



성당 건물의 에너지 소비 패턴과 태양광 발전 성능 및 경제성 분석 - 충청권 39개소 실측자료 및 대표 사례를 중심으로 -

Analysis of Energy Consumption Patterns, Photovoltaic Performance, and Economic Feasibility in Catholic Church Buildings

- Base on Measured Data from 39 Churches in the Choungcheong Region and a Representative Case -

이루다* · 배상순** · 윤종호*** · 김동수****

Ru Da Lee* · Sang Soon Bae** · Jongho Yoon*** · Dongsu Kim****

* Main author, Postdoctoral Researcher, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (rudalee@edu.hanbat.ac.kr)

** Coauthor, Chairman, Undergraduate Student, Energy Transition Cooperative to Counter Climate Change (sangsbae@gmail.com)

*** Coauthor, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (jhyoon@hanbat.ac.kr)

**** Corresponding author, Associate Professor, Dept. of Architectural Engineering, Hanbat National Univ., South Korea (dongsu.kim@hanbat.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: This study aims to empirically analyze the energy consumption and photovoltaic (PV) generation performance characteristics of a religious building, a building type that has received relatively limited attention despite the growing demand for greenhouse gas reduction in response to climate change. Using measured energy-consumption data from 39 Catholic church building in Korea and PV generation data from one representative building, actual energy consumption and PV generation data were analyzed to provide foundational data for improving energy management in religious facilities and supporting the achievement of Zero Energy Building (ZEB) targets. **Method:** Measured monthly energy consumption data (electricity and gas) from 39 Catholic church buildings (2019~2022) and hourly PV generation data from a representative building (2024) were utilized. Energy consumption and PV generation were converted to primary energy values based on domestic ZEB certification criteria, and energy consumption patterns, self-sufficiency rates, and economic benefits of surplus electricity sales were evaluated. **Result:** The religious buildings exhibited energy consumption patterns distinct from those of typical buildings, with electricity consumption showing a double-peak pattern during both winter and summer, while gas consumption was concentrated in winter. The representative church building achieved an estimated energy self-sufficiency rate of 52.8%, corresponding to ZEB Grade 4. Furthermore, surplus electricity sales through the SMP and REC mechanisms were estimated to generate approximately KRW 2.92 million annually, indicating a potential additional revenue stream from surplus electricity sales under the stated assumptions of PV systems for religious buildings.

KEYWORD

에너지 소비량
태양광 발전량
종교건물
제로 에너지 건물

Energy Consumption
Photovoltaic (PV) Generation
Religious Facilities
Zero Energy Building (ZEB)

ACCEPTANCE INFO

Received Jun. 10, 2026

Final revision received Aug. 7, 2026

Accepted Aug. 13, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화 대응을 위한 온실가스 감축 요구가 강화되고 있는 가운데, 건물 부문은 국내 최종에너지 소비에서 약 20% 이상의 비중을 차지한다[1]. 기후변화에 따른 열대야, 폭염 등 영향으로 냉방수요가 증가하면서 건물에서의 전력 사용량 또한 꾸준히 증가하고 있다[2]. 이에 정부는 에너지 성능 기준을 강화하고 있으며, 공공건축물의 ZEB 인증등급 상향과 노후 공공건축물 그린 리모델링의 단계적인 의무화를 추진하고 있다. 국토교통부의 제3차 녹색건축물 기본계획[3]의 제로에너지건축물 로드맵에 따르면, '30년에는 용도와 규모를 검토하여 ZEB 등급 3등급을 적용할 계획으로, 해당 제도에 따라 연면적 1,000m² 이상, 17개 용도¹⁾ 건축물은 모두 제로에너지건축물 인증 대상에 해당한다.

건물에너지 연구는 그간 주거, 업무, 교육, 판매 시설 등을 중심으로 활발히 수행되어 왔으나[4,5], 종교건물은 상대적으로 연구 대상에서 소외되어 왔다. 최근 국내외 종교계에서는 창조 보전(Creation Care) 및 생태적 책임에 대한 인식을 바탕으로 친환경 운영에 대한 관심이 높아지고 있으며, 특히 천주교회는 교황의 회칙을 계기로 생태적 회심과 본당 단위에서 태양광 발전 설비 도입, 에너지 효율 개선, 탄소발자국 저감 등의 실천을 적극적으로 확산시켜 나가고 있다. 통계자료[6]에 따르면, 국내 성당의 건물 수는 전국 기준 2,491개이며, 이용자 수는 약 44,113명에 달한다. 2025년 국토교통부가 보도한 보도자료[7]에 따르면, '24년 건물 표준 원단위 기준 종교건물의 단위 면적당 에너지 사용량은 초·중·고등 학교 등 교육시설과 유사하거나 오히려 높은 것으로 분석되었다. Woo et al.[8]은 지역 사회 커뮤니티의 중심 역할을 하는 도심형 성당은, 비효율적인 에너지 소비에서 벗어나, 친환경적 측면이 고려된 건축물로 계획되어야 함을 강조하였다.

