 파악할 수 없다는 한계가 있다. 이에 따라 통근자의 출발 행정구역과 도착 행정구역 간 거리를 통근 거리로 대신 사용하게 되고, 이 과정에서 개인의 실제 통근 거리와의 오차가 발생한다. 이 오차의 크기는 행정구역의 형태 면적에 따라 달라지는데, 이는 대도시권별로 상이하기 때문에 동일한 기준으로 산출한 지표라 하더라도 그 오차의 정도는

대도시권에 따라 다르게 나타날 우려가 있었다. 이러한 MAUP로부터의 영향을 최소화하고자 본 연구에서는 행정구역 단위로 집계된 자료를 Monte-Carlo Simulation을 활용하여 개인 단위 자료로 재구성하였다. 이때, 시뮬레이션 과정에서 활용되는 주거지와 근무지의 위치가 실제 건물의 위치에 기반하여 선택될 수 있도록 하는 제약조건을 추가하여 실제의 직주 분포를 반영한 결과를 산출할 수 있었다. 시뮬레이션을 통해 각 통근자의 출발 행정구역에서 무작위로 선택된 주거지와 도착 행정구역에서 무작위로 선택된 근무지 간 거리를 해당 통근자의 통근 거리로 사용하였다. 이를 통해 계산된 통근 지표는 개인 단위로 산출된 것이므로 행정구역 단위로 산출했을 때와 달리 그 오차가 대도시권의 행정구역 특성에 영향을 받지 않고, 따라서 대도시권 간 통근 패턴을 합리적으로 비교할 수 있었다.

그러나 다음과 같은 한계는 향후 연구를 통해 보완될 필요가 있다. 첫째, 본 연구에서는 대도시권 간 상이한 특성에 의한 영향을 보정하지 못하였다. 예를 들어, 비록 광역도시계획을 통해 설정된 대도시권은 그 대상지가 명확하여 면적의 차이가 발생할 수밖에 없으나, 그 대도시권과 실제 통근권이 항상 정확하게 일치하지는 않으므로 보다 정확한 비교를 위해서는 실제 통근권을 고려하여 면적에 따른 영향을 보정할 필요가 있다. 교통망, 산업구조 등의 여건 또한 대도시권마다 다소 차이가 있으므로, 이를 향후 연구에서는 추가적으로 고려해야 할 것으로 생각된다. 둘째, 본 연구는 통근 관련 지표만을 사용하여 대도시권의 통근 패턴 차이를 확인하였다. 다른 지표를 활용하여 대도시권별 통근 패턴의 상이한 특징을 파악하고, 이를 바탕으로 직주의 물리적 균형이 통근 패턴으로 이어지지 않는 이유에 대해 보다 깊은 논의가 필요할 것으로 생각된다. 셋째, 시뮬레이션의 특성상 각 출발지와 도착지 간의 거리 행렬을 계산하는데, 시뮬레이션에 사용하는 통근자의 수를 늘리

면 거리 행렬의 크기는 그 제곱만큼 커지기 때문에 시뮬레이션 할 수 있는 통근자의 수에 한계가 존재한다. 향후 생활이동 등 빅데이터를 활용하여 통근 지표를 산출할 수 있도록 이러한 한계를 극복할 수 있는 시뮬레이션 방법이 연구되어야 할 것으로 보인다.

## 참고문헌

- 강재영·김종진(2024), “도시계획시설 용량 산정을 위한 확률적 수요 예측에 관한 연구”, 「토지주택연구」, 15(1): 135~146.
- 국토지리정보원(2021), 「대한민국 국가지도집 III」, 수원: 국토지리정보원.
- 권창기·정현욱(2007), “대도시 광역도시권 설정과 권역별 공간 특성 비교”, 「국토연구」, 52: 39~58.
- 김현우·김호연(2011), “수도권 신도시 건설과 서울 거주지의 통근통행패턴 변화”, 「한국경제지리학회지」, 14(3): 437~451.
- 송미령(1998), “서울 대도시권의 도시공간구조와 초과통근”, 「도시계획」, 33(1): 57~75.
- 이삼수(2004), “직주재배치를 통한 서울대도시권 통근통행의 효율성분석”, 「국토계획」, 39(3): 95~109.
- 이소희·이명훈(2003), “직주 공간 배분의 최적화를 통한 통근시간 절감에 관한 연구: 서울대도시권을 중심으로”, 「국토계획」, 38(7): 119~129.
- 전명진(1995), “직주불일치 현상과 낭비통근: 서울시를 중심으로”, 「대한교통학회지」, 13(3): 5~17.
- 전명진·정지은(2011), “수도권 직주불일치 수준 및 초과통근 분석”, 「국토계획」, 46(4): 189~197.
- 정진원·조형진·변병설(2020), “4차 산업혁명 관련 산업의 입지분포와 성장, 2010-2018”, 「국토지리학회지」, 54(4): 461~476.
- 허재원·나종익(2012), “창조산업의 공간적 분포특성에 관한 연구”, 「지방행정연구」, 26(4): 245~274.
- Bai, B., N. Gopalan, N. Beutell and F. Ren (2021), “Impact of Absolute and Relative Commute Time on Work-Family Conflict: Work Schedule Control, Child Care Hours, and Life Satisfaction”, *Journal of Family and Economic Issues*, 42(4): 586~600.
- Frost, M., B. Linneker and N. Spence (1998), “Excess or Wasteful Commuting in a Selection of British Cities”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(7): 529~538.
- Grunfelder, J., T. A. S. Nielsen and N. B. Groth (2015), “Changes to Urban form and Commuting Patterns: Trends in Two Danish City Regions”, *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 115(2): 73~87.
- Hamilton, B. W. (1982), “Wasteful Commuting”, *Journal of Political Economy*, 90(5): 1035~1053.
- Hipp, J. R., S. Lee, J. H. Kim and B. Forthun (2022), “Employment Deconcentration and Spatial Dispersion in Metropolitan Areas: Consequences for Commuting Patterns”, *Cities*, 131: 103947.
- Horner, M. W. and A. T. Murray (2002), “Excess Commuting and the Modifiable Areal Unit Problem”, *Urban Studies*, 39(1): 131~139.
- Hu, Y. and F. Wang (2015), “Decomposing Excess Commuting: a Monte Carlo Simulation Approach”, *Journal of Transport Geography*, 44: 43~52.
- Jun, M.-J. (2019), “Quantifying Welfare Loss due to Longer Commute Times in Seoul: A Two-stage Hedonic Price Approach”, *Cities*, 84: 75~82.
- Jun, M.-J. (2020), “The Effects of Polycentric Evolution on Commute Times in a Polycentric Compact City: A Case of the Seoul Metropolitan Area”, *Cities*, 98: 102587.
- Jun, M.-J., S. Choi, F. Wen and K.-H. Kwon (2016), “Effects of Urban Spatial Structure on Level of Excess Commutes: A Comparison between Seoul and Los Angeles”, *Urban Studies*, 55(1): 195~211.
- Jun, M.-J., K.-H. Kwon and J.-E. Jeong (2018), “An Evaluation of the Value of Time for Commuting in Seoul: A Life Satisfaction Approach”, *International Journal of Sustainable Transportation*, 13(10): 703~709.
- Kanaroglou, P. S., C. D. Higgins and T. A. Chowdhury (2015), “Excess Commuting: A Critical Review and Comparative Analysis of Concepts, Indices, and Policy Implications”, *Journal of Transport Geography*, 44: 13~23.
- Kim, H. M. and S. S. Han (2012), “Seoul”, *Cities*, 29(2): 142~154.

25. Kwon, K. (2021), "Polycentricity and the Role of Government-led Development: Employment Decentralization and Concentration in the Seoul Metropolitan Area, 2000-2015", *Cities*, 111: 103073.
26. Lee, J., T.-H. T. Gim, Y. Park, H.-C. Chung, W. Handayani, H.-C. Lee, D. K. Yoon and J. T. Pai (2023), "How Did the COVID-19 Pandemic Affect Mobility, Land Use, and Destination Selection? Lesson from Seoul, Korea", *LHI Journal*, 54(4): 77~93.
27. Ma, K. R. and D. Banister (2006a), "Excess Commuting: A Critical Review". *Transport Reviews*, 26(6): 749~767.
28. Ma, K.-R. and D. Banister (2006b), "Extended Excess Commuting: A Measure of the Jobs-Housing Imbalance in Seoul", *Urban Studies*, 43(11): 2099~2113.
29. Ma, K.-R. and D. Banister (2007), "Urban Spatial Change and Excess Commuting", *Environment and Planning A*, 39: 630~646.
30. Niedzielski, M. A., M. W. Horner and N. Xiao (2013), "Analyzing Scale Independence in Jobs-Housing and Commute Efficiency Metrics", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 58: 129~143.
31. O'Kelly, M. E. and W. Lee (2005), "Disaggregate Journey-to-Work Data: Implications for Excess Commuting and Jobs-Housing Balance", *Environment and Planning A*, 37: 2233~2252.
32. Sang, S., M. O'Kelly and M.-P. Kwan (2011), "Examining Commuting Patterns: Results from a Journey-to-Work Model Disaggregated by Gender and Occupation", *Urban Studies*, 48(5): 891~909.
33. Small, K. A. and S. Song (1992), "'Wasteful' Commuting: A Resolution", *Journal of Political Economy*, 100(4): 888~898.
34. Sohn, J. (2005), "Are Commuting Patterns a Good Indicator of Urban Spatial Structure?", *Journal of Transport Geography*, 13(4): 306~317.
35. Van Ommeren, J. (2018), *Commuting and Relocation of Jobs and Residences*, New York: Routledge.
36. White, M. J. (1988), "Urban Commuting Journeys Are Not 'Wasteful'", *Journal of Political Economy*, 96(5): 1097~1110.

## 요 약

통근 패턴의 효율성을 평가하기 위해 초과 통근율과 통근 잠재력 사용률과 같은 다양한 통근 지표들이 개발되고 사용되어 왔다. 이들 지표들을 활용하여 대도시권의 통근 패턴 차이를 밝히고, 이를 통근 정책 수립 과정에서 고려할 수 있기에 지표들 합리적으로 산출하는 것은 매우 중요하다. 그런데, 통근 지표는 일반적으로 행정구역 단위로 산출되기 때문에 공간단위 수정가능성의 문제(MAUP)로부터 자유롭지 못하다는 한계가 있다. 이 문제는 대도시권 간 통근 효율성 비교의 합리성을 저해하기 때문에 통근 지표 산출 과정에서 조심스럽게 다뤄져야 할 필요가 있다. 따라서, 본 연구는 몬테 카를로 시뮬레이션을 활용하여 최적, 실제, 그리고 최대 통근 거리를 산출하고, 이를 통해 초과 통근율과 통근 잠재력 사용률을 제시한다. 몬테 카를로 시뮬레이션을 우리나라의 사정에 맞게 적용하기 위해서, 시뮬레이션에 사용되는 주거지와 근무지가 실제 건물의 위치에서 선택되어야 한다는 제약 조건을 가한 제약조건부 몬테 카를로 시뮬레이션을 실시한다. 2016년 가구통행실태조사 데이터를 이용하여 광역도시계획이 수립된 13개 대도시권을 대상으로 분석을 진행한다. 시뮬레이션을 통해 산출된 통근 지표는 기존 방법을 통해 산출된 결과와 미미한 수준의 차이를 보였다. 대도시권 간 통근 효율성 비교 결과 직주의 물리적 균형의 정도가 유사하더라도 실제 통근 패턴은 상이하게 나타난다는 점이 확인되었다. 향후 면적과 같은 대도시권별 특성을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

**주제어:** 대도시권, 통근 효율성, 공간단위 수정가능성의 문제, 제약조건부 몬테 카를로 시뮬레이션



# 서대구역 개발이 주변 아파트 시장에 미치는 영향 분석 : 교육환경이 미치는 영향을 중심으로

## Effects of Seodaegu Station Development on the Surrounding Apartment Market

### : Focus on the Effects of Educational Environment

박현택\* · 김진엽\*\*

Hyeontaek Park\* · Jinyhup Kim\*\*

#### Abstract

Apartments constitute 64% of the housing type composition, representing the highest proportion among housing types. This proportion has been increasing annually. Given this trend, apartment prices are likely to have a significant impact on the national economy and people's livelihoods. This study examines the impact of the recent development of Seodaegu Station on the surrounding apartment market, with a specific focus on the effects of the educational environment. To this end, we conduct empirical analysis employing a hedonic price model and spatial autocorrelation analysis, based on actual transaction price data from the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport. The study revealed three key findings: first, the development of Seodaegu Station positively impacted apartment prices. Second, this positive effect increases with the proximity to Seodaegu Station. Third, the enhancement of the educational environment nearby the Seodaegu Station development also positively influenced apartment prices. This study aims to serve as baseline research output for the public management of future metropolitan transportation facility development projects and for predicting apartment price trends.

**Keywords:** Apartment Price, Educational Environment, Large-Scale Transportation, Hedonic Price Model, Housing Market

## 1. 서론

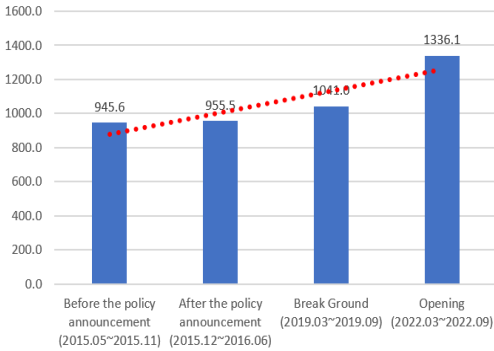
2022년 통계청 인구주택총조사에 따르면 아파트는 주택 종류별 구성비에서 64%를 차지하며 주택 종류 중 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 또한, 전년 대비 주택 종류별 구성비 증가율도 아파트가 2.7%

(320천 호)로 공동주택 중 가장 큰 증가세를 보이고 있다(통계청, 2023). 이와 같은 결과는 아파트 가격이 국가 경제와 국민생계에 큰 영향력을 미칠 가능성이 크다는 것이다. 아파트 가격 관련 연구는 꾸준히 학계에서 중요하게 논의되고 있다. 아파트 가격 관련 최근 연구들은 아파트 내부의 물리적인 특성에

\*계명대학교 도시계획 및 교통공학과 석사과정(주저자: 1114343@stu.kmu.ac.kr)

\*\*계명대학교 도시계획 및 교통공학과 조교수(교신저자: jyk@kmu.ac.kr)

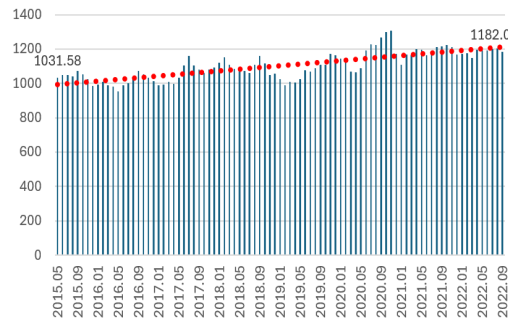
Received: March 3, 2024 / Revised: May 30, 2024 / Accepted: June 18, 2024



**Fig. 1.** Average Apartment Price in Seogu, Daegu Per 3.3 m<sup>2</sup> by Development Process of Seodaegu Station (Unit: 10,000 KRW)

Source: Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023) (in Korean)

국한되지 않고 다양한 관점에서 주택가격에 미치는 영향요인을 분석하고 있다. 예를 들어 공원·녹지의 조성 또는 도시철도 개통 시 접근성의 발달, 부동산 정책의 변화 등이 주택가격에 미치는 영향에 관하여 분석한 연구가 진행되었다(정문오·이상엽, 2013; 양성돈·최내영, 2003; 김창훈 외, 2018; 서경규 외, 2016; 김시은, 2023; 배종찬·정재호, 2021). 대부분의 연구가 주변 생활환경과 교통에 대한 변화가 아파트 가격에 긍정적인 영향을 주고 있다는 일관된 분석 결과를 제시하고 있으나, 개발단계별 영향력의 차이에는 여전히 혼재된 결과를 제시하고 있다. 최근 대구광역시 서구에 서대구역이 개통되었다. 서대구역은 서대구역세권 개발사업 및 달빛내륙철도사업 등과 연계할 수 있도록 계획이 수립되어 주목받는 핵심 교통시설이다. 이에 각종 사업의 기대감과 교통의 편리성 증가와 같은 요인들로 인해 주변 환경 및 아파트 가격에 긍정적인 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다. Fig. 1은 서대구역 개발단계별 대구광역시 서구 아파트의 3.3m<sup>2</sup>당 평균 매매가격을 나타낸다. 정책발표 전부터 개통 단계까지 지속해서 가격 평균이 상승하고 있음을 확인할 수 있다. 아울러, Fig. 2는 2015년 5월부터 2022년 9월까지 대구광역시 아파



**Fig. 2.** Median Actual Sale Price Per 3.3 m<sup>2</sup> of Daegu Apartments from May 2015 to September 2022 (Unit: 10,000 KRW)

Source: Korean Statistical Information Service (2024) (in Korean)

트 3.3m<sup>2</sup>당 중위매매가격이다. 대구광역시 서구 아파트의 3.3m<sup>2</sup>당 평균 매매가격과 2015년 5월부터 2022년 9월까지 대구광역시 아파트 3.3m<sup>2</sup>당 중위매매가격을 비교해 보았을 때 대구광역시 서구 아파트의 3.3m<sup>2</sup>당 평균 매매가격의 추세선의 경사가 더 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 대구광역시 전체 아파트 가격보다 대구광역시 서구의 아파트 가격의 상승이 더 높음을 알 수 있다. 본 연구는 서대구역 개발 초기 단계에서 대구광역시 서구에 소재한 아파트 시장에 미치는 영향에 대해 살펴보고자 한다. 특히, 개발단계별로 서대구역이 주변 아파트 가격에 미치는 영향을 분석하는데 교육환경의 영향을 중심으로 진행하고자 한다. 현재 서대구역의 개발 효과에 대한 다각적인 이해와 자세한 분석이 이루어진 관련 연구는 부족한 실정이다. 또한, 서대구역 주변 교육환경이 주변 아파트에 미치는 영향에 대한 분석을 진행한 연구는 없는 것으로 파악된다. 서대구역의 개발이 아파트 시장에 미치는 영향에 대한 분석이 이루어진다면 향후 진행될 서대구역세권 개발 및 연계사업에서 효율적인 진행이 이루어질 수 있을 것이다.

본 연구는 서대구역 개발이 주변 아파트 시장에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 연구 대상은 서대구

역 주변 아파트를 대상으로 진행한다. 특히, 서대구역의 개발단계 및 서대구역으로부터의 거리에 초점을 맞춰 연구를 진행한다. 아울러, 서대구역이 개발되면서 주변 인구가 증가하여 중요도가 높아질 교육환경이 미치는 영향에 대해서도 알아보려 한다. 이를 위하여 서대구역 개발단계별 국토교통부 실거래가 데이터와 헤도닉 가격모형, 공간 회귀분석을 사용하여 실증 분석한다. 본 연구는 서대구역세권 개발 초기 단계인 서대구역 개통이 완료된 현시점에서 주변 아파트에 미치는 영향을 파악하여 향후 지방에 개발되는 광역교통시설 개발사업 공적관리 및 아파트 가격 동향 예측을 위한 기초자료로 활용되고자 한다.

## 2. 선행연구

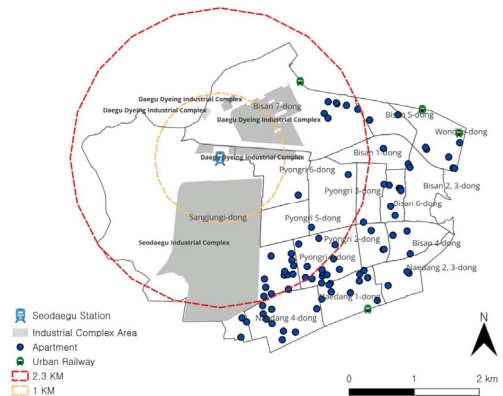
### 2.1 연구 대상

서대구역은 남부권 교통의 요충지이며 대구시가 앞으로 추진할 미래형 환경 도시, 첨단경제 문화도시 개발과 연계된 핵심 시설이다. 과거 서대구역이 개발되기 전 대구광역시 서구 일대는 기존 제조업의 쇠퇴 및 노후화된 산업단지와 같은 이유로 인해 지역경쟁력이 저하되었던 지역이다. 그러나, 서대구역이 개발되면서 복합환승센터 건립, 서대구역 광장 조성과 같은 서대구역세권 개발사업이 연계되어 추진되고 있다. 아울러, 대구 산업선 철도, 대구 경북선 철도, 경부고속철도, 달빛내륙철도, 대구권 광역철도 연계가 추진되고 있다. 서대구역은 기존 동대구역의 기능을 분산하면서 지역 시민들의 교통이 편리해졌다. 오주석(2022)에 따르면 현재 서대구역은 고속 열차가 하루 38편(왕복) 정차해 매일 10만 명이상이 찾는 교통 요충지로 자리 잡았다. 또한, 대구 서구 주민을 대상으로 실시한 ‘2022년 최고의 정책’을 묻는 설문조사에서 ‘서대구역 개통’이라는 답변이 70% 넘게 결과에서 차지하며 서대구역 개통은

주민들에게 긍정적인 평가받고 있다. 서대구역에 관한 내용을 표로 정리하면 Table 1과 같다. 역 규모는 지상 4층 규모로 지어졌다. 면적은 9,009m<sup>2</sup>로 지어졌다. 개발 과정은 2013년 5월에 서대구역 설치 건의, 2015년 12월 서대구역 건설 추진 확정, 2019년 3월 서대구역 개발 착공 2021년 12월 서대구역 시운전(KTX)완료, 2022년 3월 서대구역 영업 시운전(SRT) 추가 시행 완료 및 개통 순으로 진행되었다. 아울러, Fig. 3은 서대구역을 중심으로 한 서구 아파트 분포 현황을 나타낸다. 먼저, 서대구역 주변에는 산업단지로 둘러싸여 있는 것을 볼 수 있다. 역사주

**Table 1.** Seodaegu Station

| Content             |  |
|---------------------|--|
| Address             | 527, Waryong-ro, Seo-gu, Daegu, Republic of Korea  |
| Floor               | 4  |
| Area                | 9,009 m <sup>2</sup>   |
| Development Process | 2013. 05. Installation Suggestions<br>2015. 12. Construction Progress Confirmation<br>2019. 03. Breaking Ground<br>2021. 12. Trial Run (KTX)<br>2022. 03. Trial Run (SRT) and Open |



**Fig. 3.** Distribution of Apartments in Seogu, Daegu  
Source: Based on Naver Maps, SGIS, and Data Portal data, it was produced by the author using QGIS

변이 산업단지로 둘러싸여 있어 아파트는 역에서 다소 떨어진 장소에 위치하는 것을 볼 수 있다. 즉, 반경 1km 내에는 아파트가 존재하지 않으며 반경 2km 이상 거리가 떨어진 곳에 이르러 아파트가 다수 존재함을 알 수 있다. 또한, 지하철은 서대구역 주변에 존재하지 않는 것을 알 수 있다. 이는 동대구역과 상반되는 모습으로 상대적으로 열악한 대중교통접근성과 산업단지에 둘러싸여 개발 입지는 서대구역 주변이 여전히 개발 초기 단계에 있음을 말해준다.

## 2.2 교통시설이 아파트 가격에 미치는 영향 관련 연구

서대구역과 같은 교통시설이 아파트 가격에 미치는 영향에 관한 연구는 국내 여러 학자에 의해 지속해서 진행되어 오고 있다. 도수관 외(2015)는 도시철도 역세권과 아파트 가격의 관계에 관한 연구를 대구 도시철도 3호선 건설에 따른 아파트 가격 변동 및 가격 결정요인을 중심으로 진행하였다. 분석을 위하여 헤도닉 가격모형과 국토교통부 주택 실거래가 자료를 사용하였다. 분석결과는 역 반경 200m 내에는 아파트가 위치하였을 때 가격에 양(+)의 영향을 받았고, 역 반경 200~600m에서는 음(-)의 영향을 미쳤다. 또한, 역 반경 600m~1km에서는 양(+)의 영향을 받는 것으로 나타났다. 이를 통하여 역과 아파트의 사이의 거리에 따라 아파트 가격에 미치는 영향이 다른 것을 알 수 있었다. 해당 연구에서는 역과 아파트 사이의 거리에 따라 아파트 가격에 미치는 영향이 달라지는 이유로 교통 혼잡 및 소음, 진동과 같은 문제들이 원인으로 작용한 것으로 유추하였다. 또한, 역 거리 이외에 외부적 요인도 아파트 가격 형성에 작용한 것으로 판단하였다. 서경규 외(2016)는 대구 도시철도 3호선 건설이 주변 지역 아파트 가격에 미치는 영향에 관한 연구를 진행하였다. 분석을 위하여 국토교통부 실거래가와 헤도닉 가격모형을 사용하였다. 분석결과는 첫째, 대구 도시철도 3호선의 개통은 역 반경 750m 위치한 모든 아파트 가격

에 양(+)의 영향을 미쳤다. 특히 가격 상승이 가장 큰 거리는 역 반경 500~750m로 나타났다. 둘째, 대구 도시철도 3호선의 건설단계별로 아파트 가격에 모두 양(+)의 영향을 미쳤고, 아파트 가격 상승은 건설단계가 진행될수록 증가하였다. 셋째, 대구 도시철도 3호선이 미치는 영향을 아파트의 규모별로 보았을 때 중대형 이상 아파트에 미치는 영향보다 중소형 이하 아파트에 미치는 영향이 더 컸다. 해당 결과로 중소형 이하 아파트 가격은 교통 요인이 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 하유진 외(2018)는 고속철도 개통이 경기 남부 신도시 공동주택에 미치는 가격 영향에 관한 연구를 동탄신도시 중심으로 진행했다. 분석을 위하여 국토교통부 실거래가와 헤도닉 가격모형을 사용하였다. 연구 결과는 첫째, SRT 동탄역으로부터 아파트의 거리가 가까울수록 더 크게 양(+)의 영향을 주었다. 둘째, SRT 개발단계가 개통에 가까워질수록 주택가격에 더 크게 양(+)의 영향을 주었다. 이를 통하여 계획 시점보다 개통 시점에서 아파트 가격에 더 큰 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 이재명·김진유(2014)는 지하철역이 주변 아파트 가격에 미치는 부정적 영향에 관한 연구를 진행하였다. 분석을 위하여 부동산 114의 아파트 전용면적별 평균 매매가격 자료와 헤도닉 가격모형을 사용하였다. 분석결과는 첫째, 지상에 건설된 역은 최대 반경 200m 이내에 있는 아파트 가격에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 해당 결과는 정차와 출발하는 과정에서는 발생하는 소음과 혼잡함으로 인하여 나타난 결과로 예상하였다. 둘째, 백화점, 영화관 등의 복합기능을 가진 역사는 단순 이동수단으로 사용되는 역에 비해 인접 지역 주택가격에 부정적 영향을 주었다. 해당 결과는 주변 지역에 편의시설을 제공함에도 불구하고 상업·위락 시설 이용객으로 인한 소음 및 혼잡이 가중되어 인접 주거지에는 부정적 영향 줄 수 있기에 나타난 결과로 예상하였다.

