

계단식 공동주택 방연풍속 실효성에 대한 연구

A Study On Effectiveness of Prevent Smoke Backflow in Apartment

이광수¹ · 윤명오² · 이준^{3*}Kwang-Soo Lee¹, Myong-O Yoon², Jun Lee^{3*}¹Graduate student, Department of Fire Protection Engineering, University of Seoul, Republic of Korea²Professor, Department of Fire Protection Engineering, University of Seoul, Republic of Korea³Research Fellow, Transport Safety and Disaster Prevention. The Korea Transport Institute, Sejong, Republic of Korea

*Corresponding author: Jun Lee, junlee@koti.re.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to analyze the differential pressure and velocity to prevent smoke backflow of Stairways Apartment House fire, and verified the effectiveness of smoke velocity standards proposed by NFSC 501A. **Method:** The smoke control design of the stairways apartment house of the real model and the performance of the velocity to prevent smoke backflow according to the window opening conditions of the living room were analyzed using the CONTAM program.

Result: Although the differential pressure performance of the apartment's smoke control system was satisfactory, it was found that Performance of velocity to prevent smoke backflow did not come out according to the opening condition of the living room window. **Conclusion:** In the case of Stairways Apartment House, it is necessary to review the method of making exceptions to the 'velocity to prevent smoke backflow' standard required by the National Fire Safety Codes(NFSC 501A)

Keywords: Apartment House, Prevent Smoke, Backflow, Pressure difference, NFSC 501A

요약

연구목적: 본 연구는 계단식 공동주택의 화재 시 차압 및 방연풍속 특성을 분석하고, 화재안전기준에서 제시하고 있는 방연풍속 기준의 실효성을 검증하는 것을 목적으로 한다. **연구방법:** 실제 모델의 계단식 공동주택의 제연설계 및 거실의 창문 개방조건에 따른 방연풍속의 성능을 CONTAM 프로그램을 이용하여 분석하였다. **연구결과:** 공동주택 제연설비의 차압성능은 만족하더라도, 방연풍속 성능은 거실창문의 개방조건에 따라 방연풍속의 성능이 나오지 않음을 알 수 있었다. **결론:** 계단식 공동주택의 경우 화재안전기준에서 요구하는 '방연풍속' 기준에 대해 예외를 두는 방안의 검토가 필요하다.

핵심용어: 공동주택, 방연, 풍속, 차압, NFSC 501A

Received | 1 May, 2020

Revised | 31 December, 2020

Accepted | 18 January, 2021

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Society of Disaster Information All rights reserved.

서론

주거공간은 사람이 가장 많은 시간을 보내는 장소의 하나로서, 화재 시 피난활동이 가장 취약한 야간 및 취침활동이 이루어지는 공간이다. 우리나라는 공동주택이 차지하는 비율이 상당히 높은 국가로서 근래에는 생활수준의 향상과 각 세대별 독립성 유지를 위해 계단식

공동주택으로 많이 건설 되고 있는 실정이다.

국내에서는 화재 시 재실자의 피난 경로 내 연기침입 방지를 위해 “급기가압제연설비”를 통한 연기제어를 하고 있으며, 피난경로인 특별피난계단실 및 부속실에 대한 연기로부터의 안전을 위해 화재안전기준인 NFSC 501A의 “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준”을 적용하고 있다.

공동주택의 제연구역은, 승강장과 특별피난계단 부속실의 겸용부분을 계단실과 별도 구획한 경우 겸용으로 할 수 있는 완화된 건축법 적용으로, “부속실 단독 제연방식”을 많이 적용하고 있으며, 제연 구역 내 연기침입을 방지하기 위해 “차압과 방연풍속”의 기준을 두고 있다.

여기서, 차압은 부속실과 화재실(세대거실)의 차압으로 연기의 침입을 방지하며 NFSC 501A 기준에서는 40Pa 이상(SP설치 시 12.5Pa 이상)을, 방연풍속은 재실자가 피난을 위해 현관문을 일시적으로 개방하는 경우 부속실에서 현관문 쪽으로의 빠른 기류형성을 이용해 연기의 침입을 방지하는 역할을 하며, 공동주택의 경우 상기와 같이 부속실과 승강장을 겸용으로 하고 있어 세대의 거실이 면하는 경우 0.7m/s 이상을 요구하고 있다.

