

고층건물용 배연창의 성능기준 및 시험평가연구

곽지현 · 최정민 · 안병호 · 김범규* · 박용환*

방재시험연구원·호서대학교*

Performance requirement and Evaluation of Natural Smoke Exhaust Ventilator for High rise building

Kwark, Ji-Hyun · Choi, Jung-Min · An, Byung-Ho · Kim, Bum-Kyue* · Park Yong-Hwan*

Fire Insurers Laboratories of Korea, Hoseo Univ.*

요 약

화재발생시 가장 주요한 사망원인인 유독가스의 제어와, 소방관의 소화활동을 돕기 위한 제연설비는 각 구성품이 유기적으로 동작하는 시스템을 이루기 때문에 전체의 조화도 중요하지만, 기본적으로 각 설비요소가 제 기능을 발휘할 때 전체 시스템의 제연성능을 확보할 수 있게 된다. 그러나 현재 법으로 규정된 국내기준은 주요 구성품별 성능을 제대로 평가할 수 있는 방법 및 기준이 없어 본 연구를 통하여 배연창의 성능평가기술을 개발하고 항목별 성능시험을 실시하여 평가방법의 적합성을 검토하고 국가표준을 만들기 위한 기초 자료로 제공하고자 한다.

1. 서 론

화재 시 발생하는 고온의 연기는 공기와는 다른 유체역학적 특성을 가지므로 화재실의 형상과 특징에 따른 열전달 및 유동특성을 고려한 제연방식이 필요하고 각 구성품은 이에 따른 일정한 성능을 필요로 하나, 현재 법으로 규정된 국내기준은 각 구성품의 성능시험 방법이 아니라 전체 시스템의 제연성능을 평가하는 정도로 제연설비 주요 구성품의 성능을 제대로 평가할 수 있는 방법 및 기준이 없는 실정이다.

본 연구과제의 목적은 유독가스와 연기의 효과적인 제어와 배출을 위한 배연창의 성능평가기술을 개발하고 성능시험장치의 구성과 항목별 성능시험을 실시하여 국가표준을 제정하기 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

2. 배연창의 성능기준

2.1 국내 관련 기준

현재 제연설비와 관련하여 제정되어 있는 국내 관련시험기준이나 한국산업표준, 법규 등은

다음과 같다.

- NFSC 501 - 제연설비의 화재안전기준 : 소방방재청고시 제2008-46호
- 건축법 시행령 제94조 배연설비
- 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙(국토해양부령 제33호) 제14조 배연설비
- KS F 2815 배연설비의 검사표준

우선 화재안전기준 NFSC 501에 나와 있는 내용을 보면, 앞 장에서 언급한 바와 같이 제연구획에 따른 최저 배출량이나, 유입 및 배출구의 위치, 유입 및 배출구와 통로 내의 유속, 비상전원의 요건 등에 관한 것으로 제연설비 주요 구성품에 대한 직접적인 성능평가 기준은 없다. 한편 한국산업규격 중 제연설비(배연설비)에 관한 성능기준이 KS F 2815 배연설비의 검사표준으로 제정되어 있는데, 이는 서류에 의한 예비검사와 형식적이고 정성적인 부위검사 등으로 이루어져 있어 정량적이고 합리적인 성능을 평가하기에는 부족하다 할 수 있다. KS F 2815의 내용 중 배연창에 대한 부분을 요약하면 아래와 같다.

