

도어 팬 테스트 (Door Fan Test)의 활용 방안

글 정동원 방재건설팀 대리

1. 머리말

재산종합보험을 가입하게 되면 보험사 또는 재보험사는 위험관리전문가(Risk Surveyor)를 현장에 파견하여 자사의 축적된 노하우를 이용하여 보험요율을 산정하게 되는데, 이러한 과정을 리스크서베이(Risk Survey)라고 한다. 리스크서베이 진행 시 전문가는 해당 사업장에서 화재 진압의 신뢰성을 높이고자 추가적인 소방시설 설치를 권유할 수 있으며, 요구한대로 소방시설이 설치되면 건물소유자에게 보험료 할인혜택을 제공할 수 있다. 통계적으로 보험사가 소유자에게 가장 많이 권장하는 소화설비가 스프링클러설비인데, 이는 곧 스프링클러설비의 높은 소화 신뢰성을 반증하는 것이라 할 것이다. 그러나 산업이 고도화되면서 전산장비, 통신설비와 같은 방호대상물이 늘어나고 화재로 인한 피해보다 스프링클러설비와 같은 수계소화설비로 인한 수손의 우려가 높아지면서 해당 방호구역에 가스계소화설비가 대체 설비로 적용되고 있다.

하지만, 수계소화설비와 달리 가스계소화설비는 태생적으로 중요한 제약 요소를 가지고 있는데, 화재가 발생한 뒤 수동 또는 자동 방식으로 물을 뿌려 냉각시키는 수계소화설비와 달리 밀폐된 방호구역 내 방출된 소화약제가 일정 이상의 설계농도(소화농도)를 확보해야만 완벽한 소화가 가능하다는 것이다.

이에 본고에서는 기존 건물에 설치되어 있는 가스계소화설비가 동작했을 때 해당 방호구역 내 적절한 설계농도가 유지되는지 여부를 확인할 수 있고, 나아가 부적합 시 해결책을 제시할 수 있는 방안으로 도어 팬 테스트(Door Fan Test)의 활용 방안에 대해서 소개해 보고자 한다.



2. 가스계소화설비의 신뢰성을 제약하는 현실적 요소들

국내에서 각종 가스계소화설비를 설치하기 위해서는 관련 법규 및 규정을 준수해야 한다. 하지만 이러한 기준을 100% 충족하더라도 실제 방호구역에서 적절한 설계농도를 확보하는 것을 방해하는 요소들이 아래와 같이 현실적으로 존재한다.

가. 방호구역 밀폐도

개구부가 전혀 없는 밀폐도가 완벽한 방호구역은 현실적으로 어려우며, 이러한 개구부는 약제량 누설의 주원인이 된다. 국내기준은 문, 창문, 환기장치 등의 개구부가 설치된 면적만큼 소화약제량을 가산(보정)하도록 되어 있다. 그러나 추후 설계변경으로 산정되지 않은 개구부가 추가될 수 있으며 설치 공사 중 시공 미흡으로 인하여 발생하는 개구부나 틈새도 있다. 케이블 트레이 및 덕트 등으로 인한 설비 관통부 틈새, 슬라브와 벽체 이음새, 관통덕트 자체의 개구부 등이 바로 그것인데 이러한 틈새 면적은 산정하기도 어려울 뿐만 아니라, 후속 공정에 해당하여 설계당시 반영하는 것은 불가하다. 이러한 틈새(개구부)는 약제가 새어나가는 가장 큰 요인으로 작용하여 방호구역 내 설계농도를 급격히 저하시키게 된다.

해외의 경우 NFPA2001, IRI IM.13.0.5.2 등에서 방호공간의 관통부와 개구부 변경 부위에서의 약제량 누설위험성을 언급하고 있으며, 방호구역의 밀폐정도를 확인할 수 있는 시험(방호구역 밀폐도 시험; Enclosure Integrity Test)을 12개월 간격 등 주기적으로 실시하도록 하고 관련 절차 및 공학적 이론을 설명하고 있다.