위의 선행연구 결과들을 확인하였을 때 교통시설의 개발이 진행될수록 아파트 가격이 상승하는 결과가 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한, 위의 대부분 선행연구에서 교통시설과 아파트와의 거리는 가까울수록 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나, 교통시설과 초·중·고등학교에 위치하거나 상업용 복합기능을 가진 역사는 부정적 영향을 미쳤다는 연구 결과도 존재했다. 아울러, 교통시설이 아파트 가격에 미치는 영향을 아파트의 규모별로 보았을 때는 중대형 아파트보다 중소형 아파트가 받는 영향이 더 큰 것을 알 수 있었다.

### 2.3 교육환경이 아파트 가격에 미치는 영향 관련 연구

아파트 가격에 미치는 영향요인 중 교육환경은 매우 영향력이 클 것으로 생각이 된다. 교육환경에 관한 연구는 학자들에 의해 지속해서 연구되고 있다. 남형권·서원석(2016)은 교육시설 인접성이 아파트 가격에 미치는 공간적 영향 분석에 관한 연구를 진행하였다. 분석을 위하여 국토교통부 실거래가와 헤도닉 가격모형 및 공간 시차 모형, 공간 오차모형을 사용하였다. 분석결과는 고등학교가 아파트에 인접할수록 아파트 가격에는 부정적 영향을 줬다. 이는 Rosiers et al.(2001)의 연구에서 나타난 학교반경 407m 내에 주택이 가장 높은 주택가격이 나타난다는 결과와 대조되는 결과이다. 김지민(2022)은 교육환경이 아파트 가격형성에 미치는 영향에 관한 실증연구를 인천시 연수구 중심으로 진행하였다. 분석을 위하여 국토교통부 실거래가 자료와 헤도닉 가격모형, 다중 회귀분석을 사용하였다. 분석결과는 첫째, 아파트의 반경 500m 내 특목고가 입지하여 있을 때 가장 크게 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미쳤다. 둘째, 사설학원과 유치원의 개수는 아파트 반경 1km 내에 많을수록 아파트 가격에 음(-)의 영향을 미쳤다. 셋째, 초등학교의 거리는 멀수록 아파트 가격이 낮아졌고, 중학교와 고등학교는 아파트로부터 거리

가 가까울수록 아파트 가격이 상승했다. 오지영·서원석(2023)은 공간 헤도닉모형을 이용한 일반고 교육성취 특성 및 지역 매개효과에 따른 주택가격 영향에 관한 연구를 진행하였다. 이를 위해 국토교통부 실거래가와 헤도닉 가격모형을 사용하였다. 분석결과는 첫째, 일반고의 접근성은 지역 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미쳤다. 이와 더불어 서울대를 가장 많이 보낸 명문 고등학교와 학업 성취도가 가장 낮은 비선호 고등학교보다 대학 진학률이 가장 높은 선호 고등학교 유형이 아파트와의 접근성 변화에 따라 더 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 최상위권 학생들이 중심이 되는 명문 고등학교보다는 대학 진학률이 높은 고등학교에 진학하는 것이 내신 관리 및 대학 진학에 유리하다고 판단하기에 나타난 결과라고 예상하였다. 둘째, 아파트 가격이 높은 지역에서 명문 고등학교와 인접하였을 때 아파트 가격이 더 상승하는 경향이 나타났다. 이는 아파트 가격이 높은 지역에 거주하는 부모는 자녀를 최고 명문대에 진학시키기 위해 명문고와 가까운 곳에 주거하려는 행태가 나타날 수 있음을 예상하였다.

위의 선행연구 결과들을 확인하였을 때 교육환경에 관한 연구는 다소 혼재된 결과를 나타낸다. 특목고 및 명문고에서 아파트까지 거리는 아파트 가격에 긍정적인 영향을 미친다는 결과가 나타났다. 반대로, 고등학교와 아파트가 인접할 시에 부정적인 영향을 미친다는 선행연구 결과도 존재하였다. 아울러, 사설학원과 유치원의 개수는 거리가 가까울수록 아파트 가격에 부정적 영향을 미쳤다.

## 3. 연구 질문

이상의 선행연구를 통해 교통시설의 개발단계 및 거리가 아파트 가격에 미치는 영향, 교육환경이 아파트 가격에 미치는 영향을 파악하였다. 본 연구가 진행되는 시점에서 최근 개통된 서대구역의 개발단

계 및 서대구역으로부터의 거리가 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 관해서 분석한 연구는 없는 것으로 확인된다. 또한, 서대구역 주변 교육환경이 아파트 가격에 미치는 영향을 분석한 연구도 없는 것으로 보인다. 아울러, 기존 선행 연구(김창훈 외, 2018; 도수관 외, 2015; 서경규 외, 2016; 이재명·김진엽, 2014)에서 연구 대상으로 선정한 교통시설은 주변에 서대구역보다 상대적으로 가까운 거리에 아파트가 다수 존재한다. 그러나, 서대구역 주변에는 산업단지가 다수 존재하여 아파트가 위치하지 않아 서대구역으로부터 아파트까지 거리가 멀기에 입지적 차이가 있다. 이러한 면에서 본 연구의 차별성을 발견할 수 있으며, 구체적인 연구 질문은 아래와 같다.

### 3.1 서대구역의 개발단계가 주변 아파트 가격에 미치는 영향

첫 번째 연구 질문은 서대구역 개발단계가 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다. Fig. 1를 통해 서대구역의 개발이 진행될수록 주변 아파트 가격이 높아지는 경향을 확인할 수 있었다. 하지만, 이는 기술통계 내용에 불과하며, 다양한 통제변수를 활용한 공간 회귀분석을 통해 서대구역의 개발과 주변 아파트 가격 간의 인과관계를 철저히 분석할 필요가 있다. 이에 본 연구는 첫 번째 연구가설로 “서대구역 개발이 단계별로 진행될수록 주변 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미칠 것”으로 예상한다.

### 3.2 서대구역으로부터 거리가 주변 아파트 가격에 미치는 영향

두 번째 연구 질문은 서대구역과 직선거리에 따른 아파트 가격의 영향력 차이에 대해 알아보고자 한다. 먼저, 서대구역과 서구 아파트 간의 직선거리 평균을 구하였을 때 2.3km가 나타났다. 이에 서대구역과 서구 아파트 간의 평균 직선거리 이상(2.3km 이상)을 변수를 사용하여, 서대구역으로부터 거리

가 주변 아파트 가격에 미치는 영향을 분석한다. 아울러, 지역변수를 함께 사용하였다. 본 연구는 두 번째 연구가설로 “서대구역과 직선거리가 가까울수록 주변 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미칠 것”으로 예상한다.

### 3.3 서대구역의 교육환경이 주변 아파트 가격에 미치는 영향

세 번째 연구 질문은 서대구역의 교육환경이 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 대해 알아보고자 한다. 교육환경이 좋다는 것은 지역의 교육 수준이 높고 사교육이 활발하다는 것을 의미한다. 또한, 서대구역세권 개발이 진행되며 주변 인프라 개선이 확장된다면 새로운 인구가 유입될 것이고 교육환경의 중요도는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 본 연구는 아파트 주변 학원 개수를 나타내는 변수를 사용하여 교육환경이 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 대해 알아본다. 본 연구는 세 번째 연구가설로 “서대구역의 교육환경이 발달할수록 주변 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미칠 것”으로 예상한다.

## 4. 데이터 및 방법론

### 4.1 데이터 및 변수

본 연구는 대구광역시 홈페이지 내 서대구 변화과정의 내용을 토대로 개발단계 시점을 서대구역 개발 정책발표 전 단계(2015.05~2015.11) 및 정책발표 후 단계(2015.12~2016.6), 착공 단계(2019.03~2019.09), 개통 단계(2022.03~2022.09)로 나누었다. 각 시점은 6개월을 범위로 지정하였다. 아울러, 각 시점에 대구시 서구에서 거래된 아파트 매매 사례를 기준으로 잡았다. 이를 토대로 국토교통부 실거래가 데이터를 통해 선정하였을 때 1,596개의 매매 데이터가 구성되었다. Table 2는 변수설명이다. 종속변수는 3.3m<sup>2</sup>당 아파트 거래가격과 3.3m<sup>2</sup>당

아파트 거래가격의 자연로그 값을 사용한다. 독립변수는 크게 아파트 특성, 입지적 특성, 시점변수, 지역변수로 분류하여 사용한다. 아파트 특성은 아파트 경과 연수, 전용면적, 방 개수, 욕실 개수, 거래 층수,

**Table 2.** Variable Description

| Category                  | Description            | Source  |
|---------------------------|------------------------|---|
| Dependent Variable        | Apartment Price        | Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023) (in Korean)                                       |
|                           | LN Apartment Price     |   |
| Apartment Characteristics | Age of Property        | Naver Real Estate (2023) (in Korean), Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023) (in Korean) |
|                           | Exclusive Private Area |   |
|                           | Room                   |   |
|                           | Bathroom               |   |
|                           | Floor                  |   |
|                           | Households             |   |
| Location Characteristics  | Distance Above Average | Data Potat (2023) (in Korean)   |
|                           | Bus Stop               |   |
|                           | Urban Railway          |   |
|                           | School                 |   |
|                           | Academy                |   |
| Time Variable             | Time 1                 | Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023) (in Korean)                                       |
|                           | Time 2                 |   |
|                           | Time 3                 |   |
|                           | Time 4                 |   |
| Regional Variable         | Naedang-dong           | Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2023) (in Korean)                                       |
|                           | Bisan-dong             |   |
|                           | Wondae-dong 1ga        |   |
|                           | Wondae-dong 2ga        |   |
|                           | Jungri-dong            |   |
|                           | Pyeongri-dong          |   |

해당 면적 세대수를 사용한다. 입지적 특성은 서대구역에서 아파트까지 거리 변수, 아파트 주변 버스정류장 개수, 아파트 주변 지하철 유무, 아파트 주변 학교 개수, 아파트 주변 학원 개수를 사용한다. 서대구역에서 아파트까지 거리 변수는 서대구역과 서구 아파트들 간의 거리를 QGIS로 분석하였을 때 평균 2.3km로 나타났다. 이를 기준으로 서대구역에서 아파트까지 거리가 2.3km 이상인 표본을 1, 서대구역에서 아파트까지 거리가 2.3km 미만인 표본을 0으로 설정하여 사용한다. 또한, 아파트 주변 버스정류장 개수, 아파트 주변 지하철 유무, 아파트 주변 학교 개수, 아파트 주변 학원 개수 변수는 QGIS 버퍼 분석을 진행 후 폴리곤 내 포인트 개수를 분석하여 구성하였다. 아파트 주변 버스정류장 개수는 아파트 주변 500m 내 버스정류장 개수를 나타낸다. 아파트 주변 지하철 유무는 아파트 주변 500m내 지하철의 유무를 나타낸다. 아파트 주변 학교 개수는 아파트 주변 750m내 학교 개수를 나타낸다. 아파트 주변 학원 개수는 아파트 주변 500m내 학원 개수를 나타낸다. 지역변수는 비산동, 원대동 1가, 원대동 2가, 중리동, 평리동을 사용하였다. 참조형 변수는 내당동으로 설정하였다. 시점변수는 정책발표 후 단계인 시점 2, 착공 단계의 시점 3, 개통 단계의 시점 4를 사용한다. 참조형 변수는 정책발표 전 단계인 시점 1을 사용하였다.

## 4.2 방법론

### 4.2.1 헤도닉 가격모형(Hedonic Price Model)

본 연구는 Rosen(1974)의 헤도닉 가격모형을 사용하여 아파트 특성, 입지적 특성, 지역변수, 시점변수가 아파트 가격에 미치는 영향을 분석한다. 헤도닉 가격모형은 특정 재화의 가격 결정에 시장에서 거래되지 않은 다른 요인이 영향을 미친다는 가정하에, 가격 지불을 소비자가 재화 구매를 위해 한다고 간주했을 때 가능한 모든 속성으로 재화를 분해해 각

속성의 가치를 설정하는 이론이다(신승식, 2001). 이때 재화 내에 포함된 특성들의 가격과 양(Quantities)에 의해서 특정 재화의 가격이 결정되며, 이 특성들의 가격(Characteristic price)을 헤도닉 가격(Hedonic price)이라 지칭한다(이용만, 2008). 본 연구에서는 헤도닉 가격모형의 선형, 준 로그 형태를 사용했다. 본 연구의 헤도닉 가격모형의 선형형태 식은 식 (1)과 같다.

$$P(H) = f(A, L, Y, R) \quad (1)$$

식 (1)에서  $P(H)$ 는 아파트 가격,  $A$ 는 아파트 특성,  $L$ 은 입지적 특성,  $Y$ 은 시점변수,  $R$ 는 지역변수를 나타낸다.

헤도닉 가격모형의 준 로그 형태 식은 식 (2)와 같다.

$$\ln(\text{Housing price}) = \beta_0 + \beta_i x_i + \epsilon \quad (2)$$

식 (2)에서  $\ln(\text{Housing price})$ 는 아파트 가격의 자연로그값,  $\beta_0$ 은 상수,  $\beta_i$ 는 계수,  $x_i$ 는 Table 2에서 표시된 변수이다. 이용만(2008)에 따르면 선형형태는 종속변수와 독립변수가 선형이라 가정하고, 단순하고 용이한 추정 결과의 해석이 장점이다. 그러나, 비현실적 해석이 될 수 있는 한계가 존재한다(이용만, 2008). 반면 Halvorsen and Palmquist(1980)에 따르면 준 로그함수는 추정 계수 값이 부동산 가격의 변화율 근사치를 해당 특성의 변화에 따라 보여 주기에 편리하고 단순한 것이 장점이다. 그러나, 부동산 가격이 각 특성이 한 단위 변화할 때 기하학적으로 변화한다는 한계가 존재한다(Halvorsen and Palmquist, 1980).

### 4.2.2 공간 회귀분석

본 연구는 헤도닉 가격모형에 기반을 두어 공간 회귀분석을 진행한다. Anselin(1988)은 공간 가중치

를 오차항 및 종속변수에 적용하는 방식으로 공간 자기상관(Autoregressive)을 고려하는 공간 오차모형(SEM)과 공간 시차모형(SLM)을 제시했다. 공간 시차모형(SLM)은 독립변수로 공간적 자기 상관을 동원하는 개념이다. 이에 선형모형(OLS)에서 반응 변수의 곱과 공간 자기회귀계수, 공간 가중행렬이 독립변수로 추가된 형태로 볼 수 있다(Anselin, 1988). 식은 (3)과 같다. 식 (3)에서  $y$ 는 아파트 가격 또는 아파트 가격의 자연로그 값이다.  $X$ 는 아파트 가격에 영향을 주는 독립변수이며,  $\rho$ 는 공간 자기회귀계수,  $W$ 는 공간 가중행렬을 나타낸다.

$$y = \rho Wy + \beta X + \epsilon \quad (3)$$

공간 오차모형(SEM)은 공간적 자기 상관이 모형에서 고려하지 않은 변수들 사이에 존재하는 것을 가정한다. 공간 시차모형과는 다르게 공간적 자기상관을 부차적인 것으로 간주해 오차항에 포함해 처리하려는 것으로 정의한다(Stakhovych and Bijmolt, 2009). 이에 오차항의 공간 자기회귀계수, 오차항의 곱, 공간 가중행렬이 추가된 형태를 가지고, 공간승수 효과가 오차항에만 영향을 미치는 것으로 해석하는 것이 공간 시차모형과 차이점이다. 모형식은 (4)와 같다. 오차항에 오차항의 공간 자기회귀계수  $\lambda$ , 공간 가중행렬, 오차항의 곱인  $\lambda Wu$ 가 추가되어 나타난다.

$$\begin{aligned} y &= \beta X + u \\ u &= \lambda Wu + \epsilon \end{aligned} \quad (4)$$

공간 가중행렬  $W$ 은 공간적 인접성(Spatial Contiguity)을 말한다. 이는 가중치가 서로 인접했을 때 부여되는 것이다. 가중치는 거리기반(Distance-based) 또는 인접기반(Contiguity-based) 방식으로 부여된다(Anselin, 1988). 본 연구에서는 인접기반 방식 Rock 방식을 채택하였다. Rock 방식은 가중치

를 선을 공유하는 면에 대해 산정하는 방식이다. 본 연구에서는 공간 회귀분석과 Moran's I검정에서 동일하게 사용되었다.

부동산 가치 추정 연구 분야에서 공간 회귀분석은 선형모형의 설득력을 높이기 위해 활용되고 다양한 선행연구(김채만·한아름, 2020; 김성우·정건섭, 2010; Tsutsumi and Seya, 2008; Shi et al., 2022; Li and Chen, 2022)들이 해당 모형을 사용해 부동산 가치 변동을 연구하였다.

이를 통해 세 가지 연구 질문인 ① 서대구역의 개발단계가 주변 아파트 가격에 미치는 영향, ② 서대구역으로부터 거리가 주변 아파트 가격에 미치는 영향, ③ 서대구역의 교육환경이 주변 아파트 가격에 미치는 영향을 분석한다.

## 5. 실증분석

### 5.1 기술통계

Table 3은 종속변수와 독립변수에 대한 기술통계이다. 대구시 서구의 서대구역 개발단계 시점별 아파트 가격 자료는 총 1,596건이다. 종속변수에서 3.3m<sup>2</sup>당 거래금액은 최소 373.05만원에 매매가 되었고 최대 2,551.01만 원까지 매매가 되었으며 평균 매매 가격은 1,010.36만 원이다. 아파트 특성에서 아파트 경과 연수는 최소 4년이 된 아파트부터 44년이 된 아파트가 존재했고 평균은 28.99년이었다. 전용면적은 최소 39m<sup>2</sup>부터 최대 179.65m<sup>2</sup>까지 있었고 평균은 80.69m<sup>2</sup>이었다. 방 개수는 최소 1개부터 최대 5개까지 있었으며 평균적으로 3.05개의 방이 존재했다. 욕실은 최소 1개부터 최대 2개까지 있었고 평균 1.48개 있었다. 거래 층수 중 가장 낮은 층수는 1층이었고 가장 높은 층수는 22층이었다. 평균은 6.88이다. 해당 면적 세대수는 최소 1세대에서 최대 964세대까지 있었다. 평균 224.62세대가 있었다.

입지적 특성에서 서대구역과 아파트 거리 평균 이

**Table 3.** Descriptive Statistics

|                           | Category               | Min    | Max      | Mean     | Std. Div. |
|---------------------------|------------------------|--------|----------|----------|-----------|
| Dependent Variable        | Apartment Price        | 373.05 | 2,551.01 | 1,010.36 | 266.54    |
|                           | LN Apartment Price     | 5.92   | 7.84     | 6.88     | 0.26      |
| Apartment Characteristics | Age of Property        | 4.00   | 44.00    | 28.99    | 13.63     |
|                           | Exclusive Private Area | 39.06  | 179.65   | 80.69    | 32.60     |
|                           | Room                   | 1.00   | 5.00     | 3.05     | 0.72      |
|                           | Bathroom               | 1.00   | 2.00     | 1.48     | 0.50      |
|                           | Floor                  | 1.00   | 22.00    | 6.83     | 5.12      |
|                           | Households             | 1.00   | 964.00   | 224.62   | 228.47    |
|                           | Distance Above Average | 0.00   | 1.00     | 0.58     | 0.49      |
| Location Characteristics  | Bus Stop               | 4.00   | 19.00    | 11.52    | 3.33      |
|                           | Urban Railway          | 0.00   | 1.00     | 0.08     | 0.27      |
|                           | School                 | 0.00   | 5.00     | 2.66     | 1.23      |
|                           | Academy                | 2.00   | 48.00    | 33.13    | 10.99     |
| Time Variable             | Time 1 (604)           | 0.00   | 1.00     | 0.38     | 0.49      |
|                           | Time 2 (286)           | 0.00   | 1.00     | 0.18     | 0.38      |
|                           | Time 3 (594)           | 0.00   | 1.00     | 0.37     | 0.48      |
|                           | Time 4 (112)           | 0.00   | 1.00     | 0.07     | 0.26      |
| Regional Variable         | Naedang-dong (553)     | 0.00   | 1.00     | 0.35     | 0.48      |
|                           | Bisan-dong (145)       | 0.00   | 1.00     | 0.09     | 0.29      |
|                           | Wondae-dong 1ga (26)   | 0.00   | 1.00     | 0.02     | 0.13      |
|                           | Wondae-dong 2ga (9)    | 0.00   | 1.00     | 0.01     | 0.07      |
|                           | Jungri-dong (435)      | 0.00   | 1.00     | 0.27     | 0.45      |
|                           | Pyeongri-dong (428)    | 0.00   | 1.00     | 0.27     | 0.44      |
| N                         |                        | 1,596  |          |          |           |

Note: The numbers in parentheses next to the names of time variables and local variables indicate the frequency

상의 변수에서는 평균 0.58로 나타났으며 이는 서대구역에서 아파트까지 거리가 2.3km보다 더 먼 매매 사례가 본 연구의 표본에서 더 많음을 알 수 있다. 아파트 주변 버스정류장 개수는 최소 4개에서 최대 19개까지 있었다. 평균 11.52개가 있었다. 아파트 주변 지하철 유무는 평균이 0.08로 나타났다. 아파트 주변 학원 개수는 최소 2개에서 최대 48개까지 있었다. 평균은 33.13개이다.

시점변수는 정책발표 전인 시점1이 평균 0.38로 가장 표본이 많았고 그 뒤를 이어 시점 3(0.37), 시점

2(0.18), 시점 4(0.07) 순으로 나타났다.

지역변수는 내당동이 평균 0.35로 가장 많았고 그 뒤를 이어 중리동(0.27), 평리동(0.27), 비산동(0.09), 원대동 1가(0.02), 원대동 2가(0.01) 순으로 나타났다.

## 5.2 서대구역 개발단계가 주변 아파트 가격에 미치는 영향

본 연구는 OLS 모형 및 공간 시차모형(SLM), 공간 오차모형(SEM)을 실증분석에 사용하였다. 그러나

**Table 4.** The Effect of the Development Process of Seodaegu Station on the Surrounding Apartment Prices

| Variable                   | OLS         |         |  |             |         |  | SLM         |         |  |             |         |  | SEM         |         |  |             |         |  |
|----------------------------|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|
|                            | Linear      |         |  | Semi-Log    |         |  | Linear      |         |  | Semi-Log    |         |  | Linear      |         |  | Semi-Log    |         |  |
|                            | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  |
| Age of Property            | ***-12.12   | 0.73    |  | ***-0.01    | 0.00    |  | ***-11.66   | 0.72    |  | ***-0.01    | 0.00    |  | ***-10.28   | 0.71    |  | ***-0.01    | 0.00    |  |
| Exclusive Private Area     | ***-5.12    | 0.33    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***-5.35    | 0.32    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***-4.85    | 0.32    |  | ***0.00     | 0.00    |  |
| Room                       | ***64.00    | 12.78   |  | ***0.04     | 0.01    |  | ***72.56    | 12.63   |  | ***0.05     | 0.01    |  | ***43.72    | 12.58   |  | ***0.03     | 0.01    |  |
| Bathroom                   | 20.20       | 18.88   |  | 0.01        | 0.02    |  | 23.73       | 18.45   |  | 0.01        | 0.02    |  | ***36.33    | 18.38   |  | 0.02        | 0.02    |  |
| Floor                      | ***6.11     | 0.97    |  | ***0.01     | 0.00    |  | ***6.50     | 0.95    |  | ***0.01     | 0.00    |  | ***6.26     | 0.94    |  | ***0.01     | 0.00    |  |
| Number of Households       | ***0.15     | 0.02    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***0.16     | 0.02    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***0.18     | 0.02    |  | ***0.00     | 0.00    |  |
| Distance Above Average     | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  |
| Bus Stop                   | ***-24.84   | 1.80    |  | ***-0.02    | 0.00    |  | ***-21.66   | 1.78    |  | ***-0.02    | 0.00    |  | ***-21.12   | 1.79    |  | ***-0.02    | 0.00    |  |
| Urban Railway              | ***-58.93   | 17.88   |  | ***-0.06    | 0.02    |  | **-.37.95   | 17.52   |  | **-.0.04    | 0.02    |  | *-32.12     | 18.89   |  | -0.02       | 0.02    |  |
| School                     | ***38.99    | 4.94    |  | ***0.03     | 0.00    |  | ***30.59    | 4.85    |  | ***0.03     | 0.00    |  | ***23.91    | 4.96    |  | ***0.02     | 0.00    |  |
| Academy                    | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  | -           | -       |  |
| Time 2                     | **-.26.52   | 12.00   |  | *-0.02      | 0.01    |  | *-21.05     | 11.74   |  | -0.02       | 0.01    |  | **-.23.06   | 11.66   |  | *-0.02      | 0.01    |  |
| Time 3                     | ***77.96    | 9.62    |  | ***0.08     | 0.01    |  | ***78.46    | 9.40    |  | ***0.08     | 0.01    |  | ***79.17    | 9.35    |  | ***0.08     | 0.01    |  |
| Time 4                     | ***356.75   | 16.96   |  | ***0.31     | 0.02    |  | ***357.85   | 16.58   |  | ***0.31     | 0.02    |  | ***360.40   | 16.49   |  | ***0.31     | 0.02    |  |
| Bisan-dong                 | ***-337.51  | 18.83   |  | ***-0.35    | 0.02    |  | ***-335.79  | 18.45   |  | ***-0.35    | 0.02    |  | ***-342.79  | 18.25   |  | ***-0.36    | 0.02    |  |
| Wondae-dong 1ga            | ***-425.38  | 34.48   |  | ***-0.50    | 0.03    |  | ***-493.41  | 34.24   |  | ***-0.58    | 0.03    |  | ***-468.54  | 34.24   |  | ***-0.54    | 0.03    |  |
| Wondae-dong 2ga            | ***-345.30  | 57.83   |  | ***-0.31    | 0.06    |  | ***-366.06  | 56.63   |  | ***-0.33    | 0.05    |  | ***-283.49  | 56.48   |  | ***-0.25    | 0.05    |  |
| Jungri-dong                | **-.36.31   | 15.30   |  | ***-0.06    | 0.01    |  | ***-40.31   | 15.01   |  | ***-0.07    | 0.01    |  | ***-78.04   | 14.92   |  | ***-0.09    | 0.01    |  |
| Pyeongri-dong              | ***-75.05   | 16.30   |  | ***-0.10    | 0.02    |  | ***-103.62  | 16.17   |  | ***-0.13    | 0.02    |  | ***-107.24  | 15.11   |  | ***-0.12    | 0.01    |  |
| Constant                   | **1,681.42  | 52.87   |  | ***7.57     | 0.05    |  | ***2,061.96 | 74.47   |  | ***10.63    | 0.37    |  | ***1,653.25 | 50.61   |  | ***7.54     | 0.05    |  |
| R-squared                  | 0.63        |         |  | 0.63        |         |  | 0.64        |         |  | 0.65        |         |  | 0.65        |         |  | 0.65        |         |  |
| Log Likelihood             | -10,386.20  |         |  | 699.23      |         |  | -10,358.70  |         |  | 734.79      |         |  | -10,337.05  |         |  | 759.99      |         |  |
| Akaike Infocriterion (AIC) | 20,808.40   |         |  | -1,362.46   |         |  | 20,755.40   |         |  | -1,431.57   |         |  | 20,710.10   |         |  | -1,483.98   |         |  |
| Schwarz Criterion (SC)     | 20,905.20   |         |  | -1,265.71   |         |  | 20,857.50   |         |  | -1,329.44   |         |  | 20,806.90   |         |  | -1,387.22   |         |  |
| Lag Coeff. (Rho)           |             |         |  |             |         |  | -0.41       |         |  | -0.45       |         |  |             |         |  |             |         |  |
| Lambda                     |             |         |  |             |         |  |             |         |  |             |         |  | ***-.0.72   |         |  | ***-0.66    |         |  |
| N                          |             |         |  |             |         |  |             |         |  |             |         |  | 1,596       |         |  |             |         |  |

