KIEAE Journal, Vol. 26, No. 5, Oct. 2026, pp.63-68.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

141

공공건축물 그린리모델링의 준공 전후 에너지사용 변화와 성능검증체계 구조 개선

Before-After Changes in Energy Use and Improvement of Performance Verification for Public-Building Green Remodeling

김권예* · 남유진**

Kwonye Kim* · Yujn Nam**

* *Post Doctoral Researcher, Research Institute of Industrial Technology, Pusan National Univ., South Korea (ellie20@pusan.ac.kr)*

** *Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (namyujin@pusan.ac.kr)*

ABSTRACT

Purpose: This study describes as-built expected performance and before-after energy-use changes in Korea's public-building Green Remodeling (GR) programme and derives requirements for performance verification. **Method:** Median ECO2 primary-energy EUI was 208.0kWh/m²·yr before renovation and 146.6kWh/m²·yr for as-built specifications; the median project-level expected saving was 28.3%. Electricity showed a median boundary change of -6.2% and a ratio-of-sums change of +9.7%. The latter was -0.5% in provisional linkage grade A and -0.2% after additional PV-category and fuel-change-flag restrictions. Gas showed corresponding changes of -13.8% and -10.3%, with concentrated energy weights (Kish effective n=4.7). These descriptive differences involve changing sample composition and do not isolate effects of linkage quality or GR. Meter identity, commissioning, normal-operation restart dates and operational events were not independently verified. **Result:** The available observations cannot establish attributable savings. A verification-embedded dual-loop system is proposed: a project loop to remedy evidence gaps and a portfolio loop to inform technical standards, metering investment and programme targets using qualified outcomes and reasons for withholding judgment. Its effectiveness requires prospective evaluation.

KEYWORD

그린리모델링
공공건축물
민감도분석
측정 및 검증(M&V)

Green Remodeling
Public Buildings
Sensitivity Analysis
Measurement and Verification

ACCEPTANCE INFO

Received Aug. 26, 2026
Final revision received Oct. 11, 2026
Accepted Oct. 15, 2026

ⓒ 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

기존 건축물의 에너지성능 개선은 건물부문 탄소중립의 핵심 수단 중 하나다. 정부는 2020년부터 어린이집, 보건소, 의료시설 등 취약계층이 이용하는 공공건축물을 중심으로 그린리모델링(Green Remodeling, 이하 GR) 지원사업을 확대해 왔다[1]. 사업기획과 기술 선정은 설계단계 에너지 성능평가에 근거하지만, 준공 이후에는 시공 확인과 계산상 절감률 보고에 그칠 뿐 실제 사용량에 대한 계측기반 검증은 제도화되어 있지 않다.

국내에서는 그린리모델링 지원사업의 성과와 제도를 다룬 연구가 다양하게 수행되어 왔다. Woo와 Lee[2]는 공공 어린이집·보건소·의료시설의 설계단계 자료를 이용하여 GR 적용 기술요소와 예상 절감률을 분석하였고, Kim et al.[3]은 M&V 모형을 통해 개별 기술요소의 에너지 절감 효과를 검토하였다. Woo와 Lee[4]는 FGI 분석으로 제도적 개선과제를 도출하였으며, Lee와 No[5]는 설문조사로 GR 추진 과정의 문제점을 규명하였다. 이들 연구는 설계단계 성과와 제도 개선에 유용한 근거를 제공하였으나, 준공 시점에 보고되는 기대성능과 준공 이후 계측된 사용량을 같은 사업 단위에서 연결한 연구는 부족하다.