[그림 1] 방호구역 틈새 확인 작업



[그림 2] 방호구역 틈새 밀폐 작업

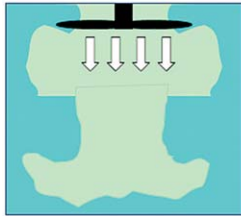
나. 방호구역 내 기류적 특성

가스계소화설비는 기류에 의해서 소화농도가 변동되는 특성을 가지고 있다. 하지만 국내기준은 이러한 기류적 조건을 반영할 수 있는 내용이 없다. 가스계소화설비가 설치되는 대표적인 장소는 IT, 통신 설비 등 전기장치가 설치된 곳으로 이러한 설비의 안정성을 위하여 일정 범위 내 온도관리가 철저히 요구되는 곳이기도 하다. 온도유지를 위하여 기본적인 공조설비, 에어컨 및 환기용 Fan 등을 설치하게 되는데, 그 결과 방호구역 내 기류는 안정적으로 체류되어 있는 상태가 아니라 계속 섞이고 순환된다.

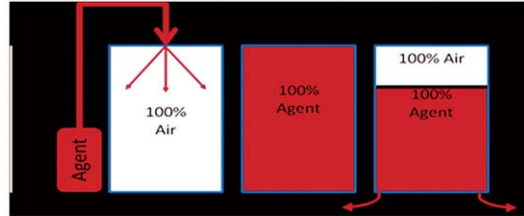
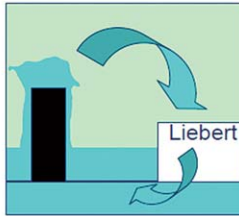
또한 고온의 방호대상물 및 방호구역 벽체 등도 기류를 순환시키는 역할을 한다.

국가화재안전기준은 환기장치를 설치할 경우 가스약제가 방사되기 전에 당해 환기장치가 정지할 수 있도록 규정하고 있지만 인터록(interlock)이 제대로 작동하지 않거나 인터록을 구성하기 어려운 경우에 대한 대안 방법은 제시하고 있지 않다. 따라서, 이 경우 비록 소방법 상 적정하게 산출된 약제량을 모두 쏟아붓는다 하더라도 기류의 순환으로 희석된 소화농도가 애초에 설계농도에 도달되지 못하여 소화실패를 불러올 수 있다.

NFPA 등 외국 기준에서는 이러한 경우를 Mixing Mode라고 하며 별다른 기류의 순환이 없는 상태를 Descending Interface Mode라고 하며, Mixing Mode인 경우 일정 약제량을 가산하여 설계하도록 규정하고 있다.



[그림 3] Fan, 고온의 물체로 인한 Mixing Mode



[그림4] 공기와 소화약제의 경계면(NFPA 기준)

다. 방호물 높이에 따른 설계농도 유지 시간

아래는 대표적인 가스계소화약제로 사용되는 CO₂ 소화설비의 약제량을 산출하기 위해 규정된 국가화재안전기준의 내용이다.

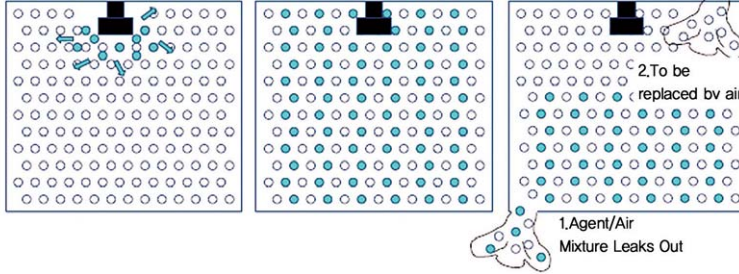
예) CO₂ 소화설비의 소화약제 계산식 :