건물의 에너지 소비는 용도, 규모, 재질 패턴, 운영 방식에 따라 상

이한 양상을 나타내며, 이러한 다양성을 정확히 파악하는 것은 건물 부문 에너지 정책 수립과 효율화 전략 도출의 전제 조건이 된다. 종교건물은 국내 등록 건물 수 기준으로 상당한 비중을 차지하는 만큼 관련 연구가 중요한 시점이다. 본 연구에서는 종교건물 중 성당 건물을 대상으로 연간 건물에너지 실사용량 및 패턴, 그리고 태양광 발전 실적 데이터를 분석하여, 종교건물의 에너지 소비 특성과 신재생에너지 자립 현황을 분석하였다. 천주교 교구는 본당 단위의 체계적인 에너지 사용량 관리 체계를 구축하고 있어, 다수의 성당 건물에 대한 실적 데이터 확보가 가능하였다. 특히 ‘불휘 햇빛 발전 협동조합[9]’을 통해 성당 건물 및 유허부지를 활용한 태양광 발전을 설치·운영하고 있어, 에너지 소비량뿐만 아니라 발전량에 대한 실적 데이터 확보도 가능하다. 이러한 점에서 성당은 종교건물의 에너지 전환 및 탄소중립 실천 사례를 분석할 수 있는 적합한 연구 대상으로 판단하였다. 본 연구는 국내 종교건물을 대상으로 장기간(4개년) 실적 에너지 사용 데이터를 활용하여 성당 건물의 에너지 소비 특성을 정량적으로 분석하고, 실제 태양광 발전 데이터를 연계하여 에너지 자립률 및 경제적 효과를 함께 평가하였다는 점에서 기존 연구와 차별성을 가진다. 특히 기존 연구가 단일 건물 사례 분석 또는 시뮬레이션 기반 평가에 집중된 것과 달리, 본 연구는 다수의 성당(39개소)을 대상으로 종교건물의 고유한 에너지 사용 패턴과 신재생에너지 활용 가능성을 통합적으로 제시함으로써 향후 종교건물의 에너지 관리 개선과 제로에너지건축(ZEB) 목표 달성을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

1.2. 선행 연구 고찰

기존 국내 연구는 종교건물의 건축적·공간적 특성 분석에 집중되어 있으며[10,11], 실제 에너지 소비 특성 및 태양광 적용 효과를 분석한 연구는 매우 제한적으로 수행되어왔다. 종교건물은 일반 업무 시설 및 주거시설과 달리 간헐적 운영 스케줄 특성을 가지므로 별도의 에너지 분석 접근이 필요하다.

선행연구를 살펴보면, 종교건물은 동절기 난방 수요 증가에 따른 높은 전력 소비 특성을 보이며[12], 전체 보조 난방기구 중 전기 난방기 비율은 68%로 전기 의존 비율이 매우 높아 전력 피크의 원인이 되고 있음을 지적하였다. Terrill et al.[13] 에너지 사용량 분석을 기반으로, 일반 상업 건물에서 흔히 사용되는 저비용 에너지 효율 개선 조치가 교회 건물에서도 동등하거나 더 높은 절감 효과를 나타낸 것으로 분석하였다. Nabilah et al.[14] 건물에너지 분석은 건물 유형에 관계없이 건물에너지 소비 패턴과 특성을 이해하는 것이 매우 중요함을 강조하였다. 종교건물은 상업용 건물과는 다른 고유한 에너지 사용 패턴을 가지며, 단열재 강화, 환기 시스템 최적화, 일사 조절 장치 적용 등 수동적 설계 요소를 통해 46% 이상 에너지 사용량이 감소하는 것으로 분석되었다.

선행연구 고찰을 통해, 종교 건물의 에너지 특성에 관한 기존 연구는 냉·난방 시스템 분석 및 에너지 시뮬레이션을 중심으로 수행되어 왔으며, 국내에서는 이에 관한 실증적 연구가 국외에 비해 현저히 부족함을 확인하였다. 종교건물은 간헐적 재실 패턴으로 인해 냉·난방 및 조명 시스템이 에너지 소비의 대부분을 차지하는 동시에, 일반 상업 건물과 구별되는 고유한 에너지 사용 특성을 나타낸다[15].

선행연구를 통해 종교건물은 간헐적인 재실과 운영 특성으로 인해 일반 건물과 구별되는 에너지 소비 패턴이 나타나며, 냉·난방 설비의 운영 방식과 피크 부하 저감을 위한 신재생에너지 적용 조건을 함께 고려할 필요가 있음을 확인하였다.

2. 연구 방법

2.1. 에너지 사용량 실적 데이터 분석

본 연구에서는 총 45개 성당 건물 중 연면적이 1,000m² 이상, 연속 4개년 이상의 실적 데이터가 확보된 39개소 건물을 선별하여 월별 전기와 가스 사용량 데이터를 분석하였다.

