



공동주택 BIPV 적용을 위한 국내 제도·기준의 정합성 진단

Coherence Diagnosis of Domestic Regulations and Standards for BIPV Application in Multi-Family Housing

황인태* · 김길태** · 박시현***

In Tae Hwang* · Gil Tae Kim** · Si Hyun Park***

* Main author, Assistant Research Fellow, Ph. D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (hit1009@lh.or.kr)

** Corresponding author, Senior Research Fellow, Ph. D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (kimgiltae@hanmail.net)

*** Coauthor, Research Fellow, Ph. D, Korea Land and Housing Corporation, South Korea (sihyun.park@lh.or.kr)

ABSTRACT

Purpose: With the application of Zero Energy Building (ZEB) certification to multi-family housing from 2025, Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) has emerged as a feasible on-site renewable energy technology for multi-family housing, which accounts for approximately 78.3% of Korea's housing stock. However, domestic BIPV-related regulations and standards remain dispersed across multiple ministries and institutional domains, without an integrated framework for multi-family housing application. This study aims to examine the current status and limitations of domestic BIPV regulations and standards from the perspective of multi-family housing application. **Method:** A literature-based regulatory analysis was conducted across five regulatory axes and five evaluation dimensions using a five-level qualitative coding scheme. Subsequently, a three-typology diagnostic framework—overlap, gap, and conflict—was applied to identify structural deficiencies in the current regulatory system. **Result:** No regulation received a rating of “sufficient” in multi-family housing suitability, and the integration dimension was likewise deficient. Among the ten diagnostic items derived within the scope of this study, gaps were the largest category (6 of 10 items), followed by conflicts (3 items) and overlap (1 item), suggesting that gap-type deficiencies were relatively more prevalent within the analytical scope of this study. Four critical tasks were identified: the legal definition and classification of BIPV, system-level design criteria, life-cycle integration, and envelope-integrated fire and operational safety standards.

KEYWORD

건물일체형 태양광
공동주택
제도검토
제로에너지건축물

Building-Integrated Photovoltaics (BIPV)
Multi-Family Housing
Regulatory Review
Zero Energy Building

ACCEPTANCE INFO

Received Jun. 2, 2026
Final revision received Jun. 20, 2026
Accepted Jun. 25, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 필요성

건물 부문의 탄소중립 달성을 위한 유효한 수단 중 하나로 주목받는 건물일체형 태양광(Building-Integrated Photovoltaics, 이하 BIPV)은 2025년 제로에너지건축물(Zero Energy Building, 이하 ZEB) 의무화의 단계적 확대와 함께 공동주택 신축 영역에서 본격적인 적용 단계로 진입하고 있다. 국토교통부 ZEB 의무화 로드맵에 따라 2025년부터 민간 공동주택 30세대 이상에 ZEB 5등급이 의무화되며[1], 통계청 인구주택총조사[2]에 따르면 공동주택(아파트·연립주택·다세대주택)은 국내 주택의 약 78.3%를 차지하는 주요 주거 유형으로, 공동주택은 고밀·고층 주거 형태로서 부지 내 신재생에너지 설치 면적이 제한되므로, 외피를 발전 면적으로 활용하는 BIPV는 이러한 제약 하에서 에너지 자립률을 확보하기 위한 유효한 수단 중 하나로 볼 수 있다. 따라서 공동주택 영역에서 BIPV의 안정적 보급은 ZEB 정책의 실효성을 좌우하는 주요 변수이다.

BIPV는 일반 태양광(Building-Attached Photovoltaics, 이하 BAPV)과 달리 전력 생산 기능과 건축 외피 자재로서의 기능을 동시

에 수행하는 융합 기술로서, 건축자재이자 전기설비라는 본질적인 이중적 성격을 갖는다[3]. 이러한 이중성은 BIPV에 적용되어야 할 제도·기준이 단일 분야에 머무를 수 없음을 의미하며, 건축·전기·소방·구조 등 다수 분야의 제도가 상호 정합적으로 작동해야 함을 시사한다.

그러나 국내에서는 BIPV에 대한 단일화된 전용 법·제도 또는 국가 통합 설계기준이 마련되어 있지 않으며, 재생에너지 보급 정책, 건축물 에너지 제도, 공동주택 성능 기준, 전기안전 규정, KS 제품표준, 공공기관 가이드라인 등이 결합된 다층적·분산형 제도 구조 속에서 운영되고 있다[4]. 특히 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]과 국토교통부의 ZEB 인증제도가 별도 부처에서 병행 추진되는 구조는, BIPV가 건축·전기 분야로 이원화된 채 관리되고 있음을 단적으로 보여준다.

이러한 다층·분산 구조는 기존 제도 자원을 최대한 활용할 수 있다는 장점이 있는 반면, 설계자·시공자·감리자·운영관리 주체가 참조해야 할 기준이 여러 문서와 제도에 분산되어 있어 실무 적용 과정에서 책임과 역할의 경계가 모호해질 가능성이 높다[4]. 더욱이 공동주택은 다수 입주자가 거주하는 건축유형으로서 일반 건축물과 구분되는 구조적 특수성을 가지므로, 일반 BIPV 제도가 전제된 모델과 구조적으로 상충할 가능성이 있다. 이에 따라 공동주택 ZEB 적용이

본격화되는 현 시점에서 공동주택 적용을 전제로 한 국내 BIPV 제도·기준의 정합성 검토는 정책·실무·학술적으로 요청되는 과제이다.

1.2. 선행연구 검토 및 본 연구의 차별점

선행연구 검토를 위해 국내 문헌은 KCI와 DBpia를 중심으로, 국외 문헌은 Scopus와 Web of Science를 중심으로 조사하였다. 검색어는 ‘BIPV’, ‘건물일체형 태양광’, ‘공동주택’, ‘제도’, ‘기준’, ‘정책’, ‘policy coherence’, ‘regulatory gap’ 등을 조합하여 사용하였다. 검색 기간은 최근 10년간의 연구 동향을 반영하기 위해 2015년부터 2024년까지를 중심으로 하였으며, 정책 정합성 분석 방법론과 관련된 기초 문헌은 기간 제한 없이 포함하였다. 다만 본 연구는 체계적 문헌고찰(systematic review)을 목적으로 하기보다는, 국내 BIPV 제도·기준의 정합성 진단을 위한 대표 문헌과 제도 문서를 검토하는데 초점을 두었다. 특히 국외 문헌은 BIPV의 제도·표준·규제 격차를 직접 다룬 리뷰 논문 및 국제 표준화 보고서를 중심으로 선정하였다.

BIPV 분야의 국내 선행연구는 세부적으로 세 흐름으로 분류된다. 첫째, BIPV 정책 효과·경제성 분석 흐름이다. 김지혜 외[5]는 건축물 에너지절약설계기준 강화가 업무용 건물 에너지 성능에 미치는 영향을 분석하였고, 박재완·정학근[6]은 공동주택 BIPV 시스템의 경제성과 보급 전략을 평가하였다. 둘째, BIPV 성능 평가 및 시스템 분석 흐름이다. 류의환 외[7]는 BIPV 발전형 커튼월의 신뢰성 검증을 위한 실험형 성능 평가를 수행하였고, 김법전 외[8]는 BIPV 성능평가 프로그램을 개발하였으며, 이의준·강재식[9]은 TRNSYS 시뮬레이션을 활용한 BIPV 발전 성능을 분석하였다. 셋째, BIPV 적용성 및 외피 통합 검토 흐름이다. 전현우·최진철[10]은 학교시설 외피에 BIPV 적용을 위한 사전 조건을 분석하였으며, 윤종호·이왕제[11]는 컬러 필름 BIPV 모듈의 광학 특성을, 강은철·이정혁[12]은 BIM 기반 BIPV 통합 설계 프로세스를 다루었다.

국외 BIPV 선행연구로는 IEA-PVPS Task 15 (Parolini et al. [13]의 시험·인증 격차 분석, Shukla et al. [14]의 화재안전 표준 비교, Frontini et al. [15]의 기술 동향 리뷰, Lopez et al. [16]의 규제 격차 종합 리뷰가 수행되었다.

그러나 위 BIPV 분야 선행연구들은 다음의 공통적 한계를 가진다. 국내 연구들은 BIPV의 기술적·경제적 측면에 집중되어 제도 간 정합성 차원의 진단은 다루지 않았으며, 검토된 국외 연구의 범위 내에서는 분석 대상이 대체로 일반 건축물에 맞추어져 있어 공동주택 특수성이 주요 평가축으로 다루어지지 않았다. 특히 국내 BIPV 제도·기준 전반을 체계적 분석 틀로 진단한 연구는 부재한 상황이다.

두 번째 영역인 정책 정합성(policy coherence) 분석 방법론은 본 연구의 방법론적 기반을 제공한다. Hertin & Berkhout[17]은 정합성 평가의 핵심 개념으로 정책 간 중복(overlap), 공백(gap), 충돌(conflict)의 3유형 분류를 제시하였으며, May et al. [18]은 이를 다부처 정책 분석에 확장 적용하였다. Nilsson et al. [19]은 환경·에너지 정책 영역에서의 정합성 평가 매트릭스 방법론을 발전시켰다. 본 연구는 이러한 정책 정합성 분석 방법론을 BIPV 제도 분석에 적용하여 방법론적 정당성을 확보한다.

종합하면, 본 연구는 다음 세 가지 점에서 기존 연구와 차별화된다. 첫째, 분석 대상의 차별화이다. 본 연구는 개별 BIPV 기술·정책

이 아닌 국내 BIPV 제도·기준의 정합성을 체계적 분석 틀로 진단한 최초의 시도에 해당한다. 둘째, 분석 프레임의 구성·적용이다. 본 연구는 정책 정합성 분석 분야에서 정립된 매트릭스 및 3유형 진단 방법론[17~19]을 국내 BIPV 제도 분석에 맞게 구성·적용하여, 5개 제도 축과 5개 평가 차원으로 이루어진 5×5 매트릭스 분석 틀을 마련하였다. 본 연구의 기여는 방법론 자체의 신규 개발이 아니라, 기존 정책 정합성 방법론을 국내 BIPV 제도라는 새로운 분석 대상에 특화하여 적용한 점에 있다. 셋째, 진단 프레임의 적용이다. 정책 정합성 분석 분야의 표준 프레임인 중복·공백·충돌 3유형 진단을 BIPV 제도 분석에 적용하여 정합성 문제를 유형화하고, 시급 과제를 우선순위와 함께 도출한다.

