

부속실 출입문 크기 변화를 고려한 개방 및 폐쇄조건 분석 An Analysis of the Opening and Closing Condition with Various Fire Door Size in the Pressurized Room

유우준* · 남준석* · 유홍선†

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

*한국소방산업기술원, 중앙대학교 기계공학부
(2011. 2. 18. 접수/2011. 4. 8. 채택)

요 약

부속실 단독가압의 제연설비 구역에서 계단실 출입문의 크기 변화가 개방 및 폐쇄조건에 미치는 영향을 분석하기 위해서 자동폐쇄장치의 구조와 저항모멘트의 관계를 정리하였으며, 부속실 출입문의 크기 변화를 고려하여 개방력과 폐쇄력을 측정하였다. 그 결과 부속실 출입문의 크기가 증가할수록 개방 및 폐쇄조건에 도달하기 위한 힘의 크기는 증가하였으며, 폐쇄시간, 회전속도, 회전각도와 힘의 관계, 자동폐쇄장치의 효율을 고려한 부속실 출입문의 설계범위가 존재함을 확인하였다.

ABSTRACT

A relationship between resisting moment and the structure of an automatic closure device is introduced for analyzing the effect of opening and closing condition on various fire door sizes in the pressurized room for smoke control system. The larger the size of fire door is, the more force is required for reaching to opening and closing conditions and there exists the design range of fire door in the pressurized room reflecting the closing time of fire door, rotative velocity, a relation between rotative angle and force and the efficiency of the automatic closure device.

Key words: Resisting moment, Automatic closure device, Opening and closing condition, Rotative velocity and angle

1. 서 론

국내의 제연설비 구역은 현행 소방법(NFSC 501A)에 의해서 크게 4가지(계단실 및 그 부속실을 동시에 제연, 부속실 단독 제연, 계단실 단독 제연, 비상용 승강기 승강장 제연)로 구분할 수 있다.¹⁾ 이러한 제연설비 구역의 성능은 급기 풍량, 댐퍼의 특성, 풍도의 형상조건 및 건물 내·외부의 온도차와 출입문의 개방상태 등 다양한 변수들에 의해서 지배받기 쉬우며,²⁾ 화재 발생에 따른 연기의 확산과정은 수직풍도와 수평풍도에서 기체가 혼합되는 정도와 중요한 상관관계를 갖고 있다. 특히, 건축물이 대형화되고 구조적인 설계가 복잡해짐에 따라서 인명 안전에 대한 위기의식이 높아지고 있는 현대 사회에서 보다 안전하게 피난활동을

하기 위한 제연 기술을 개발하고자 하는 것은 매우 중요한 사항이지만, 제연설비 구역의 성능을 지배하는 여러 변수가 서로 종속적인 관계를 갖고 있기 때문에 하나의 정량화된 함수 형태로 표현하기는 어려운 문제이다. 이러한 제연기술의 연구 내용을 유동이 흐르는 순서로 구분하면 급기 가압실에 유량을 공급하기 위한 요소로서 송풍기, 덕트, 댐퍼에 관한 연구가 이에 해당하며, 국내의 경우 Yun *et al.*³⁾은 풍도 내의 유량 조건에 따른 댐퍼의 누설량 변화를 실험 및 해석적으로 분석하였고, Yeo *et al.*²⁾은 덕트의 직경 변화와 압력손실의 상관관계 등에 관한 연구를 수행하였다. 급기가압실에서 공급된 유량과 제연효과에 관한 연구로 Cheung *et al.*⁴⁾은 출입문에서 누설되는 기체의 흐름이 온도와 압력에 미치는 영향을 해석적으로 분석하여 연기가 확산되지 않는 최적의 틈새 높이를 제시하였으며, Joyeux⁵⁾는 방화문의 재료에 따른 급기가압실의 온도상승에 관

