

# 위험물저장소의 화재방호 비용효과 분석

저자 · Alan Tyldestey, Peter Rew, Richard Houlding  
출처 · Fire Prevention Fire Engineers Journal, 2004년 11월호  
윤종철 · 협회 연구컨설턴트부 사원

이 글은 The HSE Hazardous Installation Directorate의 최우수 조사관인 Alan Tyldestey와 Atkins에서 화재안전 컨설턴트로 근무하고 있는 Peter Rew와 Richard Houlding가 위험물저장소의 화재방호 비용효과분석에 관해 발표한 연구보고서를 번역한 것이다.

## 1. 머리말

위험물저장소 화재는 대규모 재산피해 위험성이 잠재되어 있는데, 1974년 이후로 영국에서 발생한 주요 산업재해 통계를 보면, 비용에서 상위

랭크된 20건의 화재사고 중 6건이 위험물저장소에서 발생한 화재였다.

저장소들이 위치한 지역에서 화재연소 확대의 지연 및 방지를 위한 저장소의 방화구획은 소방대

의 화재진압시간을 단축시킨다. 그러나 우리는 일련의 화재사고들에서 구획 관통부, 특수한 화재위험을 예상치 못한 부적정한 설계, 폭발로 솟구쳐 오르는 드럼통들의 미사일 효과로 인해 방화구획이 붕괴된 사고를 보아 왔다. 한 예로 1988년, Poole의 BDH에서 발생한 대규모 화재에서 방화구획벽체는 화재가 진행되는 동안 온전하게 유지되었지만, 화재의 연소확대는 인접한 구역에서 폭발한 드럼통의 낙하로 인해 발생하였다. 1992년 브래드포드의 알리드 콜로이드(Allied Colloids) 화재는 세분화된 저장실에 설치된 방화셔터가 결정적인 순간에 개방상태로 유지되어 화재가 창고의 주요부분으로 확대되었다.

## 2. 방화구획의 장점

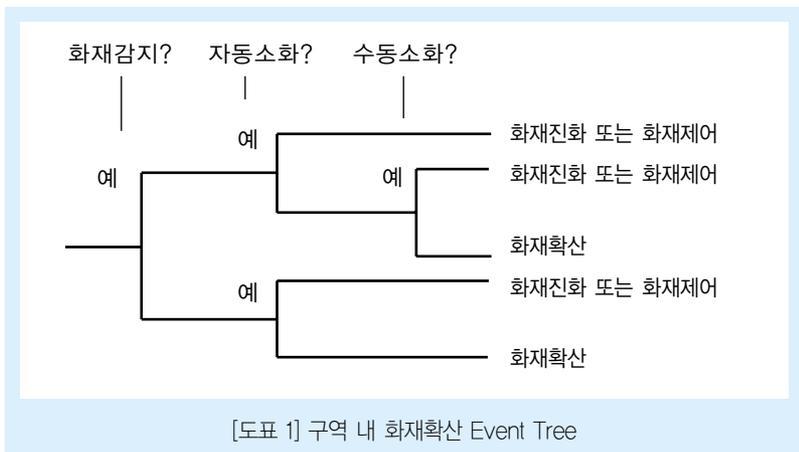
건강안전위원회(HSE : The Health and Safety Executive)는 최근 화재위험 감소방안으로 위험모델개발을 통해 방화구획의 비용효과분석 및 장점에 대해 연구하고 있는데, 이 연구의 주목적은 위험물저장소의 화재방호설계 시 적절한 대안을 제시하는 것이다. 위험물저장소와 관련하여 타 지역에 미칠 위험성에 관해 HSE

가 주목하는 사항은 다음과 같다.

- 환경 또는 이웃주민의 건강에 악영향을 미치는 버섯형태의 연기구름 위험
- 물에 의해 씻기거나 물속을 흐르는 화학물질의 위험
- 드럼통 및 기타 컨테이너의 폭발 파괴위험

또한 위험물저장소로부터 옥외저장소가 위치한 다른 인접 시설물로의 연소 확대도 주목하고 있다.

