

## 특별피난계단 부속실 제연설비의 방연풍속 측정 방법에 관한 연구 Study on Measurement Method of Air Egress Velocity in Vestibule of Smoke Control System

이수경<sup>†</sup> · 홍대화\*

Su-Kyung Lee<sup>†</sup> · Dae-Hwa Hong\*

서울과학기술대학교 안전공학과, \*현대하이카손해사정(주) 위험관리연구소  
(2011. 3. 30. 접수/2011. 6. 10. 채택)

### 요 약

본 연구는 국내 고층건물 특별피난계단의 부속실에 설치되는 급기압 제연시스템에서 화재 발생 시 피난을 위하여 출입문이 개방되었을 경우 형성되는 방연풍속의 특성을 FDS를 이용하여 해석하였고, 해석 결과를 분산분석으로 기류의 특성에 따른 측정 방안을 분석하고자 한다. 부속실과 같은 구획공간의 설계 조건에서 급기압에서 토출되는 보충량은 심한 와류를 형성하고 형성된 와류의 범위 안에 출입문이 존재할 경우 비정상적인 기체의 유동이 출입문지점에 발생한다는 것을 선행연구를 통하여 확인할 수 있었다. 국가화재안전기준 NFSC 501A에서 방연풍속을 측정할 때에는 출입문의 개방에 따른 개구부를 대칭적으로 균등 분할하는 10 이상의 지점에서 측정하는 풍속의 평균치로 할 것으로 정하고 있으나 이러한 조건에서는 출입구 상부 지점에 기류의 유입 현상을 파악하기 어렵고 풍속의 편차가 심하기 때문에 측정점을 공기조화설비의 시험조정 평가 기술기준에서 제시하는 64점 이상으로 세분화하여 측정하여야 할 것이다.

### ABSTRACT

This study of the vestibule of pressurizing smoke control system installed in domestic high-rise buildings for evacuation in case of fire, when the door is open to forming characteristics of the air flow was analyzed using fire dynamics simulator and analyzed of variance. Vestibule which is compartment of the design condition, air flow in the exhaust damper was formed severe turbulence preceding research. The door position is in the range of formed vortex, unsteady flow of air occurs at the point that the door could be confirmed. According to the NFSC 501A, door to symmetrically separate the average of 10 points or more as measured from the average of wind speed to do is based. Under these conditions, it is difficult to measure the characteristics of the upper air flow of upper points, so measuring points are subdivided by more than 64 points method presented in TAB because severe deviation of wind speed.

**Key words** : Air egress velocity, Vestibule, Analysis of variance, Fire dynamics simulator

### 1. 서 론

건축기술의 발전과 도시집중화로 초고층건축물이 급격하게 증가하고 있는 시점에서 2010년에 발생한 부산 해운대 38층 우신골든 스위트 주상복합건물 화재사고로 고층건물 화재에 대한 불안감이 한층 높아졌다. 163명이 사망한 대연각 호텔 화재사태와 같이 고층건물 일수록 연기확산에 따른 질식의 위험성에 더욱 노출되

어 있다. 화재 시 발생하는 연기는 소화활동과 피난활동의 지장을 초래하기 때문에 인명안전에 위협이 되고 있다. 따라서 연기를 제어하여 안전한 피난로를 확보할 수 있는 제·배연시스템의 중요성이 강조되고 있다. 건축법에서 11층 이상의 건축물에 대해서는 직통계단을 특별피난계단 구조로 하도록 되어있고, 옥내외계단실과의 연결은 노대 또는 외부로 향하여 열 수 있는 창문이나 배연설비가 있는 부속실을 연결하도록 설치 기준이 되어 있다.<sup>1)</sup> 따라서 고층건물의 제연설비는 계단실 및 그 부속실을 동시 제연하거나 부속실을 단

<sup>†</sup> E-mail: lsk@seoultech.ac.kr

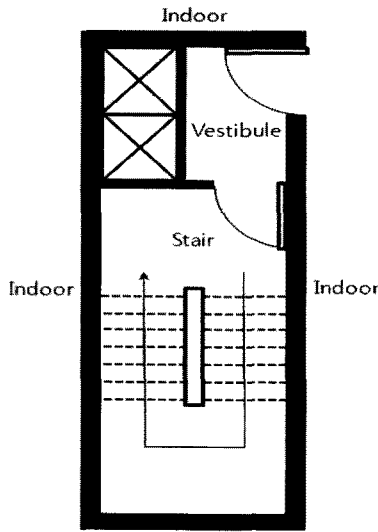


Figure 1. Vestibule with smoke control system.