1.3. 연구 목적 및 방법

본 연구의 목적은 공동주택 적용 관점에서 국내 BIPV 제도·기준의 현황과 한계를 체계적으로 검토하고, 시급한 제도 개선 과제를 우선순위와 함께 제시하는 것이다. 본 연구가 매트릭스 분석과 중복·공백·충돌 3유형 진단을 방법론으로 채택한 근거는 다음과 같다. 본 연구의 분석 대상인 국내 BIPV 제도는 단일 법령이 아니라 다수 부처의 정책·표준·기준이 분산된 다층 구조이므로, 개별 제도의 효과를 평가하기보다 제도 간 관계(중복·공백·충돌)를 진단하는 것이 핵심이다. 정책 정합성(policy coherence) 분석의 3유형 진단은 다부처 분산 제도의 상호 정합성을 구조적으로 식별하는 데 적합한 표준 방법론이며, 매트릭스 형식은 제도 축과 평가 차원의 교차를 통해 정합성 문제의 위치를 가시화하는 데 효과적이다. 구체적인 연구 목표는 다음과 같다.

- (1) 국내 BIPV 관련 제도·기준을 5개 제도 축으로 체계화하고, 각 축의 현황과 특징을 정리한다.
- (2) 5개 제도 축과 5개 평가 차원의 매트릭스를 통해 제도별 포괄 수준과 한계를 5단계 정성 등급으로 판정한다.
- (3) 중복·공백·충돌 3유형 진단 프레임을 적용하여 제도 간 정합성 문제를 도출하고, 공동주택 적용을 위한 시급 과제를 우선순위와 함께 제시한다.

연구 방법은 문헌 기반 제도 분석(Literature-based regulatory analysis)을 채택하였다. 분석 대상은 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3], 국토교통부의 「제로에너지건축물 인증제도 운영규정」[1], 한국산업표준 「KS C 8577 건물일체형 태양광 모듈—성능평가 요구사항」[20], 한국전기설비규정(KEC)[21], 한국토지주택공사(LH) 「공동주택 건물부착형(벽면) 태양광 기술기준 가이드라인」[22], 한국제품안전협회의 「건축물태양광안전평가」 제도[23] 등 총 6개의 국내 BIPV 관련 제도·기준 문서이다. 이들 자료는 발행 기관의 공식 문서를 1차 자료로 활용하였으며, 한국토지주택공사 토지주택연구원[4]의 국내외 동향 분석 결과를 보조 자료로 활용하였다.

각 제도 축에 대해 5개 평가 차원(① 적용 범위, ② 의무성, ③ 통합성, ④ 전주기 포괄, ⑤ 공동주택 적합성)을 설정하고, 해당 차원이 제도 문서에서 어느 정도 명시적으로 포괄되는지를 5단계 정성 등급(●●●●● 충분/●●● 양호/● 제한적/△ 부분적/× 부재)으로 코딩하였다. 이 결과는 3장의 Table 3.에 종합하였다. 이 등급은 통계적

점수 산출을 위한 정량 척도가 아니라, 제도 문서의 명시성, 적용 범위, 절차 규정 여부, 공동주택 특수성 반영 여부를 비교하기 위한 정성적 판정 기준이다. 이 매트릭스 분석 결과를 바탕으로 제도 간 중복·공백·충돌 항목을 도출하여 3장의 Table 4.로 정리하고, 4대 시급 과제를 우선순위와 함께 제시한다. 본 연구의 분석 범위는 국내 제도·기준의 정합성에 한정되며, 국제 표준과의 정렬 분석, 구체적인 제도 개정안 도출, 정책 이행 로드맵 수립은 본 연구의 범위 외에 있다. 본 연구는 4개 장으로 구성된다. 2장에서는 BIPV의 이중적 성격과 정책적 맥락, 분석 틀을 정리하고, 3장에서는 5개 제도 축의 현황을 5×5 매트릭스로 분석한 후 중복·공백·충돌의 3유형 진단을 통해 시급 과제를 도출한다. 4장에서는 연구 결과를 요약하고 정책적 시사점과 후속 연구 과제를 제시한다.

2. 이론적 배경 및 분석 틀

2.1. BIPV의 정의와 이중적 성격

BIPV는 건축물의 외피(지붕·벽체·창호·커튼월 등)의 일부를 구성하면서 동시에 전력을 생산하는 태양광 모듈을 의미하며[3], 일반 태양광 모듈을 건축물에 부착하는 BAPV (Building-Attached Photovoltaics)와 본질적으로 구분된다. 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]은 BIPV를 “전력생산과 건축자재 기능을 동시에 갖춘 건물일체형 태양광”으로 정의하며, 설치 부위에 따라 창호형, 외벽형, 지붕형으로 구분한다. 한국산업표준 KS C 8577[20]은 BIPV 모듈을 “건축물에 설치되어 건축 부자재(창호, 커튼월, 지붕 및 외벽 등) 역할 및 기능을 수행하고 전력생산을 동시에 할 수 있는 모듈”로 정의하여 그 이중적 성격을 명시한다.

이러한 이중적 성격은 BIPV에 적용되어야 할 제도·기준이 단일 분야에 한정될 수 없음을 의미한다. 건축자재로서 BIPV는 단열·기밀·방수·내화 등 건축 외피의 성능 요구사항을 충족해야 하며, 전기 설비로서는 절연·접지·과전류 보호·낙뢰 보호 등 전기 안전 요구사항을 충족해야 한다. KS C 8577은 이러한 이중성을 반영하여 전기 성능 13개 항목과 구조·안전 성능 9개 항목 등 총 22개 시험 항목을 규정하고 있으나[20], 이는 모듈 단품 차원의 성능평가에 한정되며 시스템 차원의 통합 요건은 다른 제도에 분산되어 있다.

1) 공동주택의 구조적 특수성

BIPV의 이중적 성격이 공동주택에 적용될 때 발생하는 제도적 복잡성은 더욱 가중된다. 본 연구는 공동주택의 구조적 특수성을 다음 네 가지로 정리한다. 이는 통계청 인구주택총조사[2]와 한국토지주택공사 공동주택 관련 자료[4]에 기반한 종합적 정리이다.

- 발코니·외피 일체화: 공동주택은 발코니·외벽·창호가 거주공간과 직접 연결된 외피 구성을 가지므로, BIPV가 외피에 설치될 경우 거주공간의 채광·환기·차폐 등 거주성에 직접 영향을 미친다.
- 구분소유 구조: 공동주택은 「집합건물의 소유 및 관리에 관한 법률」에 따라 전유부분과 공용부분으로 구분되며, 외벽·옥상은 공용부분에 해당한다. 따라서 BIPV 설치 시 소유·운영·유지 관리의 주체 설정이 복잡하다.

- 고층화 경향: 국내 신축 공동주택은 평균 층수가 지속적으로 증가하고 있어, 외피 BIPV의 풍하중·화재안전·유지관리 접근성 측면에서 일반 건축물과 차별화된 요구사항이 발생한다.
- 다세대 분산 발전: 공동주택은 다수 세대가 단일 건축물에 거주하므로, BIPV가 세대별 자가소비형으로 적용될 경우 다수의 소규모 발전 설비가 단일 건축물에 분산 설치되는 양상을 보인다.

이러한 네 가지 구조적 특수성은 단일 외피·단일 소유·중층·집중형 발전을 전제한 일반 BIPV 제도 체계와 구조적으로 상충한다. 따라서 BIPV 제도의 정합성 검토는 단순히 BIPV의 이중성만이 아니라, 공동주택의 구조적 특수성을 동시에 고려한 분석 틀을 요청한다.

2.2. 정책적 맥락: ZEB 의무화와 BIPV 분리 거버넌스

국내 BIPV 정책은 산업통상자원부와 국토교통부의 두 축으로 분리되어 추진되고 있다. 산업부는 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]을 통해 ① BIPV 인정 체계 정립, ② 초기시장 창출을 위한 제도적 지원 강화, ③ 고부가가치 기술혁신 지원, ④ 설계단계부터 BIPV 적용 확대의 4대 전략을 추진하고 있으며, 이는 BIPV 산업의 시장형성과 기술 고도화에 초점을 두고 있다. 한편 국토부는 「제로에너지건축물 인증제도 운영규정」[1]을 통해 ZEB 의무화를 단계적으로 확대하고 있으며, 2025년부터 민간 공동주택 30세대 이상에 ZEB 5등급이 의무화된다.

두 부처의 정책은 표면적으로는 BIPV 보급 확대라는 공통의 목표를 지향하지만, 정책 도구와 적용 대상에서 차이를 보인다. Table 1.에서 두 정책의 구조적 차이를 정리하면, 산업부 정책은 BIPV 제품·산업을 직접 대상으로 하는 산업 진흥형 정책이며, 국토부 정책은 건축물 에너지 성능을 대상으로 하는 규제형 정책이다.