Note: \*p<0.1, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Moran's I 검정 결과 선형모형과 준 로그모형에서 각각 0.345, 0.375가 나타나 공간적 상관관계가 존재하는 것으로 나타났다. 이에 공간 회귀분석이 적합하다고 판단하였다. 또한, Log Likelihood, AIC, R-Squared를 비교한 결과 세 가지 모형 모두 공간 오차모형(SEM)의 적합성이 더 높게 나타나 공간 오차모형(SEM)을 기준으로 실증분석 결과를 파악하였다. Table 4는 서대구역 개발단계가 아파트 가격에 미치는 영향을 분석한 결과이다. 시점변수에서 시점2(정책발표 후 단계)가 음(-)의 영향을 미쳤다. 이는 정책발표 후 단계일 때 아파트 가격이 낮은 경향이 있음을 나타낸다. 이는 정책이 발표되고 나서 실제로 개발 진행의 불확실성에 대한 우려가 반영된 결과로 예상된다. 시점 3(착공 단계), 시점 4(개통 단계)는 양(+)의 영향을 미쳤다. 이는 착공 단계와 개통 단계였을 때 아파트 가격이 높은 경향이 있음을 나타낸다. 또한, 계수를 확인했을 때 시점 3이 0.08, 시점 4가 0.31로 나타났다. 이는 시간이 지날수록 아파트 가격 상승 폭이 더 증가하는 것으로 볼 수 있다. 해당 결과는 착공 단계에서 앞서 정책발표 후 단계의 불확실성이 해소되고 개통 단계로 시간이 지나면서 긍정적인 영향을 미칠 것에 대한 시장의 기대가 점차 반영된 것으로 예상된다. 이는 서경규 외(2016), 하유진 외(2018)의 연구 결과와 일치한다. 이에 연구가설 1의 “서대구역 개발이 단계별로 진행될수록 주변 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미칠 것”이라는 내용과 부합한다. 아파트 특성에서는 전용면적, 방 개수, 욕실 수, 거래 층수, 해당 면적 세대수가 양(+)의 영향을 미쳤다. 그중 욕실 수는 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 이는 전용면적이 넓을수록, 방 개수가 많을수록, 거래 층수가 높을수록, 해당 면적 세대수가 많을수록 아파트 가격이 높은 경향이 있음을 나타낸다. 아파트 경과 연수는 음(-)의 영향을 미쳤다. 이는 아파트 경과 연수가 높을수록 아파트 가격이 낮은 경향이 있음을 나타낸다. 이러한 결과는 하

유진 외(2018)의 연구 결과와 일치한다. 입지적 특성에서는 아파트 주변 학교 개수가 양(+)의 영향을 미쳤다. 이는 아파트 주변에 학교 개수가 많을수록 아파트 가격이 높은 경향이 있음을 의미한다. 아울러, 아파트 주변 버스정류장 개수 및 아파트 주변 지하철 유무는 음(-)의 영향을 미쳤다. 하지만, 아파트 주변 지하철 유무는 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 이는 아파트 주변 버스정류장 개수가 많을수록 아파트 가격이 낮은 경향이 있음을 나타낸다. 또한, 지역변수에서 모든 변수가 음(-)의 영향을 미쳤다. 이러한 결과는 어느 한 지역에 아파트 가격이 특정되기보다는 전체적으로 봤을 때의 매매가격 변동 때문에 나타난 결과로 예상된다.

### 5.3 서대구역으로부터 거리가 주변 아파트 가격에 미치는 영향

Table 5는 본 연구의 주요 변수인 서대구역에서 아파트까지 거리 평균 이상 및 지역변수에 초점을 맞추어 거리가 아파트 가격에 미치는 영향을 분석하였다. 이는 아파트의 특성 및 입지적 변수에 초점을 맞추기보다 거리와 관련한 변수를 통해 거리가 미치는 영향에 대해서 분석하기 위함이다. 먼저, 주요 변수인 서대구역에서 아파트까지 거리 평균 이상을 살펴보았다. 결과는 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다만, 통계적 유의성은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 서대구역에서 아파트까지 거리가 가까울수록 아파트 가격이 높은 경향이 있음을 알 수 있다. 해당 결과는 하유진 외(2018), 서경규 외(2016)의 연구 결과와 일치한다. 이에 연구가설 2의 “서대구역에서 직선거리가 가까울수록 주변 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미칠 것”이라는 내용과 부합한다. 지역변수에서는 모든 변수가 음(-)의 영향을 미쳤다. 다만, 중리동은 통계적 유의성이 나타나지 않았다. 서대구역과 비교적 가까운 중리동과 평리동이 계수가 각각 -0.05, -0.08로 나타나면서 아파트 가격의

**Table 5.** The Effect of the Distance between Seodaegu Station and Apartments on the Surrounding Apartment Prices

| Variable                   | OLS         |         |             |         | SLM         |         |             |         | SEM         |         |             |         |
|----------------------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
|                            | Linear      |         | Semi-Log    |         | Linear      |         | Semi-Log    |         | Linear      |         | Semi-Log    |         |
|                            | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err | Coefficient | Std.Err |
| Age of Property            | ***-11.43   | 0.74    | ***-0.01    | 0.00    | ***-8.22    | 0.70    | ***-0.01    | 0.00    | ***-9.48    | 0.79    | ***-0.01    | 0.00    |
| Exclusive Private Area     | ***-5.01    | 0.32    | ***0.00     | 0.00    | ***-5.45    | 0.29    | ***0.00     | 0.00    | ***-5.23    | 0.30    | ***0.00     | 0.00    |
| Room                       | ***54.86    | 12.85   | ***0.04     | 0.01    | ***68.81    | 11.67   | ***0.06     | 0.01    | ***55.98    | 12.43   | ***0.05     | 0.01    |
| Bathroom                   | 29.95       | 18.87   | ***0.02     | 0.02    | ***51.05    | 17.10   | **0.04      | 0.02    | ***48.03    | 17.26   | **0.03      | 0.02    |
| Floor                      | ***5.86     | 0.97    | 0.00        | 0.00    | ***6.09     | 0.87    | ***0.01     | 0.00    | ***5.93     | 0.87    | ***0.00     | 0.00    |
| Number of Households       | ***0.12     | 0.02    | ***0.00     | 0.00    | ***0.09     | 0.02    | ***0.00     | 0.00    | ***0.13     | 0.02    | ***0.00     | 0.00    |
| Distance Above Average     | ***-68.31   | 14.75   | ***-0.05    | 0.01    | ***-38.99   | 13.35   | -0.02       | 0.01    | ***-47.66   | 18.07   | -0.01       | 0.02    |
| Bus Stop                   | ***-27.30   | 1.87    | ***-0.02    | 0.00    | ***-18.35   | 1.74    | ***-0.02    | 0.00    | ***-17.49   | 2.62    | ***-0.01    | 0.00    |
| Urban Railway              | **52.87     | 17.82   | ***-0.06    | 0.02    | 10.41       | 16.34   | 0.01        | 0.02    | -18.40      | 29.99   | ***-0.02    | 0.03    |
| School                     | ***44.25    | 5.03    | ***0.04     | 0.00    | ***43.92    | 4.55    | ***0.04     | 0.00    | ***42.62    | 5.70    | ***0.04     | 0.01    |
| Academy                    |             |         |             |         |             |         |             |         |             |         |             |         |
| Time 2                     | **29.15     | 11.93   | **0.02      | 0.01    | **21.92     | 10.80   | -0.02       | 0.01    | **27.11     | 10.61   | **0.02      | 0.01    |
| Time 3                     | ***77.08    | 9.56    | ***0.08     | 0.01    | ***79.72    | 8.65    | ***0.08     | 0.01    | ***82.20    | 8.49    | ***0.08     | 0.01    |
| Time 4                     | ***356.30   | 16.86   | ***0.31     | 0.02    | ***365.30   | 15.24   | ***0.31     | 0.01    | ***366.77   | 14.95   | ***0.32     | 0.01    |
| Bisan-dong                 | ***352.34   | 18.98   | ***-0.36    | 0.02    | ***207.92   | 18.56   | ***-0.20    | 0.02    | ***202.85   | 39.80   | ***-0.18    | 0.04    |
| Wondae-dong 1ga            | ***437.53   | 34.36   | ***-0.51    | 0.03    | ***214.58   | 33.56   | ***-0.25    | 0.03    | ***376.28   | 111.48  | ***-0.48    | 0.11    |
| Wondae-dong 2ga            | ***354.08   | 57.49   | ***-0.32    | 0.06    | **127.79    | 53.48   | -0.06       | 0.05    | **265.47    | 112.02  | **0.27      | 0.11    |
| Jungri-dong                | ***81.71    | 18.09   | ***-0.09    | 0.02    | -27.03      | 16.76   | -0.03       | 0.02    | *53.12      | 30.96   | -0.05       | 0.03    |
| Pyeongri-dong              | ***89.17    | 16.48   | ***-0.11    | 0.02    | ***126.56   | 14.98   | ***-0.13    | 0.01    | ***84.96    | 28.73   | ***-0.08    | 0.03    |
| Constant                   | ***1,747.50 | 54.43   | ***7.61     | 0.05    | ***748.75   | 71.93   | ***2.51     | 0.26    | ***1,508.57 | 79.71   | ***7.37     | 0.08    |
| R-squared                  | 0.63        |         | 0.63        |         | 0.70        |         | 0.70        |         | 0.70        |         | 0.71        |         |
| Log Likelihood             | -10,375.40  |         | 704.58      |         | -10,229.00  |         | 859.89      |         | -10,218.20  |         | 877.97      |         |
| Akaike Infocriterion (AIC) | 20,788.80   |         | -1,371.17   |         | 20,498.00   |         | -1,679.78   |         | 20,474.40   |         | -1,717.95   |         |
| Schwarz Criterion (SC)     | 20,891.00   |         | -1,269.04   |         | 20,605.50   |         | -1,572.28   |         | 20,576.50   |         | -1,615.82   |         |
| Lag Coeff. (Rho)           |             |         |             |         | 0.71        |         | 0.70        |         |             |         |             |         |
| Lambda                     |             |         |             |         |             |         |             |         | 0.93        |         | 0.93        |         |
| N                          |             |         |             |         |             |         | 1,596       |         |             |         |             |         |

Note: \*P<0.1, \*\*P<0.05, \*\*\*P<0.01

하락 폭이 다른 동에 비해 상대적으로 적게 나타났다. 서대구역과 거리가 멀지 않은 곳에 아파트가 있는 비산동이 중리동과 평리동보다 하락 폭이 큰 것은 일반공단에 비하여 악취 및 각종 공해가 상대적으로 더 많이 발생할 가능성이 있는 염색공단이 동네 위치하여 있어 반영된 결과로 예상된다. 또한, 원대동 1가, 원대동 2가는 각각 -0.18, -0.48로 나타났다. 통계적 유의성이 나오지 않았으나 서대구역에서 아파트까지 거리가 멀수록 아파트 가격이 낮은 경향이 있음을 알 수 있다. 또한, 서대구역에서 가장 거리가 먼 원대동 2가가 가장 음의 영향이 크게 미치는 것으로 보아 거리가 영향을 받아 나타난 결과로 예상된다. 해당 결과는 도수관 외(2015)와 서경규 외(2016)의 연구 결과와 같이 역으로부터의 거리가 아파트 가격에 영향을 미칠 가능성이 있음을 나타낸다.

#### 5.4 서대구역 교육환경이 주변 아파트 가격에 미치는 영향

Table 6에서는 아파트 주변 학원 개수 변수에 초점을 맞춰 서대구역 주변 교육환경이 아파트 가격에 미치는 영향을 분석하였다. 주요 변수인 아파트 주변 학원 개수는 양(+)의 영향을 미쳤다. 즉, 아파트 주변에 학원이 많을수록 아파트 가격이 높은 경향이 있음을 나타낸다. 이정국·김주한(2007), 엄근용 외(2006)의 연구 결과와 일치한다. 이러한 결과는 연구가설 3의 “서대구역의 교육환경이 발달할수록 주변 아파트 가격에 양(+)의 영향을 미칠 것”이라는 내용과 부합한다. 또한, 주요 변수로 설정하지 않았지만, 아파트 주변 학교 개수도 양(+)의 영향을 미치는 경향도 나타났다. 즉, 서대구역 인근 아파트 주변에 학교가 밀집될수록 아파트 가격에 높은 경향이 있음을 나타낸다. 이러한 결과는 교육환경 프리미엄이 지역 부동산시장에서도 존재할 가능성이 있다는 것을 보여준다(김경민 외, 2010; 손재영·진영남, 2005; 이규태 외, 2016). 앞서 두 가지 변수를 고려하였을

때 학교가 밀집해 있고 학원이 많을수록 아파트 매매가격이 높은 경향이 있는 것으로 예상된다. 이와 같은 결과는 서대구역 개발을 중심으로 인프라와 환경이 개선되어 새로운 인구들이 유입되면서 교육환경에 대한 중요도가 더욱 올라가 시장에서 민감하게 반영될 수 있음을 예상할 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구는 서대구역 개발이 서구아파트 시장에 미치는 영향 분석을 교육환경을 중심으로 살펴보았다. 본 연구가 진행되는 시점에서 새로 개통된 서대구역 주변의 아파트 가격에 미치는 영향을 분석한 연구는 없는 것으로 확인된다. 또한, 서대구역은 주변은 산업단지로 둘러싸여 있어 아파트가 가까운 거리에 위치하지 않는다. 이에 교통시설과 가까운 거리에 아파트가 위치하여 있는 선행연구들과 차별성을 가진다. 아울러, 이러한 입지적 특성에서 교육환경과 연관을 지어 분석을 진행하기 위해 기존 연구들과 큰 차별성을 제시한다. 본 연구는 서대구역 개발 정책발표 전 단계(2015.05~2015.11) 및 정책발표 후 단계(2015.12~2016.6), 착공 단계(2019.03~2019.09), 개통 단계(2022.03~2022.09)로 나누어 구성한 데이터 및 헤도닉 가격모형, 공간 회귀분석을 사용하여 서대구역 개발이 대구시 서구 아파트 시장에 미치는 영향을 개발단계 및 서대구역으로부터의 아파트 거리, 교육환경을 중심으로 실증분석하였다.

본 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 서대구역의 개발은 단계별로 아파트 가격에 다른 모습으로 영향을 미쳤다. 정책발표 후 단계에서는 공사가 바로 진행되지 않기에 개발이 되는 것에 대한 기대 심리가 아파트 가격에 반영되지 않는 것이 나타났다. 시간이 지나면서 착공 단계와 개통 단계가 되었을 때 아파트 가격 상승 폭이 커지는 것을 발견하였다. 이러한 결과는 서대구역의 개발단계가 아파트 가격에 영향

**Table 6.** The Effect of the Educational Environment Near Seodaegu Station on the Surrounding Apartment Prices

| Variable                   | OLS         |         |  |             |         |  | SLM         |         |  |             |         |  | SEM         |         |  |              |         |  |
|----------------------------|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|-------------|---------|--|--------------|---------|--|
|                            | Linear      |         |  | Semi-Log    |         |  | Linear      |         |  | Semi-Log    |         |  | Linear      |         |  | Semi-Log     |         |  |
|                            | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient | Std.Err |  | Coefficient  | Std.Err |  |
| Age of Property            | ***-12.58   | 0.72    |  | ***-0.01    | 0.00    |  | ***-8.37    | 0.72    |  | ***-0.01    | 0.00    |  | ***-10.33   | 0.81    |  | ***-0.01     | 0.00    |  |
| Exclusive Private Area     | ***-5.18    | 0.32    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***-5.52    | 0.29    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***-5.20    | 0.31    |  | ***0.00      | 0.00    |  |
| Room                       | ***72.46    | 12.60   |  | ***0.05     | 0.01    |  | ***73.25    | 11.56   |  | ***0.06     | 0.01    |  | ***58.62    | 12.37   |  | ***0.05      | 0.01    |  |
| Bathroom                   | 19.41       | 18.54   |  | 0.01        | 0.02    |  | ***46.90    | 17.04   |  | **0.04      | 0.02    |  | **41.60     | 17.13   |  | *0.03        | 0.02    |  |
| Floor                      | ***6.51     | 0.96    |  | ***0.01     | 0.00    |  | ***6.18     | 0.88    |  | ***0.01     | 0.00    |  | ***6.00     | 0.87    |  | ***0.00      | 0.00    |  |
| Number of Households       | ***0.11     | 0.02    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***0.11     | 0.02    |  | ***0.00     | 0.00    |  | ***0.14     | 0.02    |  | ***0.00      | 0.00    |  |
| Distance Above Average     |             |         |  |             |         |  |             |         |  |             |         |  |             |         |  |              |         |  |
| Bus Stop                   | ***-27.28   | 1.80    |  | ***-0.02    | 0.00    |  | ***-16.17   | 1.76    |  | ***-0.01    | 0.00    |  | ***-19.05   | 2.79    |  | ***-0.02     | 0.00    |  |
| Urban Railway              | -17.67      | 18.38   |  | -0.02       | 0.02    |  | 4.01        | 16.84   |  | 0.00        | 0.02    |  | -0.10       | 30.34   |  | 0.01         | 0.03    |  |
| School                     | ***28.69    | 5.03    |  | ***0.02     | 0.00    |  | ***42.59    | 4.67    |  | ***0.04     | 0.00    |  | ***35.01    | 5.61    |  | ***0.03      | 0.01    |  |
| Academy                    | ***4.43     | 0.58    |  | ***0.00     | 0.00    |  | -0.68       | 0.63    |  | 0.00        | 0.00    |  | **2.53      | 1.04    |  | ***0.00      | 0.00    |  |
| Time 2                     | **27.16     | 11.78   |  | **0.02      | 0.01    |  | *20.01      | 10.82   |  | -0.02       | 0.01    |  | ***-27.70   | 10.63   |  | **0.02       | 0.01    |  |
| Time 3                     | ***74.88    | 9.46    |  | ***0.07     | 0.01    |  | ***80.81    | 8.67    |  | ***0.08     | 0.01    |  | ***81.07    | 8.51    |  | ***0.08      | 0.01    |  |
| Time 4                     | ***354.56   | 16.67   |  | ***0.30     | 0.02    |  | ***366.35   | 15.27   |  | ***0.31     | 0.01    |  | ***366.79   | 14.97   |  | ***0.31      | 0.01    |  |
| Bisan-dong                 | ***-276.64  | 20.14   |  | ***-0.29    | 0.02    |  | ***-201.71  | 18.74   |  | ***-0.20    | 0.02    |  | ***-165.65  | 39.71   |  | ***-0.15     | 0.04    |  |
| Wondae-dong 1ga            | ***-317.87  | 36.67   |  | ***-0.39    | 0.04    |  | ***-212.96  | 34.17   |  | ***-0.25    | 0.03    |  | ***-315.44  | 109.39  |  | ***-0.41     | 0.10    |  |
| Wondae-dong 2ga            | ***-280.01  | 57.45   |  | ***-0.24    | 0.06    |  | **121.39    | 53.48   |  | -0.06       | 0.05    |  | **233.23    | 109.47  |  | -0.24        | 0.10    |  |
| Jungri-dong                | 12.81       | 16.34   |  | -0.01       | 0.02    |  | -6.84       | 14.98   |  | -0.02       | 0.01    |  | -33.57      | 30.16   |  | -0.04        | 0.03    |  |
| Pyeongri-dong              | ***-92.97   | 16.18   |  | ***-0.12    | 0.02    |  | ***-117.99  | 14.84   |  | ***-0.13    | 0.01    |  | **68.78     | 28.51   |  | **0.07       | 0.03    |  |
| Constant                   | ***1,570.76 | 53.91   |  | ***7.45     | 0.05    |  | ***678.26   | 70.98   |  | ***2.39     | 0.30    |  | ***1,445.45 | 74.24   |  | ***7.32      | 0.07    |  |
| R-squared                  | 0.64        |         |  | 0.65        |         |  | 0.70        |         |  | 0.70        |         |  | 0.70        |         |  | 0.71         |         |  |
| Log Likelihood             | -10,357.20  |         |  | 732.82      |         |  | -10,232.60  |         |  | 859.31      |         |  | -10,218.85  |         |  | 883.63       |         |  |
| Akaike Infocriterion (AIC) | 20,752.30   |         |  | -1,427.64   |         |  | 20,505.20   |         |  | -1,678.62   |         |  | 20,475.70   |         |  | -1,729.27    |         |  |
| Schwarz Criterion (SC)     | 20,854.50   |         |  | -1,325.51   |         |  | 20,612.70   |         |  | -1,571.11   |         |  | 20,577.80   |         |  | ***-1,627.14 |         |  |
| Lag Coeff. (Rho)           |             |         |  |             |         |  | 0.75        |         |  | 0.76        |         |  |             |         |  |              |         |  |
| Lambda                     |             |         |  |             |         |  |             |         |  |             |         |  | 0.92        |         |  |              |         |  |
| N                          |             |         |  |             |         |  |             |         |  |             |         |  | 1,596       |         |  |              |         |  |

Note: \*P<0.1, \*\*P<0.05, \*\*\*P<0.01

을 미쳤음을 의미한다. 둘째, 서대구역으로부터의 거리는 아파트 가격에 영향을 미쳤다. 상대적으로 서대구역과 가까운 중리동과 평리동의 아파트 가격 하락 폭이 덜한 경향이 나타났다. 또한, 염색공단이 동네에 존재하는 비산동은 중리동 및 평리동과 함께 거리가 서대구역과 가까운 편임에도 불구하고 상대적으로 하락 폭이 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 외부적 요인이 서대구역으로부터의 거리보다 더 중요하게 작용하여 가격에 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 아울러, 서대구역과 가장 거리가 먼 원대동 1가 및 원대동 2가가 가장 아파트 가격 하락 폭이 큰 것으로 나타났다. 즉, 서대구역에서 거리가 가까운 지역이 상대적으로 가격이 높은 것을 알 수 있다. 셋째, 서대구역 주변 교육환경이 아파트 가격에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 아파트 주변의 학원 개수가 많을수록 아파트 가격이 높은 경향이 있음을 확인했다. 이러한 결과는 서대구역 개발을 중심으로 각종 인프라 및 환경의 개선이 되어 새로운 인구 유입이 된다면 교육에 대한 수요가 증가한다면 교육환경이 시장에 민감하게 반영될 수 있음을 시사한다.

본 연구의 한계점을 살펴보았을 때 첫째, 공간적 범위 측면에서 서대구역 주변이 산업단지가 입지했을 뿐 아파트가 존재하지 않아 상대적으로 다른 선행연구들에 비해 공간적 범위를 근접하게 설정하여 분석을 진행하지 못하였다. 또한, 서대구역에서 아파트까지 거리 변수를 서대구역에서 아파트까지 직선거리의 평균인 반경 2.3km로 기준을 잡고, 이상, 미만으로 분석을 진행하였기에 세부적인 거리에 대한 분석을 진행하지 못하였다. 둘째, 연구방법 측면의 한계점은 이중차분법 또는 지리가중회귀모형, 상호작용항의 도입 등과 같은 연구방법을 사용한다면 좀 더 다양한 관점의 연구 결과를 도출할 수 있을 것이다. 셋째, 본 연구에서는 연구 질문에서 다루는 주요 변수를 중심으로 해석을 진행하였기에 모든 영향

요인을 포괄하지 못하다는 한계가 존재한다. 향후 진행될 연구에서 본 연구 결과 해석에서 사용한 변수 이외의 차별성을 가진 영향요인을 사용하여 연구를 진행한다면 풍부한 분석결과를 얻을 수 있을 것이다. 넷째, 본 연구의 시간적 범위가 코로나 19시기를 포함하고 있어 금리 변동 및 부동산 정책 변화 등 아파트 매매시장에 큰 영향을 줄 수 있는 요인들이 다수 존재하였다. 아울러, 코로나 19의 유행이 시작되었던 2020년 이후는 전반적으로 아파트 가격이 상승하고 있던 시기이기에 이러한 외부적 변수들이 고려된다면 더욱 풍부한 연구 결과를 도출할 수 있을 것이다.

