

제연구역 방화문의 각속도 변화와 폐쇄 조건 분석

이창욱 · 김흥진 · 최영기 · 염문천* · 유홍선**†

중앙대학교, *한국소방산업기술원, **중앙대학교

A Study on the Conditions of Injection Pressurization in the Smoke-Control Zone II. Analysis of the Conditions for Closing Force of Fire Door with Variation of Angular Velocity

Chang-Wook Lee · Hong-Jin Kim · Young-Ki Choi · Moon Cheon Youm* · Hong-Sun Ryou**†

Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

*Korea Fire Institute of Industrial & Technology

**Dept. of Mechanical Engineering, Chung-Ang University

(Received December 4, 2012; Revised March 19, 2013; Accepted April 5, 2013)

요 약

본 연구는 풍도, 부속실, 거실 그리고 계단실로 구성된 구조물의 제연설비 성능에 관한 연구를 수행하고 급기 가압실의 안전성을 구현하기 위한 실험 자료를 구축하고자 하는데 목적이 있다. 이를 위해서 부속실 가압 및 차압 조절 설비와 방화문의 개폐력 측정 장치를 제작하였다. 본 주제는 부속실의 가압을 위한 설계유량과 폐쇄시 차압이 동일한 경우 방화문의 크기와 닫히는 각속도 증가에 따라서 폐쇄력을 분석하였다. 실험 결과 방화문의 크기와 닫히는 각속도가 증가할수록 폐쇄력이 증가하였으며, 일정 각속도 이상으로 증가할 경우 폐쇄력이 일정하게 유지되는 임계각속도가 존재하는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

This study aims to construct the performance data for smoke-control zone and realize the safety of injection and pressurization room which is composed of supply air pressure zone, vestibule, smoke-control zone and stairwell. To obtain this, smoke-control system and the device of the opening-closing force of fire door are manufactured. This subject is the analysis of the closing force, angular velocity and fire door size in the case of fixed volume flow rate. Based on the results, closing force increased as fire door size and closing angular velocity increases. Also, it is remark that there exists a critical angular velocity, which maintains constant maximum closing force even though the angular velocity increases more.

Keywords : Smoke-control zone, Vestibule, Closing force, Critical angular velocity

1. 서 론

현대의 건축 구조물은 인구의 증가와 함께 대형화, 고층화, 복잡화 되고 있으며, Figure 1과 같이 대규모의 복잡한 형상을 가진 초고층 구조물이 점점 증가하고 있는 추세이다⁽¹⁾. 하지만, 초고층 건축물에서 화재발생시 고가사다리차의 접근이 어려우며, 수직통로에 의해서 연기가 빠르게 확산되기 때문에 화재가 발생하여도 피난 경로에 열 및 연기의 유입을 차단하는 제연설비의 중요성이 강조되고 있

다. Purser에 따르면 화재 사망의 가장 큰 원인은 열, 연기 및 유독성 가스에 의해 대규모의 인명피해가 발생하고 있으며^(2,3), 국내외에서는 이에 대한 대책 방안으로 화재실의 인접한 구획공간에 급기가압 설비를 구성하여 안전한 피난 통로를 확보하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽⁴⁻⁶⁾. 이러한 제연설비는 화재실에서 발생한 연소생성물과 주변 환경에 따라서 유동현상이 달라지므로 열기의 확산 특성을 고려한 기초 설계가 반영되어야 한다. 따라서 국외의 NFPA 92A와 BS-EN12101-7 등에서는 열 및 연기의 차단

† Corresponding Author, E-Mail: cfdmec@cau.ac.kr
TEL: +82-2-820-5280, FAX: +82-1-813-3669

