

공동주택 에너지 소비 데이터의 계절별 대표 모니터링 기간 도출

Selection of Seasonal Representative Monitoring Periods for Multifamily Residential Energy Consumption Data

○장 예 은*

Jang, YeEun

김 예 원**

Kim, Yeweon

유 기 형***

Yu, Ki-Hyung

Abstract

This study derives representative monitoring periods for multi-family housing by analyzing hourly energy consumption data from 76 dwellings. Using a similarity-based optimization method, candidate intervals for heating, cooling, and lighting were generated and integrated to select season-wise 28-day representative windows. The selected windows cover 75-98% of dwellings with mean daily coverage rates of 44-73%, demonstrating that short-term monitoring can serve as a practical alternative to long-term campaigns. These findings provide a basis for efficient sampling strategies and may contribute to energy benchmarking and policy development in the residential building sector.

키워드: 공동주택, 에너지 소비 데이터, 대표 기간 도출, 유전알고리즘, 동적 시간 워핑

Keywords: Multifamily residential buildings, Energy consumption data, Representative period exploration, Genetic algorithm, Dynamic time warping

1. 서론

건물 부문은 전 세계 에너지 소비와 탄소배출의 주요 원천으로(IEA 2023), 국내 건물 수는 약 739만 동(국토교통부 2024), 주택의 경우 약 1987만 호(통계청 2025)에 달한다. 이처럼 방대한 건물군의 개별 에너지 프로필을 구축하기 위해서는 대표성을 갖춘 데이터를 효율적으로 샘플링하는 전략이 요구된다. 장기간의 고해상도 모니터링은 건물 분야에서 다양하게 시도되어 왔으나(Czetany et al. 2021), 센서 결함(Bourdeau et al. 2023), 데이터 손실(Venturi et al. 2023), 유지보수 부담(Connolly et al. 2023) 등 품질과 효율 측면 모두에서 제약이 있었다. 한편, 단기 모니터링 기반 벤치마킹을 시도한 연구들은 대표성을 담보하기가 어려웠다(Manu & Rysanek 2025). 최근 연구들은 대규모 모니터링 대신 대표성을 갖춘 단기 구간을 탐색하는 방향으로 발전하였으며(Piscitelli et al. 2024), 이 과정에서 클러스터링(Yang et al. 2025)이나 최적화 알고리즘과 같은 메타휴리스틱 기반 방법(Moka et al. 2024) 등이 활용되었다.

부분 모니터링을 통해 건물 에너지 소비 모형을 대표하기 위해서는 측정 시점과 연속 측정 기간을 함께 고려할 필요

가 있다. 예를 들어 난방·냉방은 연중 설비 운전 모드가 상이하므로 계절별 분할이 요구된다. 연속 측정 구간 또한 중요 요인으로, 짧은 기간의 경우 특정 요인의 영향을 크게 받을 우려가 있는 반면, 기간이 늘어날수록 비정상 또는 예외 구간의 포함으로 대표 패턴의 희석 가능성이 존재한다. 본 연구는 유전알고리즘(genetic algorithm, GA)을 활용하여 난방·냉방·조명 소비 데이터의 계절별 최적 대표 부분 집합을 찾고, 이에 기반한 단기 모니터링 전략을 제안한다.

2. 연구 수행

2.1 데이터 수집 및 전처리

모니터링 대상은 공동주택 76세대로, 난방·냉방·조명의 단위면적당 에너지 소비량[kWh/m²]을 1시간 해상도로 1년간(2017/6/1-2018/5/31) 수집하였다. 연간 데이터의 시계열을 계절(여름/가을/겨울/봄)로 분할하고 세대·계절·변수별로 시간대별 0-23시 평균 참조 프로필을 구성한 후, 결측 제거, 면적 정규화 등의 전처리를 수행하였다.

2.2 부분 후보 생성 및 유사도 계산

세대(世帶)·계절·변수별로 연속 기간 범위(가변 길이, 7-21일)를 정의하고, 다양한 시작시점과 길이를 갖는 38,000개 후보군의 적합도(fitness)를 유사도(similarity) 함수로 계산하였다. 유사도는 후보-참조 프로필 간 거리를 동적 시간 워핑(dynamic time warping, DTW) 기반으로 정의하였다. 이후 세대·계절·변수별 상위 10개 후보를 보존하였다.

2.3 계절별 최적 시점 도출

각 계절·변수에 대해 상위 10개 후보 구간을 통합하고, 이를 최대로 포함하는 단일 연속 28일 시점(window)을 선정, 같은 계절 내 변수들의 동시 계측 가능성을 검토하였다.

* 한국건설기술연구원 건축에너지연구본부 박사후연구원, 공학박사

** 한국건설기술연구원 건축에너지연구본부 수석연구원, 공학박사
(Corresponding author: Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building, yeweon.kim@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 건축에너지연구본부 연구위원, 공학박사
본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(20250190-001)의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 이 논문은 서울시 건물 온실가스 총량제 사업(20250386-001)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

3. 연구 결과

난방·냉방·조명 소비 데이터의 상위 10개 연속 구간 및 유사도 결과를 변수별로 요약하면 다음과 같다(Table 1).

