



부분 참여형 공동주택 그린리모델링의 건축적 리스크 분류 및 대응체계 제안

Architectural Risk Classification in Partial Participation Green Remodeling of Apartment Buildings and Proposed Response Framework

고수민* · 강찬혁** · 정보경*** · 권영철**** · 최창호*****

Su-Min Go* · Chan-Hyeok Kang** · Bo-Kyung Jung*** · Young-Cheol Kwon**** · Chang-Ho Choi*****

* Main author, Researcher, Innovation Group, EnergyX Inc, Goyang, Gyeonggi-do, South Korea (sgo4422@energyx.co.kr)

** Coauthor, Integrated Master's and Doctoral Course, Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Kwangwoon Univ., South Korea (rkd885789@naver.com)

*** Coauthor, Head, Innovation Group, EnergyX Inc, Goyang, Gyeonggi-do, South Korea (bjung@energyx.co.kr)

**** Coauthor, Professor, Dept. of Architecture, Halla Univ., South Korea (yckwon@halla.ac.kr)

***** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Kwangwoon Univ., South Korea (choi1967@kw.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to systematically classify the architectural risks that may arise during the partial participation green remodeling of apartment buildings into physical/technical, institutional/evaluative, legal, and social/operational dimensions, and to propose practical response frameworks to provide foundational data. **Method:** The risks were identified through a qualitative analysis based on an extensive literature review, and the spatial scope was limited to apartment buildings within South Korea. For risk classification, the risk management guidelines of ISO 31000:2018 were followed, utilizing the establishment of the scope and context, along with risk identification procedures, as core methodologies. **Result:** As a result, the architectural risks of partial participation green remodeling were classified into four distinct categories: ① envelope continuity disruption, ② building-level evaluation system mismatch, ③ disputes over common area construction authority and boundary defect liability, and ④ inter-household equity conflicts and maintenance responsibility gaps. Furthermore, it was identified that these risks do not exist in isolation but rather form a cascading causal structure. To address these risks, a comprehensive risk response matrix was proposed, integrating technical measures such as the mandatory installation of thermal breaks at boundaries and airtightness testing with institutional improvements including the introduction of a Green Remodeling coordinator system and a digital maintenance log system. These findings are expected to serve as foundational data for establishing policies to promote on-site tailored green remodeling and to achieve national greenhouse gas reduction targets in the future.

KEYWORD

공동주택
부분 참여형 그린리모델링
리스크 유형화
대응체계

Apartment Building
Partial Participation Green Remodeling
Risk Classification
Response Framework

ACCEPTANCE INFO

Received Jun. 1, 2026

Final revision received Jun. 9, 2026

Accepted Jun. 12, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

지구온난화의 가속화로 인해 범세계적으로 온실가스 배출을 줄이고 탄소중립을 달성하기 위한 다양한 정책이 시행되고 있다. 우리나라는 2022년 탄소중립기본법을 제정함에 따라, 제1차 국가 탄소중립 녹색성장 기본 계획에서 2030년까지 예상 배출량 대비 40%를 온실가스 감축 목표로 설정하였다[1]. Fig. 1.은 분야별 2030 온실가스 배출 감축 목표를 나타낸 것이다. 여기서 특히, 건물 부문은 2018년 온실가스 배출량 52.1백만 톤에서 2030년 35백만 톤으로 32.8%의 감축 목표가 수립되었기에 핵심적인 전략이 필요하다[1].

건물 부문의 국가 온실가스 감축 목표 달성을 위한 주요 정책으로는 신축 건축물 에너지 성능 강화, 기존 건축물 에너지 성능 개선, 녹색건축 실현 기반 구축이 있다. 건축물을 신축할 때 제로에너지건축물(ZEB, Zero Energy Building) 의무화 대상을 단계적으로 확대하고 있으며, 전국 건축물 약 700만 동의 에너지 통합 관리를 위한 시

스템을 구축하고 에너지 절감 정책을 지원하고 있다.

기존 건축물의 에너지 성능 개선을 위한 수단은 재건축·재개발, 그린리모델링(Green Remodeling, GR)이 존재한다. 그러나 정책 효율성 측면에서 그린리모델링이 가진 이점이 매우 크다. 이는 재건축에 비해 사업 기간이 현저히 짧고, 탄소 발생을 최소화하며 기존 자원을 순환한다는 점에서 탄소중립의 방향성에 가장 부합하기 때

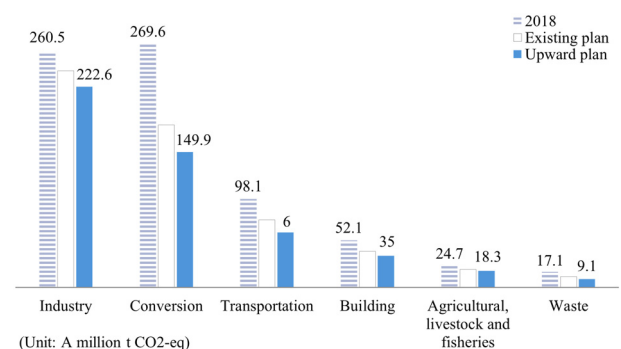


Fig. 1. 2030 Greenhouse gas emissions target by sector

문이다[2].

또한, 현재 우리나라 주택의 54.9%가 건축된 지 20년 이상 경과하였으며, 30년 이상 된 주택은 전체의 28%로 1년 사이에 53만 호가 증가하여 노후화 속도가 점차 가속되고 있다[3,4]. 국토교통부가 발표한 2021년 건물 에너지 사용량 통계에 따르면 단열 기준이 최초로 도입된 1979년 이전 사용승인을 받은 주거용 건물은 최근 10년 이내 준공된 건물에 비해 단위면적당 에너지 사용량이 약 23% 더 많은 것으로 나타났다. 이를 통해 노후화 주택의 에너지 효율 개선이 시급한 실정임을 확인할 수 있다[5].

2024년 인구주택총조사에 따르면 전국 총 주택 1,987만 호 중 공동주택은 1,582만 호로 전체의 약 80%를 차지하기에 현재 한국 주거 유형의 핵심이다[3]. 이 중 아파트만 1,297만 호로 65.3%에 달하며, 아파트 거주 가구는 2015년 48.1%에서 53.9%로 꾸준히 증가하고 있다. 그리고 전체 건물 에너지 사용량의 41.7%가 공동주택에서 발생하기에 건물 부문의 탄소중립에 있어 가장 직접적이고 규모 있는 수단이다[6]. 공동주택은 다수의 세대가 공동으로 건물 외피를 공유하는 구조로 단독주택 대비 단위 투자 비용 당 에너지 절감 효과와 온실가스 감축 잠재력이 크다.

이와 같은 필요성에 따라 공동주택 그린리모델링은 공공 및 민간 건축물을 대상으로 활성화되고 있다. 그러나 이 과정에서 공동주택의 특수성이 큰 문제점으로 작용하고 있다. 공동주택은 「집합건물의 소유 및 관리에 관한 법률」 상 구분소유자 각각의 독립적 재산권으로 인정되지만, 외벽·지붕·공용설비 등 핵심 부위는 공용부로 분류된다[7]. 이러한 이중적 소유 구조는 그린리모델링 추진 시 전체 세대의 동의를 전제 조건으로 한다. 그러나 비용적 부담, 거주 형태의 다양성, 임대 및 자가 혼재 등 현실적 요인으로 단지 내 전체 세대의 참여를 확보하는 것은 불가능에 가깝다. 실제로 국토안전관리원 그린리모델링 창조센터의 연간 추진 실적에 따르면, 2020년 이후 민간 공동주택 그린리모델링 지원사업에서 동(棟) 단위의 전체 세대 참여를 달성한 사례는 전체 지원 건수의 일부에 그치며, 대부분 사업이 부분 참여 형태로 진행된 것으로 나타난다[8]. 결과적으로 그린리모델링은 참여 의사를 밝힌 일부 세대만을 대상으로 하는 부분 참여형 형태로 진행되는 경우가 빈번하다.

문제는 건물은 하나의 연속된 열·기류·구조 시스템이라는 것이다. 건물 외피의 단열, 기밀, 환기는 전체적 연속성을 전제로 설계되며, 이를 부분적으로 단절하면 참여 세대와 미참여 세대의 경계부에서 단열재의 불연속으로 인한 열교(Thermal bridge), 내부 결로, 환기 불균형 등 복합적인 리스크가 발생한다. 더 나아가 외벽 공용부의 법적 소유 및 세대별 시공 행위에 따른 충돌, 에너지 성능 인증의 어려움, 외관·소음·비용 부담을 둘러싼 사회적 갈등 등 기술적 범주를 넘어선 관계적 문제로도 확장된다.

