

# 노후 공공도서관의 그린리모델링 적용 요소 조합에 따른 우선순위 도출\*

## Deriving Priorities Based on Combination of Green Remodeling Application Elements in Old Public Libraries

심성진\*\* · 임세현\*\*\* · 김성은\*\*\*\* · 송용우\*\*\*\*\*

Sung Jin Sim\*\* · Se Hyeon Lim\*\*\* · Seong Eun Kim\*\*\*\* · Yong Woo Song\*\*\*\*\*

### Abstract

The Ministry of Land, Infrastructure, and Transport has been promoting strengthening energy efficiency of old buildings through public green building remodeling projects since 2020. Green remodeling includes both essential and optional construction of passive and active elements. However, there is a lack of integrated designs of passive and active systems and no standards for prioritizing these systems according to the building's age. Therefore, this study examined six public libraries in central region 2 that were expected to be high energy consuming. Remodeling strategy priorities were selected based on potential energy reduction. The libraries were divided into three groups based on their year of construction, completed in the 1980s (Model 1), 1990s (Model 2), and 2000s (Model 3). ECO2-OD, based on ISO 13790 and DINV 18599, was used as the primary energy consumption analysis tool. Simulation results indicated Model 1 and Model 2 benefited most from higher insulation and replacement of mechanical equipment. Model 3 benefited most from upgrading to more energy efficient windows.

**Keywords:** Old Buildings, Library, Green Remodeling, Passive & Active Elements, Priority

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

2015년 파리기후협약을 시작으로 전 세계적으로 지구 온난화에 따른 기후 위기에 대응하기 위해 나라별로 국가 온실가스감축 목표를 제시하고 실행하

기로 합의하였다(국토교통부, 2021). 이에 따라 대한민국 정부는 2023년 “2030 국가 탄소중립 녹색성장 기본계획(안)”을 발표하였으며, 온실가스 배출량을 2018년 대비 2030년에 40%로 줄이는 것을 목표로 설정하였다(관계부처합동, 2023). 특히, 건물 부문에서는 32.8% 감축을 목표로 설정하여 정부는

\*이 논문은 22년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2022R1A6A3A01086791, No. 2023R1A2C1006066 RS-2023-00217322).

\*\*중앙대학교 건축공학과 석사과정(주저자: ssj3029@cau.ac.kr)

\*\*\*중앙대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\*\*중앙대학교 건축공학과 박사과정

\*\*\*\*\*중앙대학교 건축공학과 박사 후 연구원(교신저자: yongma0930@cau.ac.kr)

신축 건물의 제로에너지화 및 기존 건물의 그린리모델링 등 에너지효율 강화를 추진하고 있다. 이를 위해 국토교통부는 2020년부터 공공건축물 그린리모델링 사업을 통해 노후 건축물의 에너지효율 강화를 추진하고 있다(국토교통부, 2023b).

노후 건축물의 성능 저하로 인한 에너지 효율성에 관한 선행연구로는 Waddictor et al.(2016)의 논문을 통해 준공 후 10년 이상 된 건축물들은 성능 저하로 인해 에너지 효율성이 낮아진다는 문제가 있다는 것을 확인하였으며, 이를 통해 건물의 에너지 효율성이 낮아지면 건물의 온실가스 배출량이 증가함으로써 에너지 효율성 강화가 중요하다는 점이 확인되었다. 또한, 최선우 외(2021)와 김성민(2017)에 따르면 건물의 에너지 효율성을 강화하기 위해서는 단열 강화, 고효율 설비 사용 등의 사용이 효과적임을 확인하였다. 선행연구를 바탕으로 확인한 결과, 노후 건축물의 에너지 절감을 위해선 패시브적, 액티브적 요소가 모두 고려되어야 한다.

