

# 물류창고 화재분석을 통한 화재안전관리방안 연구

김희규, 박상현, 정태호

소방방재청 국립방재교육연구원 방재연구소

## A Study on the Alternatives for Fire Safety Management by Warehouse Fire Analysis

Kim, Hee Kyu · Park, Sang Hyun · Jung, Tae Ho  
National Institute for Disaster Prevention

### 요 약

본 논문은 2008년 12월 5일 경기도 이천시 소재의 물류창고 화재사고에 대한 화재원인 및 화재확대요인을 검토하고, 재발방지를 위한 대책을 제시하였다.

본 화재원인 검토결과 용접작업 실화에 의한 화재로 벽체패널인 샌드위치패널과 문틀형강을 접합하던 중 용접작업시 발생하는 불티 또는 고열에 의해 벽체패널 내부의 스티로폼 및 우레탄폼에 착화된 것으로 추정된다. 화재확대요인은 화재에 취약한 스티로폼 및 우레탄폼 재질의 샌드위치패널 사용과 소방설비의 인위적 기능해제로 판단된다. 이번 사고와 같은 재난을 예방하기 위해서는 급격한 연소확대 특성을 갖는 스티로폼 및 우레탄폼 재질의 샌드위치패널 사용금지, 소방설비의 기능해제에 대한 감시와 처벌강화와 안전관리체계 및 안전규칙 준수여부 관리 강화가 필요하다.

### 1. 서 론

2008년 12월 5일 오후 12시 9분경 경기도 이천시 소재의 물류창고에서 화재사고가 발생하여 7명이 사망, 2명이 부상당하고, 2개동 9만여㎡ 중 4만여㎡을 태워 531억원(동산 323억원, 부동산 208억원)의 재산피해가 발생하였다. 이번 화재사고는 창고내부에 출입문 설치공사중 용접부주의에 의한 실화로 발생하였으며, 당시 용접작업에 참여한 인부들이 화재초기에 화재발생을 인지하고 대피한 반면에 냉동창고 내부에서 물류분류 작업중이던 직원들은 화재사실을 인지하지 못하고 고립되어 질식 소사하였다.

화재사고가 발생한 물류창고는 철골 샌드위치패널 구조로 화재 발생시 급격한 연소확대가 용이한 구조로 되어있으며, 화재사고가 발생한 당시에는 평균풍속 3.4㎞의 강한바람이 불고 있어 화재확대가 빠르게 이루어진 것으로 추정된다.

샌드위치패널의 경우 외부 철관으로 인하여 소화약제 침투가 어려운 반면 내부 스티로폼 및 우레탄폼의 경우 다량에 공기층을 보유하고 있어 외부에서 공기가 유입되지 않아도 연

소할 수 있는 조건을 가지고 있다. 이러한 샌드위치패널의 화재사례는 1999년 6월 씨랜드 청소련 수련원 화재사고, 2008년 1월에 발생한 이천 냉동창고 화재사고 등 계속적으로 발생하고 있어 이에 대한 대책 마련이 요구된다.

본 연구에서는 2008년 12월 5일 발생한 이천시 냉동창고의 화재원인 및 화재확대요인을 검토해보고, 동종재난의 재발방지를 위해 대안을 제시해보고자 한다.

## 2. 화재발생원인 검토

이번 물류창고 화재사고의 원인은 용접작업 부주의에 의한 실화로 추정되고 있다. 용접작업은 지하 1층 냉장실 출입문을 설치하기 위해 벽체패널에 문틀로 사용할 4각형강 파이프를 고정시키는 작업 중 용접을 완료한 부위에서 연기와 불꽃이 발생하였다고 한다.

전기용접시 발생하는 아크열은 6,000℃까지 상승하게 되며, 용접작업시 발생하는 불티는 표 1과 같이 2,000℃에서 6,000℃까지의 온도분포를 보이고 있어, 고열 및 불티에 의한 화재·폭발 위험성을 항상 가지고 있다고 할 수 있다. 전기용접에 사용된 전기용접기는 인버터 타입에 3KVA의 전기용접기로 최고 4,000℃이상의 고온의 불꽃 또는 아크에 의해 용접하려던 피접물(사각파이프, 앵글, 패널 절단부 마감형강)의 온도가 상당히 상승하였을 것으로 추정된다.

