

가스계 소화시스템관련 안전기술

이 창 욱

(주) 유신건축 종합건축사사무소

A Technical Description on The Safety Aspects related To Gas Suppression Fire Protection System

Lee Chang Wook

Yooshin A&E Inc.

요 약 : 가스계 소화약제시스템의 인명안전 또는 기타 안전관련으로 CO2 시스템과 청정약제시스템을 중심으로 기술해보았습니다. 인명에 대한 위험을 최소화하면서 CO2 소화시스템의 혜택을 얻기 위해서는 설계, 시공, 유지관리면에서의 인명안전에 대해 상당한 관심을 기울여야 한다. 청정 소화약제를 통상의 거주구역에 사용할 경우의 주요요소는 독성 문제이다. 할로젠화탄소약제 테스트에서의 주요 관점은 급성효과, 즉 단기간 노출의 경우이다. 주요급성효과에는 마취성과 심장감작성이 있다. 불활성가스약제의 경우 주요 신체적 영향으로는 산소농도의 저하문제를 들 수 있다.

ABSTRACT : With regard to the personnel safety and other safety when the gas suppressants are discharged into the area where occupants exist, the short term and long term effects to the health of people are discussed mainly with the Carbon dioxide agent and Halon Replacement agents system. To gain the benefits of CO2 extinguishing systems while minimizing risk to people, serious attention must be given to personnel safety in the design, installation, and maintenance of CO2 systems. Training of personnel is essential. A major factor in the use of a clean agent fire suppressant in a normally occupied area is toxicity. While all halocarbon agents are tested for long-term health hazards, the primary endpoint is acute or short-term exposure. The primary acute toxicity effects of the halocarbon agents described here are anesthesia and cardiac sensitization. For inert gases, the primary physiological concern is reduced oxygen concentration.

Keywords : Halocarbon Agent, Inert gas, Anesthesia, Cardiac Sensitization.

1. 서론

가스계 소화약제를 고온의 화재에 적용시킬 때 약제 자체의 독성 또는 약제가 고온에 의해 분해되어 발생하는 생성물에 의한 독성효과를 고려하여 인명안전을 기해야 하며, 가스계 소화시스템은 약제 방출 후 시간에 따라 구획의 압력이 변화하므로 예상되는 과압형성에 대비한 압력 방출구가 구비되어야 한다.

2. 가스계 소화시스템의 특징

2.1 수계 소화시스템과의 관계

같은 종류의 위험에 대한 방호에 수계나 가스계 소화시스템 모두가 이용될 수도 있으며 이런 경우에는 가스계 소화시스템이 특정의 위험에 대한 방호의 역할을 하게 되어, 먼저 작동되어야 하며 스프링클러에 의한 방호는 확실한 진압을 위한 구역의 방호와 함께 가스계 시스템에 대한 백업작용을 하게 된다.

2.2 가스계 소화시스템의 선정

적절한 소화약제의 선정을 위해서는 다음과 같은 점이 고려되어야 한다.

- 점유용도의 특성
- 감지 시스템의 특성
- 약제의 특성
- 소화시스템의 특성

2.3 가스계 소화시스템의 설계 고려사항

가스계 소화시스템에 대한 기술적 기준은 NFPA12, 12A, 17, 17A, 2001에서 찾을 수 있다. 일반적으로 가스계 소화시스템은 이산화탄소, 건조 또는 습윤의 화학약품, 할론 또는 청정약제 등을 이용한다. 약제의 선택은 특정의 소화시스템 특성에 의존되며, 이러한 특성들에는 위험지역의 평가, 고정식인지 이동식인지, 자동인지 수동인지, 경제적 요소, 상시에 비보유 관련 그리고 약제방출시간이나 방출의 난류성과 재현성이 포함되는 다음의 설계고려사항 등이 있다.

- 사전설계 시스템(Pre-Engineered System)
- 직접설계 시스템(Engineered System)
- 전역방출(Total Floodin)
- 국소방출(Local Application)
- 설계농도 도달시간
- 방출의 난류성

3. 인명안전

3.1 이산화탄소 소화약제

3.1.1 이산화탄소의 인간에 대한 생리적 효과

CO₂는 통상 대기 중에도 0.03[%]농도로 존재한다. 또한 CO₂는 신체 내에서 호흡의 부산물로 존재하며 호흡의 조절역할을 하며 체내에 적절한 산소공급을 보장한다.

