

# 다기준 의사결정방법을 이용한 공동주택 내 환기장치 종류별 효과분석\*

## Analysis of Ventilation Impact in Multi-Family Residential Building Utilizing TOPSIS Method

박경용\*\* · 김길태\*\*\* · 김태민\*\*\*\* · 지원길\*\*\*\*\* · 곽병창\*\*\*\*\*

Kyung-Yong Park\*\* · Gil-Tae Kim\*\*\* · Tae-Min Kim\*\*\*\* · Won-Gil Ji\*\*\*\*\* · Byung-Chang Kwag\*\*\*\*\*

### Abstract

With increasing airtight building construction aimed at reducing energy consumption, indoor relative humidity is increasing which can lead to condensation and moisture damage in multi-family residential buildings. This has led to increased implementation of mechanical ventilation to control indoor moisture. However mechanical ventilation systems consume additional energy and generate noise. As this leads to occupant discomfort, it is necessary to select a ventilation system that addresses the energy and noise issues. This research measured the ventilation performance, energy consumption, and noise level of mechanical ventilation devices in multi-family residential buildings. TOPSIS, a multi-criteria decision making technique was used to determine appropriate ventilation strategies in addition to occupant ventilation system operation preference.

**Keywords :** Ventilator, Multi-Criteria Decision Making, TOPSIS, Residential Building

### 1. 서 론

건축물의 에너지성능 향상을 위해 건물의 기밀성에 대한 요구성능이 향상됨에 따라, 실내외 기류의 교환이 줄어들어 실내 상대습도가 높아지고 있다(김길태 외, 2018). 건물 내 평균습도의 상승은 결로 및 곰팡이 발생으로 시설에 피해를 끼칠 뿐 아니라, 재실자의 쾌적 및 건강에도 악영향을 미친다(문현준,

2015; 송두삼, 2015). 높은 습도로 인한 결로를 방지하기 위해 단열보강, 열교차단 등 건축적(Passive) 개선방안과 더불어 건물에 설치되어 있는 기계환기장치를 활용하는 기계적(Active) 개선방안이 사용되고 있다. 국내 공동주택에서는 일반적으로 전열교환기(Energy Recovery Ventilator, ERV), 주방후드, 욕실 배기팬 등이 주요 기계환기장치로 사용되며(이병희·전주영, 2021), 습기제어 뿐 아니라 이산화

\*본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호: 22SHTD-B157018-03).

\*\*LH 토지주택연구원 건설안전연구실 연구원(주저자: kypark193@lh.or.kr)

\*\*\*LH 토지주택연구원 건설안전연구실 수석연구원

\*\*\*\*LH 토지주택연구원 지역균형발전센터 책임연구원

\*\*\*\*\*LH 토지주택연구원 건설안전연구실 연구원

\*\*\*\*\*LH 토지주택연구원 연구정책부 수석연구원(교신저자: byungchang.kwag@lh.or.kr)

탄소, 미세먼지 등 오염물질 제거에도 효과적이다 (Kaiser Ahmed et al., 2015).

그러나 이러한 기계환기장치는 기존의 자연환기 시스템에 비하여 추가적인 에너지를 소비하게 되고, 기계의 설비소음이 발생되어 실내 재실자에게 불쾌감을 유발하기도 한다(Wan et al., 2009). 국토교통부에서는 환기 시스템에서 발생하는 소음이 실내 중앙부에서 40dB 이하로 유지되도록 규정하고 있으며(국토교통부, 2021), 이에 따라, 적절한 실내공기질 유지와 소음 저감을 동시에 만족시키기 위하여 효과적인 환기전략의 선정이 필요하다.

일반적으로 건물 내 요구되는 환기량이 많을수록 더 큰 풍량의 팬을 사용하지만, 팬의 풍량이 커짐에 따라 에너지 소비와 설비소음이 함께 증가하기 때문에, 환기성과 에너지소비량 및 소음도는 상호간에 상충하는 의사결정 기준이 된다. 이러한 다기준 의사결정문제(Multi Criteria Decision Making, MCDM)의 합리적 의사결정을 위하여 본 연구에서는 TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) 기법을 사용하였다.