이처럼 부분 참여형 그린리모델링은 단순한 시공 범위의 문제만이 아니라 건물 성능의 저하 및 사업의 지속 가능성 훼손까지 이어질 수 있는 구조적 리스크를 내포하고 있다. 그러나 국내 학술 연구 및 정책 논의는 그린리모델링의 확산 필요성과 기술적 공법에 집중되어 있으며, 부분 참여와 같은 현실적 시공 조건에서 발생하는 리스크의 유형화 및 체계적 대응 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 공동주택 부분 참여형 그린리모델링 과정에서

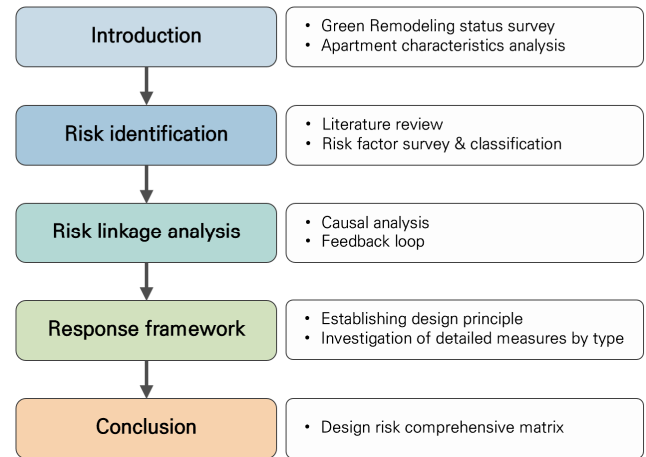


Fig. 2. Research flow chart

야기될 수 있는 건물 리스크를 물리·평가·법·사회적 측면에서 체계적으로 분류하고, 각 리스크에 대응하는 실효성 있는 대응 체계를 제안하는 것을 목적으로 한다. 이는 그린리모델링 사업이 현장의 현실적 조건을 반영한 방향으로 발전할 수 있도록 하는 기초 자료를 제공하는 데 의의를 둔다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 공간적 범위는 대한민국 내 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택)으로 한정하며, 단독주택 및 비주거용 건축물은 대상에서 제외한다. 시기는 국내 그린리모델링 제도가 본격적으로 시행된 2020년 이후를 중심으로 하되, 필요에 따라 그 이전까지 검토한다. 또한 부분 참여형 공동주택 그린리모델링 시행 시 발생 가능한 리스크의 유형화와 이의 대응체계 제안에 집중하고자 하므로 특정 공법의 기술적 성능 검증이나 경제성 분석은 본 연구 범위에서 제외한다.

Fig. 2는 본 연구의 흐름도를 나타낸 것이다. 본 연구는 문헌 고찰을 통한 정성적 분석을 진행하는 연구로서, 다음과 같은 방법론적 절차를 따른다. 문헌 검색은 국내 학술 데이터베이스(RISS, KISS, DBpia)와 국외 데이터베이스(Scopus, Web of Science, Google Scholar)를 활용하였으며, ‘green remodeling’, ‘energy retrofit’, ‘partial renovation’, ‘thermal bridge’, ‘apartment building’, ‘risk’, ‘그린리모델링’, ‘부분 시공’, ‘공동주택’을 핵심 검색어로 사용하였다. 부분 시공 조건에서의 리스크 또는 공동주택 에너지 성능 관련 내용을 실증적·제도적으로 보고한 문헌을 선정 기준으로 하였다. 실험실 수준의 재료 성능 연구나 단독주택 대상 연구는 제외하였다.

2. 공동주택 그린리모델링의 특징

2.1. 선행 연구 고찰

1) 그린리모델링의 개념 및 현황

그린리모델링은 「녹색건축물 조성 지원법」 제2조 및 제27조에 근거하여, 에너지 성능이 저하된 노후 건축물의 단열·창호·설비 등을 개선함으로써 에너지 효율을 향상시키고 온실가스 배출을 저감

하는 건축 행위로 정의된다[9]. 단순한 유지보수와 달리, 건물 에너지 성능을 정량적으로 개선하는 것을 목표로 하며 고성능 단열 보강, 고기밀·고효율 창호 교체, 열회수형 환기장치(HRV), 고효율 냉난방 설비, 신재생에너지, LED 조명, 에너지 모니터링 시스템(BEMS) 등이 핵심이다[10].

선행연구는 그린리모델링 사업의 에너지 절감 효과, 온실가스 감축 잠재량[11], 공공건축물 대상 성능평가 방법론[12,13] 등에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 국외에서는 부분 리노베이션의 에너지 성능 예측-실측 괴리[14~16], 열교 및 결로 리스크[17~19], 공동주택 소유 구조에 따른 법적 분쟁[20~22] 등에 관한 연구가 이루어지고 있다. 반면 공동주택의 부분 참여라는 현실적 시공 조건에서 발생하는 리스크와 대응 방안에 초점을 맞춘 연구는 현재까지 매우 미흡한 실정이다. 이러한 선행연구의 공백은 현장에서 실제로 진행되고 있는 부분 참여형 그린리모델링의 리스크가 충분히 인식되거나 제도적으로 반영되지 않고 있음을 시사한다. 특히 열교·결로와 같은 물리적 리스크는 시공 후 수년이 경과한 이후에야 가시화되는 경향이 있어, 사전적 유형화와 선제적 대응 기준 마련이 시급하다.

2) 공동주택 특징

공동주택은 하나의 건축물 안에 복수의 독립된 구분소유 단위(세대)가 공존하는 주거 유형으로, 외벽·지붕·계단실·복도·기계실 등의 공용부분을 구분소유자 전원이 공유하는 구조적 특성을 지닌다[23]. 이러한 구조는 에너지 성능의 측면에서 단독주택과 본질적으로 다른 특성을 만들어낸다.

우선 공동주택은 세대 간 경계벽(inter-unit wall)과 층간 슬래브를 통해 열이 상호 전달되는 구조이므로, 인접 세대의 난방 상태가 해당 세대의 열손실에 직접적인 영향을 미친다. 현행 건축물 에너지 절약설계기준[24]에서 공동주택 세대 간 경계벽의 열관류율 기준은 외벽보다 완화 적용되나, 이는 양측 세대 모두 난방 중임을 전제로 한 것이어서 일방적 단열 시공 시 설계 가정 자체가 무너진다. 또한 건물 외피의 단열·기밀 성능은 전체 외벽이 연속적으로 처리될 때 설계 성능에 근접할 수 있으며, 일부 구간만 시공할 경우 불연속 경계부에서 성능이 급격히 저하된다[14]. 아울러 공동주택의 환기 시스템은 공용 덕트 또는 공용 샤프트를 매개로 다수의 세대가 연결되어 있어, 일부 세대의 기밀 개선이 건물 전체의 기압 분포에 영향을 줄 수 있다.

또한 외벽은 공용부분으로 분류되므로 개별 세대의 독립적인 변경 행위가 원칙적으로 제한되며, 관리단의 동의 없이 이루어진 외피 변경은 법적 분쟁으로 이어질 수 있다. 이처럼 공동주택은 물리적·법적 측면 모두에서 그린리모델링의 부분 시공이 복합적인 문제를 야기할 수 있는 구조를 내재하고 있다.

2.2. 부분 참여형 그린리모델링의 구조적 특성

1) 부분 참여형 그린리모델링의 시공 유형 분류

공동주택에서 전체 세대의 동의 확보는 현실적으로 매우 어렵다. 「집합건물의 소유 및 관리에 관한 법률」 제15조는 공용부분의 변경에 구분소유자 및 의결권 각 3분의 2 이상의 결의를 요구한다[7]. 따라서 이러한 조건에서 시행되는 그린리모델링은 참여 범위와 시공

Table 1. Classification of green remodeling construction types in apartment houses

Classification	Detail
Interior unit stand-alone construction type	- A type in which participating units independently carry out improvements limited to their own exclusive areas, such as replacing boilers with high-efficiency models, installing heat recovery ventilation(HRV) systems, replacing lighting with LED, and reinforcing interior insulation - Since no direct modifications are made to common areas, the likelihood of legal disputes is relatively low; however, energy savings are limited due to the absence of thermal performance improvements to the building envelope, including exterior walls and windows
Partial unit participation type (within the same building)	- A type in which only some units within the same building participate in envelope improvements such as window replacement, exterior insulation finishing system (EIFS) installation, and balcony insulation reinforcement - Thermal discontinuities occur at the boundaries between participating and non-participating units, making this the type that carries the most complex risks
Common area integration hybrid type	- A type in which construction targeting common areas — such as rooftop insulation, underground parking ceiling insulation, and common corridor window replacement — is carried out in conjunction with participation from select units - Construction work on common areas requires a resolution by the building management association - Equity issues, such as cost-sharing arrangements, may arise

위치에 따라 크게 세 가지 유형으로 분류할 수 있다. 본 분류는 「그린리모델링 지원사업 운영 등에 관한 고시」[10]에서 규정하는 시공 범위 구분(전유부분 vs. 공용부분)과, 국내 그린리모델링 현장에서 실제로 나타나는 참여 패턴[8,25]을 종합하여 도출한 결과로 이를 Table 1.에 정리하였다.

세대 내부 단독 시공형과 단지 내 일부 세대 참여형은 일부 세대만 참여하므로 참여 범위는 같으나 시공의 건물 외피 개입 여부가 상이한 유형이기에 분류하였다. 세대 내부 단독 시공형은 외피를 건드리지 않아 인접 세대 간 물리적 간섭이 존재하지 않는다. 그러나 단지 내 일부 세대 참여형에서 창호나 외단열을 시공하게 되면 참여 세대와 미참여 세대의 경계부에서 연속성이 단절되어 리스크가 발생하게 되므로 별도 유형으로 분류하였다.