이러한 이원화 구조는 두 가지 문제를 야기한다. 첫째, BIPV가 산업부에서는 직접 대상으로 다루어지나 국토부에서는 ZEB 달성을 위한 수단으로 하나로 간접적으로 인식되어, BIPV의 건축적 특성과 전기적 특성을 통합적으로 다루는 제도가 부재하다[4]. 둘째, 두 정책 모두 공동주택을 별도의 특화 대상으로 다루지 않아, 공동주택 적용 시 발생하는 구조적 특수성이 제도 차원에서 반영되지 않는다. 한

Table 1. Comparison of BIPV-related policies of MOTIE and MOLIT

Category	MOTIE	MOLIT
Representative Policy	BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan [3]	Zero Energy Building Certification System [1]
Policy type	Industry-oriented	Regulation-oriented
Direct target	BIPV products and industry	Building energy performance
Policy instruments	Subsidies, R&D, and KS certification revision	Certification mandate and energy self-sufficiency rate
Role of BIPV	Direct policy target	One of the means for achieving energy self-sufficiency
Consideration of multi-family housing	General building oriented; limited consideration of multi-family housing	Multi-family housing is included as an application target, but BIPV-specific criteria are absent

국토지주택공사 토지주택연구원[4]은 이러한 분리 거버넌스 구조를 “산업 육성 및 시장 형성의 정책 대상으로 다루어지고 있을 뿐, 설계-시공-감리-유지관리 전 단계를 포괄하는 단일 통합기준으로까지 발전한 상태로 보기 어렵다”고 진단한다.

2.3. 분석 틀: 5축×5차원 매트릭스 및 3유형 진단 프레임

본 연구가 채택한 정성적 등급 코딩은 정책·제도 분석에서 정량화하기 어려운 제도 간 포괄 수준과 정합성 문제를 비교하기 위해 활용되어 온 방법론적 접근이다. Hertin & Berkhout[17], May et al.[18], Nilsson et al.[19]의 정책 정합성 분석은 제도 간 중복, 공백, 충돌을 구조적으로 식별하는 분석 틀을 제공한다. 본 연구는 이러한 접근을 BIPV 제도 분석에 적용하되, 등급 판정의 자의성을 줄이기 위해 명시적 코딩 기준, 1차 자료 교차 검토, 보수적 판정 원칙을 함께 적용하였다.

1) 5개 제도 축의 설정 근거

국내 BIPV 관련 제도·기준은 단일 법령이 아니라 다수 부처의 정책·기준이 결합된 다층 구조로 운영되고 있다. 한국토지주택공사 토지주택연구원[4]은 국내 BIPV 제도를 ① 정책·보급 제도, ② 건축·에너지 성능 기준, ③ 제품 표준 및 인증 체계, ④ 전기안전 및 설치 기준, ⑤ 공공 실무 가이드라인의 5개 영역으로 분류하였으며, 본 연구는 이 분류 체계를 계승하되 최근 등장한 민간 안전평가 제도(한국제품안전협회의 「건축물태양광안전평가」)를 다섯 번째 축에 포함하여 5개 제도 축으로 재정의한다.

2) 5개 평가 차원의 정의

각 제도 축은 다음 5개 차원에서 분석된다. 본 차원 설정은 정책 정합성 평가 문헌(Nilsson et al.[19])이 제시한 정합성 평가의 핵심 축—범위, 강제력, 통합성, 시간적 포괄, 대상 특화—을 BIPV 제도 분석에 적용한 것이다.

- (차원 1) 적용 범위(Scope of Application): 해당 제도가 BIPV의 어느 범위(제품·시스템·건축물 통합)까지 포괄하는가
- (차원 2) 의무성(Mandatory Nature): 해당 제도가 강제 적용되는가, 권장·자율 수준인가
- (차원 3) 통합성(Integration): 건축·전기·소방·구조 등 분야 간 통합적 접근이 반영되어 있는가
- (차원 4) 전주기 포괄(Life-Cycle Coverage): 설계-시공-감리-운영-유지관리 전주기를 포괄하는가
- (차원 5) 공동주택 적합성(Suitability for Multi-Family Housing): 공동주택의 구조적 특수성(2.1절 참조)을 반영하는가

3) 5단계 정성 등급 코딩 기준

각 셀의 판정은 5단계 정성 등급에 따라 수행하였다. 본 등급 체계는 통계적 점수 산출을 위한 척도가 아니라, 제도 문서가 각 평가 차원을 어느 정도 명시적으로 포괄하는지를 비교하기 위한 질적 코딩 기준이다. 5단계 구분은 단순 이분법(있음/없음)으로는 식별하기 어려운 부분적·제한적 포괄 상태를 구분하기 위해 설정하였다. 각

Table 2. Definitions and judgment criteria for the five-level qualitative coding scheme

Rating	Label	Definition and Judgment Criteria
●●●	Sufficient	The evaluation dimension is explicitly specified in laws, standards, or certification systems, and the scope of application, procedures, responsible actors, or performance requirements are also provided.
●●	Adequate	The evaluation dimension is explicitly specified in the regulatory document, but some elements such as the scope of application, procedures, responsible actors, or detailed requirements require supplementation. The key judgment criterion is that explicit provisions exist, although partial supplementation is needed.
●	Limited	The evaluation dimension is not explicitly specified, but is only indirectly addressed or limited to a specific stage or partial area, such as product, design, construction, or operation. The key judgment criterion is that no explicit provision exists, and the content is indirect or stage-specific.
△	Partial	Only fragmentary provisions, test items, recommendations, or reference-level content related to the evaluation dimension are identified.
×	Absent	No provision, standard, procedure, or application requirement directly addressing the evaluation dimension is identified.

척도의 정의는 Table 2.와 같다.

각 셀의 등급은 (i) 해당 제도 문서의 명시 조항, (ii) LH 토지주택연구원[4]의 진단 내용, (iii) 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]에서 제시된 한계 사항을 교차 검토하여 판정하였다. 불명확한 경우에는 해당 차원이 제도 문서에 명시적으로 규정되어 있는지 여부를 우선 기준으로 삼고, 과대평가를 피하기 위해 보수적으로 낮은 등급을 부여하였다. 다만 본 등급 판정은 문헌 기반 정성 분석의 성격을 가지므로, 전문가 델파이 조사 또는 복수 평가자 검토를 통한 신뢰도 보완은 후속 연구 과제로 남는다.

4) 3유형 진단 프레임: 중복·공백·충돌

5×5 매트릭스의 판정 결과는 제도별 강·약점을 확인할 수 있으나, 그 자체로는 제도 간 정합성 문제를 도출하지 못한다. 본 연구는 매트릭스 분석 결과를 바탕으로 제도 간 정합성 문제를 정책 정합성 분석의 표준 프레임인 3유형(Hertin & Berkhout[17])으로 분류하여 진단한다.

- 중복(Overlap): 둘 이상의 제도가 동일한 사항을 규정하여 중복 적용·중복 시험 등의 비효율이 발생하는 경우
- 공백(Gap): 어떤 제도에서도 다루어지지 않아 제도적 공백 지대가 발생하는 경우
- 충돌(Conflict): 둘 이상의 제도가 동일 사항에 대해 상이한 기준을 제시하여 실무 적용 시 혼선이 발생하는 경우

진단된 각 항목은 우선순위(High/Medium/Low)와 함께 도출되며, 우선순위 High 항목은 시급 과제로 식별된다. 진단 항목의 도출 절차는 다음과 같다. 첫째, 매트릭스에서 특정 평가 차원이 ‘부재(×)’ 또는 ‘부분적(△)’으로 판정되거나, 다수 제도 축에서 ‘제한적

(●)' 이하로 반복되는 영역을 공백(Gap) 후보로 식별한다. 특히 공동주택 적합성, 전주기 포괄, 통합성 차원에서 낮은 등급이 반복되는 경우 공동주택 BIPV 적용을 위한 제도적 공백으로 해석하였다. 둘째, 동일한 사항을 다루나 기준이 상이한 제도 조합을 충돌(Conflict) 후보로 식별한다. 셋째, 동일한 사항을 두 제도가 함께 규정하는 영역을 중복(Overlap) 후보로 식별한다. 우선순위는 (i) 공동주택 적용의 핵심 장에 정도, (ii) 다른 진단 항목과의 구조적 연관성, (iii) 안전·생명에 대한 영향 정도를 종합하여 부여한다.

3. 국내 BIPV 제도·기준 분석

3.1. 5개 제도 축의 현황

본 절에서는 2장에서 설정한 5개 제도 축의 현황을 정리한다. 각 제도 축의 발행 주체, 법적 위상, 주요 내용, 공동주택 적용 관점의 특징을 차례로 기술하고, 3.2절의 매트릭스 분석의 기초를 제공한다.

1) 정책·보급 축: BIPV 산업생태계 활성화 방안

산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]은 국내 BIPV 정책의 대표 문서로서, NDC 목표 달성과 탄소중립 실현을 위한 BIPV 경쟁력 강화를 정책 목표로 한다. 본 방안은 ① BIPV 인정 체계 정립(인정기준 마련, 시공기준 상세화, 사전 설계 적절성 평가, KS 인증 정비·의무화), ② 초기시장 창출을 위한 제도적 지원 강화(보급지원사업 개편, REC 가중치 재설계, 제로에너지건축물과의 연계), ③ 고부가가치 기술혁신 지원(시장창출형 R&D, 기업공동활용 연구센터, BIPV 실증평가센터 구축), ④ 설계단계부터 BIPV 적용 확대(BIM 기반 BIPV DB 구축, 설계장려금, 공모전 개최)의 4대 전략으로 구성된다.

본 방안은 BIPV 산업의 시장 형성과 기술 고도화에 초점을 두고 있으며, 추진 일정은 2022년 하반기부터 2026년까지의 단계적 이행 계획을 포함한다. 다만 정책 문서로서의 성격상 법적 강제력을 가지지 않으며, 공동주택을 별도의 특화 대상으로 명시하지 않고 일반 건축물을 포괄적으로 다룬다. 본 방안의 추진 과제 중 BIPV KS 인증 의무화, 시공기준 상세화, BIPV 실증평가센터 구축 등은 다른 제도 축과 직접 연계되는 항목들로서, 이들의 실제 이행 정도가 본 정책의 실효성을 좌우한다.