† E-mail: cfdmec@cau.ac.kr

한 실험적인 연구를 수행하였고 Lee⁶⁾는 제연구역의 출입문에 설치되는 자동폐쇄장치의 운동해석적인 기초 연구를 수행하였다. 이 밖에도 Park⁷⁾ 등은 제연 시스템과 외기 조건에 관한 연구에서 연돌효과에 의한 고층부와 저층부의 압력변화를 고려한 제연설계 방안을 제시한 바 있다. 하지만, 현재까지 특별피난계단의 부속실 출입문의 경우 유효 폭은 900mm 이상으로 별도의 크기를 제한하지 않고 있으며,⁸⁾ 부속실 단독 가압의 경우 출입문 크기 변화에 따른 개방 및 폐쇄조건에 대한 연구가 현재까지 없는 상태이다.⁹⁾ 특히, 제연설비 구역에서 송풍기 용량, 덕트의 형상, 댐퍼의 특성과 누설량 등이 최적설계 된다고 해도 출입문의 크기가 증가할수록 부속실 내에 일정한 차압(40~60Pa)을 형성하기 위한 자동폐쇄장치의 폐쇄력이 증가하여 어린아이나 노약자의 출입이 용이하지 못할 수 있으며, 평상시 안전사고에 노출될 수 있는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 부속실 단독 가압의 제연설비 구역에서 출입문의 크기 변화에 따른 개방 및 폐쇄조건에 대한 상관을 분석하고 안전설계를 위한 연구 방향을 제시해 보고자 한다.

2. 이론적관계분석

2.1 차압형성 유무에 따른 개방·폐쇄 조건

「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에서 특별피난계단의 출입문은 피난방향으로 향하도록 하고 있으며, 특별피난계단의 부속실에서 계단실로 향

하는 출입문에는 자동폐쇄장치를 설치하도록 하고 있다.¹⁰⁾ 따라서 화재가 발생할 경우 제연구역은 자동폐쇄장치에 의해서 출입문을 닫아줌과 동시에 송풍기에서 공급된 유량이 댐퍼에 의해서 조절되어 옥내와의 차압을 일정하게 유지하여야 한다.

Figure 1의 Case B는 부속실 단독 가압구조에서 피난방향인 계단실로 이동하는 경우 피난자가 출입문에서 받는 힘의 정도를 도시화한 것으로 식 (1)과 같이 정리된다.

$$M_r = \frac{w}{2}P_2A + F_{t,2}(w - d) \tag{1}$$

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 손잡이까지의 거리를 의미하며, 개방조건은 차압이 없는 상태에서 문을 여는 힘으로 정하고 폐쇄조건은 차압이 있는 상태에서 문이 닫혔을 때의 힘으로 정의할 경우 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$(a) \text{ [Opening Case]} M_r \leq F_{t,2}(w - d) \tag{2}$$

$$(b) \text{ [Closing Case]} \eta M_r \geq \frac{w}{2}P_2A$$

여기서 η 는 개방력과 폐쇄력의 효율을 의미하며, 식 (2)의 (a)와 (b)는 각각 개방시 피난자를 고려한 저항모멘트(M_r)의 최대값과 폐쇄시 부속실 내에 차압이 형성되기 위한 최소 모멘트(ηM_r)를 의미한다.

2.2 저항모멘트의 관계 분석

저항모멘트 M_r 은 출입문의 개방 또는 폐쇄시 발생하는 저항을 모두 고려한 성분이며, Figure 2와 같이 회전에서의 마찰력과 자동폐쇄장치에 의한 저항력으로 구분할 수 있다. 회전에서의 마찰력은 자동폐쇄장치의 성능시험기술기준에서 1N·m 이하로 정하고 있으므로 M_r 은 자동폐쇄장치와 관련된 함수로 근사할 수 있다.

자동폐쇄장치에서 발생하는 저항력은 구동부, 제어부 그리고 레버 각각의 축에서 발생하는 회전모멘트에 의한 성분으로 구동부가 도어클로저인 경우 Figure 3(a)에서 보듯이 스프링의 직선운동이 피니온 기어의 회전운동으로 전환되어 개방력과 폐쇄력을 결정하는 전체 모멘트(M_{tot})를 발생하며, Figure 3(b)와 같이 보조 장비를 구동부에 부착할 경우 부가적인 스프링의 탄성력에 의해서 M_{tot} 의 값이 증가한다. 여기서 s 는 랙기어의 피치에 의한 이동거리, r_{pinion} 는 피니온 기어의 회전 반경을 의미하며, 구동부에서 발생된 전체 모멘트는 제어

