

II. 공공 건축물 그린리모델링의 2030 NDC 달성 기여도 제고 방안: (BEOP 기반)취약계층 어린이집 에너지 성능

통합 분석

이희곤¹, 한지영²,

1.(주)AOG 대표, 2.대진대학교 부교수,

"BEOP-Based Green Remodeling: Enhancing 2030 NDC Contribution and Cost Optimization in Public Childcare Centers"

Heegon Lee¹, Jiyoung Han²,

¹ CEO of AOG Co., Ltd., ² Associate Professor at Daejin University,

요약 : 본 연구는 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 달성 및 취약계층 이용 공공건축물의 에너지 효율 향상을 통한 사회적 편익 증대에 주목하여, 그린리모델링(GR) 사업의 실질적 효과를 BEOP(Building Energy Optimization Program) 방법론과 통합 분석하였다. 그린리모델링을 완료한 공공 어린이집 10개소를 대상으로 2018-2024년 에너지 데이터를 기반으로 GR 효과, 계약전력 적정성, 온실가스 배출량 변화 및 투자비용 효율성을 분석하였다. 연구 결과, GR은 에너지 사용량 절감에 일부 기여했으나, GR 직후 온실가스 배출량이 오히려 증가하는 사례가 다수 확인되었다. 특히 BEOP 분석을 통해 대부분의 시설에서 실제 사용량과 과리된 계약전력 설정으로 인해 연간 수천만원에서 수억 원 규모의 불필요한 예산 낭비(과도한 계약) 또는 추징금 발생(과소 계약) 문제가 심각함을 입증하였다. 이는 BEOP 기반 계약전력 최적화가 그린리모델링 효과를 극대화하고 에너지 예산 효율성을 혁신적으로 개선할 수 있음을 의미한다. 본 연구는 BEOP와 GR의 통합 시너지가 2030 NDC 달성 기여 및 취약계층 시설의 사회적 가치 증대에 필수적임을 강조하며, 공공 GR 사업 시 BEOP-CNPP 연계형 온실가스 모니터링 시스템 구축을 정책적으로 제언한다.

주제어 : 그린리모델링, BEOP, 2030 NDC, 온실가스 감축, 공공 어린이집, 에너지 효율, 계약전력 최적화

Abstract : This study addresses the urgent need to achieve the 2030 National Determined Contribution (NDC) and enhance social benefits through improved energy efficiency in public buildings used by vulnerable populations. It integrates Green Remodeling (GR) initiatives with the Building Energy Optimization Program (BEOP) methodology to analyze their actual effectiveness. Focusing on 10 public childcare centers that underwent GR, the study analyzed energy data from 2018-2024 to assess GR effects, the appropriateness of contracted power capacity, changes in greenhouse gas (GHG) emissions, and cost-effectiveness of investments.

The findings indicate that while GR contributed to some energy consumption reduction, a significant number of cases showed an increase in GHG emissions immediately after GR completion. Specifically, BEOP analysis revealed severe problems in most facilities due to contracted power capacity settings that deviated significantly from actual usage, leading to millions to hundreds of millions KRW in unnecessary budget waste (excessive capacity) or penalties (insufficient capacity) annually. This demonstrates that BEOP-based optimization of contracted power capacity can maximize GR effectiveness and revolutionize energy budget efficiency. This study emphasizes that the integrated synergy of BEOP and GR is essential for contributing to the 2030 NDC and enhancing the social value of facilities for vulnerable populations. It politically proposes the mandatory adoption of BEOP-based consulting for public GR projects and the establishment of a BEOP-CNPP-linked GHG monitoring system.

Keywords: Green Remodeling, BEOP, 2030 NDC, Greenhouse Gas Reduction, Public Childcare Centers, Energy Efficiency, Contracted Power Optimization

1. 서론

1.1 연구 배경 (Research Background)

기후변화의 위협이 전 세계적인 최우선 의제로 부상하면서, 각국은 국가 온실가스 감축 목표(Nationally Determined Contributions, NDC) 달성을 위한 노력을 강화하고 있다. 특히 대한민국은 2030년 NDC로 2018년 대비 40% 감축이라는 도전적인 목표를 설정하였으며[1], 이 목표 달성에 있어 건물 부문의 역할은 핵심적으로 인식되고 있다. 건물 부문은 국가 전체 에너지 소비 및 온실가스 배출의 상당 부분을 차지하며, 에너지 효율이 낮은 노후 건축물을 개선하는 것은 탄소중립 사회로의 성공적인 전환을 위한 필수적인 선행 과제이다[2]. 이러한 배경 속에서 정부는 노후 공공 건축물의 에너지 성능 향상과 쾌적한 실내환경 개선을 목표로 그린리모델링(Green Remodeling, GR) 지원사업을 적극적으로 추진하고 있다[3]. GR은 단순히 에너지 절감 효과를 넘어 사회적 가치를 창출한다는 점에서 주목된다. 특히 사회적 취약계층이 주로 이용하는 공공 어린이집과 같은 시설에 대한 GR은 온실가스 감축이라는 환경적 효과와 쾌적한 환경 제공 및 에너지 복지 향상이라는 사회적 효과를 동시에 달성하는 이중 편익(Dual Benefit)을 창출한다[4]. 따라서 GR은 단순한 경제적 효율성 확보를 넘어 사회적 책임과 지속가능성이라는 중요한 정책적 의의를 지닌다[5].