위험모델은 버섯연기구름이 미치는 영향뿐만 아니라 연기의 독성 및 저장소의 구조도 고려하며, 피해가 발생한 화재층의 연소물질 양과 관련한 화재위험의 크기를 예상한다. 따라서 모델은 피해가 발생한 화재층의 생성물 및 피해 빈도를 도출하고, 화재 진압시 필요한 수량과 소화수가



주위환경에 미치는 영향들이 화재지역과 깊은 연관성을 갖고 있다는 것을 가정하고 있다.

위험모델의 세부적인 내용은 HSE 연구 보고서에 잘 나타나 있으며, 위험모델은 구획공간 또는 임의의 장소에서 발생된 화재의 확대빈도를 [도표 1]의 Event Tree에 따라 계산한다. 즉, 화재가 발생하면 화재의 연소확대는 자동 또는 수동 소화방법이 사용되고, 이것은 화재의 조기 감지 여부에 달려있다.

### 3. 연소확대 가능성

일단 화재가 확대되면, 인접한 구획공간으로의 연소확대를 고려해야 하고, 연소확대 방지시설이 초반 또는 후반에 그 기능을 상실할 수 있다는 점도 고려해야 한다. 초기 화재진압 실패는 아래 내용 중 하나 이상의 원인에 기인할 수 있다.

- 부실시공 및 유지관리 불량 또는 급속한 화재확산에 의한 열충격
- 방화구획벽체 상에 설치된 수동적 방호요소(방화문, 관통부 밀폐)의 기능 상실
- 구획공간 주변으로의 액체연료 유출
- 폭발에 의한 벽 또는 지붕구조의 붕괴

방화구획벽체가 화재로 인해 붕괴되기 전에 소방대가 화재를 제어하지 못하면, 연소확대 방지시설은 후반에 그 기능을 상실할 수 있다. 구획벽체

〈표 1〉 저장 물질의 분류

연료 유형	물질	설명	CAE 위험분류	CEA 화재위험등급
1	n-헵탄	고인화성액체	F	1
2	아세트산	인화성 액체	F, C	2
3	아닐린	가연성 액체	F, T, Fu	3
4	납 산화물	금속화합물	O, T	3
5	질산	강산화제	O, Co	2

F : 인화성 E : 폭발성 O : 산화성 C : 부식성 T : 독성  
Fu : 대량의 연기 발생  
Co : 연소할 때 고부식성 가스 방출

가 화재에 견디는 내구성은 자체 내화성능 및 화재상황에 따라 결정된다.

위험 모델은 CEA(Comite Europeen des Assurance classification)를 기초로 〈표 1〉과 같이 서로 다른 5가지의 재료 또는 연료로 분류하고, 이를 3종류의 방화구획벽체에 각각 저장한다. 하나는 두께 200mm의 철근콘크리트벽체, 또 하나는 두께 215mm의 경량콘크리트블록벽체, 마지막 하나는 칸막이벽체(두께 12.5mm의 석고보드 두 겹을 철재 스티드에 설치한)로 이 벽체들은 모두 최소 1시간의 내화성능을 가진다.

### 4. 용기의 파괴

실험은 특정 건물(7.5m의 층고를 가지며, 바닥 면적 325㎡의 평지붕 저장소) 내에 각 위험물을 함유한 드럼용기(205ℓ 용량 및 300kpa의 폭발 압력을 가진 견고한 철재드럼)를 가지고, 3종류의 구획벽체 내에서 화재시 발생하는 갑작스런 드럼 용기의 파괴영향을 분석한다. 여기서 용기의 최대

압력은 용기 안에 최대에너지가 저장되어 있는 조건하에서 폭발시 용기 내부 전체가 가스로 충전되었을 때 도달한 압력 값을 말한다.

이 실험에 대한 평가 결과는 다음과 같다.

- 철근콘크리트벽체는 드럼용기의 최악의 폭발 파괴에서도 붕괴되지 않는다.
- 블록벽체는 드럼용기가 벽으로부터 5m 이내의 거리에(위에서 가정한 특수한 상황에 대하여) 위치할 경우, 용기의 최악의 폭발 파괴시 붕괴되고 용기의 미사일 효과를 일으키는 최대 비산각도에 의해서도 붕괴된다. 또한 모르타르 전단강도의 한계초과시 블록 파괴로 인한 벽체의 지엽적인 파괴현상도 발생한다.
- 석고보드 칸막이 벽체는 저장소 내 어떤 위치에 설치되어 있어도 드럼용기의 최악의 폭발 파괴시 그 폭발 또는 미사일효과를 견디지 못한다. 따라서 이러한 벽체는 실험에 사용된 드럼 용기보다 약한 드럼용기의 폭발 파괴에서도 붕괴될 것이다.