대전, 천안, 충남 총 3개 지역의 실적 데이터를 확보하였고, 연면적 정보는 Table 1.과 같다. 건물에너지 평균 사용량 및 사용 패턴 표준화 분석을 위해 2019년 1월부터 2022년 12월까지 총 4년간의 데이터를 분석하였다. 분석 대상 건물의 에너지 사용량은 월 단위를 기

Table 1. Gross floor area information of the analyzed buildings

No.	Region	Total floor area (m ²)
1	Daejeon	2,864.7
2		1,626.1
3		3,121.0
4		2,292.3
5		2,156.6
6		1,843.2
7		4,192.5
8		1,465.5
9		1,659.1
10		4,990.0
11		1,463.2
12		1,887.3
13		2,509.3
14		1,680.9
15		2,973.3
16		2,652.4
17		2,044.8
18		1,166.7
19		2,107.2
20		1,296.1
21		1,936.1
22		7,782.9
23		1,341.2
24		1,442.5
25	Cheonan	2,376.3
26		3,054.9
27		1,479.3
28		2,713.0
29		2,490.8
30		1,808.7
31	Chungnam	1,815.7
32		1,763.1
33		1,124.0
34		2,291.4
35		2,340.8
36		2,282.4
37		1,254.9
38		1,441.0
39		2,471.8

준 총량이다. 가스 사용량은 m^3 단위로 측정되어, 단위 변환을 위해 한국가스공사 공급 열량 값을 활용하였다. 대전의 2019년부터 2022년 4개년의 평균적인 연간 공급 열량 값($10,150\text{kcal}/\text{Nm}^3$) 적용하여 kWh로 환산하였다.

2.2. 발전량 및 자립률 분석

태양광 발전량 분석 및 자립률 분석을 위해 태양광 발전량 데이터가 확보된 대전 지역의 대표 건물을 선정하여 1년간의 발전량 데이터를 분석하였다. 분석 대상 건물의 태양광 시스템의 개요는 다음 Table 2.와 같다.

대전 지역에 위치한 성당 건물은 Fig. 1.과 같이 남측 10.8kWp , 서측과 동측에 각 24.6kWp 씩, 총 60kWp 가 설치되어 있다. 해당 시스템은 단위 전력변환장치(MLPE, Module Level Power Electronics) 인버터로 구성되어 있다. 건물에 적용되는 태양광의 경우 음영, 먼지, 모듈별 일사 수율 차이, 설치 방위 등 여러 요인에 따른 미스매치(Mismatch) 손실이 발생 될 수 있다[17]. 특히 성당 건물의 경우 첨탑에 의하여 부분 음영이 발생 된다. 본 사례 건물 역시 첨탑에 의한 부분 음영 발생 및 발전 성능 저하가 예상되어 스트링(String)별, 방위별 발전량에 대한 분석을 수행하였다.

태양광 발전 시스템의 발전량 데이터를 기반으로 에너지 자립률 및 경제적 효과도 함께 평가하였다. 에너지 자립률은 국내 제로에너지건축물(Zero Energy Building) 인증 기준[16]을 참고하여 도출하였다. 시간 단위 에너지 소비 데이터 확보의 한계로 인해 국내 친환경 건축물 인증 평가 방식과 동일한 월별 에너지 사용량 기준의 분석 방법을 적용하였다. 이에 따라 자립률 분석에는 시간대별 발전량과 소비량의 불일치는 반영하지 않았으며, 잉여 발전 전력의 발생은 고려하지 않았다. 즉, 생산된 태양광 발전 전력은 건물 내에서 모두 자

가 소비되는 것으로 가정하여 에너지 자립률을 추정하였다.

한편, 경제적 효과 분석에서는 월별 전기 사용량과 태양광 발전량을 비교하여 발전량이 전력 수요를 초과하는 기간의 잉여전력을 별도로 산정하고, 이에 대한 SMP 및 REC 수익을 평가하였다. 2024년 제통한계 가격(SMP) 및 신재생에너지 공급인증서(REC) 평가 금액[18,19]에 따라 월별 수익을 계산하였다. REC 평가 금액 계산을 위한 가중치는 ‘신재생에너지원별 가중치’ 기준에 따라 건축물 등 기존 시설물을 이용 시 가중치 값인 1.5를 기준으로 산정하였다. 태양광 REC 수익금은 ‘발전량(MWh)×REC 가중치×REC 단가’ 공식에 따라 계산되었다.

3. 분석 결과

3.1. 성당 건물의 에너지 소비 특성

1) 건물에너지 사용량

Fig. 2.와 Fig. 3.은 2019~2022년 39개 성당의 월별 전기 및 가스 사용량 분포를 나타낸 것이다. 전반적으로 전기 사용량은 연도별 차이가 크지 않았으며, 대부분의 월에서 중앙값이 유사한 수준을 유지하는 것으로 나타났다. 또한 사분위 범위(IQR)의 변화도 크지 않아 성당 간 전기 사용 특성이 비교적 안정적으로 유지되고 있음을 확인할 수 있었