1.2 선행 연구 검토 (Literature Review)

GR의 에너지 절감 효과 및 경제적 타당성에 대한 기존 연구는 활발히 진행되어 왔다[6]. 그러나 대부분 일반 건축물을 대상으로 하거나 에너지 성능 개선 효과에만 초점을 맞추는 경향을 보인다. 예를 들어, GR 기술 적용에 따른 에너지 사용량 감소 추이, 투자 비용 대비 회수 기간 등을 통계적으로 분석하며 그 중요성을 부각하는 연구들이 주를 이룬다[7]. 하지만 이러한 연구들은 실제 운영 데이터 기반의 정밀하고 통합적인 분석에서 다소 한계를 드러낸다. 특히 계약전력 및 요금 구조 최적화와 같은 운영 효율 측면, 나아가 탄소중립 이행을 위한 2030 NDC 모니터링 관점에서의 통합 분석은 미흡한 실정이다[8]. 또한, 사회적 취약계층이 이용하는 공공 건축물, 즉 어린이집이나 노인정 등 특정 대상 시설의 특성을 고려한 에너지, 비용, 사회적 편익의 복합적 효과를 심층적으로 다룬 연구는 찾아보기 어렵다. 이는 GR 후에도 발생할 수 있는 잠재적인 에너지 낭비 요인들을

종합적으로 파악하고 해결하는 데 있어 기존 연구들의 한계를 명확히 보여준다[9].

1.3 연구의 필요성 및 목적 (Necessity and Purpose of the Research)

앞서 제시된 배경과 선행 연구의 한계점을 인식하여, 본 연구는 BEOP(Building Energy Optimization Program) 방법론을 활용하여 GR된 취약계층 공공 어린이집의 에너지 성능 및 비용을 통합 분석하고, GR 사업의 효과적인 방향 설정과 탄소중립을 향한 모니터링 관리의 필요성을 강조한다[10]. 본 연구의 구체적인 필요성 및 목적은 다음과 같다.

1.3.1 GR 사업의 실질적 효과 및 한계점 검증
GR 사업 투입에도 불구하고 온실가스 배출량이 증가하거나 기대만큼의 감축 효과가 나타나지 않는 현상을 실제 데이터 기반으로 규명한다. 이를 통해 그 원인을 분석하고, GR 사업의 실질적인 기여도와 한계점을 객관적으로 평가한다.

1.3.2 BEOP 기반 에너지 예산 최적화의 효과 증명
GR된 건물에서도 여전히 존재하는 불합리한 계약전력 구조로 인한 불필요한 기본요금 지출 또는 초과금 발생 문제를 BEOP 방법론으로 진단한다. 이를 해결함으로써 얻을 수 있는 에너지 예산 개선 효과를 정량적으로 제시하여 BEOP의 경제적 가치를 입증한다.

1.3.3 2030 NDC 기여도 평가 및 통합 관리 방안 제시
GR과 BEOP 적용을 통해 달성 가능한 온실가스 감축량을 정량적으로 평가하고, 공공 건축물 부문의 NDC 달성 기여도를 분석한다. 나아가, BEOP 플랫폼과 CNPP(탄소 중립 실증 플랫폼)와의 연계를 통한 효율적인 온실가스 배출 모니터링 및 관리 시스템 구축 방안을 제안한다.

1.3.4 취약계층 공공 건축물의 지속가능한 에너지 관리 모델 제시, 본 연구를 통해 GR과 BEOP 방법론의 시너지를 입증한다. 이는 에너지 비용 절감과 쾌적한 환경 조성을 넘어 아동들의 건강과 복지 향상으로 이어지는 지속가능한 2030 NDC 에너지 관리 및 운영 모델을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 이론적 배경 (Theoretical Background)

2.1 국내외 GR 정책 및 제도

기후변화 대응을 위한 전 세계적 노력의 일환으

로 건물 부문의 에너지 효율 개선은 핵심 과제로 부상하고 있다[11]. 이러한 배경 하에 국내에서는 다음과 같은 정책 및 제도들이 추진되고 있다.

2.1.1 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC) 및 2050 탄소중립 비전[12]: 대한민국은 2030년까지 온실가스 배출량을 2018년 대비 40% 감축하고, 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다는 목표를 설정하였다. 실제로 건물 부문은 2023년 기준으로 전 세계 에너지의 32%를 소비하고 이산화탄소 배출의 34%를 담당하며, 국내에서는 전체 온실가스 배출량의 약 25%를 차지하는 만큼, 해당 부문의 감축 기여는 필수적이다[13].

2.1.2 제로에너지건축물(ZEB) 의무화[14]: 신축 건축물의 에너지 성능을 강화하고자 2025년부터 공공 부문, 2030년부터 민간 부문 건축물까지 제로에너지건축물 인증을 의무화한다.

2.1.3 공공건축물 GR 지원사업[15]: 노후 공공 건축물의 에너지 효율 향상 및 실내 환경 개선을 목표로 추진되는 사업이다. 특히 본 연구의 대상인 취약계층 이용 공공 어린이집과 같은 시설에 대한 지원은 에너지 복지 향상과 사회적 가치 창출에 중점을 둔다.

2.2 BEOP 방법론 개요

BEOP(Building Energy Optimization Program)은 건축물의 에너지 사용 현황을 다각적으로 분석하고 에너지 사용 비용과 온실가스 배출 최적화 방안을 도출하여 에너지 효율을 극대화하는 체계적인 방법론이다. BEOP 방법론의 주요 내용은 다음과 같다.

2.2.1 계약전력 진단 및 최적화: 실제 전력 사용 패턴을 분석하여 과도하거나 과소 설정된 계약전력을 진단한다. 이를 통해 불필요한 기본요금 지출 또는 초과금(추징금) 발생을 방지하고 합리적인 계약전력을 제안한다.

2.2.2 요금 구조 최적화: 에너지 사용 패턴에 적합한 요금제를 분석 및 추천하여 전력 요금 부담을 경감한다.

2.2.3 에너지 사용 패턴 및 낭비 요인 분석: 월별, 계절별, 시간대별 에너지 사용 패턴을 분석한다. 이를 통해 비효율적인 에너지원 사용 운영 또는 설비 문제를 파악하고 개선 방안을 제시한다.

2.2.4 데이터 기반 의사결정: 실제 에너지 데이터

에 기반한 분석을 통해 객관적이고 합리적인 에너지 관리 의사결정을 지원한다. 본 연구에서는 특히 어린이집의 특성(운영 시간, 계절별 부하 등)을 반영하여 BEOP 분석 프로세스를 상세하게 적용한다.