독으로 제연하여야 한다. 외국의 경우에는 계단실 및 부속실 동시 제연이 적용되고 있는 반면 국내에서는 Figure 1과 같이 부속실만을 단독으로 제연하는 급기 가압 제연시스템을 일반적으로 적용하고 있다.<sup>2)</sup>

부속실 제연방식은 국가화재안전기준 NFSC 501A에서 3가지 방식을 요구하고 있다.<sup>3)</sup> 첫째, 옥내와의 차압을 유지하게 함으로써 옥내로부터 제연구역내로 연기가 침투하지 못하도록 하여야 한다. 둘째, 피난을 위하여 부속실의 출입문이 일시적으로 개방되는 경우 옥내로부터 부속실내로 연기의 유입을 유효하게 방지할 수 있는 방연 풍속을 유지하도록 하여야 한다. 셋째, 피난을 위하여 일시 개방된 출입문이 다시 닫히는 경우 부속실의 과압을 방지할 수 있는 유효한 조치를 하여 차압을 유지하여야 한다.

그러나 선행 연구<sup>4,5)</sup>에 따르면 제시한 바와 같이 고층건물에 설치되어 있는 급기 가압 제연시스템은 평균 기류속도를 확보하지 못하였으며 그 결과 출입 상부지점에는 역 기류가 발생하는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 화재 시 발생하는 연기가 제연구역인 부속실로 침투하여 피난에 지장을 초래한다는 것이다. 자동차압·과압조절형 급기덤퍼에서 토출된 보충량이 연기를 제어할 수 있는 충분한 풍량을 확보하고, 부속실 내로 공기의 역류현상을 방지하기 위하여 부속실 면적에 따른 방연풍속의 특성을 실험실 및 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용한 연구가 진행되었다.

국가화재안전기준 NFSC 501A 제 25조에서 방연풍속을 측정할 때에는 출입문의 개방에 따른 개구부를 대칭적으로 균등 분할하는 10 이상의 지점에서 측정하

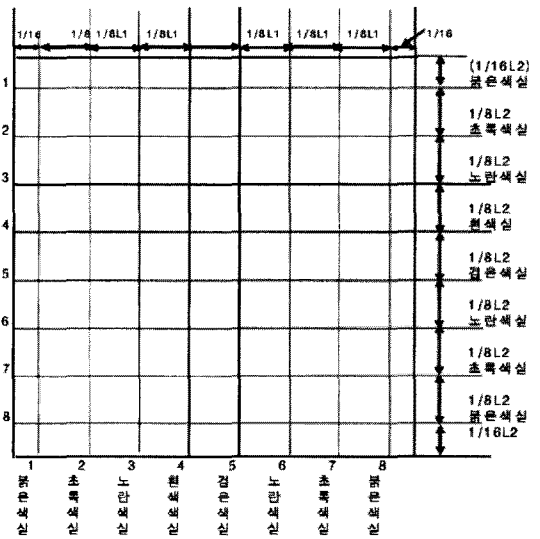


Figure 2. Measurement of air velocity distribution by constant area method.

는 풍속의 평균치로 할 것으로 정하고 있으며 그 측정된 풍속의 평균치는 0.5~0.7 m/s 이상으로 규정하고 있다.

공기조화설비의 시험조정 평가 기술기준(TAB, Testing, Adjusting & Balance)<sup>6)</sup>의 측정위치는 최소 16점에서 64점까지로 정하고 있다. 그러나 선행연구 결과와 같이 급기덤퍼에서 토출된 보충량은 부속실내 시간적·공간적으로 불규칙한 난류를 형성한다. 그 영향을 받아 기류 역류현상이 발생하게 되며 그 발생지점은 불특정 지점이기 때문에 보다 세분화된 측정방법이 요구되고 있다.