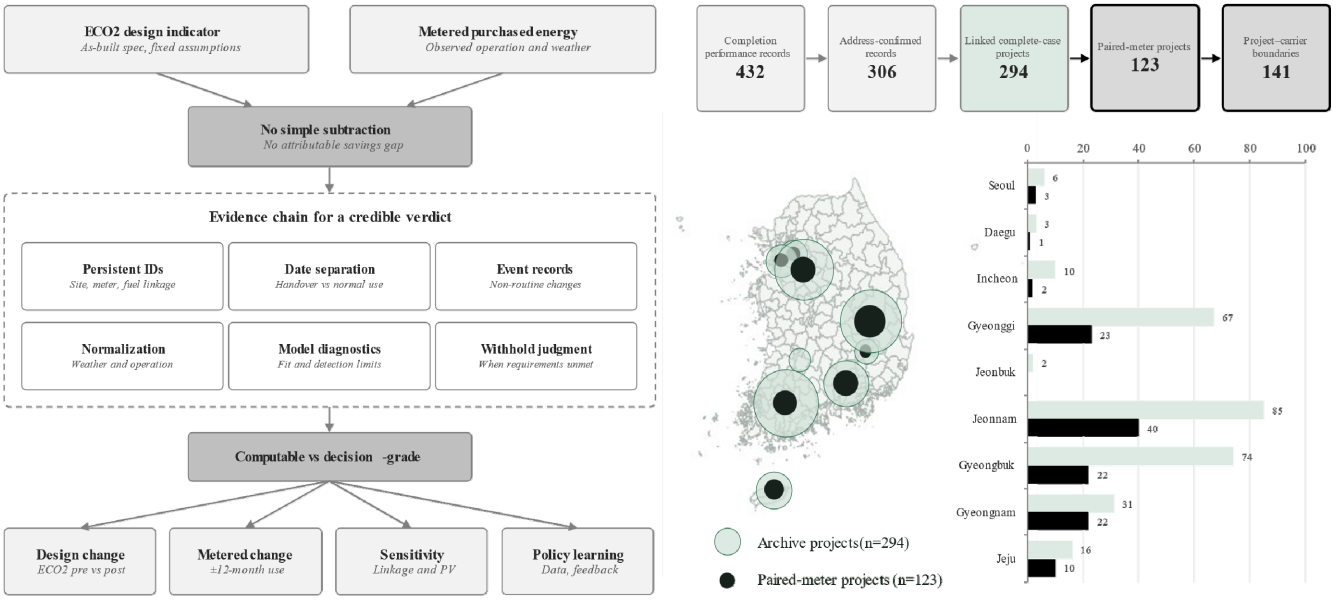
건물에너지 분야에서는 예측과 실측의 차이를 성능격차(performance gap)로 다룬다. de Wilde[6]는 격차의 유형과 조사 틀을 제시하였고, Menezes et al.[7]은 비주거 건물의 거주 후 평가 자료를 이용하여 예측과 운영성과의 격차를 검토하였다. Granderson et al.[8]은 상업건물의 자동화 M&V 정확도를 평가하였다. IPMVP는 절감량을 직접 측정할 수 없으므로 동일 계량경계에서 전후 사용량과 조건 변화를 함께 다루도록 제시하고, ISO 50015는 에너지성능 M&V의 일반 원칙을 제공한다[9,10].

본 연구의 목적은 GR 준공사양을 기반으로 예상성능과 에너지원별 준공 전후 관측변화를 확인하고 연계조건과 그린리모델링 성과보고서의 요약치의 민감성을 통해 성과판정에 필요한 증거요건을 도출하고자 한다. 두 자료의 병렬 제시는 성과판정에 필요한 증거요건을 드러내기 위한 것이며, 이를 바탕으로 성과검증체계의 개선 방향을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

ECO2 기반 1차에너지 소요량은 정해진 입력조건과 계산가정 아래에서 공사 전·후 사양의 상대적 개선을 비교하는 설계지표로서, 준공사양이 기대하는 성능을 나타낸다. 반면 건물 에너지 계량자료는 실제 이용행태와 기상, 설비운전, 현장변경 및 계량경계를 모두 포함하는 에너지원별 구매에너지 관측이다. 따라서 두 자료를

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2026.26.5.063



a) Analytical framework *b) Spatial coverage of the liked archive*

Fig. 1. Research framework (a. Analytic framework/b. Spatial coverage of the linked archive)

나란히 제시할 수는 있지만 단순 차감해 실현율이나 귀속 가능한 성능격차로 해석할 수는 없다. 신뢰할 수 있는 성과판정에는 계산식보다 먼저 사업·건물·계량기·에너지원의 항구적 식별, 준공일과 정상운영 재개일의 분리, 보고기간의 비일상적 변화 기록, 기상·운영조건 조정, 모형의 적용가능성과 검출한계 점검, 그리고 요건 미충족 시 판단을 유보하는 증거사슬이 필요하다. 이는 '숫자를 계산할 수 있음'과 '그 숫자를 정책결정에 사용할 수 있음'으로 분리한다(Fig. 1. a)).