용접시 발생하는 불티는 작업시 수천개가 발생·비산하며, 용융금속의 점적은 작업장소의 높이에 따라 수평방향으로 최대11m정도까지 흩어지게 된다. 또한 불티에 의해 직접적인 화재발생 위험성도 가지고 있으나 축열에 의해 상당기간 경과후 불꽃이 발생되어 화재를 일으키는 경우도 있다. 일반적으로 발화원이 될 수 있는 불티의 크기는 직경 0.2~0.3mm 정도로 보고 있다.

표 1. 용접 종류별 불티의 온도

종류	최고온도(℃)	종류	최고온도(℃)
산소-아세틸렌 불꽃	3,200	테르밋	2,300
철 아크	6,000	원자소수	4,000
탄소 아크	5,300	용해금속	2,000

용접작업시 피접물이 빨갱게 달아올랐다는 작업자의 증언과 철의 온도상승에 따른 색상변화를 검토한 결과 피접물의 온도범위는 700~900℃로 추정된다.

벽체패널로 사용된 샌드위치패널의 구조는 패널 절단작업자의 진술에 따라 추정해 보았을 때 그림 1과 같이 양쪽면이 두께 0.5mm 강판으로 되어있고, 내부는 단열재인 우레탄폼과 글라스울로 구성되어 있었을 것으로 보인다. 그림 2는 화재현장에서 촬영된 부분연소된 샌드위치패널이다. 회색부분은 글라스울이며, 노란색 부분은 우레탄 폼이다.

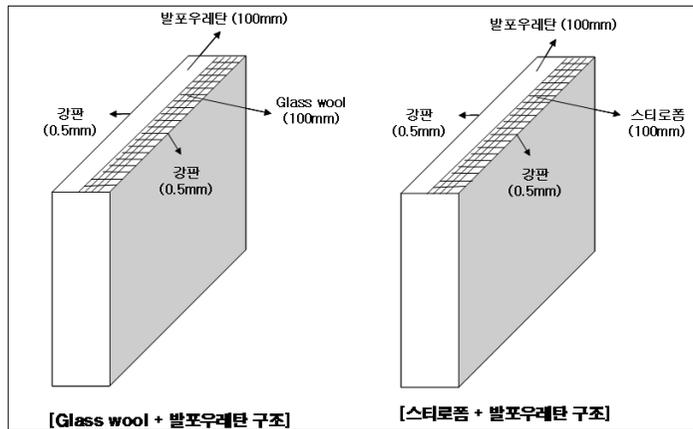


그림 2. 샌드위치패널의 단면도



그림 3. 화재현장 부분연소된 샌드위치패널 사진

샌드위치패널 내부에 충전재로 사용된 글라스울은 인화점이 815℃로 화재위험성이 거의 없는 반면 우레탄폼의 경우 제조사 및 제품의 종류에 따라 상온에서 ~350℃ 범위의 인화점을 갖고 있다. 인제대학교 김광일 교수의 난연성 우레탄폼에 대한 연소특성 실험결과 약 598℃에서 발화되는 것으로 확인되고 있다. 난연성 우레탄폼이 아닌 경우는 이보다 낮은 온도에서 쉽게 인화되고, 연소속도가 빨라 일반적인 소화방법으로는 진압하기 어렵다.

1,000~1,100℃의 용접불티가 우레탄폼에 접촉되면 우레탄폼은 녹으면서 내부로 침투되어 환연기를 내면서 분해반응이 시작되고, 일정시간이 경과되어 본격적인 연소단계에 들어서면 질소산화물과 일산화탄소 등 유독성물질의 검은 연기를 발생시키며 연소하게 된다.

샌드위치패널은 일단 착화되면 철판이 열 방출을 대부분 차단하여 패널내부에 있는 가연물의 온도가 빠르게 상승하면서 연소가 급격하게 확산된다. 또한 외부의 소화약제가 샌드

위치패널 내부로 침투하기 어렵고, 외부의 공기유입을 차단하더라도 우레탄폼(스티로폼) 내부에 다량의 공기층이 존재하여 샌드위치패널 내부로 화재전파가 지속되는 특징을 가지고 있다.

