

특별피난계단 부속실 제연설비의 방연풍속 기류특성에 관한 실험적 연구 Experimental Study on Features of Air Egress Velocity in Vestibule Pressurization System

류성호[†] · 이수경 · 홍대화* · 윤명오** · 최금란** · 박재현**

Sung-Ho Ryu[†] · Su-kyung Lee · Dae-Hwa Hong* · Myong-O Yoon** ·
Keum-Ran Choi** · Jae-Hyun Park**

서울과학기술대학교 에너지안전공학과, *서울과학기술대학교 안전공학과,
**서울시립대학교
(2010. 7. 30. 접수/2010. 10. 8. 채택)

요 약

본 연구는 국내 고층건물 특별피난계단의 부속실에 설치되는 급기가압 제연시스템의 방연 풍속 기류가 화재 발생 시 피난을 위하여 출입문이 개방되었을 경우 거실 방향으로 정상적으로 형성되지 않고 부속실 내부로 역류되는 현상을 개선하기위해 실 모형실험을 통해 출입구 상부로 역류하지 않는 조건을 개발하였다. 부속실 바닥 면적이 2m²와 4m²인 두개의 실물 모형을 제작하여 실험을 실시한 결과, 방연풍속의 기류 특성은 바닥 면적이 2m²인 경우 심하게 출입문 상부로 기류가 역류되었다. 다만, 급기댐퍼의 설치위치가 출입문 맞은편의 경우 날개각도가 45도 상향인 경우는 출입문 상부로는 역 기류 현상은 없었지만 하부로는 일부 역류 되었다. 부속실 면적이 4m²인 경우는 출입문에서 거실방향으로 정상적인 기류 분포를 보였다. 부속실 바닥 면적이 작게 설계될 경우에는 성능위주 설계가 될 수 있도록 하여야 한다.

ABSTRACT

In this study, we confirmed the fact that air egress velocity of pressure differential system which is installed in vestibule of smokeproof stairway in domestic high-rise building becomes back-flow into the vestibule not into the livingroom when the doors open to escape in case of fire by actual measurement. It concerned that fire smoke inflow into the vestibule of smokeproof stairway. so, reflux symptoms were developing the condition does not occur by creating an area of 2 m² and a model. if it's area is less, airflow in upper area was severely reflux. in the case upward 45 gradient of supply damper's angle of blade, The results that reflux symptoms include upper door but bottom has some reflux. also vestibule of smokeproof stairway's area of 4 m² in the living room door in the direction of the flow distributon was normal. if a vestibule of smokeproof stairway is smaller, it designed to be performance-based design should be.

Key words : Air egress velocity, Pressure differential system, Vestibule of smokeproof stairway, Backflow, Performance-based design

1. 서 론

1971년 12월 25일 대연각 화재로 163명이 사망한 사건¹⁾을 계기로 피난로 확보를 위해 법적인 기준이나 제연기술도 많이 발전하여 왔으나 급속히 진화하는 건축물의 대형화와 고층화 추세의 변화에 대응하기에는 아

직도 미흡한 실정이다.

고층건물에서 화재 또는 예상치 못한 사고 시 발생한 연기, 유독가스 등이 최종 안전통로인 피난계단 부속실로 침입하는 것을 방지하기 위해서 국가화재안전기준 NFSC 501A에서는 3가지 방식을 요구하고 있다.²⁾ 첫째는 옥내와의 차압을 유지하게 함으로써 옥내로부터 제연구역내로 연기가 침투하지 못하도록 하여야 한다. 둘째는 피난을 위하여 부속실의 출입문이 일시적

[†] E-mail: sunghor@yahoo.co.kr

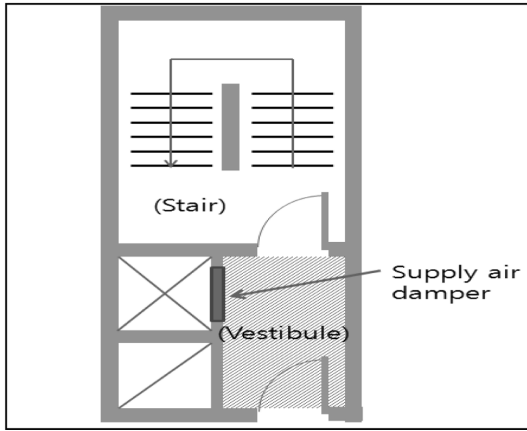


Figure 1. Pressurization to vestibule.