2) 건축물 에너지 축: ZEB 인증제도와 연관 기준

국토교통부의 「제로에너지건축물 인증제도」[1]는 건축물의 에너지 자립률에 따라 1~5등급의 ZEB 등급을 부여하는 제도로서, BIPV는 본 제도에서 재생에너지 생산 수단의 하나로 인식된다. 2023년 공공 500m² 이상으로 의무 적용이 확대되었으며, 2025년부터는 민간 공동주택 30세대 이상에 ZEB 5등급(에너지 자립률 20% 이상)이 의무화된다[1].

ZEB 인증제도는 본 연구의 5개 제도 축 중 공동주택을 직접 적용 대상으로 포함하는 유일한 제도이다. 다만 본 제도는 건축물 단위의 에너지 성능을 평가하는 데 초점을 두며, BIPV 자체의 건축 통합 요건이나 전기 안전 요건은 다른 제도에 위임하는 구조이다. 이 외에 「에너지절약형 친환경주택의 건설기준」, 「건축물의 에너지절약설

계기준」 등이 BIPV 적용 시 함께 검토되어야 할 보조 기준으로 기능하나, 이들 역시 BIPV에 대한 전용 조항을 포함하지 않는다.

3) 제품 표준 축: KS C 8577

한국산업표준 KS C 8577 「건물일체형 태양광 모듈(BIPV)―성능평가 요구사항」[20]은 BIPV 모듈의 성능평가를 위한 국내 전용 표준이다. 본 표준은 BIPV 모듈을 결정질·박막형으로 구분하고, 일반 요구사항, 구조 요구사항, 전기 요구사항을 규정하며, 전기 성능과 구조·안전 성능을 포함한 시험 항목을 제시한다. 2022년 개정에서는 적용 범위가 기존의 창호·커튼월·지붕에서 외벽으로 확대되었고, 유리에 대한 정의 조항이 삭제되어 다양한 소재의 적용 가능성이 넓어졌다는 점에서 의미가 있다. 다만 본 표준은 BIPV의 건축자재성과 전기설비성을 모듈 수준에서 반영한 기준으로, 적용 대상이 모듈 단품의 성능평가에 한정된다. 따라서 시스템 설계, 시공·감리·운영의 전주기 관리, 공동주택의 구조적 특수성은 직접 다루지 못한다. 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」에서도 인증 범위가 모듈에 한정되는 점과 설치 위치·소재·색상 변경 인정 범위의 한계가 지적된 바 있다[3].

4) 전기 안전 축: 한국전기설비규정(KEC)

한국전기설비규정(Korea Electrotechnical Code, 이하 KEC) [21]은 「전기사업법」에 근거하여 모든 전기설비에 적용되는 강제 규정으로서, 태양광 발전설비 또한 본 규정의 적용을 받는다. KEC는 BIPV의 여부와 무관하게 태양광 설비를 전기설비로 분류하여 절연·접지·과전류 보호·낙뢰 보호 등 전기 안전 일반 기준을 규정한다.

LH 토지주택연구원[4]은 본 규정의 한계를 다음과 같이 지적한다. KEC는 “태양광 설비가 기본적으로 전기설비 규정 체계 안에서 관리되고 있음을 보여주고 있으나, 미국의 NEC Article 690과 같이 BIPV 특성을 전면적으로 반영한 독립적인 전기안전 문서가 별도로 존재하는 것으로 보기는 어렵다”는 진단이다. 즉, KEC는 BIPV·공동주택 특화 조항을 포함하지 않으며, 건축 외피에 일체화된 발전 설비의 특수성(아크 고장, 다세대 분산 발전, 비상 차단 등)에 대한 별도 규정이 부재한 상황이다.

5) 공공·민간 가이드라인 축: LH 가이드라인과 건축물 태양광 안전평가

본 축은 법령·표준 차원에서 다루어지지 않는 영역을 보완하는 가이드라인·평가 제도로 구성된다. LH 「공동주택 건물부착형(벽면) 태양광 기술기준 가이드라인」[22]은 국내에서 공동주택을 대상으로 한 BIPV·BAPV 적용을 가장 구체화한 공공 실무자료이다. 본 가이드라인은 공동주택 벽면 태양광의 설계·시공·유지관리에 필요한 실무 절차를 제시하며, 공공주택 발주 시 참조 기준으로 활용된다. 다만 본 가이드라인은 명칭이 “건물부착형(벽면)”으로 명시되어 있듯이 BAPV 적용 방안을 중심으로 구성되어 있으며, 건축 외피 자체를 구성요소로 사용하는 BIPV 시스템의 구조적·외피 성능 요구사항은 포괄적으로 다루지 않는다는 한계가 있다[4].

한국제품안전협회의 「건축물태양광안전평가」 제도[23]는 BIPV·BAPV가 건축물에 적용되는 과정에서의 안전성을 평가하는 민간 자율 인증 프로그램이다. 평가는 ① 건축설계 안전, ② 주요 기자재 안

Table 3. Five-axis×five-dimension matrix analysis results for domestic BIPV regulations and standards

Regulatory axis	Representative regulation or standard	Scope	Mandatory nature	Integration	Life cycle	MFH
Policy and deployment	BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan [3]	●●	●	●	●	●●
Building energy	ZEB Certification System [1]	●●●	●●●	●	●●	●●
Product standard	KS C 8577 [20]	●●	●●	●	△	△
Electrical safety	Korea Electrotechnical Code (KEC) [21]	●●●	●●●	△	●	×
Public and private guidelines	LH Guidelines [22]/ Building PV Safety Assessment [23]	●●	●	●●	●	●●

Note: Five-level qualitative coding: ●●● Sufficient/●● Adequate/● Limited/△ Partial/× Absent. The ratings are qualitative judgments based on the explicitness of provisions, scope of application, procedural requirements, and consideration of multi-family housing specificity; they do not represent statistical scores.

MFH=Multi-Family Housing.

전, ③ 구조방재 안전, ④ 전기 안전, ⑤ 시공 안전, ⑥ 유지관리 안전의 6개 분야로 구성되며, 등급제 형태로 운영된다. 본 제도는 건축물에 설치되는 태양광 설비의 안전성을 제품 수준이 아닌 건축 적용 수준에서 평가하려는 초기 시도로서, 본 연구가 식별한 5개 제도 축 중 통합성 차원의 가장 높은 수준을 보인다. 다만 민간 자율 인증의 성격을 가지므로 법적 강제력이 없고, 인허가 절차 또는 공공 발주 기준과 직접적으로 연계되지 않는 한계가 있다[4].

3.2. 5×5 매트릭스 분석 결과

3.1절에서 검토한 5개 제도 축에 대해 5개 평가 차원의 포괄 수준을 5단계 정성 등급으로 코딩한 결과는 Table 3.에 종합하였다. 본 등급은 통계적 점수 산출을 위한 정량 척도가 아니라, 각 제도 문서가 해당 평가 차원을 어느 정도 명시적으로 다루고 있는지를 비교하기 위한 정성적 판정 기준이다. 따라서 각 등급은 제도 문서의 명시 조항, 적용 대상, 절차 규정 여부, 건축·전기·소방·구조 분야 간 연계성, 공동주택 특수성 반영 여부를 기준으로 보수적으로 판정하였다.

Table 3.의 등급은 각 제도가 해당 평가 차원을 명시적으로 다루는 정도에 따라 보수적으로 판정하였다. 예를 들어 ZEB 인증제도는 민간 공동주택 30세대 이상을 의무 적용 대상으로 포함하므로 적용 범위와 의무성은 높게 판정하였으나, BIPV 자체의 건축 통합 요건이나 전기 안전 요건을 직접 규정하지 않으므로 통합성은 제한적으로 판정하였다. KS C 8577은 BIPV 모듈의 성능평가 요구사항을 규정한다는 점에서 제품 표준으로서의 적용성은 인정되나, 시스템 설계, 시공·감리, 공동주택 운영 조건을 직접 다루지 않으므로 전주기 포괄과 공동주택 적합성은 낮게 판정하였다. KEC는 전기설비에 대한 강제 기준이라는 점에서 적용 범위와 의무성은 높지만, BIPV 외 피 일체형 적용 및 공동주택 특화 조항을 직접 포함하지 않으므로 공동주택 적합성은 부재로 판정하였다.

매트릭스 분석 결과, 다음 네 가지 핵심 패턴이 도출되었다.

(패턴 1) 공동주택 적합성 차원의 보편적 한계

5개 제도 축 중 어느 축도 공동주택 적합성 차원에서 ‘충분(●●●)’ 수준에 도달하지 못하였으며, 최고 수준은 ‘양호(●●)’에 그쳤다. 특히 KEC는 BIPV·공동주택 특화 조항이 확인되지 않아 본 차원에서 ‘부재(×)’로 판정되었다. KS C 8577 또한 모듈 단품의 성능평가 요구사항에 한정되어 공동주택의 구조적 특수성을 직접 다루지 못하므로 ‘부분적(△)’ 수준으로 판정되었다.

(패턴 2) 통합성 차원의 전반적 미흡

통합성 차원에서도 ‘충분(●●●)’ 수준에 도달한 제도는 없었다. 상대적으로 가장 높은 수준은 공공·민간 가이드라인 축의 ‘양호(●●)’로 나타났다. 이는 한국제품안전협회의 「건축물태양광안전평가」가 건축설계 안전, 주요 기자재 안전, 구조방재 안전, 전기 안전, 시공 안전, 유지관리 안전 등 복수의 안전 분야를 함께 다루기 때문이다. 다만 해당 제도는 민간 자율 인증의 성격을 가지므로 법적 강제력과 인허가 절차와의 연계 측면에서는 한계가 있다. 정책·보급, 건축물 에너지, 제품 표준 축은 모두 ‘제한적(●)’ 또는 ‘부분적(△)’ 수준에 머물러, 건축·전기·소방·구조 분야 간 통합적 접근이 충분히 제도화되어 있지 않은 것으로 나타났다.