가. 서류에 의한 예비검사기준

- 불연재료일 것
- 미끄럼부가 열에 의한 변형이나 탈락, 또는 녹, 먼지 등으로 인해 작동불량이 없을 것
- 운전중 진동에 의한 장애가 없을 것
- 풍도와외의 부착성 좋을 것
- 용도, 위치, 모양, 간격이 적절할 것
- 제어감시회로가 적정할 것
- 전선은 내열처리 할 것

나. 부위검사기준 - 겉모양검사 및 성능검사 기준

- 장애물이 없을 것
- 수동개방장치는 잘 보이도록 할 것(표시판 등)
- 98N 이하의 힘으로 수동개방장치 작동할 것
- 배연풍량이 기준값 이하일 것

2.2 해외 관련 기준

제연설비에 관한 해외 기준은 유럽에서 일찍이 제정되어 EN(European Norm) 규격으로 사용되는 EN 12101 series Smoke and Heat control Systems, Part 1~10이 대표적인데, 영국과 독일에서도 그대로 도입하여 국가규격으로 활용하고 있으며 이 기준은 최근에 국제표준화기구(ISO)의 소방설비 기술위원회(TC 21)에 상정되어 제연설비 분과위원회인 SC 11에서 작업반(WG)을 구성하여 국제표준규격의 제정을 추진해 왔는데, 회원국의 검토 및 찬반투표를 거쳐 일부 Part가 2006년 11월에 국제표준규격(ISO 21927-1~3)으로 제정되었으며 이들 중 Part 2가 배연창에 대한 시험방법으로 주요내용은 아래와 같다.

가. 설계 요구사항 규정

- 일반사항
- 개방 메커니즘

- 공기역학적 면적 계산
- 나. 시험순서 및 방법 규정
- 다. 성능요구사항 규정
 - 신뢰도 시험
 - 부하 작용 시 개방작동시험
 - 내열성 시험(저온 및 고온동작시험)

2.3 국내외 기준비교를 통한 성능시험방법의 표준화 방안

앞의 국내외 기준간의 비교를 통해 도출한 배연창 성능시험방법의 표준화 방안은 표 1과 같다.

표 1 배연창 성능시험방법의 표준화 방안

항 목	표준화 방안	비고
일반사항	자연식배연기(배연창)에 대한 전용기준 마련	
배연구의 면적	공기역학적 사항을 고려한 면적계산법 적용	
신뢰도와 내구성	반복시험횟수 및 판정기준 규정(10000사이클 개방작동시험)	
부하작용시 작동시험	눈·바람 등 부하 작용 시 개방작동시험방법 규정 ex. 5kg 주머니 또는 판으로 분포하중 가함	
내열·내한성시험	저온 또는 고온에 노출시 작동시험방법 규정	

3. 성능요구사항 및 시험방법

3.1 시험항목

제연설비 가동 시 연기나 열기류를 배출시키는 출구인 배연구는 제연풍도와 연결되어 있어 화재 시 제연방식에 따라 다양한 형태로 배연기능을 수행하는데, 화재 시 감지기 신호에 의해 자동으로 개방되어 실내·외의 밀도 차에 의해 자연적인 힘으로 환기를 하는 일종의 ‘자연식 배연기’가 바로 배연창이다. 이러한 배연창에 대해 국제규격이 요구하는 시험항목은 다음과 같다.

- 가. 반복작동시험
- 나. 부하개방시험
- 다. 저온시험
- 라. 풍부하시험
- 마. 내열시험

3.2 항목별 요구사항 및 시험방법

- 가. 반복작동시험

제품의 반복작동에 따른 신뢰성 및 내구성을 확인하기 위함이다.

- 1) 성능요구사항

50회 또는 1000회 반복시험 후 동작시간이 60초 이하이어야 한다.

2) 시험절차 및 방법

- 가) 제조자의 설치사양대로 시험체를 틀에 고정 설치한다.
- 나) 자동으로 개폐동작과 반복횟수를 계수할 수 있는 제어기를 갖춘다.
- 다) 사용전원을 연결하고 규정된 회수(50회, 1000회)만큼 개폐동작을 반복한다.
- 라) 1회 왕복동작 사이의 간헐시간은 전동기에 무리가 가지 않도록 적절히 조절한다.
- 마) 시험하는 동안은 어떠한 보수나 정비도 허용되지 않는다.
- 바) 모든 조사와 관찰은 기록한다.

나. 부하개방시험

바람이 불거나 눈이 내려 배연장에 부하가 작용할 때 개방 및 개방유지 능력을 확인하기 위함.