2.3 온실가스 배출량 산정 및 모니터링

건물 부문의 온실가스 배출량 관리는 2030 NDC 달성을 위한 핵심 요소이다. 이를 위한 산정 및 모니터링 방안은 다음과 같다.

2.3.1 건물 부문 온실가스 배출 산정 방법론: 건물에서 소비되는 전력량(kWh) 또는 연료 사용량에 해당 에너지원의 배출계수(Emission Factor)를 곱하여 온실가스 배출량(tCO₂eq)을 산정한다. 본 연구에서는 전력 사용량에 한국전력공사의 전력 배출계수(0.000435 tCO₂eq/kWh)를 적용한다.

2.3.2 NDC 연계 및 모니터링: BEOP는 에너지 사용량 데이터를 주기적으로 수집하여 온실가스 배출 모니터링의 기반을 제공한다. 이를 CNPP(탄소 중립 실증 플랫폼, Cyber NDC Power Plant)와 같은 데이터 통합 플랫폼과 연계하여 그린리모델링 및 BEOP 적용으로 인한 온실가스 감축 실적을 투명하게 보고하고 검증하는 시스템 구축이 가능하다.

3. 연구 방법 (Research Methodology)

본 연구는 그린리모델링을 진행한 취약계층 이용 공공 어린이집을 대상으로, BEOP 방법론을 적용하여 에너지 성능 개선 효과와 온실가스 감축 기여도를 통합적으로 분석하는 정량적 연구 방법론을 채택한다.

3.1 연구 대상 (Research Subjects)

본 연구의 대상은 2020년 또는 2022년에 GR 사업이 선정되어 2021년 또는 2024년에 준공을 완료한 총 10개소의 취약계층 이용 공공 어린이집으로 선정하였다. 연구 대상 어린이집의 GR 및 기본 정보는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. 연구 대상 건축물의 GR 기본 정보

| 구분 | GR준공 연도 | GR예산(백만원) | 개선 내용 |
|----|---------|-----------|-------------------|
| 단대 | 2021년 | 173 | 창호, EHP, 스마트에너지사워 |
| 금광 | 2021년 | 268 | 단열, EHP, 조명 |
| 고등 | 2021년 | 127 | 창호, EHP |
| 양지 | 2021년 | 112 | 창호, EHP |

| | | | |
|-----|-------|-------|-----------------|
| 은솔 | 2021년 | 312 | 외단열, 창호, EHP |
| 태평 | 2021년 | 159 | 창호, 조명 |
| 다솜 | 2021년 | 284 | 창호, 외벽단열, EHP |
| 복정 | 2024년 | 2,005 | 창호, 조명, EHP |
| 산내 | 2024년 | 145 | 단열, 창호, 조명, EHP |
| 태평3 | 2021년 | 52 | 창호, EHP |

3.2 데이터 수집 (Data Collection)

연구 대상 어린이집에 대한 데이터는 다음과 같은 시기와 내용으로 수집되었다.

3.2.1 에너지 사용 데이터: 2018년부터 2024년까지의 월별 전력 사용량(kWh) 및 요금(원) 데이터를 수집하였다. 이 데이터는 2030NDC 모니터링 구축과 ,GR 사업 준공 전후의 에너지 소비 패턴 변화를 분석하는 핵심 자료로 활용된다.

3.2.2 건축물 현황 정보: 각 어린이집의 면적(㎡), 계약전력(kW), 전력 계약 종류(저압전력) 등의 기본 건축물 정보가 수집되었다.

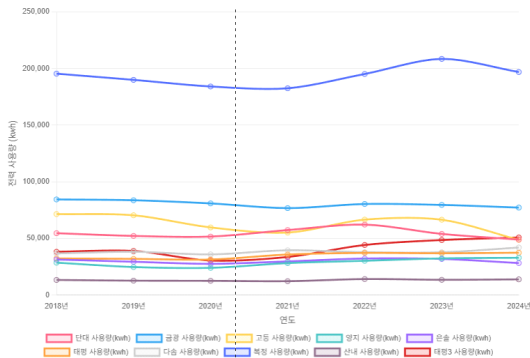
3.2.3 GR 상세 내역: 해당 담당자를 통해 각 어린이집별 그린리모델링 사업 연도, 준공 연도, 총 투입 예산, 그리고 창호, 단열, EHP, 조명 등 주요 개선 내용에 대한 상세 정보가 수집되었다.

3.3 BEOP 적용 및 분석 절차 (BEOP Application and Analysis Procedures)

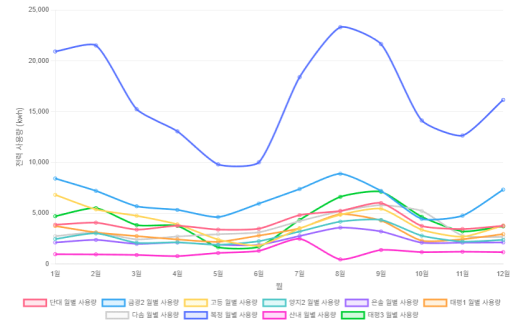
수집된 데이터를 바탕으로 BEOP 방법론을 적용하여 다음과 같은 분석 절차를 수행한다.

3.3.1 단계 1: 에너지 사용 패턴 분석: 수집된 2018년부터 2024년까지의 월별 전력 사용량 및 요금 데이터를 통해 연도별 사용량/요금 추이, 월별 피크 부하 및 계절별 변동 패턴을 분석한다(그림 1, 그림 2 참조).

[그림 1]. 대상 건축물 2018-2024 연간 전력 사용량 추이



[그림 2. 대상 건축물별 2024년 월별 전력 사용량 패턴]



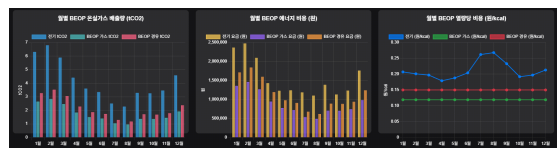
3.3.2 단계 2: 계약전력 적정성 진단 및 최적화: 각 어린이집의 계약전력(kW)과 실제 월별 최대 피크 전력량(또는 월간 최대 사용량 기준)을 비교 분석하여 현재 계약전력의 적정성을 진단한다. 이후 BEOP의 계약전력 최적화 알고리즘을 적용하여 기본요금 절감 잠재액을 산출한다. 대상 어린이집의 계약전력 적정성 진단 효율 결과는 다음 Table 2와 같다.

