

연기제어설비 커미셔닝

Commissioning Smoke Control Systems

Kenneth M. Eloviz. P. E.

1985년 1월에 있던 ASHRAE(미국냉동공조학회) 세미나에서는 커미셔닝을 “설비 성능을 평가하는 절차”라고 정의하였다. 커미셔닝은 그 초창기부터 발전되어왔고, 지금은 여러 커미셔닝 기관들이 다양한 방법으로 커미셔닝을 정의하고 있다. 많은 기관들은 문서화에 초점을 맞춘다. 기존의 정의는 이 글에 내재된 철학을 형성하였다.

어느 건물 시스템에서 연기제어설비를 커미셔닝한다는 것은 설비가 작동되고, 시험되고, 조정되어 설비가 충분한 정도의 설계성능을 수행하는 것을 말한다. 이것은 모터가 적절한 회전을 하는지 검사하고, 공기의 흐름을 측정하며, 설계량에 맞게 조정되어졌는가를 의미한다. 커미셔닝을 한다는 것은 설비의 총체적 기동을 말하는 것은 아니다. 커미셔닝은 조정하는 수준을 넘는 것이므로 조정단계에서 발견한 문제점은 커미셔닝을 시작하기 전에 수정될 필요가 있다. 화재경보기의 측면에서 커미셔닝을 시작하기 전에 연기감지기는 적절한 연기농도에 노출되어졌을 때 작동하는 것이 확인되어야만 하며 화재경보설비가 작동하면 시각/청각 경보기들은 경보를 울리고, 빛을 발해야 한다. 커미셔닝은 성능평가 방법을 2가지 이상 차용한다.

1. 커미셔닝은 설비가 서로 적절히 연계해서 작동하는지를 확인한다. 그래서 경보 중의 연기감지거나 또는 스프링클러의 유수검지 스위치는 경보에 반응하여 제연설비를 작동시키고 적절하게 댐퍼들을 작동시키는지를 검증한다. 이것은 초기 정의의 "절차"와 "설비"부분이다.
2. 커미셔닝은 설비성능이 설계 컨셉을 얼마나 실제로 잘 수행하는지를 검사한다. 이것들은 "설계 성능을 평가하는 절차"에서 "확인"과 "성능"부분이다.

□ 커미셔닝과 설계

커미셔닝은 설계와 더불어 시작된다. 설계기준 또는 설계의도를 명확히 표현하는 것은 성공적인 커미셔닝을 위해 중요한 요소이다. 그로 인해 모든 사람들이 제연설비의 작동시와 화재시에 어떤 성능을 발휘할지를 알 수 있게 한다.

메사추세츠주의 건축기준은 건축서류의 일부로 소방시설의 설명을 요구한다. 다른 관할 기관에서 요구하든 안 하든 이 문서는 유용하다. 이 문서를 준비하는 것은 설계자들이 소방시설이 어떻게 작동할 것인가에 대한 그들의 생각을 정리하는데 도움을 준다. 또한 커미셔닝 기관과 점검기관이 예측해야 하는 설비의 동작을 문서화하여 제공한다. 커미셔닝

을 돕기 위해 설계 설명은 커미셔닝 중에 수행될 측정과 관측사항으로 성능을 표현할 필요가 있다. 이러한 측정은 공기량 또는 차압이 될 수 있다. 관측은 공기흐름 패턴 또는 일반적인 공기흐름 방향이 될 수 있다. 예를 들어 제연설비는 연기를 화재실에만 제한하도록 하고, 그것이 피난 계단이나 다른 인접 공간으로 퍼지지 않도록 막는 것이 기대된다. 공간의 상층으로 연기를 모으고 그리고 상층부의 의도된 높이 이하로 연기가 내려오는 것을 막기 위해서는 또다른 제연설비가 요구될 수 있다.

□ 설비 유형

의미 있는 커미셔닝 절차를 개발하기 위해 제연설비 설계 개념과 성능목표를 이해하는 것이 필요하다. 제연설비는 두가지 종류로 나뉘질 수 있다. 차압설비(NFPA 92A)와 부력 또는 부피설비(NFPA 92B 와 NFPA 204)이다.

□ 차압설비

NFPA 92A는 차압설비에 대한 기본적인 설계 지침이다. 이 설비들은 전형적으로 계단실 가압설비와 피난계단전실 공조설비로 적용된다. 국제건축코드(International Building Code)내에 다음과 같이 언급되었다.

909.6 가압방법. 연기를 제어하는 주된 기계적인 방법은 방연벽 사이의 차압이다. 방어 환경의 유지는 화재실의 연기제어 부분에서는 요구되지 않는다.(중요)

이 설비들의 목표는 화재구역 밖으로 연기가 나오는 것을 막기 위해 차압을 형성하고 유지하는 것이다.