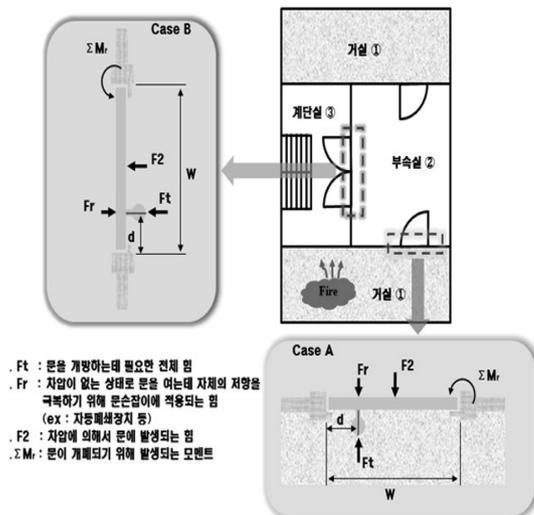


Figure 1. Relations between force and pressure difference in the fire door.

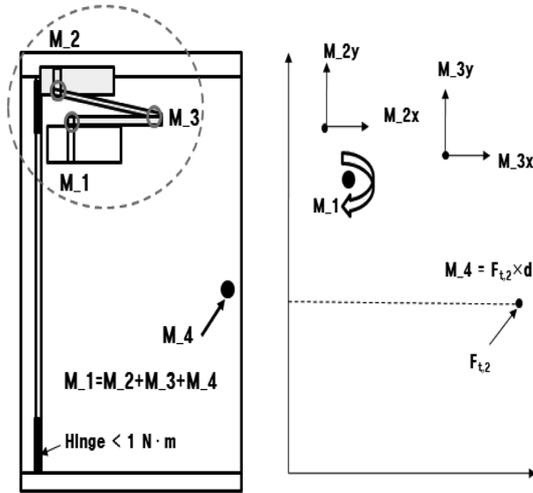


Figure 2. Moment components in fire door.

를 고려해야 함을 알 수 있다.

$$M_{tot} = F_1 \times r_1 + F_2 \times r_2 + M_r \tag{4}$$

3. 실험적관계분석

부속실에서 특별피난계단으로 향하는 출입문의 크기 변화를 고려한 개방력과 폐쇄력은 식 (2)와 식 (4)에 의해서 M_{tot} , M_r , r_2 그리고 η 와 상관관계를 갖고 있으며, Table 1과 같은 실험조건으로부터 출입문의 크기 변화에 따른 개방력과 폐쇄력, 회전속도를 고려한 폐쇄시간을 측정하여 그 결과를 분석하였다.

3.1 방화문 크기 변화를 고려한 실험

Figure 4는 방화문 크기가 1100mm × 2000mm, 1300mm

Table 1. Experimental Conditions for Fire Door Size and Closing Time

Fire Door Size	
Test Room Size	· 2.3 m × 2.3 m × 2.3 m
Damper Size	· 0.4 m × 0.6 m
Air Blower Capacity	· 25 Watt
1st Closing Time	· 3 s
2nd Closing Time	· 1.0 s~10.0 s
Door Width	· 900 × 2000 · 1100 × 2000 · 1300 × 2000
Measurement	· Opening Force · Closing Force · Closing Time

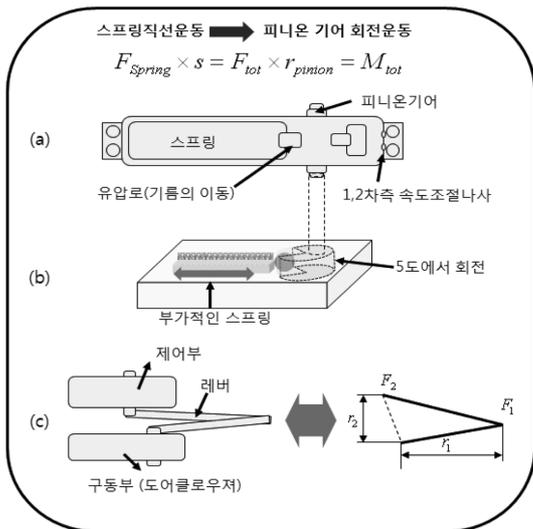


Figure 3. Configuration of automatic closure device.