(패턴 3) 의무성과 적용 범위의 양극화

ZEB 인증제도와 KEC는 적용 범위와 의무성 차원에서 모두 ‘충분(●●●)’으로 판정되었다. 이는 각각 건축물 에너지 성능과 전기 설비 안전에 대해 강제 적용되는 제도라는 점을 반영한다. 반면 BIPV 산업생태계 활성화 방안과 LH 가이드라인은 정책 문서 또는 공공 실무자료의 성격을 가지므로 법적 강제력이 상대적으로 제한적이다. KS C 8577은 BIPV 모듈의 제품 표준으로서 일정한 적용성을 가지지만, 적용 대상이 모듈 단품에 한정된다는 구조적 제약을 가진다. 이러한 결과는 강제 규정은 BIPV 특수성을 충분히 포괄하지 못하고, BIPV 특화 제도는 강제력이 부족한 구조적 미정합을 보여준다.

(패턴 4) 전주기 포괄 차원의 분절적 운영

전주기 포괄 차원에서 ‘충분(●●●)’ 수준으로 판정된 제도는 없었으며, 최고 수준은 ZEB 인증제도의 ‘양호(●●)’로 나타났다. KS C 8577은 모듈 제조·인증 단계에 초점을 두고 있어 ‘부분적(△)’ 수준으로 판정되었고, 나머지 제도들도 설계 또는 시공 단계의 일부를 중심으로 다루고 있어 ‘제한적(●)’ 수준에 머물렀다. 이는 설계-시공-감리-운영-유지관리로 이어지는 BIPV 전주기를 통합적으로 포괄하는 제도적 기준이 아직 충분히 마련되어 있지 않음을 의미한다.

3.3. 진단 결과: 중복·공백·충돌 3유형

3.2절의 매트릭스 판정 결과에 2.3절에서 제시한 진단 절차를 적용하여 진단 항목을 도출하였다. 구체적으로, ① 공동주택 적합성·전주기 포괄·통합성 차원이 ‘부재(×)’ 또는 ‘부분적(△)’으로 판정되거나 다수 제도 축에서 ‘제한적(●)’ 이하로 반복되는 영역을 공백

(Gap) 후보로, ② 동일 사항에 대해 제도 간 기준 또는 책임 범위가 상이한 조합을 충돌(Conflict) 후보로, ③ 동일 사항을 복수 제도가 함께 규정하는 영역을 중복(Overlap) 후보로 식별하였다. 본 진단은 5개 제도 축과 5개 평가 차원으로 구성된 25개 셀의 판정 결과를 기반으로 하였으며, 특정 제도나 단일 쟁점에 한정되지 않고 본 연구의 분석 범위 내에서 주요 정합성 문제를 체계적으로 도출하고자 하였다. 그 결과 본 연구의 분석 범위 내에서 공백(Gap) 6건, 충돌(Conflict) 3건, 중복(Overlap) 1건의 총 10개 진단 항목이 도출되었다(Table 4.). 다만 이 항목들이 국내 BIPV 제도의 모든 정합성 문제를 망라하는 것은 아니며, 본 연구의 분석 틀에 기반하여 도출된 대표적 항목에 해당한다. 이 빈도 수는 국내 BIPV 제도 전체의 통계적 발생 빈도가 아니라 본 연구에서 도출한 10개 진단 항목의 유형별 분포를 의미한다.

진단 결과의 핵심 발견은 다음과 같다.

[발견 1] 공백(Gap)이 주요 유형으로 나타났다. 본 연구에서 도출한 10개 진단 항목 중 공백은 6건으로 가장 많이 식별되었다. 이는 본 연구의 분석 범위 내에서 국내 BIPV 제도·기준의 정합성 문제가 단순한 제도 간 중복보다는, 공동주택 적용에 필요한 기준과 절차가 충분히 제도화되지 않은 영역에서 상대적으로 크게 나타남을 시사한다. 따라서 제도 개선은 기존 제도 간 조정뿐 아니라, 공동주택 적용을 위한 시스템 설계기준, 전주기 통합 기준, 외피 일체형 안전기준 등 미비 영역을 보완하는 방향으로 검토될 필요가 있다.

[발견 2] 충돌(Conflict)은 부차·체계 간 분절에서 비롯된다. 충돌 항목 3건은 모두 부차 또는 체계 간 분절에서 발생한다. 항목 #2는 산업부의 제품 인증(KS C 8577)과 국토부의 건축물 인증(ZEB) 간 평가 체계 차이에서 비롯되며, 항목 #4는 전기 분야(KEC)와 건축 분야(건축법)의 제도 영역 분리에서, 항목 #8은 공공 가이드라인의 자율적 성격과 ZEB의 의무적 성격 간 강제력 차이에서 발생한다. 이는 BIPV의 이중적 성격이 부차·체계 분절을 따라 제도적 분단을 만든 결과이다.

[발견 3] 중복(Overlap)은 정책 영역에 한정된다. 중복 항목은 1건에 그쳤으며, 산업부의 BIPV 산업 진흥 정책과 국토부의 ZEB 정책이 모두 재생에너지 보급 확대를 추구하는 정책 영역에 한정된다. 이는 본 연구의 분석 범위 내에서 기술기준·표준 차원의 중복보다는 공동주택 적용에 필요한 기준과 절차의 공백이 상대적으로 크게 나타남을 보여준다.

3.4. 공동주택 적용을 위한 시급 과제

Table 4.에서 우선순위 ‘상(High)’으로 판정된 항목은 #3, #5, #6, #10의 4개이다. 본 연구는 이 4개 항목을 가장 시급히 해결해야 할 과제로 식별한다. 이들은 모두 공백(Gap) 유형이며, 공동주택 BIPV 적용의 핵심 장애 요인을 구성한다. 특히 #10(BIPV의 법적 정의·분류 공백)은 나머지 세 과제의 제도적 전제가 되는 기반 과제이므로, 이를 시급 과제 ①로 우선 기술한다.

시급 과제 ① (#10): BIPV의 법적 정의·분류 공백

현행 제도는 BIPV를 건축자재(KS C 8577, 건축물 외피 성능)와 전기설비(KEC)의 양 측면에서 각각 다루고 있으나, BIPV가 법적으

Table 4. Diagnostic items and typological classification of domestic BIPV regulations and standards derived in this study

No.	Diagnostic items	Type	Related regulations or standards	Priority
1	Overlap between MOTIE's BIPV industrial policy and MOLIT's ZEB policy in renewable energy deployment	O	BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan/ ZEB Certification System	Medium
2	Conflict between product-level certification (KS C 8577) and building-level performance criteria (ZEB)	C	KS C 8577/ ZEB Certification System	Medium
3	Absence of system-level design criteria for BIPV in multi-family housing	G	All five axes	High
4	Conflict between the KEC and building-envelope regulations regarding BIPV classification and responsibility	C	KEC/Building regulations	Medium
5	Absence of integrated life-cycle criteria across design, construction, supervision, and operation	G	All five axes	High
6	Absence of fire and operational safety criteria for envelope-integrated BIPV	G	KEC/Building fire safety standards	High
7	Insufficient criteria for maintenance and replacement of BIPV envelope components	G	LH Guidelines/ KS C 8577	Medium
8	Conflict in enforcement between voluntary public guidelines and mandatory ZEB certification	C	LH Guidelines/ ZEB Certification System	Low
9	Insufficient performance verification methods for colored and semi-transparent BIPV modules	G	KS C 8577	Medium
10	Gap in the legal definition and classification of BIPV as a building material or electrical equipment	G	All five axes	High

Note: The frequencies in this table represent the distribution of the ten diagnostic items derived in this study, not the statistical occurrence rates of all domestic BIPV regulations and standards.

O=Overlap; C=Conflict; G=Gap; H=High; M=Medium; L=Low.

로 건축자재인지 전기설비인지에 대한 명확한 분류 규정은 부재하다. 이러한 법적 정의·분류의 공백은 인허가 주체, 성능 기준 적용 범위, 책임 소재의 판단을 어렵게 하여, 다른 세 과제(시스템 설계기준, 전주기 통합기준, 화재·운영안전기준)의 제도화에 선행적으로 해소되어야 할 기반적 문제이다. 즉, BIPV의 법적 지위가 먼저 정립되어야 그에 근거한 설계기준·통합기준·안전기준이 일관된 체계로 마련될 수 있다. 따라서 본 과제는 4대 시급 과제 중 가장 선행되어야 할 기반 과제로 위치시킨다. 이를 위해 「건축법」·「전기사업법」 등 관련 법령에서 BIPV의 정의와 분류를 명확히 하고, 건축자재로서의 성능 요건과 전기설비로서의 안전 요건이 중첩 적용되는 영역을 정리하는 제도적 검토가 요청된다.

시급 과제 ② (#3): 공동주택용 BIPV 시스템 수준 설계기준 부재
 현행 제도는 BIPV를 제품 수준 또는 건축물 에너지 성능 수준에서 각각 다루고 있으나, 공동주택 적용에 필요한 시스템 수준의 설계기준은 충분히 마련되어 있지 않다. KS C 8577은 BIPV 모듈의 성능평가 요구사항을 규정하지만 적용 대상이 모듈 단품에 한정되며, ZEB 인증제도는 건축물 단위의 에너지 자립률을 평가하지만 BIPV의 구조 통합, 외피 성능, 전기 연결, 유지관리 조건을 통합적으로 규정하지 않는다. 따라서 모듈 구성, 설치 위치, 외피 결합 방식, 전기계통 연계, 유지관리 접근성 등을 공동주택 단지 차원에서 종합적으로 다루는 전용 설계기준이 필요하다.

특히 공동주택은 발코니·외벽·창호가 거주공간과 직접 연결되고, 외피가 공용부분으로 관리되며, 고층화와 다세대 분산 발전의 특성을 동시에 갖는다. 이러한 조건에서는 일반 건축물 또는 모듈 단품 중심의 기준만으로는 BIPV의 설계·시공·운영 과정에서 발생하는 책임 범위와 성능 요구사항을 충분히 규정하기 어렵다. 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]에서 제시한 시공기준 상세화 및 사전 설계 적절성 평가 과제는 이 공백을 일부 보완할 수 있으나, 공동주택 특화 시스템 설계기준으로 구체화될 필요가 있다. 본 과제는 전주기 통합 기준(#5)과 외피 일체형 화재·운영안전 기준(#6)이 적용되기 위한 기술적 기반이라는 점에서, 법적 정의·분류(#10)에 이어 우선적으로 검토되어야 한다.