패시브 및 액티브 요소의 공사로는 필수공사와 선택공사가 있다. 그러나 현재는 패시브와 액티브 시스템의 통합설계가 부족하며 건축물의 노후도에 따른 적용 요소들의 우선순위에 대한 기준이 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 노후 건축물의 효과적인 그린리모델링을 위해 그린리모델링 필수공사 시 적용되는 요소 조합들의 우선순위를 선정하여 상위 3개의 우선순위를 도출하였다. 이를 위해 노후 건축물

중 많은 사람들의 이용이 가능하며, 에너지 사용량이 높을 것으로 예상되는 공공도서관 건물을 대상으로 적용 요소의 우선순위 도출에 활용하고자 하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

공공도서관이란 장우권 외(2014)에 따르면 지자체, 교육청, 사립으로 운영 중이며 지역 정보, 통계, 문화 활동, 서적 등을 제공하는 곳으로 정의할 수 있다. 이러한 건물 특성으로 남녀노소를 불문하고, 지역 주민 및 초·중·고·대학생, 어린이 등 다양한 계층이 이용하는 시설로 각 지자체별로 보유하고 있다.

이와 같은 국내 도서관수는 2020년 기준 7,565개이며, 10년 이상 노후화된 도서관은 3,620개로 전체 47.3%에 해당하여(국가도서관 통계시스템, 2024), 그린리모델링을 통한 에너지 성능 개선이 필요한 상황이다.

따라서, 중부 2지역에 위치한 공공도서관 6개소를 선정하였으며, 해당 건물들의 연면적, 규모, 창면적비 등의 기본사항을 활용하여 이를 바탕으로 Base 모델을 설정하였다. 대상 공공도서관을 준공 연도별로 Table 1과 같이 분류하였다.

Base 모델을 활용하여 연도별 법적 기준 변화와 사례 분석을 통해 얻은 데이터를 통해 Model 1~3을 설정하였다. 해당 조건 별 건물 에너지 성능분석은 ISO 13790(건물의 에너지 성능) 및 DIN V 18599를 기반으로 만들어진 ECO2-OD를 이용하였다(Chung et al., 2023). 분석된 ECO2-OD의 1차 에너지소요량

**Table 1.** Classification of Library

Variables	Model 1 (1980s)		Model 2 (1990s)		Model 3 (2000s)	
	A	B	C	D	E	F
Library						
Total Floor Area (m <sup>2</sup> )	3,605	4,932	1,164	4,190	7,923	4,200
Building Stories	3	4	4	4	4	4
Year of Building Permit	1988	1988	1994	1992	2000	2005

결과값의 비교를 통해 연도별 모델에 따라 우선순위를 도출하였다.

## 2. 모델 설정

공공도서관 6개소 중 2개(A, B)는 1980년대에 준공된 건물이며 2개소(C, D)는 1990년대에 준공된 건물이며 2개소(E, F)는 2000년대에 준공된 건물이다. Model 1~3의 건물 연면적, 규모, 창면적비 등과 같은 건축 부문의 설정값은 Base 모델에 따른다. Base 모델은 공공도서관 6개소의 평균 데이터이며 도서관 규모가 4층인 건물로 연면적 4,336 m<sup>2</sup>, 창면적비는 25%로 설정하였다. 또한, Model 1~3의 단

열성능의 시뮬레이션 설정값은 Table 2와 같다. 최준우 외(2021)에 따르면 기계설비 및 조명설비의 경우 그린리모델링 사례 분석을 통해 평균값을 산출하여 반영하였음을 확인하였다. 이에 따라 기계설비 및 조명설비의 경우 Model 1~3에 해당하는 도서관 건물의 평균값을 구하여 시뮬레이션 설정값으로 Table 3과 같이 정하였다.

Model 1은 1980년대에 준공된 건물로 해당연도의 열관류율 법적 기준에 따라 외벽, 바닥, 지붕의 열관류율은 0.58W/m<sup>2</sup>·K, 창호의 열관류율은 3.489 W/m<sup>2</sup>·K, 문의 열관류율은 2.5W/m<sup>2</sup>·K로 단열성능을 설정하였다. 또한, 기계설비와 조명설비의 경우 사례 분석을 통해 자료를 정리하였으며, 도서관 A,

**Table 2.** Setting of Model (Passive Elements)

Variables:		Model 1 (1980s)	Model 2 (1990s)	Model 3 (2000s)
Total Floor Area (m <sup>2</sup> )			4,336	
Scale of Floor			4 <sup>th</sup>	
Thermal Transmittance (Legal Standards by Year)	Outer Wall	0.58 W/m <sup>2</sup> ·k	0.58 W/m <sup>2</sup> ·k	0.465 W/m <sup>2</sup> ·k
	Window	3.489 W/m <sup>2</sup> ·k	3.376 W/m <sup>2</sup> ·k	3.84 W/m <sup>2</sup> ·k
	Door	2.5 W/m <sup>2</sup> ·k	2.5 W/m <sup>2</sup> ·k	1.8 W/m <sup>2</sup> ·k
	Roof	0.58 W/m <sup>2</sup> ·k	0.407 W/m <sup>2</sup> ·k	0.325 W/m <sup>2</sup> ·k
	Floor	0.58 W/m <sup>2</sup> ·k	0.58 W/m <sup>2</sup> ·k	0.465 W/m <sup>2</sup> ·k