이중 방연풍속은, 현관문이 개방될 시 급기구에서 나오는 방연풍량이 세대 내 유입될 때 이와 동일한 양의 공기량이 배출되지 않으면 세대 내부기압의 상승으로 부속실로 역 차압 현상이 발생하여 화재 시 연기가 피난경로로 침입할 수 밖에 없다. 이런 세대 내 유입되는 방연풍량의 배출을 위해, 일반건물은 “유입공기배출장치” 설치기준을 두어 역 차압 현상을 방지하고 있으나, 공동주택의 경우에는 예외규정을 두어 면제를 해주고 있다. 따라서 공동주택은 제연설비의 설치 후 방연풍속 성능을 측정할 때에 이런 “유입공기배출장치” 대신 세대 내 거실의 창문을 열어놓고 측정을 하고 있는 실정이다. 그러나 화재는 세대 내의 온도조건 및 생활여건에 따라 다양한 거실창문의 상태에서 발생할 수 있다.

Kim et al.(2013)은 제연설비 시험 시 직통계단식 공동주택의 경우 계단실 출입문을 닫고, 외기와 면하는 세대의 창문을 열고 방연풍속을 측정하는 측정법을 구체화하는 화재안전기준의 개정을 제안하였으며, Ko(2017)은 누기율 시험설비를 통해 방연풍속이 나오더라도 거실의 구조 등에 따라 국부적으로 연기가 부속실로 유출이 될 수 있음을 밝히고 방연풍속 기준이 연기제어의 절대적인 기준이 될 수 없다고 판단하였다. Kim et al.(2019)은 고층건축물 공동주택의 경우 특별피난계단의 부속실, 비상용승강기 승강장 겸용과 피난용승강기 승강장이 직렬형태의 구조를 가지는 경우 제연구역 선정 시 급기량을 산정하는 기준의 명시가 필요하다는 것을 주장하였다.

하지만 이러한 연구들은 방연풍속을 측정하는데 있어 세대 내 거실의 창문이 개방되어 있다는 전제로 이뤄진 결과로서, 계절적인 요인 및 각 세대의 생활여건 등에 따른 창문의 미 개방 조건은 고려하지 못하였다. 따라서, 본 연구에서는 실제 직통계단식 공동주택의 모델을 통해 급기가압 제연설계를 하고, 차압 및 세대 내 창문 등의 개방조건에 따른 방연풍속을 화재안전 기준의 실효성 부족관점에서 CONTAM 프로그램을 통해 분석하였다.

본 론

기본이론

차압 및 누설량

국내 차압기준은 40Pa 이상(스프링클러 설치 시 12.5Pa 이상)으로 영국의 B.S Code 및 미국의 NFPA 규정을 준용 한 것으로, 유럽규격인 EN 12101-6은 50Pa \pm 10%를, 미국의 NFPA는 천장의 층고에 따라 25~45Pa(스프링클러 설치시에는

12.5Pa)을 규정하고 있다. 부속실과 세대 내 거실 사이에 기준치의 차압을 유지하기 위해서는 부속실에 설치된 출입문의 틈새를 통해 빠져나가는 공기 누설량 만큼 급기량을 필요로 하며, 이는 다음 식 (1)과 같이 계산될 수 있다.

$$q_L = CA\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \tag{1}$$

여기서, C는 유동계수, A는 출입문 누설면적, ΔP는 부속실과 거실사이 차압, ρ는 공기의 밀도를 의미한다.