분석표본은 다음 절차로 구성하였다(Table 1.). 준공성과자료 432건 중 주소가 확인된 306건을 추출하고, 주소·필지, 준공연월, 연면적과 공사 전·후 ECO2 값이 연계 가능한 294개 사업을 설계성과 표본으로 정의하였다. 이 중 월별 계량자료가 짝지어진 123개 사업을 계량연계 표본으로 구성하였다. 복수 에너지원 보유를 반영하여 141개 사업×에너지원 경계를 분석단위로 설정하였다. 설계지표는 공사 전·후 ECO2 1차에너지 EUI의 분포를 기술하고, 계량지표는 준공월 전·후 각 12개월의 전기·가스 사용량을 별도로 집계하였다. 준공월 자체는 인수인계와 운영 전환이 혼재할 수 있어 제외하였으나, 준공일을 정상운영 재개일과 동일하다고 가정하지 않았다.

3. 연구데이터 및 분석표본

3.1. 자료계보와 분석표본

연구자료는 2021~2022년 공공건축물 GR 준공성과보고서 432건으로 이 중 주소가 확인된 기록은 306건이며, 주소·필지, 준공연월, 연면적과 ECO2 전·후 값이 연계 가능한 294건을 설계성과 분석표본으로 구성했다(Table 1., Fig. 1. b)).

294건 중 월별 계량자료가 연계된 사업은 123개였다. 동일 사업이 전기와 가스를 모두 보유할 수 있으므로 분석단위는 사업×에너지원 경계이며, 전기 104개와 가스 37개, 총 141개 경계이다. 각 경계는 준공월을 제외하고 전 12개월과 후 12개월을 정확히 보유해 월자료는 총 3,384건이다. 월자료는 국토교통부·한국부동산원 건축HUB가 매월 수집·제공하는 지번 단위 전기·가스 에너지자료를 연계했으며[12], 통합자료의 사용량 필드는 kWh로 정규화했다.

Table 1. Analytic sample lineage and units

Stage	Unit	n
Completion-performance archive	record	432
Address confirmed	record	306
ECO2 sample	project	294
Paired-meter subset	project	123
Electricity/gas	project×carrier	104/37
Paired observations	project×carrier×month	3,384

3.2. 계량자료의 준공 전후 관측변화

각 사업 i와 에너지원 c에 대해 준공월을 제외한 전·후 12개월 사용량을 각각 Epre와 Epost로 합산하였다. 경계별 변화율은 Eq. 1로 정의하였다. 음수는 후기 사용량 감소, 양수는 증가를 나타낸다.

$$\Delta(i,c) = 100 \times [E_{post(i,c)} / E_{pre(i,c)} - 1] \quad \text{(Eq. 1)}$$

사전사용량 가중치의 최대값과 Kish 유효표본수 Neff를 Eq. 2로 산출하여 가중치 집중을 진단하였다. 단, Neff는 합계비의 가중치 집중을 나타내는 기술지표이며 독립 사업 수나 통계적 유의성의 근거로 해석하지 않는다.

$$N_{eff} = (\Sigma w_i)^2 / \Sigma w_i^2 (w_i = E_{pre(i)} / \Sigma E_{pre(i)}) \quad \text{(Eq. 2)}$$

3.3. 민감도 분석 데이터

본 분석에는 두 가지 확인되지 않은 불확실성이 존재한다. 첫째, 분석 기준시점의 불확실성이다. 전체 141개 사업 모두에서 공사 완료 후 건물이 정상 운영을 재개한 시점을 독립적으로 확인할 수 없어, 준공월을 전·후 비교의 기준시점으로 대용하였다. 준공 이후 실제 운영 재개까지의 공백 기간은 반영되지 않는다. 둘째, 계량기-건물 대응의 불확실성이다. 에너지 사용량 월자료는 지번 단위로 제공되므로, 해당 지번의 고객번호와 계량기가 분석 대상 사업 건물에 정확히 대응하는지 최종 확인되지 않았다.