으로 개방되었을 때 옥내로부터 연기의 유입을 유효하게 방지할 수 있는 방연 풍속을 유지하도록 하여야 한다. 셋째는 피난을 위하여 개방된 출입문이 닫히는 경우 부속실의 과압을 방지할 수 있는 유효한 조치를 하여야 한다.

이러한 조건의 제연설비로 국내에서는 부속실만을 단독으로 제연하는 Figure 1과 같은 급기가압 제연시스템을 일반적으로 적용하고 있다.

이는 건축법에서 특별피난계단 구조³⁾는 옥내와 계단실과의 연결은 노대 또는 외부를 향하여 열 수 있는 창이나 배연설비가 있는 부속실을 통하여 연결하도록 설치기준이 되어 있기 때문에 계단실 및 그 부속실을 동시 제연 하는 것이나 부속실만을 단독제연 하는 것이 법적 기준에 적합하다.

과연 피난계단이 연기로부터 안전할 수 있는 지를 파악하기 위하여 최근 준공된 고층건물의 특별피난계

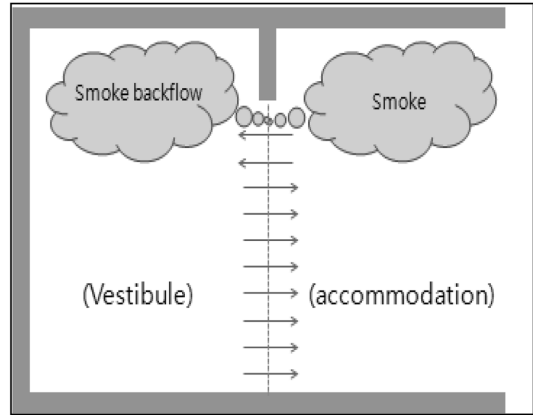


Figure 2. Smoke backflow through open door.

단 부속실의 급기가압 제연시스템을 작동시켜 거실에서 가압지역인 부속실의 출입문을 개방하고 64점 등면적법⁴⁾으로 등분하여 방연풍속의 기류분포를 측정 한 결과는 Table 1과 같다. 이는 출입문을 개방하였을 때 차압이 파괴되면서 연기의 유입을 방지할 수 있도록 방연풍속의 방향이 거실방향으로 일률적으로 유지되어야 하는데 오히려 Figure 2와 같이 출입문 상부에서는 부속실로 역 기류가 발생하는 현상을 알 수 있었으며 이는 연기가 안전구역인 부속실로 침투할 수 있다는 것이다.⁵⁻⁸⁾

역 기류 원인은 여러 가지가 있겠으나 본 연구에서는 보충량이 확보된 조건에서 부속실 면적과 급기덤편에서 부속실로 공급되는 날개의 토출각도 및 덤퍼 설치 위치에 따른 토출 공기의 방향이 방연풍속의 기류에 영향을 미치는 인자들을 고려하여 이에 대한 방연풍속의 기류 형성 특성을 측정하기 위한 실험 모형을 제작하여 실험한 결과를 제시하였다.

Table 1. Results on Measuring Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	-0.33	-0.40	-0.35	-0.37	-0.35	-0.38	-0.37	-0.37		
B	-0.22	-0.27	-0.20	-0.24	-0.27	-0.26	-0.18	-0.20		
C	0.51	0.57	0.53	0.42	0.40	0.40	0.50	0.40		
D	1.02	1.30	0.50	0.67	0.65	0.70	0.56	0.49		
E	0.95	1.50	0.60	0.80	0.85	0.90	0.66	0.56		
F	1.00	0.90	0.80	0.90	1.50	1.40	0.70	0.60		
G	1.10	0.80	0.90	1.60	1.70	1.60	1.75	0.80		
H	1.50	1.10	1.00	1.20	1.10	1.10	1.90	1.00	Total	Average
Sum	5.53	5.50	3.78	4.98	5.58	5.46	5.52	3.28	39.63	0.61