방연풍속 및 보충량

국내 방연풍속 기준은 0.5m/s, 0.7m/s 이상으로 영국의 제연설계 자료를 참고하여 제정한 것으로, 유럽규격인 EN 12101-6은 0.75m/s를, 미국의 NFPA는 특정한 기준이 없이 과도한 풍속에 의한 화재확대 등을 우려하여 1.02m/s를 초과하지 않도록 하고 있다. 세대의 현관문 및 부속실과 계단실 사이의 문이 개방 시 거실에서 부속실로 연기의 유입을 방지하기 위한 보충량을 필요로 하며, 이는 다음 식 (2)와 같이 계산 될 수 있다.

$$Q_s = \frac{S \times V}{0.6} - Q_0 \tag{2}$$

여기서, S는 출입문 면적, V는 방연풍속, Q₀는 거실 유입풍량을 의미한다.

모델건축물 및 제연설계

연구대상인 모델 건축물은 충남 00시 00지구에 있는 공동주택이다. 건축물의 규모는 지하2층 지상21층 규모의 계단식 아파트로 건물의 형태는 Fig. 1과 같으며, 설계기준을 Table 1과 같이 적용하였다.

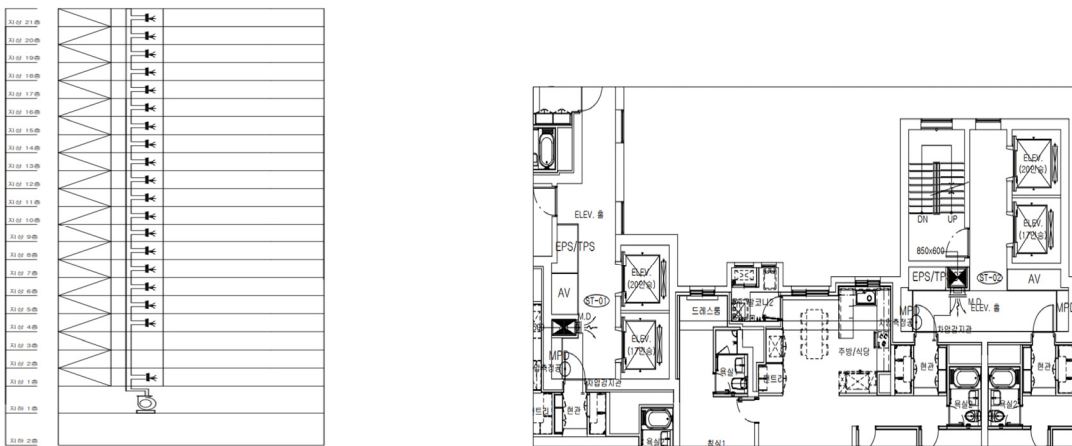


Fig. 1. Structure of the example building

Table 1. Design specifications of the example building

규모: 지하2층~지상21층 (세대거주 층: 4층~21층, 부속실 개수: 19실)
 층고: 지하2층 3.7m, 지하1층 3.9m, 1층 5.15m, 2층 5.0m, 세대층 2.85m
 급기층: 지하1층
 설정 기준차압: 50Pa
 설정 방연풍속: 0.7m/s
 피난시 동시 개방층: 2개층 개방(20층, 21층)
 급기량(누설량 + 보충량): 8.882 m³/s
 차압댐퍼 크기: 개구율 80%, 340*600(전기구동부 제외)
 풍량조절: 복합댐퍼
 입상덕트 단면적: 0.51m²
 세대 현관문 및 계단실 출입문 단면적: 1.1 × 2.1=2.31m²
 부속실 → 세대 현관문 누설면적: 0.0084m² (문세트 KS F 3109에 의한 방화문 틈새면적 계산)
 부속실 → 계단실 출입문 누설면적: 0.0084m² (문세트 KS F 3109에 의한 방화문 틈새면적 계산)
 승강기 출입문 단면적: 1.1 × 2.1=2.31m²
 승강장(부속실 겸용) → 승강기 출입문 누설면적: 0.0638m² (NFSC에 의한 출입문 틈새면적 계산)
 승강로 상부 개구부의 누설면적: 0.09m² (로프구멍)
 계단실 → 옥외창문 누설면적: 0.0001m² (NFSC에 의한 출입문 틈새면적 계산)
 급기송풍기 용량: 85mmAq, 8.882 m³/s

공동주택 세대는 일반적으로 가장 많이 공급되는 84㎡ 확장형을 적용하였으며, Fig. 2는 84㎡ 확장형 단위세대의 내부 평면도이다.