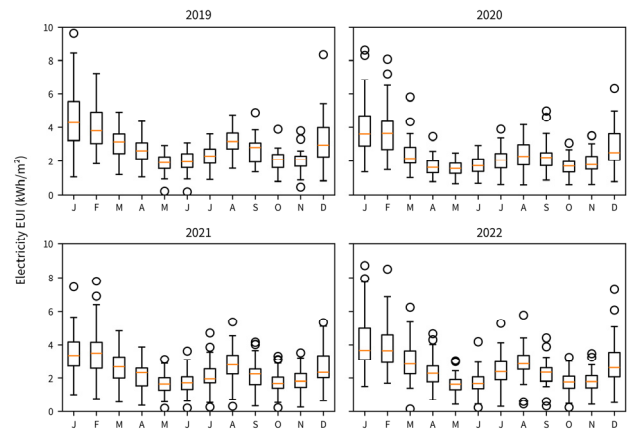


Fig. 2. Monthly electricity EUI distribution of 39 buildings

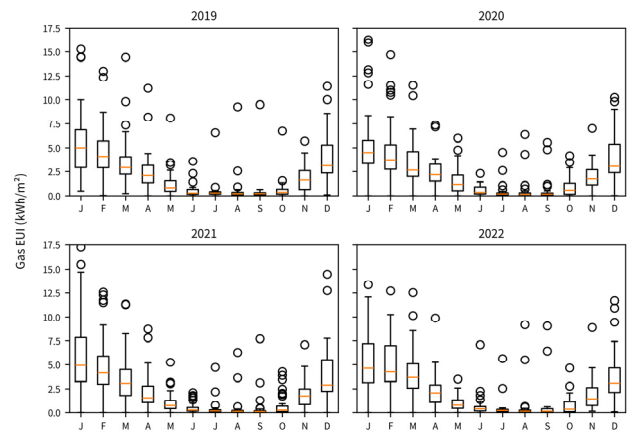


Fig. 3. Monthly gas EUI distribution of 39 buildings

Table 2. Summary of analysis data

Category	Building energy consumption	PV Generation
Data period	January 2019 ~ December 2022	January 2024 ~ December 2024
Unit	kWh	kWh
Raw data interval	Monthly	Hourly

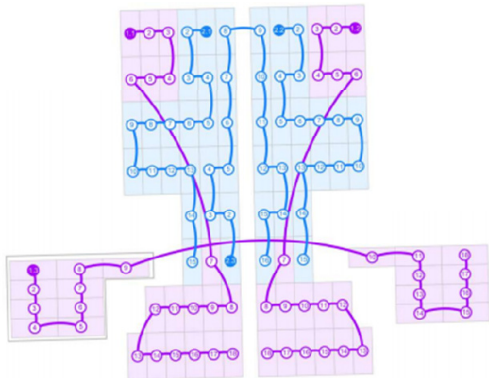


Fig. 1. Schematic diagram of the PV system string configuration

다. 연도별 평균 단위 면적당 전기 사용량은 2019년부터 순서대로 33.5kWh/m²·yr, 28.2kWh/m²·yr, 28.9kWh/m²·yr, 30.9kWh/m²·yr로 연도 간 증가 폭은 비교적 완만하게 나타났으며, 전반적으로 유사한 수준의 에너지 소비량을 유지하는 것으로 분석되었다.

가스 사용량은 전기 사용량과 달리 뚜렷한 계절성을 보였다. 모든 연도에서 겨울철 중앙값과 분산이 증가하였고, 여름철 사용량이 현저히 감소하였다. 이는 성당의 주요 가스 사용처가 난방 또는 급탕에 집중되어 있음을 보여준다.

Fig. 4. 및 Fig. 5.는 연도별 39개 성당의 월별 평균 사용량을 나타낸다. 전체적으로 전기 사용량은 연도별 차이가 크지 않으며, 모든 연도에서 유사한 계절적 패턴을 보였다. 특히 7월~8월 냉방 에너지 사용량이 집중되는 하절기의 사용량이 증가하는 일반적인 경향을 보였다. 그러나 12월~2월 겨울철 사용량이 급격히 증가하여 1년 중 가장 많은 사용량을 나타내는 패턴을 보였다. 일반적인 사무용 및 주거용 건물에서의 전기 사용량은 주로 냉방 에너지 사용량 증가로 하절기에 최대 사용량을 나타낸다. 그러나 본 건물의 경우 동절기 사용량이 연중 최대 사용량을 보였으며, 하절기에 다시 한번 사용량이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 동절기 보조 전기 난방기기의 사용 증가에 따른 영향으로 판단되며, 선행연구에서 보고된 에너지 소비 패턴과 유사한 경향을 보였다. 가스 사용량 역시 동절기 1월에 가장 높은 사용량을 보였다. 가스 사용량은 전기 사용량 보다 훨씬 뚜렷한 계절적 특성을 보였다. 하절기 사용량이 급격히 감소하는 전형적인 난방에너지 소비 패턴을 보였다.

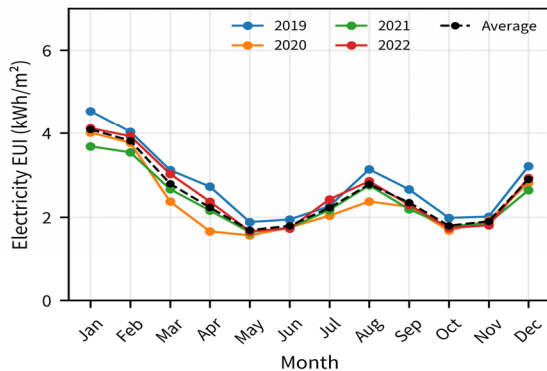


Fig. 4. Monthly average electricity EUI by year

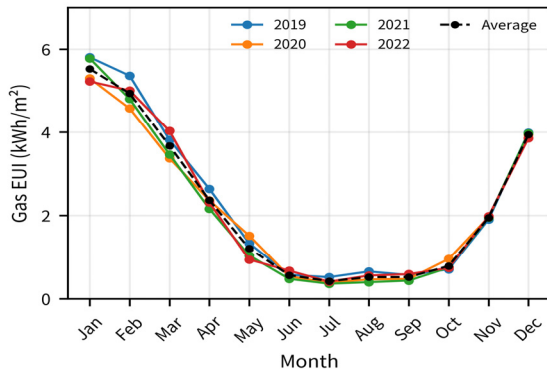


Fig. 5. Monthly average gas EUI by year

2) 월별 사용 비율

상기 전기 및 가스 에너지 사용량 데이터를 바탕으로 Fig. 6.과 같이 월별 에너지 사용 패턴을 분석하였다. 월별 사용 패턴은 연간 총 사용량 대비 각 월의 사용량 비율을 산정하여 도출하였다.

