24시간 에너지소비형 공공건축물 에너지 소비량 분석 및 리모델링 개선효과에 관한 연구 - 소방업무시설을 중심으로 -

유지현¹ · 조성원² · 이승림² · 조가영^{3†}

¹서울기술연구원 스마트도시연구실, 연구원

²(주)네드, 주임

³서울기술연구원 스마트도시연구실, 수석연구원

A Case Study of the 24hours Public Building in Relation to Energy Consumption and Improvements of Remodeling - Focused on Fire Station Facilities -

Yoo Jihyun¹ · Cho Sungwon² · Lee Seungrim² · Cho Ga Young^{3†}

¹Research Specialist, Department of the Smart City Research, Seoul Institute of Technology

²Assistant Manager, NED Corporation

³Principal Researcher, Department of the Smart City Research, Seoul Institute of Technology

[†]Corresponding author: zec@sit.re.kr

Abstract

Building energy consumption in Korea accounts for 20% of the total energy consumption, and this figure is on a continuous increase. About 71% of the buildings in Seoul are over 20 years old, indicating that the government should present a plan to activate remodeling for existing public buildings. Business facilities account for most of the public buildings managed by Seoul, and as a result of examining the distribution of the total floor area, it was found to be the most suitable for remodeling. Most of these business facilities are fire station facilities, and as fire station facilities consume energy 24 hours, great improvement can be expected when remodeling old buildings. Most of the energy consumption patterns of fire departments showed similar patterns in winter and summer. However, there was no significant difference in energy consumption between the fire stations in the 80s and the fire stations in the 00s. Therefore, Field measurements were carried out, and the reason why there was no difference in energy consumption was found through indoor environment and PMV results, indicating that the older the building, the colder it is in the winter. It is judged that the amount of energy used is limited according to the guidelines of the government and local governments, and through this, the indoor environment is maintained differently depending on the age while consuming a similar amount of energy. In addition, the improvement effect of remodeling was analyzed through the ECO2 program for buildings in the 1980s. It is expected to cost about 1.9 billion won to make the energy efficiency rating 1++, indicating the need to compare it with a dynamic simulation tool that can consider the behavior and patterns of occupants in the future.

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.42, No.1, pp.23-31, February 2022
<https://doi.org/10.7836/kjes.2022.42.1.023>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 30 October 2021

Revised: 5 November 2021

Accepted: 9 November 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Keywords: 제로에너지빌딩(Zero Energy Building), 에너지사용량(Energy Consumption), 리모델링(Remodeling), 기존 공공건축물(Existing Public Building), 소방업무시설(Fire station Facilities)

1. 연구의 배경 및 목적

UN 산하 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)¹⁾ 현 수준의 온실가스 배출량을 계속해서 유지하면 2021 이후 지구기온이 파리기후협약 목표인 1.5°C를 넘길 것이라고 예측했다. 전 세계국가들과 대한민국은 넷제로(Net-Zero)를 선언하고 정치적 합의가 증가하면서, 2050 탄소 중립²⁾에 대한 긍정적인 전망이 예상되지만 구체적인 방안은 미비하다.

국내의 건축에너지소비량은 전체 에너지 소비량의 20%를 차지하고 있고, 서울시 전체에서는 온실 가스 배출이 68.2%로 아주 큰 비중을 차지하고 있다. 국토교통부(MOLIT, 2017)³⁾서는 건축물의 에너지절약설계 기준을 통해 신축건물 대상으로 냉·난방에너지 절감을 위해 외피에 대한 단열 기준을 계속 강화하였다. 하지만 국토교통 통계누리(Ministry Statics System, 2020)⁴⁾에 따르면 국내 건축물은 신축건축물이 12만호, 기존 건축물이 약 720만호로 기존 설계된 건축물이 대부분이며, 이는 정부에서 신축 건축물의 대상 강화뿐만 아니라, 기존 건축물의 리모델링 활성화 방안이 필요하다고 판단된다.