**Table 3.** Setting of Model (Active Elements)

Variables:		Model 1 (1980s)		Model 2 (1990s)		Model 3 (2000s)	
Mechanical	DIV.	Total Capacity	Efficiency	Total Capacity	Efficiency	Total Capacity	Efficiency
	Heating	532.5 kW	COP 3.0	400.6 kW	COP 3.35	4,026.9 kW	COP 3.78
	Boiler	94.95 kW	80.0%	29.1 kW	82%	3,001.8 kW	87.1%
	Cooling	310.1 kW	COP 3.0	340.65 kW	COP 3.13	477.27 kW	COP 3.35
Lighting	DIV.	Power	Quantity	Power	Quantity	Power	Quantity
	LED	80 W	478	280 W	243	257 W	940
	Fluorescent lamp	55 w	182	160 W	6	-	-

B의 평균값을 구하여 Model 1의 설정값으로 정하였다.

Model 2는 1990년대에 준공된 건물로 해당연도의 열관류율 법적 기준에 근거하여 외벽, 바닥의 열관류율은  $0.58W/m^2 \cdot K$ , 지붕의 열관류율은  $0.407W/m^2 \cdot K$ , 창호의 열관류율은  $3.376W/m^2 \cdot K$ , 문의 열관류율은  $2.5W/m^2 \cdot K$ 로 단열성능을 설정하였다. 또한, 사례 분석을 통해 도서관 C, D의 평균값을 구하여 기계설비와 조명설비를 설정하였다. Model 2는 Model 1에 비해 창호와 지붕의 열관류율 값이 작아져 법적 기준이 강화된 것을 알 수 있다.

Model 3은 2000년대에 준공된 건물로 해당연도의 열관류율 법적 기준에 근거하여 외벽, 바닥의 열관류율은  $0.465W/m^2 \cdot K$ , 지붕의 열관류율은  $0.325W/m^2 \cdot K$ , 창호의 열관류율은  $3.84W/m^2 \cdot K$ , 문의 열관류율은  $1.8W/m^2 \cdot K$ 로 단열성능을 설정하였다. 또한, 사례 분석을 통해 도서관 E, F의 평균값을 구하여 기계설비의 설정값으로 하였다. 창호의 열관류율은 법적 기준에 준수하여 설정하였으나 Model 1, 2에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 조명설비의 경우 “공공기관 에너지 이용 합리화 추진에 관한 규정”의 [별표 6]에 따르면 2020년까지 LED 등의 교체 비율이 100%로 목표로 하고 있다(산업통상자원부, 2013). 목표를 위해 도서관 F, G는 LED 조명의 비율이 100%로 되어 있어야 했다. 이를 사례 분석을 통해 확인하여 Model 3의 조명설비의 경우 LED로만 설정하였다.

### 3. 그린리모델링 변수 설정

Model 1~3의 패시브 요소와 액티브 요소의 성능은 현재 법적 기준과 효율성 측면에서 많은 차이를 보였다. 이를 통해 그린리모델링 시 적용 요소 기술들을 변수로 설정하였다. 패시브 요소에는 외벽, 지붕, 바닥의 단열과 창호, 문이 있으며 액티브의 요소에는 냉난방, 급탕의 기계설비와 조명설비가 있다. 이 요소들의 설정값은 Table 4와 같다.