표 2. 대표적 단열제품의 특성 비교

구분	무기질		유기질			경질우레탄 폼
	유리면	암면	발포 폴리스틸렌	압출 발포 폴리스티렌	발포 폴리에틸렌	
KS 규격	KSL 9102	KSF 4701	KSM 3808	KSM 3808	-	KSM 9809
공정	고열 용융집합	고열 용융집합	스팀용착	진공 압출발포	연속발포	프레온가스 주입 발포
열전도율 (Kcal/m·h·℃)	0.039	0.039	0.03~0.039	0.023	0.03	0.022~0.025
안전사용온도	300	600	70	70	80	100
흡수율(%)	흡수	흡수	1.5	0.05	-	3.0g/100cm <sup>3</sup>
불연성	불연재	불연재	자기소화성	자기소화성	가연재	자기소화성
시공성	- 이음새처리가 용이 하여 열손실 적음 - 따가움(시공자 기피)		- 이음새 처리가 어려움 - 열손실 있음 - 굴곡진 곳 표면 시공 불편 - 사용, 운반 간편			- 현장 발시공
유해성	유독성 가스 없음		CO, CO <sub>2</sub> 등 유독가스 발생			

※ 한국과학기술정보연구원(2002. 12)

상기 용접작업자의 증언과 용접작업의 위험성 및 피접물인 벽체패널(샌드위치패널)의 화재취약성을 검토한 결과 용접시 발생한 4,000℃ 이상의 아크열에 의해 피접물(사각파이프, 앵글, 패널 절단부 마감형강)이 700~900℃까지 가열되어 샌드위치패널 내부의 우레탄폼이 고온의 피접물 및 용접불티에 의해 착화된 것으로 추정된다.



그림 4. 용접작업을 실시한 문틀



그림 5. 발화지점으로 추정되는 용접부위

### 3. 대규모 인명피해의 주요원인 및 분석

화재가 발생한 물류창고는 햄, 냉동식품, 과일 등을 저장하는 냉동창고로 건물구조는 내부전체가 단열재로 덮여 있는 밀폐공간이 많고, 창이 없는 무창층 구조로 되어있어 외부에서 화재발생 시 이를 인지하기 어렵다. 냉동창고의 주요건축재는 우레탄폼 및 가연성 샌드위치패널로 이뤄져 화재발생시 급격한 연소와 동시에 유독가스를 발생시킨다. 또한 냉동창고의 경우 일정온도를 유지하기 위해 대형냉동·냉장기들이 밀집되어 있어 상시적인 화재위험이 있으며 각별한 화기관리가 요구된다. 이러한 화재위험성을 가지고 있는 냉동창고 내에서는 스프링클러설비가 면제되어 있어 화재발생 초기에 진압하지 못하는 경우 창고전체가 소실될 위험이 크다.

이번 다수의 사망사고가 발생한 이천시 물류창고 화재사고는 상기조건들을 모두 가지고 있는 냉동창고 구역에서 발생하였다.

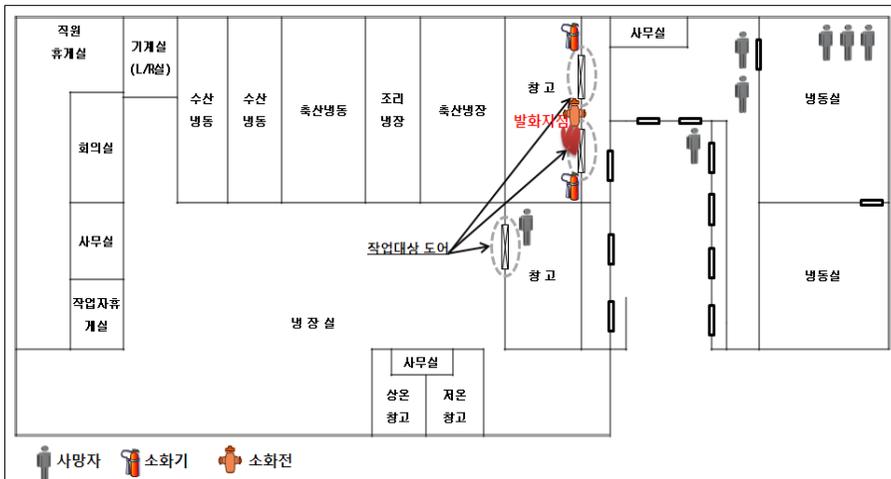


그림 6. A동 지하 1층 평면도 및 사망자 발생위치

그림 5는 A동 지하 1층 평면도 및 사망자 발생위치를 나타낸 것이다. 발화지점에는 소화기와 소화전 및 준비작동식 스프링클러설비가 갖추어져 있었다. 작업자의 증언에 따르면 초기화재 발생시 용접작업자가 화재를 인지하고 주변에 있던 소화기로 소화를 시도하였으나 소화기가 작동하지 않았으며, 외부소화기로 초기소화를 시도하였으나 실패하였다고 한다. 또한 화재경보기를 조작하였으나 작동되지 않았으며 화재가 심하게 확산되어 대피하였다고 한다.