1) 성능요구사항

등급에 따른 부하를 가하여 개방동작 시간이 60초 이하이어야 하고, 별도의 외부에너지 없이 개방상태가 유지되어야 함. (등급별 부하 종류 - 0, 125, 250, 500, 1000 Pa)

2) 시험절차 및 방법

- 가) 시험체를 제조자의 설치사양대로 시험체틀에 고정 설치한다.
- 나) 시험체 등급에 맞는 부하를 선택하여 가한다.
 - ① 판(지붕창 형태의 배연창 시험 시 블레이드 또는 플랩 하나 당 한개 이상)
 - ② 고체입자나 액체를 담은 5 kg 이상의 주머니
 - ③ 피모형 배연창의 경우 눈·바람 부하와 등가의 토크
- 다) 주전원을 이용해 부하를 가한 후 시험체를 동작시켜 60초 이내에 완전개방여부를 확인한다.
- 라) 개방 후 외부전원 없이 개방상태가 유지되는지 확인 후 총 3회 반복시험한다.
- 마) 반복작동시험 및 부하개방시험은 같은 시험체를 사용하여야 한다.

다. 저온시험

혹한기 등 저온의 환경조건에서 제대로 동작이 되는지 확인하기 위함.

1) 성능요구사항

등급에 따른 온도조건에서 일정시간 방치 후 나.항의 동작시간이 60초 이하이어야 한다.

2) 시험절차 및 방법

- 가) 냉동창고와 같이 저온상태가 일정하게 유지되는 곳에 시험체를 고정 설치한다.
- 나) 등급에 맞는 온도조건에서 24시간 이상 방치한다.(온도의 오차는 +2, -5℃)
- 다) 나.항의 부하개방시험에서의 부하를 가하고 3회의 동작시험을 실시한다.

라. 풍부하시험

바람이 불어 배연장에 흡입압력이 가해질 때 폐쇄상태가 유지되는지 또는 그런 힘이 가해지고 난 뒤 정상적으로 동작하는지 확인하기 위함.

1) 성능요구사항

등급에 따른 부하를 10분간 가하는 동안 개방되지 않아야 하고 변형이 없어야 하며, 부하제거 후 동작시간은 60초 이하이어야 한다. (등급별 부하종류 - 1500, 3000 Pa)

2) 시험절차 및 방법

- 가) 시험체를 제조자의 설치사양대로 시험체 틀에 고정 설치한다.
- 나) 시험체를 폐쇄상태로 두고 창이 열리는 방향으로 해당 등급의 부하를 가하여 10 분간 유지한다. 부하는 ① 공기압, ② 공기압 주머니, ③ 고체입자 또는 액체를 담은

10 kg 이하의 주머니 중 한 가지를 적용한다.

다) 부하를 제거하고 동작시험을 실시한다.

마. 내열시험

고온의 환경조건에서 시험체의 개방여부 및 개방유지 능력을 확인하기 위함.

1) 성능요구사항

등급에 따른 온도조건에서 시험체가 개방되어야 하고, 개방거리 감소율이 10% 이내로 유지되어야 한다.

2) 시험절차 및 시험방법

가) 고온가열로 속에 시험체를 설치한다.

나) 가열로 내부를 해당 등급에 따라 5분 후에 300 ± 60] °C, 10분 후에 600 ± 120] °C가 될 때까지 1 °C/s의 온도기울기로 가열한다.

다) 시험시작 5분 후 배연창을 개방한다.

라) 목표온도에 도달한 후 계속 같은 온도를 유지한다. 총 가열시간은 30분이다.

마) 시험이 끝난 후 시험체가 식은 뒤 개방거리를 측정한다.

3.3 시험장치 및 시험체

가. 시험체의 선정

배연창은 열림 방식에 따라 슬라이딩 방식부터 틸트 방식, 프로젝트 방식, 케이스먼트 방식, 피봇 방식 등이 있는데 이 연구에서는 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 슬라이딩 방식과 틸트 방식을 선정하였으며 각 시험체는 제조자별 성능 비교를 위해 2개사(D사, Y사)에서 두 가지씩 총 4개를 모두 전동식으로 동작하는 자동식 배연창으로 제작하였다.