부와 레버의 축에서 발생된 모멘트에 의해서 식 (3)과 같이 표현된다.

$$M_{tot} > F_1 \times r_1 + F_2 \times r_2 \tag{3}$$

여기서 $F_1 \times r_1$ 과 $F_2 \times r_2$ 는 각각 레버와 제어부 축에서 발생하는 모멘트를 의미하며, Figure 3(c)에서 r_2 는 출입문의 회전각도에 비례하여 증가하기 때문에 출입문을 여닫는 동안 피난자가 받는 힘의 크기가 변하게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 식 (3)의 좌변 항과 우변 항이 같아지기 위해서는 식 (4)와 같이 저항모멘트

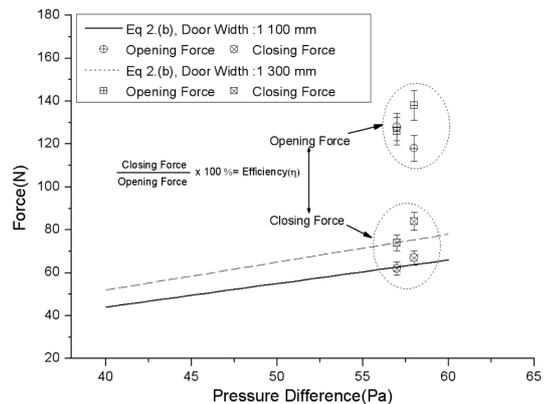


Figure 4. Opening and closing force with fire door width (1,100 mm × 2,000 mm, 1,300 mm × 2,000 mm).

×2000mm 각에 대해서 옥내와 부속실의 차압이 57~60Pa을 유지하기 위해서 필요한 개방력과 폐쇄력을 측정 한 결과이다.⁹⁾ 그림에서 보듯이 계단실에서 부속실로 향하는 문의 크기가 증가할수록 차압을 형성해 주기 위한 개방력과 폐쇄력이 모두 증가하였고 폐쇄력 측정값은 식 (2)b의 계산 결과와 매우 잘 일치하고 있음을 확인하였다.

3.2 회전속도의 영향 분석

부속실의 크기, 방연풍속, 댐퍼의 특성 등이 일정한 경우 Figure 3(1)의 1·2차 측 속도조절나사를 조정하여 출입문의 폐쇄시간을 비교하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2는 출입문의 최대 개방고정각도에서 문의 열림 각도 약 40°까지를 1차 측 그리고 문의 열림각도 0~40°까지를 2차 측으로 구분하여 부속실의 차압 형성 유무에 따른 2차 측에서 닫히는 시간과 출입문이 폐쇄되는 지점에서 힘의 크기를 비교한 결과이다. 표에서 보듯이 출입문의 닫히는 시간이 짧아질수록 부속실은 차압형성 조건에 빠르게 도달하지만 0° 지점에서 순간

Table 2. Results of Closing Time and Force

2nd Closing Time Pressure (off → on)	Force (N)	The Others
10.5 s → 67.0 s	6.2	· Initial setting pressure: ≈ 24 Pa · Opening: 48 N · Closing: 26 N
9.8 s → 45.2 s	6.8	
6.0 s → 26.8 s	8.3	
4.0 s → 14.0 s	12.0	
1.0 s → 3.3 s	39.1	

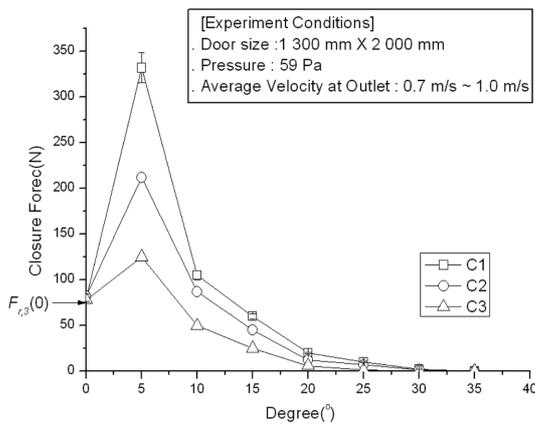


Figure 5. Closing force VS. rotative angle.