시급 과제 ③ (#5): 설계-시공-감리-운영 전주기 통합 기준 부재
 현행 제도는 BIPV의 전주기를 단계별로 분절하여 다루고 있다. KS C 8577은 모듈 제조·인증 단계에, ZEB 인증제도는 건축물 단위의 에너지 성능 평가에, KEC는 전기설비 안전에, LH 가이드라인은 설계·시공 실무 절차에 각각 초점을 둔다. 그러나 이들 제도를 설계-시공-감리-운영 단계에서 연속적으로 연결하는 통합 기준은 충분히 마련되어 있지 않다. 한국제품안전협회의 「건축물태양광안전평가」가 일부 통합적 접근을 시도하고 있으나, 민간 자율 인증의 성격을 가지므로 공공 발주·인허가 절차와 직접 연계되는 기준으로 보기는 어렵다.

이러한 공백은 BIPV 적용 과정에서 책임 소재의 모호성으로 이어질 수 있다. 특히 공동주택은 설계자, 전기 설계자, 시공자, 감리자, 관리주체, 입주자 등 이해관계자가 복합적으로 얽혀 있으므로, 단계별 역할과 책임을 명확히 하는 전주기 통합 기준이 필요하다. 따라서 본 과제는 시스템 수준 설계기준(#3)이 실제 사업 과정에서 작동하기 위한 거버넌스 기반으로서 중요하다.

시급 과제 ④ (#6): 외피 일체형 BIPV 화재·운영안전 기준 부재
 BIPV가 공동주택 외피에 일체형으로 적용될 경우 일반 태양광 설비와 다른 안전 위험이 발생할 수 있다. 입면 설치에 따른 아크 고장, 외벽을 통한 화재 확산, 고층부 유지관리 접근성, 다세대 거주 환경에서의 응급 차단과 대피 안전 등이 대표적이다. 그러나 현행 KEC와 건축물 화재안전 기준은 이러한 외피 일체형 BIPV의 특수성을 체계적으로 반영하는 데 한계가 있다.

KS C 8577의 내화 관련 시험은 모듈 단품 차원의 성능평가에 가깝기 때문에, 공동주택 외피 시스템 차원의 화재 확산 시나리오나 운영

안전 기준을 충분히 포괄하기 어렵다. 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]에서도 BIPV의 건축자재 성능 검증과 실증 데이터 부족이 한계로 지적된 바 있다[3]. 따라서 공동주택 외벽·발코니 등에 적용되는 BIPV에 대해서는 전기안전, 화재안전, 유지관리, 비상 차단을 함께 고려한 전용 안전기준이 마련될 필요가 있다.

본 연구에서 도출한 4대 시급 과제는 상호 독립적인 항목이 아니라 단계적으로 연결된다. BIPV의 법적 정의·분류(#10)는 나머지 과제의 제도적 전제가 되는 법적 기반을 제공하고, 공동주택용 BIPV 시스템 수준 설계기준(#3)은 그 위에서 기술적 기준을 제공하며, 전주기 통합 기준(#5)은 이를 설계·시공·감리·운영 과정에서 작동시키는 역할·책임 체계를 제공하고, 외피 일체형 화재·운영안전 기준(#6)은 적용 과정의 안전성을 보완한다. 따라서 네 과제는 모두 공백(Gap) 유형에 해당하지만, 각각 법적 기반, 기술 기준, 운영 체계, 안전 기준이라는 서로 다른 층위의 제도적 보완 과제로 이해할 수 있다.

4. 결론

4.1. 연구결과 요약

본 연구는 2025년 공동주택 ZEB 의무화 시행 이후 공동주택 적용 관점에서 국내 BIPV 제도·기준의 현황과 한계를 체계적으로 검토하는 것을 목적으로 수행되었다. 이를 위해 정책 정합성 분석 방법론을 BIPV 제도 분석에 적용하여, 국내 BIPV 관련 제도·기준을 5개 제도 축(정책·보급, 건축물 에너지, 제품 표준, 전기 안전, 공공·민간 가이드라인)으로 체계화하고, 5개 평가 차원(적용 범위, 의무성, 통합성, 전주기 포괄, 공동주택 적합성)을 기준으로 각 제도의 포괄 수준을 5단계 정성 등급으로 코딩하는 5×5 매트릭스 분석을 수행하였다. 이어 매트릭스 분석 결과를 바탕으로 중복·공백·충돌의 3유형 진단 프레임워크를 적용하여 제도 간 정합성 문제를 도출하고, 시급 과제를 우선순위와 함께 식별하였다.

분석 결과 세 가지 핵심 발견이 도출되었다.

첫째, 5개 제도 축 중 어느 축도 공동주택 적합성 차원에서 ‘충분(●●●)’ 등급에 도달하지 못하였으며, 최고점은 ‘양호(●●)’에 그쳤다. 특히 한국전기설비규정(KEC)은 BIPV·공동주택 특화 조항이 확인되지 않아 가장 낮은 수준인 ‘부재(×)’로 판정되었고, KS C 8577은 모듈 단품에 한정되어 공동주택의 구조적 특수성을 다루지 못해 ‘부분적(△)’ 수준에 머물렀다. 통합성 차원 역시 ‘충분’ 등급에 도달한 제도가 없어, 건축-전기-소방-구조 분야 간 통합적 접근이 전반적으로 미흡함이 확인되었다.

둘째, 3유형 진단 결과 본 연구에서 도출한 10개 진단 항목 중 공백(Gap)이 6건으로 가장 많았으며, 충돌(Conflict) 3건, 중복(Overlap) 1건이 식별되었다. 이 빈도 분포는 본 연구의 분석 범위 내에서 도출된 진단 항목의 유형별 분포를 의미한다. 이러한 결과는 국내 BIPV 제도·기준의 정합성 문제가 단순한 제도 간 중복보다는, 공동주택 적용에 필요한 기준·절차·책임 체계의 미비 영역에서 상대적으로 크게 나타남을 시사한다.

셋째, 우선순위 ‘상(High)’으로 판정된 4개 항목—① BIPV의 법적 정의·분류 공백(#10), ② 공동주택용 BIPV 시스템 수준 설계기준

부재(#3), ③ 설계-시공-감리-운영 전주기 통합 기준 부재(#5), ④ 외피 일체형 BIPV 화재-운영안전 기준 부재(#6)—이 가장 시급한 과제로 식별되었다. 이들은 모두 공백 유형이며, 특히 #10(법적 정의·분류)은 BIPV가 건축자재인지 전기설비인지에 대한 분류의 공백으로서 나머지 세 과제의 제도적 전제가 되는 기반 과제에 해당한다. 네 과제는 각각 법적 기반, 기술적 기반, 거버넌스 기반, 안전성 보안을 구성하는 상호 보완적 과제로서, 함께 마련될 때 BIPV 공동주택 적용의 제도적 기반이 완성될 수 있다.

4.2. 본 연구의 학술적·정책적 기여

본 연구의 기여는 다음 세 가지로 정리된다.

학술적 기여로서, 본 연구는 정책 적합성 평가 방법론을 BIPV 제도 분석에 적용하여 제도 간 적합성 문제를 정성적 등급과 유형 분류로 구조화하였다. 이는 기존 정책 적합성 분석 방법론이 BIPV 제도 분석에도 적용 가능함을 보여준다는 점에서 의의가 있다.

방법론적 기여로서, 본 연구가 국내 BIPV 제도 분석에 맞게 구성·적용한 5축×5차원 매트릭스와 3유형 진단 프레임은 BIPV뿐 아니라 BAPV, ESS, 지열·풍력 등 다른 분산형 재생에너지 기술의 제도 분석에도 확장 적용 가능한 분석 틀로 활용될 수 있다.

정책적 기여로서, 본 연구는 2025년 공동주택 ZEB 의무화 시행에 즈음하여 정책 입안자와 실무자가 BIPV 제도 개선의 우선순위를 설정할 수 있는 진단 자료를 제공한다. 특히 4대 시급 과제로 식별된 법적 정의·분류, 시스템 수준 설계기준, 전주기 통합 기준, 외피 일체형 화재-운영안전 기준은 BIPV 공동주택 적용의 핵심 제도 공백으로서, 우선적인 제도 정비 대상으로 검토될 필요가 있음을 제시한다.

4.3. 정책적 시사점

본 연구의 결과로부터 국내 BIPV 제도 개선을 위한 다음 다섯 가지 정책적 시사점이 도출된다.

(1) 분산형 제도 구조를 통합형 프레임으로 재구성할 필요가 있다. 현재 국내 BIPV 제도는 다부처 분산형 구조로 운영되고 있으며, 이는 기존 제도 자원을 활용한다는 장점이 있으나 책임과 역할 경계의 모호성을 야기한다. 향후 제도 개선은 분산형 구조를 그대로 유지하면서도 이들을 연결하는 통합 참조 프레임을 별도로 마련하는 방향이 현실적이다. 한국토지주택공사 토지주택연구원[4]이 제안한 “통합 설계 책임자” 체계와 단계별 역할 분담 모델은 이러한 통합 프레임의 한 가지 구체적 형태로 검토될 수 있다.

(2) BIPV의 법적 정의·분류 정비와 공동주택 특화 시스템 설계기준의 신설이 단계적으로 요청된다. 본 연구에서 식별한 4대 시급 과제는 개별적으로 대응되기보다, BIPV의 법적 지위 정립(#10)을 기반으로 시스템 설계기준(#3), 전주기 통합기준(#5), 화재-운영안전 기준(#6)이 순차적으로 정비되는 방향이 바람직하다. 산업부의 시공기준 상세화 과제와 LH의 후속 연구가 연계되어 공동주택 특화 기준으로 발전할 필요가 있으며, 이때 공동주택의 4대 구조적 특수성이 직접 반영되어야 한다.