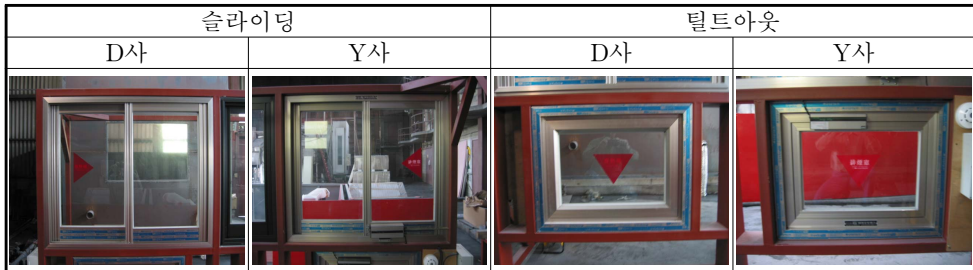


그림 1 배연창 시험체

시험체의 크기는 가장 많이 쓰고 있는 표준 크기로, 치수 및 동작거리(개방거리)는 다음과 같으며 창틀의 재질은 알루미늄, 유리의 재질은 내열온도 500 °C의 강화유리이다.

표 2 시험체의 크기 및 작동거리

구 분	크 기(가로×세로), mm	작동거리(mm)	
		D사	Y사
슬라이딩 방식	1200×1000	44	49
틸트 방식	800×600	19	25

4. 시험결과 및 고찰

4.1 항목별 시험결과

가. 반복작동시험

카운터가 달려있는 개폐동작 제어기를 이용하여 50회 및 1000회 반복하여 실시하였다. 모터의 과열방지를 위해 사이클 간 30초의 휴지시간을 두었으며, D사와 Y사의 슬라이딩 방식과 틸트아웃 방식의 시험체 모두 1000회 반복시험 결과 동작에 이상이 없었고 모두 60초 이내에 정상위치까지 동작하여 국내 제품의 내구성 및 신뢰성은 양호한 것으로 나타났다.

나. 부하개방시험

눈, 바람 등의 부하 작용 시 배연창의 개방 유지능력을 확인하기 위한 부하개방시험은 모래주머니를 이용하여 시험체에 부하를 가하였다. 아래 그림은 본 시험에 사용한 부하용 모래주머니이며, 각 시험압력에 따라 무게를 계산하여 해당하는 부하를 가하였다. 또한 시험체의 면적은 각 방식별로 양사 제품 모두 같은데 치수는 다음과 같다.

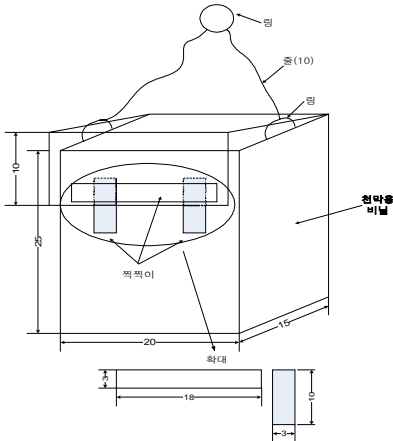


그림 2 부하용 모래주머니

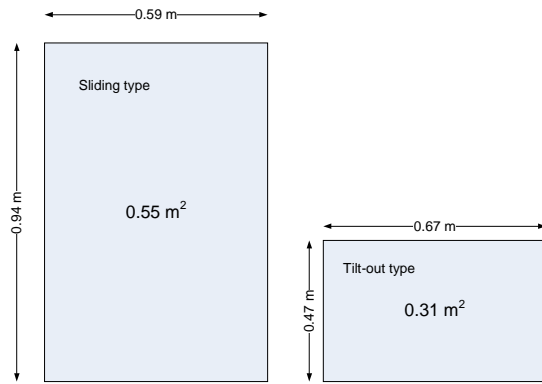


그림 3 배연창 시험체의 면적

따라서 각 배연창에 가해지는 압력에 따른 모래주머니의 무게는 다음과 같이 계산할 수 있다. 예를 들어 125 Pa 작용 시, 슬라이드 방식 배연창의 경우 아래와 같다.

