

특별 피난계단의 부속실 출입문 성능 방안에 관한 연구

유우준* · 남준석** · 유홍선†

중앙대학교 기계공학부^{†*}, 한국소방산업기술원**

A Study on the Fire Door Performance Method of Pressurized Room for Special Evacuation Stairwells

Woo Jun You* · Jun-Seok Nam** · Hong Sun Ryou†

요 약

본 연구에서는 건설현장의 특별 피난계단 출입문 크기와 구조의 다양성을 고려한 자동폐쇄장치의 설계방안을 제시하였다. 이를 위해서 급기가압실의 방연풍속, 누설량 그리고 송풍기의 용량이 일정한 경우 출입문이 폐쇄되기 위한 힘의 상관관계를 회전각도와 회전속도의 변화에 따라서 분석하였으며, 방화문의 폭이 1 100 mm, 1 300 mm 인 경우 각각에 대해서 개방력과 폐쇄력을 측정하였다. 그 결과 현장 조건을 만족할 수 있는 자동폐쇄장치에 의한 방화문의 폐쇄조건 및 회전각도와 회전속도의 변화를 고려한 개방력과 폐쇄력의 최적 설계범위가 존재함을 확인하였다.

1. 서 론

「특별피난계단 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)」은 미국, 영국 그리고 그 외의 유럽국가에서 연구한 수많은 실험과 해석 자료를 바탕으로 구성되어 있다[1-3]. 이러한 제연설비의 구역 선정은 크게 4가지(계단실 및 그 부속실을 동시에 제연, 부속실만을 단독으로 제연, 계단실을 단독제연, 비상용승강기 승강장 단독 제연)로 구분 할 수 있다[1]. 이 중에서 부속실 단독제연이라고 함은 화재발생시 풍도내의 송풍기 등에 의해서 부속실이 가압 되어 연기의 유입을 막고 안전하게 인명을 대피시키고자 하는데 주요 목적이 있으며, 이러한 이유로 현행 소방법에서는 화재가 발생하였을 경우 부속실의 출입문은 자동폐쇄장치에 의해서 자동으로 닫히고 자동차압·과압조절형댐퍼(이하 ‘댐퍼’라 함)에 의해서 일정한 압력을 유지하면서 어린이나 노약자가 안전하게 대피할 수 있도록 출입문의 최대 개방력을 110 N 이하로 규정하고 있다. 하지만, 제연구역이 부속실인 경우 계단실 가압방식과 반대의 구조를 갖게 되어서 국외의 실험 및 해석 자료의 적용에 한계가 있다. 특히, 계단실 가압방식과 달리 부속실 단독 가압의 경우 차압을 형성하기 위한 출입문의 폐쇄 조건은 자동폐쇄장치 및 출입문의 크기와 중요한 상관관계를 갖고 있으며, 「자동폐쇄장치의 성능시험기술기준」에서는 KS F 4505(도어클로저)에서 사용하는 시험용 도어와 동일한 표준크기(900 mm × 2 000 mm)의 쌍여닫이문을 사용하여 성능시험을 하고 있다. 한 지만, 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제9조에서 특별피난계단의 출입문 유효 폭은 900 mm 이상으로 별도의 최대 크기를 규정하고 있지 않으며[4], 최근 건설현

† E-Mail : cfdmec@cau.ac.kr

중앙대학교 기계공학부 대학원

* 중앙대학교 기계공학부 대학원

** 한국소방산업기술원

장에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 수요자의 요구 등에 따라서 주출입문을 900 mm × 2 000 mm보다 크게 하고 자동폐쇄장치를 하나만 설치하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 구조는 급기가압실의 설계비용을 줄이고 시공이 간편해 질 수 있으나, 출입문의 폭이 표준 크기보다 커지게 되면 차압을 형성해 주기 위한 자동폐쇄장치의 폐쇄력이 증가하여 어린이나 노약자의 출입이 용이하지 못할 수 있다. 또한, 부속실 가압 구조는 국외의 계단실 가압과 관련된 실험 자료의 적용성이 한정될 수밖에 없으며, 현재까지 부속실 가압 구조에서 방화문의 크기 변화를 고려한 차압형성 조건과 관련된 주요 변수(누설량, 방연풍속 및 개방·폐쇄력)에 관한 기초실험이 없는 상태이다. 따라서본 연구에서는 부속실 차압형성의 주요 변수인 개방·폐쇄력과 방화문의 크기 변화에 대한 상관관계를 실험적으로 분석하였다.