#### 3.1 패시브와 액티브 변수 설정

##### 3.1.1 패시브 변수 설정

에너지효율 강화를 위한 패시브의 공사는 필수공사와 선택 공사가 있다. 이 중 필수공사에는 내·외부 단열 보강, 바닥 단열 및 난방, 고성능 창 및 문의 교체가 포함된다. 내·외부 단열 보강과 고성능 창 및 문의 교체를 통해 외부의 열의 전달을 차단하여 열적 성능을 확보할 수 있으며 바닥 단열 및 난방을 통해 실내 난방의 효과를 높여 에너지 절감에 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구의 패시브 변수 설정은 ‘건축물 에너지 절약설계기준’의 [별표 1], [별표 4]를 따른다(국토교통부, 2023a). Table 3과 같이 외벽의 열관류율은  $0.24W/m^2 \cdot K$ , 창호와 문은  $1.5W/m^2 \cdot K$ , 지붕은  $0.15W/m^2 \cdot K$ , 바닥은  $0.2W/m^2 \cdot K$ 로 설정하였다.

##### 3.1.2 액티브 변수 설정

에너지효율 강화를 위한 액티브의 공사는 필수공

**Table 4.** Settings of Green Remodeling

Variables:	Passive Elements		Active Elements	
	Setting Green Remodeling Conditions	Outer Wall ( $W/m^2 \cdot K$ )	0.24	Heating
Window ( $W/m^2 \cdot K$ )		1.5	Boiler	100% Efficient
Door ( $W/m^2 \cdot K$ )		1.5	Cooling	COP 3.9
Roof ( $W/m^2 \cdot K$ )		0.15	LED	-
Floor ( $W/m^2 \cdot K$ )		0.2	ETC	Replace LED

사와 선택 공사가 있다. 이 중 필수공사에는 고효율 냉난방장치, 고효율 보일러 고효율 조명인 LED 교체 등이 포함된다. 기존의 액티브 요소들을 고효율로 교체하는 것이 에너지 절감에 영향을 미친다. 이에 따라 본 연구는 냉난방과 급탕의 경우 용량은 기존과 동일하고 효율이 좋은 것으로 교체하는 것으로 변수 설정하였다. 난방의 경우 COP 4.3으로, 냉방의 경우 COP 3.9로, 급탕의 경우 100% 효율로 설정하였다(그린리모델링창조센터, 2024). 조명설비의 경우에는 기존 LED 등은 유지하였으며 LED가 아닌 조명은 LED로 100% 교체하는 것으로 설정하였다.

### 3.2 요소 조합

패시브와 액티브의 변수를 바탕으로 한 그린리모델링 적용 요소기술의 조합의 구성단위는 단열, 창호, 기계설비, 조명으로 한다. Model 1~3은 Table 5와 같이 요소기술을 조합하였다. 조합 1~6은 2가지의 요소의 조합을 말하고, 조합 7~10은 3가지의 요소 조합을 말한다. 이 조합에서 우선순위를 상위 3개만을 도출하여 분석하고자 한다. 다만, Model 3의 경우 조명설비의 교체가 그린리모델링 시에 필요하지 않아 조명설비의 요소를 제외한 우선순위의 상위 3개를 도출하였다.

## 4. 에너지 성능분석 결과

Model 1과 Model 2의 경우 각각 1980년대, 1990년대 준공기준을 가지며 요소 조합 10개를 각각 적용한 시뮬레이션 결과는 Table 6, Fig. 1과 같다. 그린리모델링 전 1차 에너지소요량의 경우 Model 1은 144.4kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 2는 144.0kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 1과 Model 2의 1차 에너지소요량 절감률을 바탕으로 분석한 결과, 단열성능 개선 및 기계설비의 교체가 포함된 경우에 높은 절감률을 나타냄을 확인하였다. 이는 준공 당시 열관류율이 현재 기준에 비해 떨어졌으며 기계설비의 효율 또한 낮은 것으로 판단된다. 우선순위를 도출한 결과, Table 7과 같이 상위 3개의 우선순위는 조합 7(27.3%, 15.6%) > 조합 9(23.2%, 12.8%) > 조합 2(23.1%, 12.7%)의 순으로 나타났다.