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2013.27.2.006>

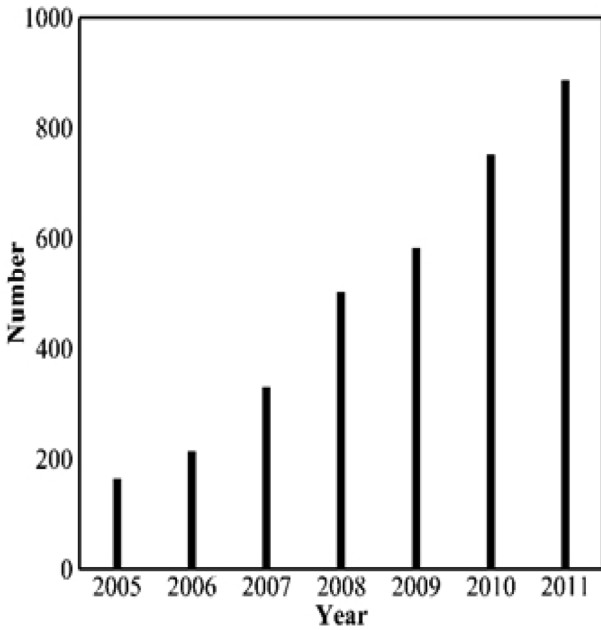


Figure 1. Increase of building over 31 stories in Korea.

효과를 위한 기술을 개발하였으며, 급기가압 조건을 고려한 실험 자료로부터 설비 규정을 제시하고 있다. 하지만, 제연설비는 급기가압 방식에 따라서 열기의 확산을 차단하면서 피난자의 안전성을 동시에 고려해야 하기 때문에 성능에 안전성을 구현하기 위해서는 설계 조건이 달라질 수 있다. 따라서 국내의 화재안전 기준(NFSC 501A)에서는 제연구역에 열기의 침투를 방지하기 위한 조건으로 가압공간이 밀폐된 상태에서 옥내와의 차압이 최소 40 Pa 이상을 유지하여야 하고, 피난자의 원활한 출입을 위한 출입문의 개방 조건을 110 N 이하로 규정하고 있다^(7,8). 하지만 피난자의 출입을 위한 개방력은 가압 공간을 밀폐하기 위한 차압 형성과 서로 상반된 관계를 갖고 있다^(4,5). 특히, 가압공간의 방화문이 개방된 상태에서 밀폐되는 동안의 시간이 지연될 경우 화재실에서 생성된 열기와 유독성 가스가 가압공간을 지나서 특별피난 계단 등 피난통로에 확산될 수 있는 문제가 발생할 수 있으며, 방화문이 밀폐되는 시간이 빠른 경우 피난자가 문 손잡이에서 받는 충격량이 증가하여 원활한 피난흐름을 방해할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 급기가압 제연설비가 가동되는 상태에서 특별 피난 계단으로 향하는 방화문이 닫히는 속도와 밀폐 시간 그리고 폐쇄력의 크기를 측정하였으며, 가압공간을 형성하기 위한 폐쇄 조건을 분석해 보고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험장치 구성

Figure 2는 본 연구를 위해서 제작한 구조물의 형태를 보여주고 있다. 제연설비가 가동되는 동안 물리량을 측정하기 위해서 유량계 총 4개를 계단실과 각 층의 풍도실에 연

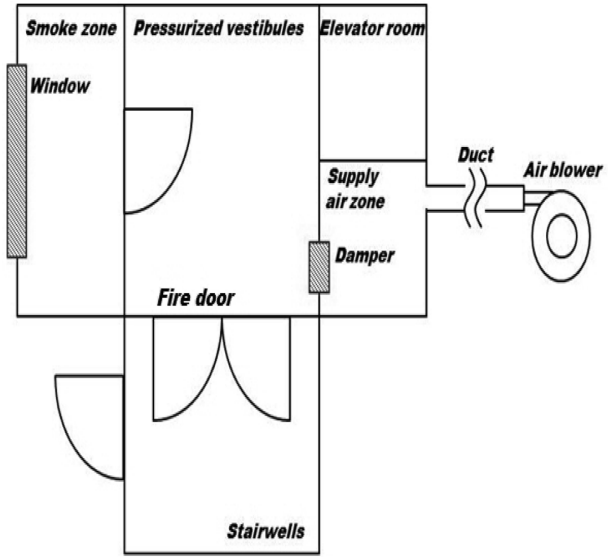


Figure 2. Schematic diagram of structure.