서대구역과 같은 광역교통시설은 개발이 진행되었을 때 각 지자체에서 지속적인 관리가 되지 않는다면 교통의 편리로 인해 도시 간 교류가 증대되어 작은 도시의 인구나 경제력을 흡수하는 ‘빨대 효과’를 유발하는 시설로 전락할 가능성이 있다. 현재 우리나라는 지방소멸이 빠르게 진행되고 있다. 이에 효율적인 정책을 수립하여 서대구역과 같은 새로운 교통시설을 지속관리한다면, 인구를 수도권으로 유출되는 것에 대해 대비를 할 수 있을 것이다. 또한, 지방 도시의 경제 활성화를 위해 본 연구의 대상인 서대구역 또는 향후 개발되는 광역교통시설 인근 주민의 자산가치 변화 정도 등과 같은 다양한 관점에서 분석이 이루어진다면 세부적인 정책 시사점을 얻을 수 있을 것이다. 특히, 교육환경은 아파트 시장에서 매우 중요하게 인식되어 아파트 가격에 다양한 모습의 영향을 미치기에, 지역별로 충분한 분석이 이루어진다면 풍부한 정책 시사점을 제시할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. 김경민·이의준·박대권(2010), “초·중·고등학교 수요가 서울시 구별 아파트 가격에 미치는 영향”, 「국토연구」, 65: 99~113.
2. 김성우·정진섭(2010), “주택정책을 위한 헤도닉 모

- 형 평가에 관한 연구: 공간계량모형을 중심으로”, 「정책분석평가학회보」, 20(3): 115~134.
3. 김시은(2023), “도시 대형공원이 인근 아파트 가격결정에 미치는 영향 연구”, 석사학위논문, 건국대학교.
4. 김지민(2022), “교육환경이 아파트 가격형성에 미치는 영향에 관한 실증연구”, 석사학위논문, 건국대학교.
5. 김창훈·박근우·이규태(2018), “동대구 복합환승센터의 개발이 인근 아파트가격에 미치는 영향 분석”, 「대구경북연구」, 17(1): 25~41.
6. 김채만·한아름(2020), “경기도 대중교통 교통비용과 주택가격의 관계에 관한 연구: GTX 개통효과를 중심으로”, 「정책연구」, 1~129.
7. 남형권·서원석(2016), “교육시설 인접성이 아파트 가격에 미치는 공간적 영향분석”, 「부동산연구」, 26(2): 97~109.
8. 도수관·김은지·이규태(2015), “도시철도 역세권과 아파트 가격의 관계분석”, 「한국행정논집」, 27(2): 543~567.
9. 배종찬·정재호(2021), “거시경제와 부동산정책이 서울 아파트가격에 미치는 영향 연구”, 「LHI Journal」, 12(4): 41~59.
10. 서경규·김은지·이규태(2016), “대구도시철도 3호선 건설이 주변지역 아파트가격에 미치는 영향”, 「감정평가학논집」, 15(1): 38~49.
11. 손재영·진영남(2005), “교육환경이 주택가격에 미치는 효과에 관한 실증분석: 서울시 아파트시장을 중심으로”, 「주택연구」, 13(3): 125~148.
12. 신승식(2001), “환경적 재화의 가치평가방법인 헤도닉(Hedonic) 가격모형의 이론적 구성”, 「월간 해양수산」, 197: 1~19.
13. 양성돈·최내영(2003), “한강시민공원이 주변 아파트 가격에 미치는 영향에 관한 연구”, 「국토계획」, 38(3): 275~285.
14. 엄근용·윤충한·임덕호(2006), “교육환경이 아파트 가격에 미치는 영향”, 「경제연구」, 24(4): 99~115.
15. 오주석(2022.12.27), “[영남일보와 함께한 2022년] 대구 서쪽 교통허브로 우뚝...본격적인 ‘서대구역 시대’ 열어”, 영남일보.
16. 오지영·서원석(2023), “공간헤도닉모형을 이용한 일반고 교육성취 특성 및 지역 매개효과에 따른 주택가격 영향”, 「주택연구」, 31(1): 5~24.
17. 이규태·김은지·도수관(2016), “도시철도 건설과 역세권이 아파트가격에 미치는 영향 분석”, 「지역연구」, 32(1): 3~26.
18. 이용만(2008), “헤도닉 가격 모형에 대한 소고”, 「부동산학연구」, 14(1): 81~87.
19. 이재명·김진유(2014), “지하철역이 주변 아파트 가격에 미치는 부정적 영향: 역사(驛舍)의 구조 및 기능별 차별적 영향 분석을 중심으로”, 「주택연구」, 22(2): 55~76.
20. 이정국·김주한(2007), “사교육환경이 주택 가격에 미치는 영향 분석”, 「상업교육연구」, 18: 135~152.
21. 정문오·이상엽(2013), “서울도시철도 접근성에 따른 주택매매가격 변화 연구”, 「부동산연구」, 23(3): 51~77.
22. 통계청(2023), 「2022년 인구주택총조사」, 대전.
23. 하유진·배상영·이상엽(2018), “고속철도 개통이 경기 남부 신도시 공동주택에 미치는 가격영향에 관한 연구”, 「GRI 연구논총」, 20(3): 19~38.
24. Anselin, L. (1988), *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Springer: Berlin.
25. Halvorsen, R. and R. Palmquist (1980), “The Interpretation of Dummy Variables in Semilogarithmic Equations”, *American Economic Review*, 70(3): 74~75.
26. Li, T. and Z. Chen (2022), “The Impact of Transportation Development on Land Price Differences between Cities: Widening or Narrowing?—A Case Study Based on the Provincial Level of Mainland China”, *Growth and Change*, 53(2): 910~932.
27. Rosen, S. (1974), “Hedonic Price and Implicit Market: Product Differentiation in Pure Competition”, *Journal of Political Economy*, 82(1): 34~55.
28. Rosiers, F. D., A. Lagana, and M. Theriault (2001), “Size and Proximity Effects of Primary Schools on Surrounding House Values”, *Journal of Property Research*, 18(2): 149~168.
29. Shi, M., Q. Su, and X. Zeng (2022), “Estimating the Effects of Light Rail Transit (LRT) on Land Price in Kaohsiung Using Geographically Weighted Regression”, *Transportation in Developing Economies*, 8(1): 9.
30. Stakhovych, S. and T. H. Bijmolt (2009), “Specification of Spatial Models: A Simulation Study on

- Weights Matrices", *Papers in Regional Science*, 88 (2): 389~408.
31. Tsutsumi, M. and H. Seya (2008), "Measuring the Impact Of Large-Scale Transportation Projects on Land Price Using Spatial Statistical Models", *Papers in Regional Science*, 87(3): 385~401.
  32. 공공데이터 포털, "소상공인시장진흥공단 상가(상권)정보", 2023.12.1 읽음. <http://www.data.go.kr>.  
Data Potal, "Small Enterprise and Market Service (SEMAS) Commercial District Data", Accessed December 1, 2023. <http://www.data.go.kr>. (in Korean)
  33. 국가통계포털, "아파트 매매 실거래 중위가격", 2024. 5.29 읽음. <https://kosis.kr>
  - Korean Statistical Information Service, "Median Transaction Price for Apartment Sales", Accessed May 29, 2024. <https://kosis.kr>. (in Korean)
  34. 국토교통부, "실거래가 자료", 2023.11.29 읽음. <http://www.molit.go.kr>.  
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Real Transaction Price Data", Accessed November 29, 2023. <http://www.molit.go.kr>. (in Korean)
  35. 네이버부동산, "아파트 단지정보", 2023.12.1 읽음. <https://land.naver.com>.  
Naver Real Estate, "Apartment Complex Information", Accessed December 1, 2023. <https://land.naver.com>. (in Korean)

## 요약

아파트는 주택 종류별 구성비에서 64%를 차지하며 주택 종류 중 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 또한, 이는 매년 비중이 증가하고 있다. 이러한 추세 속에 아파트 가격은 국가 경제와 국민경제에 큰 영향력을 미칠 가능성이 크다. 본 연구는 최근에 개통된 서대구역 개발이 주변 아파트 시장에 미치는 영향에 대해 살펴보았다. 특히, 교육환경이 미치는 영향을 중심으로 연구를 진행하였다. 이를 위해, 국토교통부 실거래가 데이터와 헤도닉 가격모형, 공간 회귀분석을 사용하여 실증 분석한다. 연구 결과, 첫째, 서대구역의 개발은 아파트 가격에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 둘째, 서대구역으로부터 거리가 가까울수록 아파트 가격에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 셋째, 서대구역 교육환경의 발달은 아파트 가격에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 향후 지방에 개발되는 광역교통시설 개발사업 공적관리 및 아파트 가격 동향 예측을 위한 기초자료로 활용되고자 한다.

**주제어:** 아파트 가격, 교육환경, 광역교통시설, 헤도닉 가격모형, 주택시장

## 청년농업인 유형화 및 결정요인 분석

## : 전남 무안군 청년농업인 중심으로\*

## A Study on the Types and Determinants of Young Farmers

## : Focusing on Young Farmers in Muan-gun, Jeollanam-do

이향미\*\* · 김종하\*\*\*

Hyangmi Yi\*\* · Jongha Kim\*\*\*

## Abstract

Based on Muan-gun, Jeollanam-do, this study explores how to mitigate the disappearance of rural areas. The study surveyed 95 young farmers in Muan-gun to assess their farming practices and the challenges they face. We further employ factor analysis and cluster analysis classify young farmers in Muan-gun, facilitating the identification of tailored policies or initiatives aimed at fostering and supporting young farmers. The results are summarized as follows. First, Muan County does not have any ordinances or original projects specifically designed to support young farmers. Second, the succession rate of farmland among young farmers in Muan County is 41.1%, which is comparable to the national rate of 43.7%. This indicates that approximately 40% of young farmers in Korea have inherited farmland, a critical foundation for agricultural activities. Third, despite accumulating farming experience, young farmers have not seen any improvement in local living conditions, and rather their difficulties have intensified. Fourth, this study conducted a factor analysis using 21 variables, resulting in the selection of seven common factors for cluster analysis. Consequently, young farmers in Muan County were categorized into three groups. The multinomial logit analysis revealed that the typology of young farmers is influenced by indicators such as cultivated area, farming experience, demand for smart farms, farm income, and farming type (rice cultivation or other). Therefore, to attract young farmers and prevent the decline of rural areas, policy efforts should focus on minimizing entry barriers to farming infrastructure, such as access to farmland, and improving local settlement conditions.

**Keywords:** Cluster Analysis, Rural Depopulation, Factor Analysis, Youth Farmers

## 1. 서론

우리나라 농촌인구 10명 중 5명은 '노인'으로 농가 경영주의 평균 연령은 2000년 58.3세에서 2022년 68.0세로 지난 20년 동안 9.7세 증가하였다. 2022년

65세 이상 농가 비중은 49.8%로 이 비중은 매년 증가하고 있다. 따라서 이제는 청년농업인 육성과 지원에 대한 필요성과 중요성에 대해 충분한 공감대가 형성되어 있고, 청년농업인 육성을 위해 정부는 후계농업경영인 육성사업, 청년창업형 후계농 영농정

\*이 연구는 한국농어촌공사 농어촌연구원(2023)의 「청년 농업정책 개발 및 미래농업의 발전방안」 연구결과를 활용해 '2024 경제학 공동학술대회'에서 발표한 논문을 수정·보완한 것임.

\*\*한국농어촌공사 농어촌연구원 책임연구원(주저자: yihyangmi@ekr.or.kr)

\*\*\*목원대학교 산학협력단 교수(교신저자: krefkim@mokwon.ac.kr)

착지원사업을 시행하고 있다. 하지만 이 사업들은 중앙 정부에서 추진하고 있어 지역 여건을 고려한 청년농업인을 육성하는 것은 한계가 있다. 우리나라 대표적인 귀농·귀촌플랫폼인 「그린대로」에 총 233개 사업이 ‘청년’을 대상으로 하고 있지만 각 시군별 특성을 고려한 차별성 있는 청년농업인 정책은 매우 부족하고, 일부 광역 지자체에서 자체 지원 사업을 추진하고 있다. 전국에서 경지면적이 가장 넓은 전남<sup>1)</sup>의 자체 사업에는 학사농어업인 육성, 청년 창업 농장 조성사업, 영농승계 청년농 지원사업이 있다. 학사농어업인 육성은 50세 이하인 자 중 2년제 이상 대학 졸업자를 대상으로 1인당 최대 2억 원 용자해준다(도 농어촌진흥기금, 연리 1%). 그리고 청년 창업농장 조성사업은 만 45세 미만 청년(예비)농을 대상으로 신규 시설(하우스, 축사 등) 설치 및 활용 가능한 농업시설물 개보수를 지원한다. 또한 영농승계 청년농 창업지원은 만 18세 이상~40세 미만 도내 청년농업인을 대상으로 승계한 세대의 영농기반을 ICT 등 첨단 시설 장비로 개선하는 기반 조성을 지원한다.

이러한 전남의 사례와 같이 광역 지자체 지원사업에도 불구하고, 시군 단위 기초 지자체의 여건을 고려한 청년농업인 육성 및 정착 지원 사업이 필요하다. 왜냐하면 김기흥(2021), 이항미 외(2023)의 지적처럼 현재 ‘우리’ 지역에 청년농업인이 필요하다는 지역 단위의 공감대 형성이 필요하고, ‘우리’ 지역 청년농업인에게 ‘맞춤형’ 지원을 통해 안정적으로 정착할 수 있는 방안을 모색할 필요가 있기 때문이다.<sup>2)</sup> 일례로 청년농업인들이 영농 진입 시 가장 큰 애로사항인 농지는 지역 시장의 특징이 있어서 결국 청년농업인들의 농지 확보도 지역 여건을 고려해 지원할 필요가 있다. 따라서 시군 단위의 청년농업인

육성 및 정착을 위한 관련 지원 정책 발굴이 필요하고, 이것은 농촌지역 소멸대응 방안 발굴에 활용될 수 있을 것이다. 이러한 맥락에서 본 연구에서는 ‘도농복합 지역’인 전남 무안군을 사례지역으로 선정하였다.

우리나라 226개 지자체 중에서 89개 지자체가 인구감소 지역으로 선정되었다. 이 중에서 전남과 경북이 각각 16곳으로 가장 많다. 반면 전남 무안군은 2020년에 인구소멸지역으로 선정되었지만, 2021년에 삼향읍 남악리와 일로읍 오룡지구 일대에 인구유입이 증가하면서 인구소멸지역에서 제외되었다. 일례로 무안군 인구(한국인)는 2005년 62.3천 명에서 2020년에는 86.1천 명으로 증가하였다. 하지만 이러한 인구는 전남도청 소재지인 삼향읍 남악리와 일로읍 오룡리에서만 증가했을 뿐 그 외 무안군 읍면 인구는 감소하고 있다. 심각한 것은 무안군 농업인구가 2005년 26.0천 명에서 2020년에는 15.2천 명으로 41.5% 감소한 것이다. 그리고 만 39세 이하 청년농업인 비중은 같은 기간 동안 29.2%에서 7.8%로 감소하였다. 반면 60세 이상 농업인 비중은 2005년 40.8%에서 2020년 58.6%로 증가하였다. 따라서 무안군은 신도시 중심으로 인구가 증가하고 있지만, 청년농업인은 매년 감소하고 있어 무안군 농업의 지속성 및 경쟁력 확보를 위해서는 무안군 여건을 고려한 청년농업인 유입 및 영농 정착 방안을 모색할 필요가 있다.

2018년 청년창업형 후계농 영농정착지원사업 전후로 청년농업인 육성 및 지원 관련 연구가 활발히 수행되고 있지만, 대부분 광역 지자체 또는 전국 단위의 청년농업인을 대상으로 하였다. 일례로 신동철·강두현(2023)은 도내 4-H 연합회 소속 청년농업인(64명), 정재원 외(2020)는 도내 청년창업형 후

1) 전남 경지면적은 전국에서 가장 많은 총 281,078ha 전체 경지면적의 약 18.2%를 차지한다(2021년 기준).

2) 이현정(2020)의 연구결과 거주지역에 따라 세대 간에 교육수준, 주거수준 등이 다르다. 따라서 실제 시군 단위 기초 지자체 수준에서 청년농업인 대상 맞춤형 정책 발굴이 필요하다.

계농 영농정착지원사업 선정자와 4-H 연합회 소속 청년농업인(167명), 배균기 외(2021)는 도내 청년창업형 후계농 영농정착지원사업 선정자(957명) 대상으로 영농정착 과정 등을 살펴보았다. 전국 청년농업인 대상으로 한 연구는 주로 설문조사를 실시하였다.<sup>3)</sup> 먼저 전국의 청년창업형 후계농 영농정착지원사업 선정자를 대상으로 영농실태와 애로사항을 조사한 연구는 이항미(2019b), 석다솜 외(2022)가 있다. 이항미(2019b)의 조사결과, 농지확보로 영농부채가 있는 경우 비농업진흥지역 농지 수요가 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서는 향후 청년후계농의 농지 수요에 대응하고, 무분별한 농지 전용 등을 방지하기 위해서는 지역 내 경영체 육성 방안 수립과 함께 중장기적인 농지이용계획 수립을 제안하였다. 석다솜 외(2022)의 조사결과, 전국의 청년농업인은 환금성이 높고, 조성비용이 크지 않은 채소류를 가장 많이 재배하고 있어, 이 연구에서는 청년농업인 중 창업농에 대한 추가 지원 또는 정책자금 상환 유예가 필요하다고 제안하였다.

그리고 전국 4-H 소속 청년농업인 대상으로 조사한 연구에는 박용규 외(2023), 안다섬 외(2022)가 있다. 박용규 외(2023) 조사결과, 농업을 직업으로 선택하는 내재적 요인이 직무만족에 긍정적 영향을 미치기 때문에, 예비 청년농업인을 위한 적성과 흥미를 고려한 콘텐츠 개발이 필요하다고 제안하였다. 안다섬 외(2022) 조사결과, 청년농업인이 지역사회 활동을 할 경우 사회적 스트레스가 낮기 때문에, 이 연구에서는 청년농업인 네트워크 지원과 기존 동아

리 사업 및 품목별 네트워크 강화가 필요하다고 제안하였다. 한편 정하나(2022)는 전국 청년농업인 16명 대상으로 농촌 지역사회 진입·적응 과정을 살펴보았다. 조사 결과, 부모의 사회자본이 청년농업인의 지역사회 진입이나 적응에 긍정적인 영향을 미치고 있고, 농촌에서 부모의 사회자본은 지원 사업에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 이 연구에서는 창업농을 위한 사회적 지원과 교육 관리가 필수라고 제안하였다.

이와 같이 청년농업인을 대상으로 한 연구들은 대부분 광역 지자체 또는 전국을 연구지역으로 표집해 청년농업인의 영농지역 여건을 고려한 정책 및 사업 발굴은 매우 부족한 실정이다. 현재 「농가 및 어가경제조사」에서 농가유형은 농업종사일수와 농업총수입을 기준으로 ‘전업농가’, ‘겸업농가’로 분류하고, 경지규모와 농업총수입을 기준으로 ‘주업농가’, ‘부업농가’, ‘자급농가’로 구분하고 있다. 그리고 청년농업인에 관한 기존 연구들은 청년농업인 유형을 승계농, 독립창업농으로만 구분하고 있어,<sup>4)</sup> 영농 여건을 고려한 청년농업은 유형화가 매우 부족하다.

따라서 석다솜 외(2022) 지적처럼 현재 정부 지원 정책은 창업농업인과 후계농업인을 단순히 구분해 지원하고 있어, 이를 세분화할 필요가 있다. 이를 위해서는 먼저 청년농업인에 관한 기존 규정된 구분과 기준이 기초 지자체인 시군 단위 청년농업인의 모습을 제대로 반영할 수 있는지 검증이 필요하다. 왜냐하면 정세정 외(2020)의 지적처럼 지역 인구 변화에 따라 새롭게 등장하는 정책 사안을 신속하게

3) 물론 농림어업총조사(정용경 외, 2019; 이항미, 2019a), 농업인복지실태조사(최정신 외, 2018)를 활용한 청년농업인 대상 연구도 있다. 하지만 이러한 2차 자료를 이용한 연구들은 청년농업인들의 영농 애로사항 등을 면밀하게 살펴보는 데에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 직접 청년농업인 대상으로 1차 자료를 취득한 선행연구들을 검토하였다.

4) 이항미 외(2018)는 청년후계농의 농지은행 농지수요 및 경영면적 확대 여부, 개인특성 유형에 따라 구분하였지만 영농승계 자산(예: 농지)은 고려하지 못했다. 석다솜 외(2022)는 청년창업농과 후계농업인으로 구분하였지만, 청년농업인 특징을 나타내는 다양한 변수들을 이용해 이들의 유형화를 하지는 못했다. 한편 마상진(2018)은 귀농귀촌 동기 유형에 따라 은퇴전원형, 대안가치형으로 구분하였지만, 이러한 구분은 귀농귀촌인들을 대상으로 해 청년농업인 유형화에 활용하는 것은 한계가 있다. 그리고 강해정(2007)은 전국 농업인 유형을 쌀 전업농, 원예전업농, 축산전업농 등 6가지 유형으로 구분하여 기초 지자체 청년농업인에 적용하는 것은 한계가 있다.

파악하여 체계적으로 정책을 세워 대응해야 하기 때문이다. 즉 지역 내 청년농업인 중심의 지역 여건을 고려해 지역 현안에 적극 대응할 수 있는 지역 정책 수립 및 추진이 필요하기 때문이다.

이러한 맥락에서 본 연구에서는 도농복합 지역의 특징이 있는 무안군 청년농업인들의 유형화 및 각 유형별 결정요인을 실증분석하고, 기존 연구들에서 구분한 청년농업인 유형화가 지역 여건을 반영하지 못함을 밝히고자 한다. 그리고 분석결과를 바탕으로 농촌지역 소멸 대응을 위한 청년농업인 육성과 정착을 위한 관련 정책 및 사업을 제안하고자 한다. 이러한 분석결과는 무안군과 유사한 특징이 있는 지역의 청년농업인 영농활동에 대한 진입장벽을 낮추고, 아울러 정주여건을 개선할 수 있는 정책 및 사업 발굴에 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 전남 무안군 청년농업인 현황 및 관련 지원 사업

무안군 가구는 1990년 22,300호에서 2021년 42,739호로 지난 30여년 동안 91.7% 증가하였다(연간 증가율 3.1%). 그리고 같은 기간 동안 무안군 인구는 2.3% 증가하였다. 2022년 말 기준으로 무안군 인구는 9만 6백 명이다. 「지방자치법」에 따르면 인구 5만 이상의 도시 형태를 갖춘 지역이 있는 군은 ‘도농(都農) 복합형태의 시’로 정의되고 있는데, 이 기준에 따르면 무안군은 도농복합 지역으로 구분할 수 있다.

이러한 무안군 인구 증가에도 불구하고, 대부분 인구는 전남도청이 소재한 신도시(일로읍, 삼향읍)에 전체 인구의 63%가 거주하고 있고, 다른 읍면의 인구는 감소하고 있다. 특히 무안군 농가수는 2000년 11,972호에서 2021년 7,043호로 41.1% 감소하였고(연간 감소율 1.9%), 같은 기간 동안 농가인구는 32,249명에서 14,154명으로 56.1% 감소하였다(연

간 감소율 2.6%). 무안군 청년농업인(20대~30대) 비중은 2000년 47.4%에서 2020년 17.8%로 급격하게 감소하였다. 이와 같이 무안군 농가인구의 지속적인 감소는 결국 무안군 농촌지역 소멸로 이어질 수 있기 때문에 무안군 농촌지역 재생산을 위해서는 청년농업인 유입과 정착을 위한 “무안군 지역 맞춤형 농업정책 개발과 신규 사업”을 모색할 필요가 있다.

그리고 무안군에는 청년창업형 후계농 영농정착 지원사업으로 2023년까지 총 152명이 선정되었다(이하 무안군 청년후계농). 연간 약 20여명 정도 선정되었는데, 2023년에는 2배 증가한 42명이 선정되었다. 무안군 청년후계농의 약 70%는 귀농하였는데, 이들의 영농기반 승계 비율은 20% 남짓에 불과하다. 따라서 무안군 청년후계농의 대부분은 영농기반을 스스로 갖춰야 하는 실정이다. 심각한 것은 무안군 청년후계농 중 독립경영 경험이 없는 ‘독립 예정자’ 비중이 매년 증가하고 있다. 일례로 2018년 무안군 청년후계농 중 독립 예정자는 22.2%에 불과했지만, 2023년에는 무려 52.4%로 증가해 전체 청년후계농의 약 1/2는 독립경영 경험이 없다(Table 1 참조).

이와 같이 무안군 청년후계농의 1/2 이상이 영농 경험이 없는 독립예정자이기 때문에, 이들이 안정적으로 무안군 농촌에 정착해 영농규모를 확대할 수 있도록 정책적 지원이 필요하다. 그리고 이 사업으로 선정되지 못한 무안군 내 청년농업인들도 지속적으로 영농에 종사할 수 있도록 자체적인 신규 사업 발굴이 필요하다.

현재 무안군의 청년농업인 대상 지원 사업은 대부분 귀농·귀촌 사업에 집중되어 있다. 지역별 귀농·귀촌 관련 지원 사업을 검색할 수 있는 「그린대로(<https://www.greendaero.go.kr>)」에서 무안군의 청년농업인 대상으로 총 12개 사업이 있다. 하지만 이 사업들 중에서 청년농업인 연령을 기준으로 지원하

**Table 1.** Farmers Selected for Young Farmer Project in Muan

Unit: Person, %

| Classification               | 2018             | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|
| Selected Person              | 18.0             | 24.0 | 20.0 | 21.0 | 27.0 | 42.0 |
| Independent Management Ratio | 1 Year           | 61.0 | 29.2 | 15.0 | 19.1 | 44.4 |
|                              | 2 Years          | 11.1 | 20.8 | 25.0 | 4.8  | 14.8 |
|                              | 3 Years          | 5.6  | 4.2  | -    | 9.5  | -    |
|                              | Planning to Farm | 22.2 | 45.8 | 60.0 | 66.7 | 40.7 |
| Return to Farming Ratio      | 77.8             | 70.8 | 65.0 | 66.7 | 70.4 | 73.8 |
| Succession Farming Ratio     | 16.7             | 12.5 | 10.0 | 23.8 | 11.1 | 23.8 |

Note: Disclaimers and non-qualified persons are excluded from the analysis

Source: Internal data of Korea Rural Community Corporation

는 사업은 청년후계농 영농정착지원사업, 청년창업 농 경영실습 임대농장 조성사업 밖에 없다. 하지만 이 사업들은 전국에서 시행되고 있는 사업으로, 무안군 자체적으로 지역 청년농업인 대상 지원 사업은 아직까지 없다. 그 외 사업들은 귀농·귀촌인 대상으로 65세 이하인 자를 대상으로 하거나(귀농창업활성화 지원, 귀농인 정착지원, 귀농인 농가주택 수리비 지원, 무안군 체류형 귀농인의 집 입소교육생), 아예 연령 제한없이 무안군으로 귀농 또는 귀촌하는 자들을 대상으로 지원한다.

따라서 아직까지 무안군에서 ‘청년농업인’만을 대상으로 하는 독자적인 사업은 매우 부족하기 때문에, 청년농업인 대상으로 무안군의 독자적인 지원 사업 발굴 및 추진이 필요하다. 한편 무안군의 스마트농업 관련 지원 사업은 단기간 지원이 대부분이다. 일례로 단동하우스 보급형 스마트팜 단지화 시범사업(2019~2022년)으로 농가 18곳이 지원받았다. 이 사업은 전남농업기술원 시범사업으로, 평균 지원면적은 약 0.2ha(600평), 농가당 지원 사업비는 약 1천만 원에 불과하다. 첨단 스마트팜 모델 구축 시범사업(2020~2021년)으로 3농가가 지원받았다. 이 사업의 평균 지원면적은 약 0.5ha(1,500평), 농가당 지원 사업비는 약 1.4천만 원이다. 그리고 스마트농업 이용 청년 영농단을 육성하는 ‘청년스마트 영농단

육성사업’도 예산 부족으로 인해 2024년부터는 사업비가 전액 삭감되었다.