Model 3의 경우 2000년대 준공기준을 가지며 요소 조합 항목 10개를 각각 적용한 결과는 Table 6, Fig. 1과 같다. Model 3의 그린리모델링 전 1차 에너지소요량은 139.3kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 3의 1차 에너지 절감률을 바탕으로 분석한 결과, Table 7과 같이 창호의 성능 개선이 포함된 경우에 높은 절감률을 나타냄을 확인하였다. 이는 준공 당시 열관류율이 현재 기준에 비해 떨어졌으며 Model 1, 2에

**Table 5.** Combination of Elements

DIV.	Number of Element Combinations	Combination of Elements
Combination 1	2	Insulation + Window
Combination 2		Insulation + Mechanical
Combination 3		Insulation + Lighting
Combination 4		Window + Mechanical
Combination 5		Window + Lighting
Combination 6		Heating & Cooling + Lighting
Combination 7	3	Insulation + Window + Mechanical
Combination 8		Insulation + Window + Lighting
Combination 9		Insulation + Mechanical+ Lighting
Combination 10		Window + Mechanical + Lighting

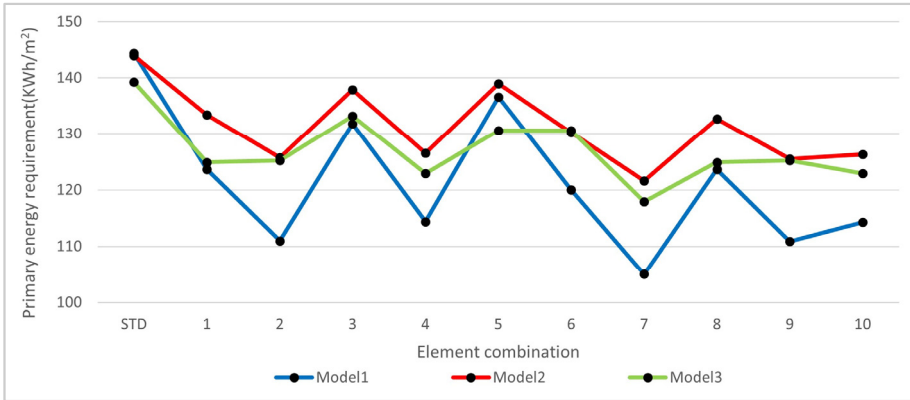
**Table 6.** Result of Element Combination

		Primary Energy Requirement (Unit: kWh/m <sup>2</sup> )									
DIV.	STD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Model 1	144.4	123.6	111.0	131.8	114.4	136.6	120.0	105.0	123.6	110.9	114.3
Model 2	144.0	133.4	125.7	137.9	126.5	139.0	130.2	121.6	132.7	125.5	126.3
Model 3	139.3	124.9	125.2	133.2	122.9	130.6	130.6	117.9	124.9	125.2	122.9

**Table 7.** Priority of Element Combination

Priority	Model 1 (1980s)	Model 2 (1990s)	Model 3 (2000s)
1	Combination 7 (27.3%)*	Combination 7 (15.6%)*	Combination 7 (15.4%)*
2	Combination 9 (23.2%)*	Combination 9 (12.8%)*	Combination 4 (11.8%)*
3	Combination 2 (23.1%)*	Combination 2 (12.7%)*	Combination 1 (10.3%)*

Note: ( ) \* indicated rate of reduction



**Fig. 1.** Result of Model 1~3 Element Combination

비해서도 떨어져 1차 에너지소요량 절감률에 따른 우선순위 도출에 있어서 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서, 우선순위를 도출 한 결과는 Table 7 와 같으며 상위 3개의 우선순위는 조합 7(15.4%) > 조합 4(11.8%) > 조합 1(10.3%)의 순으로 나타났다.

## 5. 결론

본 연구는 노후 건축물의 그린리모델링 시 요소기술의 조합에 따른 우선순위를 도출하고자 하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) Model 1~3의 1차 에너지소요량 분석 결과, 그 린리모델링 전 1차 에너지소요량은 각각 144.4 kWh/m<sup>2</sup>, 144.0kWh/m<sup>2</sup>, 139.3kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다. Model 1~3의 우선순위 도출 결과, Model 1 과 Model 2의 경우 조합 7(27.3%, 15.6%) > 조합 9(23.2%, 12.8%) > 조합 2(23.1%, 12.7%)의 순으로, Model 3의 경우 조합 7(15.4%) > 조합 4(11.8%) > 조합 1(10.3%)의 순으로 1차 에너지소요량 절감이 크게 나타났다.
- (2) Model 1~3의 경우 현재 기준 각각 40년 이상, 30년 이상, 20년 이상 경과 된 건물로, 그린리모

모델링 시에는 Model 1과 Model 2의 경우 단일성  
능 개선과 기계설비의 교체를 우선 고려해야 하  
고, Model 3의 경우 창호의 성능 개선을 선행해  
야 필수공사의 효율성 측면에서 유리하다.