(3) 부처 간 분리 거버넌스의 통합 조정 메커니즘이 요청된다. 산업통상자원부의 산업 진흥 정책과 국토교통부의 ZEB 규제 정책은

BIPV의 이중적 성격을 따라 자연스럽게 분리되어 있으나, 이러한 분리가 제도 적합성 차원의 비효율을 야기한다. 본 연구의 진단 결과 충돌(Conflict) 유형 3건이 모두 부처·체계 간 분절에서 비롯되었음은 부처 간 조정 메커니즘의 필요성을 단적으로 보여준다. ZEB 의무화가 본격화되는 2025년을 기점으로 BIPV 관련 정책의 부처 간 조정 협의체 또는 통합 거버넌스 체계의 구축이 검토될 필요가 있다.

(4) 외피 일체형 BIPV에 대한 전용 안전기준의 마련이 시급하다. 미국 NEC Article 690과 같이 태양광 발전설비의 전기안전 요구사항을 체계적으로 규정한 사례[4]는 국내 KEC 내에서 BIPV 특성을 반영한 별도 조항 또는 세부 기준을 검토하는 데 참고가 될 수 있다. 화재안전 측면에서는 KS C 8577의 모듈 단품 내화 시험을 넘어 외피 일체형 시스템 차원의 화재 확산 시나리오를 다루는 별도 기준이 마련될 필요가 있으며, 이는 「건축자재 등 품질인정 및 관리기준」(국토부 고시) 등 건축 화재안전 제도와 연계해 추진되어야 한다.

(5) 제도 정비와 보급 인센티브의 연계가 정책 효용성 제고에 중요하다. 본 연구가 진단한 제도적 공백의 해소는 그 자체로 BIPV 보급을 촉진하기보다, 산업통상자원부의 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]에서 제시된 REC 가중치 재설계, 설계장려금, 보급지원사업 등 경제적 인센티브와 연계될 때 실질적 보급 효과로 이어질 수 있다. 예컨대 공동주택 특화 시스템 설계기준(#3)이 마련된다면, 이를 충족하는 BIPV 적용에 대한 인센티브가 함께 설계되지 않으면 시장의 자발적 채택을 유도하기 어렵다. 따라서 제도 정비와 인센티브 설계를 통합적으로 추진하는 정책 패키지 접근이 BIPV 공동주택 보급의 정책 효용성을 높이는 데 효과적일 것으로 판단된다.

4.4. 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구는 문헌 기반 제도 분석을 통해 국내 BIPV 제도·기준의 적합성을 진단하였으나, 다음과 같은 한계를 갖는다. 첫째, 5단계 정성 등급 판정은 제도 문서의 해석과 연구자의 판단을 수반하므로, 전문가 델파이 조사 또는 복수 평가자 검증을 통한 신뢰도 보완이 필요하다. 둘째, 본 연구는 국내 제도·기준의 적합성 검토에 한정되었으며, IEC·UL·EN·NEC·ISO 등 국제 표준과의 정렬 분석 및 구체적 제도 개정안 도출은 후속 연구 과제로 남는다. 셋째, 시급 과제의 우선순위는 정성적 판단에 기초하였으므로, 향후 비용-편익 분석과 이해관계자 영향 평가를 통해 정책적 타당성을 보완할 필요가 있다.

이러한 한계를 보완하기 위한 향후 연구 과제는 다음과 같다. 첫째, 국제 표준과 국내 제도의 정렬 분석을 통해 본 연구의 진단 결과에 국제적 적합성을 부여할 필요가 있다. 둘째, 공동주택 특화 BIPV 시스템 설계기준 시안을 개발하고, 시범 단지 실증을 통해 적용 가능성을 검증할 필요가 있다. 셋째, 고층 공동주택의 외피 일체형 BIPV 화재 확산 시나리오 분석 등 화재-운영안전기준 마련을 위한 실증 연구가 요청된다. 넷째, 전문가 검토 또는 델파이 조사를 통해 본 연구의 5단계 정성 등급과 우선순위 도출 결과의 신뢰도를 보완할 필요가 있다. 다섯째, REC 가중치, 설계장려금, 보조금 등 인센티브 수단별 비용-효과와 공동주택 사업주체의 채택 의사를 분석하여 제도 정비와 경제적 유인의 결합 효과를 검토할 필요가 있다.

본 연구에서 구성·적용한 5×5 매트릭스와 3유형 진단 프레임은

국내 BIPV 제도 개선의 우선순위 설정을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다. 특히 2025년 공동주택 ZEB 의무화 시행 이후 BIPV의 제도적 정합성 확보가 중요해지는 상황에서, 본 연구는 정책 입안자와 실무자가 참고할 수 있는 진단 도구로서 의의를 갖는다.

Acknowledgement

본 연구는 한국토지주택공사 토지주택연구원의 「공동주택 건물 적용 태양광 발전 설비 설계기준 로드맵 수립 연구」의 기초 연구 결과를 바탕으로 작성되었음.

References

- [1] 국토교통부, 제로에너지건축물 인증제도 운영규정, 2024. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Operating regulations for zero energy building certification, 2024.)
- [2] 통계청, 인구주택총조사: 주택 유형별 가구 현황, 2023. // (Statistics Korea, Population and housing census: Households by housing type, 2023.)
- [3] 산업통상자원부, 건물일체형 태양광(BIPV) 산업생태계 활성화 방안, 2022. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Plan to revitalize the building-integrated photovoltaic (BIPV) industrial ecosystem, 2022.)
- [4] 한국토지주택공사 토지주택연구원, LH 공동주택 건물 적용 태양광 발전설비 설계기준 로드맵 수립 연구, 2026. // (Korea Land and Housing Corporation, Land and Housing Research Institute, Development of a roadmap for building-integrated and attached photovoltaic systems in LH multi-family housing, 2026.)
- [5] 김지혜, 박종일, 송두삼, 건축물의 에너지절약설계기준 강화에 따른 업무용 건물의 에너지성능 개선효과, 한국건축환경설비학회 논문집, 제14권 제1호, 2020, pp.101-111. // (J.H. Kim, J.I. Park, D.S. Song, Energy performance improvement effect of office buildings in accordance with the strengthening of energy saving design standards, KIAEBS Journal, 14(1), 2020, pp.101-111.)
- [6] 박재완, 정학근, 공동주택 BIPV 시스템의 경제성 평가 및 보급 전략, 한국태양에너지학회 논문집, 제43권 제2호, 2023, pp.47-58. // (J.W. Park, H.G. Jeong, Economic evaluation and dissemination strategy of BIPV systems in multi-family housing, Journal of the Korean Solar Energy Society, 43(2), 2023, pp.47-58.)
- [7] 류의환, 박종호, 이승준, 건물일체형 태양광(BIPV) 발전형 커튼월의 신뢰성 검증을 위한 실험적 성능 평가에 관한 실험적 연구, KIEAE Journal, 제19권 제2호, 2019.04, pp.45-52. // (E.H. Ryu, J.H. Park, S.J. Lee, An experimental study on the full-scale performance evaluation for reliability verification of building-integrated photovoltaic (BIPV) curtain walls, KIEAE Journal, 19(2), 2019.04, pp.45-52.)
- [8] 김법진 외 3인, 건물일체형 태양광발전 시스템 성능평가 프로그램 개발, KIEAE Journal, 제15권 제4호, 2015.08, pp.85-90. // (B.J. Kim et al., Development of a performance evaluation program for building-integrated photovoltaic systems, KIEAE Journal, 15(4), 2015.08, pp.85-90.)
- [9] 이의준, 강재식, TRNSYS 시뮬레이션을 활용한 BIPV 시스템의 발전성능 분석, 한국건축환경설비학회 논문집, 제15권 제1호, 2021, pp.1-18. // (E.J. Lee, J.S. Kang, Analysis of power generation performance of BIPV system using TRNSYS simulation, KIAEBS Journal, 15(1), 2021, pp.1-18.)
- [10] H.W. Jeon, J.C. Choi, Research on prerequisites for BIPV application to school facility facades — Focusing on the use of solar panel modules, KIAEBS Journal, 24(2), 2024.04, pp.61-69.
- [11] 윤종호, 이왕제, 컬러 필름 기반 BIPV 모듈의 광학 특성 및 발전 성능, Current Photovoltaic Research, 제10권 제3호, 2022, pp.89-96. // (J.H. Yoon, W.J. Lee, Optical properties and power generation performance of BIPV modules based on color film, Current Photovoltaic Research, 10(3), 2022, pp.89-96.)
- [12] 강은철, 이정혁, BIM 기반 BIPV 통합 설계 프로세스 연구, 한국건축환경설비학회 논문집, 제17권 제3호, 2023, pp.178-189. // (E.C. Kang, J.H. Lee, A study on BIM-based BIPV integrated design process, KIAEBS Journal, 17(3), 2023, pp.178-189.)
- [13] F. Parolini et al., Advancing BIPV standardization: Addressing regulatory gaps and performance challenges (IEA-PVPS Report T15-24:2024), Paris: IEA-PVPS, 2024.
- [14] A.K. Shukla et al., Solar PV and BIPV system: Barrier, challenges and policy recommendation in India, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 2018, pp.3314-3322.
- [15] F. Frontini et al., BIPV products: A review of current trends, building integration and standardization issues, Energy and Buildings, 268, 2022, 112186.
- [16] G. Lopez, A. Martinez-Diaz, P. Sanchez-Friera, Building-integrated photovoltaics: A review of regulatory gaps in the European and international context, Building and Environment, 251, 2024, 111234.
- [17] J. Hertin, F. Berkhout, Analysing institutional strategies for environmental policy integration: The case of EU enterprise policy, Journal of Environmental Policy and Planning, 5(1), 2003, pp.39-56.
- [18] P.J. May, J. Sapotichne, S. Workman, Policy coherence and policy domains, Policy Studies Journal, 34(3), 2006, pp.381-403.
- [19] M. Nilsson et al., Understanding policy coherence: Analytical framework and examples of sector-environment policy interactions in the EU, Environmental Policy and Governance, 22(6), 2012, pp.395-423.
- [20] 한국산업표준, KS C 8577:2022 건물일체형 태양광 모듈(BIPV)—성능평가 요구사항, 2022. // (Korean Industrial Standards, KS C 8577:2022 Building integrated photovoltaic (BIPV) modules — The requirement of performance evaluation, 2022.)
- [21] 산업통상자원부, 한국전기설비규정(KEC), 2021. // (Ministry of Trade, Industry and Energy, Korea Electrotechnical Code (KEC), 2021.)
- [22] 한국토지주택공사(LH), 공동주택 건물부착형(벽면) 태양광 기술기준 가이드라인, 2020. // (Korea Land and Housing Corporation, Technical guideline for building-attached (facade) photovoltaic systems in multi-family housing, 2020.)
- [23] 한국제품안전협회, 건축물태양광안전평가 브로슈어, 2025. // (Korea Product Safety Association, Building PV Safety Assessment Brochure, 2025.)