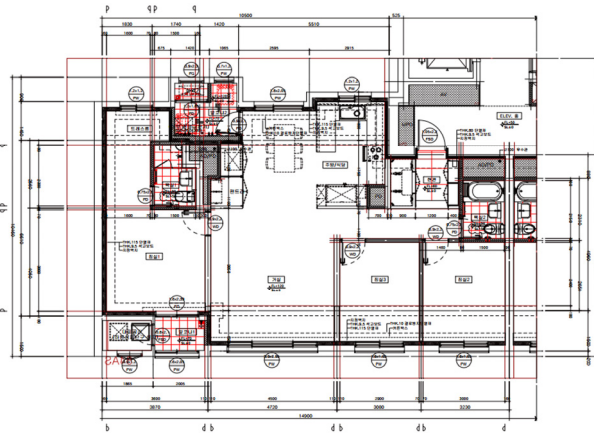


Fig. 2. Structure of apartment unit(84㎡-balcony expansion type)

시뮬레이션

분석도구

CONTAM 프로그램은 미국의 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 건물내 환기와 공기의 상 태변화를 해석하는 프로그램이다. 이 프로그램은 기류흐름, 압력 및 건물 외부의 바람, 실내외 온도차이에 따른 부력효과 등을 나타낼 수 있으며, 연기관리시스템의 설계와 분석을 위하여 광범위하게 사용되고 있다. 본 연구는 CONTAM W 3.2를 사용하였다.

CONTAM설계

설계기준에 따라 CONTAM프로그램을 통해 연구대상인 공동주택의 구조대로 Fig. 3부터 Fig. 8까지 각각의 평면모델을 만들었다.