Table 2 1차 계약전력 적정성 진단 결과

| 2024년 | kW | 월별최대사용량(kWh) | 월별최대사용 효율 (kWh/kW) |
|-------|-----|--------------|--------------------|
| 단대 | 57 | 7,110 | 124.74 |
| 금광 | 74 | 8,886 | 120.08 |
| 고등 | 70 | 6,810 | 97.29 |
| 양지 | 200 | 4,342 | 21.71 |
| 은솔 | 23 | 5,502 | 239.22 |
| 태평 | 30 | 5,684 | 189.47 |
| 다솜 | 8 | 5,792 | 724.00 |
| 복정 | 300 | 23,320 | 77.73 |
| 산내 | 250 | 2,479 | 9.92 |
| 태평3 | 13 | 7,110 | 546.92 |

3.3.3 단계 3: 요금 체계 및 에너지 효율 분석: 전력 요금 청구 내역을 상세 분석하여 에너지 효율 저해 요소를 파악한다.

[그림 3. BEOP 에너지 최적화 상세 분석]



3.3.4 단계 4: 온실가스 배출량 산정: 각 어린이집의 월별/연간 전력 사용량 데이터에 한국의 전력 배출계수(0.000435 tCO₂eq/kWh)를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하고, 그린리모델링 전후의 배출량 변화를 분석한다.

3.4 비교 분석 및 평가 기법 (Comparative Analysis and Evaluation Techniques)
수집된 데이터와 BEOP 적용 결과를 바탕으로 다음과 같은 비교 분석 및 평가 기법을 활용하여 연구를 진행한다.

3.4.1 GR 전후 비교 분석: 준공 연도를 기준으로 (GR) 사업 이전 기간과 이후 기간의 연간 전력 사용량 및 온실가스 배출량 변화를 비교 분석하여 GR의 효과를 평가한다. 단기적 영향 분석을 위해서는 GR 전년도 및 후년도 데이터도 활용한다.

3.4.2 BEOP 적용 효과 정량화: BEOP를 통한 계약전력 최적화 시 예상되는 기본요금 절감액을 산정하여, 불합리한 에너지 지출 개선 효과를 정량화한다.

3.4.3 온실가스 감축량 산정 및 2030 NDC 기여도 평가: 그린리모델링과 BEOP 적용으로 인한 전력 사용량 절감분을 온실가스 배출량으로 환산하여 감축량을 산정한다. 또한, 2018년 기준 2030 NDC 목표 대비 현재 상태를 비교 평가한다.

3.4.4 경제성 분석 (LCC, ROI): GR 투입 예산과 GR 및 BEOP 적용으로 인한 연간 에너지 비용 절감액을 활용하여 전 과정 비용(Life Cycle Cost, LCC) 분석 및 투자 수익률(Return On Investment, ROI)을 산출한다.

3.4.5 사회적 영향 분석: GR 개선 내용이 어린이집 실내 환경 개선 및 BEOP를 통한 예산 절감으로 보육 환경에 미치는 사회적 영향을 논의한다.

4. 연구 결과 및 고찰 (Results and Discussion)

본 연구는 GR이 완료된 취약계층 이용 공공 어린이집 10개소의 에너지 사용 데이터와 GR 정보를 BEOP 방법론을 통해 분석함으로써, GR 사업의 실제 에너지 성능 개선 효과, 온실가스 감축 기여도, 그리고 BEOP를 통한 추가적인 최적화 잠재력을 종합적으로 고찰한다.

4.1 BEOP 기반 에너지 성능 개선 효과: GR과 에너지 비용 최적화

GR이 완료된 10개 어린이집의 에너지 사용량 및 요금 데이터를 BEOP 방법론에 따라 분석한 결과, 각 시설별로 다양한 에너지 성능 개선 효과와 더불어 BEOP를 통한 계약전력 최적화 잠재력이 확인되었다.

4.1.1 GR 전후 에너지 사용량 및 비용 변화

2021년 준공된 8개 어린이집과 2024년 준공된 2개 어

린이집의 GR 전후 연간 전력 사용량 및 요금 추이를 분석하였다(그림 1 참조). 분석 결과, 사용량이 감소한 시설(예: 고등)도 있었으나, 요금 인상 등의 외부 요인으로 인해 비용 절감 효과가 미미하거나, 오히려 사용량 및 요금이 증가한 시설(예: 태평, 복정)도 다수 존재하였다. 이는 GR이 건축물의 에너지 성능 자체를 개선하지만, 운영 환경이나 외부 경제 요인에 따라 실제 비용 절감으로 직접 연결되지 않을 수 있음을 시사한다.

4.1.2 BEOP 1단계 (계약전력 최적화)를 통한 에너지 예산 혁신 잠재력

BEOP의 계약전력 적정성 진단을 통해 연구 대상 어린이집 대부분에서 불합리한 계약전력 운용 문제가 확인되었으며, 이는 GR 투자 효과를 저해하는 심각한 요인으로 분석되었다. 2024년 기준 계약전력 진단 결과는 다음 Table 3와 같다.