Fig. 1 외여닫이형태의 방화문의 설치 사례.

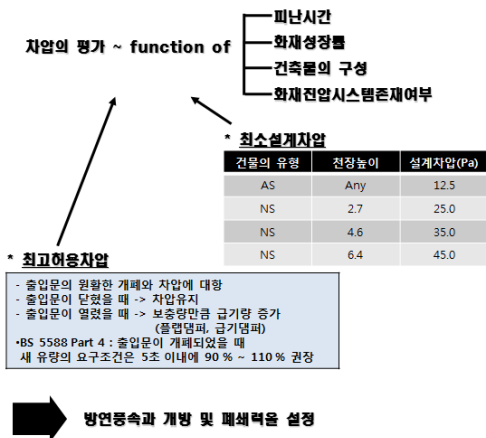


Fig. 2. 방연풍속과 개방·폐쇄력의 관계

2. 본 론

2.1 방연풍속과 개방·폐쇄력의 관계

제연구역의 급기가압 원리는 크게 차압(40 Pa ~ 60 Pa), 방연풍속(약 0.7 m/s), 출입문의 폐쇄력을 원칙으로 하며, 차압의 성능평가는 피난시간, 화재성장률, 건축물의 구성, 화재진압시스템의 존재여부로 표현된다[1]. 이러한 배경은 NFPA 92A 및 해외 연구 자료를 바탕으로 국내의 건축물 유형에 맞게 설정한 것이며, 그림 2에서 보듯이 천장의 높이와 스프링클러의 유무에 따라서 최소설계차압과 최대설계차압이 구분되어 있으며, 출입문 개방 후 5초 이내에 부속실 내부에 유량이 공급되기 위한 방연풍속 및 폐쇄력의 설정기준을 보여주고 있다.

2.2 부속실 출입문에서 힘과 압력관계

「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에서 특별피난계단의 출입구는 피난 방향으로 향하도록 하고 있으며, Fig. 3은 부속실 가압 구조에서 피난방향인 계단실로 이동하는 과정에서 피난자가 출입문에서 받는 힘의 정도를 도시화한 것이다. 여기서 Case A의 경우 피난자가 출입문에서 받는 힘은 부속실에서 발생하는 차압과 출입문의 저항 등으로 국외의 연구 자료를 적용할 수 있으나, Case B의 경우 출입문의 저항, 피난자가 받는 힘이 Case A의 경우와 차이가 있으며 식 (1)과 같이 정리된다.

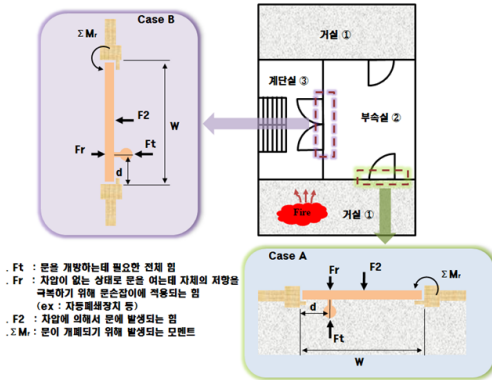


Fig. 3. 부속실 출입문에서 힘과 압력관계.

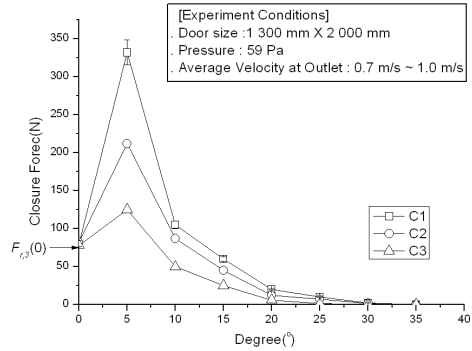


Fig. 4. 회전각도 변화에 대한 $F_{r,3}$ 의 변화.