화재발생이후 소방설비에 대한 조사결과 옥내소화전의 경우는 앵글밸브가 개방된 상태로 초기 화재목격자의 증언대로 초기소화 활동을 위해 방수된 것이 확인되었으며, 스프링클러설비는 밸브가 잠겨져 있어 작동하지 않은 것으로 확인되었다. 또한 화재경보기의 작동여부는 수신반 소실로 확인 할 수 없으나 물류창고 내 직원들은 경보음을 듣지 못하였다

고 진술하고 있고, 물류창고 중앙제어실의 로지스올 직원은 경보음을 듣고 대피하였다고 진술하고 있다.

이를 볼 때 다수의 사망자가 발생한 이유는 안전이 확보되지 않은 상태에서의 용접작업 실시와 급격한 연소확대를 막을 수 있는 스프링클러설비의 인위적 기능상실 및 구획된 곳에서 작업하던 작업자들의 화재발생 인지시간 지연으로 인한 탈출기회 상실이 주요원인으로 분석된다.

#### 4. 결론 및 시사점

##### 4.1 샌드위치패널 사용기준 강화 및 이력감시제 도입

사건건물에 사용된 내부 샌드위치패널은 화재시 패널의 안쪽 스티로폼 및 우레탄 폼이 급격히 연소하면서 유독성 가스를 발생시켜 대형 인명피해를 유발한다. 지난 1999년 발생한 화성 씨랜드 사고이후 청소년시설에는 불연처리된 샌드위치패널만을 사용하도록 규정하고 있다. 또한 건축법에서는 공장시설 및 3층 이상의 다가구주택에 대해 난연3등급 이상의 샌드위치패널을 사용하도록 하고 있다. 그러나 2007년 9월 경찰청 특수수사와 수사결과에 따르면 시장에 유통되는 자체 15종중 11종이 난연성능에 미달하는 것으로 조사되었다.

건축공사 감리자는 패널에 대한 성능시험 관련 업무를 규정하고 있지 않으며, 적정여부만을 검토·확인하도록 되어 있어 자재납품 및 시공자의 성적서에만 의존하여 감리업무를 수행하고 있다. 이에 따라 실제 사용된 패널성능을 확인 할 수 있는 방법이 없는 실정이다.

따라서 이와 같은 문제점을 개선하기 위해서는 불연처리된 재료의 패널만을 사용하도록 법제화 하는 것이 필요하며, 이에 대한 현장성능시험업무를 건축물 감리업무에 추가하는 것도 필요하다. 또한 재료에 대한 이력감시제를 도입하여 화재 및 재난 발생시 재료의 성능미달이 사고원인으로 지적될 경우 사고발생 원인행위에 따른 관련자 처벌규정을 법제화 하는 것도 필요하다.

##### 4.2 안전관리체계 및 안전규칙 준수여부 관리 강화

산업안전보건법에서는 사업자와 관리감독자가 위험예방을 위해 필요한 조치를 취하도록 규정하고 있다. 「산업안전보건법」 제14조에서 위험방지가 특히 필요한 작업시 소속 직원에 대한 특별교육을 실시하도록 하고 있으며, 이를 위반시 500만원 이하의 과태료 처분을 받도록 하고 있다. 또한 동법 제23조에서는 사업주의 안전상 조치의무로 사업자는 기계·기구 기타 설비의 위험, 폭발성·발화성 및 인화성 물질 등에 의한 위험, 전기·열 기타 에너지에 의한 위험으로부터 안전조치를 하도록 하고 명시하고 있다. 이를 위반하여 근로자 사망시 7년 이하 징역 또는 1억원 이하의 벌금에 처하며, 기타 위반시 5년 이하 징역 또는 5천만원 이하의 벌금을 물도록 되어 있다.

용접·용단 작업시 화재예방을 위해 한국산업안전보건공단에서 운영하고 있는 기술지침에서는 작업반경 11m이내에 불티 등에 의한 발화 가능성 및 밀폐공간 작업시 즉시 사용할 수 있는 소화설비를 구비한 화재감시인을 배치하여 만약의 사태에 대비하도록 하고 있

으며, 불티 비산방지를 위한 안전장치와 예상되는 화재종류에 적합한 소화기를 작업장에 비치하도록 규정하고 있다. 또한 용접·용단 작업시 화재발생원인과 대책을 표 4와 같이 기술하고 있다.