NFPA92A의 8장에서 차압형 제연 설비를 커미셔닝하는 것에 대한 권장된 시험절차를 제공한다. 이 시험들은 다음을 포함한다.

1. 화재실과 계단실의 차압을 측정하기 위해 압력계를 사용한다. 설계 차압은 이러한 형태의 제연설비의 주요성능 지표이므로 커미셔닝에는 차압 측정이 포함되어야 한다.

계단 차압설비에 대해서 설계 기준에는 화재 시에 개방될 것으로 예상되는 문의 수가 언급되어야 한다. 개방된 문은 거대한 누설의 원인이 된다. 예상된 수 이상의 문이 개방된 경우 이 계단차압설비가 설계차압을 형성할 것이라고 기대해서는 안된다.

만일 이 설비가 적절한 계단 차압을 형성하지 않는다면 첫번째 단계로 팬 성능을 점검해야한다. 만일 팬에 이상이 없다면 커미셔닝 절차는 의도되지 않은 공기누설을 찾아 밀봉하도록 지도해야한다.

2. 스프링 타입의 저울은 계단실의 문 개방력 측정에 사용될 수 있다. 건축코드는 일반적으로 최대 허용 문 개방력에 대해 언급한다. 예를 들어 2003년 국제건축코드는 문을 개방시키기 위해 필요한 15파운드(67N)의 힘에 추가로 문을 움직이기 위해 필요

한 최대 15파운드(67N)을 인정했다. (문 개방력은 총 30파운드(133N)가 된다)

섹션 909.6.2는 문 개방력을 계산하기 위해 다음의 공식을 제공한다.

$$F = F_{dc} + \frac{K(WA\Delta P)}{2(W-d)}$$

A=문의 면적, ft²(m²)

d=문의 빗장끝에서 문의 핸들의 거리, ft(m)

F=문을 열기위한 모든 힘, lbf(N)

F_{dc} =폐쇄장치를 이겨내기 위해 필요한 힘, lbf(N)

K=상수 5.2(1.0): 영미 단위를 사용할 때는 k는 inchH₂O로부터 lbf/ft²으로 압력을 전환한다.

W=문의 폭, ft(m)

ΔP=설계차압, inchH₂O(Pa)

계단 가압설비에 의해 형성된 압력은 문의 표면에 대해 일정하다고 고려된다. 압력은 문의 중심에 가해진 단일점의 힘으로 분석된다. 문에 적용된 계단 가압설비 힘(K) 곱하기 모멘트암(W/2)은 허용 문 개방력(F) 곱하기 모멘트암(W-d)보다 작다.

문을 개방할 때 최대 허용 문 개방력(The maximum permitted door-opening force)보다 더 큰 문 개방력은 효과적인 제연 성능을 발휘하기 위해 일반적으로 필요한 압력보다 크다. 그러므로 커미셔닝 과정에서 문을 개방하는데 과도한 힘이 필요한 경우는 폐쇄장치의 폐쇄력이 잘못 설정되었거나 제연을 위해 요구되는 압력 이상의 압력 때문일 수도 있다. 폐쇄력은 제연설비를 중단한 상태에서 문 개방력을 측정함으로써 시험할 수 있다.

한개의 문에 대한 문 개방력을 측정할 경우에는 다른 모든 계단의 문이 폐쇄된 상태를 유지해야만 한다. 문이 개방되면 계단실(stairwell) 내의 압력은 감소하게 되고, 따라서 또 다른 문을 개방하는데 필요한 힘도 감소할 것이다.

가장 간단한 형태에서 커미셔닝은 문 개방력을 측정하는 것을 포함한다. 그러나, 커미셔닝은 실제 필드테스트시의 기대값을 예측하기 위해 문 개방력을 계산해보는 과정을 포함할 수 있다. 만약 그 힘이 예상한 수치와 다를 때에는 차이가 발생하는 원인을 규명해야 한다.

엄격히 말하자면, 커미셔닝을 실시하는 목적은 설계가 성능에 부합하는지를 검증하는 것이다. 빌딩코드보다 높은 문 개방력을 요구하는 설계는 여전히 성공적으로 커미셔닝되고 있다. 그러나, 커미셔닝의 계산부분(calculation part)이 프로젝트과정 중 설계단계에서는 더욱 도움이 된다. 그렇게 함으로써, 커미셔닝의 계획이 건축법규에 부합하는 시스템을 설계하는데 기여할 수 있다.

다음의 사항은 제연설비를 커미셔닝할 때 흔히 혼란을 겪는 사례이다.