국내의 그린리모델링 실정은 2014년 5월에 개정된 녹색건축물 조성지원법⁵⁾을 통해 그린리모델링 활성화를 제 6장으로 신설하게 되었으며 13조 2항에서는 에너지효율이 낮은 건축물에 대해서는 공공건축물 에너지 소비량 보고 공개 및 성능사업을 요구하고 있다. 하지만 앞서 서술했듯이, 이런 그린 리모델링에 대한 프로토타입 모델은 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 서울시 노후 공공건축물 리모델링을 실시를 목표로 대상선정을 위한 서울시 관리하에 있는 공공건축물 대상으로 데이터 현황을 분석하였다. 공공건축물 중에서도 24시간 재실자가 근무해야하는 24시간 에너지소비형 건물인 소방업무시설을 분석하고 현장측정을 실시하였다. 본 연구 결과는 선행연구결과⁶⁾와 함께 서울시 노후 공공 건축물 에너지 진단 실태를 보여주고 추후 리모델링을 위한 의사결정 방안으로 활용하고자 한다.

2. 서울시 기존 공공건축물 데이터 현황

서론에서 서술했듯이, 본 연구에서는 서울시에서 관리하는 공공건축물 대상으로 그린리모델링에 적합한 대상을 찾기 위한 목표로 공공건축물의 데이터 현황 및 에너지사용량을 파악한 그림을 Fig. 1 ~ Fig. 3에 나타냈다. Fig. 1의 그림에서 알 수 있듯이, 서울시에 존재하는 20년 이상된 건물은 약 71%에 달하며, 이는 정부에서 신축 건축물의 외피 및 에너지감소에 대한 법안을 강화해야할 뿐만 아니라, 기존 공공건축물 대상으로 리모델링 활성화 방안을 제시해야한다는 것을 나타낸다.

Fig. 2는 녹색 건축물 조성지원법 시행령 제 9조2항에 의하여 5개의 시설(의료, 교육, 수련, 문화 및 집회, 업무)을 용도 구분으로 나누었고, 서울시 공공건축물의 분포(좌)와 시설별 연면적의 분포(우)를 나타낸다. 대부분

의 공공건축물들이 업무시설(office facilities)에 속해있음을 알 수 있었고, 연면적에서는 업무시설을 제외하고 4개의 시설은 건물별 연면적 편차가 크게 나타난 것을 알 수 있었다. 이로 인해 본 연구에서는 재실자들이 계속해서 상주하고 그린리모델링을 하기에 연면적이 적합한 업무시설 대상으로 초점을 맞추었다. Fig. 3에서 업무시설의 분포를 나타낸 결과 업무시설의 대부분을 소방서가 차지함을 알 수 있었다. 소방업무시설은 근무자들이 항상 출동준비를 위해 24시간 상주해야하는 24시간 에너지 소비형 건물군에 속하고, 대부분이 20년이상 노후화된 건물이며, 리모델링에 대한 사례가 없기에 본 연구에서는 소방업무시설에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

Fig. 1 Status of Existing Public Building in Seoul

Fig. 2 The Gross area data of samples by each facility

Fig. 3 Distribution of the number of office building

3. 소방 업무시설 에너지 데이터

3장에서는 소방업무시설 에너지 데이터를 분석하였다. Table 1은 분석한 소방업무시설을 나타내며, 서울시에 있는 24개소 소방서 중 에너지데이터를 수집할 수 있는 19개소의 소방서를 통해 분석하였다. 이 중 1978년 준공된 종로소방서(철거 후 새 건물 준공 중)를 제외하고 연면적은 3000 ~ 5000 m²의 범주에 대부분 존재한다. 추후 대상을 선정하여 그린리모델링을 진행한다면 소방서 건물의 우수모델로서 그린리모델링의 의사결정 방안으로 사용 가능할 것이라고 판단된다.