세 유형은 상호 배타적이지 않으며, 실제 사업에서는 복수의 유형이 혼재된 채로 진행되는 경우도 있다. 예를 들어, 공용부 옥상 단열(혼합형)과 일부 세대의 창호 교체(일부 세대 참여형)가 동시에 시행되는 경우가 이에 해당한다.

세 유형 중 세대 내부 단독 시공형은 전유부에 한정되어 물리적 간섭이 적고, 공용부 연계 혼합형은 관리단 의결을 전제로 한다. 그러나 단지 내 일부 세대 참여형은 인접 세대 간 외피 연속성 단절로 가장 복잡적이고 치명적인 리스크를 양산하기에 본 연구는 단지 내 일부 세대 참여형 공동주택 그린리모델링을 중심으로 리스크를 분류하고 대응 체계를 제시하는 것을 목적으로 한다.

Table 2. Risks of partial participation green remodeling

Risk	Detail
Thermal Bridge Formation	- When thermal continuity is not secured at the boundary the total thermal bridge area across the building envelope increases, resulting in a localized reduction in interior surface temperature at the affected zones - This serves as energy loss and a physical driver of condensation occurrence [26]
Interstitial Condensation	- When the air barrier is not continuously installed, air leakage occurs due to pressure differentials - As indoor air meets the building envelope and reaches surfaces below the dew point, interstitial condensation develops [27]
Surface Condensation, Deterioration of Indoor Air Quality	- If appropriate mechanical ventilation is not incorporated and insulation performance of indoor vapor pressure rises - Surface condensation concentrates - This leads to a deterioration of indoor air quality [28]
Conflict of Exterior Walls Permissions	- Individual unit-level envelope improvements inherently involve structural conditions that affect the exterior wall surfaces of adjacent units - This constitutes a potential source of legal disputes
Social Conflicts Including Aesthetic Inconsistency, Construction Nuisance	- Disputes may arise over the allocation of rework costs for previously completed sections at the time of future comprehensive remodeling - Noise, vibration, and dust generated during construction cause direct harm to non-participating units, constituting a practical obstacle to project implementation

2) 문제점

앞서 분류한 세 유형에 공통적으로 내재된 구조적 문제는 건물의 연속성 단절에서 비롯된다. 건물 외피는 단열, 기밀, 환기, 구조가 상호 유기적으로 연결된 하나의 통합 시스템으로 설계되며, 이 연속성이 세대 단위로 단절될 때 설계 의도와 실제 성능 사이에 심각한 괴리가 발생한다. 구체적인 리스크는 Table 2.와 같다.

여기서 물리적 리스크들은 시공 후 수년이 경과한 이후에 가시화되는 경향이 있어 사전 예방적 접근이 특히 중요하다. 해당 문제들은 단독으로 발생하기보다 서로 연쇄적으로 발생하고 증폭되는 복합 리스크의 성격을 띠고 있어 체계적인 분류와 대응이 요구된다.

3. 부분 참여형 그린리모델링의 리스크 구조 분석

3.1. 리스크 분류 체계

본 연구는 리스크 분류 체계의 수립을 위해 ISO 31000:2018이 제시하는 리스크 관리 프로세스를 준용하였다[29]. 국제 표준에서 제시한 프로세스는 Fig. 3.에 나타내었으며, Communication & Consultation, Scope, Context, Criteria, Risk Assessment, Risk Treatment, Monitoring & Review, Recording & Reporting으로 구성된다. 또한 이 과정은 순환적·반복적 절차로 운영되어야 한다고 제시한다.

ISO 리스크 관리 프로세스를 기반으로 부분 참여형 그린리모델

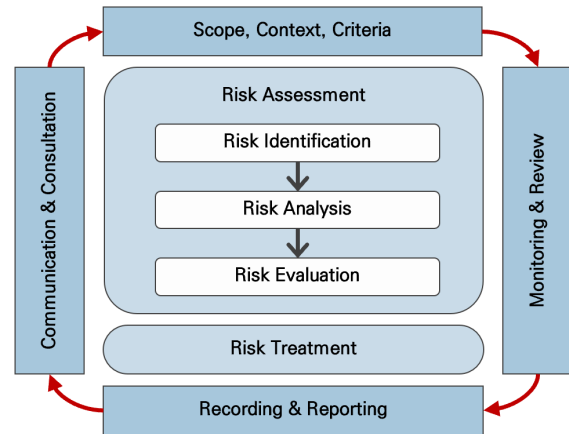


Fig. 3. Risk management process of ISO

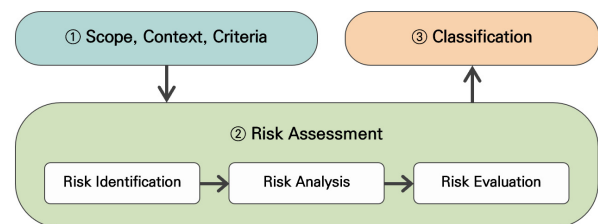


Fig. 4. Risk classification process of partial participation GR

Table 3. Set analysis context of partial participation GR

Context	Application to partial participation green remodeling
Factor of 5.4.2	
External context	- Energy certification schemes - Provisions on alterations to common areas under the 「Act on Ownership and Management of Aggregate Buildings」 - Operational guidelines for the Green Remodeling Support Program
Internal context	- Vertical stacking structure in multi-family residential buildings - Separation of unit-level authority arising from sectional ownership - Responsibility framework for common area administration - Physical connectivity of mechanical systems and building envelope across units
Risk management	- Partial participation conditions, in which only a subset of units takes part in construction - A core premise that, in combination with external and internal contexts, gives rise to and exacerbates risks

링에서 발생하는 리스크의 분류 체계 수립을 위해 Scope, Context, Criteria, Risk Assessment를 활용하였으며, 본 논문에서의 리스크 분류 절차는 Fig. 4.와 같다.

1) 분석 범위 및 맥락 설정

ISO 31000:2018은 Risk Assessment에 앞서 분석 대상의 범위와 맥락을 수립하도록 한다. 이를 통해 리스크를 효과적으로 평가하고, 적절한 리스크 처리가 가능하도록 관리 프로세스를 맞춤화하는 과

정이다. 이에 본 연구는 부분 참여형 그린리모델링의 외부·내부 맥락 및 리스크 관리 맥락을 Table 3.과 같이 설정하였다.

2) 범주 설정 기준

본 연구는 식별된 리스크를 하나의 범주로 인정하기 위한 기준을 다음 세 가지로 설정하였다.

첫째, 각 범주는 둘 이상의 독립된 국내외 선행 문헌에서 실제 보고된 리스크 사례에 기반하여 도출하였다.

둘째, 각 범주는 부분 참여라는 시공 조건에 의해 비로소 발생하거나 본질적으로 심화되는 리스크에 한정되며, 일반 리모델링에서 공통적으로 발생하는 보편적 리스크(공사 중 소음·분진 등)는 제외하였다.

셋째, 각 범주는 ISO 31000의 리스크 식별 절차에서 요구하는 원인-메커니즘-결과와 명확한 인과 구조를 갖추고 있어 후속 대응 방안 도출의 근거로 기능할 수 있다.

3) 리스크 식별 및 범주 도출

Risk Identification은 Risk Assessment의 세 단계 중 하나로, 이는 조직이 목표를 달성하는 데 도움이 되거나 방해할 수 있는 리스크를 찾아 인식하고 기술하는 것이다. ISO 31000은 식별 요소로 유·무형의 리스크 원천, 원인 및 사건, 위협 및 기회, 취약성 및 역량, 결과 및 목표에 대한 영향, 조직이 통제할 수 없는 원천에서 비롯된 리스크 등을 고려하도록 요구한다[29].

본 연구에서는 위 식별 요소를 Table 3.의 분석 맥락에 종합적으로 적용하여 선행연구들에서 보고된 개별 리스크를 식별하고, 세 가지 범주 설정 기준을 통과한 리스크를 발생 원인과 인과 메커니즘이 동일한 것끼리 통합하였다. 그 결과, 부분 참여형 그린리모델링의 리스크는 다음 네 유형으로 수렴하였다. ① 세대 단위 시공으로 인한 물리적 단절 기반의 물리·기술적 리스크, ② 인증·지원 제도의 평가 단위와 실제 시공의 불일치에서 비롯되는 제도·평가적 리스크, ③ 공용부 시공 행위가 집합건물법과 충돌하면서 발생하는 법적 리스크, ④ 세대 간 비용·편의 불균형과 유지관리 부재로 인한 사회·운영적 리스크이다. 각 범주가 어떤 참고문헌에 근거하여 도출되었는지

를 Table 4.에 나타내었다.

다만 이 4개 범주는 독립적으로 존재하지 않고 연쇄 구조를 형성하므로, 다음 절에서 각 리스크의 원인·메커니즘·결과를 서술하면서 다음 리스크로의 연계 경로를 함께 제시한다.