$$M_r = \frac{w}{2} P_2 A + F_{t,2} (w - d) \quad (1)$$

여기서, M_r , w , P_2 , A , $F_{t,2}$, 그리고 d 는 각각 저항모멘트, 출입문의 폭, 부속실의 차압, 출입문의 면적, 피난자가 문손잡이에서 작용하는 힘 그리고 출입문 외벽에서 문손잡이까지의 수직거리를 의미한다. 저항모멘트 M_r 은 출입문에서 발생하는 저항 등을 모두 고려한 성분이며, 출입문 손잡이에서 발생하는 힘의 성분으로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$F_{r,3} (w - d) = F_{t,2} (w - d) + \frac{w}{2} F_2 \quad (2)$$

식(2)의 물리적인 의미는 자동폐쇄장치 등에 의해서 발생하는 모멘트($F_{r,3}(w-d)$)는 피난자가 문을 여는데 발생하는 모멘트($F_{t,2}(w-d)$)와 차압에 의해서 발생하는 모멘트($wF_2/2$)의 합과 같아야 폐쇄될 수 있다는 것을 의미한다. 여기서 급기압실의 폐쇄조건은 피난자의 성분을 제외한 것으로, $w \gg d$ 라고 가정할 경우 식 (3)과 같이 간단히 표현된다.

$$F_{r,3} \approx \frac{1}{2} F_2 = \frac{1}{2} P_2 A \quad (3)$$

식 (3)에서 부속실 내부의 차압이 동일한 경우 출입문의 면적이 넓어질수록 출입문이 폐쇄되기 위한 힘이 증가해야 한다는 것을 알 수 있으며, 본 연구에서는 회전각도와 속도의 변화를 고려하여 방화문의 폐쇄조건($F_{r,3}$)을 분석하였다.

2.3 부속실 출입문의 개방·폐쇄조건

폐쇄조건($F_{r,3}$)은 방연풍속과 댐퍼의 성능이 일정한 경우 부속실 내부의 차압과 출입문의 면적으로부터 식 (3)과 같아야 할 것이다. 하지만, 부속실의 제연설비 시스템은 일정한 유량이 송풍기에서 부속실로 공급되고 댐퍼에 의해서 40 Pa ~ 60 Pa의 범위를 맞춰주기 때문에 출입문이 폐쇄되는 동안 $F_{r,3}$ 의 값은 회전각도에 따라서 Fig. 4와 같은 함수관계를 갖는다. 여기서 C1, C2, 그리고 C3의 값은 회전속도를 의미하며, 각각에 대해서 회전각도와 폐쇄력($F_{r,3}$)의 변화를 2차 방정식으로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$F_{r,3}(\theta, C) = -a\theta^2 + b\theta + F_{r,3}(0) \quad (4)$$

$$F_{r,3}(0) = P_2A/2$$

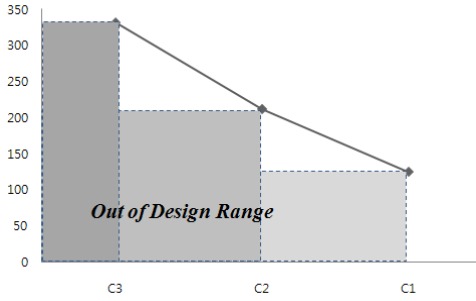


Fig. 5. 회전속도에 대한 폐쇄력 설계범위.

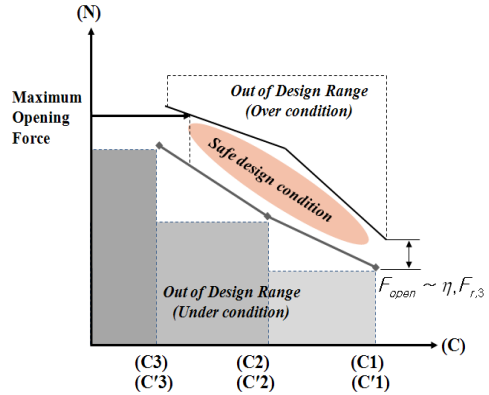


Fig. 6. 부속실 출입문의 개방/ 폐쇄력 설계 범위.

여기서 θ 그리고 C 는 각각 회전각도와 회전속도를 의미하며, 회전각도의 값이 θ_{\max} 일 때 회전속도를 고려할 경우 Fig. 5와 같은 형태가 된다.