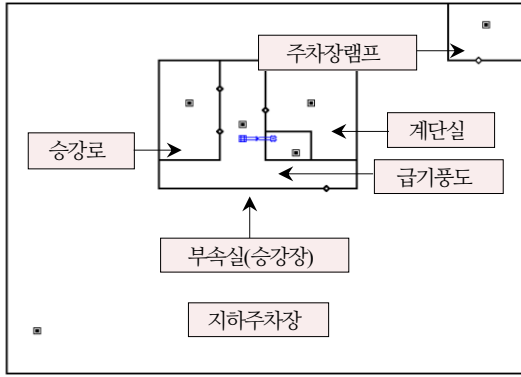


Fig. 3. B2F model

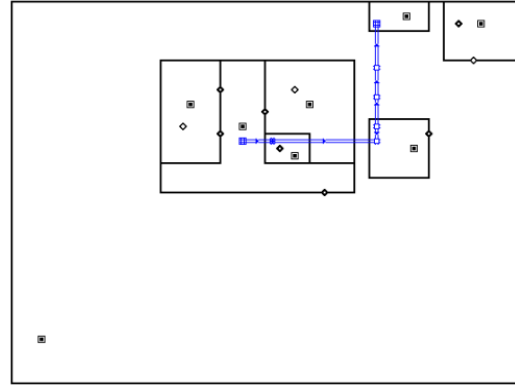


Fig. 4. B1F model

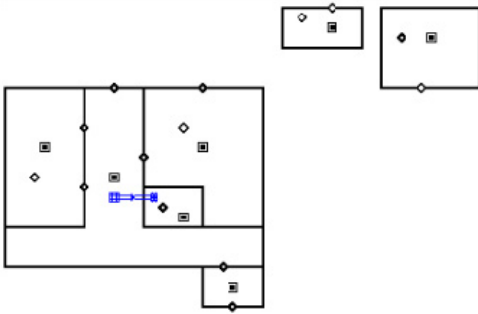


Fig. 5. 1F model

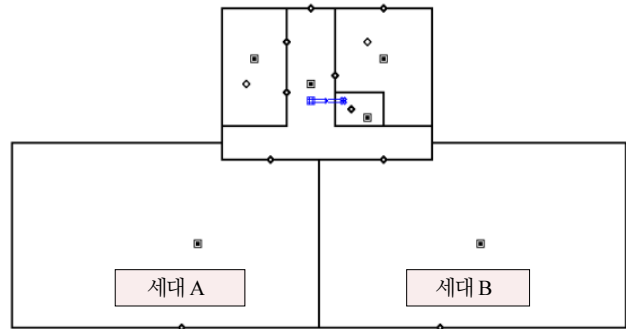


Fig. 6. 4F ~ 21F model

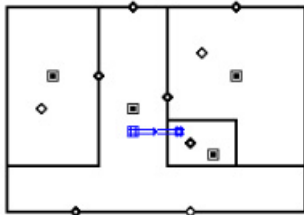


Fig. 7. Loof floor model

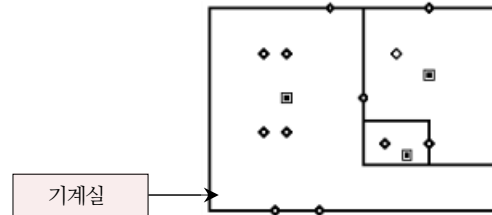


Fig. 8. E/V machine room model

Fig. 4는 지하1층의 프로그램 평면도로서 외기 취입구 및 FAN Room이 설치되어 있으며, 급기풍도를 통해 각 층의 부속실에 연결된 구조로 되어있다.

차압특성

1) 시뮬레이션 조건

- (1) 건물 내 외부 온도가 동일한 것으로 가정하여 연돌효과가 없는 것으로 하였다.
- (2) 세대의 차압 감지관을 통한 복합댐퍼를 적용하였으며, 개구면적은 0.15m² 조건으로 하였다.

2) 시뮬레이션 결과

각 세대의 차압특성을 시뮬레이션 결과 Fig. 9, Table 2와 같이 설계기준인 50Pa에 근접하는 결과를 얻을 수 있었다.

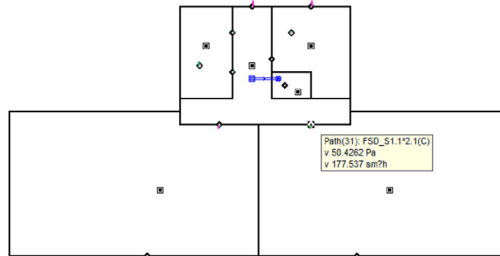


Fig. 9. Differential pressure simulation results(21F)

Table 2. Differential pressure result of apartment unit(Pa)

층	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
차압	56.7	PIT	PIT	51.9	51.8	51.7	51.6	51.6	51.5	51.5	51.5	51.5	51.4	51.3	51.2	51.1	51.0	51.0	50.7	50.6	50.4

방연풍속 특성

1) 시뮬레이션 조건

- (1) 최상층부인 20층과 21층이 동시에 개방되는 것으로 설계하였다.
- (2) 각 층의 2세대 중 1세대만 대피하는 것으로 하였으며, 세대 현관문과 부속실을 통한 계단실 방화문이 동시에 개방되는 것으로 설계 하였다.
- (3) 방연풍속의 실효성을 검증하기 위해 다음의 3가지 조건으로 시뮬레이션을 하였다.

① 거실 창문 개방 시(Case 1)

- 합성수지의 미닫이창문으로 최대개방 조건으로 적용. (Fig. 10 거실창문 - 최대 개방면적: 3.075m²)

② 거실 창문 미 개방 시- 세대의 누설틈새 면적만 적용(Case 2)

- 세대 내 설치된 창문에 대한 “화재안전기준의 누설틈새 면적” 기준을 반영하는 조건으로 실험 하였으며, 세부내용은 Table 3 과 같다. (미개방시 누설틈새 면적: 0.0087m²)

③ 거실 창문 미 개방 및 복합댐퍼 개구율 최대 시- 세대의 누설틈새 면적 + 개구율 최대(Case 3)

- 세대 내 설치된 창문의 누설틈새면적 기준은 0.0087m²을 적용하였으며, 복합댐퍼의 개구율을 최대로 개방되는 조건으로 시뮬레이션을 하였다.