3.2. 분류 유형별 리스크

부분 참여형 그린리모델링에서 가장 핵심인 물리적 리스크는 단열·기밀·환기층의 세대 단위 단절이다. 이는 단일 현상이 아니라 열교(Thermal bridge), 결로 및 곰팡이, 환기 불균형이 하나의 인과 사슬로 연결되어 발생하는 복합 리스크이다. 분류 결과와 세부 리스크 항목 및 원인, 메커니즘, 결과를 Table 5.~Table 8.에 정리하였다.

1) 외피 시스템 연속성 단절 리스크

이 범주는 단열 및 기밀, 환기층의 세대 단위 단절로 인한 물리적인 성능 저하를 포괄한다. S. Ilomets et al. (2016)은 에스토니아 공동주택 단지의 부분 단열 보강 사례 분석을 통해 열교가 존재하는 부위에서 표면 결로 발생 위험률 45~51%, 곰팡이 성장 확률 45~54%를 보고하였다. 또한 시각적으로 확인된 곰팡이 발생 비율도 건물 유형별로 18~46%에 달하는 것을 실증하였다[17]. Ilomets et al. (2017)은 부분적으로 리노베이션된 공동주택의 선행 열교가 전체 열관류율을 유의미하게 증가시킴을 확인하였다[18]. Y.Xue et al. (2022)은 외단열 이후 벽과 바닥의 접합부에서 습기 분포가 불균일하며, 곰팡이 발생 위험이 증가하는 것을 수치 해석으로 입증하였다[19]. 또한 동유럽 공동주택의 부분 시공 사례를 분석한 Stojanović et al. (2016)은 발코니 등의 부분 단열 시 미시공 부위에서 열손실이 증가하며, 곰팡이 성장 및 사용자 건강 위해 발생을 보고하였다[30]. 국내에서도 문보람 외(2023)가 민간 건축물 그린리모델링의 부분 시공 시 경계부 단열 불연속으로 인한 성능 저하 사례를 조사하여 제시하였다[25].

먼저 참여 세대에 외단열이 시공되더라도 미참여 세대와의 경계

Table 4. Derivation of risk categories from literature

Category	Basis for grouping	Reference
① Physical·Technical: Envelope System Continuity Disruption	Unit-level discontinuity of insulation, airtightness, ventilation	[14,17~19, 25,30,31]
② Institutional·Evaluative: Misalignment with Building-level Assessment Framework	Mismatch between evaluation unit and construction unit	[14~16,32]
③ Legal: Disputes over Construction Authority in Common Areas & Liability for Defects	Conflict between common-area work and the Aggregate Buildings Act	[7,20~23,25]
④ Social·Operational: Inter-unit Equity Conflicts & Gaps in Maintenance Responsibility	Structural traits inherent to partial participation	[2,10,33]

Table 5. Envelope system continuity disruption risk

Risk	Cause → Mechanism → Consequence
Thermal bridge formation	Insulation discontinuity ↓ Surface temperature drop due to concentrated heat flux density at boundaries ↓ Increased risk of surface condensation
	HRV not installed following high-airtightness construction ↓ Sub-dew-point surface formation due to elevated indoor absolute humidity ↓ Interstitial condensation within structural components & mold growth
Ventilation imbalance	Variation in airtightness performance across units ↓ Cross-airflow induced by building pressure imbalance ↓ Reduced heating/cooling efficiency & deteriorated IAQ in adjacent units

부(벽체 접합부, 층간 슬래브, 발코니 연결부)에서 단열재가 단절되면, 해당 부위를 통해 열류 밀도가 집중되는 열교가 불가피하게 형성된다[17,18]. 이렇게 형성된 열교는 곧바로 결로의 원인으로 작용한다. 고기밀·고단열 시공이 이루어진 참여 세대에서 열회수형 환기장치가 설치되지 않거나 미작동될 경우, 실내 절대 습도가 상승하고 낮은 표면 온도를 가진 열교 부위에서 이슬점 이하의 온도 조건이 형성되어 표면 결로가 발생한다. 또한 단열 강화로 인해 이슬점 위치가 구조체 내부로 이동하는 내부 결로 역시 발생할 수 있다[18,19].

동시에 기밀층의 비연속은 환기 불균형으로 이어진다. 일부 세대만 기밀 성능을 높일 경우 건물 전체의 기압 분포가 변화하며, 참여 세대의 양압 또는 음압이 공용 복도나 인접 세대와의 틈새를 통해 예기치 못한 공기 유동을 유발한다. Feist et al. (2005)은 고기밀 시공이 이루어진 세대가 인접 미시공 세대와 공용 샤프트로 연결될 경우 의도치 않은 기류 경로(air leakage path)가 형성되어 설계 환기량이 실현되지 않을 수 있음을 지적하였다[31]. 이는 미참여 세대의 냉난방 효율 저하와 실내공기질(IAQ) 저하로 이어진다.

이처럼 단열재 불연속 → 열교 → 결로·곰팡이 → 환기 불균형 → IAQ 저하로 이어지는 선형 연쇄가 형성되며, 이 연쇄는 다음에 서술할 리스크의 출발점으로 작용한다.

2) 건물 전체 단위 평가체계 부정합 리스크

이 범주는 평가·인증 단위(건물 전체)와 시공 단위(개별 세대)의 불일치에서 비롯되는 리스크를 포괄한다. Galimshina et al. (2024)은 스위스 주거 건물의 부분 리노베이션 사례에서 건물 일부 구간만 시공된 경우 에너지 절감 성능이 설계 예측 대비 현저히 낮아짐을 실증하였다[14]. 이러한 예측-실측 괴리는 건물 에너지 성능 갭(Energy Performance Gap, EPG)으로 알려진 일반적 현상이지만, 부분 리노베이션 조건에서 더욱 심화되는 것으로 보고된다. Hamburg et al. (2020)은 리노베이션된 공동주택의 실측 난방 에너지 사용량이 시뮬레이션 예측값의 1.6배, 급탕 에너지는 4.4배에 달하는 것을 보고하였으며, 특히 부분적·점진적 리노베이션이 결합된 경우 갭이 더욱 확대됨을 지적하였다[15]. Cuerdo et al. (2020)은 마드리드 공동주택 두 동(리노베이션동·미리노베이션동)을 비교 분석하여, 표준 파라미터로 보정된 시뮬레이션이 실측치와 4배 차이를 보임을 실증하였고, 이를 줄이기 위한 실측 기반 입력 파라미터 보정 방법론을 제안하였다[16]. 국내에서도 국토안전관리원의 그린리모델링 지원사업 가이드라인은 인증 단위가 건물 전체임을 명시하고 있어[32], 부분 시공 사업의 인증 취득 및 인센티브 연계가 제도적으로 차단되는 구조적 한계가 존재한다.

물리적 단절은 곧바로 건물 전체 단위로 구성된 현행 평가·인증체계와의 부정합으로 연결된다. 이 리스크는 두 가지 양상으로 나타난다.

첫째, 에너지 성능 예측-실측의 괴리이다. ECO2 등 현행 에너지 시뮬레이션은 건물 전체를 단일 시스템으로 가정하여 수행하는데, 부분 시공 조건에서는 인접 미참여 세대로의 열손실이 지속되므로 시뮬레이션 예측값과 실측값 사이에 상당한 차이가 발생한다[14~16].

둘째, 인증제도와 부정합이다. 현행 제로에너지건축물(ZEB)

Table 6. Building-level evaluation system mismatch risk

Risk	Cause → Mechanism → Consequence
Energy performance gap	Whole-unit simulation assumptions ↓ Discrepancy between predicted and measured values due to unaccounted heat loss to adjacent non-participating units ↓ Failure to meet expected energy savings
	Certification unit is the entire building ↓ Failure to meet whole-building performance criteria due to partial remodeling ↓ Weakened project justification & deterioration of incentive linkage

인증제도는 건물 전체 단위를 기준으로 하므로, 부분 참여형 그린리모델링으로는 인증 취득이 어렵다. 이는 그린리모델링 이차지원사업의 지원 요건 충족 여부와도 직결되어 사업 정당성과 인센티브 연계가 약화되는 결과로 이어진다[32].

두 양상은 동일한 구조적 원인—평가 단위(전체 건물)와 시공 단위(개별 세대)의 불일치—에서 비롯되므로, 본 연구에서는 이를 단일 리스크 범주로 통합한다.

3) 공용부 시공 권한 및 하자 귀책 분쟁 리스크

이 범주는 외벽 등 공용부에 대한 개별 세대의 시공 행위가 유발하는 법적 분쟁을 포괄한다. 법무부의 집합건물법 해석사례집은 외벽이 공용부분에 해당하며 관리단 의결 없는 변경은 원상복구 및 손해배상 청구 대상이 될 수 있음을 명시하고 있다[7]. 「집합건물의 소유 및 관리에 관한 법률」 역시 공용부분 변경에 대한 구분소유자 결의요건을 규정하고 있다[23]. 이러한 법적 경직성은 한국만의 문제가 아니라 공동주택 부분 시공이 갖는 보편적 리스크로 보고된다. Crommelin (2025)은 호주 뉴사우스웨일스 주의 구분소유 공동주택(strata title) 분석을 통해, 공용부 에너지 시설의 부분 도입이 다수·특별다수 결의 요건과 충돌하면서 사업 지연 및 분쟁의 주요 원인이 되고 있음을 지적하였다[20]. 미국의 California AB 634 (2018)는 공동주택 공용부 지붕에 개별 세대가 태양광 시스템을 설치할 때 발생하는 분쟁을 해소하기 위해 구분소유자 67% 동의 요건을 면제하는 입법으로, 부분 시공의 법적 권한 분쟁이 입법적 개입을 필요로 하는 수준의 보편적 문제임을 보여준다[21]. 독일은 동일한 인식 하에 2020년 WEMoG 개정을 통해 의결 요건을 완화한 바 있다[22]. 사후적 측면에서는 문보람 외(2023)가 그린리모델링 공사에서 경제부 하자 발생 시 시공업체·관리단·세대 간 책임 소재 불명확이 분쟁의 주요 원인임을 지적하였다[25].