결하였으며 압력센서 총 10개를 각각의 구획공간에 설치하였다. 유량계는 배관의 직경/길이 비가 유동의 간섭을 받지 않도록 설치하였다. 제연구역에 유량을 공급하기 위한 송풍기는 Sirocco Fan Type으로 7.3 HP에 회전비를 높여서 송풍량을 증가하였으며, 메인 제어부인 PXI Embedded Controller(Model: NI PXI-8110)에서 모든 제어와 계측에 관한 지령을 담당하도록 구성하였다. 또한, 절연전류 신호 수집장치(Model: NI PXI-6224)에서 유량, 압력, 댐퍼와 자동 폐쇄장치 등에 대한 통신을 전달하고 전류출력기(Model: NI PXI 6704)로부터 송풍기와 밸브의 제어가 가능하도록 하였다.

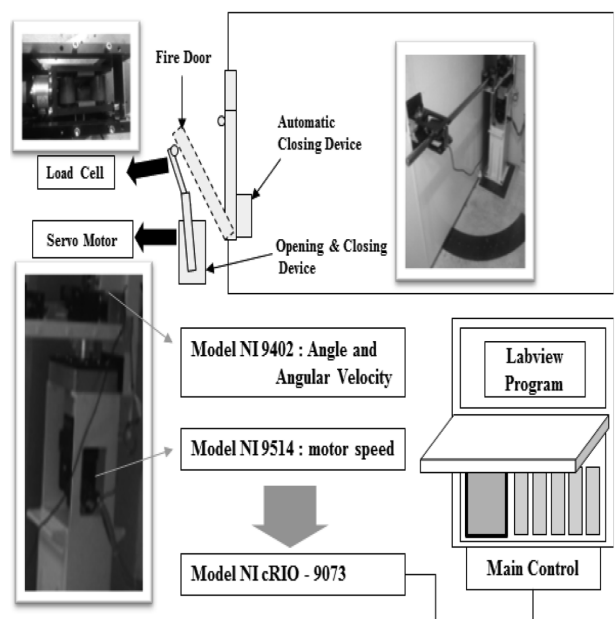


Figure 3. Schematic diagram of opening & closing device.

Table 1. Specification of the Experiment Apparatus

Components	Model/ Company	Specification
Mass flow meter	640S Sierra	<ul style="list-style-type: none"> • Range 0~150 m³/min • Response Time 1 s to 63 % of final velocity value • Accuracy +/- 1 % of reading + 0.5 % of full scale
Air flow sensor	HD403TS/ Delta Ohm	<ul style="list-style-type: none"> • Range 0.08~5.0 m/s • Response Time 0.2 s • Accuracy ±(0.2 m/s+3 %f.s.)
Pressure sensor	DPU/ Sensys	<ul style="list-style-type: none"> • Range 0~1,000 Pa • Response Time 0.2 s • Accuracy ±(0.2 m/s+3 %f.s.)
Air blower	SH4SS Sam Hee	<ul style="list-style-type: none"> • 192 m³/min • 80 mmAq • 7.3 HP

Figure 3은 제연설비가 가동되는 동안 방화문의 개방력과 폐쇄력을 측정하기 위한 실험장치의 개략도를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 도어 클로저 없이 모션제어기(Model NI 9514)에 의해서 모터를 고속으로 정밀하게 제어하고 펄스추진기(Model NI 9402)로 방화문의 각도와 각속도를 측정하였으며, Real-Time Controller(Model NI cRIO - 9073)와 메인제어부에 의해서 실시간 각속도와 하중을 제어·측정하는 방식으로 설계하였다. 실험에 사용한 댐퍼의 차압조절범위는(45~55) Pa 그리고 전체 날개 면적 0.24 m²인 시험용 댐퍼를 사용하였으며, 본 연구에서 사용한 센서의 사양을 Table 1에 나타내었다.

2.2 가압공간의 유동특성 분석

Table 2는 본 연구에서 사용한 개폐력측정장치의 사양과 실험조건을 보여주고 있다. 덕트와 풍도에서 가압공간으로 공급되는 설계유량이 22 m³/min, 부속실(vestibule)의 유효 누설면적 0.018 m² 그리고 댐퍼에 의한 가압공간의 차압을 (45~55) Pa로 하여 유속과 차압 조건을 정하였으며, 방화문의 각속도 변화에 따라서 폐쇄력의 크기를 측정하였다.