### 3. 분석모형 및 자료

본 연구에서는 무안군 청년농업인들의 영농실태와 애로사항 등을 살펴보고, 지속적인 영농 종사를 위한 정책 수요 등을 파악하기 위해 현재 무안군에 주소지를 두고 영농에 종사하고 있는 청년농업인을 연구 대상으로 선정하였다. 다만, 무안군 청년농업인의 모집단을 명확하게 규정할 수 없어 무안군 농업기술센터와 각 읍면의 협조를 받아 표집틀을 구축하였다. 조사 시기는 2023년 10월 12일~12월 12일 까지 약 2개월이다. 본 연구의 조사에 총 95명의 무안군 청년농업인이 참여하였다. 이들의 평균 연령은 30.4세이고, 남자가 77.9%이다. 평균 영농경력은 4.8년이고, 대부분 농업경영체DB에 등록하였다(등록율 82.0%). 무안군 청년농업인의 약 50.0%는 무안군이 고향이고, 30.4%는 무안군 출신으로 직장이나 학교 졸업 후 무안군으로 귀농하였다. 무안군 청년농업인의 19.6%만 타 지역 출신으로 무안군에 귀농하였다. 이와 같이 무안군 청년농업인들은 대부분 무안군 출신이어서, 무안군 이외 지역에서 귀농한 청년농업인들이 정책에서 소외되지 않고, 무안군에

서 영농에 정착할 수 있도록 다각적인 지원이 필요하다.

무안군 청년농업인의 52.6%는 노지 밭작물을, 44.2%는 논벼를 재배하고 있다. 그리고 축산을 하고 있는 청년농업인은 22.1%, 논 타작물은 20.0%, 시설원예는 11.6%, 과수 재배는 5.3%이다. 이들의 평균 경작 면적은 1.86ha이고, 임차지 비중은 36.4%이다. 이것은 전국 청년농업인의 평균 임차지 비중 50.3%보다는 낮다(이항미 외, 2022). 한편 무안군 청년농업인 51.4%의 농가소득은 4천만 원 미만이고 1억 원 이상 고소득을 올리고 있는 청년농업인은 0.9%, 아직까지 농가소득이 없는 청년농업인도 8.6%이다. 한편 무안군 청년농업인의 59.7%는 농사일에만 종사하는 전업농이고, 농업수입이 농외소득보다 적은 2종 겸업농은 21.7%, 농업수입이 농외소득보다 많은 1종 겸업은 18.4%이다.

무안군 청년농업인의 73.6%는 계속 무안군에서 영농에 종사할 의향이 있다. 따라서 무안군 청년농업인의 26.4%는 언제든 여건만 되면 무안군 이외의 지역으로 영농지역을 변경할 수 있기 때문에, 이들이 무안군에서 지속적으로 영농에 종사할 수 있도록 다각적인 지원이 필요하다. 그리고 청년농업인이 영농에 종사하기 위한 가장 기본적인 영농기반은 농지인데, 본 연구의 조사결과 농지만 승계받은 청년농업인은 24.2%, 농지+농기계 승계농 7.4%, 농지+농기계+주택 승계농 7.4%로 주로 영농기반은 농지를 중심으로 승계받았고, 주택만 승계받는 경우는 없다. 평균 농지 승계 면적은 2.1ha이다.

그리고 본 연구에서는 무안군 청년농업인 주요 특징을 이들의 유형화에 활용하였다. 또한 각 변수들로부터 전체변동의 어느 정도 수준을 설명하는 수준에서 주요한 인자를 선정하고, 이를 위해 고유치(eigen value)가 1 이상인 인자들만을 선정하였다. 인자추출 시 인자축을 직각회전하는 베리맥스(varimax) 회전법을 사용해 특정 변수가 어떤 요인에 의

해 설명되는지를 파악하였다. 한편 고유치가 일정수준을 넘는 공통인자가 선정되면 공통인자와 일차변수와의 관계를 나타내는 인자부하행렬을 통해 각 인자별 득점(factor score)을 구하였다. 그리고 공통인자가 만든  $n$ 차원 직교공간상의 인자특징에 따라 청년농업인이 위치하도록 해서 이들을 유형화한 군집분석을 실시하였다. 그리고 본 연구에서는 두 개의 군 간의 거리 중앙값 차이를 최소화하는  $k$ -median 비계층적 분류법을 활용하였다.

한편 본 연구에서는 지역별 청년농업인 유형화(군집) 결정요인을 살펴보기 위해 식 (1)과 같이 다범주 단순로지스틱 모형을 이용하였다(Greene, 2018). 만약 청년농업인 유형이  $k$ 개가 있고, 제1유형을 기준범수로 설정하면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $x_j$ 는 독립변수이고,  $\beta_m$ 은 추정계수이다. 그리고 식 (1)의 추정은 식 (2)의 로그우도함수를 극대화하여 이루어진다. 식 (2)에서  $w_j$ 는 농가가  $j$ 유형을 선택하였을 때 1이고, 나머지는 0이다. 최우추정으로 식 (1)의  $\beta_m$ 을 구할 수 있다.

한편 각 청년농업인 유형 선택에 미치는 변수들의 영향력은 식 (3)과 같이 한계효과로 살펴보았다. 이것은  $x_j$ 가 한 단위 변화할 때 청년농업인의 유형 결과로 나타날 선택확률의 변화이다.

$$p_{ij} = \Pr(y_j = i) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \sum_{m=2}^k \exp(x_j \beta_m)}, & \text{if } i = 1 \\ \frac{\exp(x_j \beta_i)}{1 + \sum_{m=2}^k \exp(x_j \beta_m)}, & \text{if } i > 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\ln L = \sum_j w_j \sum_{i=1}^k I_i(y_j) \ln p_{ik} \quad (2)$$

$$\frac{\partial p_{ij}}{\partial x_j} = \beta_m p_{ij} (1 - p_{ij}) \quad (3)$$

## 4. 실증분석 결과

### 4.1 무안군 청년농업인의 영농 실태

Table 2에서와 같이 무안군 청년농업인들의 평균 경작면적은 1.86ha이고, 대부분 5년 이내 영농규모 확대 의향이 있다(영농규모 확대 의향 95.1%). 이러한 영농규모 확대는 영농소득 향상을 위해(48.7%), 주 작목 생산규모를 늘리기 위해(23.1%), 생산 품목 다양화를 위함(18.0%)이다. 그리고 Table 3에서와 같이 무안군 청년농업인의 50.5%는 주요 영농기반을 승계받지 못했다. 한편 무안군 청년농업인들이 영농시작할 때 가장 큰 애로사항은 ICT 기기 운영과 분석 능력(3.61점), 영농소득(3.53점), 영농자금(3.45점) 순이다(Table 4 참고). 따라서 청년농업인들이 영농시작할 때 ICT 기기 운영과 농가소득에서 어려움을 겪은 것을 알 수 있다. 반면 의료시설이나 가족의 이해, 영농지역 선택 등은 영농 시작할 때 어렵지 않은 것으로 나타났다. 그리고 현재 가장 큰 애로사항은 재배품목 선택(3.32점), 가족이해(3.28점), 시설투자 자본 확보(3.27), 영농소득(3.20) 순이다. 따라서 본 연구에 참여한 무안군 청년농업인들의 영농경력이 쌓였음에도 불구하고 영농지역 선택, 가족의 이해, 주택확보, 자녀 보육이나 학원 시설, 의료 시설, 재배품목 선택, 농작물 판로 확보 등의 어려움은 심화되고 있다.

본 연구에 참여한 무안군 청년농업인들은 대부분 정부 지원사업을 신청하지 않았다(알지 못해 신청하지 못하는 경우 포함).<sup>5)</sup> 농업인 대학과 청년창업형 후계농 영농정착지원사업을 신청해서 선정된 청년농업인은 각각 10.6%, 26.6%에 불과하다(Table 5).

이 외의 무안군 청년농업인 대상 지원사업에 대한 인지도 및 사업 신청은 매우 저조한 것으로 나타났

다. 한편 무안군 청년농업인들은 무안군의 청년농업인 대상 지원 사업에 대해 대부분 중요하다고 인식하고 있고, 청년창업형 후계농 영농정착지원사업과 귀농인 정착 지원 사업의 중요도는 각각 3.89점, 3.70점으로 가장 높게 나타났다. 이어서 신규농업인 현장실습교육지원(3.69점), 귀농창업 및 주택구입 지원 사업(3.65점) 순으로 중요하게 인식하고 있다. 다만, 무안군 체류형 귀농인의 집 입소교육생 모집에 대한 중요도는 2.76점으로 가장 낮게 나타났다. 이러한 조사결과는 무안군 청년 농업인들은 대부분 고향 출신으로, 지역 내 거주공간이 확보되었기 때문인 것으로 사료된다.

그리고 본 연구에 참여한 청년농업인의 52.2%는 향후 스마트농업 도입 의향이 없다. 따라서 무안군 청년농업인 스마트농업 도입 의향은 47.8%에 불과한데(Table 6 참조), 이것은 우리나라 청년후계농의 스마트농업 도입 수요 79.0%(이향미, 2023)에 비해 낮다. 이러한 조사결과는 무안군 청년농업인들의 주요 재배작물이 논벼, 노지 밭작물 등 노지 재배 중심이기 때문에, 시설재배 중심의 스마트농업 도입 수요가 낮은 것으로 사료된다.

### 4.2 무안군 청년농업인 유형화와 결정요인

본 연구에서는 무안군 청년농업인 유형화를 통해 농촌소멸 대응 방안을 탐색하기 위해 무안군 청년농업인들의 인구통계학적 변수(Table 2, Table 3), 영농 및 지역 생활 애로사항 변수(Table 4)를 활용하였다. 먼저 전문가 자문회의를 통해 무안군 청년농업인 인구통계학적 변수 중 농가소득, 무안군 출신여부, 농지상속 여부 변수를(총 3개), Table 4의 애로사항 변수(총 18개)를 활용하였다.

이러한 총 21개 변수를 활용해 요인분석과 군집분

5) 본 연구의 조사결과, 무안군 청년농업인 대상 사업 중 약 1/2는 해당 사업을 몰라 신청하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 청년농업인들이 정책 지원 사업에 관한 정보를 쉽고, 빠르게 제공받을 수 있도록 행정 기관의 적극적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

**Table 2.** Characteristics of Farming in Young Farmers in Muan

| Classification                         |  | Mean   | Min | Max | Note                    |
|--|--|--------|-----|-----|-------------------------|
| Age                                    |  | 30.368 | 20  | 42  | Age                     |
| Gender                                 |  | 0.779  | 0   | 1   | Male = 1, otherwise = 0 |
| Home Town                              | Continue Farming in Hometown             | 0.500  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Returning to Farming from Another Region | 0.196  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Returning to Farming from Hometown       | 0.304  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Agriculture Career                       | 4.755  | 0   | 23  | Year                    |
| Cultivation Area                       |  | 1.864  | 0   | 17  | ha                      |
| Share of Leases in the Total Area      |  | 0.364  | 0   | 1   | %                       |
| Agricultural Management Database       |  | 0.820  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
| Crops                                  | Rice                                     | 0.442  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Cultivation of Crops in Rice Paddies     | 0.200  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Field Crops in the Open Field            | 0.526  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Horticulture of Facilities               | 0.116  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Fruits                                   | 0.053  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Animal Husbandry                         | 0.221  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Other Crop Farming                       | 0.032  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Nothing                                  | 0.086  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
| Farm Household Income (In Million won) | Less than 10                             | 0.161  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 10 to 20                       | 0.107  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 20 to 30                       | 0.150  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 30 to 40                       | 0.096  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 40 to 50                       | 0.021  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 50 to 60                       | 0.118  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 60 to 70                       | 0.004  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 70 to 80                       | 0.005  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 80 to 90                       | 0.004  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Less than 90 to 100                      | 0.002  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | More than 100                            | 0.009  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Full-Time Farmer                         | 0.597  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
| Types of Farming                       | First Part-Time Farmer                   | 0.184  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Second Part-Time Farmer                  | 0.217  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Continue Farming in Muan                 | 0.736  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
| Farm Business Plan                     | Not Farming                              | 0.077  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | Farming in Other Areas                   | 0.044  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |
|  | No Plans Yet                             | 0.143  | 0   | 1   | Yes = 1, otherwise = 0  |

**Table 3.** Succession of the Farming Foundation of Young Farmers in Muan

| Category  | Farm Land | Farmland+ Agricultural Machinery | Farmland+ Agricultural Machinery+ Housing | Farmland+ Housing | Agricultural Machinery | Agricultural Machinery+ Housing | Nothing |
|-----------|-----------|----------------------------------|---|-------------------|------------------------|---------------------------------|---------|
| Ratio (%) | 24.2      | 7.4                              | 7.4                                       | 2.1               | 5.2                    | 3.2                             | 50.5    |

**Table 4.** Changes in Agricultural and Regional Difficulties<sup>6)</sup>

Unit: Average Score

| Classification                             | Start (A) | Now (B) | Difference (A-B) |
|--|-----------|---------|------------------|
| Securing Farmland                          | 3.30      | 3.06    | 0.24             |
| Farm Funds                                 | 3.45      | 3.08    | 0.37             |
| Capital Invested in Facilities             | 3.34      | 3.27    | 0.07             |
| Farming Skills                             | 3.20      | 3.02    | 0.18             |
| Ability to Operate and Analyze ICT Devices | 3.61      | 3.20    | 0.41             |
| Acquisition of Agricultural Expert         | 3.15      | 2.98    | 0.17             |
| Knowledge of Farm Management Analysis      | 3.31      | 3.16    | 0.15             |
| Agricultural Consultation                  | 3.31      | 3.10    | 0.21             |
| Selection of Farming Areas                 | 2.65      | 2.79    | -0.14            |
| Family's Understanding                     | 2.61      | 3.28    | -0.67            |
| Securing Housing                           | 2.58      | 2.88    | -0.30            |
| Securing Child Care Facilities             | 2.93      | 3.15    | -0.22            |
| Children Support Facility                  | 2.98      | 2.98    | 0.00             |
| Medical Facility                           | 2.36      | 3.00    | -0.64            |
| Community Engagement                       | 3.18      | 2.98    | 0.20             |
| Select Cultivation Items                   | 2.75      | 3.32    | -0.57            |
| Securing Markets For Crops                 | 2.93      | 2.97    | -0.04            |
| Farming Income                             | 3.53      | 3.20    | 0.33             |

Note: 'The 'average score' measures the difficulties of each item as 5 points on the Likert scale (very difficult = 5 points, difficult = 4 points, normal = 3 points, not difficult = 2 points, not difficult at all = 1 point)

석을 실시하였다. 이를 위해 먼저 변수들의 측정 정도가 달라 변수들을 표준화하였다. 그리고 군집분석 시 변수들을 그대로 활용하지 않고 주성분 분석을 통해 얻어진 인자특점을 활용하였고, Kaiser-Meyer-Olkin(KMO) 검정과 Marttlet 구형성 검정을 통해 주성분 분석의 필요성을 검토하였다. 분석결과, KMO값은 0.561, Bartlett의 구형성 검정 결과 유의확률은 0.000으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 수집한 변수들을 대상으로 주성분 분석이 적합하고, 각

변수간 공통인자가 존재하는 것을 알 수 있다.

요인분석결과, 고유치가 1.0 이상인 공통인자는 7개로 추출되었고, 이 7개 공통인자의 누적 기여율은 72.5%이다. 즉 청년농업인 유형화를 위해 활용 가능한 21개 변수의 72.5%는 7개 공통인자로 나타낼 수 있다. Table 7은 추출된 인자들에 대한 부하량을 나타낸 것이다.

제1인자는 자녀 학원 시설 0.80, 지역사회 참여 0.78, 자녀 보육 시설(유치원 등) 0.76, 의료 시설

**Table 5.** Application and Importance of Support Project for Young Farmers

Unit: %, Average Score

| Classification   | Application of Support Project for Young Farmers |       |              |          | Importance |
|--|--|-------|--------------|----------|------------|
|  | Not Apply  |       | Apply        |          |            |
|  | Unknown  | Known | Not Selected | Selected |            |
| Recruitment of Stay-At-Home Trainees for Returnees                           | 50.0   | 45.7  | 4.3          | 0.0      | 2.76       |
| Support for Agricultural Start-ups and Housing Purchases                     | 45.1   | 48.4  | 4.3          | 2.2      | 3.65       |
| Support for Mentoring to Return to Farming and Rural Areas                   | 41.4   | 53.2  | 4.3          | 1.1      | 3.45       |
| Support for Invitation Events for Neighbors Who Return to Farming or Fishing | 47.3   | 50.5  | 2.2          | 0.0      | 2.97       |
| Support for the Repair of Farmhouses for Returnees                           | 46.2   | 49.5  | 3.2          | 1.1      | 3.57       |
| Supporting the Revitalization of Return-To-Farm Organizations                | 50.5   | 48.4  | 0.0          | 1.1      | 3.41       |
| Supporting the Settlement of Returnees                                       | 45.1   | 49.5  | 4.3          | 1.1      | 3.70       |
| Support Online Sales of Farm Products for Returnees                          | 53.8   | 43.0  | 3.2          | 0.0      | 3.53       |
| Supporting the Revitalization of Return-To-Farm Start-ups                    | 55.9   | 44.1  | 0.0          | 0.0      | 3.38       |
| Farmers’ University in Muan  | 36.2   | 52.1  | 1.1          | 10.6     | 3.55       |
| Support for Field Training for New Farmers                                   | 48.4   | 46.3  | 4.2          | 1.1      | 3.69       |
| Youth Start-up Farm Management Practice Rental Farm                          | 44.2   | 48.4  | 4.2          | 3.2      | 3.55       |
| Support for Settlement of Succession Farming in the Youth Start-up Type      | 28.7   | 42.6  | 2.1          | 26.6     | 3.89       |
| Pilot Project of Single-Span Greenhouse’s Entry-Level Smart Farm Complex     | 52.1   | 45.7  | 1.1          | 1.1      | 3.50       |
| Pilot Project of Smart Farm Model Construction                               | 49.5   | 46.3  | 4.2          | 0.0      | 3.54       |
| Pilot Project of Smart Farming Model for Field Crops and Garden              | 55.7   | 43.2  | 1.1          | 0.0      | 3.46       |

Note: The 'Importance' of each item is measured by 5 points on the Likert scale (Very important = 5 points, important = 4 points, normal = 3 points, insignificant = 2 points, not significant at all = 1 point)

0.75, 영농소득 0.50 등으로 지역 생활 여건을 나타내는 변수와 상관관계가 있다. 따라서 이 제1인자는 지역 생활 여건 지표이다. 제2인자는 농장경영분석 지식 0.82, 농업 전문가 확보 0.71, 상담 창구 확보

6) 영농경력이 쌓였음에도 불구하고, 여전히 영농 및 지역생활 어려움이 지속되는 것은 단순히 구조화된 설문지를 활용한 조사보다는 심층면담(indepth-interview)을 통해 살펴보고, 혼합 연구 방법을 통해 종합적으로 살펴볼 필요가 있다. 따라서 후술하는 무안군 청년농업인 유형별 영농 실태 차이와 그 원인은 추후 연구과제로 남겨둔다.

**Table 6.** Intent to Introduce Smart Agriculture within the Next 5 Years

Unit: %

| Classification  | Ratio |
|---|-------|
| Maintain Both Smart Farm Facilities and Area                        | 4.4   |
| Smart Farm Facilities Will Be Expanded and Areas Will Be Maintained | 4.4   |
| Maintaining Smart Farm Facilities and Expanding Area                | 1.5   |
| Expand both Smart Farm Facilities and Area                          | 24.6  |
| Smart Farms Will Be Introduced within the Next 10 Years             | 13.0  |
| No Plan   | 52.2  |

**Table 7.** Loadings on the Factors Extracted by the Principal Component Analysis

|   | Classification                             | Factor1 | Factor2 | Factor3 | Factor4 | Factor5 | Factor6 | Factor7 |
|---|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Local Living Conditions                             | Children Support Facility                  | 0.80    | 0.10    | 0.06    | -0.02   | -0.31   | 0.14    | 0.00    |
|   | Community Engagement                       | 0.78    | -0.08   | 0.11    | 0.12    | 0.20    | -0.33   | -0.06   |
|   | Securing Child Care Facilities             | 0.76    | 0.00    | 0.04    | -0.29   | -0.11   | 0.22    | -0.17   |
|   | Medical Facility                           | 0.75    | 0.20    | -0.27   | 0.14    | 0.09    | 0.07    | 0.12    |
| Farming Capacity Conditions                         | Knowledge of Farm Management Analysis      | -0.05   | 0.82    | 0.24    | 0.26    | 0.11    | -0.15   | -0.20   |
|   | Acquisition of Agricultural Expert         | -0.09   | 0.71    | 0.16    | 0.36    | 0.17    | 0.00    | 0.01    |
|   | Agricultural Consultation                  | 0.48    | 0.69    | -0.07   | -0.07   | 0.11    | -0.09   | -0.23   |
|   | Ability to Operate and Analyze ICT Devices | 0.38    | 0.68    | 0.11    | -0.04   | 0.14    | 0.21    | 0.12    |
|   | Securing Farmland                          | 0.07    | 0.62    | -0.08   | 0.39    | -0.15   | 0.33    | 0.26    |
|   | Farming Skills                             | -0.15   | 0.64    | 0.28    | 0.34    | 0.06    | 0.09    | 0.12    |
| Regional Selection Conditions                       | Securing Housing                           | -0.05   | 0.01    | 0.78    | -0.08   | -0.26   | 0.30    | -0.09   |
|   | Selection of Farming Areas                 | 0.19    | 0.30    | 0.72    | 0.12    | 0.07    | 0.02    | 0.18    |
| Farming Funding Conditions                          | Securing Markets for Crops                 | 0.02    | 0.14    | 0.09    | 0.85    | -0.03   | -0.05   | -0.01   |
|   | Farm Funds                                 | 0.02    | 0.19    | 0.00    | 0.74    | 0.18    | 0.26    | -0.20   |
| Conditions for Securing a Solid Farming Base        | Farm Household Income over 40 Million Won  | 0.01    | 0.13    | 0.01    | 0.10    | 0.76    | 0.06    | -0.24   |
|   | Inheriting Farmland                        | -0.16   | 0.00    | -0.29   | 0.19    | 0.71    | -0.09   | 0.15    |
|   | Family's Understanding                     | 0.05    | 0.21    | 0.24    | -0.28   | 0.64    | 0.18    | 0.21    |
| Facility Investment Conditions                      | Smart Farm Demand                          | -0.03   | 0.00    | -0.10   | 0.03    | -0.07   | -0.71   | 0.14    |
|   | Capital Invested in Facilities             | 0.00    | 0.32    | 0.08    | 0.46    | 0.05    | 0.62    | 0.04    |
|   | Select Cultivation Items                   | 0.24    | -0.36   | 0.32    | 0.20    | -0.02   | 0.53    | 0.22    |
| Hometown  | From Muan-gun                              | -0.10   | -0.04   | 0.17    | -0.12   | 0.01    | -0.08   | 0.88    |
| Eigenvalue  |  | 4.96    | 3.46    | 2.61    | 1.87    | 1.50    | 1.20    | 1.07    |
| Variance Contribution                               |  | 3.36    | 3.29    | 2.53    | 2.41    | 1.88    | 1.75    | 1.45    |
| Contribution Rate of Accumulative Total of Variance |  | 14.61   | 28.91   | 39.92   | 50.40   | 58.56   | 66.18   | 72.48   |

**Table 8.** Average of Factor Score for Each Cluster

| Classification           | Cluster 1  | Cluster 2  | Cluster 3  |
|--------------------------|--|--|--|
| Factor1                  | 1.284  | -2.379   | 1.390  |
| Factor2                  | -2.606   | 0.071  | 1.812  |
| Factor3                  | 1.467  | -1.106   | 0.167  |
| Factor4                  | 0.583  | 1.675  | -1.171   |
| Factor5                  | -0.201   | 1.065  | -0.703   |
| Factor6                  | 3.501  | 0.781  | -1.310   |
| Factor7                  | 1.635  | -1.273   | 1.448  |
| Label the Three Clusters | Young farmers who lack farmland or farming skills but have good facility investment conditions | Young farmers who has found a solid farming base despite poor living and living conditions | Young farmers with living conditions and farming capabilities, but inadequate facility investment conditions |
| Cluster Size (%)         | 54.7   | 18.9   | 26.3   |

0.69, ICT 기기 운영과 분석 능력 0.68, 농지확보 0.62, 영농기술 습득 0.64 등으로 영농 능력 여건을 나타내는 지표이다. 제3인자는 주택 0.78, 영농지역 선택 0.72로 영농지역 선택을 나타내는 지표이다. 제4인자는 농작물 판로 확보 0.85, 영농자금 확보 0.74로 영농자금 여건을 나타내는 지표이다. 제5인자는 4천만 원 이상 농가소득 0.76, 농지상속 0.71, 가족이해 0.64로 탄탄한 영농기반 확보 여건을 나타내는 지표이다. 제6인자는 스마트팜 수요 -0.71, 시설투자 자본 0.62, 재배품목 선택 0.53으로 시설투자 여건을 나타내는 지표이다. 제7인자는 지역(무안군) 출신과 0.88의 상관관계를 나타내 이 인자는 지역 출신을 나타내는 지표이다.

이러한 주성분 분석으로 추출된 7개 인자에 대해 각 청년농업인이 갖는 인자특점을 활용해 계층적 군집분석을 실시하였다. 그리고 군집 수 결정을 위해 계층적 군집분석 후 비계층적 k-medians 군집분석으로 주어진 군집수로 청년농업인들을 유형화하였다. 분석결과 총 3개 유형으로 군집화 되었다. Table 8은 무안군 청년농업인 유형별 평균 인자특점이다. 먼저 제1유형은 제6인자와 제2인자, 제7인자가 크

게 영향을 미치고 있는데, 이것은 각각 시설투자 여건, 지역생활 여건, 지역출신 여건이다. 따라서 제1 유형의 청년농업인은 ‘농지와 영농능력은 부족하지만 시설투자 여건이 좋은 청년농업인’의 특징을 나타낸다. 제2유형에 큰 영향을 미친 제1인자, 제3인자, 제4인자, 제5인자, 제7인자는 각각 지역생활 여건, 거주 여건, 영농자금 여건, 영농기반 여건, 지역출신 여건을 나타내는 인자들로 이 유형은 ‘생활 및 거주 여건은 미흡하지만 탄탄한 영농기반을 갖춘 청년농업인’을 나타낸다. 제3유형에는 제1인자, 제2인자, 제7인자가 영향을 미치고 있다. 이것은 각각 지역생활 여건, 영농능력 여건, 지역출신 여건으로, 이 유형은 ‘생활 여건 및 영농능력을 갖췄지만 시설투자 여건이 미흡한 청년농업인’의 특징을 나타낸다.

한편 각 청년농업인 유형별 평균 경작면적을 살펴보면, 제2유형은 1.94ha, 제3유형은 1.90ha, 제1유형은 1.29ha 순으로 많다. 이것은 비지역 출신이지만 탄탄한 영농기반을 갖춘 청년농업인이 타 유형의 청년농업인 유형에 비해 가장 많은 농지를 활용하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 이들의 임차지 비중은 47.8%로 타 유형에 비해 가장 높다(Table 9 참조).