Table 1 Characteristics of the Fire station Facilities

Samples	Built year	Gross Area [m ²]	Samples	Built year	Gross Area [m ²]
Eunpyeong (A)	1994	3319	Yeongdeungpo (K)	1996	4403
Jongro (B)	1978	7463	Dongdaemun (L)	1998	4654
Seocho (C)	1979	4581	Yangchun (M)	1998	4945
Gangseo (D)	1983	4600	Jungrang (N)	1999	4687
Jungbu (E)	1984	3052	Dongjak (O)	2000	4562
Gangdong (F)	1985	3468	Gangnam (P)	2004	4859
Dobong (G)	1988	4794	Yongsan (Q)	2005	5305
Guro (H)	1992	4150	Seodaemun (R)	2006	4903
Nowon (I)	1993	4713	Mapo (S)	1988	4261
Songpa (J)	1995	4621			

Fig. 4 ~ Fig. 5는 소방서 의 2019년 월별 전기 및 가스에너지 사용량의 수치를 나타낸다. 마포소방서(S)의 데이터는 분기별 측정에 따라 Figs. 4와 5에 반영하지 않았고, Fig. 5에서의 서대문 소방서(R)의 월별 가스에너지 소비량은 이상치 때문에 반영하지않았다. Fig. 4의 월별 전기에너지 사용량에서 대부분의 소방서는 여름철 냉방기기 가동에 따른 6월 ~ 9월에 급등하는 이른바 W자형태를 띄는 것을 알 수 있었다. Fig. 5의 월별 가스사용량 수치는 중랑소방서의 5월 데이터를 제외하고 대부분 여름철엔 거의 사용하지 않고 겨울철에 사용량이 급증하는 같은 패턴을 띄고 있다.

Fig. 6는 2019년 연간 총 에너지소비량(가스와 전기)을 준공연도에 따른 세 분류(90년대 이전, 90년대, 2000년대 이후)로 나누어 분석하였다. 1990년대 이전 준공건물의 평균 에너지 소비량은 181 kWh/m²이었으며, 1990년대 건물은 125 kWh/m², 2000년대 건물은 183.9 kWh/m²으로 분석되었다. 90년대 이전 준공건물과 2000년대 이후 준공된 건물은 준공시기가 20년 가까이 차이남에도 불구하고 평균 연간 에너지소비량의 수치는 같음을 알 수 있었다. 이러한 원인을 분석하기 위해 4장에서는 월별 에너지 데이터가 빠져있는 80년대 소방서 1개소(마포,S)와, 90년대 소방서 1개소(동대문,L), 00년대 소방서 1개소(강남,P)대상으로 소방서 현장 측정을 통해 연구결과를 도출하였다.

Fig. 4 Monthly Electric energy consumption per area of Fire station Facilities

Fig. 5 Monthly gas energy consumption per area of Fire station Facilities

Fig. 6 Total energy consumption of all samples

4. 소방 업무시설 현장 측정 및 분석

4.1 소방 업무시설 현장측정

4장에서는 3장의 데이터 이상치를 분석하기 위해 현장 측정 및 분석을 진행하였다. 현장측정은 3개의 소방서 대상으로 진행하였고, 대상은 단열강화기준을 반영하기위해 80년대 준공건물 1개소(마포), 90년대 준공건물 1개소(동대문), 2000년대 준공건물(강남) 총 3개소에서 진행하였다. Table 2에서는 측정인자 및 시스템 개요를 나타내며, Fig. 7에서는 마포소방서(S)의 창틀에서의 열교현상을, Fig. 8에서는 강남소방서(P)와 동대문소방서(L)의 열교현상을 나타낸다. 80년대 건물인 마포소방서(S)에서는 창틀, 외벽 등 모든 부분에서 열교현상이 나타나는 반면에, 강남소방서 (P)및 동대문소방서(L)에서는 특수한 상황에서 열교현상이 나타났다. 강남소방서(P)의 숙직실에서는 숙직실 바로 아래 소방서의 거대한 주차시설 때문에 바닥 부분에서 열교현상이 나타났으며, 동대문 소방서(L)에서는 개·보수시 추가 준공된 연결부위의 벽체에서 열교 현상이 발생하였다.