분석은 자료 신뢰도에 따라 세단계 표본으로 나누어 수행하였다. (1) 주소 기반으로 계량자료와 연계된 전체 표본, (2) 이 중 주소와 연면적이 모두 일치하여 계량기-건물 대응 신뢰도가 높은 고정합 표본, (3) 고정합 표본 중 태양광설비의 설치 및 철거 등 사용량 변화를 왜곡할 수 있는 요인이 자료상 확인되지 않는 교란요인 배제 표본이다. 지역 변화율은 경계 n≥10에서만 수치화하고, 5–9는 불안정, n<5는 억제한다. 2018년 시군구 경계는 중립적 바탕지도로만 사용했다[11].

4. 분석결과

4.1. 표본 구성 및 준공사양 기반 예상성능 분석

연계 사례 294건은 어린이집 164건(55.8%), 보건시설 120건(40.8%), 기타 10건(3.4%)으로 구성됐다. 준공연도는 2021년 39건, 2022년 255건이다. 공간분포는 9개 지역범주에 걸쳤으나 계량연계 사업은 8개 범주에 존재했다. 광주·전남 통합범주(85건), 경북(74건), 경기(67건)에 아카이브 사업이 집중되었고, 계량연계 사업은 경북 42건, 경기 23건, 경남 22건, 광주·전남 20건 순이었다. 이 불균형은 지역 비교보다 자료가용성의 편차를 보여준다.

294개 사업의 ECO2 1차에너지 EUI 중앙값은 준공 전 208.0 kWh/m^2·yr에서 준공사양 146.6 kWh/m^2·yr로 낮아졌다. 사업별 예상 절감률 중앙값은 28.3%였고 IQR은 14.3–40.4%였다. 시설유형별 예상 절감률 중앙값은 보건시설 32.7%, 어린이집 24.3%, 기타 12.3%였다(Table 2.). 이는 공사 후 운영성과가 아니라 준공사양이 내포하는 기대 개선량이다. 또한, 두 표본의 용도·준공연도·연면적 특성을 Table 3.에 제시하였다.

294개 사업의 ECO2 1차에너지 EUI 중앙값은 공사 전 208.0kWh/m^2·yr에서 준공사양 146.6 kWh/m^2·yr로 낮아졌다. 사업별 예상 절감률 중앙값은 28.3%, IQR은 14.3~40.4%였다.

시설유형별 예상 절감률 중앙값은 보건시설 32.7%, 어린이집 24.3%, 기타 12.3%였다(Table 5.). 28.3%는 사업별 예상 절감률의 중앙값이며 두 EUI 중앙값을 직접 나눈 변화율과는 다르다. 이 값은 운영성과가 아니라 준공사양과 계산조건에 따른 기대성능이다.

Table 2. As-built specification-based expected primary-energy performance

Facility	n	Pre EUI	As-built EUI	Median expected saving
Daycare	164	182.8	138.2	24.3%
Health facility	120	240.9	164.9	32.7%
Other	10	213.2	160.0	12.3%

Table 3. Characteristics of the two project samples

Characteristic	ECO2 sample	Meter-linked
Projects, n	294	123
Daycare, n	164	58
Health facility, n	120	63
Other, n	10	2
Completed in 2021, n	39	9
Completed in 2022, n	255	114
Floor area median, m^2	298.63	341.04
Floor area IQR, m^2	151.77 to 429.03	149.82 to 518.46
Floor area range, m^2	59.79 to 36,040.40	78.00 to 3,265.01

4.2. 전기·가스 계량 관측변화

Fig. 3.과 같이 지역별 전기사용량 관측변화를 위한 104개 경계의 전후 변화율 중앙값은 -6.2%로 사용량이 낮았으나 IQR은 -18.6%에서 -10.4%로 확인되었다. 반면 전기사용량 합계는 5.01GWh에서 5.50GWh로 증가해 합계비 변화율은 +9.7%였다. 경계 중앙값과 합계비가 반대 방향이라는 사실은 대형 경계와 이질성의 영향을 보여준다.