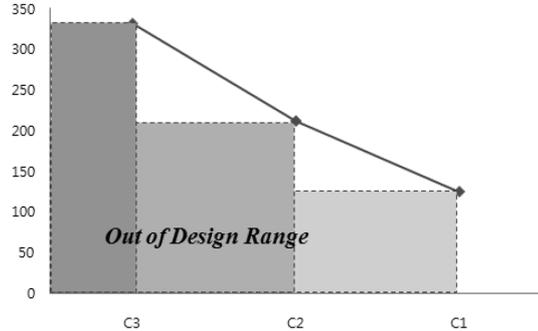


Figure 6. Closing force with rotative velocity.

적으로 작용하는 힘의 크기가 증가하는 것을 확인하였으며, 회전속도와 출입문이 닫히는 시간은 중요한 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

Figure 5는 부속실 출입문에 자동폐쇄장치를 설치하지 않은 상태에서 일정한 유량이 공급되고 댐퍼가 작동상태에 있는 경우 출입문의 회전각도 변화에 따라서 푸쉬풀 게이지(Push Full gage)로 측정 한 힘의 크기를 보여주고 있다. 그림에서 C1, C2, C3는 회전속도를 의미하며, 문이 닫히는 시간을 일정하게 하여 구한 것으로 정밀한 측정값과는 차이가 있을 수 있다. 하지만, 본 연구에서는 출입문의 회전속도와 폐쇄조건에 도달하기 위한 힘의 경향성을 판단하고자 함에 있으며, Figure 5와 같은 형태는 일정한 회전속도에 대해서 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$F_{r,3}(\theta, C) = -a\theta^2 + b\theta + F_{r,3}(0) \tag{5}$$

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

여기서 θ 와 C 는 각각 회전각도와 회전속도를 의미하며, $F_{r,3}(0, 0)$ 은 출입문이 닫힌 상태에서 차압이 유지되기 위한 조건으로 식 (2)b와 잘 일치하고 있음을 Figure 4에서 나타내었다. 따라서 출입문이 폐쇄되기 위한 힘의 크기가 최대인 지점에서 각각의 회전속도를 고려할 경우 Figure 6과 같으며, C1~C3 각각은 일정한 회전속도로 폐쇄조건에 도달하기 위한 힘과 중요한 상관관계를 갖고 있음을 의미한다.

3.3 개방 · 폐쇄조건을 고려한 부속실 출입문의 설계 범위

특별피난계단으로 향하는 부속실 출입문은 차압을 형성할 수 있도록 폐쇄력이 충분하여야 하지만, 화재시 뿐만 아니라 평상시에도 거주자의 사용이 용이하도록 설계해야 한다. 이러한 이유로 현행 소방법에서는

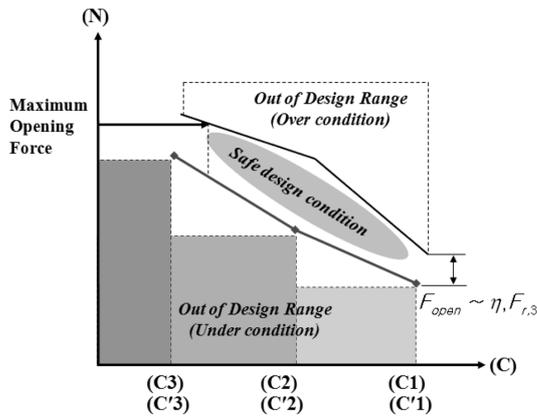


Figure 7. Design range of fire door size with opening (maximum) and closing (minimum) force.

개방력이 최대 110N을 초과하지 않도록 하고 있으며,¹⁾ 폐쇄력에 해당하는 최소 설계범위와 효율관계 식 (6)으로부터 최대 개방력을 Figure 7과 같이 유추할 수 있다.

$$\frac{F_{\text{close}}}{F_{\text{open}}} \times 100 = \eta(\%) \quad (6)$$

여기서 F_{close} , F_{open} 와 η 는 각각 자동폐쇄장치의 폐쇄력, 개방력 그리고 효율을 나타내며, Figure 7은 피난자를 고려한 최대 개방력과 부속실의 차압을 형성할 수 있는 최소 폐쇄력의 설계 범위가 존재한다는 것을 보여주고 있다.