**Table 9.** Comparison of Average Values of Clustering

| Classification                            | Cluster 1      | Cluster 2      | Cluster 3      |
|---|----------------|----------------|----------------|
| Cultivation Area (ha)                     | 1.29<br>(2.10) | 1.94<br>(2.72) | 1.90<br>(2.99) |
| Share of Leases in the Total Area (%)     | 28.1           | 47.8           | 35.5           |
| Farm Business Plan (%)                    | 66.7           | 72.2           | 75.9           |
| Intent to Introduce Smart Agriculture (%) | 50.0           | 43.8           | 56.1           |

Note: ( ) value is standard deviation

**Table 10.** Results of Analysis of Factors Determining Types of Young Farmers

| Classification                            | Cluster 1            | Cluster 2           | Cluster 3            |
|---|----------------------|---------------------|----------------------|
| Hometown                                  | -0.013<br>(-0.12)    | 0.152<br>(0.79)     | -0.138<br>(-0.70)    |
| Cultivation Area                          | 0.170***<br>(4.84)   | -0.063*<br>(-1.89)  | -0.107***<br>(-2.60) |
| Agriculture Career                        | 0.030*<br>(2.27)     | -0.026<br>(-1.20)   | -0.003<br>(-0.14)    |
| Gender                                    | -0.908<br>(-0.83)    | 0.272<br>(0.08)     | 0.635<br>(0.02)      |
| Intent to Introduce Smart Agriculture     | 0.841***<br>(3.71)   | -0.408**<br>(-2.26) | -0.433*<br>(-1.72)   |
| Farm Household Income over 40 Million Won | -0.427***<br>(-3.61) | -0.099<br>(-0.53)   | 0.527***<br>(2.71)   |
| Rice Cultivating                          | 0.248**<br>(2.29)    | -1.974<br>(-1.61)   | -3.273<br>(-1.92)    |

Note: Standard errors are in parentheses. \*\*\*, \*\*, \* Denotes statistical significance at 1%, 5%, 10% level

향후 스마트팜 도입 수요는 생활 여건 및 영농능력은 있지만 시설투자 여건이 미흡한 청년농업인인 제3유형이 56.1%로 가장 많다.

중요한 것은 위와같이 도출된 청년농업인 유형을 정책에 활용하기 위해서는 어떤 요인들이 각 유형에 영향을 미치는지를 파악하는 것이다.<sup>7)</sup> 즉 지역별 청년농업인 유형화를 정책적으로 활용하기 위해 주요

지표와 보조지표를 구분하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 식 (1)을 독립변수로 편미분하여 각 변수들의 한계적 영향을 살펴보았다. 먼저 지자체의 청년농업인 사업 담당자가 즉시 활용가능한 변수들을 분석 변수로 설정하였다.<sup>8)</sup> Table 10은 다른 변수들이 일정할 때, 각 변수들이 각각의 유형에 속할 확률의 한계효과이다. 분석결과, 경작 면적과 스마트

7) 다항로짓모형에서는 IIA(Independence of Irrelevant Alternative) 가정이 적용되어(전봉걸·조범준, 2014), 다항로짓 모형은 대체 관계가 아닌 선택항의 개입을 인정하지 않는다(장영희, 2010). 본 연구의 Hausman-McFadden 검정결과, IIA(independence of irrelevant alternatives) 가정을 기각하지 못해 다항로짓모형 적용이 가능한 것으로 나타났다.

8) 물론 본 연구의 Table 10에서 설정한 각 청년농업인 유형별 영향요인을 분석하기 위해서는 선행연구 등을 활용할 필요가 있다. 하지만 본 연구에서 지적했듯이 청년농업인의 영농 및 지역 애로사항이나 개인적 특성을 고려한 유형화 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 이러한 변수 설정은 무안군 청년농업인 사업 담당자 및 전문가 자문회의를 통해 설정하였음을 밝혀둔다.

팜 수요는 각 청년농업인 유형 선택 확률에 통계적으로 유의미한 영향을 미치고 있어, 청년농업인 유형을 구분 짓는 가장 중요한 변수인 것을 알 수 있다. 이러한 분석결과는 현재 정부가 청년농업인 육성을 농지은행사업과 스마트팜 지원 사업 중심으로 추진하는 것이 타당한 것을 유추할 수 있다.

먼저 청년농업인의 경작 면적이 1ha 증가하면 제1유형에 속할 확률은 17.0% 증가하지만, 제2유형 및 제3유형에 속할 확률은 각각 6.3%, 10.7% 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 스마트팜 수요가 있는 청년농업인의 경우 제1유형에 속할 확률은 84.1% 증가하지만 제2유형이나 제3유형에 속할 확률은 각각 40.8%, 43.3% 감소한다. 한편 청년농업인 소득이 4천만원 이상 고소득인 청년농업인은 그렇지 않은 청년농업인에 비해 제1유형에 속할 확률은 42.7% 감소하지만 제3유형에 속할 확률은 52.7% 증가한다. 그리고 영농경력이 1년씩 쌓일수록 제1유형에 속할 확률은 3.0% 증가하고, 쌀 재배를 하는 청년농업인은 그렇지 않은 청년농업인에 비해 제1유형에 속할 확률이 24.8% 증가한다. 반면 청년농업인 성별이나 지역출신 여부는 청년농업인 유형 구분에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 지역별 청년농업인 맞춤 정책이나 사업을 발굴하기 위해서는 청년농업인의 경작면적과 스마트팜 수요, 영농경력, 농가소득, 쌀 재배 여부를 주요변인으로 활용하고, 이 외에 변인들은 보조지표로 활용할 수 있을 것이다.

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 농촌지역 소멸 대응 방안을 탐색하기 위해 전남 무안군을 연구 표집지역으로 선정하고, 무안군 청년농업인 95명을 대상으로 영농실태와 애로사항 등을 살펴보았다. 그리고 지역 맞춤형 청년농업인 육성 및 지원 정책 또는 사업을 발굴하기 위

해 요인분석과 군집분석을 통해 무안군 청년농업인을 유형화하였다. 분석결과를 요약하고, 정책적 시사점을 제안하면 다음과 같다.

첫째, 아직까지 무안군의 청년농업인 지원 관련한 조례(법), 독창적인 사업은 없다. 일례로 본 연구에서 살펴본 것처럼, 현재 무안군에서 연령을 기준으로 ‘청년농업인’을 대상으로 하는 지원 사업은 정부사업(청년후계농 영농정착 지원사업, 경영실습 임대농장 조성사업)에 불과하다. 한편 정부는 스마트농업 비중 확대를 위한 목표와 전략을 수립하고, 다양한 사업들을 시행하는 등 스마트농업을 집중적으로 육성하고 있지만 무안군의 스마트농업 관련 사업 2개는 시범사업으로 종료되었다.

물론 무안군은 전남도청이 입주한 남악신도시 오룡지구에 젊은 층의 인구 유입이 늘어나고 있지만, 청년농업인은 매년 감소하고 있다. 따라서 무안군은 농업과 관련된 “젊은 관계인구”가 풍부하지만, 청년농업인들이 활발히 영농에 종사하고, 이들과 농산업 외 젊은 층과의 관계인구 형성을 위한 관련 지원 정책은 매우 부족하다.

따라서 무안군 청년농업인 자원 사업의 체계적인 추진을 위해서는 관련 조례와 사업 지원 대상 연령을 설정할 필요가 있다. 이러한 명확한 ‘법’에 근거해 무안군 청년농업인 육성을 위한 지원을 지속적으로 확대 추진할 필요가 있다. 본 연구에서는 만 18세 이상~만 49세까지를 청년농업인 대상으로 설정을 제안한다. 왜냐하면 2020년 농림어업총조사에서 무안군 농업인의 총 7.7%가 만 49세 이하이기 때문이다. 따라서 무안군 농업인력의 약 10%를 정예인력으로 육성할 경우,<sup>9)</sup> 18세 이상~49세 이하의 연령을 청년농업인 대상 지원 사업 연령으로 설정하는 것을 고려할 필요가 있다. 하한 연령은 의무교육인 고등학교 졸업 등을 고려해 18세 이상으로 고려할 수 있다.

한편 현재 무안군의 스마트농업 지원 사업은 전무

한 실정이다. 그럼에도 불구하고 스마트농업 보급과 확대는 당면과제이다. 일례로 영농경력이 짧은 청년 농업인의 경우 지능형 스마트농업으로 육체 노동 시간이 감소하고, 영농 의사결정 투입 시간은 증가하고 있다(이항미, 2023). 현재 총 48개 지자체에서 스마트농업 조례를 제정하였다. 하지만 무안군은 아직까지 청년농업인이나 스마트농업 지원 조례가 없다. 따라서 무안군 청년농업인들의 스마트농업 도입과 보급 확대를 위해서는 지원 근거가 필요하다.

둘째, 무안군 청년농업인의 농지 승계(농기계나 주택 승계 포함) 비율은 41.1%로 전국 청년농업인 43.7%(이항미 외, 2022)와 비슷하게 나타났다. 이러한 분석결과를 통해 우리나라 청년농업인의 약 40% 정도는 가장 중요한 영농기반인 농지를 승계받은 것으로 추측된다. 따라서 우리나라 청년농업인의 약 60%는 스스로 농지를 확보해야 하고, 이러한 농지 확보는 농지 매입이나 임차를 통해 이뤄져야 한다. 하지만 농지 가격이 매년 상승하고 있어<sup>10)</sup> 청년 농업인들의 농지 임차 수요에 적극적으로 대응할 수 있도록 지자체의 신규 사업(제도) 추진이 매우 시급한 실정이다.

따라서 청년농업인 전용 농지를 제공할 필요가 있다. 현재까지 무안군에서 자체 사업으로 저활용 농지를 활용한 사업은 없고, 대부분 농지 지원은 한국 농어촌공사 농지은행사업을 통해 이루어지고 있다. 하지만 농지은행을 통한 청년농업인 농지지원은 한계가 있다. 일례로 임소영·마상진(2021)의 지적처럼 농지은행 사업을 통해 2030세대 농업인에게 공

급된 농지의 면적은 총 23,582ha에 불과하고,<sup>11)</sup> 논 위주로 지원되고 있어 청년농업인의 수요를 충족하는데는 한계가 있다.

이를 위해 본 연구에서는 무안군의 저활용 농지에 생산기반을 구축해 청년농업인에게 임대해 주는(가칭)무안군 저활용 농지 활용 사업을 제안한다. 저활용 농지 조사와 유형은 경운·정지 후 바로 농업용으로 이용 가능, 생산기반 정비 후 농업용으로 이용 가능, 이용 불가(농지전용), 기타로 구분할 수 있을 것이다(이항미, 2023). 다만, 저활용 농지에 생산기반을 구축할 경우 많은 예산이 소요되기 때문에 기업이 투자할 수 있는 ‘농업특구’를 지정해 기업의 농지 매입 및 임차를 허용하는 방안도 검토할 수 있을 것이다. 그리고 저활용 농지 활용은 단순히 농지의 활용적 측면이 아니라 “행정+농업인+가공업체”의 협업·협력에 의한 농촌융복합산업화까지 가능하도록 종합적인 접근으로 구성하는 것이 필요하다.<sup>12)</sup>

셋째, 무안군 청년농업인들은 영농 초기에 가족의 이해, 주택확보, 자녀 보육이나 학원 시설, 의료시설 등 지역 생활 여건에 대해서는 상대적으로 어려움이 적은 것으로 나타났다. 이러한 조사결과는 영농 초기 청년농업인의 연령이 낮아 자녀 보육이나 의료 시설 등에 대한 수요가 적은 것으로 판단된다.<sup>13)</sup> 하지만 영농경력이 쌓인 청년농업인에게 이러한 지역 생활 여건은 전혀 개선되지 않고, 오히려 어려움이 강화되고 있다. 특히 가족의 이해 어려움과 의료시설 이용 어려움은 각각 영농 초기 2.61점, 2.36점에서 현재는 3.28점, 3.00점으로 어려움이 가장 심화

9) 정부는 국정과제로 2027년까지 청년농업인 3만 명 육성을 목표로 하고 있는데, 이렇게 청년농업인 육성 목표에 따라 청년농업인이 육성될 경우 우리나라 청년농업 비중은 약 10%대를 유지할 수 있을 것으로 전망되고 있다(임진영 외, 2022). 따라서 본 연구에서도 무안군 청년농업인 10% 확보와 연계해 정책 지원 대상 연령을 만 49세까지 확대하는 것을 제안한다.

10) 전국 농지실거래가격지수는 2010년 0.76에서 2020년 1.76으로 상승했으며, 같은 기간 동안 무안군 농지실거래가격지수는 0.97에서 2.01로 상승했다(이항미 외, 2021).

11) 농지은행의 농지 지원실적(2012~2019년 누적) 중 2030세대 지원 비율은 22.0%에 불과하다(임소영·마상진, 2021).

12) 한편 청년농업인의 농지 구입 자금을 선제적으로 마련할 수 있는 (가칭)농지청약 제도 도입도 검토할 수 있지만. 이것은 중앙 정부 차원에서 논의될 사항으로 판단된다.

13) 본 연구에서 참여한 무안군 청년농업인의 평균 영농경력은 4.75년이다(2023년 기준).

된 것으로 나타났다.

한편 영농 관련 어려움은 영농 초기에 비해 현재 대부분 개선된 것으로 조사되었지만, 현재도 어려움은 지속되고 있다. 특히 ICT 기기 운영과 분석 능력은 영농 초기에 가장 큰 어려움이었지만, 현재는 가장 많이 개선되었다. 영농자금과 영농소득 수준 또한 영농 초기에 비해 개선되었지만 이 항목들은 여전히 영농의 어려움이 되고 있다. 그리고 영농지역 선택이나 재배품목 선택, 가족의 이해 등은 영농 초기에 비해 오히려 어려움이 심화된 것으로 나타났다. 따라서 무안군 청년농업인의 지역 내 성공적인 정착과 유입 확대를 위해서는 지역 생활 여건, 영농 여건 개선을 패캐지화해 복합적으로 지원할 필요가 있다.

이러한 무안군 청년농업인들의 영농 여건 개선이 미흡한 원인은 무안군의 청년농업인 관련 지원 사업에 대해 약 50% 가까운 청년농업인들이 해당 사업을 몰라 지원하지 못한 것과 연계된 것으로 판단된다. 다만, 매달 생활비나 영농자금을 지원받을 수 있는 청년창업형 후계농 영농정착지원사업에 대한 인지율이 71.3%로 가장 높지만, 그 외의 사업들에 대한 인지율은 대부분 50% 남짓이다. 따라서 지역내 청년농업인들이 지원받을 수 있는 사업들에 대해 적극적인 홍보가 강화될 필요가 있다.

넷째, 지역 여건을 고려한 청년농업인 지원 정책이나 사업을 발굴하기 위해서는 ‘우리 지역’ 청년농업인에 대한 유형화가 전제되어야 한다. 본 연구에서는 총 21개의 변수를 활용해 요인분석을 실시한 결과, 공통인자 7개가 선정되었고, 이를 활용해 군집분석을 실시하였다. 그 결과 무안군 청년농업인은 총 3개 집단으로 유형화되었다(농지나 영농능력은 부족하지만 시설투자 여건이 좋은 청년농업인, 생활 및 거주여건은 미흡하지만 탄탄한 영농기반을 갖춘 청년농업인, 생활 여건 및 영농능력은 갖췄지만 시설투자 여건이 미흡한 청년농업인). 각 청년농업인 유형별 평균 경작 면적은 생활 및 거주 여건은 미흡하

지만 탄탄한 영농기반을 갖춘 청년농업인이 1.94ha로 타 유형보다 많다. 하지만 이들의 임차지 비중은 47.8%로 타 유형에 비해 가장 높아 이들의 임차지 의존도가 높은 것을 알 수 있다. 따라서 타 지역 출신 청년농업인들이 지역 내 농지를 확보할 수 있도록 농지 관련 정보 제공이 강화되어야 할 것이다.

한편 다항로지 분석결과, 이러한 청년농업인 유형화를 위한 지표로는 경작 면적, 영농경력, 스마트팜 수요, 농가소득, 영농형태(쌀 재배 여부) 등을 고려할 수 있다. 다만 지역출신 여부는 청년농업인 유형화에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 향후 지역별 청년농업인 유형화를 위해서는 경작 면적, 영농경력, 스마트팜 수요, 농가소득, 영농형태 등을 복합적으로 고려해 설정할 필요가 있다. 즉 대부분 선행 연구에서 청년농업인을 승계농 또는 창업농으로 구분하는 것은 한계가 있는 것을 알 수 있다. 이와같이 무안군 청년농업인 유형은 기존 연구들이 단순히 영농기반 승계 유무에 따라 구분하는 것은 한계가 있기 때문에, 본 연구에서 유형화한 청년농업인 그룹(집단)의 영농 및 지역 생활 애로사항을 개선할 수 있도록 관련 지원 정책 발굴이 필요하다.

일례로 ‘제1유형’의 청년농업인 대상으로는 스마트팜을 도입 및 확대할 수 있도록 생산기반이 구축된 농지를 확대 지원할 필요가 있다. 이것은 2023년부터 한국농어촌공사의 비축농지 임대형 스마트팜 지원사업과 연계할 수 있을 것이다. 그리고 ‘제2유형’의 청년농업인은 탄산탄 영농기반이 구축되어 있기 때문에, 이들은 지역 생활 애로사항을 개선할 수 있도록 지역개발사업과 연계한 지원이 필요하다. ‘제3유형’의 청년농업인은 타 유형에 비해 농가소득이 유의미한 영향을 미치지 때문에, 체계적인 영농투자가 가능하도록 경영 및 회계 교육 등을 강화할 필요가 있다.

마지막으로 우수 청년농업인 선정으로 영농의욕

을 고취할 필요가 있다. 본 연구의 조사결과, 무안군 청년농업인의 26.4%는 여건이 되면 무안군 이외의 지역으로 이농할 의향이 있다. 따라서 무안군 청년농업인들이 지속적으로 무안군에서 영농에 종사할 수 있도록 포상 및 인센티브 지급이 필요하다. 이를 위한 방안으로 경영성과 등을 평가해 무안군 우수 청년농업인을 선정하고, 선진국 연수나 정책 사업 선정 우선 순위 등을 부과하는 포상 지급을 적극적으로 도입할 필요가 있다. 이러한 우수 청년농업인은 향후 무안군 농산업의 리더(leader)로 육성하고, 지역 농산업의 멘토로 역할을 기대할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 도농복합 지역인 무안군 청년농업인을 유형화하고, 각 유형별 결정요인을 실증분석 후 분석결과를 바탕으로 이들의 안정적인 농촌지역 정착을 위한 정책적 시사점을 제안하였다. 서론에서 기술한 것처럼 지금까지 대부분의 연구들이 전국 또는 광역 지자체를 지역 표집으로 선정해, “우리 지역”에 맞는 청년농업인 관련 정책 발굴은 상대적으로 부족한 실정이었다. 이러한 의미에서 본 연구는 시군 단위의 청년농업인을 대상으로 그들의 영농 및 지역 생활 애로사항과 주요 인구통계학적 특징을 대상으로 유형화 한 것은 해당 지역의 청년농업인 유형화 및 관련 정책 발굴에 활용할 수 있을 것이다. 하지만 본 연구결과는 도청 소재지가 있는 무안군을 연구 지역으로 한정함에 따라 연구 결과 일반화에는 오류가 있을 수 있다. 이 부분은 향후 지역 내 청년농업인 모집단 틀 구축 후 조사 대상 확대나 지역 표집 확대 등으로 해결할 수 있을 것이다. 특히 정부는 향후 스마트농업을 30%까지 적극적으로 육성할 계획이기 때문에, 스마트팜 혁신밸리나 청년창업형 스마트팜 단지가 조성된 김제시나 상주시 등의 청년농업인 대상으로 유형화 등을 실시하는 것도 필요할 것이다. 이 부분은 추후 연구과제로 남겨둔다.

## 참고문헌

1. 강혜정(2007), “다변량 분석방법을 이용한 농가 유형 구분”, 「농촌경제」, 29(5): 29~43.
2. 김기홍(2021), “청년 농업인 육성을 위한 실천농장의 특성”, 「농촌사회」, 31(1): 363~396.
3. 마상진(2018), “귀농·귀촌 동기 유형과 관련 변인”, 「농업교육과 인적자원개발」, 50(1): 53~72.
4. 박용규·최정신·최윤지·손주리(2023), “청년농업인의 진로사결정 특성과 직업선택동기가 직무만족도에 미치는 영향 요인 연구”, 「한국지역사회생활과학회지」, 34(1): 129~144.
5. 배균기·조원지·이병훈(2021), 「청년창업농 영농실태와 정착지원 개선방안 연구」, 전북: 전북연구원.
6. 석다솜·이상래·김운호(2022), “청년농업인 지원정책의 개선방안”, 「한국산학기술학회 논문지」, 23(5): 515~521.
7. 신동철·강두현(2023), 「경상남도 청년농업인 실태 연구」, 경남: 경남연구원.
8. 안다섬·장동현·문수희(2022), “청년농업인의 스트레스가 영농만족과 이농의향에 미치는 영향”, 「농촌계획」, 28(2): 1~9.
9. 엄진영·마상진·황윤재·허정희(2022), 「후계·청년농업인 육성 기본계획 수립」, 전남: 한국농촌경제연구원.
10. 이항미(2019a), “청년농업인의 영농다각화 활동 선택 결정요인 분석”, 「농촌계획」, 25(2): 75~87.
11. 이항미(2019b), “청년창업농의 영농규모 확대 의향과 농업진흥지역 이외 농지 수요 결정요인 분석”, 「농업경제연구」, 60(3): 1~25.
12. 이항미(2023), 「청년 농업정책 개발 및 미래농업의 발전방안」, 경기: 한국농어촌공사 농어촌연구원.
13. 이항미·윤석환·이미선·김윤식·김태영(2021), 「농지시장 변화 모니터링 체계 구축과 농지은행 성과분석」, 경기: 한국농어촌공사 농어촌연구원.
14. 이항미·이미선·윤상현(2022), 「저활용 농지의 효율적 활용을 위한 청년농업인 농지수요 연구」, 경기: 한국농어촌공사 농어촌연구원.
15. 이항미·최봉문·김종하(2023), “인구감소지역의 인구유입을 위한 정책 수요에 관한 연구”, 「LHI Journal」, 14(2): 73~82.

16. 이항미·홍상원·임청룡·유찬주(2018), 「청년창업농 농촌정착을 위한 효율적인 농지지원 방안」, 경기: 한국농어촌공사 농어촌연구원.
17. 이현정(2020), “세대 간 사회인구학적 특성 및 거주 특성 차이 분석”, 『LHI Journal』, 11(4): 1~13.
18. 임소영·마상진(2021), “청년, 지속가능한 농업의 핵심”, 『24회 농업전망』, 전남: 한국농촌경제연구원·농림축산식품부.
19. 장영희(2010), “이산적 선택모형을 적용한 방송 플랫폼 및 채널 선호도 연구”, 박사학위논문, 숙명여자대학교.
20. 전봉걸·조범준(2014), “취업자 특성에 대한 공급 측면에서의 분석”, 『시장경제연구』, 43(2): 67~99.
21. 정세정·김태완·김문길·정해식·김기태·주유선·강예은·최준영·송아영·김용한(2020), 「청년층 생활실태 및 복지욕구조사」, 세종: 한국보건사회연구원.
22. 정용경·황정임·최윤지·최정신(2019), “청년농업인의 농업경영 특성과 성과에 대한 영향요인 분석”, 『농촌지도와 개발』, 26(3): 143~151.
23. 정재원·이원석·이진홍·허재욱·엄하정·이은숙·이인숙·김연진·박장순(2020), 「경기도 청년농업인의 영농현황 실태조사 분석 및 지원방안」, 경기: 경기도 농업기술원.
24. 정하나(2022), “청년농업인의 농촌사회 정착의 어려움과 부모의 사회자본 영향에 관한 질적연구”, 『농촌사회』, 32(1): 67-108.
25. 최정신·황정음·최윤지·한송희(2018), “농촌지역 청년층의 이주 의사에 영향을 미치는 요인 연구”, 『지역산업연구』, 41(4): 195-211.
26. Greene, W. H. (2018), *Econometric Analysis*, 8th ed. New York: Pearson.

## 요 약

본 연구에서는 농촌지역 소멸 대응 방안을 탐색하기 위해 전남 무안군을 연구 표집지역으로 선정하고, 무안군 청년농업인 95명을 대상으로 영농실태와 애로사항 등을 살펴보았다. 그리고 지역 맞춤형 청년농업인 육성 및 지원 정책 또는 사업을 발굴하기 위해 요인분석과 군집분석을 통해 무안군 청년농업인을 유형화하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 아직까지 무안군의 청년농업인 지원 관련한 조례(법), 독창적인 사업은 없다. 둘째, 무안군 청년농업인의 농지 승계 비율은 41.1%로 전국 청년농업인 43.7%와 비슷하게 나타났다. 이러한 분석결과를 통해 우리나라 청년농업인의 약 40% 정도는 가장 중요한 영농기반인 농지를 승계받은 것으로 추측된다. 셋째, 영농경력이 쌓인 청년농업인에게 지역생활 여건은 전혀 개선되지 않고, 오히려 어려움이 강화되고 있다. 넷째, 본 연구에서는 총 21개의 변수를 활용해 요인분석을 실시한 결과, 공통인자 7개가 선정되었고, 이를 활용해 군집분석을 실시하였다. 그 결과 무안군 청년농업인은 총 3개 집단으로 유형화되었다. 그리고 다항로짓 분석결과, 청년농업인 유형화를 위한 지표로는 경작 면적, 영농경력, 스마트팜 수요, 농가소득, 영농형태(쌀 재배 여부) 등을 고려할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 청년농업인의 유입을 유도하고 농촌지역 소멸을 방지하기 위하여 지역의 정주여건과 함께 농지 등의 영농기반에 대한 진입장벽을 최소화하는 정책적 노력이 필요하다.

**주제어:** 군집분석, 농촌지역 소멸, 요인분석, 청년농업인

## BIM 기반 설계안전성검토의 업무 절차와 활용 방안에 관한 연구\*

## Workflow Procedures and Applications in BIM-based Design for Safety (DfS)

황재웅\*\*, 윤희택\*\*\*, 배준현\*\*\*\*, 박영곤\*\*\*\*\*

Jaewoong Hwang\*\*, Heetaek Yoon\*\*\*, Junhyun Bae\*\*\*\*, Youngkon Park\*\*\*\*\*

## Abstract

A conventional Design for Safety (DfS), introduced to eliminate potential hazards in the design phase proactively, has encountered persistent challenges, such as perfunctory risk assessments and hazard identifications based on 2D drawings and inefficient workflow processes. This study proposes a BIM-based approach to Design for Safety (DfS) to address the limitations of conventional methods, aiming to enhance efficiency and achieve practical safety management benefits. The proposed workflow process for BIM-based DfS has been refined and validated for on-site applicability through various case studies, including risk assessments during the design phase and field applications for safety management activities during the construction phase. Specifically, the critical process of risk assessment within the DfS methodology has also been transitioned to a BIM-based approach. This BIM-based risk assessment process has been evaluated through case studies, encompassing safety reviews for structural design, construction equipment operation, and construction methodology with sequence in design projects. Additionally, the proposed BIM-based DfS has demonstrated exceptional on-site applicability and efficiency, as validated by the application of a BIM deliverable embedded in DfS information for CDE-based daily activity briefing, VR-based safety training, AR-based mitigation measures inspections, and other safety management activities in the construction phase.