가스사용량 관측을 위한 37개 경계의 변화율 중앙값은 −13.8% (IQR [−21.1%, −7.2%])였고, 합계는 12.12GWh에서 10.88GWh로 낮아져 합계비 변화율은 −10.3%였다. 다만 최대 가중치는 42.9%이고 Kish 유효표본수는 4.7로, 명목 경계수 37에 비해 정보가 소수 대형 경계에 집중됐다.

위의 자료를 세부적으로 대조한 결과, 경기의 전기 사용량 변화율은 +1.95%인 반면 광주·전남은 −14.96%로 나타났으나, 두 지역의 분석표본과 관측조건은 크게 달랐다. 경기의 전기 표본 11건 모두 어린이집이었고 연면적 중앙값이 527.5m^2, ECO2 기대절감률 중앙값이 27.48%인 반면, 광주·전남은 20건 중 16건이 보건시설이었으며 연면적 중앙값은 141.2m^2, 기대절감률 중앙값은 35.65%였다. 또한 경기 표본 11건 중 9건이 2022년 12월 준공에 집중됐고, 전후 냉방도일 차이도 경기 −15.4, 경남 +32.1, 제주 +54.4로 달라 지역별 관측기간의 기상조건이 동일하지 않았다. 잠정 계량경계 비율도 지역별 40.0%~75.6%, PV 상태변화 또는 연료전환 후보의 탐지 비율도 0~35.0%로 차이가 있었으며, 제주 전기 표본은 한 경계가 기준사용량의 64.4%를 차지해 Kish 유효표본수가 2.27에 불과했다. 따라서 지도에 나타난 지역편차는 지역 자체의 GR 성과 차이라기

ⓒ 2026. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

Table 4. Unadjusted purchased-energy change in 12-months

Carrier	n	Pre GWh	Post GWh	Median Δ	IQR	Sum-ratio Δ	Kish n
Electricity	104	5.01	5.50	-6.2%	-18.6–10.4%	+9.7%	34.7
Gas	37	12.12	10.88	-13.8%	[−21.1%, −7.2%]	-10.3%	4.7

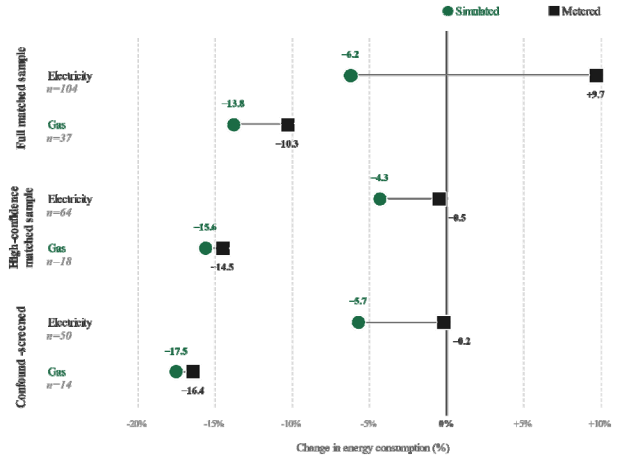


Fig. 2. Protocol-defined retrospective sensitivity analysis by provisional linkage grade and detected PV/fuel change

보다 시설유형과 규모, 설계상 개선수준, 준공시점, 기상노출, PV·연료변화, 계량경계 및 표본집중도가 서로 다른 자료구조에서 산출된 결과로 해석해야 한다고 사료된다.

Table 4.와 같이 계량자료가 연계된 사업 – 에너지원 경계를 대상으로 준공월을 제외한 전·후 12개월의 무보정 건물 사용 에너지 변화를 요약하면 다음과 같다. 전기 104개 경계에서는 전체 사용량이 5.01 GWh에서 5.50 GWh로 증가하여 합계비 변화율이 +9.7%였으나, 경계별 변화율의 중앙값은 −6.2%이고 사분위 범위는 −18.6%에서 +10.4%로 나타났다. 이는 전형적인 경계에서는 사용량이 감소했지만, 사용량이 큰 일부 경계의 증가가 전체 합계를 끌어올렸음을 의미한다. 반면 가스 37개 경계에서는 전체 사용량이 12.12GWh에서 10.88GWh로 감소하였으며, 합계비 변화율은 −10.3%임을 확인하였다.