- (1) 표면화재 방호대상물(가연성 액체 또는 가연성 가스 등)의 경우
: 약제량 = (방호구역의 체적 × 체적 당 약제량) × 보정계수 + 개구부 보정량
- (2) 심부화재 방호대상물(종이, 목재, 석탄, 섬유류, 합성수지류 등)의 경우
: 약제량 = (방호구역의 체적 × 체적 당 약제량) + 개구부 보정량

약제량 계산식을 살펴보면, 방호대상물의 높이 즉, 위치적 특성이 반영되어 있지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 방호대상물의 위치적 특성은 소화약제량을 결정할 때 중요하게 고려되어야 할 요소이며 그 이유는 다음과 같다.

[그림 5]와 같이 노즐로 방사된 소화약제는 초기에 공기와 혼합되게 되며, 공기보다 비중이 높은 대부분의 소화약제는 시간이 지남에 따라 중력의 영향을 받아 서서히 침강하게 된다. 즉, 상부에는 [공기층], 하부에는 [공기+소화약제]의 경계면(interface: 인접한 2개의 물질의 경계면)을 형성하게 되는데, 시간이 경과함에 따라 방호구역에 이미 존재하고 있던 개구부를 통하여 [공기+소화약제]가 누설됨에 따라 이 경계면도 점차 하강하게 된다. 이러한 상태를 Descending Interface Mode라고 하며, 소화 효

Interface forms between agent and air



[그림 5] Descending Interface Mode

과를 가지는 최소 설계 농도가 위치한 소화약제 경계면이 방호대상물 높이보다 아래로 내려오면 공기와 다시 접촉된 방호대상물에 재점화가 발생하여 완전 소화에 실패하게 된다. 특히 케이

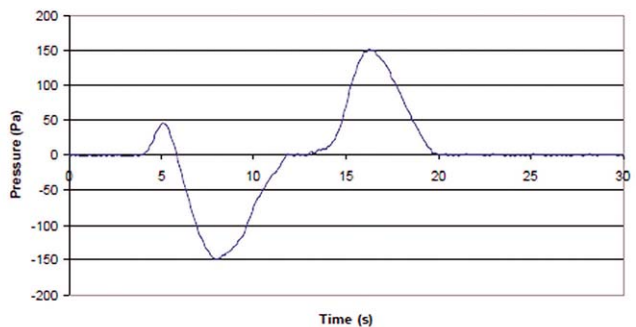
블 트레이와 같이 방호구역 내 높이 위치하고 있는 방호대상물에서 화재가 발생한다면 침강하는 소화약제에서 벗어난 케이블 트레이가 공기와 접촉하여 재점화 될 시간은 상대적으로 아래에 위치한 방호대상물의 예상시간 보다 훨씬 빠를 것이다. 즉, 앞의 ‘나. 방호구역 내 기류적 특성’의 내용에서 확인할 수 있듯이 국내기준은 방호구역 내 기류의 순환이 없는 상태 즉, Descending Interface Mode를 차용하고 있지만 어디에도 방호대상물의 높이에 대한 기준은 찾아 볼 수 없다.

NFPA 2001, ISO 14520 등의 외국기준은 소화약제 경계면의 위치를 상대적으로 보수적으로 정의하느냐 또는 그렇지 않느냐의 차이는 있지만, 모두 방호대상물의 높이 특성을 매우 중요한 요소로 고려하고 있다. 특히, 설계농도 유지시간을 결정짓고 그로 인하여 소화약제량을 결정하게 하는 중요한 요소로 규정하고 있다.