Figure 4은 제연설비가 가동되는 동안 방화문의 각속도를 약 3.1 °/s로 일정하게 하여 방화문의 열림각도 약 50°에서 0°로 닫히는 동안 공급유량, 풍도 및 부속실의 차압(외기)을 측정된 결과이다. 그림에서 보듯이 개폐력 측정장치에 의해서 방화문이 일정한 각속도로 닫히는 10초 구간 동안 덕트에서 공급된 22 m³/min 정도의 설계유량이 풍도와 부속실을 거쳐서 계단실(외기)로 빠져나가면서 방연풍속을 형성하게 된다. 이 구간(A)에서 유량과 차압이 정상상태로 유지되며 방화문의 열림각도 약 4~7°에서부터 풍도와 부속실의 차압이 증가하고 댐퍼의 날개가 작동하여 유량손실계수(C_D)에 의해서 설계유량(Q₀)이 보충량(Q_s)으로 감소한다. 이 구간(B)에서는 시간 변화에 따

Table 2. Apparatus for Measuring Closing Force and the Experimental Condition

Components	Model/ Company	Specification
Opening & Closing device	Manufacture Flex.Co.Ltd	<ul style="list-style-type: none"> • Size: (0.2×0.3×1.0) m • Adjustable Door Width: from 0.5 m to 1.8 m
Load cell	Sum 100 K/ Senstech Co. Ltd	<ul style="list-style-type: none"> • Range 0~100 kgf • Zero Balance ±2 % R.O. • Repeatability 0.05 % R.O.
Servo motor	SGMGV/ Yaskawa	<ul style="list-style-type: none"> • 15 kW • 80 mmAq • 7.3 HP
Fixed values		<ul style="list-style-type: none"> • Q₀=22 m³/min • A_{eff} in vestibule=0.018 m² • Pressure difference when door closed (45~55 Pa)
Variables		<ul style="list-style-type: none"> • Fire door size • Closing Angular velocity

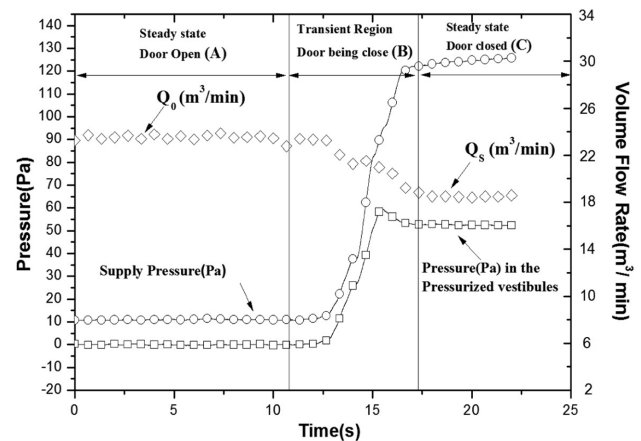


Figure 4. Variation of pressure at the vestibule and supplying air zone and variation of flow rate from blower from opening to closing the door.

라서 풍도와 부속실의 차압과 유량이 실시간 변하며 그 이후 방화문이 닫히는 구간(C)가 되면 다시 정상상태가 되는 것을 확인할 수 있다.

2.3 방화문의 폐쇄조건분석

Figure 5는 설계유량 22 m³/min, 방화문의 크기 (0.9×2.0) m 그리고 방화문의 닫힘 속도 3.1 °/s인 경우 제연설비 가동시 폐쇄력의 크기를 측정된 결과이다. 그림에서 보듯이 방화문이 닫히는 동안 설계유량을 유지하고 있는 A구간에서는 부속실의 차압이 발생 하지 않기 때문에 시간 변화에 따라서 폐쇄력이 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 방화문의 열림각도 약 7° 지점 이하인 B구간에서는 방화문이 닫히면서 설계유량이 감소하여 가압공간에서 차압이 형성되고 폐쇄력이 증가하게 된다. 즉, 이 구간에