어느 한계까지는 혈액 내에 CO₂가 증가하면 호흡속도를 증가시킨다. 호흡속도의 최고 증가는 공기 중 6~7[%]의 CO₂를 흡입할 때 일어난다. CO₂농도가 더 높아지면 호흡속도는 느려지며, 결국에는 공기 중 CO₂농도가 25~30[%]가 되면 마취효과가 발생되어 이후 공기 중에 산소를 충분히 공급하더라도 즉시 호흡을 멈추는 결과를 초래한다.

CO₂가 9[%]이상의 농도가 되면 대부분의 사람들이 짧은 시간 내에 의식을 잃게 된다. 소화에 필요한 최소 CO₂농도는 9[%]를 훨씬 초과하기 때문에 CO₂소화시스템의 설계에는 적절한 안전조치가 강구되어야 한다. CO₂방출시 생성되는 Dry Ice는 극 저온이기 때문에 동상을 입지 않도록 경고되어야 한다.

3.1.2 이산화탄소 소화시스템의 안전고려사항

소화농도에서의 CO₂ 방출은 사람에게 방출기간동안 또는 그 이후에 질식이나 시력감퇴 같은 심각한 위험을 초래한다. 방호지역에 인접한 장소에서 이산화탄소가 체류하고 침전될 가능성을 고려해야 한다. 또한 저장용기의 안전 차단장치에서 방출될 때 이산화탄소가 이동하거나 모이는 곳도 고려해야 한다.

CO₂를 사용할 때 그 방출로 인해 위험한 분위기 속으로 사람이 들어갈 수 있는 가능성도 고려해야 한다. 즉각적인 대비와 그러한 대기 중으로 들어가지 못하도록 하며, 위기에 처한 인명을 신속히 구조할 수 있도록 적절한 안전구조대가 마련되어야 하며 인명안전훈련이 실시되어야 한다. 통상 인간이 거주하는 공간에서는 방출 전 대피가 확실하게 되는 방법이 강구되지 않는 한 전역방출 CO₂ 시스템이 사용되서는 안 된다.

이러한 제한사항은 통상적으로는 거주하지 않더라도 보전이나 기타 목적으로 사람이 있을 수 있는 공간에도 마찬가지로 적용된다.

공간의 크기나 피난이 장애물이나 복잡한 통로에 의해 방해받을 때는 확실한 대피가 어려울 수도 있다. 방출이 시작되고 나면 소음이나 크게 감소된 가시도 때문에 대피가 더욱 어렵게 되기도 하며 CO₂ 농도의 물리적 효과 때문에 거주자가 당황하게 되기도 한다.

3.1.3 인명안전관련 설계와 운전절차

모든 시스템에는 가칭 또는 가시의 방출 전 경보가 요구된다. CO₂ 시스템으로 방호되는 공간에 들어가는 사람은 이러한 경보에 정확하게 대응하는 방법에 대해 훈련되어야 한다.

CO₂가 공간에 충전되기 전에 방호공간의 사람들이 확실히 대피하도록 모든 사전주의사항들이 강구되어야 한다. 이것이 방출전 경보의 주목적이며 CO₂가 방출되기 전에 적절한 지연시간이 준비되어야 한다.

시스템에 익숙치 않은 사람에 의한 사고방출이나 고의적방출로 방호구역에 작동되는 것을 방지하기 위해 시스템 잠금장치가 준비되어야 한다.

인간의 방호공간으로부터의 대피가 방해받을 때, 즉 사람이 사다리를 오른다든지. 비계위에서의 작업 또는 막힌 공간으로 들어갈 때도 잠금장치가 필요하게 된다. 시스템의 잠금장치는 기계식으로써 자동 또는 수동 방출 모두를 방지하도록 설계되어야 한다.

3.1.4 전기설비와 이격거리

모든 설비 요소는 전기기기의 충전부(live parts)로부터 NFPA 12에서 규정하는 바와 같은 최소 이격거리를 유지할 수 있도록 배치하여야 한다.

3.2 청정소화약제

3.2.1 청정소화약제의 독성 테스트

독성에 대한 테스트는 다음의 두 가지 관점에서 시행된다.