본 연구에서는 특별피난계단 부속실에서 거실방향으로 토출되는 방연풍속의 비정상적 풍속을 FDS를 이용하여 해석하였다. 측정점이 세분화될수록 방연풍속분포가 상세하게 나타나며, 측정 결과 방연풍속의 분포를 명확히 판단하기 위하여 측정지점은 Figure 2와 같이 출입문을 가로 8행, 세로 8열로 구분하여 총 64점으로 등분하여 적용하였다. 또한 해석된 결과를 SPSS의 분산분석(반복 있는 이원 배치법)으로 등면적된 출입문에 형성되는 기류의 인자 행과 열의 차이를 확인하여 토출기류의 특성을 제시하였다.

## 2. 연구방법

최근 준공된 K건물의 특별피난계단 부속실을 대상으로 TAB를 실시하였다. 대상 부속실의 경우 급기덤퍼에서 토출되는 풍량이 0.416 m<sup>3</sup>/s로 기준풍량인 1.26 m<sup>3</sup>/

s(출입문 면적 × 0.7 m/s)에 미치지 못하였다. 기준 풍량을 만족하는 조건에서의 방연풍속 특성을 분석하기 위하여 CFD(Computational Fluid Dynamics)기반 FDS를 이용하여 해석하였다. FDS는 미국 NIST의 BFRL (Building and Fire Research Lab)에서 개발된 수치해석

프로그램으로써 화재시물레이션용으로 개발되어 국내 외에서 널리 사용되고 있다. FDS는 방화공학에서 실제적인 화재 문제를 푸는 데에 목적을 뒀으며, 그와 동시에 기초적인 화재 역학 및 연소를 연구하는 Tool을 제공한다. 이의 활용에 대한 제반 사항은 해당 매뉴얼을 따르도록 하였다.<sup>7)</sup>

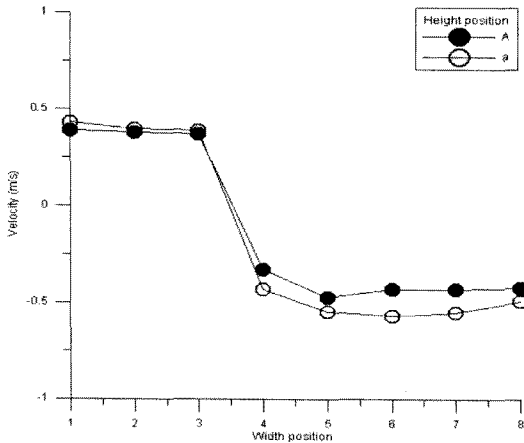


Figure 3. Comparison graph of experimental (A) and FDS (a) at "A" point.

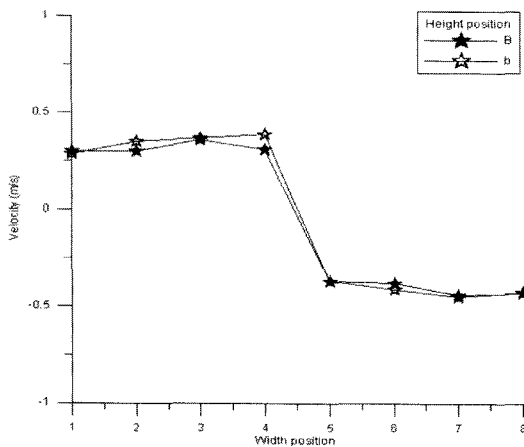


Figure 4. Comparison graph of experimental (B) and FDS (b) at "B" point.