본 연구는 도서관의 평균값에 기반한 Model을 설  
정하였기에 오차의 발생에 대한 개선이 필요하며,  
그린리모델링 공사 중 필수공사에 해당하는 요소기  
술만을 수행하였다. 추후에는 선택공사에 대한 분석  
을 반영하여 도서관의 그린리모델링 가이드라인을  
도출할 수 있을 것으로 사료 된다.

## 참고문헌

1. 관계부처합동(2023), 「국가 탄소중립 녹색성장 기본  
계획(안)」, 세종.
2. 국토교통부(2021), 「국토교통 탄소중립 로드맵」, 세종.
3. 국토교통부(2023a), 「건축물 에너지 절감설계 기준」,  
세종.
4. 국토교통부(2023b), 「공공건축물 그린리모델링 지  
원사업 가이드라인」, 세종.
5. 그린리모델링창조센터(2024.3.29), 「2024년 공공건  
축물 그린리모델링 종합사업지원」, 경상남도.
6. 김성민(2017), “기존 건축물 그린리모델링 적용 요소  
기술 및 에너지 절감효과 분석”, 「한국건축 친환경설  
비학회 논문집」, 11(3): 238~245.
7. 산업통상자원부(2013), 「공공기관 에너지융합리  
화추진에 관한 규정」, 서울.
8. 장우권·박성우·여진원(2014), “공공도서관 발전방  
안에 관한 연구”, 「한국문헌정보학회지」, 48(1): 345~  
367.
9. 최선우·김지연·박효순·김준태(2012), “사무소 건물  
의 외피 리모델링에 따른 에너지 절감효과 및 경제성  
분석”, 「KIEAE Journal」, 12(6): 85~92.
10. 최준우·이종건(2021), “그린리모델링 사전의사결정  
지원도구 개발을 위한 공공건축물 유형별 표준모델  
구축”, 「KIEAE Journal」, 21(3): 17~23.
11. Chung, M. H., S. E. Kim, Y. W. Song, and J. C. Park  
(2023), “Strategies for Improving Impact of Energy  
Renovation: A Case Study on Korean Daycare  
Centers”, *Energy and Buildings*, 284: 12844.
12. Waddictor, D. A., E. Fuentes, L. Sisó, J. Salom, B.  
Favre, C. Jiménez and M. Azar (2016), “Climate  
Change and Building Aging Impact on Building  
Energy Performance and Mitigation Measures  
Application: A Case Study in Turin, Northern  
Italy”, *Journal of Building and Environment*, 102:  
13~25.
13. 국가도서관 통계시스템, 2024.6.7 읽음. [https://www.  
libsta.go.kr](https://www.libsta.go.kr)

## 요약

2015년 파리 기후 협약을 시작으로 나라별로 국가 온실가스 감축 목표를 제시하고 실행하기로 합의하였다. 이에 따라 대한민국 정부는 건물 부문에서 온실가스 배출량 32.8% 감축을 목표로 설정하였다. 이를 위해 국토교통부는 2020년부터 공공건축물 그린리모델링 사업을 통해 노후 건축물의 에너지효율 강화를 추진하고 있다. 노후 건축물의 에너지 절감을 위한 그린리모델링 공사에는 패시브 및 액티브 요소의 필수공사와 선택공사가 있다. 그러나 현재는 패시브와 액티브 시스템의 통합설계가 부족하며 건축물의 노후도에 따른 적용 요소들의 우선순위에 대한 기준이 없는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 노후 건축물 중 많은 사람들의 이용이 가능하며 에너지 사용량이 높을 것으로 예상되는 중부 2지역에 위치한 공공도서관 6개소를 선정하였다. 공공도서관은 준공년도에 따라 Model 1~3으로 구분하였으며 각각 1980년대, 1990년대, 2000년대 준공된 건물이다. Model 1~3의 ECO2-OD를 통한 시뮬레이션 분석으로 1차 에너지소요량 절감률에 따른 상위 3개의 우선순위를 도출했다.

**주제어:** 노후 건축물, 공공도서관, 그린리모델링, 패시브 및 액티브 요소, 우선순위