- 노출의 기간이나 빈도
- 특정 생물학적 효과에 대한 결정

(1) 기간이나 빈도 테스트의 4가지 기준

- | | |
|----------------------|----------------------|
| (a) 급성 - 24시간 미만의 노출 | (b) 준급성 - 1개월 이하의 노출 |
| (c) 준만성 - 1~3 개월 노출 | (d) 만성 - 3개월 초과외 노출 |

(2) 조사된 특정 생물학적 효과는 많지만 할로젠화탄소 약제에서는 다음 효과가 가장 일반적이다.

- | | | |
|-----------|-----------|--------------|
| (a) 흡입독성 | (b) 진행성독성 | (c) 재생성독성 |
| (d) 유전적독성 | (e) 심장독성 | (f) 중앙신경계 작용 |

이러한 기준의 분류는 급성과 만성에 상당한 차이가 있듯이 경험에 근거한 것이다. 예를 들면, 유기용제에 대한 급성 노출독성은 전형적으로 중앙신경계의 장애를 의미하며 노출이 끝나면 다시 정상으로 되돌아오는 것이다. 그러나, 유기용제에 의한 만성노출특성에는 간의 손상이나 암이 포함될 수 있으며 되돌릴 수 없는 것이라 할 수 있다.

노출경로에 대해서도 조사되어야 하며 가스계약제에서는 흡입에 대한 연구가 반드시 요구된다. 급성에 대한 테스트에서부터 일련의 테스트들이 요구된다. 이러한 테스트들은 이전의 단기간 연구의 결과 위에 축적하기 위해 필요하며 한가지 중요한 이유로는 테스트의 정확한 노출농도를 확립하기 위한 것을 들 수 있다.

단기간의 연구는 개략적 지시를 위해 사용되며 장기간테스트를 필요로 하는 독성문제에 대한 직접적인 결과는 될 수 없다.

독성연구의 전문가들은 각 단계별로 그 결과들을 평가하며 다음단계 테스트를 위한 교육적 결정을 만들어 내기도 한다.

미국에서 Significant New Alternatives Policy(SNAP)에 의해 환경청(EPA)에서 요구하는 최소한의 Test들에는 다음이 포함된다.

- | | |
|---|------------------|
| ① 급성독성 range finder : 한계량 또는 LC ₅₀ 테스트 | |
| ② 심장 감각성 테스트 | ③진행성과 재생성 독성 |
| ④ 4주 또는 13주의 만성 테스트 | ⑤유전성 독성의 스크린 테스트 |
| ⑥ 열분해 생성물 테스트 | |

3.2.2 할로젠화탄소 약제의 독성

화재진압에 적용될 때 심장감각성이 주요한 단기간의 급성독성문제로 된다. 심장감각성이란 약제농도의 존재하에 심장발작의 갑작스런 개시를 나타내는 용어로서 심장의 민감한 에피네프린의 감지가 원인이 된다.

심장독성과 허용노출수준을 나타내는데 이용되는 독성의 한계점에는 NOAEL(No Observed Adverse Effect Level)과 LOAEL(Lowest Observed Adverse Effect Level)이 있다. NOAEL이란 역효과가 발생하지 않는 최고의 약제농도이며 LOAEL이란 역효과가 측정되기 시작하는 최소의 농도이다.

화재진압설비의 설계에서 단기간 노출한계에 추가하여 EPA에서는 장기간 흡입에 대한 데이터를 평가하며 <표>에서 NOAEL, LOAEL, LC₅₀ 값을 보여준다. LC₅₀ 값이 NOAEL값보다 상당히 큰 것을 주의할 필요가 있다. 할로젠화탄소약제는 거주지역에서 사용할 때는 일반적으로 설계농도가 NOAEL보다 낮아야 한다는 제한을 받게 된다.

대부분의 경우 설계농도가 NOAEL 이하이어야 한다는 제한에 따라, <표>에서 보면 세가지의 약제가 보통의 거주지역에서 소염농도의 목적으로 수용 가능한 것을 알 수 있으며, 이 세가지 약제는 HFC227ea, HFC-23, FC-3-1-10이 된다.

또한 산소농도를 인간의 뇌기능손상 발생과 관계되는 16% 이상으로 유지하기 위해서는 약제농도가 24%를 초과하는 할로젠화탄소 소화약제를 상시 거주지역에 사용해서는 안된다.