$$125N/m^2 \times 0.55m^2 = 68.75N$$

$$68.75N = 68.75/9.81 = 7kg_f$$

이러한 방식으로 산출하여 시험에 적용한 부하에 따른 모래주머니의 무게는 다음과 같다.

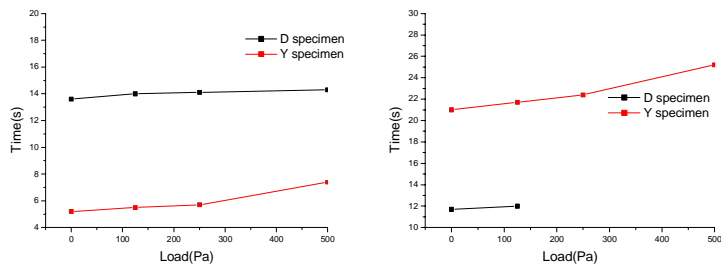
표 3 부하에 따른 모래주머니의 무게

압력(Pa)	슬라이딩 방식(kgf)	틸트아웃 방식(kgf)
125	7	4
250	14	8
500	28	16

위에서 구한 무게의 모래주머니를 이용하여 각 부하별로 3회씩 개방시험을 실시한 결과 125 Pa의 가벼운 부하에서는 양사의 시험체 두 방식 모두 60초 이하의 개방시간과 개방 유지능력을 보이며 양호한 성능을 나타내었다.

슬라이딩 방식의 배연장은 동작을 방해하는 저항력이 크게 작용하지 않아 500 Pa의 큰 부하에서도 거의 문제없이 동작을 하였으나 틸트방식의 경우 저항력이 크게 작용하여 D사 시험체의 경우 250 Pa의 부하에서 체인접합부가 탈락하여 시험이 불가하였다. 하지만 Y사의 시험체는 체인접합 방식이 양호하여 500 Pa의 부하에서도 거뜬히 동작하였다. 한편 동작시간이 무척 짧은 Y사의 슬라이딩 방식 시험체는 부하가 증가할수록 동작시간의 증가가 뚜렷하였고 부하 500 Pa의 시험에서는 가끔 전동장치의 레일이 탈락하는 불안정함을 보여주었다.

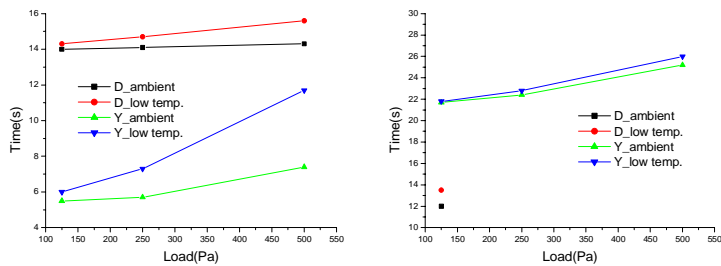
마찬가지로 동작시간이 상대적으로 짧은 D사의 틸트방식 시험체도 고부하에서 성능이 좋지 않게 나타났는데, 전동장치의 감속비를 키워 동작시간을 적당히 느리게 하고 대신 토크를 증가시켜 고부하에서도 안정적인 동작을 확보하는 것이 바람직하다고 판단된다.