**표 3. 용접·용단 작업시 화재발생원인과 대책(KOSHA Code : F-2-1999)**

주요발생원인	대책
불꽃비상	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 불꽃받이나 방염시트를 사용</li> <li>· 불꽃비상구역내 가연물을 제거하고 정리·정돈</li> <li>· 소화기 비치</li> </ul>
열을 받은 용접부분의 뒷면에 있는 가연물	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 용접부 뒷면을 점검</li> <li>· 작업종료 후 점검</li> </ul>

이러한 산업안전보건법상 규정에 따른 작업안전관리는 소규모 유지·보수작업 및 임시작업에 대한 안전규칙이행은 미비한 실정이며, 이로 인해 대형화재·폭발사고 발생이 빈번하여 국민의 안전과 대규모 재산피해를 유발하고 있다. 따라서 법률 및 표준안전지침에 대한 세부기준마련과 이에 대한 이행여부를 감독할 수 있는 이중감시체계 마련이 필요하며, 현실적인 대안으로는 안전관련 규정 미이행시 처벌규정 강화와 엄격한 범규적용이 필요하다.

#### 4.3 임시작업 안전시스템

외국의 임시작업 안전시스템을 살펴보면, 프랑스 루브르박물관의 경우 임시작업시 열화상카메라를 설치하고, 중앙방재센터에서 이를 계속적으로 화재감시시스템을 마련하여 운영중에 있다. 국내에서는 화재감시인을 두어 관리하도록 규정하고 있으나, 24시간 상시감시는 어려운 상황이다. 그러므로 국외사례와 같은 임시작업 안전시스템을 연구·개발하여 이를 보급하는 사업의 추진이 필요한 실정이다.

#### 4.4 창고시설 안전관리 규정 개정

창고시설과 관련된 안전관리규정은 건축관계 법령과 소방관계 법령으로 구분된다. 창고시설 허가단계에서 건축관계 법령에 따른 건축물을 건축하고자 하는 경우 시장·군수·구청장의 허가를 받도록 되어 있으며, 소방관계 법령에 따라 연면적 400㎡ 이상의 건축물은 소방서장이 소방시설이 적법한 것을 확인하고 동의해 주도록 되어 있다.

또한 건축관계 법령과 소방관계 법령에서는 이에 대한 세부 안전시설기준을 적용하여 운영하고 있다. 건축관계법에서는 1,000㎡마다 방화구획하고 지하층 거실의 바닥면적이 50㎡ 이상인 경우 비상탈출구를 설치하도록 하고 있으며, 소방관계 법령에서는 연면적 33㎡ 이상, 소화전 연면적 1,500㎡이상, 지하층 바닥면적인 1,000㎡이상인 경우 스프링클러설비를 설치하도록 되어있다. 화재탐지기의 경우는 연면적 1,000㎡이상인 경우 설치하도록 하고 있다.

안전관리에 대한 규정은 건축관계 법령에서는 관계인이 유지·관리 책임지도록 하고 있는데 이를 위반시 2년이하 징역, 1천만원 이하의 벌금에 처하도록 하고 있다. 소방관계법령에서도 관리책임은 관계인이 지며, 옥내소화전이 설치된 경우에는 방화관리자와 소유자가 관리하도록 되어 있으며, 1차위반시 과태료 200만원 이하, 2차 위반시 3년이하 징역 또는 1,500만원 이하의 벌금에 처하도록 규정하고 있다. 그러나 건축준공 이후 범규 위반사항에 대한 감독이 어렵고, 재난발생 이후 그에 대한 책임소재를 규명하는 데 사용되고 있다.

효과적인 재난예방을 위해서는 상시적인 감독이 필요하며, 특히 소방시설에 대해서는 인위적인 안전기능 해제를 감시할 수 있는 소방시설 로그기록장치를 제도적으로 도입하여 소방시설의 상시적인 기능유지 상태를 점검할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 행정안전부, 소방시설설치유지 및 안전관리에 관한 법률, 2008.2
2. 노동부, 산업안전보건법, 2008.5
3. 국토해양부, 건축법, 2008.6
4. 한국산업안전보건공단, 용접·용단 작업시 화재예방 기술지침, 1999.6
5. 한국산업안전보건공단, 경질폴리우레탄폼 취급시 화재예방에 관한 기술지침, 2008.6
6. 한국산업안전보건공단, 냉동창고 건설공사의 위험성, 2009.1
7. 한국과학기술정보연구원, 건축용 단열재료, 2002.12
8. 이영재, 건축방재, 기문당, 2007.3
9. 권인규, 건축방재학, 동화기술, 2007.9
10. 정선모/편석범, 화재방어와 조사, 知&BOOK, 2008.1
11. 최성룡, 최성룡의 화재조사학, 한국교육문화원, 2007.9