표 할로젠화탄소 소화약제의 독성 데이터

Trade Name	Designation	Formula	NOAEL% V/V °	LOAEL% V/V °	LC ₅₀ or ALC
CEA-410	FC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	40	> 40 §	> 80%
FM-200	HFC-227ea	C ₃ F ₇ H	9.0	> 10.5	> 80%
FE-13	HFC-23	CHF ₃	30	> 50 §	> 65%
FE-24	HCFC-124	C ₂ HClF ₄	1	2.5	23-29
FE-25	HFC-125	CH ₂ HF ₅	7.5	10.0	> 70%
NAF-SIII	HCFC Blend A	HCFC-22 82% HCFC-123 4.75% HCFC-124 9.5% Organic 3.75%		> 10	64%
Triodide	FIC-1311	CF ₃ I	0.2	-	-

3.2.3 불활성가스 약제의 독성

불활성가스약제는 실제로 생리학적으로는 불활성이다. 이 약제의 주요 생리학적인 문제는 높은 약제 설계농도에 기인된 감소되는 산소농도라 할 수 있다. 어떤 불활성가스 약제 제품은 낮은 CO₂ 농도를 적용하는데 CO₂는 생리학적으로 불활성은 아니지만 감소된 산소농도의 효과에 대응하기 위한 것으로, CO₂에 의해 호흡속도가 빨라지게 하므로 빠른 시간에 산소를 흡입하도록 한다.

EPA에서는 불활성가스가 통상의 거주지역에서 43% 농도까지 사용될 수 있다고 결정하였으며, 이는 이런 거주지역에서 할로젠화탄소약제의 경우는 한계로서 NOAEL 농도에서 사용하도록 한 것과 같다. 이는 잔류산소농도가 12%가 되는 결과가 된다. LOAEL 부근은 52% 약제농도로서 이 경우 잔류산소농도는 10%가 된다.

3.2.4 청정소화약제 시스템의 안전고려사항

방호지역 외부의 인근 지역에서 청정 소화약제가 유입될 가능성을 고려해야한다. 개개의 설비에 대해 고려해야 할 잠재적 위험은 다음과 같다 :

- (1) 소음 : 설비로부터 방출은 깜짝 놀라기에는 충분한 소음을 일으키지만 외상을 일으키기에는 불충분하다.
- (2) 교란 : 노즐에서의 고속방출은 직접 그 경로 안에 있는 견고한 물체를 충분히 날려버릴 수도 있다. 방출시 구획실 안에서 고정되지 않은 종이와 가벼운 물체를 날려버릴 정도의 교란을 충분히 일으킬 수 있다.
- (3) 저온 : 설비에서 방출되고 있는 기화액체에 직접 접촉하는 것은 기화열에 의한 강력한 냉각효과를 가져올 수 있고, 피부에 대해 동상을 일으킬 수 있다. 액체상태는 공기와 혼합되면 급속히 기화되므로 위험을 방출점 근거리로 제한한다. 습기 있는 대기에서는 수증기의 응축 때문에 짧은 시간 동안 가시도의 저하가 발생할 수 있다.

대부분의 청정소화약제가 낮은 수준의 독성을 지니고 있기는 하지만 매우 높은 열기가 있는 상태에서 폭발하는 청정소화약제가 만들어 내는 분해생성물은 위험할 수 있다. 대부분의 약제는 대량의 불소를 함유하고 있다. 연소과정에서 이용 가능한 수소가 있는 상태에서의 주요 분해생성물은 불화수소(HF)이다.

청정소화약제의 방출 또는 열분해에 의해 대기가 위험해질 수 있는 지역에서 인명에 대한 상해나 사망을 예방하는 데 필요한 조치와 안전장치는 NFPA 2001에서 상세히 규정하고 있다.

3.2.5 전기설비와 이격거리

모든 설비부품은 통전중인 전기부품으로부터 최소한의 이격거리 이상을 유지할 수 있도록 위치되어야 한다. 다음 참고는 청정소화약제 설비 설치에 관한 최소한의 전기기기와의 이격거리 요구사항으로서 고려되어야 한다.

- (1) ANSI C-2, National Electrical Safety Code
- (2) NFPA 70, National Electrical Code
- (3) 29 CFR 1910 Subpart S.