4.3. 민감도 분석

주소·면적 정합성 기반 잠정 연계등급 A로 제한하면 전기 합계비 변화율은 전체 +9.7%에서 −0.5%로 이동했고, 등급 A 중 자료상 PV 상태변화·연료전환 후보가 탐지되지 않은 경계에서는 −0.2%였다. 해당 층위의 전기 중앙값은 각각 −4.3%, −5.7%였다. 가스는 전체 중앙값 −13.8%에서 A등급 −15.6%, 등급 A+미탐지 경계 −17.5%로 낮아졌고 합계비도 −10.3%, −14.5%, −16.4%로 같은 방향이었다. 이 결과는 잠정 연계조건과 기록상 비일상적 변화 분류가 요약치에 실질적 영향을 줌을 보여준다(Fig. 2.).

준공사양 기반 예상 절감률 중앙값 28.3%와 계량 관측변화는 동일한 지표가 아니다. ECO2는 1차에너지 EUI인 반면 계량자료는 전기·가스 건물 사용에너지이고, 표본분모도 294개와 123개로 다르며, 기상·운영시간·점유· 비일상적 변화가 정렬되지 않았다. 더욱이 최종 계량기 경계와 정상운영 시점도 확정되지 않았다. 민감도 분석에서 전기 합계비가 증거조건에 따라 +9.7%에서 −0.5%와 −0.2%로 이동한 사실이 이러한 비정렬이 정책판정값을 바꿀 수 있을 것으로 사료된다.

5. 분석 및 고찰

본 연구의 가장 중요한 관측은 개별 변화율 수치 자체가 아니라, 동일한 자료에서 산출된 수치가 표본 조건에 따라 부호까지 달라진다는 사실이다. 전기 합계비 변화율은 전체 연계 표본에서 +9.7%였으나, 주소·연면적 정합이 확인된 고정합 표본으로 제한하면 −0.5%로, 태양광 상태변화·연료전환 후보를 제외한 교란요인 배제 표본에서는 −0.2%로 이동하였다. 이는 현행 행정자료 체계에서 산출되는 운영변화 요약치가 GR의 실제 효과보다 계량기 – 건물 대응의 품질과 비일상적 변화의 분류 방식에 의해 좌우됨을 의미한다. 즉, 동일한 자료로부터 '사용량 증가'와 '사용량 불변'이라는 상반된 정책판정이 모두 도출될 수 있으며, 이러한 판정 불안정성이 야말로 현행 검증체계의 구조적 한계를 보여주는 직접적 증거라 생각되어 진다.

전기와 가스가 상반된 방향을 보인 점은 연료전환의 흔적일 가능성이 있다. 가스는 세 단계 표본 모두에서 감소 방향(−10.3%→−16.4%)을 일관되게 유지한 반면 전기 합계는 증가하였고, 연료전환·태양광 후보를 제외하면 전기의 증가가 사실상 소멸하였다(−0.2%). 이 조합은 일부 사업에서 가스 열원이 전기식 열원으로 대체되었을 가능성과 정합적이다. 다만 개별 사업의 설비변경·운영사건 기록이 독립적으로 확인되지 않았으므로, 이는 검증 가능한 가설이지 확인된 사실이 아니다. 오히려 이처럼 기본적인 해석조차 판정을 유보할 수밖에 없다는 사실 자체가, 운영이력이 기록되지 않는 현행 성과관리체계에서는 관측변화의 의미를 확정할 수 없음을 보여준다.

가스의 감소 방향은 세 단계 표본 모두에서 일관되었으나, 최대 가중치 42.9%와 Kish 유효표본수 4.7이 보여주듯 합계비 정보는 소수 대형 사업에 집중되어 있다. 따라서 가스 결과는 표본 전반의 경향이 아니라 소수 대형 사업의 거동에 종속된 값으로 읽어야 하며, 명목 표본 수 37을 근거로 일반화에 한계가 있음을 확인하였다.