외피 시스템 연속성의 단절은 법적 영역에서도 동시에 분쟁을 촉발한다. 다만 분쟁의 발생 시점과 성격에 따라 사전적 권한 분쟁과 사후적 귀책 분쟁으로 구분된다.

사전적 측면의 공용부 시공 권한 분쟁은 시공 시점의 적법성 자체에 관한 문제이다. 외벽은 공용부분으로 분류되므로 개별 세대가 관리단의 의결 없이 외벽에 단열재를 부착하거나 창호를 교체하는 행

Table 7. Common area construction authority and defect liability dispute risk

Risk	Cause → Mechanism → Consequence
Disputes over construction authority in common areas	Unauthorized alteration of exterior walls by individual units ↓ Risk of violating the Aggregate Buildings Act; ambiguous permit criteria ↓ Orders for restoration to original condition & claims for damages
Disputes over defect liability at boundary zones	Insufficient delineation of responsibility for boundary zone treatment ↓ Unclear attribution of liable party ↓ Delayed repairs & further legal disputes

위는 법적으로 공용부 무단 변경에 해당할 수 있으며, 원상복구 명령 또는 손해배상 청구의 대상이 될 수 있다[7,23]. 창호 크기 변경이나 외단열 마감재 변경 등은 「건축법」상 신고 또는 허가 대상이 될 수 있으나, 부분 시공의 경우 허가 범위의 설정 자체가 모호해지는 문제가 있다.

사후적 측면의 하자 귀책 분쟁은 시공 후 건물의 연속성이 단절되었을 때 발생한다. 참여 세대와 미참여 세대가 혼재하는 경계 처리 부위에서 결로·곰팡이·하자가 발생할 경우, 시공업체·관리단·참여 세대·미참여 세대 사이의 책임 소재가 불명확하다[25]. 이는 사후 보수 지연, 손해배상 청구 등 추가적 법적 분쟁으로 확대된다. 따라서 연속성 단절이 사후적 귀책 분쟁을 직접 촉발하는 교차 연쇄가 형성된다.

4) 세대 간 형평성 갈등 및 유지관리 책임 공백 리스크

이 범주는 부분 참여 구조 자체에서 비롯되는 사회적·운영적 리스크를 포괄한다. 박성남 외(2022)는 민간 건축물 그린리모델링 활성화 방안 연구에서 세대 간 비용 부담 및 편익 분배의 불균형이 사업 참여율 저하의 주요 원인임을 지적하였으며, 비용 부담 기준의 명문화와 참여 인센티브 병행이 핵심 조건임을 제시하였다[2]. 국제적으로도 동일한 문제가 보고되는데, D'Alpaos (2021)는 공동주택 에너지 리트로핏의 인센티브 정책 분석을 통해 일부 세대만 참여하는 구조에서 인접 세대의 무임승차(free-rider) 문제가 사업 효율성을 구조적으로 저하시키며, 이는 정책 설계 단계에서 사전 차단되어야 함을 입증하였다[33]. 또한 국토교통부의 그린리모델링 지원사업 운영 고시는 핵심 설비의 정기 점검 및 유지관리를 요구하고 있으나[10], 부분 참여 구조에서는 책임 주체가 명확히 지정되지 않아 유지관리가 누락될 가능성이 구조적으로 내재되어 있다.

외피 연속성 단절, 건물 평가체계 부정합, 공용부 시공 권한 및 하자 귀책 분쟁 리스크의 결과는 사회적·운영적 영역으로 수렴되며, 부분 참여형 그린리모델링 시공 시 나타날 수 있는 고유한 두 가지 리스크로 발생한다.

첫째, 형평성 갈등이다. 참여 세대의 단열 성능 향상이 인접 미참여 세대에도 간접적인 열적 혜택을 제공하는 무임승차 문제는 비용 부담의 형평성 논란을 야기한다[2,33]. 동시에 연속성 단절로 인한

Table 8. Inter-household equity conflict and maintenance responsibility gap risk

Risk	Cause → Mechanism → Consequence
Equity conflicts	Indirect benefits accruing to adjacent non-participating units from participating units ↓ Perceived imbalance between costs and benefits ↓ Reluctance toward new participation & entrenchment of partial retrofitting
Gaps in maintenance responsibility	Absence of a designated party for routine management of critical systems ↓ Omission of equipment inspections ↓ Shortened equipment lifespan & increased long-term project costs

물리적 피해(결로, IAQ 저하)와 하자 귀책 분쟁 과정에서 드러나는 비용 부담 불균형은 갈등을 심화시키며, 이는 신규 참여 기피로 이어져 부분 시공이 구조적으로 고착되는 피드백 루프를 형성한다.

둘째, 유지관리 책임 공백이다. 열회수형 환기장치 등 핵심 설비의 필터 교체 및 정기 점검이 이루어지지 않을 경우 오히려 실내공기질이 악화될 수 있다. 또한 장기적으로는 동 단위의 전체 그린리모델링이나 재건축 추진 시 이미 부분 시공된 세대의 철거 및 재시공이 필요하게 되어 사업 복잡도와 비용이 증가한다. 이는 하자 귀책 분쟁과 결합하여 책임 주체 부재 상태로 장기간 방치되는 결과를 초래할 수 있다.

3.3. 통합 연쇄 구조

ISO 31000:2018는 리스크 식별 시 개별 요소뿐 아니라 요소 간 관계를 함께 고려하여야 한다고 제시하였다[29]. 또한, 3.6 결과의 정의에서 결과는 연쇄적·누적적 효과를 통해 확대될 수 있다고 명시하였다. 본 연구에서 도출한 4개의 범주 또한 두 원칙에 따라 독립적이지 않고 연쇄를 형성한다. 따라서 하나의 범주만을 단독으로 대응할 경우 나머지 리스크가 존속되기에 해당 범주를 통합적으로 대응하는 방안이 필요함을 입증한다. 4가지 유형의 리스크 간의 연쇄 구조를 Fig. 5에 나타내었다.

이 통합 연쇄 구조는 개별 리스크에 대한 국내외 문헌의 보고 사례를 종합하고 인과 논리를 적용하여 구성한 인과 모델이다. 그린리모델링 정책 시행 시 일부 세대만 공사에 참여하는 부분 참여형 시공이 이루어질 경우, ① 외피 시스템의 연속성 단절로 인해 열교와 결로가 발생하고, 이로 인해 세대 내 에너지 성능 저하를 초래한다. 이러한 물리적 결합은 전체 건물 단위를 기준으로 설계된 현행 에너지 평가 방식과 충돌하여 ② 건물 단위 평가 체계의 부정합을 유발한다. 따라서 제로에너지건축물(ZEB) 인증 및 이자 지원 등 주요 인센티브 수혜 대상에서 제외되어 참여 세대가 경제적 손실 부담을 떠안은 모순이 발생한다.

또한, 그린리모델링 시공 이후 참여 세대와 미참여 세대의 경계부에서 하자가 발생 시 ③ 공용부 시공 권한 및 하자 귀책 분쟁을 촉발하여 주민과 시공사 간 법적 소송으로 확대될 수 있다. 이와 같은 비

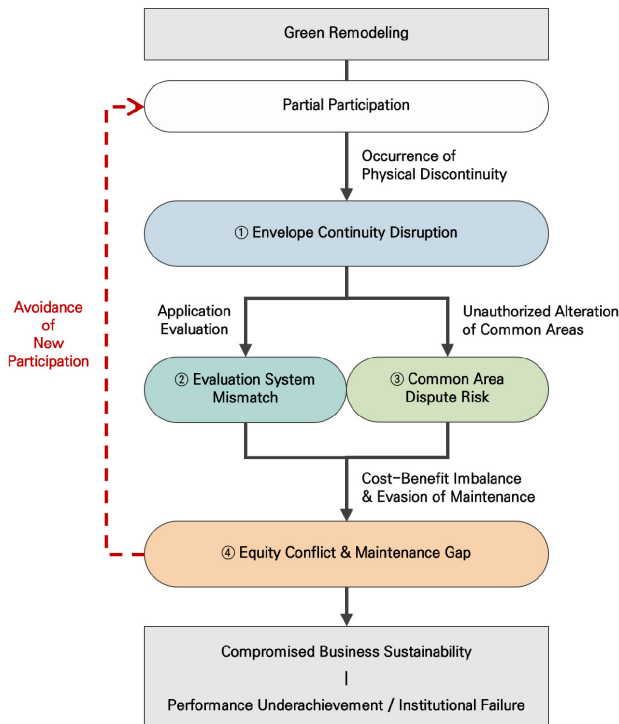


Fig. 5. Cascading structure of risks in partial participation green remodeling

용·편익 불균형 및 주체별 책임 회피는 ④ 세대 간 형평성 갈등 및 유지관리 책임 공백으로 수렴된다. 이러한 사회적·운영적 갈등은 미참여 세대의 신규 참여를 기피하게 만드는 구조적 고착화를 유발하며, 결과적으로 그린리모델링 사업의 단지 내 부분 참여 방식이 만성화 되는 악순환을 형성한다. 이는 최종적으로 사업의 장기적인 지속 가능성을 저해하고, 성능 미달 및 정책·제도적 실패라는 국가적 온실가스 감축 목표 달성의 실패를 야기한다.