2. 방연풍속 기류특성 실험

2.1 실험방법

Figure 6의 풍도 시험 장치를 인버터로 송풍기의 회전수를 변화시켜 가면서 급기량을 조절하였고, Table 2와 같은 조건별 CASE를 선정하여 매번 실험하기 전 보충량을 현 기준을 만족하는 급기가 될 수 있도록 조절하였다. 부속실 출입구에는 Figure 4와 같이 가로 8행, 세로 8열로 구분하여 총 64점(공기조화설비의 시험조정 평가 기술기준⁹⁾을 측정하여 방연풍속의 분포가 상세하게 나타나게 하였다. 특히 역 기류 현상을 파악하기 위해 간이 연기 발생 테스트기로 Figure 3과 같이 각 포인트별로 확인하고 기류 방향을 파악한 후 방연풍속을 구역(cell)별로 5회에 걸쳐 측정하여 평균값을 제시하였다.

2.2 특별피난계단 부속실 제작

부속실 크기는 비상용승강기의 승강장의 경우 바닥 면적이 6m² 이상으로 건축법⁹⁾으로 정하여 있는 반면에 특별피난계단 부속실은 기준이 없고 단지 서울특별



Figure 3. Backflow test by the smoke tester.

Table 2. Conditions of Analysis Located Damper

CASE		DISCHARGE DIRECTION	ANGLE OF BLADE
Bottom	Case 1	Straight	0°
	Case 2	Downward	45°
	Case 3	Upward	45°
Up	Case 4	Straight	0°
	Case 5	Downward	45°
	Case 6	Upward	45°
Opposite	Case 7	Straight	0°
	Case 8	Downward	45°
	Case 9	Upward	45°

시 심의기준¹⁰⁾에 4m² 이상을 확보하도록 되어 있기 때문에 건축위원회 심의 받지 않는 건축물의 부속실 면적은 2m² 전후로 설치되어 있다.

따라서 부속실 면적은 인명안전기준¹¹⁾에서 제시한 급·

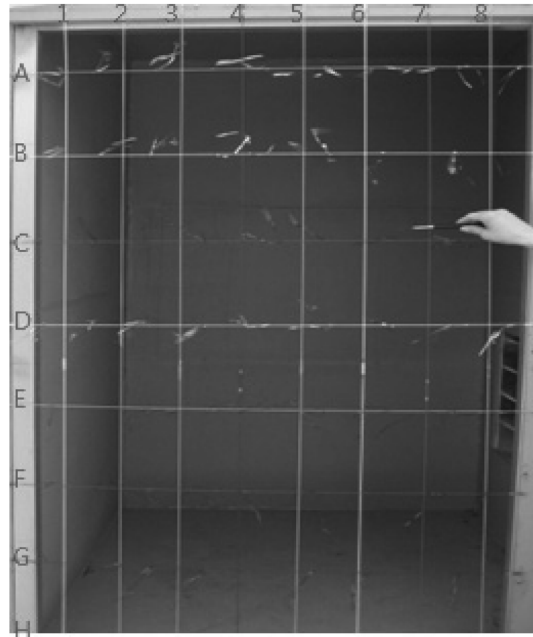


Figure 4. Measuring of air egress velocity.

Table 3. Scale of Vestibule (mm)

	X	Y	Z
I	1200	1700	2400
II	1200	3330	2400

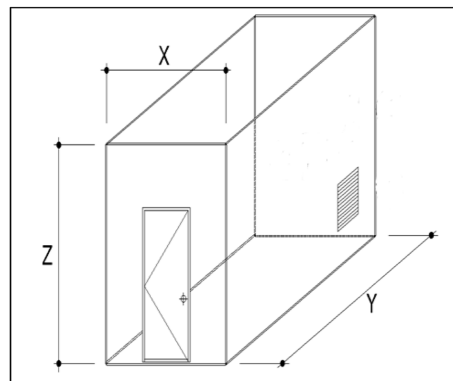


Figure 5. Schematic of the vestibule.