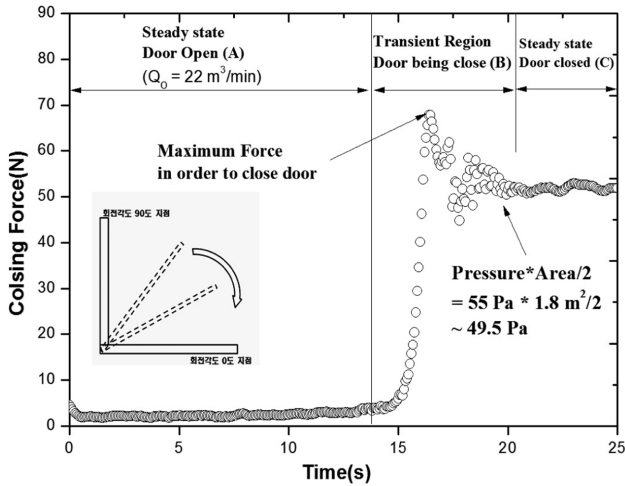


Figure 5. Variation of closing force from opening to closing the door.

서 공급유량, 풍도와 부속실의 차압, 폐쇄력이 모두 비정상상태가 되며, 가압공간인 부속실을 검사체적으로 정하는 경우 경계조건이 시간 변화에 따라서 실시간 달라지게 되는 특징을 보여주고 있다. 특히, 방화문의 손잡이에서 작용하는 폐쇄력은 방화문이 닫히는 시간 변화량에 대해서 부속실의 차압 증가량과 댐퍼의 차압 조절 시점에 따라서 최대크기가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 방화문이 닫히는 시간이 지연되는 경우 유독성 가스의 확산이 발생할 수 있는 각속도와 그 반대인 방화문의 닫히는 시간이 빠른 경우 피난자의 피난흐름을 방해할 수 있는 각속도가 존재하는 것을 예측할 수 있으며, 방화문의 각속도와 댐퍼의 작동시점을 고려한 최대 폐쇄력이 설계에 반영되어야 하는 것을 보여주고 있다.

Figure 6은 방화문의 크기가 (0.9×2.0) m 또는 (1.1×2.0) m인 경우 방화문의 각속도 크기를 (3.1~20.8) °/s로 조절한 시험조건을 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 A구간에서 비정상상태인 B구간을 지나 방화문이 닫힌 C구간까지 방화문의 각속도가 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있으

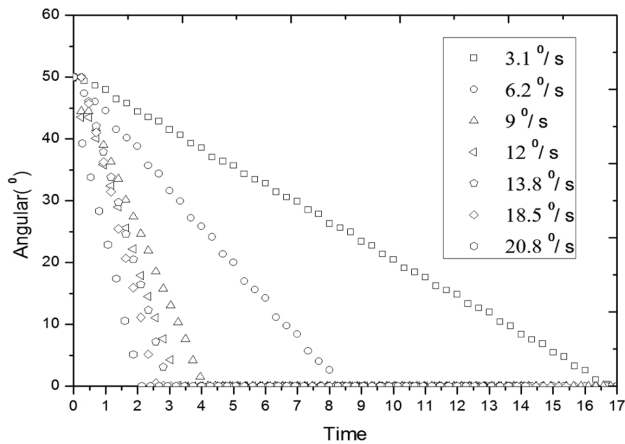


Figure 6. The conditions of variation of angular velocity.

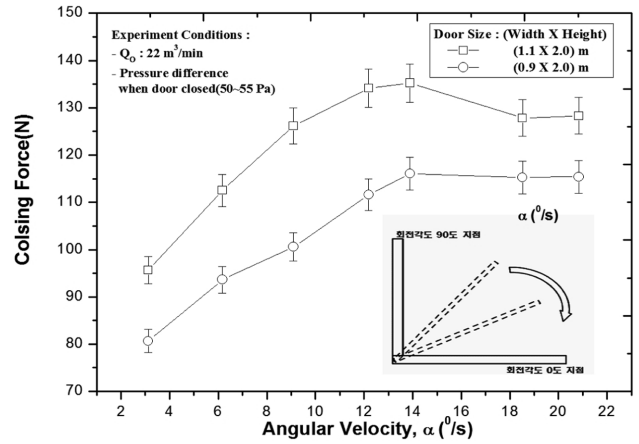


Figure 7. The maximum closing force by angular velocity.