### 2.1 적용모델의 적합성

방연풍속의 특성을 해석하는데 있어서 적용모델의 검증은 선행연구<sup>4)</sup>에서 확인되었다. 본 연구에서도 FDS 적용성을 먼저 확인하기 위하여 최근 준공된 고층건물의 특별피난계단 부속실(급기덕트에서 토출되는 풍량이 0.416 m<sup>3</sup>/s 조건)에 64등분면적으로 TAB를 실시하여 방연풍속 측정치와 수치해석결과를 비교하여 FDS의 적용에 대한 적합성을 검증하였다.

고층건물의 특별피난계단 부속실의 TAB측정데이터

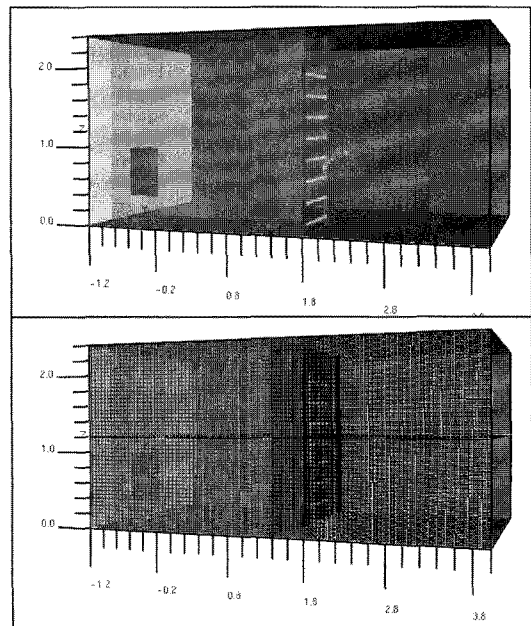


Figure 5. Modeling of Vestibule.

Table 1. Summary of CFD Modeling

Mesh	Cell Size (m)	Device Quantity	Device Amount (EA)	Damper Size (m)	Air Flow (m <sup>3</sup> /s)
One Mesh	0.5 × 0.5 × 0.5	Velocity ( $\sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$ )	64	0.4 × 0.6	1.26
Area	Mesh Size (m)	Cell Amount (EA)	Velocity (m/s)	N Frame	Simulation Time (sec)
3.12	5.2 × 3.1 × 2.4	309,504	5.25	60	30

와 FDS해석결과는 Figure 3-4와 같이 풍속은 다소 차이가 있으나 64지점을 지나는 기류방향은 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

**2.2 모델링**

특별피난계단 부속실 방연풍속의 기류특성을 Fire Dynamics Simulator v5.5.1을 이용하여 해석하였고, 그래픽 툴 Smokeview 5.5.6을 이용하여 방연풍속의 기류 방향을 시각적으로 확인하였다. 출입문(0.9 × 2.0 m<sup>2</sup>)과 급기덤퍼의 크기는 TAB 실측 현장과 동일한 조건으로

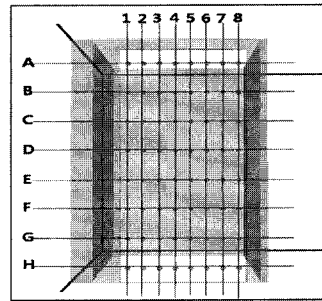


Figure 6. Measuring points of air egress velocity.

Table 2. Analysis of Variance (Width, Height) about Measuring 64 Points

	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
A point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	24.21	28.99	25.44	26.05	23.97	19.92	20.4	25.7	194.68
Average	0.39689	0.47525	0.41705	0.42705	0.39295	0.32656	0.33443	0.42131	0.39893
Variance	0.02324	0.04410	0.05176	0.05006	0.02661	0.02409	0.01651	0.03331	0.03534
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
B Point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	23.32	25.76	21.03	25.96	25.64	20.02	19.83	19.71	181.27
Average	0.38230	0.42230	0.34475	0.42557	0.42033	0.32820	0.32508	0.32311	0.37145
Variance	0.01771	0.03787	0.04115	0.05711	0.04073	0.02526	0.02954	0.01865	0.03491
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
C Point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	22.42	23.95	19.98	26.84	27.38	24.11	23.14	20.66	188.48
Average	0.36754	0.39262	0.32754	0.44000	0.44885	0.39525	0.37934	0.33869	0.38623
Variance	0.01620	0.04584	0.03954	0.05421	0.04855	0.04166	0.03978	0.02001	0.03931
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
D Point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	22.3	24.27	22.25	28.23	28.71	28.17	27.88	22.47	204.28
Average	0.36557	0.39787	0.36475	0.46279	0.47066	0.46180	0.45705	0.36836	0.41861
Variance	0.02101	0.05008	0.04007	0.05138	0.05001	0.04744	0.04685	0.02034	0.04240
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
E Point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	21.76	22.41	25.62	27.3	28.55	28.06	32.68	30.71	217.09
Average	0.35672	0.36738	0.42000	0.44754	0.46803	0.46000	0.53574	0.50344	0.44486
Variance	0.01924	0.03522	0.03561	0.03790	0.03299	0.03765	0.05351	0.04985	0.04057