배기 배연설비의 바닥면적 2m²과 서울특별시 건축위원회 일반건축물 심의기준을 참조하여 Figure 5와 같이 2개의 실물은 제작하였다. 출입문의 크기는 자동차압·과압조절형덤퍼의 성능시험 기술기준¹²⁾에서 정한

900mm × 2,000mm로 하였다.

덤퍼 크기는 부속실 제연설비 입상 덕트 표준화 사례¹³⁾를 참조하여 400mm × 600mm로 선정하였다.

부속실은 Figure 5의 모양으로 Table 3과 같이 바닥

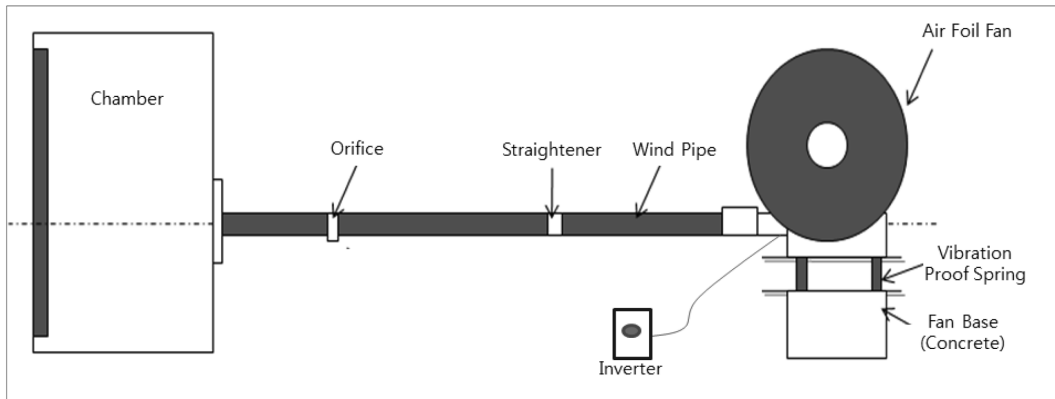


Figure 6. Summary on schematic diagram of air egress velocity equipment.

Table 4. Results of Case 1 on Measured 0 Gradient, Straight Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	1.27	0.65	0.57	-0.54	-0.52	-0.35	-0.45	-0.51		
B	1.18	0.50	0.36	-0.40	-0.49	-0.58	-0.78	-0.43		
C	1.24	0.53	0.38	0.55	0.50	0.75	0.80	0.44		
D	1.59	0.67	0.59	0.60	0.76	0.95	0.91	0.45		
E	1.80	0.80	0.72	0.66	0.70	0.99	0.87	0.39		
F	1.79	0.76	0.59	0.57	0.52	0.63	0.45	0.31		
G	1.99	0.84	0.62	0.52	0.51	0.42	0.43	0.43		
H	2.50	1.78	1.42	1.41	1.36	1.09	1.05	1.32	Total	Average
Sum	13.36	6.53	5.25	3.37	3.34	3.90	3.28	2.40	41.43	0.65

Table 5. Results of Case 2 on Measured 45 Gradient, Downward Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	2.05	2.11	1.04	0.85	0.65	0.71	0.69	0.65		
B	1.39	0.89	0.62	-0.67	-0.72	-1.12	-1.05	-0.80		
C	1.49	0.74	0.60	-0.73	-0.84	-1.08	-0.98	-0.92		
D	1.40	0.67	0.39	-0.63	-0.75	-0.93	-0.93	-0.78		
E	2.74	1.14	0.50	-0.52	-0.64	-0.78	-0.55	-0.52		
F	4.17	1.41	0.60	0.54	-0.46	-0.49	-0.52	-0.71		
G	4.54	1.79	1.31	0.76	0.58	0.60	0.70	0.69		
H	5.16	3.09	2.65	1.65	1.32	1.91	1.35	0.69	Total	Average
Sum	22.94	11.84	7.71	1.25	-0.86	-1.18	-1.29	-1.70	38.71	0.60

면적 2m²(I)와 4m²(II)의 크기로 제작하였다.