TOPSIS 기법은 서로 상충하는 의사결정 기준에 대하여 선호도와 우선순위를 계산하여 최적의 해를 선정하는 기법이며(Hwang and Yoon, 1981), 본 연구에서는 환기성능(환기소요시간), 에너지 소비량, 소음도의 최소화를 Positive Ideal Solution(PIS)로 설정하여 각 환기전략의 점수를 계산하였다. 계산된 TOPSIS 점수가 높은 전략일수록 부여된 가중치에 부합하는 최적의 환기전략이라고 판단할 수 있다 (김랑 외, 2020).

따라서 본 연구에서는 공동주택 내 설치되어있는 환기장치들(ERV, 주방후드, 욕실팬)의 환기성능과 에너지사용량 및 소음도를 측정하고, 다기준 의사결정 방법을 통해 사용자의 선호도별 환기전략의 효과를 도출하여 최적의 환기제어 방안을 도출하고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

본 연구는 일반적인 84type의 공동주택을 모사한 토지주택연구원 주택성능연구개발센터 내 실증실험동에서 실험을 진행하였다. 환기성능을 평가하기 위하여 주방에서 일정량의 습기를 발생시키고 환기장치 별 환기성과 에너지 소비량 및 소음도를 측정하였다. 측정에 사용된 환기장치는 일반 가정에 설치되는 ERV, 주방후드, 욕실 배기장치이다. 실험 조건별 사용한 장치 조합과 환기장치별 성능은 각각 Table 1, Table 2와 같다. 환기장치별 작동 모드가 다양하지만, 동등한 비교를 위하여 기기별 최대풍량 모드로 설정하여 실험을 수행하였다.

### 2.2 환기성능 및 에너지 측정

동일한 조건 하에 실험을 수행하기 위하여 각 전략별 환기성능 실험 시 1L의 물을 가열하여 증발시켰고, 이때 발생하는 수증기의 배출효과를 평가하기

**Table 1.** Set up the Cases According to Ventilator

Ventilator	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
ERV	X	O	X	O	O
Kitchen Hood	X	X	O	O	O
Bath Fan	X	X	X	X	O

**Table 2.** Description of the Ventilator

Category	ERV	Kitchen Hood	Bath Fan
Number of Fans	2	1	1
Speed Mode	High Speed (Max)	High Speed (Max)	Single Mode
Air Flow Rate [m <sup>3</sup> /h]	SA : 132.3 RA : 130.0	147.0	81.4
Power [W]	51	100	36

위해 절대습도의 변화량을 기준으로 환기장치 작동 시간을 측정했다. 본 연구에서는 선행연구에 따라, 결로방지 기준(9.92g/kg)과 공동주택의 겨울철 평균 절대습도(8g/kg)의 차이(1.92g/kg)를 목표 습도변화량으로 설정하고 습기 발생 후 변화량이 목표 점에 도달할때까지 소요된 시간을 측정하였다(곽병창 외, 2021). 또한, 각 환기장치의 소비전력(W)을 기반으로 해당 시간동안 각 전략별로 소요된 에너지 소비량(Wh)을 산정하였다.

### 2.3 소음도 측정

또 하나의 의사결정기준이 되는 소음도의 측정을 위하여 본 연구에서는 KS F ISO 16032에 따라 등가 소음도( $L_{eq}$ )를 사용하여 비교하였다(한국산업표준, 2021). 등가소음도는 환기장치 작동 시 측정공간의 5개의 마이크를 설치한 후 평균 소음도를 측정하고, Case 1의 소요 시간에 대하여 등가소음을 계산한 값이다. 소음도 계산 공식은 공식 (1)과 같다. 이때,  $T$ 는 소음 측정시간이며,  $P_0$ 는 기준 음압레벨이다.

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad (1)$$

### 2.4 TOPSIS 분석

본 연구에서는 환기장치 운영기준별 중요도를 분석하기위해 다기준 의사결정 방법인 TOPSIS 분석을 수행하였다. Fig. 1은 TOPSIS 분석 기법의 수행절차를 나타낸다. TOPSIS의 개념은 각 목적함수의 PIS와

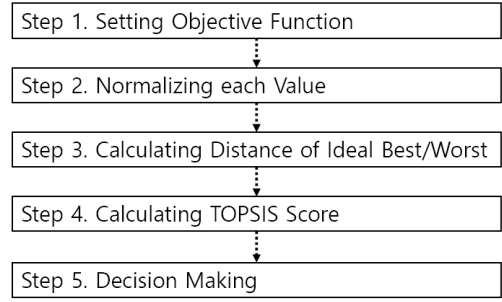


Fig. 1. Process of TOPSIS Method

유클리드 거리가 가장 가깝고, NIS(Negative Ideal Solution)와 가장 먼 거리의 대안을 찾는 기법이기 때문에, 본 연구에서는 환기성능의 최대(환기소요 시간 최소), 에너지 소비량의 최소, 등가소음도의 최소를 PIS로, 그 반대를 NIS로 설정하여 분석을 수행하였다. 이 과정에서 재실자의 선호도에 따라 각 기준의 가중치를 반영할 수 있는데, 동등한 가중치 (1:1:1)와 성능 중심관점(2:1:1), 에너지 절감관점 (1:2:1), 소음 저감관점(1:1:2)으로 가중치를 설정하여 비교하였다.