(a) 슬라이드 방식 (b) 틸트 방식
그림 4 부하에 따른 동작시간의 변화

다. 저온시험

이 시험에서는 국내 환경조건에 적합한 -15°C 등급을 적용하였다. 시험체 4개를 저온실 내에 설치하여 만 하루 동안 방치하고 앞 장의 부하개방시험과 같은 방식으로 시험하였다. 각 시험체에 대해 부하개방시험에서 시험이 가능했던 부하를 가하여 각각 동작시험을 실시한 결과, 저온에서의 동작시간은 상온에서의 결과에 비해 평균동작시간이 다소 증가된 것으로 나타났는데 기계장치의 수축에 의한 마찰력의 증가가 주요 원인인 것으로 사료된다. 아래 그래프는 두 조건에서의 동작시간을 비교한 것이다.



(a) 슬라이딩 방식 (b) 틸트방식
그림 5 상온과 저온에서의 동작시간 비교

라. 풍부하시험

부하개방시험이 화재로 창이 개방되어야 할 때 창에 가해지는 부하를 이기고 정상동작하는 성능을 확인하는 시험이라면 이 시험은 화재가 아닌 정상상태에서 배연창이 강한 바람에 노출되어 흡입부하가 작용 시 창이 열리지 않고 폐쇄상태가 유지되는지를 확인하는 일종의 부작동 시험이다. 또한 부하가 제거되고 난 후 정상동작 여부 및 동작시간도 확인한다.

이 시험에서 부하를 가하는 방법은 나. 부하개방시험과 같은 모래주머니를 이용하였고, 1500 Pa의 압력을 적용하였다. 시험체에 가해지는 부하 1500 Pa에 해당하는 모래주머니의 무게는 각각 슬라이딩 방식이 84 kgf, 틸트방식이 48 kgf 이다. 10분간 부하를 가한 결과 흡입부하에 대한 폐쇄유지능력과 부하제거 후 3회 평균동작시간은 4개 시험체 모두 양호하게 나타났다.

마. 내열시험

내열시험은 시험체를 가열용 챔버 안에 투입하고 고온의 분위기에서 동작여부와 개방거리의 변화율을 평가하는 것으로 고온가열로와 챔버를 이용하여 시험을 수행하였다. 가열온도는 최고 600 °C를 적용하였으며 300 °C에 도달 시 참고로 시험체 상태를 확인하였다. 4개의 시험체에 대한 내열시험 결과 금속성 재질의 시험체는 고온의 영향으로 오히려 늘어나 개방거리가 시험 전보다 약간 증가하였다.

또한 300 °C의 조건에서는 시험체의 손상이 적어 보였으나 600 °C에서 30분간 노출 후에는 플라스틱 재질의 모터구동부가 녹아서 탈락하여 제 기능을 할 수 없었다. 이 때 슬라이딩 방식의 배연창은 양사 제품 모두 개방상태가 유지되고 있었으나 틸트방식의 경우는 차이가 있었다. 즉 D사 시험체는 모터부가 탈락해도 가이드 레일 방식을 채용하고 있어 개방상태가 유지될 수 있었지만 Y사의 시험체는 체인결합부가 탈락하면서 중력에 의해 창이 완전히 젓혀져 버렸다.

틸트방식의 제품이라 완전개방이 되어 연기배출에는 문제가 없었지만 프로젝트 방식의 배연창을 설치한 경우라면 반대로 완전히 닫혀버리는 결과가 우려된다.



그림 6 내열시험 후 시험체

4.2 성능확보 및 표준개발을 위한 적합성 검토 및 보완사항

가. 반복작동시험

건물에 화재신호가 있을 때마다 동작해야 하는 배연창은 반복작동에 대한 충분한 내구성 및 신뢰성이 요구되므로 국제규격에서 요구하고 있는 1000회 반복시험이 필요하며,

이 연구에서 4가지 시험체에 대한 시험결과는 모두 30초 이내에 동작하여 양호하게 나타났다.

나. 부하개방시험

이 연구에서 2개 회사의 두 가지 형식의 배연창에 대해 부하개방시간을 실시한 결과 슬라이딩 방식의 배연창은 비교적 창에 가해지는 부하(압력)에 대해 원활히 동작하는 것으로 나타났으나, 창문이 열리는 방향의 정반대로 압력이 가해지는 틸트 방식의 배연창은 저항력이 크게 작용하므로 D사 시험체의 경우 250 Pa의 부하에서 기능을 상실하였고, 또한 상대적으로 동작시간이 짧은 시험체의 성능이 불안정하게 나타났다.