4개년도 전기 에너지 사용량 기준 평균 사용 비율 분석 결과, 동절기(12월~2월) 총 사용 비율은 35.6%, 특히 1월의 사용량이 13.47%로 가장 높았다. 하절기(6월~8월) 사용량과 춘분기(9월~11월)는 각각 22.0%, 22.4%로 유사하였다. 춘분기(3월~5월) 사용량은 각각 19.9%로 가장 낮은 비율을 보였다.

가스 사용량 역시 동절기 사용 비중이 가장 높았으며 동절기 총 사용 비율은 54.6%로 전체 사용량의 절반 이상을 동절기에 사용하고 있으며 특히 1월의 경우 21.0%로 가장 높았다. 그리고 전기 사용 패턴과 달리 춘분기 사용량이 27.4%로 두 번째로 높은 사용 비율을 나타냈다. 급탕과 난방 사용량이 줄어드는 하절기의 경우 5.7%로 급격히 감소하였다. 춘분기 사용량 비율은 12.3%로 하절기 대비 다소 증가하는 경향을 보였다.

연도별 에너지원별 사용 비중을 분석한 결과, 전기는 전체 에너지 사용량의 52.2~56.4%, 가스는 43.6~47.8%를 차지하는 것으로 나타났다. 분석 기간 동안 전기와 가스의 비중은 큰 변동 없이 유사한 수준을 유지하였으며, 전기가 가스보다 다소 높은 비중을 차지하는 것으로 분석되었다.

3.2. 태양광 발전량 분석

대전에 위치한 성당 건물의 태양광 시스템은 동측, 남측, 서측의 3개 방위에 설치되어 있다. 각 방위별 설치된 태양광 시스템의 연간

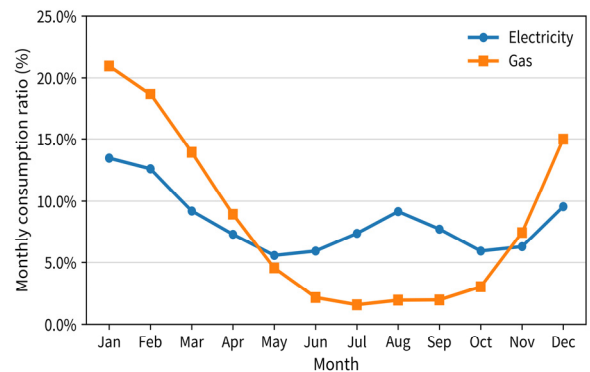


Fig. 6. Monthly electricity and gas consumption ratio

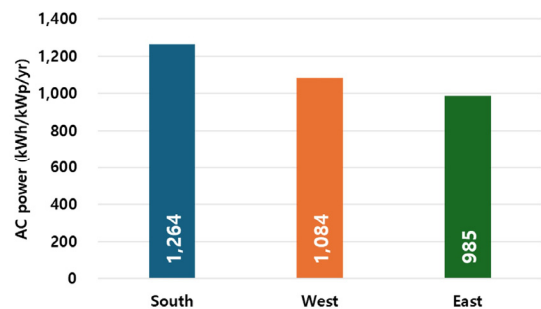


Fig. 7. Annual total PV generation by azimuth direction

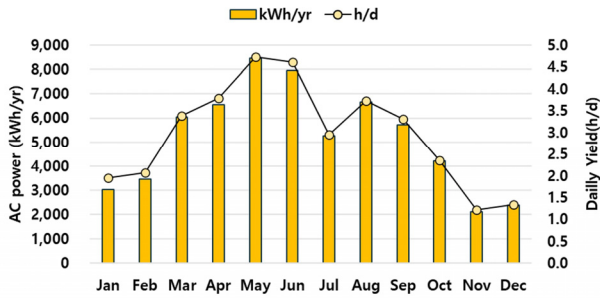


Fig. 8. Monthly total PV generation and daily yield

누적 발전량 분석 결과는 Fig. 7.과 같다. 남측 시스템의 누적 발전량은 총 1,264kWh/kWp/yr로 가장 많은 발전량을 나타냈다. 동측과 서측의 발전량 차이는 99kWh/kWp/yr로 서측이 다소 높은 발전량을 보였다. 남측의 일 평균 yield 값은 3.86h/d, 서측 3.32h/d, 동측 3.01h/d로 전체 시스템의 평균 Yield 값은 3.40h/d 이다. 첨탑에 의하여 일부 모듈에 음영이 발생함에도 불구하고, 상당히 우수한 발전 성능을 보였다.