①과 ②의 연계[14~16], ①과 ③의 연계[20,25], ③과 ④의 연계[2,33] 등은 개별적으로 선행 문헌에서 확인된 바 있으나, 전체 연쇄를 단일 사례에서 추적한 실증 연구는 현재까지 미비한 실정이며 이에 대한 정량적 검증은 후속 연구의 주요 과제이다.

그러나 이 인과 연쇄의 작동 강도는 고정된 것이 아니라 정책적·사회적 환경에 따라 달라질 수 있다. 충분한 수준의 재정적 인센티브 제공, 전담 코디네이터를 통한 선제적 갈등 중재, 혹은 커뮤니티 결속이 높은 단지 환경에서는 신규 참여 기피 현상이 완화되어 연쇄 구조가 단절될 가능성이 존재하는 것으로 판단된다[2,33].

4. 유형별 대응체계 제안

4.1. 대응체계 설계 원칙

본 연구의 대응 체계는 ISO 31000:2018 제6.5.2조에서 제시하는 리스크 대응 옵션—리스크 원인 제거(removing the risk source), 발생 가능성 변경(changing the likelihood), 결과의 영향 변경(changing the consequences), 리스크 공유(sharing the risk)—의 분류 체계를 차용하였다[29]. 다만 각 옵션의 세부 방안은 국내 그린

리모델링 제도 환경에서 직접 도출하기에 근거가 부족하므로, 유사한 부분 시공 조건에서의 리스크 대응을 다룬 국외 선행 연구 및 제도 사례를 종합적으로 검토하여 도출하였다.

구체적으로 영국의 단일 코빙 적용을 통한 열교 저감 사례[34], 스위스의 부분 리노베이션 성능 시뮬레이션 보정 방법론[14], 마드리드의 실측 기반 시뮬레이션 보정 연구[16], 독일 WEMoG[22] 및 미국 California AB 634[21]의 공동주택 외피 변경 의결 요건 완화 입법례, 그리고 ISO 10211[26] 및 ISO 13788[35]의 산정 표준 등을 참조하여 본 연구 맥락에 맞게 재구성하였다. 이를 토대로 다음 세 가지 설계 원칙을 설정한다.

- ① 시스템 연속성 복원 원칙: 부분 시공으로 인해 단절된 단열·기밀·환기의 연속성을 보완적 수단을 통해 최대한 회복하는 것을 기술적 대응의 핵심 방향으로 설정한다.
- ② 리스크 선제 예방 원칙: 리스크 현실화 이후 사후 대응보다 사전 설계 단계에서의 리스크 식별과 예방적 조치를 우선시한다.
- ③ 제도·기술·사회적 통합 대응 원칙: 물리적 리스크에 대한 기술적 해결책만으로는 부분 참여형 그린리모델링의 복합 리스크를 해소하기 어려우므로, 법제도 개선 및 사회적 합의 체계를 동시에 구축하는 통합적 접근을 취한다.

4.2. 리스크 대응 방안

1) 외피 시스템 연속성 단절 리스크

열교 리스크에 대해서는 참여 세대와 미참여 세대의 경계부에 열교 차단재(Thermal break)를 의무적으로 설치해야 한다. 이때 경계부의 선행 열관류율(U -value)은 ISO 10211의 산출 기준을 준용하여 사전에 계산하고[26], 설계 단계에서 건축 허가 도서에 경계부 단열 상세도를 포함하도록 의무화해야 한다. Glew, Brooke-Peat & Gorse (2017)는 단열 불연속 경계부에 단열 코빙(insulated coving)을 적용함으로써 열교와 결로 위험을 유의미하게 저감할 수 있음을 실증하였다[34]. 나아가 경계부 벽체의 열관류율(U -value)이 현행 건축물 에너지 절약 설계기준의 외벽 기준값(중부1지역 기준 $0.210 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이하)을 초과하지 않도록 별도 기준을 설정하는 방안이 필요하다[24].

결로 리스크에 대해서는 고기밀·고단열 시공 시 열회수형 환기장치(HRV)의 동시 설치를 의무화해야 한다. 환기 성능은 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」에서 정하는 시간당 환기 횟수(ACH) 0.5 회 이상을 만족하여야 하며[36], 이 기준은 Feist et al. (2005)이 제시한 패시브하우스 기준의 최소 환기량(0.3 ACH)과 국내 공동주택 내부 발열 및 수분 부하를 감안한 기준으로서 적정성이 인정된다[31]. 시공 전·후 기밀성능 시험(Blower Door Test)을 실시하여 기밀 성능 개선 수준을 정량적으로 확인하는 절차를 도입할 필요가 있다. Blower Door Test 운영의 구체적 방안으로는 다음을 제안한다: (a) 시험은 건축사무소 또는 에너지 진단 전문기관이 수행하며, 비용은 그린리모델링 이차지원 사업비에 포함하여 지원; (b) 기밀 성능 지표(n_{50} , 권장 기준: 5 h^{-1} 이하)를 허가 도서에 병기[31,37]; (c) 시공 전 진단은 현행 결로 취약 부위 파악 용도, 시공 후 측정 성능 확인 용도로 이원화하여 실시. 또한 시공 전 열화상 카메라를 활용한 사전 결로 위험 진단을 의무화하고, ISO 13788에서 규정하

는 이슬점 온도 기준에 따라 최소 내표면 온도 요건 충족 여부를 확인해야 한다[35].

2) 건물 전체 단위 평가체계 부정합 리스크

ECO2-OD 에너지 시뮬레이션 프로그램은 건물 전체를 단일 시스템으로 가정하므로, 부분 시공 조건에서 인접 미참여 세대를 실측 온도 기반의 고정 경계조건(fixed boundary condition)으로 설정하는 보완적 방법론이 필요하다. Galimshina et al. (2024)의 부분 리노베이션 성능 저하 실증[14] 및 Cuerda et al. (2020)의 마드리드 공동주택 실측 기반 보정 방법론[16]을 참조하여, 세대 단위 시뮬레이션 모듈의 개발이 연구기관 및 정부 차원에서 추진될 필요가 있다.

인증 체계 측면에서는 현행 건축물 에너지효율등급 및 ZEB 인증 제도가 건물 전체 단위 기준이라는 한계[32]를 보완하기 위해, 세대 단위 또는 동(棟) 단위의 에너지 성능 개선 인증이 가능하도록 인증 체계를 세분화하는 방안 검토가 필요하다. 구체적으로는 개별 세대의 단열 성능 개선율(예: 기준 대비 20% 이상 개선)을 기준으로 한 ‘부분 에너지 성능 개선 확인서’ 제도를 신설하고, 이를 이자 지원 등 정책 인센티브 수혜 요건으로 연계하는 방안이 필요하다.

3) 공용부 시공 권한 및 하자 귀책 분쟁 리스크

사전적 권한 분쟁에 대해서는 「집합건물의 소유 및 관리에 관한 법률」에 그린리모델링 특례 조항을 신설하여, 에너지 성능 향상을 목적으로 하는 외피 개선 행위에 한해 관리단 의결 요건을 완화(예: 전체 동의 → 구분소유자 과반수 동의)하거나 일정 범위 내에서 세대별 독립 시행을 허용하는 방향으로 개정이 필요하다. 독일은 2020년 WEMoG 개정을 통해 에너지 효율 개선 목적의 외피 변경에 대해 공동주택 소유자의 과반수 동의만으로 시행이 가능하도록 하고[22], 미국 California의 AB 634 (2018)는 공용부 시설에 대한 세대 단위 시공 시 67% 동의 요건을 면제하고 신청·통지·유지관리 책임을 표준화한 입법례를 제시하였다[21]. 이는 국내 법제도 개선 방향의 참고 사례가 될 수 있다.

이와 함께 그린리모델링 전담 코디네이터 제도를 법제화하여, 코디네이터가 사업 기획 단계부터 관리단·참여 세대·시공업체 간의 법적 협의를 중재하고 공사 범위와 책임 범위를 사전에 문서화하도록 해야 한다. 코디네이터의 자격 요건으로는 건축사 또는 에너지 진단 전문기관 소속 전문가를 우선 고려할 수 있으며, 운영 비용은 국토교통부 그린리모델링 이자지원사업 예산에 별도 항목을 신설하여 지원되는 방안을 제안한다.