이러한 결과로부터 동력을 전달해주는 체인접합부를 더욱 견고하게 보완하고, 전동장치에의 감속비를 키워 동작속도를 적당히 낮추고 토크를 증가시키는 것이 성능향상을 위해 필요하다고 판단된다.

다. 저온시험

위 항목에서 언급한 것처럼 외부환경에 밀접한 영향을 받는 배연창은 혹한의 날씨에도 안정적으로 동작하여야 하므로 본 시험항목은 필수적이다. 이 연구에서 국내 환경에 적합한 -15°C 조건을 적용하여 시험을 실시한 결과 동작시간은 모두 국제기준에서 규정하고 있는 60초 이내에 들어 내한성능은 양호한 것으로 판단된다.

라. 풍부하시험

화재가 아닌 정상상태에서 배연창이 강한 바람에 노출되어 흡입부하가 작용할 때 창문의 폐쇄상태 유지여부를 확인하는 이 시험은 제품의 안정적이고 신뢰성 있는 동작을 위해서 필요한 항목이라 판단된다.

1500 Pa의 압력을 가한 본 시험에서 10분간의 부하작용에 대해 슬라이딩 방식은 거의 변화가 없었는데 비해 틸트 방식은 미세한 틈새가 벌어지기도 했으나 부하제거 후 곧바로 복귀되었으며 동작시험결과 이상이 없는 것으로 나타났다.

마. 내열시험

고온의 연기 및 열기류를 배출하는 배연창은 내열성능의 확보가 필수적이거나 아직 국내기준엔 명확한 시험방법이 없어 이의 적용이 시급하다. 국제기준을 따라 최고 600°C 의 온도조건을 적용하여 실시한 본 시험에서 일부 시험체에 문제가 발견되었다.

먼저 슬라이딩 방식의 경우 일단 창이 개방되면 수직방향의 중력으로 인해 개방상태가 쉽게 유지되므로 창의 개방유지에는 문제가 없었고, 유리도 내화재질이라 파손되지 않았다. 그러나 플라스틱 재질로 된 전동장치는 녹아 떨어져 재사용이 불가하였다.

한편 틸트 방식의 시험체는 양사 모두 체인결합부분이 열에 취약해 파손되었고 전동장치도 손상되었으나, D사 제품은 가이드레일 방식을 채택하고 있어 개방상태가 유지되었다. 이상에서 보다 양호한 배연창의 내열성능을 확보하기 위해서는 체인결합부를 보완하고 전동장치 케이스를 금속재질로 대체할 필요가 있으며, 기구학적인 동작원리를 개선하여 기능 정지 시에도 본래 목적인 개방상태가 유지되도록 하는 것이 바람직하다.

5. 결 론

본문에서 배연창 대한 시험항목을 선정하고 성능시험을 실시한 결과 위와 같은 시험방법을 국내에 적용하는 것은 전반적으로 가능할 것으로 판단된다. 다만 일부 항목에 있어서 국내 시험기준으로 도입할 시 이에 대한 성능 보완이 필요한 것으로 나타났으며 이의 보완은 기술적으로 큰 어려움이 없을 것으로 사료된다. 또한 성능위주의 시험방법을 올바르게 적용하기 위해서는 각 시험항목에 대한 객관적이고 과학적인 근거의 마련을 위한 연구 노력이 더욱 가속화 되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 표준기술력향상사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ISO 21927-2, Smoke and heat control systems - Part 2: Specification for natural smoke and heat exhaust ventilators(2006)
2. NFSC 501, "제연설비의 화재안전기준", 소방방재청고시 제2008-46호(2008)
3. KS F 2815, "배연설비의 검사표준", 한국표준협회(2006)