[Table 3. 대상 어린이집별 계약전력 적정성 진단 요약]

| 2024년 | kW | 월별 최대 사용량(kWh) | 월별 최대 사용 효율(kWh/kW) | 한전 기준 (450 kWh/kW) | BEOP 진단 요약 |
|-------|-----|----------------|---------------------|--------------------|------------------------------|
| 단대 | 57 | 7,110 (9월) | 124.74 | 450 | 계약전력 적정성 검토 필요 (기본요금 낭비 가능성) |
| 금광 | 74 | 8,886 (8월) | 120.08 | 450 | 계약전력 과다 가능성(기본요금 낭비) |
| 고등 | 70 | 6,810 (1월) | 97.29 | 450 | 계약전력 과다 가능성(기본요금 낭비) |
| 양지 | 200 | 4,342 (2월) | 21.71 | 450 | 극도로 과도. 막대한 기본요금 낭비 |
| 은솔 | 23 | 5,502 (2월) | 239.22 | 450 | 계약전력 적정성 검토 필요 |
| 태평 | 30 | 5,684 (2월) | 189.47 | 450 | 계약전력 적정성 검토 필요 |
| 다솜 | 8 | 5,792 (9월) | 724.00 | 450 | 심각한 과소. 초과금(추징금) 발생 확실 |
| 복정 | 300 | 23,320 (2월) | 77.73 | 450 | 심각한 과도. 막대한 기본요금 낭비 |
| 산내 | 250 | 2,479 (2월) | 9.92 | 450 | 극도로 과도. 압도적인 기본요금 낭비 |
| 태평3 | 13 | 7,110 (9월) | 546.92 | 450 | 과소. 초과금(추징금) 발생 가능성 높음 |

4.1.3 과도한 계약전력으로 인한 막대한 기본요금 낭비 :

4.1.3.1 양지: 면적 140㎡에 계약전력 200kW로, 2024년 월별 최대 사용 효율이 21.71 kWh/kW에 불과하여 한 전 기준(450 kWh/kW)에 크게 못 미쳤다. BEOP를 통한 에너지 사용 최적화 적용 시 연간 수천만 원의 불필요한 에너지 요금 지출과 온실가스 배출 낭비를 방지할 수 있을 것으로 추정된다.

4.1.3.2 산내 : 면적 114㎡, 계약전력 250kW로 월별 최대 사용 효율 9.916 kWh/kW의 극도로 낮은 효율성을 보였다. BEOP를 통한 에너지 사용 최적화 적용 시 연간 수천만 원 수준의 에너지 요금 절감과 온실가스 감축이 가능하며, 이는 시설의 연간 총 에너지 요금을 크게 초과하는 비합리적인 구조임을 보여준다.

4.1.3.3 복정 : 면적 561㎡, 계약전력 300kW로 월별 최대 사용 효율 77.73 kWh/kW를 나타내, 건축물 에너지 사용 최적화 적용 시 상당한 에너지 요금 절감과 온실가스 감축이 가능할 것으로 분석된다.

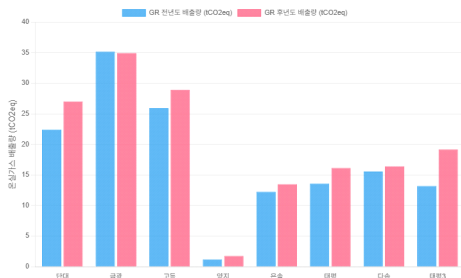
4.1.4 과소 계약전력으로 인한 초과 요금(추징금) 발생:

4.1.4.1 다솜 : 면적 68㎡에 계약전력 8kW로 매우 낮게 설정되었으나, 2024년 9월 월별 최대 사용량은 5,792 kWh에 달하였다. 이는 한전의 1kW당 450kWh 기준을 크게 초과하여 연간 수백만 원 규모의 초과 요금을 지불하고 있을 것으로 확실시된다.

4.1.4.2 태평3 : 면적 116㎡, 계약전력 13kW이나 2024년 9월 월별 최대 사용량이 7,110 kWh로 계약전력을 크게 초과하여 초과 요금 부과가 예상된다

이러한 결과는 BEOP가 단순히 에너지 사용량을 줄이는 것을 넘어, 불합리한 요금 구조 자체와 에너지 사용을 개선하여 공공 예산 낭비를 방지하고 온실가스 배출 낭비 및 에너지 관리의 투명성을 높이는 데 결정적인 역할을 할 수 있음을 보여준다(그림 4 참조). 또한 2030 NDC 달성에도 큰 역할을 할 수 있음을 시사한다.

[그림 4. 대상 어린이집별 GR 전후 온실가스 배출량



4.2 그린리모델링과 2030 NDC 목표 달성 현황 및 온실가스 감축 투자비용 분석

그린리모델링의 실질적인 온실가스 감축 기여도와 2030 NDC 목표 달성 현황을 분석하고, 투자비용 효율성을 평가하였다.

Table 4. 대상 어린이집별 2018년 기준, 2024년 현재 및 2030년 목표 온실가스 배출량 비교

| 구분 | 2018년 기준 배출량 (tCO2eq) | 2024년 현재 배출량 (tCO2eq) | 2030년 목표 배출량 (tCO2eq) | 2024년 대비2030년 목표 감축률(%) |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 단대 | 23.71 | 21.27 | 15.93 | 25.10% |
| 금광 | 36.69 | 33.56 | 24.66 | 26.51% |
| 고등 | 31.06 | 21.16 | 20.90 | 1.23% |
| 양지 | 1.51 | 1.63 | 1.01 | 38.00% |
| 은솔 | 13.61 | 12.26 | 9.14 | 25.45% |
| 태평 | 14.02 | 16.23 | 9.42 | 41.96% |
| 다솜 | 15.95 | 19.04 | 10.72 | 43.70% |
| 복정 | 84.97 | 85.60 | 57.11 | 33.30% |
| 산내 | 5.77 | 5.99 | 3.88 | 35.23% |
| 태평3 | 16.59 | 22.07 | 11.15 | 49.48% |
| 총계 | 243.93 | 238.86 | 163.95 | 31.44% |

Table 4과 그림 4 대상 어린이집별 GR 전 후 분석을 통해 총 10개 어린이집의 2024년 현재 배출량 합계 (238.86 tCO2eq)는 2018년 기준 배출량(243.93 tCO2eq) 대비 소폭 감소(-2.08%)하였음을 확인하였다. 그러나 2030년 목표 배출량(163.95 tCO2eq)과 비교 시 74.91 tCO2eq (현재 배출량 대비 31.44%)를 추가로 감축해야 하는 큰 격차를 보였다. 개별 시설에서는 고등 어린이집만이 2030년 목표치에 근접하였을 뿐, 태평, 다솜, 태평3 등 다수의 시설은 현재 배출량의 절반 가까이를 추가로 감축해야 하는 매우 도전적인 과제를 안고 있었다.