사후적 하자 귀책 분쟁에서는 그린리모델링 공사 계약서에 다음 세 가지 사항을 명시하는 표준 계약서 양식 마련이 필요하다. 첫째, 참여 세대와 미참여 세대의 경계부 처리에 대한 시공업체의 책임 범위 및 하자 보증 기간. 둘째, 공용부와 전유부가 혼재하는 시공 구간에서 하자 발생 시 관리단·시공업체·참여 세대 간 귀책 비율 산정 기준. 셋째, 하자 발생 시 열화상 카메라 등 객관적 진단 수단을 통한 원인 규명 절차[25]. 이를 통해 하자 발생 이후의 법적 분쟁을 사전에 예방하는 계약 구조를 확보할 수 있다.

4) 세대 간 형평성 갈등 및 유지관리 책임 공백 리스크

형평성 갈등의 경우 사업 시행 최소 90일 전부터 단지 내 전체 세

대를 대상으로 설명회를 의무적으로 개최하고, 참여·미참여 세대 모두가 인지한 상태에서 비용 분담 기준을 서면으로 합의하는 절차를 표준화해야 한다. 박성남 외(2022)는 세대 간 비용 분담 기준의 명문화와 참여 인센티브 병행이 참여율 제고의 핵심 조건임을 언급하였으며[2], D’Alpaos (2021)는 무임승차 차단을 위한 인센티브 정책의 사전 설계 필요성을 입증하였다[33].

특히 공용부 시공의 경우 그 혜택이 미참여 세대에도 귀속되는 범위를 에너지 시뮬레이션으로 산출하여, 미참여 세대의 에너지 비용 절감 추정액에 비례한 관리비 분담 기준을 사전에 합의하는 방식을 도입할 필요가 있다. 이는 무임승차 문제로 인한 갈등을 제도적으로 사전에 차단하는 효과를 가진다.

유지관리 책임 공백에 대해서는 디지털 유지관리 이력제를 도입하여 열회수형 환기장치(HRV)의 필터를 제조사 기준에 따라 3~6개월마다 교체하고, 교체 이력·점검 일자·성능 측정값을 기록하는 디지털 유지관리 이력서를 세대별로 작성·보관하도록 의무화해야 한다. 아울러 시공 완료 후 1년 시점 및 3년 시점에 열화상 카메라를 활용한 정기 성능 점검을 실시하고, 점검 결과를 관리단에 보고하는 절차를 도입할 필요가 있다. 이는 유지관리 부재로 인한 설비 수명 단축 및 실내공기질 악화를 사전에 예방하는 수단이 된다.

4.3. 종합 대응 체계 매트릭스

앞서 제안한 대응 방안을 리스크 유형별로 종합하여 매트릭스로 정리하면 Table 9.와 같다. 각 리스크 항목에 대해 대응 주제, 대응 수단, 대응 시점, 관련 레퍼런스를 함께 제시하였다. 대응 시점은 사업 기획 단계부터 완공 후 운영 단계까지 시간순으로 구분하여 부분 참여형 그린리모델링의 전 과정에 걸쳐 리스크를 선제적으로 관리할 수 있도록 하였다. 물리·기술적 리스크는 설계·시공 단계에서 기술적 수단으로 대응하며, 법적·사회적 리스크는 사업 기획 단계 및 법령 개정을 통해 제도적으로 해소하는 이원적 접근이 필요함을 확인할 수 있다.

한편 본 연구가 제안한 대응 수단 중 일부는 그 자체로 추가 비용을 발생시켜 또 다른 형평성 갈등의 원인이 될 수 있다. 열회수형 환기장치 설치, 기밀성능시험, 전담 코디네이터 운영, 설명회 개최 등은 모두 비용 주체의 지정을 전제로 하기 때문이다. 따라서 대응 수단은 일률적으로 적용되기보다 적용 시점과 비용 부담 구조를 고려한 우선순위에 따라 단계적으로 도입될 필요가 있다.

이에 본 연구는 대응 수단을 적용 가능성에 따라 두 층위로 구분한다. 첫째, 단기 적용 수단은 표준계약서를 통한 책임·귀책 범위 명문화, 경계부 열교 차단 상세 의무화, 설명회 및 서면 합의 등 현행 제도 내에서 추가 입법 없이 즉시 시행 가능한 조치이다. 둘째, 중장기 제도개선 수단은 집합건물법 특례 신설, 부분 에너지 성능 개선 확인서 도입, 세대 단위 시뮬레이션 모듈 개발 등 법령 개정과 예산 편성을 전제로 하는 조치이다.

또한 코디네이터 운영비와 기밀성능시험 비용을 그린리모델링 이자지원사업 예산에 별도 항목으로 편성하는 본 연구의 제안은, 이러한 추가 비용이 세대에 직접 전가되는 것을 완화하여 대응 수단이 새로운 비용 갈등으로 전이되는 것을 구조적으로 차단하는 장치로 기능한다. 무임승차 편익에 비례한 관리비 분담 역시 미참여 세대에

Table 9. Comprehensive risk response matrix for partial participation green remodeling

Risk	Reference	Responsive agent	Response point	Applicability/priority	Cost bearer	Means
Envelope system continuity disruption	[17~19, 26,30~31, 34,37]	Designers, contractors	Design & construction phase	Short-term (immediately applicable)	Participating units (subsidizable)	- Mandatory installation of thermal break materials at boundary zones - Pre-calculation of Ψ-values & mandatory simultaneous installation of HRV - Securing $ACH \geq 0.5h^{-1}$ - Blower Door Test & pre-construction thermographic diagnosis
Misalignment with building-level assessment framework	[14~16,32]	Research institutes, government (MOLIT), certification bodies	Design phase, regulatory improvement phase	Mid- to long-term (regulatory reform)	Government/ research institutes	- Development of simulation module with fixed boundary conditions for adjacent units - Introduction of a 'Partial Energy Performance Improvement Certificate' at unit & building level & linkage to incentives
Disputes over construction authority in common areas	[7,20~23]	Government (MOJ, MOLIT), management body	Project planning phase, legislative amendment	Mid- to long-term (legislative amendment)	Government	- Establishment of green remodeling special provisions under the 「Aggregate Buildings Act」 - Relaxation of voting requirements & legalization of coordinator system
Disputes over defect liability at boundary zones	[25]	Contractors, management body, participating units	Contract phase	Short-term (immediately applicable)	Participating units, contractors	- Standardized contract template (specifying scope of responsibility, warranty period, liability ratio calculation & objective diagnostic procedures)
Equity conflicts	[2,33]	Management body, coordinator	Project planning phase	Short-term (immediately applicable)	Management body/ participating units	- Mandatory building-wide briefing session at least 90 days prior to project commencement - Written agreement on cost-sharing arrangements - Management fee contributions proportional to free-rider benefits
Gaps in maintenance responsibility	[10]	Management body, participating units	Operation phase	Mid-term (operational system)	Participating units (subsidizable)	- Digital maintenance history system (HRV filter replacement every 3~6 months, digitization of inspection records) - Scheduled performance inspections at 1 and 3 years post-construction

일방적 부담을 지우는 방식이 아니라, 시뮬레이션으로 산출된 실제 편익 범위 내에서 합의하는 절차를 전제하므로 형평성 훼손을 최소화한다.

5. 결론

본 연구는 공동주택의 부분 참여형 그린리모델링에서 발생할 수 있는 건축적 리스크를 체계적으로 분류하고, 이에 대한 대응 체계를 제시하는 것을 목적으로 하였다.

리스크 분류 체계를 도출하기 위해 ISO 31000:2018 리스크 관리 지침을 기반으로, 부분 참여형 그린리모델링에서 발생하는 리스크를 4개의 유형으로 분류하였다: ① 물리·기술적 리스크: 외피 시스템 연속성 단절, ② 제도·평가적 리스크: 건물 단위 평가 체계 부정합, ③ 법적 리스크: 공용부 시공 권한 및 하자 귀책 분쟁, ④ 사회·운영적 리스크: 세대 간 형평성 갈등 및 유지관리 책임 공백. 또한, 4개 유형의 리스크는 독립적으로 발생하는 것이 아니라 연쇄적으로 작동되는 것을 파악하였다. '부분 참여'라는 근본적인 조건으로 인해 건물의 물리적 연속성이 단절되고 이는 평가체계의 부정합을 초래하며, 결론적으로 법적·제도적 분쟁으로 확산되는 구조를 가진다.

이후 각 리스크 유형들에 대해 대응 담당 주체와 대응 시점, 구체적인 수단을 포함한 종합 리스크 대응체계 매트릭스를 제안하였다. 물리적·기술적 리스크는 세대 경계부 열교 차단재 적용, ISO 기반 U-value 검증, 열회수환기장치 설치 및 기밀 성능 Blower Door Test 의무화 등을 통한 대응이 필요하다. 또한, ECO2-OD 평가 시 고정 경계 조건을 적용하고, 부분 참여형 ZEB 인증 기준 별도 마련, 공용부 시공 의결 요건을 해외(캘리포니아 AB 634, 독일 WEMoG)와 같이 법제화하는 제도적 대응 또한 뒷받침되어야 한다. 법적 분쟁에 대응을 위해서는 공사 권한 및 하자 책임 귀속 기준을 명확화하고, 비참여 세대에 대한 사전 동의 절차를 필수화해야 하며, 분쟁 해결을 위한 조정 기간 설정 및 유지관리 및 정기점검 체계를 구축하여야 한다.