## 3. 결과 및 분석

### 3.1 측정결과

실험 결과는 Table 3과 같다. 환기성능 측면에서 봤을 때, 건물 내 침기로만 습기를 배출하는 Case 1은 약 3시간 후에 목표 습도변화량에 도달하였으나, 건물 내 모든 환기장치를 작동시킨 Case 5는 약 31분 후에 도달하여 본 연구에서 검토한 환기장치 운전

Table 3. Results of the measurement

Case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Criterion					
Time [h:mm:ss]	2:58:20	1:25:40	0:51:50	0:39:30	0:31:10
Energy [Wh]	0	74.7	105	99.4	99.2
$L_{eq}$ [dB(A)]	22	23	41	36	34

전략 중 가장 환기성능이 좋은 것으로 확인되었다.

에너지 소비량 관점에서는 환기장치를 작동시키지 않은 Case 1을 제외하고 Case 2가 74.7Wh로 가장 작은 에너지를 소비하였으며, 주방후드만 작동시킨 Case 3가 105Wh로 가장 많은 에너지를 소비하였다. Case 4-5 또한 주방후드를 작동시킨 전략이지만, 풍량의 증대로 환기장치 가동시간이 상대적으로 짧기 때문에 소요되는 에너지량은 더 적게 나타났다.

소음도 관점에서 또한 환기장치를 가동시키지 않은 Case 1에서는 배경소음인 22dB(A)만 측정되었으며, 이를 제외한 경우 ERV만 작동시킨 Case 2가 23dB(A)로 가장 작은 소음이 발생한 것으로 확인된

다. 에너지 소비량과 마찬가지로, Case 1의 시간에 대한 등가소음도 계산 결과 주방후드만 작동시킨 Case 3에 비해 Case 4-5는 설비 작동시간의 단축으로 더 작은 측정값이 나타났다.

### 3.2 분석결과

해당 결과를 바탕으로 기준별 가중치를 다르게 하여 TOPSIS 기법으로 분석하였다. 가중치는 시간, 에너지, 소음 순으로 입력하였고, 우선순위가 있다고 가정하는 가중치는 2로 설정하였으며, 각 가중치별 TOPSIS 분석 결과는 Table 4와 같다.

서로 동등한 가중치일 경우, Case 5가 TOPSIS 점수 0.56으로 가장 높게 나왔고, Case 1이 0.47로 가

**Table 4.** Results of the TOPSIS Analysis Depend on Weight Factor

Wight Factor (Time : Energy : Noise)	Rank	Rank	TOPSIS Score
1 : 1 : 1	1	Case 5	0.56
	2	Case 4	0.54
	3	Case 2	0.53
	4	Case 3	0.49
	5	Case 1	0.47
Time Saving 2 : 1 : 1	1	Case 5	0.72
	2	Case 4	0.70
	3	Case 3	0.65
	4	Case 2	0.59
	5	Case 1	0.31
Energy Saving 1 : 2 : 1	1	Case 1	0.62
	2	Case 2	0.42
	3	Case 5	0.40
	4	Case 4	0.39
	5	Case 3	0.35
Noise Saving 1 : 1 : 2	1	Case 2	0.59
	2	Case 5	0.54
	3	Case 1	0.52
	4	Case 4	0.51
	5	Case 3	0.44

장 작게 나왔다. 이는, 환기성능·에너지·소음을 동등한 기준으로 봤을 때, 모든 환기장치를 작동하여 환기시간을 단축시키는 것이 가장 효과적인 전략임을 나타낸다. 특히, Case 2와 Case 3을 비교했을 때, Case 3이 환기성능은 2배 이상 좋게 나타났으나, 에너지와 소음 측면에서 ERV를 작동하는 Case 2가 목적함수에 더 가깝게 나왔기 때문에 Case 2가 상대적으로 더 적합한 환기전략으로 도출되었다.