Fig. 8.은 전체 시스템의 월별 누적 발전량과 월평균 일일 Yield 값을 나타낸다. 분석 결과, 5월의 누적 발전량은 약 8,455kWh/month로 연중 가장 높은 값을 기록하였다. 반면 11월과 12월은 평균 약 2,244kWh/month로 가장 낮은 발전량을 보였으며, 평균 Yield 값 또한 1.28h/d로 분석되어 동절기 일사량 감소 및 태양 고도 변화, 음영 영향 등이 반영된 것으로 판단된다. 또한 1월과 2월 역시 평균 발전량이 약 3,238kWh/month, 평균 Yield 값이 약 2.01h/d 수준으로 낮게 나타났다. 연간 총 누적 발전량은 61,853kWh/yr로 분석되었으며, 시스템 일부에 음영 영향이 존재함에도 불구하고 연간 기준 안정적인 발전량 확보가 가능한 것으로 평가되었다.

3.3. 에너지 자립률 추정 및 경제적 효과검토

1) 에너지 자립률 추정

앞서 분석한 건물의 에너지 소비 특성과 태양광 발전 성능을 종합적으로 고려하여 에너지 자립률을 추정하였다. 시간 단위 에너지 소비 데이터 확보의 한계로 인해 국내 친환경 건축물 인증 평가 방식과 동일한 월별 에너지 사용량 기준의 분석 방법을 적용하였다. 이에 따라 시간대별 발전량과 소비량의 불일치는 반영하지 않았으며, 잉여 발전 전력의 발생은 고려하지 않았다. 즉, 생산된 태양광 발전 전력은 건물 내에서 모두 자가 소비되는 것으로 가정하여 에너지 자립률을 추정하였다.

4개년 실측 데이터를 통해 도출한 월평균 누적 사용량과 태양광 발전량을 단위 면적당 1차 에너지로 환산한 결과(Table 3.), 전기 사용량은 총 83.5kWh/m²/yr, 가스 사용량은 29.0 kWh/m²/yr로 총 소비량은 112.6kWh/m²/yr이다. 1차에너지생산량은 총 59.39kWh/m²/yr로 본 연구의 가정에 따른 추정 에너지 자립률은 52.8%로 나타났다. 자립률 수치만을 기준으로 현행 ZEB 4등급 수준에 해당한다.

2) 경제적 효과 검토

월별 에너지사용량과 태양광 발전량을 비교한 결과, Fig. 9와 같

Table 3. Primary energy consumption and production

(unit: kWh/m²/month)

	Electricity	Gas	AC power
Jan	11.2	6.1	2.91
Feb	10.5	5.4	3.31
Mar	7.7	4.0	5.80
Apr	6.1	2.6	6.29
May	4.7	1.3	8.12
Jun	4.9	0.6	7.65
Jul	6.1	0.5	5.06
Aug	7.6	0.6	6.41
Sep	6.5	0.6	5.50
Oct	4.9	0.9	4.03
Nov	5.2	2.1	2.03
Dec	8.0	4.3	2.28

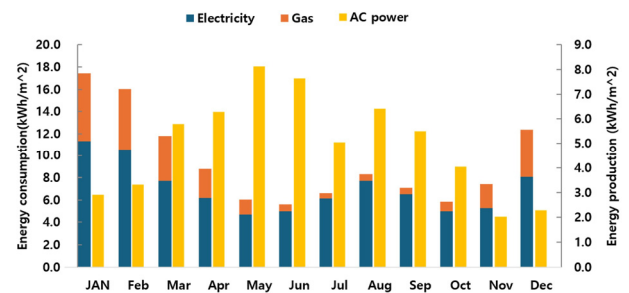


Fig. 9. Monthly Primary energy consumption and production

이 에너지 수요와 공급 간 시기적 차이가 존재하는 것으로 나타났다. 전기 에너지 사용량은 동절기에 가장 높게 나타난 반면, 태양광 발전량은 일사량이 높은 5월과 6월에 최대치를 기록하였다. 이에 일부 기간에서는 발전량이 건물의 전력 수요를 초과하는 것으로 분석되었다. 본 건물은 계통연계형 태양광 시스템으로 운영되고 있어 잉여 발전 전력은 전력회사로 판매되어 활용되는 구조를 갖는다. 따라서 본 연구에서는 건물 내 자가 소비 후 남은 잉여 전력을 전력회사에 판매하는 운영 방식을 고려하여, 이에 따른 경제적 효과 및 수익성을 함께 검토하였다.

가스 사용량을 제외하고, 월별 누적 전기 사용량을 기준으로 자가 소비량을 제외하면, 4월부터 6월까지 총 3개월 동안 잉여 전력이 발생된다. 이를 2024년 계통한계 가격(SMP) 및 신재생에너지 공급인증서(REC) 평가 금액[18,19]에 따라 월별 수익을 계산하였다. 분석 대상 건물들의 평균 면적인 2,287.3m² 기준으로 산출된 예상 잉여 전력량 및 SMP 기준 월별 수익 금액은 Table 4.와 같다. 연간 총 잉여 전력량은 14,545.3kWh/yr로 전체 누적 발전량의 약 10.7%에 해당한다. 잉여 전력량에 SMP를 적용한 연간 누적 수익금은 1,835,502원으로 분석되었다. 5월은 988,330원으로 연중 최대 수익금을 기록하였다.