하지만, 이상의 결과는 GR의 인과적 절감효과가 아니라, 현재 자료체계와 분석조건에 종속된 후향적 운영관측값이다. 294개 사업의 설계정보와 123개 사업의 계량자료가 연계되었음에도, 141개 에너지원별 계량단위의 최종 계량기 식별정보, 시운전일, 정상운영 재개일, 운영사건 기록은 어느 것도 확인되지 않았다. 이는 준공사양의 예상성능, 운영에너지 관측, 성과판정, 차기 사업기준을 연결하는 검증사슬이 현행 연계자료에서 완결되지 않았음을 의미하며, 설계상 개선이 운영성과로 실현되었는지를 안정적으로 판정할 수 없는

Table 5. Engineering requirements for a verification-embedded policy-feedback system

Stage	Current break	Required control	Feedback state
Planning	Performance target and M&V contract not fixed	Freeze target, unit, boundary, periods and authority	Claim contract/ redesign
Construction	Completion used as operation proxy	Record commissioning and normal-operation restart	Period qualified/ remediation
Operation	PV, fuel and load events incompletely logged	Maintain monthly event and occupancy/weather ledger	Adjustment path/withholding cause
M&V	Single estimate without support diagnostics	Carrier-specific model; uncertainty, ESS and MDE	Qualified estimate/not resolvable
Claim & feedback	Calculated value treated as outcome	Apply gate; aggregate outcomes and withholding causes	PASS/ WITHHOLD/ rule update

상태임을 뜻한다.

이러한 한계를 보완하기 위해서는 GR 성과관리체계를 단방향의 공사완료·실적보고 구조에서 검증내장형 폐쇄루프 구조로 전환할 필요가 있다고 사료된다. 제안구조는 성과목표와 계량경계를 사전에 확정하는 입력계약 단계, 공통 ID·계량연속성·운영사건 기록을 확보하는 증거준비 단계, 모형의 적용가능성·불확실성·표본지지·검출가능성을 확인하는 M&V 자격검증 단계, 그리고 결과의 정책사용 가능 여부를 결정하는 판단 게이트로 구성된다(Table 5.). 특히 본 연구에서 확인된 판정 불안정성은, M&V 자격검증 단계에서 검출가능성 점검이 선택이 아니라 필수 요건이어야 함을 시사한다.

6. 결론

본 연구는 공공건축물 그린리모델링 행정자료 연계 표본을 대상으로 준공사양 기반 예상성능과 준공 전후 운영에너지 관측을 구분하여 분석하고, 관측 요약치의 증거조건 의존성을 규명함으로써 성과검증에 필요한 증거요건과 정책환류 구조를 도출하였다. 주요 성과는 다음과 같다.

(1) 민감도 분석에서 전기 합계비 변화율은 전체 잠정경계 +9.7%에서 연계등급 제한 시 −0.5%, PV·연료전환 후보 미탐지 경계에서 −0.2%로 확인되었다. 이는 현행 자료체계의 관측 요약치가 계량연계 품질, 운영사건 확인 여부와 가중방식에 민감하며, 전국 평균효과나 인과적 절감량으로 일반화할 수 없음을 시사한다.

(2) 432건의 준공성과자료 중 294개 설계성과 사업과 123개 계량연계 사업·141개 에너지원 경계를 분석하였다. ECO2 1차에너지 EUI 중앙값은 공사 전 208.0kWh/m^2·yr에서 준공사양 146.6kWh/m^2·yr로 낮아졌고 예상 절감률 중앙값은 28.3%였다. 운영관측에서 전기는 경계별 중앙값 −6.2%, 합계비 +9.7%로 방향이 상반되었고, 가스는 각각 −13.8%, −10.3%였으나 최대 사전사용량 가중치 42.9%와 Kish 유효표본수 4.7로 합계비가 소수 대형 경계에 집중되었다.