4. 가스계 소화약제의 분해생성물

4.1 청정소화약제의 분해생성물

모든 할로젠화탄소 약제는 같은 조건에서 할론 1301 보다 높은 수준의 열 분해 생성물을 생성한다. 주어진 연료에 대해 열분해 생성물의 수준을 결정하는 주요변수로는 다음을 들 수 있다.

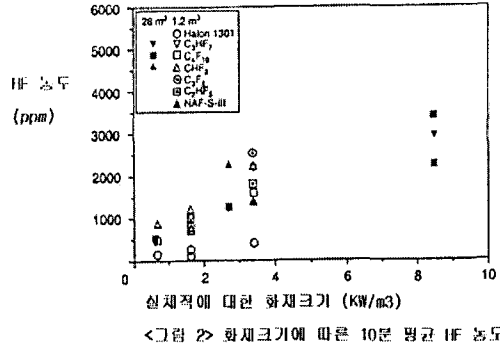
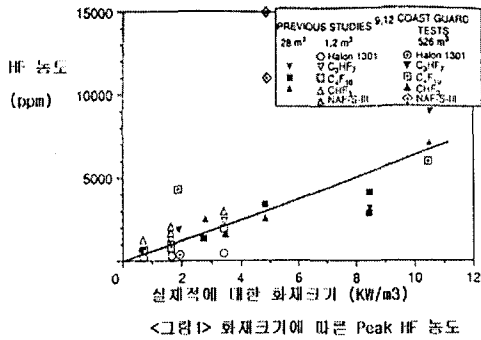
- 방출시의 화재크기
- 구획 내에서 소화 농도에 도달하는데 필요한 시간
- 약제의 설계 농도

열분해 생성물의 방출시간과 화재 크기의 의존성은 실험을 통해 광범위하게 평가되어 왔으며 그림 1과 2에서는 화재크기에 따른 피크 HF 농도와 화재크기에 따른 10분 평균 HF 농도를 각각 보여주고 있다.

이 결과로부터 생성되는 불화수소(HF)의 양이 모든 할로젠화 탄소 경우가 할론 1301에 비해 개략적으로 5내지 10배 높다는 것을 알 수 있다.

비록 여러 가지의 열분해 생성물이 생성되기는 하지만 인명 안전과 기기손상과 관련하여 주된 관심 대상은 HF이다. HF는 HCL과 같이 자극성 가스로서 매우 낮은 농도에서도 감지될 수 있다.

열분해 생성물의 전자기기에 대한 영향도 다른 관심대상이 되며, NASA에서의 실험에 의하면 700ppm의 HF와 HBr 농도에서는 고장이 나타나지 않았으나 7000ppm 농도에서는 심한 부식이 발생하여 기기의 고장을 초래하는 것으로 보고되어 있다.



4.2 할론소화약제의 분해생성물

할론1301은 약제 자체는 비교적 독성이 없으나 분해생성물은 높은 독성 효과를 나타내므로 사용시 분해생성물에 의한 인명안전문제는 고려되어야 한다. 온도가 900°F(482°C) 이상 되는 화염이나 열면에 노출될 때 할론1301은 열분해되어 주로 브롬화수소(HBr)와 불화수소(HF)를 생성한다.

또한 미량의 Br₂, COF₂, COBr₂도 관찰되나 너무 적은 양이므로 관심 밖으로 둘 수 있다.

5. 시스템의 압력배출

5.1 이산화탄소 약제시스템

액상의 CO₂가 밀폐실로 방출될 때 초기에는 갑작스런 냉동효과에 의해 대기가 수축된다. 그러나 나중의 충만단계에서는 이산화탄소와 공기가 결합된 체적이 초기 방의 체적보다 커지게 될 것이다. 따라서 초기에는 진공이 형성되어 공기를 끌어들이지만 마지막에는 압력이 증가되어 과잉의 체적이 압력배출구를 통해 배출된다. 실제로 공기온도는 방출동안에는 크게 저하하지만 방의 고체표면에서 열을 흡수함에 따라 곧 정상으로 돌아온다. 일반적으로 통상의 방에는 문이나 창문 주의틈, 벽의 기공 등 충분한 누설면적이 있어서 인지 될만한 진공이나 압력의 축적이 일어나지 않는다.