REC 평가 금액 계산을 위한 가중치는 ‘신재생에너지월별 가중치’ 기준에 따라 건축물 등 기존 시설물을 이용 시 가중치 값인 1.5를 기준으로 산정하였다. 태양광 REC 수익금은 ‘발전량(MWh) × REC 가중치 × REC 단가’ 공식에 따라 계산되었다. 분석 결과(Table 5.) 연간 총 누적 수익금은 1,086,448원으로 분석되었다.

따라서 총 누적 예상 수익금(SMP+REC)은 연간 2,921,950원으

Table 4. AC power sales revenue based on SMP

	Surplus power (kWh/month)	SMP (KRW/kWh, ₩)	SMP Revenue (KRW/month, ₩)
Jan	-	138.06	-
Feb	-	119.53	-
Mar	-	134.47	-
Apr	434.5	126.09	54,790
May	7,821.5	126.36	988,330
Jun	6,289.3	125.99	792,383
Jul	-	132.49	-
Aug	-	145.86	-
Sep	-	138.85	-
Oct	-	117.24	-
Nov	-	112.22	-
Dec	-	116.6	-

Table 5. AC power sales revenue based on REC

	Surplus power (MWh/month)	REC (KRW/MWh, ₩)	REC Revenue (KRW/month, ₩)
Jan	-	77,939	-
Feb	-	79,323	-
Mar	-	79,058	-
Apr	0.435	75,584	32,844
May	7.822	74,466	582,439
Jun	6.289	74,916	471,165
Jul	-	75,801	-
Aug	-	78,753	-
Sep	-	79,282	-
Oct	-	76,866	-
Nov	-	75,010	-
Dec	-	67,159	-

로 집계되었다. 단위 발전량당 수익을 산출하면 SMP 기준 126.2KRW/kWh, SMP+REC 합산 기준 200.9KRW/kWh로 분석되었다. 이는 REC 가중치 1.5 적용에 따른 추가 수익이 전체 수익 구조에서 상당한 비중을 차지함을 의미하며, 건축물 이용 태양광에 대한 REC 우대 정책이 종교건물의 신재생에너지 도입 경제성을 실질적으로 향상시키는 요인으로 작용함을 시사한다.

3.4. 소결

분석 결과, 성당 건물은 일반 업무 및 주거용 건물과 달리 구별되는 고유한 에너지 소비 특성을 나타내는 것으로 확인되었다. 특히 동절기와 하절기 전기 사용량이 증가하는 이중 피크(double-peak) 패턴과 동절기에 집중되는 가스 사용 특성은 종교건물의 간헐적 재실 및 운영 방식이 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치고 있음을 보여준다. 가스 사용량의 경우 난방 부하의 영향으로 동절기에 집중되는 뚜렷한 계절성을 보였다. 또한 연도별 에너지원 비중은 전기가 약 52~56%, 가스가 약 44~48%로 전기 사용량이 다소 높은 경향을 보였다. 이러한 결과는 종교건물이 일반 건물과는 다른 운영 특성과 에너지 소비 패턴을 가지며, 건물 용도별 특성을 고려한 에너지 관리 전략이 필요함을 보여준다.

대표 성당 건물의 태양광 발전 성능 분석 결과, 연간 실측 발전량은 1,111.0kWh/kWp/yr, 평균 발전량은 3.40h/d로 나타났으며, 이

를 에너지 소비와 연계하여 분석한 결과 에너지 자립률은 52.8%로 ZEB 4등급 수준에 해당하는 것으로 평가되었다. 또한 자가 소비 후 발생하는 잉여 전력을 판매할 경우 SMP와 REC를 포함하여 연간 약 292만 원 가량의 추가 수익이 가능한 것으로 분석되어, 종교건물에서 태양광 발전 시스템의 경제적 활용 가능성을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 2019년부터 2022년까지 총 39개 성당의 전기 및 가스 사용량 실측 데이터를 분석하여 종교건물의 에너지 소비 특성 및 패턴을 규명하였으며, 태양광 실측 데이터를 기반으로 에너지 자립률과 경제적 효과를 함께 분석하였다. 분석 결과, 성당 건물은 일반 건물과 구별되는 에너지 소비 특성을 나타냈으며, 태양광 시스템 적용 시 에너지 자립률 향상과 추가 수익 창출이 가능한 것으로 확인되었다.

이러한 결과는 종교건물의 제로에너지건축(ZEB) 적용 및 신재생에너지 도입을 위한 실질적 근거를 제공하며, 성당과 유사한 운영 특성을 가진 집회·문화시설의 에너지 계획 및 운영 전략 수립에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

다만, 본 연구는 월 단위 에너지 데이터를 기반으로 수행되어 시간대별 전력 수요와 태양광 발전량 간의 불일치, 자가 소비 및 ESS 활용 효과를 정량적으로 평가하지 못한 한계가 있다. 또한 본 결과는 충청권 동일 교구의 조사대상 성당에서 측정된 데이터를 바탕으로 분석되었으며, 다른 지역·종교시설로 일반화하기 위해서는 추가적인 데이터 확보와 분석 필요하다.