**Keywords:** BIM (Building Information Modeling), Design for Safety (DfS), Risk Assessment, VR/AR (Virtual Reality/Augmented Reality), Safety Training

## 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

건설산업 현장의 재해 감소를 목적으로 정부가 2017년에 도입한 설계안전성검토(DfS, Design for Safety)는 설계단계에서 위험요소를 발굴하여 위험

성 평가와 저감대책 수립을 시행하고 설계에 반영함으로써 사전에 위험요소를 제거·저감하는 활동을 말한다. 「건설기술 진흥법 시행령」에 근거하여, 실시설계 단계에서 발주자의 주관하에 설계안전검토팀을 구성하고 설계 성과물에 대한 위험성 평가를 포함한 설계안전성검토를 수행한다. 이후, 설계안

\*본 연구는 국토교통부가 주관하고 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 2024년도 철도인프라 생애주기 관리를 위한 BIM 기반 통합플랫폼 개발사업(22RBIM-C158185-03)의 연구비 지원에 의한 결과임.

\*\*현대건설 토목사업본부 책임매니저(주저자: jwhwang@hdec.co.kr)

\*\*\*한국철도기술연구원 첨단계도토목본부 책임연구원

\*\*\*\*한국철도기술연구원 철도시험인증센터 선임기술원

\*\*\*\*\*한국철도기술연구원 첨단계도토목본부 수석연구원(교신저자: ykpark@krri.re.kr)

전검토 보고서를 국토안전관리원에 제출하여 검토를 받고 국토교통부 장관에게 제출하는 절차로 진행된다.

그러나 설계에 잠재된 위험요소를 제거한다는 취지로 도입된 본 제도는 건설안전에 대한 설계자의 전문성 부족과 함께, 설계단계에서 안전전문가 및 시공자와의 협업이 어렵다는 한계로 인해 실효성이 부족하다는 지적이 지속적으로 제기되고 있다(한국시설안전공단, 2017). 또한 많은 양의 설계정보를 종합적으로 검토하여 위험요소를 도출해야하는 위험성 평가 활동이 문서 형태의 2차원 설계도서를 기반으로 수행됨에 따라, 경험이 부족한 검토자는 위험 요소 발굴에 많은 노력과 시간이 소요되고, 일관성이 결여된 평가 결과가 도출되는 등 전반적인 신뢰성이 저하되는 문제가 발생하고 있다(Zhang et al., 2015).

즉, 실제 현장 상황을 경험하지 못한 설계자는 텍스트 형태의 문서나 2차원 도면으로부터 설계에 잠재되어있는 위험성을 파악하기 어렵고, 이를 인지하더라도 그 위험성을 상대적으로 과소평가하는 경향이 있다. 특히, 다양한 공종이 포함된 대규모 복합 프로젝트의 설계안전성 평가를 착공이 임박한 단계에서 제한된 시간에 완수하기에는 비용 및 기술적인 한계가 존재한다. 이러한 한계로 인해, 보고서 작성에만 치중한 피상적이고 형식적인 업무가 관행처럼 굳어지고 있으며, 유명무실한 설계안전성검토를 개선해야 한다는 요구가 증가하고 있다.

이에 본 연구에서는 설계/시공 정보를 통합하는 플랫폼으로 각광받고 있는 BIM(Building Information Modeling)을 활용하여, 설계안전성검토의 업무 효율을 향상시키고, 실질적인 안전관리 효과를 거둘 수 있는 BIM 기반 설계안전성검토 방법론을 제시한다. 특히, 설계안전성검토의 핵심인 위험성 평가를 BIM 기반으로 전환한 BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 수립하여 설계 실무에 적용한 사례 분석을 통

해 이를 검증한다.

또한, 「설계안전성 검토 업무 매뉴얼(국토교통부, 2017)」에 따르면, 시공자가 설계안전검토보고서의 내용을 반영하여 안전관리계획을 수립하고 시공단계에서 이를 이행하도록 하고 있는데, BIM 기반 설계안전성검토의 업무 절차에도 현장에서의 안전관리 활동에 BIM을 활용할 수 있는 절차를 반영하고, 현장 실증을 통해 현장 적용성과 활용 효과를 검증한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 문서화된 형태의 2차원 설계도면과 설계정보에 근거하여 수행되었던 기존의 설계안전성검토 업무를 BIM 기반으로 전환하여, BIM 기반 위험성 평가 프로세스와 BIM 기반 설계안전성검토 성과물의 활용 절차를 반영한 BIM 기반 설계안전성검토 업무 절차를 수립한다. 제안된 BIM 기반 위험성 평가 프로세스와 BIM 기반 설계안전성검토 성과물의 활용 방안은 설계 실무와 현장의 안전관리 활동에 적용한 사례 연구를 통해 활용 효과와 현장 적용성을 검증하고자 한다.

이를 위해, 국내외 선행연구들을 조사하여 설계안전성검토에 대한 BIM 적용 가능성과 효과에 대해 살펴본다. 이후, 2차원 설계도서와 대비되는 BIM의 특장점을 효과적으로 활용하여 위험 요소 발굴을 비롯한 저감대책 수립을 효과적으로 수행할 수 있는 BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 제시한다. 아울러, 승인된 BIM 성과물을 현장의 안전관리 활동에 활용하는 업무 절차를 반영하여 기존의 설계안전성검토 업무를 BIM 기반으로 수행하는 업무 절차를 제시하고자 한다. 제안된 BIM 기반 위험성 평가 프로세스는 설계 실무에 적용하여 위험 요소 발굴 효과를 정량적으로 검증하며, BIM 기반 설계안전성검토 업무 절차는 시공 현장의 안전관리 활동에 적용하여 전문가의 피드백을 반영하고 현장 적용성을 검증한다.

## 2. 선행연구 검토

DfS의 모태라고 할 수 있는 CDM(Construction and Design Management) 제도를 1994년부터 도입한 영국은 BIM이 태동한 국가답게 BIM과 CDM의 상호 운용에 관한 다양한 연구와 시도가 이루어졌다. Zou et al.(2015)은 경험과 지식에 의존하여 수행되던 기존의 위험성 관리 기법이 BIM 및 연관 기술과 접목하여 체계화되고 있는 새로운 경향에 대해 고찰하였으며, Mzyece et al.(2019)은 BIM 기반의 CDM 수행을 위해, BIM과 CDM의 상호운용성을 고려한 프레임워크를 제안하고, CDE(Common Data Environment, 공동데이터환경)를 활용한 CDM 수행 방안을 제시하였다. 또한, Zhang et al.(2015)은 떨어짐 사고에 관련된 BIM 기반의 룰-검토 프레임워크(Rule-checking Framework)를 연구하여, BIM 속성 정보를 활용한 위험성 평가의 가능성을 확인하였다.

국내에서도 관련 연구가 다수 진행되었는데, 이치주(2020)는 설계안전성검토 제도가 활성화되지 못하는 한계를 극복하기 위해 BIM을 적용할 필요가 있음을 피력하였다. 또한, 이치주·함성일(2020)은 DfS와 BIM을 결합한 설계가이드 시스템을 개발하여 떨어짐 사고에 대한 저감대책 수립에 적용하였다.

이동건 외(2019)는 BIM 기반의 모듈러 양중 계획 수립 및 검토 사례를 제시하였으며, 권오철 외(2013)는 BIM의 품질 검증 기술을 활용하여 안전 체크리스트 항목에 대해 자동화된 검토를 수행하고 BIM 기반의 DfS의 실현 가능성을 확인하였다. Kim et al.(2020)은 BIM의 속성 정보를 기반으로 위험요소를 인식하고 심각도와 빈도 평가를 자동화하는 방법론을 제시하였다.

설계안전성검토의 마지막 단계인 현장의 안전관리 활동에 BIM을 활용하는 연구도 다수 진행되었다. 신민호 외(2023)는 CDE를 활용하여 위험성 평가 데이터를 추적하고 공유하는 방안을 제시하였으며, 강

인석 외(2007)는 개념설계단계에서의 VR(Virtual Reality) 활용에 관한 연구를 수행하여, VR 기반으로 공정별 위험도 예측이 가능한 시각화된 시공관리 시스템의 개발 가능성을 제시하였다. Park and Kim(2012)은 BIM 기반의 시각화 시스템을 활용한 건설 안전관리 기법을 제안하면서, BIM을 비롯하여 AR(Augmented Reality) 기술이 안전관리에 효과적으로 활용될 수 있음을 제시하였으며, 김현승·강인석(2020)도 건설공사에서 증강현실기술의 활용성이 증대될 것임을 시사하였다.

이상과 같이 선행 연구를 고찰한 결과, BIM 기반의 위험성 평가 프로세스를 비롯한 설계안전성검토의 업무 절차를 도출하고자 하는 시도가 없었다는 것을 알 수 있었다. 또한, BIM 기반의 설계안전성검토 성과물을 현장의 안전관리 활동에 적용하고 이에 대한 피드백을 반영한 연구도 없었다는 점에서 본 연구는 선행연구와의 차별성을 가지고 있다고 사료된다.

## 3. BIM 기반 위험성 평가

### 3.1 BIM 기반 위험성 평가 프로세스

「2022년 산업재해현황분석(고용노동부, 2023)」의 업무상사고 재해현황에 따르면, 건설산업은 떨어짐(추락), 넘어짐(전도), 물체에 맞음(낙하·비래) 등의 순으로 안전사고가 빈번하게 발생하였다. 이러한 재해는 사전에 위험요소를 제거하고, 안전한 작업환경을 조성함으로써 상당 부분 예방이 가능하다. 그러나 종이 출력용으로 작성된 2D 형태의 설계도서(Paper-based 2D Design Deliverable)를 활용하여 시공 순서에 따라 작업환경이 변화하는 건설 현장의 위험요소를 선제적으로 발굴하고, 이에 대한 저감대책을 수립하는 데에는 기술적인 한계가 있다. 또한, 상당 수준의 경험과 안전 지식을 갖춘 전문가도 제한된 시간 내에 방대한 양의 설계 성과물을 신속하게 검토하여 설계상의 위험성을 평가하기에는 현실

적인 어려움이 있다.

이에 설계 과정에서 생성된 설계 정보를 3차원 객체에 내포하여 설계 및 시공단계에 활용할 수 있는 BIM을 기존의 위험성 평가에 접목하여 안전 관련 전문성이 부족한 설계자도 설계안전성검토 업무를 효과적으로 수행할 수 있도록 BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 Fig. 1과 같이 제안한다.

설계자는 설계 초기의 BIM 구축 단계부터 잠재적 위험요소가 내포된 BIM 객체를 파악하여 위험성 평가 관련 지표(물적피해, 인적피해, 발생빈도, 심각성, 위험등급 등)를 반영한다. 이를 통해, 위험요소를 시각적으로 발굴하는 동시에 BIM 객체의 속성 정보를 검색하여 위험등급이 높은 객체에 내포된 위험요소를 체계적으로 파악할 수 있도록 하였다.

파악된 위험요소에 대해서는 위험요소가 유발하는 재해의 특성을 고려하여, VR을 비롯한 실시간 렌더링 기술, 4D 시뮬레이션 등을 활용한 위험성 검토를 수행한다. 이 과정에서 BIM 톨 기반의 워크샵이나 CDE를 활용하여 Dfs에 참여하는 주체들과 협업 형태로 BIM 기반 위험성 평가를 실시한다. 이를 통해, 수치화된 위험 등급에만 의존하지 않고, BIM의 다양한 정보를 종합적으로 고려하여 위험요소의 허

용 가능 여부를 판정할 수 있도록 절차를 마련하였다.

저감대책 수립 업무도 기존의 설계도서 기반에서 BIM 기반으로 전환하여, 현장의 시공 상황과 주변 환경을 고려한 저감대책이 도출되도록 하였다. 이를 통해, 현장 적용성이 우수한 저감대책과 안전시설물이 설계 BIM 모델에 반영되어, 시공단계에서의 활용도가 높아질 것으로 기대된다.

끝으로 위험성 평가 업무의 문서화를 BIM 기반으로 전환하여, 향후의 유사 프로젝트에서 디지털 데이터를 효과적으로 활용할 수 있도록 절차를 수립하였다. 이를 통해, BIM 구축 단계에서 타 프로젝트의 위험성 평가 정보가 효과적으로 활용되고, BIM 기반의 위험성 평가 업무가 선순환적으로 발전하도록 유도하였다.

## 3.2 BIM 기반 위험성 평가 실증

### 3.2.1 사례 분석 1: 구조물 설계

제안된 BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 설계 실무에 적용하여 위험요소 발굴의 효과를 실증하였다.

Fig. 2는 도시철도 정거장 승강장의 하부로 신설 역사의 환승 통로를 설치하는 공사에서 기존의 위험성 평가를 BIM 기반으로 전환한 사례이다. 설계도를 기반으로 여러 장의 도면들을 검토하여 위험요소를 발굴하였던 종래의 업무 방식을 BIM 기반으로 전환하여 해당 공종의 안전 관리 경험이 부족한 검토자들도 위험요소를 신속하게 발굴할 수 있었다. 또한, 주변 상황을 입체적으로 고려하여 위험요소의 발생빈도와 심각성을 보다 효과적으로 판정하였으며, 발주자를 비롯한 Dfs관리자, 시공전문가의 저감대책 검토 및 위험성 재평가 업무 시간을 크게 단축시켰다.

특히, 통합 BIM 모델기반으로 위험요소 주변의 구조물 설계 현황을 종합적으로 평가하여, 시공성을 고려한 최적의 저감대책을 발굴할 수 있었다. 또한, 저감대책을 BIM 객체로 모델링하여 3차원 공간상

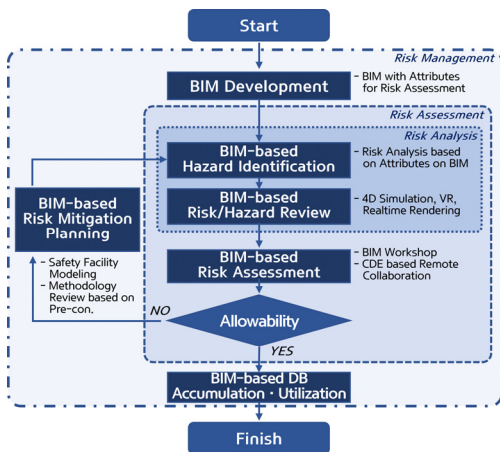
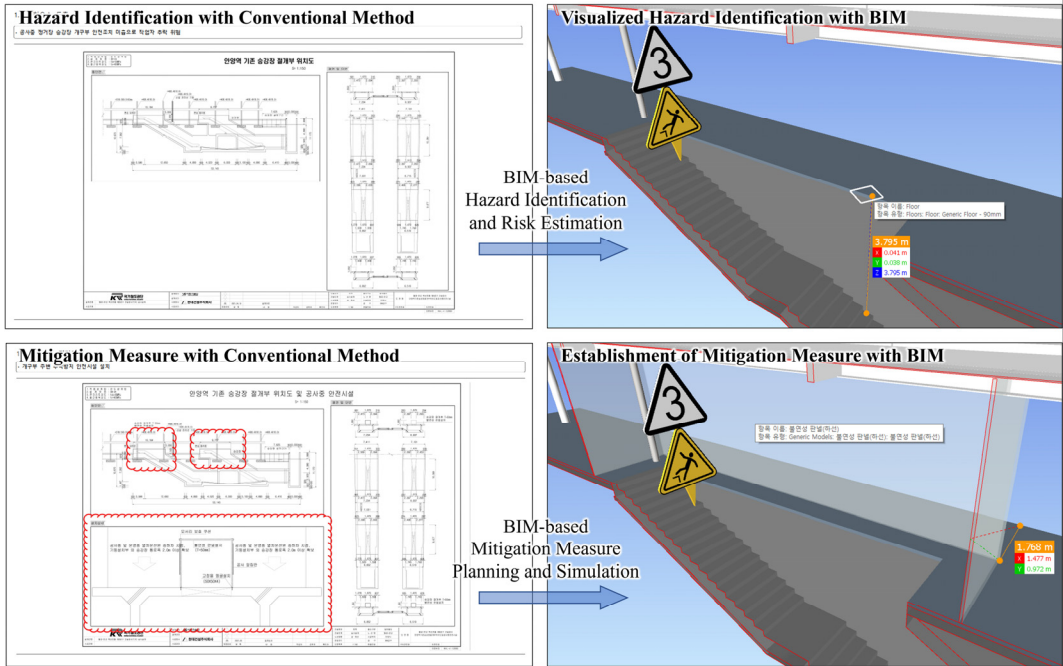


Fig. 1. BIM-based Risk Assessment Process



**Fig. 2.** An Example of Work Process Transition from Conventional Method to BIM: Hazard Identification and Establishment of Mitigation Measures

Source: Hyundai E&C (2021) (in Korean)

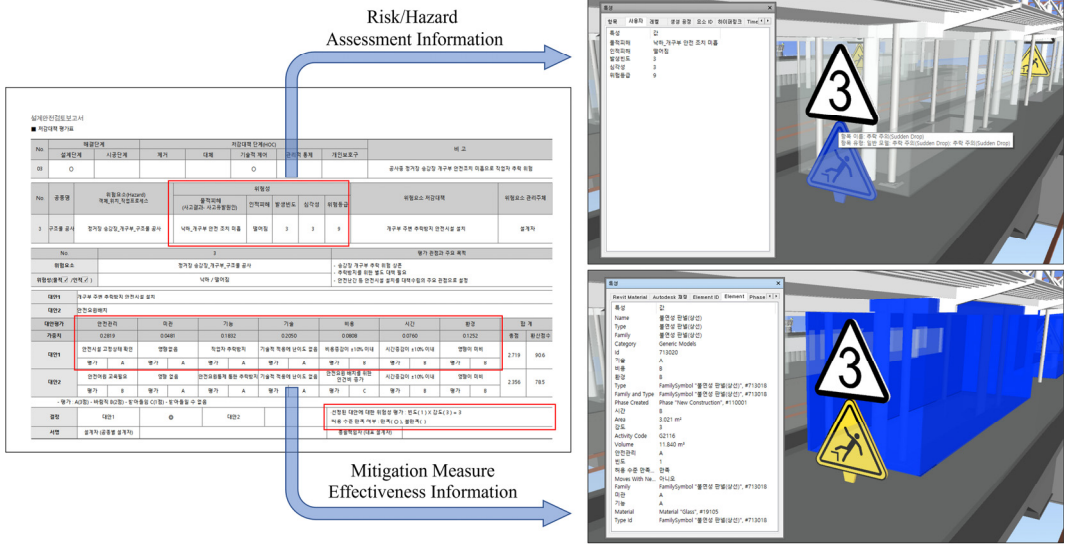
에서 다양한 대안을 검토하고, 즉각적으로 저감대책의 효과를 평가할 수 있었다.

BIM 기반 위험성 검토 프로세스의 DB 축적 및 활용 기능을 실증하기 위해, 위험성 평가표와 저감대책 평가표의 각종 데이터를 BIM 객체에 사용자 지정 속성(User-defined Attributes)으로 입력하여 위험성 평가 업무에 활용하였다. Fig. 3은 위험요소가 발굴된 구조물 모델에 해당 위험요소의 일련번호와 안전 표식을 BIM 객체로 추가하여 위험요소를 시각적으로 인식되게 함과 동시에 위험성 평가 데이터를 BIM 객체의 속성 정보로 반영한 사례이다. 이를 통해, BIM으로 모델링된 안전시설물 객체에 저감대책의 평가 등급을 기록하고 이를 과업 참여자들과 공유하는 등의 DB 축적 및 공유의 용도로 BIM이 효과적임을 확인하였다.

상기 실증 연구를 통해, BIM의 특징점인 설계 정

보의 통합 및 입체적 시각화가 안전관리에 대한 지식이나 경험이 부족한 설계자들에게 설계단계에서부터 위험요소를 배제하고 안전성이 확보된 설계를 하는 데에 기여하는 것으로 나타났다. 또한 기존의 2D 설계도 기반의 설계안전성검토 업무가 BIM 기반으로 전환되면서, 발주자와 설계자, 시공사, DfS 관리자가 참여하는 설계안전성 검토 조직의 협업 효율이 향상되는 효과를 확인하였으며, 워크샵이나 저감대책 검토 업무가 간소화되는 것으로 나타났다.

아울러 객체 기반으로 다양한 속성 정보를 디지털 형태로 축적하고 공유할 수 있는 BIM의 특징을 활용하여, 설계도서와 독립적으로 기록·관리되던 설계안전성검토 데이터를 BIM으로 일원화하여 통합 관리가 가능함을 확인하였다. 이를 통해 설계상에서 발굴된 위험요소와 저감대책을 BIM 기반의 디지털 환경으로 공유하여, 모든 과업 참여자들의 안전 정



**Fig. 3.** Data Integration and Management of Risk/Hazard Assessment and Mitigation Measure Effectiveness Information on Design for Safety (DfS) with BIM Object's User-defined Attributes

Source: Hyundai E&C (2021) (in Korean)

보에 대한 접근성을 향상시키고 관련 업무에 효과적으로 활용할 수 있음을 확인하였다.

### 3.2.2 사례 분석 2: 건설장비 운용

특수한 형태의 대형건설장비가 사용되는 토목 공사에서 흔히 발견되는 위험요소가 작업 공간 부족으로 인한 부딪힘·끼임 사고이다. 그러나 기존의 설계도면을 기반으로 현장의 장비 운용 계획을 입체적으로 검토하기에는 기술적인 한계가 있어, 설계단계에서 건설장비 운용에 대한 안전성 검토가 소극적으로 수행되어 왔다. 이로 인해, 시공단계에서 장비 운용 계획을 새로 수립하고 재검토해야 하는 비효율성이 지속적으로 발생하고 있다.

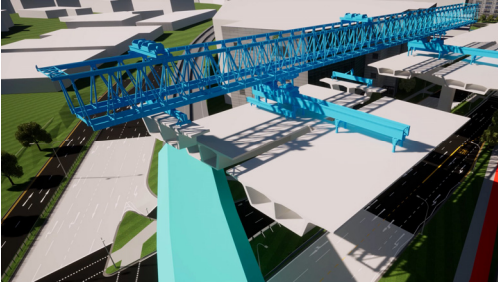
그러나 최근에는 건설 장비 제조사가 3차원 설계를 수행하므로, 이를 구조물 BIM 모델과 결합하여 건설장비의 운용 단계별 위험요소를 시각적으로 검토하고, 시뮬레이션을 활용하여 저감대책을 효과적으로 도출할 수 있다. 이에 착안하여 건설장비 운용에 따른 안전성 검토가 중요한 현장에서 본 기술을

적용하여, BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 검증하였다.

Fig. 4는 도심의 MRT(Mass Rapid Transit) 상부를 통과하는 고가교 건설공사에서 프리캐스트 세그먼트 공법(Precast Segmental Method)에 사용되는 런칭 거더(Launching Girder) 장비의 위험성 평가를 수행한 사례이다. BIM 기반 실시간 렌더링 솔루션인 Twinmotion으로 런칭 거더의 구동 과정을 시각화하고, 이를 VR로 시뮬레이션하여 도심지의 다양한 장애물을 고려한 건설장비 운용 단계별 위험요소 발굴을 신속하게 수행할 수 있었다.

또한 Fig. 5와 같이 시공단계별로 변화하는 구조물의 형상과 건설장비의 동작을 실시간으로 시뮬레이션하여, 주변 장애물과의 이격 거리를 측정하는 등의 정량적 위험성 분석에 효과적으로 활용하였다.

이를 통해 설계단계에서 구체적으로 검토하기 어려웠던 건설장비의 운용 단계별 위험성 평가를 BIM 기반의 시각화 도구들을 활용하여 효과적으로 수행할 수 있었다. 즉, VR이나 실시간 렌더링 기술이 건설



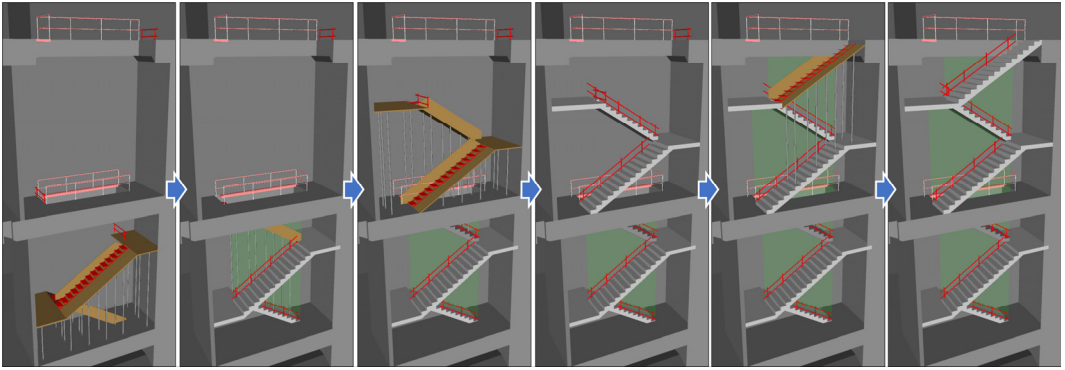
**Fig. 4.** Safety Assessment of Construction Equipment Installation and Operation Phases with BIM-based VR Simulation

Source: Hyundai E&C (2022) (in Korean)



**Fig. 5.** Quantitative Assessment of Minimum Clearance with Adjacent Facilities during Equipment Operation through VR Simulation

Source: Hyundai E&C (2022) (in Korean)



**Fig. 6.** An Example of Design for Safety for Staircases in the Subway Station: Hazard Identification and Mitigation Measure Planning for Construction Phases based on 4D Simulation

장비에 대한 지식이나 경험이 부족한 검토자들에게 건설장비의 운용 단계별 위험상황을 직관적으로 평가할 수 있게 도와주는 것을 확인하였다.

### 3.2.3 사례 분석 3: 건설 공법 및 공정 순서

시공단계가 복잡한 건설 공사에서 건설 공법과 공정 순서를 고려한 설계안전성검토는 매우 중요하다. 그러나 일반적인 형태의 설계도서를 기반으로 공법 및 공정 정보를 파악하여 가설 단계별 위험요인을 발굴하고 분석하기에는 기술적 한계가 있다. 특히, 가설 단계가 개념적으로 표현되는 경우가 많아 위험요소를 파악하기 어렵고, 위험성을 실제보다 과소평가하는 경향이 있다. 따라서 BIM 객체에 공정 정보

를 연계하여 가설 단계를 시각적으로 검토할 수 있는 4D 시뮬레이션을 활용하여, 공정 단계별 위험요소를 직관적으로 발굴하고 이에 대한 저감대책 수립에 활용할 필요가 있다.