Fig. 5의 $C1 \sim C3$ 값은 Case B에 해당하는 부속실 출입문이 일정한 회전속도로 폐쇄되기 위한 최소 설계범위를 보여주고 있으며, 폐쇄력과 개방력의 효율관계는 식 (5)와 같다.

$$\frac{F_{close}}{F_{open}} \times 100 = \eta(\%) \quad (5)$$

여기서 F_{close} , F_{open} 와 η 는 각각 자동폐쇄장치의 폐쇄력, 개방력 그리고 효율을 나타낸다. 또한, 부속실 출입문은 개방력이 작아야 어린이나 노약자의 피난이 용이하므로 식 (5)의 관계로부터 Fig. 6과 같은 형태로 표현할 수 있으며, 피난자를 고려한 최대 개방력과 부속실의 차압을 형성할 수 있는 최소 폐쇄력의 설계 범위가 존재한다는 것을 보여주고 있다.

2.4 방화문 크기 변화에 관한 시험

Table 1은 자동폐쇄장치의 방화문 크기가 1 100 mm×2 000 mm, 1 300×2 000 mm인 경우 개방력과 폐쇄력을 측정된 결과이다. 설정 차압범위는 57 Pa ~ 60 Pa이고 출입문이 작동된 이후 정상상태가 되었을 때 차압이 유지되는 상태를 측정하였으며, Table 1의 결과와 식 (3)을 비교하면 Fig. 7과 같다.

Fig. 7의 결과에서 보듯이, 출입문이 닫혔을 때 차압을 형성해 주기 위한 폐쇄력은 식 (3)의 계산 결과와 측정값이 큰 차이를 보이고 있지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한, 회전속도(C)와 폐쇄력이 최대가 되는 지점의 각도(θ_{\max})가 일정한 경우 방화문의 크기 변화에 따른 최대 개방력과 최소 폐쇄력이 결정된다면 자동폐쇄장치의 설계범위를 구할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1 자동폐쇄장치 시험 Data

Num	Opening Force (N)	Closed Force (N)	Pressure (Pa)		Door Width (mm)
			Before	After	
1-1	118	67	57~60	57~60	1 100
2-1	128	62	57~60	57~60	1 100
3-1	100	60	57~60	46~48	1 100
4-1	87	62	57~60	40~50	1 100
1-2	138	84	57~60	57~60	1 300
2-2	126	74	57~60	55~62	1 300

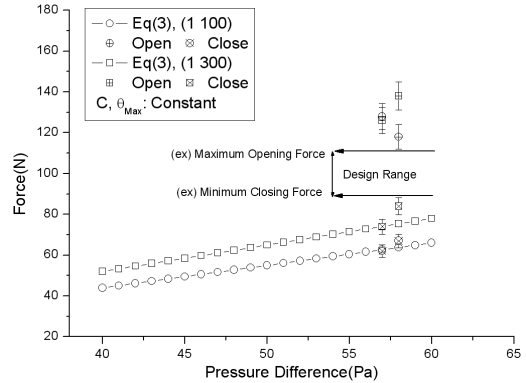


Fig. 7. 출입문 크기에 대한 개방·폐쇄력의 관계.

3. 결론

본 연구의 결과로부터 다음과 같은 사항을 확인할 수 있었다.

첫째, 출입문의 크기가 일정한 경우 부속실의 차압을 일정하게 유지하기 위한 폐쇄력은 문의 회전각도에 따라서 다르며, 회전속도와 중요한 상관관계를 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

둘째, 폐쇄력이 최대가 되는 지점의 회전각도가 일정한 경우 출입문의 폭(1 100 mm, 1 300 mm) 변화에 따라서 폐쇄력과 개방력을 측정된 결과 회전속도의 크기 대한 자동폐쇄장치의 최적 설계범위가 존재함을 확인할 수 있었다.

4. 후기

이 연구는 소방방재청 차세대 핵심소방안전기술개발사업 중 「초고층 건축물 피난을 위한 제연시스템 개발(KFI-00001)」의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] 특별피난계단 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A) 및 NFSC 501A 해설서
- [2] NFPA 92A Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences, 2004 Edition.
- [3] BSI British standards, Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildingsdesign, management and use of buildings
- [4] 건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