각각의 소방서에서는 실내온도(좌)와 PMV(우)측정을 통해 실내 환경이 어떻게 유지되고 있는지를 분석하였고 이에 대한 데이터를 Fig. 9에 나타냈다. 마포소방서(S,1998)의 실내온도 평균은 21.7℃, 최대값은 22.1℃, 최소값은 18.5℃로 유지하였고, 강남소방서(P,2004)의 실내온도 평균은 25.8℃, 최대값은 26.4℃, 최소값은 25.2℃로 유지, 동대문소방서(L,1998)의 실내온도 평균은 25.2℃, 최대값은 25.9℃, 최소값은 24.5℃로 유지하였다. 또한 PMV 측정데이터로 분석해보았을 때, 마포소방서(S)의 PMV값은 0.8, 강남소방서(P)의 PMV값은 1.2, 동대문소방서(L)의 PMV 값은 1.2 수준으로 유지하는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 3장에서 나타났던 준공연도는 20년 가까이 차이하나 에너지소비량의 값이 비슷한 수준으로 나오는 이유를 알 수 있었다. 마포소방서(S)와 강남소방서(P)의 평균 실내온도차이는 같은 동절기임에도 불구하고 4℃ 이상의 차이를 보임으로 인해 에너지소비량은 비슷한 수준으로 나오는 것이라고 판단된다. 이는 업무용 시설에 대한 에너지소비량을 제한하는 정부 및 지자체의 지침에 따라 각 시설의 관리자가 냉·난방기기를 제어하는데, 준공연도가 오래된 소방서 같은 경우는 동절기 같은 경우 상대적으로 타 소방서보다 설정온도가 낮게 생활하고 있는 반면에, 강남소방서(P)는 동절기에 마포소방서(S)와 비교하여 따뜻하게 생활하여 준공연도 차이가 큼에도 불구하고 에너지 소비량이 같은 것 이라고 판단된다.

Table 2 Characteristics of the 3 samples

Samples	Measurement parameter	Built year	HVAC System	Renewable Energy
Mapo (S)	U-value,Indoor temperature,PMV	1988	GHP	O
Gangnam (P)	U-value,Indoor temperature,PMV	2004	EHP+FCU	O
Dongdaemun (L)	U-value,Indoor temperature,PMV	1998	EHP	O

Fig. 7 Heat bridge of Mapo (S) sample

Gangnam (P)

Dongdaemun (L)

Fig. 8 Heat bridge of Gangnam (S) and Dongdaemun (L) sample

Fig. 9 Indoor temperature & PMV of 3 samples

4.2 소방업무시설 리모델링 시 개선효과

현장측정을 진행했던 소방서 3개소 중 실내환경 쾌적도가 낮은 마포소방서 대상으로 리모델링시 개선효과 및 공사비 산출을 Table 3에 나타냈다. 해당 개선효과 및 공사비 산출은 ECO2프로그램을 통해 진행하였다. Model A는 패시브(외벽, 지붕, 창호)를 개선한 값이고, Model B는 Model A에 조명밀도를 개선하였으며, Model C는 Model A에 조명밀도와 신재생에너지를 추가한 개선 값을 나타낸다. 외피 및 조명밀도 개선 뿐만 아니라 신재생에너지 비면적 증가(Model C)를 통해 에너지효율등급을 1++, 에너지자립율을 20%, 연간 에너지소요량을 절반수준감소, 이산화탄소 배출량 40% 감소가 가능하고 리모델링 공사비는 19억정도로 예상된다. 리모델링 이전 에너지효율등급이 1등급으로 분석되어 해당 소방서가 19억정도를 들여 리모델링을 개선할 대상

인가라는 의문이 있을 수 있다. 하지만 앞서 4.1절에서 서술했듯이, 노후화된 건물의 에너지효율등급은 에너지 사용량 제한으로 인해 재실자가 실내쾌적도를 희생하여 근무함에 따라 단위면적당 에너지소비량이 도출되기 때문에 공공건축물 의 리모델링 대상 선정시 건축물 에너지효율등급으로 판단하는 것은 무리라고 판단된다. 추 후 ASHRAE에서 제시하는 재실자의 쾌적범위 내 근무환경 조성 시 동적 시뮬레이션 툴을 통해 리모델링 이전 의 에너지소요량과 리모델링 이후의 에너지소요량 값을 비교하여 공공건축물에 대한 리모델링의 중요성을 연구하고자 한다.