라. 과압배출구(피압구)의 산정

방호구역에 소화약제가 방출시 과압으로 인하여 구조물 등에 손상이 생길 우려가 있는 장소에는 과압배출구(피압구)를 설치하여야 한다. 국가화재안전기준에서는 이러한 필요성은 언급하고 있으나 구체적인 과압배출구 면적 산정 방식 및 설치 위치에 대한 내용은 설명하고 있지 않다. 일반적인 과압배출구의 면적에 대한 식은 NFPA에서 별도로 규정하고 있으며 국내의 경우는 가스계소화설비의 경우 반드시 KFI에서 인정받은 Program에 의해서만 설계하여야 하는데, 그 결과 KFI의 승인을 받은 제조업체별로 과압배출구 면적이 다를 수 있으며 Program에 대한 이해가 부족한 현장 시공관계자 및 건물소유자는 설계값에 의존할 수밖에 없는 상황이 된다.

그리고 [그림 6]에서와 같이 소화약제가 방사된 직후부터 시간경과에 따른 방호구역 내부 압력상태를 살펴보면 Halocarbon 계열의 청정소화약제는 방사 초기에 액화가스의 기화현상으로 인하여 부압(-)이 발생하게 되고 이로 인한 구조물에 손상의 우려가 있지만 국가화재안전기준 상 이에 대한 언급이 없으며, 이에 대한 이해부족으로 양방향



[그림 6] Peak Pressure of a Halocarbon: HFC-125

(both directions) 과압배출구가 아니라 단방향(one direction)의 것을 설치하는 현장이 많다. 더군다나, 단방향 과압배출구의 경우 방향을 반대로 설치하거나 위아래가 뒤집힌 상태로 잘못 시공한 건물도 안전점검시 종종 확인되는데 이 경우 과압배출구는 제 역할을 하지 못한다.

이러한 국내현실과 달리 NFPA 및 ISO 등의 외국기준에서는 Enclosure Integrity Test를 활용하여 방호구역의 특성에 맞게 시공된 과압배출구의 적정성을 실제 현장에서 검토할 수 있는 성능위주의 설계를 제시하고 있다.

마. 설계농도 유지시간(Retention Time)

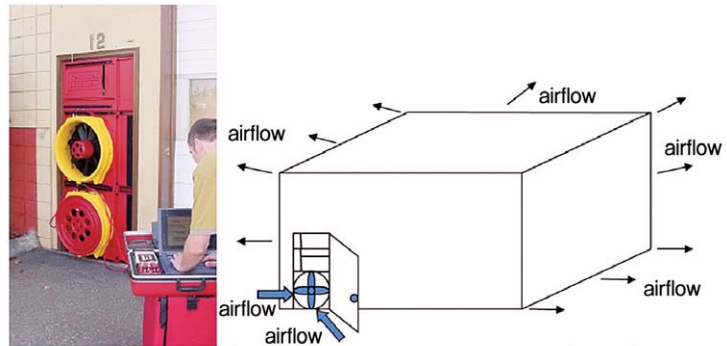
국내기준은 일정 시간내에 기준 농도로 약제가 방사될 수 있어야 한다는 기준은 있지만 외국기준처럼 설계농도 유지시간(Retention Time)에 대한 명확한 기준이나 언급은 없다. 설계농도 유지시간이란, 가스계 소화약제가 방호구역에 방사되어 설계농도에 도달하여 완전히 소화되고 재발화하지 않도록 그 설계농도를 유지해야 하는 시간을 말하는데 Soaking Time이라고도 한다. 예를 들어, NFPA 상 34% 설계 농도를 가진 이산화탄소 소화약제는 초기에 소화가 가능한 표면화재의 경우 1분의 유지시간을, 심부화재에 적용할 경우에는 20분을 Soaking Time으로 정하고 있으며 이러한 약제 유지시간에 대한 규정은 각 나라별로 차이가 있지만 대개 10분 정도 적용하고 있다.

설계농도 유지시간에 대한 언급이 없다고 국내 기준대로 설계된 가스계소화설비에 대한 소화 신뢰성에 의문을 제기하기는 어렵겠지만 실제 방호구역 내 설계농도를 유지하는데 얼마나 많은 제약요소가 존재하는지를 생각해 볼 때 설계농도 유지시간이라는 조건을 제시하는 외국기준이 더 보수적이라고 할 수 있다.