풍량을 공급하였다. 풍량은 인버터를 조절하여 실험 Case별로 일정하게 1.26m³/s의 급기량을 충족시킬 수 있도록 준비하였다.

2.3 실험측정장치

Figure 6과 같이 풍동 시험장치¹⁴⁾를 설치하여 부속실 모형 출입문에서 방연풍속이 0.7m/s가 유지되기 위한

측정장치는 화재안전기준의 0.7m/s의 기준 값의 최소단위인 0.01m/s의 정밀도를 만족할 수 있는 TSI 9515

Table 6. Results of Case 3 on Measured 45 Gradient, Upward Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	3.16	3.03	1.85	1.64	-1.36	-0.98	-0.74	-0.62		
B	2.08	1.28	0.88	0.67	-0.92	-0.93	-1.00	-0.85		
C	1.48	1.29	0.84	0.67	-0.78	-0.84	-0.84	-1.30		
D	1.29	1.48	0.87	0.67	0.70	-0.82	-0.74	-0.79		
E	1.49	1.20	0.99	0.70	0.71	0.75	0.79	0.76		
F	1.07	1.22	1.10	0.99	0.78	0.97	0.85	0.88		
G	1.53	1.32	1.27	1.08	0.97	1.07	1.26	0.83		
H	1.71	1.28	1.58	1.88	1.50	1.81	2.28	0.74	Total	Average
Sum	13.81	12.10	9.38	8.30	1.60	1.03	1.86	-0.35	47.73	0.75

Table 7. Results of Case 4 on Measured 0 Gradient, Straight Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	2.75	1.05	0.50	-0.44	-0.38	-0.48	-0.60	-0.83		
B	2.23	0.87	0.37	-0.50	-0.53	-0.59	-0.67	-0.71		
C	2.77	0.94	0.34	-0.36	-0.45	-0.58	-0.53	-0.51		
D	2.26	1.17	0.37	0.34	0.55	0.41	0.67	0.31		
E	2.04	1.02	0.62	0.90	0.88	1.15	1.11	0.28		
F	1.56	1.03	0.98	0.92	1.04	1.05	1.18	0.42		
G	1.13	1.14	1.26	1.19	1.26	1.26	1.48	0.67		
H	1.64	1.69	1.49	1.18	1.34	1.45	1.53	0.71	Total	Average
Sum	16.38	8.91	5.93	3.23	3.71	3.67	4.17	0.34	46.34	0.72

Table 8. Results of Case 5 on Measured 45 Gradient, Downward Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	0.99	0.94	1.04	1.38	1.27	1.33	1.07	0.95		
B	0.81	0.60	0.70	1.14	1.04	0.91	0.92	0.87		
C	0.72	0.75	0.88	1.09	0.82	0.77	0.83	0.73		
D	2.10	0.97	1.36	1.38	1.00	-0.83	-0.80	-0.66		
E	2.74	2.07	1.48	0.91	0.68	-0.73	-0.80	-0.83		
F	3.02	1.31	1.11	0.71	0.58	-0.79	-0.99	-0.92		
G	3.59	1.29	0.62	0.60	0.58	0.91	0.87	0.96		
H	4.89	3.56	3.40	2.82	2.09	1.63	1.64	2.40	Total	Average
Sum	18.86	11.49	10.59	10.03	8.06	3.20	2.74	3.50	68.47	1.06

열선풍속측정기를 사용하였다.

3. 실험결과

부속실 바닥 면적이 2m²인 경우 출입문에서 형성되

는 방연풍속을 측정된 결과를 댐퍼의 설치위치와 날개 각도별로 정리하면 Table 4에서 Table 12까지와 같이 모든 조건에서 역 기류현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 부속실 바닥 면적이 4m²인 경우 측정결과 는 Table 13과 같이 역 기류가 발생하지 않는 결과를