Table 3 Result of predicted energy consumption after Remodeling by ECO2

Parameter		Before remodeling	Predicted Energy consumption after remodeling		
			Model A	Model B	Model C
U-value [W/m ² K]	Wall	0.89	0.15	0.15	0.15
	Roof	0.73	0.15	0.15	0.15
	Window	2.9	1.50	1.50	1.50
Lighting Density [W/m ²]		7.87	7.87	5	5
Renewable Energy [m ²]		123.4	123.4	123.4	269
Energy Consumption [kWh/m ² ·yr]		224.4	183	156	123.3
Building Energy Efficiency		1	1+	1+	1++
Energy Self Sufficiency [%]		6	7.5	8.7	21
Estimated Construction Cost [billion won]		-	18.5	18.6	19

5. 결론

본 연구에서는 24시간 에너지소비형 건물의 에너지소비량 분석 및 ECO2 프로그램을 통한 리모델링 개선효과에 대하여 분석하였다. 연구결과에서는 최근 지어진 소방서와 20년전 지어진 소방서와의 에너지소비량이 큰 차이가 나지 않음을 확인하였고, 이는 정부 및 지자체의 지침에 따른 에너지소비량의 제한에 따라 오래된 건물일수록 재실자가 쾌적도를 포기하기 때문으로 나타났다. 공공건축물 리모델링 의사결정 판단시 대부분 ECO2 프로그램을 통해 의사결정을 진행하지만, 이는 재실자의 실내환경을 제대로 반영하지 못하므로, 재실자 행동 및 쾌적도를 탑재한 동적시뮬레이션 툴과도 비교·분석하여 공공건축물의 실무담당자와 의사결정을 진행할시 더 효과적으로 리모델링 활성화 방안을 논의할 것이라고 보인다. 따라서 추후 연구에서는 리모델링 대상을 결정한 후, 실제 에너지소비량을 일별로 측정하고, ECO2프로그램과 동적시뮬레이션 툴을 이용한 에너지소요량 값을 비교 분석하여 리모델링 효과를 예상하고 실제로 보급하여 24시간 에너지소비형 건물인 소방서 리모델링 모델 및 가이드라인을 보급할 계획이다.

후기

본 연구는 서울기술연구원의 연구비와 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : 2020-AD-005 서울시 공공건축물 에너지 사용량 데이터 기반 성능 평가, 20202020800360, 기존 공공건물 에너지 효율 진단 및 리모델링 기술개발 실증).

REFERENCES

1. IPCC, AR6 Climate Change: 2021: The physical Science Basis, 2021.
2. Seoul Metropolitan Government, 2050 Greenhouse Gas Reduction Strategy through Green New Deal, 2020. 7. <https://news.seoul.go.kr/env/environment/climate-energy/2050-ggrs>. last accessed on the 2nd March 2021.
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2018. <https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EA%B1%B4%EC%B6%95%EB%AC%BC%EC%9D%98%EC%97%90%EB%84%88%EC%A7%80%EC%A0%88%EC%95%BD%EC%84%A4%EA%B3%84%EA%B8%B0%EC%A4%80>. last accessed on the 7th March 2021.
4. Ministry Statics System, 2020. <https://stat.molit.go.kr/portal/main/portalMain.do>. last accessed on the 9th March 2020.
5. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2021. <https://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9/%EB%85%B9%EC%83%89%EA%B1%B4%EC%B6%95%EB%AC%BC%EC%A1%B0%EC%84%B1%EC%A7%80%EC%9B%90%EB%B2%95>. last accessed on the 7th March 2021.
6. Cho, G. Y. and Yoo, J., Energy-Performance Assessment for Remodeling Decision-Making based on Energy Usage Data of Existing Public Buildings in Seoul, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 41, No. 4, pp. 63-72, 2021.