환기성능 관점(Time Saving)과 에너지절약 관점(Energy Saving)의 경우 각각 측정된 기준값이 목적함수에 가까울수록 TOPSIS 점수가 높게 나타났다. 환기성능 기준으로는 모든 환기장치를 작동한 Case 5가, 에너지절약 기준으로는 침기로 습기를 배출한 Case 1이 가장 적합한 환기전략으로 도출되었다.

소음저감 관점(Noise Saving) 전략에서는 앞선 두 기준과 달리 ERV를 작동시키는 Case 2가 TOPSIS 점수 0.59로 가장 적합한 환기전략으로 나타났으며, 모든 환기장치를 작동한 Case 5가 0.54로 그 다음에 위치했다. 이는, 소음도 자체로는 Case 1이 약간 더 우위에 있으나, 환기성능 및 에너지 사용량의 기여도를 검토했을 때, ERV만 작동하여 에너지 절감 및 환기성능 향상 혹은 모든 장치를 작동하여 환기시간 자체를 줄이는 것이 더 유리한 전략임을 의미한다.

따라서, 실험 결과를 분석했을 때, 일반적인 경우 모든 환기장치를 작동하는 환기전략이 가장 효과적이지만, 사용자의 관점에 따라서 그 우선순위가 다소 달라짐을 확인했다. 환기성능의 관점에서는 모든 환기장치를 작동하는 것이 유리하며, 에너지 관점에서는 침기로서 배출하는 것과, 소음관점에서는 ERV를 작동하는 것이 가장 유리함을 분석을 통해 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 국내 공동주택에 설치된 환기장치 작동 시 서로 상충되는 운영기준인 환기성능, 에너지, 소음 등에 대한 적절한 환기전략 도출을 위해 실험 및 분석을 수행하였다.

공동주택 내 설치되어있는 ERV, 주방후드, 욕실 배기팬을 활용해 일정량의 습기를 제거하기 위한 환기성능, 에너지 소비량, 소음도를 측정하고 비교하였다. 실험 결과, 환기장치를 모두 작동한 Case 5에서 가장 양호한 환기성능이 나타났으나, 에너지 소비 및 소음도 측면에서는 환기장치를 아무것도 작동하지 않은 Case 1이 가장 양호하게 나타났다.

실험 결과를 바탕으로, 서로 상충되는 기준들 간 합리적인 환기전략을 찾기위해, 다기준 의사결정 기법인 TOPSIS 분석을 수행하였다. 그 과정에서 환기장치 사용자의 선호도를 가정하여 각 기준별로 가중치를 설정하고 함께 분석하였다. 결과적으로, 사용자 선호도가 동등할 경우 모든 환기장치를 작동하는 Case 5가 가장 적합한 환기전략으로 나타났으나, 환기성능·에너지 저감·소음 저감 측면에서 선호도를 다르게 설정하면 각 경우마다 서로 다른 적합한 환기전략이 도출되었다.

종합적으로, 본 연구의 의의는 크게 다음과 같다.

- (1) 서로 상충되는 환기장치 운영기준 중 우선도가 높은 전략에 대하여 정량화하였다. 그 결과, 동등한 가중치에서 Case 5가 TOPSIS Score 0.59로 가장 효과적인 환기전략으로 도출되었으며, 개인의 선호도를 반영하였을 때 환기성능(환기 소요시간) 기준 Case 5, 에너지저감 기준 Case 1, 소음저감 기준 Case 2가 각각 가장 효과적인 환기전략으로 도출되었다.
- (2) 서로 상충되는 환기장치 운영기준 중 우선도가 높은 전략에 대하여 정량화 하였다. 이로써 각

정성적인 환기전략의 적합성에 대하여 정량적 비교를 수행하여 환기장치 사용자의 선호도에 따라 적절한 환기전략을 제시할 수 있다. 환기장치의 사용자는 개인의 배경지식, 경제성, 건강 상태 등 다양한 이유로 환기장치 운영기준의 선호도가 상이하기 때문에, 개인마다 각자의 환경에 따라 선호하는 환기전략이 다르지만, 본 연구의 수행방법에 따라 개인별 최적화된 환기전략을 제시할 수 있다.