4. 결 론

부속실 단독가압의 제연설비 구역에서 계단실 출입문의 크기 변화가 개방·폐쇄조건에 미치는 영향을 분석하기 위해서 자동폐쇄장치의 구조와 저항모멘트의 관계를 정리하였으며, 출입문의 크기와 회전속도 변화를 고려한 실험결과로부터 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

첫째, 출입문 손잡이에서 작용하는 힘은 자동폐쇄장치의 저항모멘트(M_r)의 크기, 구동부와 제어부의 거리 변화(r_2), 자동폐쇄장치의 효율(η)과 중요한 상관관계를 갖고 있으며, 부속실의 차압 유무에 따라서 개방 및 폐쇄조건을 식 (2)와 같이 제시하였다.

둘째, 출입문의 크기 변화를 고려한 실험결과에서 출입문의 폭이 넓어질수록 부속실의 차압(57~60Pa)을 유지하기 위한 개방·폐쇄조건에 해당하는 힘이 증가하였다. 특히, 특별피난계단으로 향하는 출입문의 경우

여닫는 속도가 개방·폐쇄조건에 영향을 줄 수 있으므로 자동폐쇄장치의 1·2차 측 속도조절나사를 조정하여 부속실 출입문이 폐쇄되는 시간과 힘의 크기를 측정하였으며, 출입문의 회전속도가 증가할수록 폐쇄 시간은 감소하지만 문이 닫힐 때 작용하는 힘의 크기가 증가함을 확인하였다.

셋째, 부속실에 유량이 공급되는 상태에서 출입문의 회전속도는 회전각도에 따라서 달라질 수 있으므로 자동폐쇄장치를 설치하지 않은 상태에서 회전속도 변화를 고려한 회전각도와 폐쇄조건에 도달하기 위한 힘의 경향성을 정성적으로 분석하였으며, 그 결과 최대 개방력과 최소 폐쇄력에 해당하는 영역이 존재함을 확인하였다. 따라서 특별피난 계단의 부속실 출입문은 폐쇄시간, 회전속도, 회전각도와 최대 힘의 관계, 자동폐쇄장치의 효율 등의 상관관계를 고려해야 하며, 본 연구의 결과로부터 제연구역에서 피난층으로 향하는 출입문의 피난자의 안전성을 고려한 최대 크기에 관한 설계범위를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 소방방재청 차세대 핵심소방안전기술개발 사업 중 초고층 건축물 피난을 위한 제연시스템 개발(KFI-00001)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 관계 제위께 감사드립니다.

참고문헌

1. 소방방재청, “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준, NFSC 501A”.
2. 여용주, 김학중, 박용환, 임채현, 김범규, “차압제연설비의 성능과 관련된 시스템 및 환경 변수와의 상관성 분석”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.2, pp.97-105(2010).
3. 윤영민, 이민정, 김남일, 유홍선, “풍도 내 유동 교란과 자동차압 댐퍼의 성능 특성 기초 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.23, No.6, pp.16-23(2009).
4. Sherman, C.P. Cheung, S.M. Lo, G.H. Yeoh, Richard K.K. Yuen, “The Influence of Gaps of Fire-resisting Doors on the Smoke Spread in a Building Fire”, Fire Safety Journal Vol.41 pp.539-546(2006).
5. Daniel Joyeux, “Experimental Investigation of Fire Door Behaviour During a Natural Fire”, Fire Safety Journal, Vol.37 pp.605-614(2002).
6. 이동명, “제연구역 출입문의 자동폐쇄장치 운동해석에 관한 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.3, pp.109-115(2010).

7. 박용환, 김범규, “초고층건물 계단실 단독 급기가압 제연조건이 연돌효과에 미치는 영향”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.4, pp.106-112(2010).
8. 국토해양부, “건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙”.
9. 유우준, 남준석, 유홍선, “특별 피난계단의 부속실 출입문 성능 방안에 관한 연구”, 한국화재소방학회 추계학술대회, pp.12-16(2010).
10. 소방방재청, “소방용기계·기구의 형식승인 등에 관한 규칙”.