1. 국제빌딩코드의 section 909.20에서는 규정요구사항으로서 section 403.13에서 고층빌

딩의 피난계단에 요구하는 방연구획 대책인 기계적 환기장치의 시간당 공기의 변화를 기술하고 있다. 그러므로 이 시스템을 커미셔닝 할때는 전달된 공기의 흐름만이 유일한 성능의 척도이다. (규정된 공기의 흐름이 전실[vestibule]로부터 연기 차단 혹은 문이 열리면서 들어왔을지 모르는 연기제거가 충분한지는 설계기준의 일부가 아니다. 그러므로 커미셔닝과는 무관하다.)

2. NFPA 92A 차압시스템은 배연팬을 이용한다. 화재동안 배연 팬이 화재동안에 화재 구역의 연기를 제거해야 한다는 설계의도는 없다. 연기 누출 혹은 흐름 패턴의 시각적 표시로 연막탄은 유용할 수 있다. 제연팬으로 부터의 연기 배출 장면은 제연팬이 실제로 화재구역으로부터 연기를 제거하는지에 대한 의미있는 시각적 척도를 제공한다.
3. 팬이 시간당 공기교환량을 기초로 하여 만들어졌더라도 화재가 끝난 이후 일정한 시간 이내에 팬이 화재구역의 연기를 제거해야 한다는 것은 의도되지 않는다.
4. 이 시스템의 설계 목적은 화재구역과 그 주변구역의 압력차이를 유지하는 것이다. 따라서 차압을 측정하기 위한 압력계와 공기흐름의 방향을 보여주기 위한 스모크펜슬(smoke pencil)은 이 시스템을 커미셔닝하기 위한 적절한 도구이다.

□ 부력 또는 부피 설비

NFPA 92B는 부력 설비에 대한 기본적인 설계 표준이다. NFPA 204 또한 부력 설비에 대한 지침을 제공한다. 이 두가지 기준의 근본적인 차이점은 NFPA 92B의 설비는 종종 팬을 사용하는데 비해 NFPA 204의 설비는 전통적으로 오직 부력에만 의존하는 설비라는 것이다. NFPA 92B의 표제와 같이 국제빌딩코드는 이러한 시스템을 넓고 개방된 공간에 적용하도록 하고 있다.

909.8 배기 방식. 빌딩 관리부에서 승인을 할 때 아트리움이나 쇼핑몰과 같은 크고 밀폐된 공간의 기계식 제연설비는 배기 방식을 이용하는 것이 허용된다. 설계배출량은 본절에 따라야 한다.

부력형 제연설비의 주목적은 정해진 시간 동안 연기층의 바닥면을 정해진 높이 이상으로 유지하는 것이다. 이 설비는 화재로 인한 뜨거운 연기를 구획실 상층부에 모아둘 수 있는 공간을 제공하는 방식으로 동작한다. 필요하다면 제연설비는 구획실에서 계산된 화재의 연기생성률과 동일한 속도로 연기를 포함한 공기를 배출할 것이다. 연기생성률과 같은 속도로 연기가 포함된 공기를 배출함으로써 연기층과 청정공기층의 경계면이 설계 높이 이하로 내려오는 것을 막는다.

쇼핑몰 또는 아트리움에서 발생한 화재로 인해 생성되는 많은 양의 연기를 모의 실험하는 것은 어렵다. 국제빌딩코드(IBC) 909.9절에서는 부력제연설비를 위한 화재설계의 크기를 5,000BTU/sec (5 MW)로 기술해 놓았다. 플럼(Plume)이 더 많은 공기를 혼입하고 있기 때문에 큰 공간일수록 더 많은 연기가 발생 되어진다. 추가적인 주변공기는 연기기둥을 냉각시킨다. 그러나 공기의 증가는 냉각효과로 밀도감소를 가져오지만, 밀도감소로 인한

차감량 보다 공기 증가로인한 더 큰 플럼을 유발한다. 그래서 연기 배출비율은 증가한다.

큰 공간에서는 설계화재 모의 실험하는 것은 일반적으로 힘들기 때문에, 제연설비의 (급기/배기)공기량은 시스템을 커미셔닝하기 위한 중요한 성능 척도이다. 커미셔닝은 또한 플러그홀링(Plugholing)현상과 층분해(Destratification)현상이라는 두가지 문제점이 시스템 성능과 타협 되어지지 않는 것을 입증해야 한다.

플러그홀링현상은 배기팬으로 들어가는 공기의 속도가 연기층 아래의 청정 공기를 배출구 기류로 혼입되게 할만큼 충분히 빠를 경우에 발생한다. 비교적 높은 속도의 청정공기 분출은 연기층을 관통하고 “플러그홀(Plughole)”을 생성한다. 플러그홀의 문제점은 구획실 상층부의 연기를 배출하는 대신에 아래로부터 청정공기를 배출하는 통로가 된다는 것이다. 그 결과 연기층의 바닥이 설계 높이 이하로 내려갈 수 있다. 플러그홀링은 미약한 자기 수정이다.