Table 5. GR 전후 온실가스 배출량 비교)

| 구분 | GR투입예산(백만원) | GR전년도 배출량 (tCO2eq) | GR후년도 배출량 (tCO2eq) | GHG증감량 (tCO2eq) | 비고 |
|-----|-------------|--------------------|--------------------|-----------------|----|
| 단대 | 173 | 22.43 | 27.03 | +4.60 | 증가 |
| 금광 | 268 | 35.17 | 34.95 | -0.22 | 감소 |
| 고등 | 127 | 25.94 | 28.94 | +3.00 | 증가 |
| 양지 | 112 | 1.20 | 1.76 | +0.56 | 증가 |
| 은솔 | 312 | 12.26 | 13.50 | +1.24 | 증가 |
| 태평 | 159 | 13.61 | 16.15 | +2.54 | 증가 |
| 다솜 | 284 | 15.55 | 16.42 | +0.87 | 증가 |
| 태평3 | 52 | 13.20 | 19.19 | +5.99 | 증가 |
| 총계 | 1,487 | 139.36 | 157.94 | +18.58 | 증가 |

Table 5와 그림 4(GR 전후 온실가스 배출량 비교)를 통해 그린리모델링 사업의 온실가스 감축 효과를 분석한 결과, 2021년 준공된 8개 시설에 총 14억 8천7백만원이 투입되었음에도 불구하고, GR 전년도(2020년) 대비 후년도(2022년) 온실가스 배출량은 다음 Table 5와 같이 총 18.58 tCO₂eq 증가하였다.

[Table 6. GR투입 예산 대비 온실가스 배출량 증감량 (2021년 준공 시설)]

| 구분 | GR 투입 예산(백만원) | GR전년도 배출량(tCO ₂ eq) | GR후년도 배출량(tCO ₂ eq) | GHG 증감량(tCO ₂ eq) | 단위 감축/증가 비용(백만원/tCO ₂ eq) |
|-----|---------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 단대 | 173 | 22.43 | 27.03 | +4.60 | 37.61 |
| 금광 | 268 | 35.17 | 34.95 | -0.22 | 1,218. |
| 고등 | 127 | 25.94 | 28.94 | +3.00 | 42.33 |
| 양지 | 112 | 1.20 | 1.76 | +0.56 | 200.00 |
| 은솔 | 312 | 12.26 | 13.50 | +1.24 | 251.61 |
| 태평 | 159 | 13.61 | 16.15 | +2.54 | 62.60 |
| 다솜 | 284 | 15.55 | 16.42 | +0.87 | 326.44 |
| 태평3 | 52 | 13.20 | 19.19 | +5.99 | 8.68 |

Table 6(GR 투입 예산 대비 온실가스 배출량 증감량 (2021년 준공 시설))에서 볼 수 있듯이, 유일하게 배출량이 감소한 금광의 경우에도 0.22 tCO₂eq 감축을 위해 약 2억 6천8백만원이 투입되어, 단위 감축 비용이 약 12억 1천8백만원/tCO₂eq에 달하는 극도로 비효율적인 투자임을 보여주었다. 이 결과는 GR 투자가 물리적 개선에 집중될 뿐, 실제 온실가스 감축으로 직접 이어지지 않을 수 있으며, 이는 GR 사업의 근본적인 한계점을 드러낸다(그림 7. GR 전후 온실가스 배출량 비교).

[그림 5. GR 투입 예산 대비 온실가스 배출량 증감량 (2021년 준공 시설)]



[Table 7. 대상 건축물 2030NDC 총계]

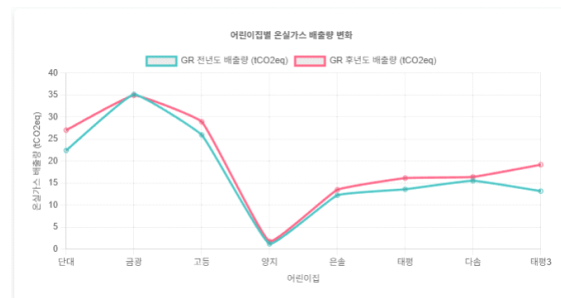
| 구분 | 총 2018년 기준 배출 | 총 2024년 현재 배출 | 총 2030년 목표 배출 | 2024년 대비 2030년 |
|----|---------------|---------------|---------------|----------------|
|----|---------------|---------------|---------------|----------------|

| | 량 (tCO ₂ eq) | 량 (tCO ₂ eq) | 량 (tCO ₂ eq) | 목표 감축률 (%) |
|----|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| 총계 | 243.93 | 238.86 | 163.95 | 31.44% |

총 10개 어린이집의 2024년 현재 배출량 합계(238.86 tCO₂eq)는 2018년 기준 배출량(243.93 tCO₂eq) 대비 소폭 감소(-2.08%)했으나, 2030년 목표 배출량(163.95 tCO₂eq)과 비교 시 74.91 tCO₂eq (현재 배출량 대비 31.44%)를 추가로 감축해야 하는 큰 격차를 보였다. 고등만이 2030년 목표치에 근접했을 뿐, 태평, 다솜, 태평 등 다수의 시설은 현재 배출량의 절반 가까이 감축해야 하는 매우 도전적인 과제를 안고 있었다.