Table 1. Summary of top 10 segments and similarity by end-use

End-use	Season	Optimal segment [d]	Similarity
H	S1	17.1	0.93
	S2	16.2	0.69
	S3	17.0	0.54
	S4	16.2	0.71
C	S1	15.5	0.96
	S2	14.8	1.00
	S3	15.8	1.00
	S4	15.8	1.00
L	S1	15.7	0.99
	S2	15.3	0.98
	S3	16.7	0.98
	S4	15.9	0.98

(Note) H: heating, C: cooling, L: lighting, S1: summer, S2: fall, S3: winter, S4: spring

이를 바탕으로 각 세대의 최적 후보 구간을 최대 28일 포함하는 28일 시점을 도출한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Season-wise optimal window and coverages

Season	End-use	Optimal window		coverage [%]	
		Start	End	Segment	Building
S1	H	2017/6/30	2017/7/27	47.8	81.3
	C	2017/8/2	2017/8/29	50.1	77.5
	L	2017/6/25	2017/7/22	44.3	75.0
S2	H	2017/10/10	2017/11/6	59.2	93.8
	C	2017/9/21	2017/10/18	70.2	95.0
	L	2017/10/2	2017/10/29	56.6	97.9
S3	H	2017/12/28	2018/1/24	55.1	87.5
	C	2018/1/7	2018/2/3	71.8	97.5
	L	2017/12/24	2018/1/20	56.1	85.4
S4	H	2018/4/1	2018/4/28	63.4	96.9
	C	2018/4/5	2018/5/2	73.0	92.5
	L	2018/3/30	2018/4/26	47.8	85.4

(Note) H: heating, C: cooling, L: lighting, S1: summer, S2: fall, S3: winter, S4: spring

가을과 봄은 통념과 달리 비냉난방 시기가 아닌, 오히려 집집마다 난방과 냉방이 혼합 운전되는 전환기로 분석된다. 따라서 단일 캠페인만으로도 다변량 데이터 확보가 가능하므로 현장 운영 효율이 높다. 여름은 냉방 단독 계측이 중심이지만 조명을 병행하면 부가적 가치를 얻을 수 있고, 겨울은 난방과 조명을 함께 계측할 수 있다.

4. 결론

본 연구는 주거 건물의 연간 에너지 소비 데이터를 활용하여 계절별 대표 연속 측정 기간을 도출하고, 이를 단기 계측 일정으로 제안하였다. 제안된 샘플링 접근법은 시간과 비용 부담을 줄이면서도 장기 계측을 대체할 수 있는 실용적 대안으로서, 건물 에너지 분야에서 신뢰성 있는 데이터 기반 의사결정을 뒷받침할 수 있다. 본 연구 결과는 향후 연도별 외기온도 변화를 반영한 캘린더 보정을 함께 수행함으로써, 단일 연도에 국한되지 않고 지속적으로 활용될 수 있는 확장성을 갖는다.

참고문헌

1. 국토교통부, 보도자료: 전국 건축물 총 7,391,084동 / 42억 27백만㎡, 2024
2. 통계청, 2024년 인구주택총조사 결과, 2025
3. Bourdeau, M., Waeytens, J., Aouani, N., Basset, P., & Nefzaoui, E. (2023). A wireless sensor network for residential building energy and indoor environmental quality monitoring: design, instrumentation, data analysis and feedback. *Sensors*, 23(12), 5580.
4. Connolly, R. E., Yu, Q., Wang, Z., Chen, Y. H., Liu, J. Z., Collier-Oxandale, A., ... & Zhu, Y. (2022). Long-term evaluation of a low-cost air sensor network for monitoring indoor and outdoor air quality at the community scale. *Science of The Total Environment*, 807, 150797.
5. Czétány, L., Vámos, V., Horváth, M., Szalay, Z., Mota-Babiloni, A., Deme-Bélafi, Z., & Csoknyai, T. (2021). Development of electricity consumption profiles of residential buildings based on smart meter data clustering. *Energy and Buildings*, 252, 111376.
6. Decorte, T., Mortier, S., Lembrechts, J. J., Meysman, F. J., Latré, S., Mannens, E., & Verdonck, T. (2024). Missing value imputation of wireless sensor data for environmental monitoring. *Sensors*, 24(8), 2416.
7. IEA (2023), Global CO2 emissions from buildings, including embodied emissions from new construction, 2022, International Energy Agency, Paris
8. Kim, J., Kwak, Y., Mun, S. H., & Huh, J. H. (2023). Imputation of missing values in residential building monitored data: Energy consumption, behavior, and environment information. *Building and Environment*, 245, 110919.
9. Manu, S., & Rysanek, A. (2025). A novel dataset of indoor environmental conditions in work-from-home settings. *Building and Environment*, 267, 112222.
10. Moka, S., Liquet, B., Zhu, H., & Muller, S. (2024). COMBSS: best subset selection via continuous optimization. *Statistics and Computing*, 34(2), 75.
11. Piscitelli, M. S., Giudice, R., & Capozzoli, A. (2024). A holistic time series-based energy benchmarking framework for applications in large stocks of buildings. *Applied Energy*, 357, 122550.
12. Venturi, E., Ochs, F., & Dermentzis, G. (2023). Identifying the influence of user behaviour on building energy consumption based on model-based analysis of in-situ monitoring data. *Journal of Building Engineering*, 64, 105717.
13. Yang, H., Ran, M., Feng, H., & Hou, D. (2025). K-PCD: A new clustering algorithm for building energy consumption time series analysis and predicting model accuracy improvement. *Applied Energy*, 377, 124584.