3. 도어 팬 테스트(Door Fan Test)의 기본 개념과 방법

도어 팬 테스트란, 건축물 내부(Enclosure)의 기체 누설 정도를 판단하기 위하여 실시하는 방호구역 밀폐도 시험(Enclosure Integrity Test) 중 Retrotec사에서 개발한 하드웨어 및 소프트웨어 장치를 활용한 방식을 말한다. 도어 팬 테스트는 NFPA 12A와 NFPA 2001 Enclosure Integrity Procedure에서 규정하고 있는 장치 규격 및 계산식을 재현하여 진행된다. 미국, 유럽 등 선진국에서 범용되고 있으며 NFPA, BS, IRI 등에서는 직접적으로 권장하는 방식이기도 하다.

도어 팬 테스트는 가스계소화설비의 직접적인 약제방출 없이, 출입문에 [그림 7]과 같이 설치한 Door Fan(송풍기)으로 방 구역 내 가압(+) 및 감압(-)을 여러 차례 단계적으로 실시하여 측정된 공기흐름과 실내·외 압력차 등을 계산하여 가스약제의 소화농도유지



Door Fan measures leakage areas at 2.5 PSF(125Pa)

[그림 7] 도어 팬 테스트 장비 설치의 예

시간을 간접적으로 측정하는 시험 기법이다.

시험에 앞서 기본적으로 파악하고 프로그램에 입력해야 할 내용이 있는데 방호공간 체적과 높이, 방호물의 높이, 기온, 실내·외 정압차, 기류적 특성(Descending Interface or continuous mixing), 억제 종류, 억제량(무게 또는 농도) 등이 그것이다.

4. 도어 팬 테스트(Door Fan Test)의 활용 방안

도어 팬 테스트 수행자는 시험을 통해 도출된 결과값들을 프로그램 상 입력하게 되고 최종적으로 해당 가스계소화설비가 방호구역에 적합한지의 여부를 확인할 수 있다. 문제는 최종적으로 소화설비가 해당 방호구역에 적합하지 않을 때인데, 앞서 언급한 가스계소화설비의 신뢰성을 제약하는 현실적 요소들이 그 원인으로 대부분 작용하게 된다. 숙련된 수행자는 도어 팬 테스트 프로그램의 결과해석을 통해 그 문제에 대한 해결 방법을 제시할 수 있는데 그 내용은 다음과 같다.

가. 방호구역 밀실도

도어 팬 테스트를 통하여 도출되는 값 중 주요한 결과값이 등가누설면적(Effective leakage area)이다. 등가누설면적은 방호구역에 입체적으로 존재하는 여러 개구부와 틈새 면적의 총합을 등가면적으로 나타낸 수치를 말하는데, 이 값이 허용 면적을 넘게 되면 소화설비는 부적합한 것으로 도출된다. 수행자는 연기 발생장치(Smoke Puff)를 통하여 누설 부분을 육안상 확인할 수 있으며 밀폐작업과 재시험을 통하여 해당 소화설비를 적합하게 만들 수 있다.

나. 방호구역 내 기류적 특성

도어 팬 테스트는 기류가 지속적으로 순환되는 Mixing Mode와 안정적인 상태의 Descending Interface Mode 상태에서 소화약제량의 적합여부를 판단하고 부적합할 경우 가산해야할 억제량을 명확히 계산하여 준다. 특히, Mixing Mode의 경우에는 누출되는 억제량 만큼 추가 억제량을 설치하여 연장 방출하여 주는 연장방출(Extended Discharge) 방식이 효과적인데, 이 내용은 국내기준에는 없는 방식으로 도어 팬 테스트를 통하여 추가 억제량을 도출할 수 있다.