2021년 준공된 8개 시설에 총 14억 8천7백만원이 투입되었음에도 불구하고, GR 전년도(2020년) 대비 후년도(2022년) 온실가스 배출량은 총 18.58 tCO₂eq 증가했다. 유일하게 배출량이 감소한 금광의 경우에도 0.22 tCO₂eq 감축을 위해 약 2억 6천8백만원이 투입되어, 단위 감축 비용이 약 12억 1천8백만원/tCO₂eq에 달하는 극도로 비효율적인 투자임을 보여주었다. 이 결과는 GR 투자가 물리적 개선에 집중될 뿐, 실제 온실가스 감축으로 직접 이어지지 않을 수 있으며, 이는 GR 사업의 근본적인 한계점을 드러낸다.

그림6 GR 전후 온실가스 배출량 비교



4.3 온실가스 배출 모니터링 관리 및 BEOP 기반 GR 방향 제언

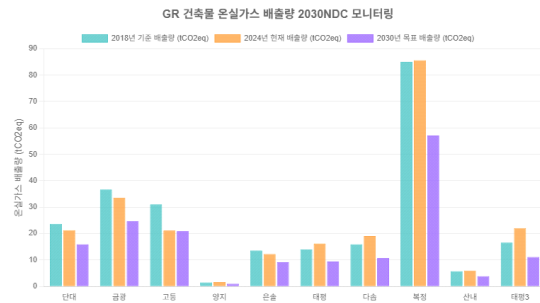
본 연구에서 확인된 결과들은 2030 NDC 목표 달성을 위한 공공 건축물 그린리모델링의 새로운 방향을 제시한다. 주요 제언은 다음과 같다.

4.3.1 GR + BEOP 통합 전략 의무화: (GR) 사업 추진 전, BEOP를 통한 사전 진단을 의무화하여 계약전력 불합리 문제를 해결하고 잠재적 예산 낭비 요인을 제거해야 한다. 또한, GR 준공 후에도 BEOP를 활용하여 설비 운영을 최적화하고 실제 에너지 사용량을 지속적으로 관리함으로써 GR 투자의 실질적인 온실가스 감축 효과를 이끌어내야 한다.

4.3.2 데이터 기반 온실가스 배출 모니터링 시스템 구축: BEOP 플랫폼을 활용하여 GR 건축물의 에너지 사용량 및 온실가스 배출량을 정기적으로 모니터링해야 한다. 더불어 GR 성능 보고서를 의무화하여 감축 실적을 투명하게 관리하는 시스템을 구축할 필요가 있다.

4.3.3 CNPP 연동 강화: BEOP 데이터를 CNPP(탄소 중립 실증 플랫폼)와 연동하여 GR 건축물 부문의 NDC 기여도를 효율적으로 집계하고 검증해야 한다. 이는 국가 전체 탄소 감축 이행의 투명성과 신뢰성을 높이는 데 필수적이다.

[그림 7. GR 건축물 2030NDC 모니터링 관리]



4.4 사회적 영향 분석

GR은 창호, 단열, EHP 등의 개선을 통해 실내 온도 쾌적도 향상 및 공기 질 개선에 기여하며, 이는 어린이집 아동 및 보육 종사자들의 건강과 복지를 증진시키는 효과를 가져온다. 특히 2030 NDC에 맞춰 모니터링 관리를 강화하고 BEOP를 통해 절감된 에너지 비용은 어린이집 운영 예산의 효율성을 높인다. 이로써 절감된 예산을 교육 프로그램 및 보육 환경 개선에 재투자할 여력을 제공하며, 궁극적으로 취약계층 아동들의 삶의 질 향상이라는 사회적 가치 증대에 기여한다.

4.5 연구의 시사점

본 연구는 GR 사업이 가진 잠재력을 BEOP 방법론으로 극대화하고, 실제 운영 데이터 기반의 정량적 분석을 통해 공공 건축물의 에너지 효율 개선 및 온실가스 감축이라는 국가적 목표 달성에 기여하는 실증적 근거를 제공하였다. 특히, BEOP가 GR 투자의 한계를 보완하고 NDC 달성에 실질적인 효과를 가져올 수 있음을 증명했다는 점에서 학술적, 정책적, 그리고 실무적 중요성을 갖는다.

5. 결론 및 향후 연구 과제 (Conclusion and Future Research)

5.1 결론 (Conclusion)

본 연구는 GR 사업이 완료된 취약계층 이용 공공 어린이집 10개소를 대상으로 BEOP 방법론을 활용하여 에너지 성능 개선 효과, 온실가스 감축 기여도 및 사회적 영향을 통합 분석하였다. 연구 결과, GR은 건물의 물리적 에너지 성능 개선에 기여하였으나, 준공 직후 온실가스 배출량이 오히려 증가하는 등 단기적인 온실가스 감축 효과에는 한계가 있음을 확인하였다. 더욱이, BEOP 분석을 통해 대부분의 시설에서 실제 사용량과 괴리된 불합리한 계약전력 설정으로 인해 연간 수백만 원에서 수억 원에 이르는 불필요한 예산 낭비 또는 초과금 발생이라는 심각한 문제가 존재함을 밝혀냈다. 이는 GR 투자만으로는 2030 NDC 목표 달성 및 에너지 예산 효율화에 한계가 있으며, BEOP 기반의 계약전력 최적화와 모니터링 관리가 필수적임을 입증한다. 종합적으로 GR과 BEOP의 통합 적용은 불필요한 에너지 지출을 제거하고 온실가스 배출량을 효과적으로 감축하며, 이는 국가 2030 NDC 달성과 취약계층 시설의 사회적 가치 증대에 실질적으로 기여할 수 있음을 확인하였다.

5.2 정책적 제언 (Policy Implications)

본 연구 결과에 기반하여, 공공 건축물의 효과적인 GR 및 2030 NDC 목표 달성을 위한 다음과 같은 정책적 제언을 제안한다.

공공 GR 사업 시 BEOP 기반 건축물 에너지 사용 최적화 분석 의무화: GR 사업 추진 전 BEOP를 통한 사전 진단을 의무화하여 계약전력 불합리 문제를 해결하고 잠재적 예산 낭비 요인을 근본적으로 제거해야 한다. 사업 준공 후에도 PDCA(Plan-Do-Check-Act) 기반의 2030NDC 최적 온실가스 배출 관리를 지원해야 한다. 이는 GR 투자 효과를 극대화하고 예산 낭비를 방지할 것이다.