## 5. 유용한 데이터

화재발생 가능성으로 사용되는 대부분의 자료들은 일반적으로 보통의 화재하중을 가진 빌딩에서 발생한 화재사건에 기초한다. 따라서 각종 위

〈표 2〉 모델에 사용되는 조건별 확률값

화재방호수단	연료 유형				
	1	2	3	4	5
<b>감지설비</b>					
수동 발신기	0.10	0.20	0.30	0.10	0.20
자동화재 감지 또는 불꽃 감지	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
수동 발신기와 자동화재 감지	0.82	0.84	0.86	0.82	0.84
<b>소화설비</b>					
스프링클러 설비	0.60	0.70	0.80	0.90	0.85
포/스프링클러 설비	0.80	0.90	0.95	0.95	0.90
가스계 소화설비	0.80	0.90	0.95	0.20	0.10
수동 소화	0.10	0.20	0.40	0.40	0.20

험물저장소 화재시나리오에 일반적인 화재발생 가능성을 적용시키는 것은 많은 불확실성을 내포하고 있다.

이 실험에서는 가연성액체(연료유형 3)에 대한 화재발생 가능성을 일반적인 보통 화재하중과 유사한 것으로 보고, 보통 화재하중에 대한 일반자료를 기준으로 하여 특수 화재하중들에 대한 화재발생 가능성을 분류하였다.

여기서 사용된 화재발생 가능성은 역사적인 자료들을 인용하였고, 그 대부분은 시스템 또는 실제상황과 관련하여 10년 전 또는 그 이전부터 적절하게 사용되어왔다. 따라서 사용된 화재발생 가능성들이 현대의 화재방호시스템 및 실제상황과는 맞지 않는다는 주장이 제기될 수도 있으나, 지난 수십 년 동안 시스템에 대한 신뢰성과 효율성 측면에서 뚜렷하게 개선된 사항들이 있다는 것을 입증할 자료가

없고, 가령 그 개선사항들이 입증되었다하더라도 모델의 목적은 화재방호시설과 관련한 위험을 비교하는 것뿐이다.

〈표 2〉는 연료 유형별 모델에 대한 화재감지 및 화재진압에 사용된 조건별 확률값을 나타내고 있다. 이러한 확률값은 화재위험요소를 제어하는데 있어 그 설비에 대한 신뢰성과 효율성을 모두 포함하고, 모든 화재방호시스템은 저장하고 있는 물질의 특성 및 배치상태에 따라 적절하게 설계되어 있다는 것을 전제한다. 그러나 현행 코드에 맞지 않는 시스템의 설계가 항상 적절한 것만은 아니다.

예를 들어 〈표 2〉에 제시된 확률값들은 금속용기에 저장된 위험물에서만 그 사용가치가 있다. 건강안전연구소(The Health and Safety Laboratory)의 실험프로그램 결론은 플라스틱 용기에 저장된 인화성 액체는 특수 인화성 액체위험물로 분류되고, 이러한 위험물 저장소 화재에서는 스프링클러설비도 제 기능을 발휘하지 못할 수 있다는 것이다.

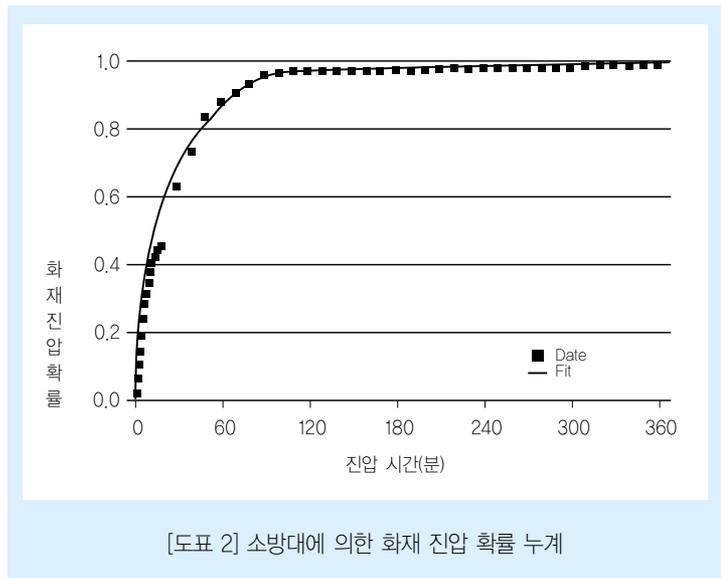
위험 모델에서 플라스틱 용기에 저장된 인화성 액체물질은 고인화성 액체로, 〈표 1〉에서 연료유형 1에 해당한다. HSE는 인화성액체가 저장된 플라스틱