(3) 전기·가스의 상반된 방향과 연료전환 후보 제외 시 전기 증가의 소멸은 일부 사업의 열원 전기화 가능성을 시사하나, 운영사건 기록의 부재로 이 해석은 판정을 유보하였다. 이는 141개 경계 전체에서 계량기 식별정보, 시운전일과 정상운영 재개일이 확인되지 않은 현행 검증사슬의 미완결이 개별 수치의 오차를 넘어 기본적 해석의 성립 자체를 차단할 가능성 있다고 판단된다.

이러한 한계를 보완하기 위해 향후 연구에서는 사업·건물·계량기·에너지원의 식별, 확정된 계량경계, 시운전·정상운영 시점을 수집하고, 기상·운영조건을 조정한 M&V 기반 절감효과 검출가능성 평가를 수행할 필요가 있다.

결론적으로 공공 그린리모델링의 성과검증체계는 검증가능성을 사업요건으로 하는 적응정책으로 전환되어야 한다. 이는 사업 단위 단기 환류로 증거·운영 차단요인을 즉시 보완하고, 포트폴리오 단위 장기 환류로 검증요건을 갖춘 결과와 판단유보 사유를 기술기준·계량투자·예산배분에 반영하는 이중 환류 구조로 구현될 수 있으며, 그 실효성은 계량연계율, 판단유보율, 보완 후 판정변경률, 검증비용과 처리기간을 지표로 지속 검증되어야 한다.

Acknowledgement

이 성과는 정부(과학기술정보통신부·교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25477493&RS-2025-00512834&RS-2026-25540410). This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT and MOE)(RS-2026-25477493 &RS-2025- 00512834&RS-2026-25540410).

References

[1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, ‘Buildings Revived through Green Remodeling: 2021 Support Programme for Private and Public Buildings,’ Press release, 2021.03.01. https://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95085243

[2] S. Woo and S. Lee, ‘An Analysis of Energy Saving Effect of Green Remodeling in Public Buildings for Net-Zero—In Case of Public Daycare Center, Public Health Center, Public Health and Medical Institution,’ KIEAE Journal, 22(5), 19–26, 2022. https://doi.org/10.12813/kieae.2022.22.5.019

[3] J.-H. Kim, H.-Y. Kim and J. Kim, ‘Energy Saving Analysis according to Green Remodeling Technology Elements through M&V Model,’ KIEAE Journal, 24(6), 13–21, 2024. https://doi.org/10.12813/kieae.2024.24.6.013

[4] S. Woo and S. Lee, ‘Enhancing Green Remodeling Institutional System Improvements in Public Buildings through FGI Analysis,’ KIEAE Journal, 23(6), 45–53, 2023. https://doi.org/10.12813/kieae.2023.23.6.045

[5] J.-H. Lee and S.-T. No, ‘Surveys to Identify Problems in the Green Remodeling Process of Public Buildings,’ KIEAE Journal, 25(1), 13–18, 2025. https://doi.org/10.12813/kieae.2025.25.1.013

ⓒ 2026. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

[6] P. de Wilde, ‘The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation,’ Automation in Construction, 41, 40–49, 2014. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.009
[7] A. C. Menezes, A. Cripps, D. Bouchlaghem and R. Buswell, ‘Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap,’ Applied Energy, 97, 355–364, 2012. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.075
[8] J. Granderson, S. Touzani, C. Custodio, M. D. Sohn, D. Jump and S. Fernandes, ‘Accuracy of automated measurement and verification techniques for energy savings in commercial buildings,’ Applied Energy, 173, 296–308, 2016. https://doi.org/10.1016/j.apenergy. 2016.04.049
[9] Efficiency Valuation Organization, International Performance Measurement and Verification Protocol: Core Concepts 2022, EVO, 2022.
[10] International Organization for Standardization, ISO 50015:2014, Energy management systems—Measurement and verification of energy performance of organizations—General principles and guidance, 2014. https://www.iso.org/standard/60043.html
[11] Statistics Korea, Statistical Geographic Information Service: 2018 municipal boundary geometry, SGIS, accessed 2026.08.18. https://sgis.kostat.go.kr/
[12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Korea Real Estate Board, Building HUB: Building Energy (Electricity and Gas) Data Service, accessed 2026.08.18. https://www.hub.go.kr/portal/opn/tyb/idx-nbem-elcty.do