따라서 향후 연구에서는 시간 단위 이상의 고해상도 에너지 계측 데이터를 구축하고, 태양광 발전량과 실제 부하를 연계한 자가 소비 및 잉여 전력 분석을 수행할 필요가 있다. 더불어 다양한 지역과 종교건물 유형으로 분석 대상을 확대함으로써 종교건물의 에너지 소비 특성을 일반화하고, 건물에너지 정책 및 ZEB 설계·운영을 위한 근거 자료를 마련하고자 한다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(RS-2025-02316198, 한국형 건축물 에너지 성능평가 고도화 기술개발) 및 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원(RS-2024-00459468)을 받아 수행된 연구임.

References

- [1] 기후에너지환경부, 에너지경제연구원, 2025 에너지통계연보, 2026. // Ministry of Climate, Energy and Environment, Korea Energy Economics Institute (KEEI), Yearbook of Energy Statistics 2025, 2026.
- [2] 산업통상자원부, 제11차전력수급기본계획(2024~2038), 2025. // Ministry of Trade, Industry and Energy, The 11th basic plan for electricity supply and demand (2024~2038), 2025.
- [3] 국토교통부, 제3차녹색건축물기본계획, 2024. // Ministry of Land, Infrastructure and Transport, The 3rd green building master plan, 2024.
- [4] 성남철, 김대웅, LSTM 기반 업무용 건물 냉방부하 예측 모델의 단계적 성능 최적화 방법, KIEAE Journal, 제26권 제2호, 2026,

- pp.77-85. // N.C. Seong, D. W. Kim, A stepwise performance optimization method for LSTM-based cooling load prediction models in office buildings, KIEAE Journal, 26(2), 2026, pp.77-85.
- [5] Lee et al., Development and calibration of apartment building energy model based on architectural and energy consumption characteristics, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 206, 2024, 114874.
- [6] 주교회의 한국가톨릭사목연구소, 한국 천주교회 통계 분석 보고서, 2024. // The Catholic Pastoral Institute of Korea, Statistics of the catholic church in Korea, 2024.
- [7] 국토교통부, 건물에너지 총사용량 통계: 건물용도 및 지역별 에너지 사용량 원단위, 보도자료, 2025. // Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy usage intensity by building use and region, press release, 2025.
- [8] 우동우, 황연숙, 서울시 도시형 성당의 친환경적 계획 요소에 관한 연구, 한국실내디자인학회논문집, 제30권 제4호, 2021, pp.11-19. // D.W. Woo, Y. S. Hwang, A study on the eco-friendly elements of urban catholic churches in Seoul, Journal of the Korean Institute of Interior Design, 30(4), 2021, pp.11-19.
- [9] 불휘 햇빛 발전 협동조합, 햇빛발전소, <https://www.bulhuisun.com/>, 2026. // Bulhui Solar Power Cooperative, Sunlight power plant, <https://www.bulhuisun.com/>, 2026.
- [10] 김중기, 박정해, 근대 교회건축의 입지환경 - 약현, 명동, 감곡, 중동성당을 중심으로-, 문화와융합, 제46권 특별호2, 2024, pp.15-28. // J.K. Kim, J.H. Park, Location environment of modern church architecture, Culture and Convergence, 46(Special Issue 2), 2024, pp.15-28.
- [11] 김정신, 풍수원 성당의 건축적 특징과 문화유산으로서의 가치, 교회사학, 제16호 2019, pp.249-272. // J.S. Kim, Architectural characteristics and value as cultural heritage of Pungsuwon church, Research Journal of Catholic Church History, 16, 2019, pp.249-272.
- [12] 권준범, 교회의 겨울철 전력 사용량은?, 에너지신문, 2012.02.23. // J.B. Kwon, What is the winter electricity consumption of churches?, Energy News, 2012.02.23.
- [13] T.J. Terrill, B.P. Rasmussen, An evaluation of HVAC energy usage and occupant comfort in religious facilities, Energy and Buildings, 128, 2016, pp.224-235.
- [14] A. Nabilah et al., Energy efficiency in church building based on Sefaira energy use intensity standard, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 738(1), 2021, 012013.
- [15] T.J. Terrill, F.J. Morelli, B.P. Rasmussen, Energy analysis of religious facilities in different climates through a long-term energy study, Energy and Buildings, 108, 2015, pp.72-81.
- [16] 한국에너지공단, 인증제도 기준, <https://zeb.energy.or.kr/>, 2026. // Korea Energy Agency, Certification system standards, <https://zeb.energy.or.kr/>, 2026.
- [17] Lee et al., Comprehensive investigation of rooftop photovoltaic systems in apartment buildings: Focus on installation status and generation performance in South Korea, Energy and Buildings, 345, 2025, 116067.
- [18] EG-TIPS 에너지 온실가스 종합정보 플랫폼, 연간 월별 SMP, <https://tips.energy.or.kr/>, 2026. // EG-TIPS Energy Greenhouse Gas Information Platform, Annual Monthly SMP, <https://tips.energy.or.kr/>, 2026.
- [19] 한국전력거래소, REC 현물시장 정보, <https://www.kpx.or.kr/>, 2026. // Korea Power Exchange (KPX), REC Spot market Information, <https://www.kpx.or.kr/>, 2026.

1) 17개 용도: 교육연구, 업무, 교정, 운동, 노유자 시설, 문화 및 집회,수련, 관광 휴게, 운수, 묘지 관련, 의료, 방송통신, 판매, 숙박, 위락, 종교, 장례시설