다. 방호물 높이에 따른 설계농도 유지 시간

방호물의 높이는 동일한 소화약제량이 방출될 때 방호구역 내 설계농도가 얼마나 지속될 수 있는지를 결정하는 주요 변수 중 하나로, 방호물 자체의 높이가 너무 높아 시험에 통과하지 못하였을 때 도어 팬 테스트를 통해 제시할 수 있는 대표적인 해결책은 다음과 같다. 첫째, 억제량을 추가하거나 방호물의 높이를 낮추는 것인데 해결에 한계가 있어 권장하지는 않는다. 둘째, 방호구역 자체의 높이를 높여 Descending Interface Mode에서 지속시간을 늘려 주는 방법이 있다. 마지막으로 방호구역 내 기류를 순환시킬 수 있는 장치를 설치하고 Mixing Mode로 기류를 변화시켜 높은 부분까지 지속적으로 설계농도를 유지하는 방법 등을 대안으로 제시할 수 있다.

라. 과압배출구(피압구)의 산정

도어 팬 테스트를 통하여 적절한 크기의 과압배출구가 적절한 위치에 설치되어 있는지를 수치적으로 확인이 가능하다. 부적합할 경우에는 추가해야 할 과압배출구의 면적을 알 수 있으며 필요하면 시공 후 재시험을 통하여 적합여부를 확인할 수 있다.

마. 설계농도 유지시간(Retention Time)

도어 팬 테스트를 통하여 도출되는 설계농도 유지시간이 기준치 이상 확보되는지 여부를 확인할 수 있다. 결과값이 기준치 미만이거나 의뢰인이 기준치와 다른 특정 유지시간을 요청한다면 거꾸로 그에 맞는 설계 농도, 소화약제량 등의 초기 설계조건을 도출할 수 있다는 것도 도어 팬 테스트의 장점 중 하나이다. 예를 들어, 방호구역이 감시자가 상주하는 거리와 얼마나 떨어져 있는지에 따라 설계농도 유지 시간을 달리 설정할 수 있다.

5. 맺음말

국내의 경우 선진국과 달리 방호구역 밀폐도 유지관리 규정이나 시험방법에 대한 규정이 마련되어 있지 않다. 준공검사 시 관할 소방서에서 방호구역에 대한 밀폐여부를 확인하지만 육안검사에 그칠 수밖에 없고 소방시설 자체점검 시에도 소화약제의 누설 여부, 일부 설비의 동작시험만 이루어 질 뿐이다. 가장 큰 원인은 비싼 소화약제, 시험 후 재정비의 어려움, 환경오염 등이다. 도어 팬 테스트(Door Fan Test)는 이러한 비용을 절감할 수 있는 간접적인 시험방식이며, 나아가 가스계소화설비의 신뢰성을 제약하는 요소들에 대하여 정량적이면서도 실제적인 해결안을 제시할 수 있는 정밀한 기법이다.

물론, 도어 팬 테스트도 100% 완벽한 시험방식은 아니다. 규정상 시험장비 제조업체에 인증(Certificate)을 득한 시험자에 의해서만 수행되어야 하고, 국소 방출방식의 가스계소화설비 및 일정 체적 이하의 소규모 공간은 측정이 어렵다는 등 일부 한계점을 가지고 있는 것이 사실이다. 하지만 현재까지 개발된 Enclosure Integrity Test 중 전 세계적으로 가장 범용되고, 신뢰받는 방식임에는 틀림없다.

성능위주 소방설계가 점차 활발해지고 있고 가스계소화설비의 신뢰성 검증에 관심이 높아지고 있는 요즘, 국내에서도 도어 팬 테스트가 적극적으로 활용되기를 기대해 본다. ☞

[참고문헌]

1. Retrotec Inc, Door Fan Test Training Manual
2. 국가화재안전기준(NFSC) (2013)
3. NFPA 2001 (2012 edition)
4. NFPA 12A (2009 edition)
5. ISO 14520 (2006 edition)