며, 각각에 대한 최대 폐쇄력을 Figure 6에 나타내었다. Figure 7은 가압공간에 공급되는 설계유량 22 m³/min 그리고 댐퍼의 차압조절범위 (45~55) Pa인 경우 방화문의 닫힘 각속도를 (3.1, 6.2, 9, 12, 13.8, 18.5 그리고 20.8) °/s로 하여 각각의 각속도에 대한 최대 폐쇄력을 측정된 결과이다. 그림에서 보듯이 동일한 각속도와 구획공간의 차압에 대해서 방화문의 크기가 증가할수록 단위면적당 받는 힘이 증가하므로 최대 폐쇄력도 비례하여 증가하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 방화문이 닫히는 각속도가 증가할수록 최대 폐쇄력이 증가하지만 약 14 °/s의 각속도를 전·후로하여 오차범위 안에서 최대 폐쇄력이 동일하게 유지되는 임계각속도가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 임계각속도 이전에서는 각속도의 크기에 비례하여 부속실의 차압 증가량에 따라서 댐퍼의 작동 시점이 영향을 받지만 임계각속도 이상에서는 부속실의 차압 증가와 독립적으로 댐퍼의 작동 성능에 따라서 최대 폐쇄력이 일정하게 유지되는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 경우 가압공간에 공급되는 설계유량 22 m³/min, 방화문의 크기가 (0.9×2.0 m) 또는 (1.1×2.0) m 그리고 구획공간의 차압조절범위 (45~55) Pa인 성능을 가진 날개면적 0.24 m²인 댐퍼에 대해서 최대폐쇄력의 임계각속도는 약 14 °/s 정도인 것을 실험적으로 분석하였다.

3. 결론

본 연구에서는 급기가압 제연설비가 가동되는 상태에서 특별 피난 계단으로 향하는 방화문이 닫히는 속도와 밀폐 시간 그리고 폐쇄력의 크기를 측정하였으며, 가압공간을 형성하기 위한 폐쇄 조건을 분석하였다. 이를 위해서 가압공간에 22 m³/min의 유량을 공급하였고, 댐퍼에 의한 가압공간의 차압을 (45~55) Pa로 정하였으며, 방화문의 각속도 변화에 따라서 폐쇄력의 크기를 측정하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 방화문의 크기와 폐쇄력의 관계를 분석한 결과 동일

한 각속도와 차압에 대하여 방화문의 크기가 증가할수록 단위면적당 받는 힘의 증가로 최대 폐쇄력이 약 20 % 증가하였다.

2. 방화문의 닫힘 각속도 (3.1, 6.2, 9, 12, 13.8, 18.5 그리고 20.8) %/s일 때 최대 폐쇄력을 분석한 결과 각속도가 증가할수록 최대 폐쇄력이 증가하지만 약 14 %의 각속도를 전·후로하여 오차범위 안에서 최대 폐쇄력이 동일하게 유지되는 임계각속도가 존재하는 것을 확인하였다. 임계각속도 이전에는 각속도의 크기에 비례하여 최대 폐쇄력이 증가하였지만 임계각속도 이상에서는 부속실의 차압 증가와 독립적으로 댐퍼의 작동 성능에 따라서 최대 폐쇄력이 일정하게 유지되는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 제연 시스템 설계하기 위한 실험 자료 구축에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. The state of existing building stories, National Statistical Office (2012).
2. "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering" (2009).
3. "United Kingdom Fire Statistics", LODON (1984).
4. Y. M. Yun, M. J. Lee, N. I. Kim and H. S. Ryou, "Basic Study on the Performance of a Pressure-difference Control Damper Affected by Flow Disturbance in a Wind Tunnel", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 23, No. 6, pp. 16-23 (2009).
5. Y. H. Park and B. G. Kim, "The Influence of Stairway Pressurization Conditions on the Stack Effect in Supertall Buildings", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 109-115 (2010).
6. W. J. You, J. S. Nam and H. S. Ryou, "An Analysis of the Opening and Closing Condition with Various Fire Door Size in the Pressurized Room", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 25, No. 2, pp. 132-137 (2011).
7. NFPA 92A, "Standard for Smoke-Control Systems Utilizing Barriers and Pressure Differences" (2009).
8. EN 12101-6, "Smoke and Heat Control Systems - Part 6: Specification for Pressure Differential Systems" (2005).