BEOP-CNPP 연계형 온실가스 모니터링 시스템 구축: 산출된 개별 건물의 온실가스 감축 데이터를 CNPP(탄소 중립 실증 플랫폼)와 연동하여, 공공 건축물 부문의 NDC 달성 기여도를 투명하고 신뢰성 있게 집계, 보고하는 통합 관리 시스템을 구축해야 한다.

GR 사업 선정 및 평가 기준에 NDC 감축 잠재력 및 BEOP 활용도 반영: GR 사업 투자 효과를 극대화하기 위해 BEOP 분석을 통해 감축 잠재력이 높거나, 2030 NDC 목표 달성 격차가 큰 시설을 우선 선정해야 한다. 또한, BEOP 활용도를 성과 지표에 반영하여 관리하도록 한다.

5.3 향후 연구 과제 (Future Research)

본 연구의 성과를 바탕으로 다음과 같은 향후 연구 과제를 제안한다.

첫째, 지방정부 공공 건축물 BEOP 모니터링 플랫폼 확장 및 고도화: BEOP를 에너지 사용량 데이터와 연계하여, 2030NDC 모델 개발이 필요하다.

둘째, 취약계층 이용 중.소형 공공건축물 에너지 사용 표준 구축: 어린이집 외 경로당, 장애인 시설 등 다양한 유형의 취약계층 이용 공공 건축물로 BEOP 기반 에너지 사용 표준을 확대하여 보편적인 에너지 복지 향상 모델을 제시해야 한다.

셋째, 지방정부별 CNPP 모델 개발: 방대한 에너지 사용 데이터를 기반으로 절감 전력, 예산, 온실가스를 2030NDC 최적의 운영 방안에 대한 BEOP의 예측 및 최적화 기능을 고도화하는 연구가 필요하다.

REFERENCES

(1) 노민영, 전승호, 김문태, 김수덕(2022) An Analysis of Changes in Power Generation and Final Energy Consumption in Provinces to Achieve the Updated Nationally Determined Contribution (NDC) 34(4) 865p ~ 885p

(2) 박승환, 신혜리, 최경석, 김유민 (2024) Empirical Research Analysis of Building-based Decarbonization and Energy Reduction Core Technologies to Achieve the 2030 Nationally Determined Contributions 36(7) 342p ~ 356p DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2024.36.7.342>

(3) 김준호, 정희다 (2025) Sustainable Kinetic Shading Device Design Proposal Based on an Empirical Analysis of Building Typologies - Focused on Old Apartment Housing in Suncheon 20(1) 179p ~ 190p DOI: <http://dx.doi.org/10.35216/kisd.2025.20.1.179>

(4) 최령희, 김병선 (2023)Energy Performance and Economic Analysis on Each Retrofit Alternative for the Public Daycare Center Green Remodeling Project - Focused on Simulation-based Analysis of a Single Case 23(2) 13p ~ 21p -DOI: <http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2023.23.2.013>

(5) 임지혜, 한학규, 강동렬 (2025) Analysis on Geen Remodeling Status, Satisfaction and Energy Saving Effect - Focusing on Window Replacing of Residential Buildings 33(9) 75p ~ 90p DOI: http://dx.doi.org/10.5659/JAIK_SC.2017.33.9.75

(6) M. Son, SH Lee, Cw Park, Sh Son, SP. Jung (2025) 47(8) 594p ~ 609p Carbon Dioxide Reduction Strategies in the Construction Sector: Focus on Green Remodeling and Eco-Friendly Building Materials DOI: [tps://doi.org/10.4491/ksee.2025.47.8.594](https://doi.org/10.4491/ksee.2025.47.8.594)

(7) 정수빈, 김진희, 김준태 (2024)Analysis of Energy-Saving Effects According to Green-Remodeling Technology Elements in Apartment and Single-family House 44(5) 83p ~ 97p DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2024.44.5.083>

(8) 이종원 (2023) 에너지 취약계층을 위한 AI 노후건축물 데이터 플랫폼 개발과 시민과학 25(1)

(9) 이성호, 이재수 (2018)An Economic Evaluation Study of Office Remodeling and Green-remodeling Projects : A Simulation Approach to a Rental Office in GBD, Seoul 34(3) 23p ~ 34p

(10) 배영현, 한민지, 최윤정 (2024) Analysis on Green Remodeling Contents and Energy Saving Effect of Small-sized Public Health Care Building in Chungbuk Region : Based on 2021 Public Building Green Remodeling Project and ECO2-OD Modeling 33(1) 139p ~ 153p DOI: <https://doi.org/10.5934/kjhe.2024.33.1.139>

(11) 이종원 (2025) Energy Welfare Policy's Paradigm Shift towards Building Energy Efficiency Improvement: Focusing on Focus Group Interviews (FGI) 32(4) 458p ~ 467p DOI:<https://doi.org/10.21086/ksles.2025.8.32.4.458>

(12)정영선, 조수현, 문선헌, 지창윤 (2021) Scenario to Reduce Greenhouse Gas Emissions in Building Sector towards the goal of Carbon Neutrality by 2050 37(10) 189p ~ 197p

(13) 김성민, 윤종돈, 권오인, 신성은 (2016)A Study on the Analysis and Methods to Improve the Management System for Building Energy Database 25(1) 131p ~ 144p DOI:10.5855/ENERGY.2015.25.1.131

(14) 이승민, 김진호, 신광수, 김의중 Market Acceptability of the ZEB Certification System for Public Buildings According to the 2025 Roadmap 12(6) 557p ~ 566p DOI:<http://dx.doi.org/10.22696/jkiaeb.20180046>

(15) 서효정, 변나향 A Study on the Support for Renovating Aging Residential Buildings - A Focus on Private Building Green Remodeling Initiatives 40(4) 187p ~ 194p DOI: <http://dx.doi.org/10.5659/JAIK.2024.40.4.187>