본 논문은 선행 연구에서 개별적으로 다루어졌던 그린리모델링에서 발생 가능한 물리적·법적·형평성 문제를 하나의 통합적인 리스크 분류 체계에서 종합하고 대응 방안을 정의하였다는 의미를 지닌다. 그러나 아래 세 가지의 한계점을 지닌다.

첫째, 문헌 기반의 정성적 분석에 집중하여 부분 참여형 그린리모델링이 실제로 시행된 단지를 대상으로 한 사례 검증이 이루어지지 못하였다. 둘째, 도출된 리스크 분류 및 대응체계의 실효성에 대한

정량적 검증이 수행되지 못하였으며, 전문가 검증과 같은 과정을 거치지 않았다. 셋째, 정성적 연구로서 분석 문헌의 모집단 규모를 통계적으로 설정하지 않았으며, 리스크의 빈도나 심각도 등 값을 정량화하거나 수치화하지 않았다.

향후 연구에서는 이러한 한계를 단계적으로 보완해나가고자 한다. 도출된 리스크의 빈도 및 심각도를 전문가 검토 및 AHP (Analytic Hierarchy Process, 계층분석법), 델파이 기법 등을 통해 정량화하여 대응 우선순위를 산정한다. 또한 본 논문에서 제시한 리스크의 대응 체계에 대한 실효성 검증을 진행하고자 한다. 각 방안의 적용 전후에 따른 에너지 성능 등의 변화를 시뮬레이션 검토 및 계측을 통해 비교함으로써, 제안한 체계가 정책 및 현장에 적용 가능한지 여부를 검토하고자 한다.

Acknowledgement

이 논문은 2026년도 광운대학교 교내연구비 지원 사업에 의함. 또한, 2026년도 과학기술정보통신부 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호: No. RS-2023-00217322).

References

- [1] 2050 탄소중립녹색성장위원회, 제1차 국가 탄소중립 녹색성장 기본 계획(2023~2042), 2023. <https://www.2050cnc.go.kr> // (2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission, The 1st basic plan for carbon neutrality and green growth (2023~2042), 2023. <https://www.2050cnc.go.kr>)
- [2] 박성남 외 3인, 민간 건축물 그린리모델링 활성화 방안, 건축공간연구원, 2022. // (S.N. Park et al., Strategies for promoting green remodeling of private buildings, Architecture & Urban Research Institute, 2022.)
- [3] 통계청, 2024년 인구주택총조사 결과, 국토교통부, 2025. // (Statistics Korea, Results of the 2024 population and housing census, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2025.)
- [4] 통계청, 2023년 인구주택총조사 결과, 국토교통부, 2024. // (Statistics Korea, Results of the 2023 population and housing census, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2024.)
- [5] 국토교통부, 전국 건물에너지 사용량 통계, 2021. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, National building energy statistics, 2021.)
- [6] 국토교통부, 전국 건물에너지 사용량 통계, 국토교통부, 2020. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, National building energy statistics, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020.)
- [7] 법무부, 집합건물법 해석사례집, 2011, p.157. // (Ministry of Justice, Collection of interpretation cases on the act on ownership and management of condominium buildings, 2011, p.157.)
- [8] 국토안전관리원, 그린리모델링 추진 현황 보고서, 2024. // (Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Green remodeling progress status report, 2024.)
- [9] 국토교통부, 녹색건축물 조성 지원법, 법률 제20034호, 2024. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Act on the support for green buildings, Act No. 20034, 2024.)
- [10] 국토교통부, 그린리모델링 지원사업 운영 등에 관한 고시, 국토교통부 고시 제2023-385호, 2023. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notification on the operation of green remodeling support projects, MOLIT Notification No. 2023-385, 2023.)
- [11] 임정민, 김동구, 그린리모델링 사업의 온실가스 감축효과 분석, 에너지경제연구, 제21권 제2호, 2022.09, pp.83-113. // (J.M. Lim, D.G. Kim, Analysis of greenhouse gas reduction effects of green remodeling projects, Korean Energy Economic Review, 21(2), 2022.09, pp.83-113.)
- [12] 김사겸 외 4인, 설계 초기단계 공공건축물 그린리모델링의 의사결정을 위한 성능평가 연구, 대한건축학회논문집, 제39권 제12호, 2023.12, pp.3-10. // (S.G. Kim et al., A study on performance evaluation for decision-making in green remodeling of public buildings at the early design stage, Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(12), 2023.12, pp.3-10.)
- [13] 김지혜 외 3인, 소규모 그린리모델링 공공건축물의 ECO2와 DesignBuilder를 이용한 건물에너지성능 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 제42권 제3호, 2022.06, pp.87-101. // (J.H. Kim et al., Building energy performance analysis of small-scale green remodeled public buildings using ECO2 and designbuilder, Journal of the Korean Solar Energy Society, 42(3), 2022.06, pp.87-101.)
- [14] A. Galimshina et al., Strategies for robust renovation of residential buildings in Switzerland, Nature Communications, 15(1), 2227, 2024.
- [15] A. Hamburg et al., Realisation of energy performance targets of an old apartment building renovated to nZEB, Energy, 194, 2020.
- [16] E. Cuerda et al., Understanding the performance gap in energy retrofitting: Measured input data for adjusting building simulation models, Energy and Buildings, 209, 109688, 2020.
- [17] S. Ilomets, T. Kalamees, Evaluation of the criticality of thermal bridges, Journal of Building Pathology and Rehabilitation, 1(1), 11, 2016.
- [18] S. Ilomets et al., Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings, Journal of Civil Engineering and Management, 23(1), 2017, pp.96-104.
- [19] Y. Xue et al., The moisture distribution in wall-to-floor thermal bridges and its influence on mould growth, UCL Open. Environment, 4(1), e042, 2022.
- [20] L. Crommelin, Collectively owned distributed energy resources and private property law: Embedded networks in high-density and master-planned housing, Journal of Energy & Natural Resources Law, 43(3), 2025.
- [21] State of California, Common interest developments: Solar energy systems, Assembly Bill No. 634 (Civil Code §4746), 2018.
- [22] Bundesministerium der Justiz, Gesetz zur Förderung der Elektromobilität und zur Modernisierung des Wohnungseigentumsgesetzes (WEMoG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 47, Germany: Bundesgesetzblatt, 2020.
- [23] 법무부, 집합건물의 소유 및 관리에 관한 법률, 법률 제19117호, [시행 2023. 4. 27., 일부개정], 2023. // (Ministry of Justice, Act on ownership and management of condominium buildings, Act No. 19117, [Enforced Apr. 27, 2023, Partially Amended], 2023.)
- [24] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부 고시 제2025-738호, 2025. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Design criteria for energy-efficient buildings, MOLIT Notification No. 2025-738, 2025.)
- [25] 문보람 외 6인, 민간건축물 그린리모델링 사업 활성화를 위한 제도 개선방안 연구, 대한건축학회논문집, 제39권 제4호, 2023.04, pp.199-210. // (B.R. Moon et al., A study on institutional improvement measures for revitalizing green remodeling projects for private buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea, 39(4), 2023.04, pp.199-210.)
- [26] International Organization for Standardization, Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations, ISO 10211:2017, International Organization for Standardization, 2017.
- [27] A. Janssens, H. Hens, Interstitial condensation due to air leakage: A sensitivity analysis, Journal of Thermal Envelope and Building Science, 27(1), 2003.
- [28] ASHRAE, Ventilation and acceptable indoor air quality in residential buildings, ANSI/ASHRAE Standard 62.2-2022, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2022.
- [29] International Organization for Standardization, Risk Management — Guidelines, ISO 31000:2018, ISO, 2018.
- [30] B. Stojanović, V. Đorđević, M. Tomić, Balconies and thermal bridges: A case study and a method in building refurbishment, Conference Proceedings on Building Refurbishment, 2016.
- [31] W. Feist et al., Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the passive house concept, Energy and Buildings, 37(11), 2005, pp.1186-1203.
- [32] 국토안전관리원 그린리모델링 창조센터, 공공건축물 그린리모델링 지원사업 가이드라인, 국토안전관리원, 2023, <http://www.greenremodeling.or.kr> // (Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Green Remodeling Creation Center, Guidelines for the green remodeling

- support project for public buildings, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, 2023, <http://www.greenremodeling.or.kr>)
- [33] C. D'Alpaos, Do policy incentives to buildings energy retrofit encourage homeowners' free-rider behavior?, in: Appraisal and Valuation, Green Energy and Technology, Cham, Springer, 2021, pp.91-101.
 - [34] D. Glew, M. Brooke-Peat, C. Gorse, Modelling insulated coving's potential to reducing thermal bridging and moisture risk in solid wall dwellings retrofitted with external wall insulation, Journal of Building Engineering, 11, 2017, pp.216-223.
 - [35] International Organization for Standardization, Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods, ISO 13788:2012, ISO, 2012.
 - [36] 국토교통부, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 국토교통부령, 2023.
// (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Rules on facility standards for buildings, MOLIT Ordinance, 2023.)
 - [37] International Organization for Standardization, Thermal performance of buildings — Determination of air permeability of buildings — Fan pressurization method, ISO 9972:2015, ISO, 2015.