용기의 화재위험성을 따로 분류하고 있다.

## 6. 소방대의 투입

각 화재상황들은 소방대에 의해 진압되어, 완전한 방화구획의 실패방지 및 연소확대 방지를 전제하고 있다.

소방대가 필요한 화재진압 시간은 각 방화구획이 화재에 견딜 수 있는 시간과 구획벽체를 관통하여 연소확대가 이루어지는데 걸리는 시간의 합으로 정의된다. 런던소방당국의 최근 분석자료에서 사람이 거주하지 않는 장소의 화재진압시간은 사람이 거주하는 장소의 화재진압시간 보다 3분의 1정도로 짧고, 화재진압시간은 최종 위험지역과 관계가 있는 것으로 밝혀졌다. [도표 2]는 소방대



[도표 2] 소방대에 의한 화재 진압 확률 누계

투입 시점에서부터 화재의 연소확대를 막고 화염을 진압하기까지 걸리는 시간을 분석하여, 특정 시간 이내에 화재가 진압될 확률 누계값을 나타내는데, 연료유형의 영향과 지붕배기설비와 같은 화재완화수단 사용은 배제하였다.

## 7. 중요한 모델 결과들

소요 비용정보는 설비 시공자와 많은 감독관들로부터 얻어지고 발표된 문헌정보에 의해 보완될 수 있다. 이러한 일반적 비용은 제조자가 설치하려는 특수설비 또는 특정위험물 저장소 내 설치할 설비의 특수 설계에 소요되는 비용을 100% 만족시킬 수 없다. 일반적 비용은 고정 비용과 방화구역 면적당 필요한 비용으로 나뉘는데, 예를 들어 자동화재탐지설비의 일반적 비용은 고정비용 5,000파운드에 바닥면적 1㎡당 3파운드를 더한 값으로 계산된다.(2001년도 기준)

위험모델은 실제의 위험물저장소와 가상의 위험물저장소 두 가지 사례를 가지고 연구하였다. 실제의 위험물저장소는 한 층 바닥면적이 4,000㎡이고 3개의 방화구획으로 나뉘어져 있으며, 그 주위에는 인화성액체를 저장하고 있는 옥외저장소 및 임시 저장소가 위치하고 있다.

가상의 위험물저장소는 가연성액체를 저장하는 위험물 저장소 하나만 위치하고 있으며 (연료유형 3), 최대 4개의 방화구획으로 나뉘어져 있고, 각 구역별 면적은 500㎡에 층고는 10m이다. 그리고 그 위험물저장소로부터 7.5m 이격된 장소는 위험

물의 이동 또는 임시 저장장소로 사용된다.

위 사례연구는 모델실험의 한계성과 모델 불확실성을 수반하지만 몇 가지 조기 결론을 얻을 수 있다.

- 일반적으로 자동화재탐지설비는 비용면에서 다른 방호설비보다 효과적이다.
- 위험물저장소에 적절한 화재 진압시스템 설계는 어렵지만, 자동소화설비는 화재위험을 줄이기 위해 방화구획을 하는 것보다 더 효과적이다.
- 철근콘크리트 구조의 방화구획벽체는 구내의 고위험지역으로의 연소확대 및 인접구역으로의 연소확대를 방지하는 효과적인 수단이다. 그러나 만일 그 구획벽체를 블록이나 석고보드로 하거나, 문 또는 다른 관통부가 그 벽체에 설치된다면 그 효과는 현저하게 줄어들 것이다. ☹