Table 2. Continued

	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
F point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	20.95	22.76	25.54	26.5	26.48	25.43	31.34	36.53	215.53
Average	0.34344	0.37311	0.41869	0.43443	0.43410	0.41689	0.51377	0.59885	0.44166
variance	0.01261	0.03088	0.02959	0.02743	0.02579	0.02525	0.05168	0.08339	0.04101
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
G point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	19.21	20.67	23.09	22.72	20.53	19.04	22.54	34.43	182.23
Average	0.31492	0.33885	0.37852	0.37246	0.33656	0.31213	0.36951	0.56443	0.37342
variance	0.01880	0.02596	0.02258	0.01489	0.01896	0.01111	0.02681	0.05568	0.02979
	1 point	2 point	3 point	4 point	5 point	6 point	7 point	8 point	Total
H point									
Num.	61	61	61	61	61	61	61	61	488
Sum	15.21	16.02	14.67	13.89	12.75	12.17	13.06	19.21	116.98
Average	0.24934	0.26262	0.24049	0.22770	0.20902	0.19951	0.21410	0.31492	0.23971
variance	0.03111	0.02887	0.01173	0.00944	0.00815	0.00984	0.01304	0.02465	0.01807
Total									
Num.	488	488	488	488	488	488	488	488	488
Sum	169.38	184.83	177.62	197.49	194.01	176.92	190.87	209.42	209.42
Average	0.34709	0.37875	0.363975	0.404693	0.397561	0.362541	0.391127	0.429139	0.429139
variance	0.021603	0.040197	0.036785	0.042347	0.037796	0.034272	0.044215	0.048815	0.048815
분산 분석									
변동의 요인	제곱합	자유도	제곱 평균	F 비	P-값	F 기각치			
인자 A(행)	14.41588	7	2.059412	63.03808	3.33E-86	2.011965			
인자 B(열)	2.415986	7	0.345141	10.56468	3.18E-13	2.011965			
교호작용	9.169912	49	0.187141	5.728342	9.04E-33	1.357255			
잔차	125.4502	3840	0.032669						
Total	151.452	3903							

적용되었고, 풍속은 기준풍량인 1.26 m<sup>3</sup>/s(출입문 면적 × 0.7 m/s)를 급기뱃퍼의 면적(0.4 m × 0.6 m)으로 나누어 5.25 m/s를 적용하였다. 방연풍속의 속도의 측정점은 출입문의 개방에 따른 개구부를 대칭적으로 균등 분할하는 64개의 지점에 Device(Quantity = Velocity)를 배치하였고, Dump namelist의 NFRAMES를 60으로 적용하여 30초 동안 총 61회 해석된 수치를 구하였다. Modeling 개요는 Table 1과 같다.

### 3. 결과 및 분석

본 연구에서는 FDS 해석을 통하여 화재시 거실에서 부속실로 통하는 출입문에 방연풍속을 측정하기 위하여 기준풍량(1.26 m<sup>3</sup>/s)을 만족하는 조건을 모델링하였다. Figure 6과 같이 64점 등분면적하여 기류분포를 0.5초 간격으로 총 61회 해석된 수치를 수집하였으며, Vector 변수를 활용하여 각 지점간의 방연풍속의 방향을 현상

학적으로 분석하였다. 해석된 총 3904개의 데이터를 Table 2와 같이 SPSS에 의한 분산분석(반복 있는 이원 배치법)을 실시하여 등면적된 출입문에 형성되는 기류의 인자 행과 열의 특성을 확인할 수 있었다.