Table 9. Results of Case 6 on Measured 45 Gradient, Upward Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	4.29	2.36	2.01	2.07	2.10	2.63	2.71	1.64		
B	3.17	1.20	0.88	0.98	1.05	1.33	0.96	0.81		
C	4.20	0.76	0.52	0.81	0.94	1.09	0.88	0.57		
D	3.29	0.75	-0.65	-0.53	-0.52	0.94	1.10	0.64		
E	3.78	0.85	-0.88	-0.69	-0.67	0.57	1.02	0.89		
F	3.20	0.83	1.10	-1.12	-0.96	-0.63	0.92	1.05		
G	3.15	1.18	1.08	0.96	0.94	0.63	0.69	2.51		
H	4.06	3.55	1.11	1.27	1.49	1.71	2.40	4.32	Total	Average
Sum	29.14	11.48	5.17	3.75	4.37	8.27	10.68	12.43	85.29	1.33

Table 10. Results of Case 7 on Measured 0 Gradient, Straight Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	-0.88	-0.91	-0.86	-1.04	-0.86	-0.77	-0.79	-0.51		
B	-0.92	-0.92	-0.86	-0.83	-0.67	-0.60	-0.67	-0.74		
C	-0.84	-0.52	-0.49	-0.61	-0.52	-0.46	-0.48	-0.54		
D	-0.55	0.72	1.61	2.15	2.13	1.90	1.53	1.13		
E	0.86	1.54	2.63	3.78	5.31	5.00	4.18	2.41		
F	0.64	0.94	2.06	4.18	4.94	4.85	3.68	2.41		
G	0.83	0.58	1.14	1.68	1.76	1.98	1.73	1.79		
H	0.85	0.62	0.42	0.62	0.55	0.42	0.68	0.60	Total	Average
Sum	-0.01	2.05	5.65	9.93	12.64	12.32	9.86	6.55	58.99	0.92

Table 11. Results of Case 8 on Measured 45 Gradient, Downward Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	-0.63	-0.51	-0.80	-0.71	-0.68	-0.75	-0.66	-0.86		
B	-0.44	-0.31	-0.46	-0.47	-0.45	-0.51	-0.45	-0.65		
C	-0.42	-0.39	-0.34	-0.35	-0.41	-0.42	-0.44	-0.56		
D	0.90	0.47	0.36	-0.39	-0.44	-0.41	-0.42	-0.55		
E	1.45	0.67	0.50	0.52	0.51	-0.66	-0.62	-0.58		
F	2.71	1.40	0.63	0.67	0.81	1.09	1.11	0.73		
G	5.72	1.49	0.50	0.54	0.77	1.30	2.19	1.52		
H	7.39	3.68	3.34	4.99	4.29	4.30	5.28	4.16	Total	Average
Sum	16.68	6.50	3.73	4.80	4.40	3.94	5.99	3.21	49.25	0.77

Table 12. Results of Case 9 on Measured 45 Gradient, Upward Velocity (m/s)

	A	B	C	D	E	F	G	H		
1	2.71	3.29	4.11	4.16	4.76	4.80	4.98	4.23		
2	1.33	1.32	1.04	1.42	1.50	1.58	1.46	1.34		
3	0.90	0.85	0.78	1.06	1.42	1.21	1.16	0.93		
4	0.89	0.79	0.81	0.93	1.08	0.93	0.90	0.98		
5	0.58	0.60	0.74	0.63	0.72	0.89	0.89	-0.75		
6	0.55	0.50	0.49	0.53	0.76	0.68	0.75	-0.64		
7	0.44	0.38	0.44	0.39	0.44	0.49	0.57	-0.51		
8	0.38	0.40	0.36	0.47	0.46	0.57	0.56	0.52	Total	Average
Sum	7.78	8.13	8.77	9.59	11.14	11.15	11.27	6.10	73.93	1.15

Table 13. Results on Measured 4 m² Air Egress Velocity (m/s)

	1	2	3	4	5	6	7	8		
A	1.29	1.22	0.92	0.87	0.62	0.81	0.73	0.45		
B	1.18	0.72	0.53	0.40	0.38	0.27	0.31	0.35		
C	1.14	0.76	0.51	0.33	0.38	0.38	0.44	0.28		
D	1.12	0.80	0.75	0.69	0.60	0.90	0.70	0.30		
E	1.15	0.90	0.71	0.82	0.69	1.18	1.11	0.41		
F	0.52	0.69	0.41	0.63	0.40	0.64	0.70	0.69		
G	0.75	0.54	0.41	0.47	0.39	0.50	0.70	1.75		
H	1.15	1.40	0.86	1.07	0.91	1.17	1.44	1.54	Total	Average
Sum	8.30	7.03	5.10	5.28	4.37	5.85	6.13	5.77	47.83	0.75