- (3) 반복되는 ON/OFF 제어 등 복잡한 환기전략에 대하여 정량화된 평가방법을 제시한다. 제어된 환경에서의 실험을 제외하면, 실제 환기장치는 ON/OFF가 반복되는 등 다양한 형태로 운영된다. 이때 제어 전반에 대하여 적정 환기전략이 무엇인지 찾기 위한 평가방법으로써 본 연구의 방법론이 효과적일 것으로 사료된다.

실험 및 분석 결과에서 나타나듯이, 개인별 선호도에 따라 제시되는 적정 환기전략이 서로 다르다. 본 연구에서는 각 기준별 선호도를 명확히 정의할 수 없는 한계로 인해, 주요 제어관점이 되는 기준의 가중치를 2로 설정하고 분석하였다. 그러나, 개인마다 선호하는 가중치는 단순히 2배 차이로 가정할 수 없기 때문에, 선호도를 정량화 할 수 있는 후속연구가 필요하다. 이를 통해 본 연구에서의 한계적인 기준별 가중치 설정에 대한 보완이 가능할 것으로 사료된다.

또한, 본 연구에서 수행한 실험들은 환기장치의 단일 운영에 국한되어있다. 그러나, 환기장치의 운전 방식, 환기장치의 복합가동 등 현실에서는 더 다양한 형태로 환기장치를 운영하기 때문에, 다양한 환

기전략에 대한 효과 및 우선순위 분석이 추가로 필요하다.

## 참고문헌

1. 곽병창·김태민·김길태·지원길·박경용(2021), "공동주택 세대 습기 제어를 위한 환기 시스템 운영 전략 효과 연구", 「한국건축환경설비학회 논문집」, 15(5): 572~585.
2. 국토교통부(2021), 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」.
3. 김길태·전주영·김선동·최기삼·박기영(2018), 「공동주택 공용 기계 루프팬 성능평가 및 적용방안 연구」, 토지주택연구원.
4. 김량·김선호·이예린·문현준(2020), "다기준 의사결정기법과 기계학습을 이용한 가변형 차양의 최적 형태 도출", 「대한건축학회 학술대회」, 27(4): 511~521.
5. 문현준(2015), "건강환경 구현을 위한 건축물에서의 습도제어", 「대한건축학회 건축」, 59(2): 53~59.
6. 송두삼(2015), "공동주택에서 수증기 발생량 및 결로 방지를 위한 환기전략", 「대한건축학회 건축」, 59(9): 27~31.
7. 이병희·전주영(2021), "공동주택 환기설비시스템 기술 동향", 「대한설비공학회 설비저널」, 50(3): 36~43.
8. 한국산업표준(2021), 「건축설비 소음 측정 방법」.
9. Hwang, C. L. and K. Yoon (1981), *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*, NY: Springer-Verlag.
10. Kaiser Ahmed, Jarek Kurnitski and Piia Sormunen (2015), "Demand Controlled Ventilation Indoor Climate and Energy Performance in a High Performance Building with Air Flow Rate Controlled Chilled Beams", *Energy and Buildings*, 109: 115~126.
11. Wan, J. W., W. J. Zhang and W. M. Zhang (2009), "An Energy-Efficient Air-Conditioning System with an Exhaust Fan Integrated with a Supply Fan", *Energy and Buildings*, 41(12): 1299~1305.

---

요 약

---

건축물의 에너지소비를 줄이기 위해 건물의 기밀도가 지속적으로 향상되고 있으며, 이로 인해 건물 내부의 평균적인 상대습도가 높아지고 있다. 평균 상대습도가 높아짐에 따라 단열 취약부 및 습기발생 행위 시 결로가 발생하며, 습기제어를 위하여 기계 환기장치의 중요성이 향상되고 있다. 그러나, 기계환기장치는 추가적인 에너지 소비 및 소음 발생으로 재실자의 불쾌감을 유발하기 때문에, 서로 상충되는 기준에 대한 적절한 환기전략 선정이 필요하다. 본 연구에서는 공동주택 내 기계환기장치의 환기성능, 에너지 소비량, 소음도를 측정하여, 서로 상충하는 운영기준 중 우선순위에 있는 환기전략을 찾기위해 다기준 의사결정기법인 TOPSIS를 이용하였다. 또한, 재실자의 환기장치 운영기준 선호도에 따라 달라지는 적절 환기전략을 도출하였으며, 향후 AI 기술을 활용한 재실자 맞춤형 환기전략 제시가 가능할 것으로 사료된다.

**주제어** : 환기장치, 다기준 의사결정방법, TOPSIS, 공동주택

---