주어진 배출구 속도조건에서는 연기층이 깊어질수록 플러그홀링현상이 일어날 가능성이 낮아진다. 그러므로 설계된 연기 경계면 높이 조건에서 플러그홀링현상이 일어나기 쉬운 시스템은 일정수준의 낮은 경계면 높이 보다 연기층 바닥면을 높게 유지할 것이다.

층분해현상은 보충 공기(make-up air)가 연기층 하부의 연기를 혼입시킬 정도의 충분한 속도를 가지고 공간으로 흡입되면서 연기를 아래쪽 청정공기지역으로 끌어내릴 때 발생한다.

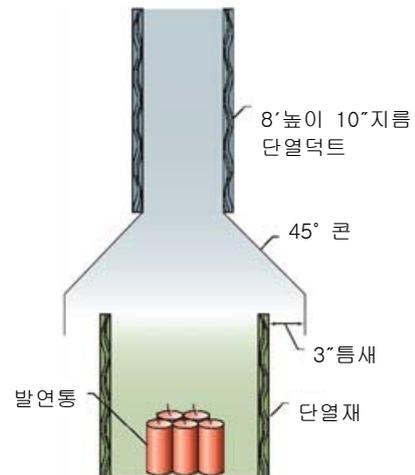
자유 분출로 공간에 흡입되는 기류는 인접한 공기를 혼입시키면서 그 부피를 확장시킨다. 공간에 흡입되는 분출속도가 빠를수록 무시할만한 속도까지의 분출거리가 길어지며 분출의 부피가 커진다.

플러그홀링현상과 층분해현상은 공기흐름 패턴의 결과이다. 공간의 여러 부분의 시각적 지표를 보여주는 다양한 타입의 소규모 퍼퍼(Puffers)와 스모크펜슬은 플러그홀링현상과 층분해현상을 체크할 수 있는 유용한 도구가 될 수 있다. 한 가지 어려운 점은 플러그홀링, 현상과 층분해현상이 제연구역 상층부의 부양성 연기층에서의 돌발현상이라는 점이다. 그것은 이 문제를 위한 시험이 연기층 상부의 공기흐름과 속도를 측정하기 위해 리프트를 세우는 것이 필요 할 수 있다는 것을 의미한다.

□ 화학 연기 (Chemical Smoke)

발연통(Somke candle)으로부터의 차가운 연기는 일부 소방공무원들이 제연설비의 성능을 측정하는데 인기가 있다. NFPA 92A는 제연설비를 시험하는데 연막탄을 사용하지 않도록 경고하고 있다. 화학 연기는 연기흐름 패턴 및 누설경로의 표시를 제공 할 수 있으며 플러그홀링현상과 층분해현상을 확인하는 데 도움을 줄 수 있다. 그러나 화학연기는 실제 화재로부터의 연기의 열팽창 및 부력을 구현하지 못한다. 화학연기의 부력 부족은 충분한 부력제연설비 및 부피제연설비가 실패하는 것처럼 보이게 할 수 있다. 실제 연기에 비해 낮은 온도의 화학연기는 실제 화재구역 공기의 열팽창에 의한 압력 증가를 감소시킬 수 있으며, 차압제연설비의 성능을 잘못 표현할 수 있다.

이러한 충고는 NFPA 92A를 읽지 않거나 주의를 기울이지 않는 소방공무원과 함께 일하면서 고층을 겪는 엔지니어나 커미셔닝 기관들에게 위로가 될 것이다. 실제 화재로부터의 실제 연기의 부력과 온도를 공급하는 화학 연기 사용법은 하나의 절충안이 될 수도 있다. [그림 1]에 구현된 연기시험장비는 부력제연설비를 시험하는데 성공적으로 사용된다. 발연통을 포함하고 있는 컨테이너의 단열재는 연기의 따뜻함을 유지하여 그것의 부양력을 높여 주기 위한 열을 유지하는데 도움을 준다. 단열 처리된 덕트는 연기에 최상층을 제공하고 연기가 공간의 상층부로 올라갈 수 있게 하는 굴뚝효과에 기여한다. 



[그림 1] 연기시험장비

□ References

- 1 Elovitz, K., "Commissioning Build Mechanical Systems,"ASHRAE Trans. 1992, vol.98, part 2, paper number BA-92-8-1, pp. 543-552.
- 2 The Massachusetts State Building Code, 6th Edition, Commonwealth of Massachusetts, Boston, MA, 1997
- 3 NFPA 92A Recommended Practice for Smoke-Control Systems, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2006
- 4 International Building Code, International Code Council, Falls Church, VA, 2003.
- 5 NFPA 92B, Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2005.
- 6 NFPA 204, Standard for Smoke and Heat Venting, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2002.

출처 : Fire Protection Engineering (2006.9월호)

번역 : 중앙지부 사원 이현창