Fig. 6은 지하철 역사의 계단실 설계에 대해 4D 시뮬레이션을 활용하여 위험성 평가를 수행한 사례이다. 가설 단계별 작업 공종에 따라, 구조물의 시공 현황과 가설 장비 및 안전 시설물의 배치를 시각적으로 검토함으로써, 시공 단계별 위험요소 발굴과 저감대책 수립에 효과적임을 확인하였다. 또한 발주자를 비롯한 DFS관리자, 시공전문가 등과의 저감대책 공유에 활용하여, 공법이나 공정이 복잡한 공사에 대한 저감대책 다면 평가(안전관리, 미관, 기능, 기

술, 비용, 시간, 환경)를 비롯하여, 대안 선정 및 위험성 재평가 업무에 소요되는 시간을 크게 단축시켰다.

특히, 시공자는 설계안전성검토 결과를 안전관리 계획서에 반영하여 안전관리업무를 수행하도록 규정되어 있는데, 시공 단계별로 안전관리계획이 반영된 4D 시물레이션을 안전관리계획서 작성에 활용하여 관련 업무가 간소화됨을 확인하였다.

3.2.4 정량적 분석 결과

제안된 방법의 위험요소 발굴에 대한 효율성을 정량적으로 분석하기 위해, BIM 기반 위험성 평가 프로세스로 발굴한 위험요소를 기존의 위험성 평가 결과와 비교하여 Table 1에 나타내었다. 3차원 모델을 활용한 위험성 검토를 통해, 5건의 위험요소(기존 시설물 해체, 계단실 시공 등)를 추가적으로 발굴할 수 있었으며, 3차원 시물레이션을 활용해서 2건의 위험요소를 추가 발굴하였다. 이를 통해, 기존 방법 대비 BIM 기반 위험성 평가 프로세스가 위험요소 발굴에 효율적인 것으로 나타났다.

다만, 감전이나 화재와 같은 위험요소는 BIM 상에서 인지하기 어려운 것으로 나타났다. 따라서, 이러한 종류의 위험요소는 공정 계획이나 작업 환경에 대한 정보를 BIM 객체에 반영하거나, 기존의 설계도서 기반의 위험성 평가를 병행할 필요가 있음을 확인하였다.

4. BIM 기반 설계안전성검토(Dfs)

4.1 BIM 기반 Dfs의 업무 절차

앞서 제시한 BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 중심으로 기존의 설계안전성검토를 개선하고 BIM 기반 안전관리 활동에 대한 활용 절차를 보강하여 Fig. 7과 같이 개선된 BIM 기반 Dfs 업무 절차를 수립하였다.

제안된 업무 절차를 활용하면, 발주자는 유사 공종에서 구축된 BIM 기반 Dfs 성과물을 체계적으로 수집하여 설계자와 공유할 수 있으며, 설계자가 작성한 BIM 기반 Dfs를 신속하게 검수하고 피드백을 제공할 수 있다. 또한 심의를 통과한 BIM 기반 Dfs 성과물을 건설공사안전관리종합정보망에 등록하는 절차를 마련하여, 시공단계의 안전관리 업무에 효과적으로 활용하고 향후의 유사 프로젝트에 재활용될 수 있도록 하였다.

제안된 Dfs 업무 절차에 따라, 설계자는 설계안전 검토팀에 BIM 매니저와 BIM 코디네이터를 포함시켜 Dfs 업무가 BIM 기반으로 진행될 수 있는 업무 환경을 구축할 수 있는 근거를 마련하였다. 또한, 협업이 중요한 Dfs 워크숍을 BIM 기반으로 수행하고, 각종 BIM 기반 시물레이션 및 시각화 기술을 활용하여 실질적인 위험성 평가가 가능한 업무 절차를 수립하였다.

아울러 시공자가 BIM 기반 Dfs 성과물을 활용하여 안전관리계획을 수립하는 업무에 더하여, 월간

Table 1. Efficiency Comparison of Hazard Identification

| Accident Types          | Conventional Method | Proposed Method | Remarks   |
|-------------------------|---------------------|-----------------|---|
| Traffic Accident        | 6                   | 6               | -   |
| Overturning Accident    | 11                  | 13              | 2 additional identifications (Demolition, etc.)   |
| Fall Accident           | 4                   | 7               | 3 additional identifications (Staircase, etc.)    |
| Fire, Electrocuton      | 3                   | 2               | A hazard does not identified (Electrocuton)       |
| Caught-between Incident | 3                   | 5               | 2 additional identifications (Heavy Equip., etc.) |
| Total                   | 27                  | 33              | Efficiency of Identification: 122.2%              |

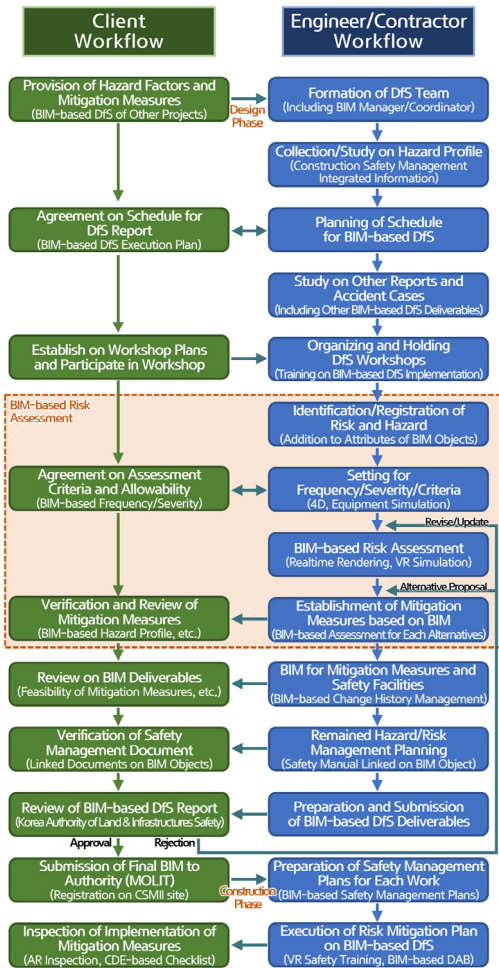


Fig. 7. Enhanced Workflow Process for BIM-based Design for Safety

안전교육, VR 기반 체험형 안전교육, BIM 기반 DAB (Daily Activity Briefings) 활동과 같은 안전관리 활동에 BIM 성과물을 활용할 수 있도록 업무 절차를 보강하였다. 끝으로 AR이나 CDE를 활용하여 발주자와 함께 현장의 저감대책 이행 현황을 모니터링하는 활용 절차도 반영하였다.

이렇게 수립된 업무 절차를 현장의 안전관리 업무에 적용하여 안전 담당자를 비롯한 안전 전문가의 의견을 청취하고 피드백을 반영하여 적정성이 확보 되도록 하였다.

## 4.2 BIM 기반 DfS의 활용 방안 실증

### 4.2.1 CDE 기반의 안전관리 업무 간소화

DfS 정보를 내포한 BIM 모델은 현장의 안전관리 업무 효율을 향상시키는 것으로 나타났다. 특히, CDE를 활용하면 안전관리 활동에 참여하는 다수의 과업 참여자들과 원활한 협업이 가능하여 디지털 기반의 업무 간소화에 도움이 되는 것으로 나타났다.

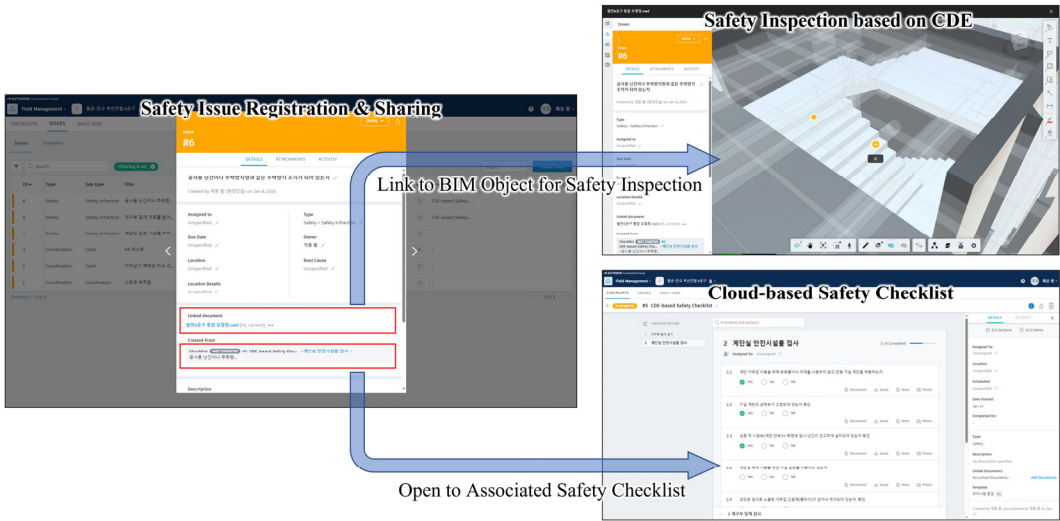
Fig. 8은 지하철 역사의 계단실 시공을 준비하는 단계에서 DfS에서 발굴된 위험요소와 저감대책을 CDE 기반으로 공유하고 안전관리 업무에 활용한 사례이다. CDE에 등록된 안전 이슈사항을 열람하여, 링크로 연결된 안전점검 대상 시설물을 BIM으로 검토하면서 DfS 상의 위험성 평가 데이터를 조회할 수 있다. 또한 현장에서 모바일 디바이스로 CDE에 접속하여, 해당 공종에 대한 안전점검리스트(Safety Checklist)를 그 자리에서 즉시 작성하고 실시간으로 안전관리 담당자들과 공유하여 조치할 수 있다.

이처럼 BIM 기반 DfS 성과물을 클라우드 기반의 CDE로 공유하여 안전관리에 활용함으로써, 현장의 안전 담당자를 비롯하여 공사 감독자, 시공 관리자, 그리고 작업자들이 협업 솔루션에서 안전관리 업무를 효과적으로 수행할 수 있음을 확인하였다. 아울러 기존의 종이 서류 중심의 안전관리 업무를 페이퍼리스(Paperless) 기반의 비대면 업무로 전환하여, 서류 작성 업무가 간소화되고 디지털 정보 활용 효율이 향상되는 효과를 확인하였다.

### 4.2.2 실시간 렌더링 솔루션 기반 안전시설물 검토

BIM의 특징점인 시각화 및 시뮬레이션 기능을 실제 건설 현장과 유사한 수준으로 구현하는 기술이 실시간 렌더링이다. 이를 활용하면, 건설 현장에서 안전시설물의 배치 계획을 사전에 검토하고 안전 저감대책의 효과를 시각적으로 시뮬레이션할 수 있다.

Fig. 9는 도심지 야간 작업에 필요한 안전시설물의



**Fig. 8.** An Practical Implementation of CDE-based Safety Inspection for Staircase Work in the Railway Station: Safety Issue Sharing, Visual Review for Inspection Items and Checklist for Field Inspection based on CDE

배치 계획을 실시간 렌더링 솔루션으로 검토하고 적정성을 평가한 사례이다. 앞서 살펴본 건설장비의 BIM 기반 위험성 평가에서 활용된 BIM 모델을 기반으로 야간 작업에 대한 안전관리 계획을 검토하였다. 특히, 주변 민가에 빛 공해를 유발하지 않는 수준에서 작업 안전이 확보되는 충분한 조도를 제공하기 위해, 가설 조명의 위치와 조도를 BIM 환경에서 조정하면서 실시간으로 시설물 배치 계획을 수립하였다.

이처럼 BIM 기반 DFS 성과물과 VR 시뮬레이션을

현장의 안전관리 계획 수립에 활용함으로써, 저감대책의 현장 적용성을 가상 환경에서 신속하게 검토하고, 작업성을 비롯한 민원 요소까지 선제적으로 고려할 수 있었다. 또한 저감대책을 구체적으로 수립하고 이를 시각화하여, 안전시설물을 설치하고 관리하는 담당자들의 이해를 돕고, 작업자들의 안전교육에 활용하는 등 현장의 안전 향상에 실질적인 도움을 주는 것으로 나타났다.

#### 4.2.3 BIM 기반 안전교육

현장에서 진행되는 다양한 형태의 안전교육에 BIM 기반 DFS 성과물을 활용하면 교육 효과가 향상되는 것으로 나타났다. 특히, 외국인 노동자가 많은 현장에서 기존의 텍스트 문서 위주로 진행되던 안전교육을 BIM 기반으로 전환한 결과, 양방향(interactive) 교육을 통한 교육 참여도 향상과 학습 효과 증대를 확인하였다.

Fig. 10은 현장에서 정기적으로 수행하는 월간 안전교육을 BIM 기반으로 진행한 사례이다. 텍스트 형태의 위험성 평가표를 기반으로 진행하던 기존의 일



**Fig. 9.** Mitigation Measure Simulation based on Real-time Rendering Solution: A Case Study on Temporary Lights for Night Work

Source: Hyundai E&C (2022) (in Korean)



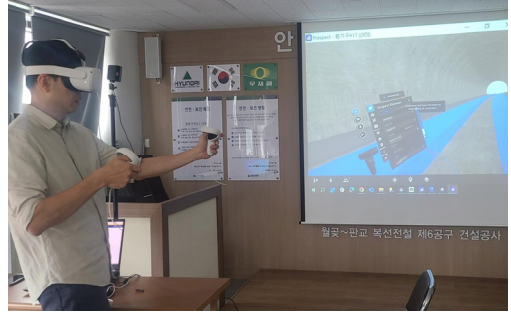
**Fig. 10.** BIM-based Monthly Safety Training for Foreign Workers

방향 교육에서 탈피하여, BIM을 기반으로 위험요소를 입체적으로 살펴보고 저감 대책 및 사고 예방 계획을 시각적으로 전달하는 양방향 참여형 교육을 진행하여 교육 효과를 높일 수 있었다.

또한 공종별 협력업체 직원들과 시공사의 관리자들이 일일 작업 계획을 협의하고 위험 공종에 대한 안전 조치 사항을 점검하는 DAB 활동에 BIM을 활용하여 위험 요소 인식 및 저감대책 수립과 같은 의사결정 속도가 빨라진 것으로 나타났다.

아울러 BIM 기반 DFS 과정에서 구축된 건설장비 시물레이션이나 4D 시물레이션을 활용하여 현장 맞춤형 VR 안전교육 콘텐츠를 제작하고, 체험형 안전 교육에 활용하였다. 특히, VR 환경에서 BIM 모델을 수정할 수 있는 The Wild나 Prospect를 활용하여, 위험 작업을 체험해보거나 안전시설물을 재배치해보는 등 저감대책 수행 방법을 가상 환경에서 검토할 수 있었다.

Fig. 11은 Prospect를 활용하여 VR 기반의 체험형 안전교육을 수행한 사례이다. 의사소통이 어렵고 시공 경험이 부족한 외국인 근로자나 특수공법에 참여하는 작업자를 대상으로 안전 조치 및 비상시 대응 방법에 대한 체험형 교육을 시행하여, 예상되는 위험요소를 명확하게 인지시키고 현장에서의 안전 조치 및 작업 준비에 소요되는 시간을 크게 단축시킬 수 있었다.



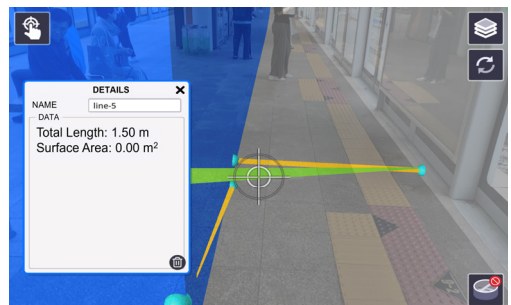
**Fig. 11.** Immersive VR-based Experiential Safety Training by Leveraging BIM Integrated with DFS Information

또한, VR 환경에서 DFS 정보를 조회하거나 시설물의 치수를 측정하는 등 위험성 평가를 효과적으로 수행할 수 있었으며, 가상 환경에서 안전 시설물을 배치하고 최적화해보는 등의 위험 지역의 안전관리 계획 수립에도 유용하게 활용하였다.

#### 4.2.4 AR 기반 안전점검

HoloLens나 SiteVision과 같은 AR 디바이스를 활용하면, 현실 세계의 영상에 BIM과 같은 가상의 객체 및 디지털 정보를 투영하고 시각화할 수 있다. 이를 통해, 위험요소에 대한 저감대책의 현장 적용성을 비롯하여, 안전시설물의 설치 규정 준수 여부 등을 시각적으로 검토할 수 있다.

Fig. 12는 AR 기술을 활용하여 도시철도 승강장의



**Fig. 12.** AR-based Safety Facility and Risk Mitigation Plan Inspection on Site

환승 통로 설치 공사에 대한 BIM 기반 DFS의 활용 방안을 실증한 사례이다. DFS 정보가 내포된 BIM 모델을 AR 디바이스로 표출하여, 승객들이 이용 중인 승강장에서 안전시설물 설치 계획을 시각적으로 검토하였다. 특히, 저감대책에서 요구하는 통행로 폭원이 충분한지 정량적으로 평가할 수 있었으며, 공사로 인한 안전사고 요인이나 민원 요소 등을 시각적으로 검토하였다.

이를 통해, 승강장을 이용하는 승객들에 대한 별도의 통제 없이 공사로 인한 위험 상황이나 불편함을 현장에서 시각적으로 검토할 수 있었다. 또한, 발주자가 시민들의 시설물 이용 편의성과 안전 확보의 관점에서 안전관리 계획을 시각적으로 검토할 수 있었으며, 안전시설물이 규정에 맞게 설치되었는지를 점검하고 검증하는 업무에도 활용성이 우수한 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구는 BIM을 활용하여 기존의 유명무실하다는 지적을 받아 온 설계안전성검토의 업무 효율을 향상시키고, 실질적인 안전관리 효과를 거둘 수 있는 방안을 제시하였다.

우선, 설계안전성검토의 핵심 절차인 위험성 평가를 BIM 기반 수행하는 방법론을 제시하였다. 아울러 이를 설계 실무에 적용한 사례 분석을 통해, BIM 기반 위험성 평가 프로세스의 현장 적용성과 효과를 검증하였다. 특히, 위험요소 발굴 건수를 기준으로 기존 방식과 제안된 방법론을 정량적으로 비교하여, 제안된 방식이 효율적임을 확인하였다.

제안된 BIM 기반 위험성 평가 프로세스에 BIM 기반 DFS 성과물을 시공단계에 활용하는 절차를 추가하여 개선된 BIM 기반 DFS 업무 절차를 수립하였다. 이를 통해, 설계 초기 단계부터 BIM 기반의 위험성 평가와 저감대책 수립 업무를 내재화하고, 과업 참

여자들과의 BIM 기반 정보 공유를 통해 안전성이 확보된 설계가 도출될 수 있도록 하였다.

아울러 설계단계에서 생성된 BIM 기반 DFS 성과물을 시공단계의 안전관리 활동에 활용하는 업무 절차를 현장에서 실증하였다. 이를 통해, CDE를 기반으로 정보 공유와 협업이 증진되어 안전관리 업무의 효율이 향상되고, 페이퍼리스 기반의 업무 간소화가 가능함을 확인하였다. 또한, 실시간 렌더링 솔루션을 활용한 안전시설물 배치 계획 수립 및 검토를 비롯하여, BIM 기반의 체험형 안전교육, AR 기반의 안전점검 등의 안전관리 활동에 BIM 기반 DFS 성과물이 효과적으로 활용될 수 있음을 실증하였다.

제안된 BIM 기반 DFS 방법론은 발주자와 설계자, 시공자 간의 협업 증진을 비롯하여, 안전관리 업무의 효율 향상과 디지털 기반의 안전 DB 구축에 기여할 것으로 기대된다. 본 연구를 시작으로 건설 안전과 관련된 BIM 기술이 지속적으로 개발되고 후속 연구가 활발히 진행되어, BIM이 선제적 안전관리를 실현하는 최적의 도구로 자리매김하기를 바란다.

## 참고문헌

- 강인석·문진석·권중희(2007), “토목공사 개념설계 단계의 가상현실(VR) 기능 구축방안 연구”, 「대한토목학회논문집」, 27(6D): 759~765.
- 국토교통부(2017), 「설계 안전성 검토 업무 매뉴얼」, 세종.
- 고용노동부(2023), 「2022년 산업재해현황분석」, 세종.
- 권오철·조주원·조찬원(2013), “설계단계에서의 BIM 안전설계 품질검토”, 「한국CAD/CAM학회논문집」, 18(5): 348~358.
- 김현승·강인석(2020), “도면증강 객체기반의 건설공사 사전 시공검증시스템 개발 연구”, 「LHI Journal」, 11(3): 93~101.
- 신민호·안기성·정지현·박사랑(2023), “철도 인프라 BIM과 CDE기반 안전 리스크 관리 방안”, 「한국철도학회 논문집」, 26(1): 23~32

7. 이동건·김진원·손정락(2019), “모듈러주택 품질관리를 위한 BIM 적용 방안”, 『LHI Journal』, 10(2): 59~67.
8. 이치주(2020), 「건설산업재해 감소를 위한 설계안전성검토(DfS)와 건설정보모델링(BIM)의 적용방안」, 세종: 국토연구원.
9. 이치주·함성일(2020), “떨어짐 사고 예방을 위한 DfS와 BIM 기반의 안전난간 설계가이드 시스템”, 『대한건축학회논문집』, 36(10): 235~241.
10. 한국시설안전공단(2017), 「설계안전성검토(Design for Safety) 적용 매뉴얼 개선방안 연구」, 진주.
11. 현대건설(2021), 「설계안전검토 보고서: 월곶~판교 복선전철 제6공구 건설공사(T/K) 실시설계」, 경기. Hyundai E&C (2021), “Design for Safety Report: Detailed Design for the Contract 6 of the Wolgot~Pangyo Double-Track Railway Project”, Kyunggi. (in Korean)
12. 현대건설(2022), 「토목 프로젝트에서의 BIM 적용 우수사례」, 서울. Hyundai E&C (2022), “Best Practices of BIM Implementation for Infrastructure Projects”, Seoul. (in Korean)
13. Kim, I., Y. Lee and J. Choi (2020), “BIM-based Hazard Recognition and Evaluation Methodology for Automating Construction Site Risk Assessment”, *Applied Sciences*, 10: 2335.
14. Mzyece, D., I. E. Ndekugri and N. A. Ankrah (2019), “Building Information Modelling (BIM) and the CDM Regulations Interoperability Framework”, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(11): 2682~2704.
15. Park, C. S. and H. J. Kim (2012), “A Framework for Construction Safety Management and Visualization System”, *Automation in Construction*, 33: 95~103.
16. Zhang, S., K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman and J. Teizer (2015), “BIM-based Fall Hazard Identification and Prevention in Construction Safety Planning”, *Safety Science*, 72: 31~45.
17. Zou, Y., A. Kiviniemi and S. Jones (2015), “BIM-based Risk Management: Challenges and Opportunities”, *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference*, Eindhoven, The Netherlands.

## 요 약

설계안전성검토(DfS)는 설계상의 잠재적인 위험요소를 선제적으로 제거하기 위해 도입되었으나, 위험성 평가 및 위험요소 발굴이 2D 설계를 기반으로 수행되어 피상적이고, 업무 절차가 비효율적이라는 한계가 지속적으로 제기되고 있다. 본 연구는 기존 설계안전성검토의 한계를 극복하고자 Building Information Modeling(BIM)을 활용하여 업무 효율을 향상시키고 실질적인 안전관리 효과를 얻을 수 있는 BIM 기반 설계안전성검토 방법론을 제시한다. 제안된 BIM 기반 설계안전성검토의 업무 절차는 설계 단계에서의 위험성 평가와 시공 단계에서의 안전관리 활동과 같은 사례 연구를 통해 실무 적용성을 보완하고 검증하였다. 특히, 설계안전성검토 업무 절차의 핵심 과정인 위험성 평가 프로세스를 BIM 기반으로 전환하여 제시하였으며, 구조물 설계를 비롯하여 건설장비 운영이나 공법 및 공정 순서에 대한 설계안전성검토에 BIM 기반 위험성 평가 프로세스를 적용한 사례 분석을 통해 설계 실무의 적용성을 검증하였다. 또한, Common Data Environment (CDE) 기반의 일일 안전 브리핑을 비롯하여 가상현실(VR) 기반 안전교육, 증강현실(AR) 기반의 위험요소 저감대책 점검과 같은 현장의 안전 관리 활동에 BIM 기반 설계안전성검토 기법을 적용하여 현장 적용성과 업무 효율성이 우수함을 확인하였다.

**주제어:** 건설정보모델링(BIM), 설계안전성검토(DfS), 위험성 평가, 가상현실(VR)/증강현실(AR), 안전교육



# 「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, Accessed February 28, 2010. 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 오타자, 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)<br>(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 명기하여야 한다.
  - 라. 연구보고서나 그 일부를 그대로 또는 수정·보완하여 「토지주택연구」에 투고하는 경우에는 반드시 그 사실을 명기하여야 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<br>(Humanities & Social Science)      | 국토(국토 및 지역계획, 도시행정, 해외 및 북한도시개발 등),<br>주택(주거복지, 주택관리, 주거학 등) |
|   | 도시(도시계획, 생태·환경계획, 조경·경관계획 교통계획, 공간정보 등)                      |
|   | 부동산(토지·부동산시장분석, 부동산금융, 부동산 개발, 주택경제 등)                       |
| 공학·기술<br>(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 : Zero Energy Architecture and Green Remodeling for Carbon Neutrality

#### Featured Paper

- 1 Deriving Priorities Based on Combination of Green Remodeling Application Elements in Old Public Libraries  
Sung Jin Sim · Se Hyeon Lim · Seong Eun Kim · Yong Woo Song
- 9 Calibration and Verification of Detailed Prototypical Apartment Building Energy Models for Estimation of Green Remodeling Feasibility  
Donghyun Seo
- 19 Analysis of Potential to Achieve Carbon Neutrality through Technical Definition and Case Study of Carbon-Neutral Buildings  
Min Hee Chung
- 29 Importance of Preliminary Validation of Exterior Wall Thermal Resistance in the Evaluation Context of Building Energy Retrofit Projects  
Seungmin Lim · Soyeon Kim · Changoh Kang · Gain Kim · Jongyeon Lim

#### General Paper

- 39 Residential Independence of Youth and Policy Implications  
Yoonhye Jung · Jinuk Sung
- 57 A Study on the Vulnerability Assessment of Solar Power Generation Facilities Considering Disaster Information  
Heejin Pyo
- 73 Commuting Efficiency Comparison of Metropolitan Areas in South Korea: Application of Constrained Monte-Carlo Simulation to Avoid the MAUP  
Hyunseong Yun · Seung-Nam Kim
- 89 Effects of Seodaegu Station Development on the Surrounding Apartment Market: Focus on the Effects of Educational Environment  
Hyeontaek Park · Jinyhup Kim
- 107 A Study on the Types and Determinants of Young Farmers: Focusing on Young Farmers in Muan-gun, Jeollanam-do  
Hyangmi Yi · Jongha Kim
- 125 Workflow Procedures and Applications in BIM-based Design for Safety (DfS)  
Jaewoong Hwang · Heetaek Yoon · Junhyun Bae · Youngkon Park