Appendix A. Judgment Rationale for the 25 Cells in the Five-Axis×Five-Dimension Matrix

본 부록은 3.2절 Table 3.의 5×5 매트릭스에서 각 셀에 부여된 5단계 정성 등급의 판정 근거를 1차 자료와 함께 명시한 것이다. 본 부록의 목적은 본 연구의 정성 등급 판정의 재현 가능성(reproducibility)을 확보하고, 후속 연구자가 동일한 1차 자료를 분석할 때 유사한 등

급에 도달할 수 있도록 판정의 일관성과 보수성을 시연하는 것이다. 각 셀의 판정은 (i) 해당 제도 문서의 명시 조항, (ii) LH 토지구획연구원[4]의 진단 내용, (iii) 산업통상자원부 「BIPV 산업생태계 활성화 방안」[3]에서 제시된 한계 사항을 교차 검토하여 부여하였다. 불명확한 경우에는 과대평가를 피하기 위해 보수적으로 낮은 등급을 부여하였다.

Table A. Judgment rationale for the 25 cells in the five-axis×five-dimension matrix

Regulatory axis	Evaluation dimension	Rating	Judgment rationale
Policy and deployment	Scope	●●	The BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan [3] comprehensively addresses four strategic areas: the BIPV recognition system, market creation, technology development, and design promotion. However, it mainly targets general buildings and does not provide criteria specific to multi-family housing. Since it covers the overall BIPV industry without classification by building type, it was rated as Adequate.
	Mandatory nature	●	As a policy document, the plan has no direct legal enforceability. The implementation schedule for 2022–2026 functions mainly as a policy recommendation, and no direct mandatory provisions are specified. However, because it includes tasks linked to other regulatory axes, such as mandatory KS certification, it was rated as Limited.
	Integration	●	The plan does not include an integrated governance structure between the architectural and electrical domains. Although BIM-based integrated design is mentioned under the strategy for promoting BIPV application from the design stage, no inter-ministerial or interdisciplinary integration mechanism is provided. Therefore, it was rated as Limited.
	Life cycle	●	The plan focuses on market formation and technology advancement and covers the product-side life cycle from R&D to mass production and demonstration. However, it does not cover the operation and maintenance stages of buildings. Since its coverage is limited to the industrial life cycle, it was rated as Limited.
	MFH suitability	●●	The plan mentions links to LH and SH pilot and demonstration projects for multi-family housing. However, it does not provide multi-family housing-specific design criteria or provisions reflecting structural characteristics. Although applicability to multi-family housing is mentioned, it is not specialized; therefore, it was rated as Adequate.
Building energy	Scope	●●●	The ZEB Certification System covers public and private buildings broadly and has been expanded to include private multi-family housing with 30 or more units from 2025. Since its building-level scope of application is clear, it was rated as Sufficient.
	Mandatory nature	●●●	The ZEB Certification System is a legally enforceable certification system based on the Green Buildings Construction Support Act. For mandatory application targets, securing the required ZEB grade is necessary at the permitting stage. Since its legal enforceability is clear, it was rated as Sufficient.
	Integration	●	The system focuses on building energy performance assessment. The architectural integration requirements and electrical safety requirements of BIPV itself are delegated to other systems, such as KS C 8577 and the KEC. Due to the lack of an integrated approach across relevant domains, it was rated as Limited.
	Life cycle	●●	The system covers energy performance evaluation and certification mainly at the design stage. However, it does not provide a performance verification system for BIPV across construction, supervision, operation, and maintenance stages. Since its coverage is centered on the design stage, it was rated as Adequate.
	MFH suitability	●●	The ZEB Certification System is the only system among the five regulatory axes that explicitly includes multi-family housing as an application target. However, it does not include provisions reflecting the structural characteristics of multi-family housing, such as balcony and envelope integration, sectional ownership, or distributed generation across multiple households. Therefore, although inclusion as an application target is acknowledged, the lack of specialization led to an Adequate rating.
Product standard	Scope	●●	KS C 8577 [20] comprehensively specifies performance evaluation requirements for BIPV modules. The 2022 revision expanded the scope to include exterior walls and increased the possibility of applying various materials. However, because the standard is limited to individual modules and does not cover system-level requirements, it was rated as Adequate.
	Mandatory nature	●●	KS C 8577 is applied at the product certification stage. The MOTIE BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan [3] promotes the mandatory use of KS-certified products in renewable energy deployment support programs. However, there remains a practical bypass route in which BIPV can be installed using products certified under the general PV standard, KS C 8561. Therefore, it was rated as Adequate.
	Integration	●	The standard reflects the dual nature of BIPV at the module level by addressing both electrical performance items and structural and safety performance items. However, architectural–electrical integration at the system level remains insufficient. Since integration is limited to the module level, it was rated as Limited.
	Life cycle	△	The standard is limited to the module manufacturing and certification stages. It does not provide a performance verification system for post-installation construction, operation, or maintenance stages. Since it only covers the product certification stage, it was rated as Partial.

Table A. Judgment rationale for the 25 cells in the five-axis×five-dimension matrix (continued)

Regulatory axis	Evaluation dimension	Rating	Judgment rationale
Product standard	MFH suitability	△	The standard does not include provisions specific to multi-family housing. The MOTIE BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan [3] identifies limitations such as restrictions on module materials, installation locations, and the recognition range for changes in size and color. Since the standard does not cover special requirements arising from envelope-integrated BIPV application in multi-family housing, it was rated as Partial.
Electrical safety	Scope	●●●	The Korea Electrotechnical Code (KEC), based on the Electricity Business Act, applies to all electrical installations. Photovoltaic power generation systems are also subject to this code. Since the scope of application is universal and clearly defined, it was rated as Sufficient.
	Mandatory nature	●●●	The KEC is a legally enforceable regulation that applies mandatorily to all electrical installations. Compliance is secured through pre-use inspections and periodic inspections. Since its mandatory nature is clear, it was rated as Sufficient.
	Integration	△	The KEC does not address integration with the building envelope. The LH Land and Housing Research Institute [4] notes that Korea does not have a separate electrical safety document that fully reflects BIPV characteristics in a manner comparable to NEC Article 690 in the United States. Due to insufficient electrical–architectural integration, it was rated as Partial.
	Life cycle	●	The KEC mainly addresses installation, construction, and inspection stages. However, response systems for safety incidents during operation, such as fire or arc faults, remain insufficient. Procedures for maintaining envelope-integrated BIPV are also absent. Therefore, it was rated as Limited.
	MFH suitability	×	The KEC does not include provisions specific to BIPV or multi-family housing. It does not separately regulate the characteristics of power-generating equipment integrated into the building envelope, such as arc faults, distributed generation across multiple households, or emergency shutdown. Based on the diagnosis of the LH Land and Housing Research Institute [4], it was conservatively rated as Absent.
Public and private guidelines	Scope	●●	The LH Technical Guidelines for Building-Attached Photovoltaic Systems on Multi-Family Housing Facades [22] are limited to photovoltaic systems on multi-family housing walls, while the Building PV Safety Assessment of the Korea Product Safety Association addresses the safety of BIPV and BAPV applications in buildings. Since these systems focus on specific domains, such as multi-family housing or building-applied PV, they were rated as Adequate [23].
	Mandatory nature	●	The LH guidelines are used as reference criteria in public housing projects but do not have legal enforceability. The Building PV Safety Assessment is a voluntary private certification program and is not mandatory. Since these instruments function mainly at the recommendation or voluntary level, they were rated as Limited.
	Integration	●●	The Building PV Safety Assessment evaluates six areas in an integrated manner: architectural design safety, major equipment safety, structural disaster prevention safety, electrical safety, construction safety, and maintenance safety. Among the five regulatory axes examined in this study, this axis shows the highest level of integration. However, due to the limitations of voluntary private certification, it was rated as Adequate.
	Life cycle	●	The LH guidelines focus mainly on the design and construction stages, while the Building PV Safety Assessment includes construction and maintenance stages. However, procedures for monitoring and repair during operation remain insufficient. Since only part of the life cycle is covered, it was rated as Limited.
	MFH suitability	●●	The LH guidelines explicitly address multi-family housing. However, they mainly focus on BAPV applications and do not fully cover envelope-integrated BIPV systems. Therefore, although the multi-family housing target is acknowledged, the scope is limited to BAPV-oriented applications, leading to an Adequate rating.

Note: MFH=Multi-Family Housing. The judgment rationales in this appendix are qualitative judgments based on primary sources, including the LH Land and Housing Research Institute [4], the MOTIE BIPV Industrial Ecosystem Activation Plan [3], KS C 8577:2022 [20], the KEC [21], the LH Guidelines [22], and the Building PV Safety Assessment of the Korea Product Safety Association [23]. They are not subject to statistical testing. Inter-rater reliability testing for these ratings remains a task for future research.