그러나, 효율적인 전역방출의 관점에서는 주 배출구를 바닥보다는 천장 가까이나 그 위에 두는 것이 좋다. 완전하게 기밀된 방에서는 부분적으로 저장도로 만든 Vent 구역(피압구)을 만들며 그 면적은 약제방출률에 근거하여 다음 식에 의해 계산된다.

$$X = \frac{23.9Q}{\sqrt{P}}$$

여기서, X : 배출구면적 mm² Q : 유량, kg/min P : 구획의 허용인장강도, kg/m²

5.2 할로겐화탄소 약제시스템

구획으로 급속한 약제의 방출로 구획 압력의 급격한 변화가 생긴다.

약제 자체와 그 방출률에 의존되어 초기 압력변화는 부압이 된다.

할로겐화탄소 약제의 방출초기에는 약제가 급속히 증발되어 구획의 온도를 낮추어 압력을 떨어뜨린다. 이후 약제/공기 혼합물이 벽이나 다른 물체로부터 열을 얻으면 압력이 회복되고 추가 약제가 방출됨에 따라 질량이 추가되므로 압력이 대기압 이상으로 증가된다.

5.3 불활성가스 약제시스템

불활성가스 약제에서는 적절한 배출구가 준비되지 않으면 방출동안 구획의 심각한 과압을 초래할 수 있다.

불활성가스 약제 중 대표적인 IG-541의 경우 소화약제는 방호구역의 설계농도인 최소 37.5% 이상유지를 위해 방호구역 체적대비 47%의 소화약제를 실내로 방출시키게되며 이로 인한 실내압력 상승시 건축부재 및 마감재 등 취약부분의 파손을 방지하기위해 사전에 적절한 크기의 배출구를 설치하여 동일한 양만큼의 공기를 실외로 배출시켜 구조적 손상을 방지한다.

방호구역에 사용되는 구획의 각종건축부재 중 가장 취약부재의 실내 압력 상승시 허용 가능한 최대 강도인 최대허용내압강도와 약제가스 방출율에 의해 필요 배출구 면적이 계산된다.

필요한 배출구 면적계산은 IG-541 시스템 설계의 중요한 한 부분이 된다.

비교적 높은 설계농도의 불활성가스 약제의 경우 필요 배출구 면적 계산에 CO₂ 시스템의 배출구면적 계산식이 흔히들 이용된다.

$$X = \frac{42.9Q}{\sqrt{P}}$$

여기서, X : 배출구면적, cm² Q : IG-541 방출률, m³/min
P : 최대허용 내압강도, kg/m²

6. 결론

가스계 소화약제시스템의 신속한 소화 또는 불활성화 능력 때문에 고가의 방호대상물 또는 수손의 우려가 심각하게 대두되는 방호대상물에서는 점점 많이 이용되는 추세이다. 이산화탄소(CO₂) 소화시스템은 오래 전부터 널리 이용되어 왔고 다른 어떤 가스계 소화약제보다 경제적으로 또는 성능면으로 우수한 것으로 알려졌으며 실제로도 많은 인명과 재산을 구해왔다고 할 수 있다. 그러나, 가끔 적정용도에 맞지 않게 설치되었거나 안전에 대한 주의 소홀히 하여, 즉 불특정다수가 이용하는 장소에 설치되어 부주의에 의한 방출로 인명피해를 입는 수가 있었다.

또한 할론 대체의 청정소화약제시스템도 여러 종류가 국내에 들여와서 고가의 전산기기에 대한 방호용으로 많이 이용되고 있다. 그러나 설계, 시공, 유지관리 모든 면에서 안전관

런 사항들을 소홀히 취급하고 이에 대한 인식이 부족하여 인명이나 고가 기기의 손상 없이 적절히 사용되도록 하는 노력에는 미흡한 점이 많았다고 할 수 있다.

이에 본 기술소고에서는 특별히 각종 가스계 소화약제시스템의 인명안전이나 기타 안전 관련사항에 대해 외국문헌을 참조하여 중점적으로 어느 정도 상세히 기술하려고 하였으며, 관련분야 종사자들에게 단편이나마 도움이 되었으면 하는 바램이다.

참고문헌

1. Arthur E. Cote, Fire Protection Handbook, 18 th Edition, pp. 6-281~6-340.
2. Philip J. Dinunno, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, pp, 4-123~4-166.
3. 이창욱, “방화공학,” 도서출판 의제, pp. 3-55~3-70.
4. NFPA 12.
5. NFPA 2001.