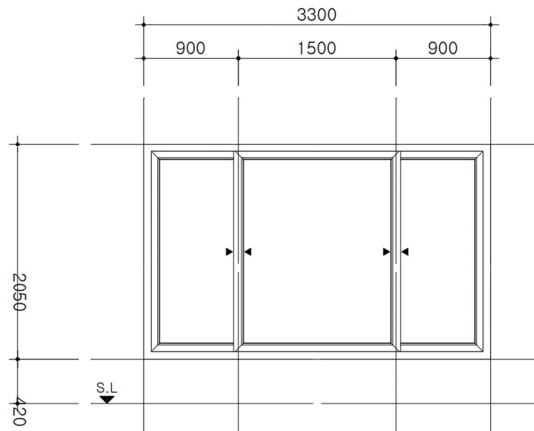


Fig. 10. Living room window

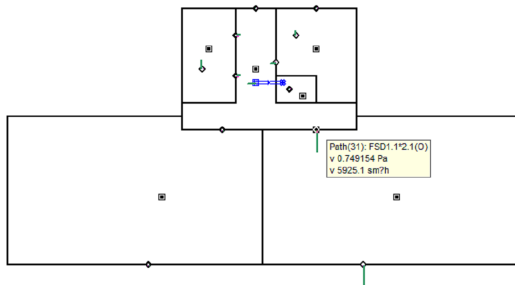
Table 3. Window size and leakage area of apartment unit

Items	Door size(mm×mm)	Area(m ²)	Number	Leakage Area(m ²)	Remarks
Living Room	3,300×2,050	6.77	1	0.0015	
Bedroom1	1,600×2,390	3.82	1	0.0010	
Bedroom2, 3	1,800×1,650	2.97	2	0.0017	Leakge Area according to NFSC
Air-Conditioning Plant Room	1,200×1,850	2.22	1	0.0008	
Dining Room(big)	1,800×2,050	3.69	1	0.0010	
Balcony	1,600×2,050	3.28	1	0.0009	
Dress Room/Dining Room(small)	1,200×1,200	1.44	3	0.0018	
Sum				0.0087	

2) 시뮬레이션 결과

(1) Case 1 조건

최상층인 20층, 21층 두 세대의 출입문 개방에 따른 방연풍속 실험결과 Fig. 11과 같이 설계기준인 0.7m/s 에 근접하는 결과가 도출되었다.

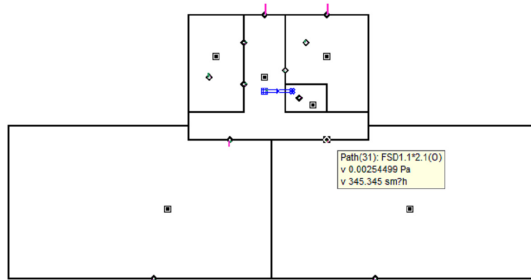


Remarks	20F	21F
air flow rate	5983.0 m ³ /h	5925.1 m ³ /h
Prevent smoke backflow	0.723m/s	0.716 m/s

Fig. 11. Prevent smoke backflow results (living room window open - 21F)

(2) Case 2 조건

최상층인 20층, 21층 두 세대의 방연풍속 특성을 시뮬레이션 결과 Fig. 12와 같이 풍속이 거의 나오지 않는 결과가 도출되었다.

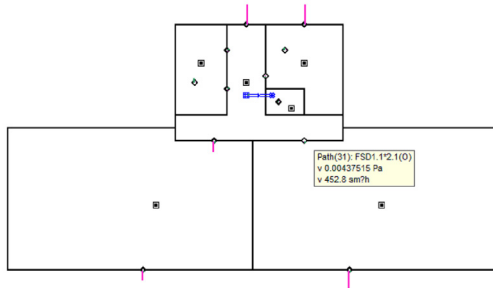


Remarks	20F	21F
air flow rate	345.35 m ³ /h	345.35 m ³ /h
Prevent smoke backflow	0.042m/s	0.042 m/s

Fig. 12. Prevent smoke backflow results (living room window closed - 21F)

(3) Case 3 조건

최상층인 20층, 21층 두 세대의 방연풍속 특성을 시뮬레이션 결과 Fig. 13과 같이 미세하게 풍속이 상승하나 개구율 조건에 크게 영향이 없는 결과가 도출되었다.