분산분석(반복 있는 이원 배치법)을 실시해본 결과 유의수준은 거의 100%까지로 분석되었다. 즉, 64등면적된 특별피난계단 부속실의 출입문에 형성되는 기류의 인자 행과 열에는 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 선행연구<sup>4,5)</sup>에서 확인된 바와 같이 부속실과 같은 구획공간의 설계조건에서 급기땀퍼에서 토출되는 보충량은 심한 와류를 형성하고 형성된 와류의 범위 안에 출입문이 존재하면 거실 내 공기의 유입으로 인한 역 기류 현상 등 비정상적 기체의 유동이 출입문지점에 발생한다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내 고층빌딩에서 화재 발생 시 피난을 위해 부속실에 급기 가압 제연시스템이 설치되어 있으나 출입문을 개방할 때 연기, 유독가스가 내부로 침투할 우려가 있다는 것에 더하여 출입문에 형성되는 방연풍속의 측정치의 표본평균의 분산을 분석해 현상 변동의 원인을 규명하였다.

화재시 연기를 제어하기 위하여 설치되고 있는 특별 피난계단 부속실의 출입문에 형성되는 방연풍속의 기류 특성을 분석하기 위하여 CFD기반 시뮬레이션으로 해석하였고, 이를 행-열 분산분석을 실시하여 재차 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 국가화재안전기준 NFSC 501A 제 25조에서 방연풍속을 측정할 때에는 출입문의 개방에 따른 개구부를 대칭적으로 균등 분할하는 10 이상의 지점에서 측정하는 풍속의 평균치로 할 것으로 정하고 있으나 이러한 조건에서는 출입구 상부 지점에 공기 유입 현상을 파악하기 어렵고 풍속의 편차가 심하기 때문에 측정점을 공기조화설비의 시험조정 평가 기술기준에서

제시하는 64점 이상으로 세분화하여 측정할 필요가 있다.

(2) 국내 고층건물에 설치된 특별피난계단 부속실은 설계조건(바닥면적, 땀퍼위치 등)에 따라 출입문에 형성되는 기류의 특성이 변하므로 기준에서 제시하고 있는 평균치에 대한 한정보다는 각 측정점마다의 풍속이 독립적으로 측정되어야 하며 그 평균치의 편차까지 고려되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. 국토해양부령 제 238호, “건축물의 피난·방화 구조 등의 기준에 관한 규칙”, 제 9조 2항 3호 특별피난계단의 구조(2010.4.7).
2. 김진수, “제연설비기준 국내기준과 영·미 기준의 비교”, 제3차 CPD교재 급기가압 제연기술 pp.2-24 (2006).
3. 소방방재청, “특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준(NFSC 501A)”, 제2009-31호 (2009).
4. 류성호, 이수경, 홍대화, 최금란, “FDS를 이용한 특별피난계단 부속실 제연설비의 방연풍속 기류특성”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.6, pp.153-159 (2010).
5. 류성호, 이수경, 홍대화, 윤명오, 최금란, 박재현, “특별피난계단 부속실 제연설비의 방연풍속 기류특성에 관한 실험적 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.24, No.5, pp.79-86(2010).
6. (사)대한설비공학회, “공기조화설비의 시험조정평가 (TAB) 기술기준”(2005).
7. NIST, FDS v5, “Sers & Technical Manual”, BFR/L/NIST Special Publication(2010).
8. 박재현, 진병래, “급기가압 제연기술”, ENP 연구소(주), pp.461-597(2008).
9. NFPA 92A, Standard for Smoke-Control System Utilizing Barriers and Pressure Differences, National Fire Protection Association, Quincy, MA(2009).
10. “자동차압·과압조절형땀퍼의 성능시험기술기준”, 소방방재청고시 제 2009-31호(2009).