확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내 고층빌딩의 특별피난계단 부속실에 적용하고 있는 급기가압 제연시스템이 화재 발생 시 피난을 위해 출입문을 개방할 때 부속실내로 연기, 유독가스의 침투를 차단하기 위한 방연풍속의 기류 특성을 파악하고 출입구의 상부에서 부속실내로 역 기류가 발생하지 않는 조건을 개발하기 위하여 실 모형실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Case 2인 경우는 급기뎀퍼를 출입문으로부터 먼 위치인 벽체하부에 위치하고 뎀퍼의 날개 각도를 하향 45°하여 실험한 결과 평균방연풍속이 Table 5와 같이 0.6m/s로 측정되어 국가안전기준치에 14% 정도 부족한 것으로 나타났다. 이는 급기구에서 토출된 기류가 바닥면과 직접적으로 충돌되면서 심한 난류현상으로 인해 역 기류 현상이 많은 부분에서 발

생되었다.

2) Case 1, Case 3, Case 4, Case 7, Case 8인 경우는 Table 4, 6, 7, 10, 11과 같이 출입구 상부에서 부속실내로 역 기류 현상을 보였다.

3) Case 5, Case 6, Case 9의 경우는 Table 8, 9, 12와 같이 호흡안전선 높이 1.5m인 출입구 상부로는 역 기류가 발생하기 않았고, 하부 일부에서만 일부 역 기류가 발생하였다. 특히 Case 9의 경우는 하부 우측 일부에서만 극히 제한적으로 역 기류가 발생하여 부속실의 면적이 2m² 조건에서는 출입구 상부에서 부속실내로 연기유입을 차단할 수 있는 가장 안전한 조건임을 확인할 수 있었다.

4) Table 13과 같이 부속실 면적이 4m²인 경우에는 방연풍속이 출입문에서 일률적으로 거실방향으로 형성되는 것을 알 수 있었다. 따라서 방연풍속의 기류에 영향을 주는 요인으로는 급기뎀퍼의 기류방향과 뎀퍼의 토출각도 이외에도 부속실 바닥면적의 크기에 따라 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. “피난·방화시설 불량으로 인한 대형인명피해 사례”, 서울특별시 소방재난본부 비상구 폐쇄신고포상제 도입 시행 보도자료(2010.07.12).
2. 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전 기준(NFSC 501A) 소방방재청고시 제2009-31호(2009.8.24).
3. 건축물의 피난·방화 구조 등의 기준에 관한 규칙 제 9조 2항 3호 특별피난계단의 구조(국토해양부령 제238호).
4. 공기조화설비의 시험조정평가(TAB) 기술기준 2005.10. 사단법인 대한설비공학회.
5. 2006 제 3차 CPD교재, “급기가압 제연기술”, (사)한국소방기술사회 pp.74-79(2006).
6. “SFPE 방화공학 핸드북 II”, 한국화재보험협회 pp.274-280(2005).
7. 김정엽, 이동호, 김하영, “급기가압제연시스템의 피난문 개방시 방연풍속 형성특성에 대한 현장실험”, 대한설비공학회 2008하계학술발표대회 논문집, pp.463-467(2008).
8. 박재현, 진병래, “급기가압 제연기술”, ENP 연구소(주), pp.83-100(2008).
9. “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”, 국토해양부령 제205호(2009.12.31).
10. “서울특별시 건축위원회 일반건축물 심의기준”(2009.8. 제정).
11. “인명안전코드핸드북”, 한국화재보험협회, pp.154-157(2001).
12. “자동차압·과압조절형뱀퍼의 성능시험기술기준”, 소방방재청고시 제 2009-31호(2009.8.24).
13. 박재현, 진병래, “급기가압 제연기술”, ENP 연구소(주), pp.461-597(2008).
14. 한국산업규격, “KS A 0612 조임기구에 의한 유량 측정 방법”(1997.09.22).