Remarks	20F	21F
air flow rate	452.81 m ³ /h	452.80 m ³ /h
Prevent smoke backflow	0.055m/s	0.055 m/s

Fig. 13. Prevent smoke backflow results (living room window closed & complex damper aperture ratio max - 21F)

(4) 시뮬레이션 결과

아래의 Table 4는 시뮬레이션 결과로서, 차압특성은 만족하나 방연풍속 특성은 Case 1 조건에서는 화재안전기준에서 정하는 기준인 0.7m/s 이상을 만족하지만, Case 2, Case 3 조건에서는 방연풍속의 성능이 거의 나오지 않는 것을 알 수 있었다.

Table 4. Contam simulation results

Remarks	Target	Results
Differential pressure	50Pa	average. 51.6Pa
Prevent smoke backflow	Case 1	20F: 0.723m/s, 21F: 0.716m/s
	Case 2	20F: 0.042m/s, 21F: 0.042m/s
	Case 3	20F: 0.055m/s, 21F: 0.055m/s

결론

본 연구결과 공동주택의 급기가압 되는 부속실에서 세대 현관문 및 거실 창문을 통하는 기류의 흐름이 형성되지 않으면 방연풍속의 성능은 거의 나오지 않음을 알 수 있었다.

하지만 현재 화재안전기준에서는 공동주택에 ‘유입공기배출장치’의 설치예외 기준을 적용 하면서도 방연풍속 기준은 그대로 요구하고 있어, 제연설비 설치 후 TAB(Testing, Adjusting and Balancing)시 세대 내 거실창문을 인위적으로 열고 실시를 하는 실정이다.

또한 공동주택의 경우 불특정 인원이 출입하는 일반건물과 달리 2~5명의 특정소수의 가족들이 거주하는 장소로서 화재시 부속실로의 진입이 1번의 행동으로 끝나며, 현관문 및 계단실 출입문은 방화문으로 자동폐쇄 기능을 가지고 있어 2개의 방화문중 어느 하나는 단혀 방화구획이 형성된다.

더군다나 계단식 아파트의 경우 세대 출입문에서 계단실까지의 이동거리가 매우 가까운 구조를 가지고 있어 제연설비의 ‘차압’ 기능으로도 재실자의 안전한 원활한 피난이 가능하리라고 판단된다.

따라서 계단식 아파트의 경우에는 현재 화재안전기준 NFSC 501A(특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비) 제 10조(방연풍속)에서 요구하는 ‘0.7m/s이상’ 을 적용하는 것에 예외를 두는 방안 등의 검토가 필요하다.

References

- [1] European Standard, EN 12101-6, “Smoke and heat control systems.” Specification for pressure differential systems, 2005.
- [2] Kim, I.-Y., Kwon, C.-H. (2013). “The leakage crack calculation of the fire door and the stack effect analysis.” Fire Science and Engineering, Vol. 27, No. 2, pp. 46-53.
- [3] Kim, M.-S., Seo, D.-G., Gu, S.-H., Yoo, Y.-M., Song, Y.-J. (2019). “Smoke control performance of a serial structure using CONTAM.” Fire Science and Engineering, Vol. 33, No. 6, pp. 53-62.
- [4] Ko, G.-H. (2017). “Numerical analysis on flow characteristics in the pressurized air supply smoke control system.” Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 52-58.
- [5] National Fire Agency, NFSC 501A, “stair cases of specific fire escape stairs and smoke control systems of ancillary rooms.” 2017.
- [6] National Fire Protection Association, NFPA 92A, “Standard for smoke-control system utilizing barriers and pressure differences.” 2009.
- [7] National Fire Protection Association, NFPA 92B, “Standard for smoke management systems in malls, atria, and large spaces.” 2009.
- [8] NIST, CONTAMW 3.2, User Guide and Program Documentation, 2016.