

용접·용단 작업 중 사고 예방을 위한 제도 개선 연구

한경수 · 조규선 · 김영세* · 김병직** · 박주영*** · †박교식**

숭실대학교 안전보건융합공과 박사과정, *숭실대학교 안전보건융합공과 석사과정, **숭실대학교 안전보건융합공과 교수, ***한양대학교 재료화학공학과 학부과정
(2020년 2월 4일 접수, 2020년 2월 22일 수정, 2020년 2월 23일 채택)

A Study on the Improvement of System to Prevent Accidents during Welding and Melting Operations

Kyung-Su Han · Guy-Sun Cho · Young-Se Kim · Byung-Jik Kim
Ju-Yeong Park* · †Gyo-Sik Park

Dept. of Safety and Health Engineering, Soongsil University, Seoul, Korea

**Dept. of Materials Science and Chemical Engineering, Hanyang University, Ansan-si, Korea*

(Received February 4, 2020; Revised February 22, 2020; Accepted February 23, 2020)

요 약

최근 가연물이 있는 장소에서 용접·용단 작업 중 불꽃 비산 등으로 인한 화재·폭발사고가 빈발하고 있으며, 이러한 화재사고의 원인은 위험물 제거, 불꽃 비산방지 조치 등 기본적인 안전수칙 미준수가 대부분으로 산업안전보건법의 제도적인 보완이 필요하다. 본 연구에서는 국내 용접·용단 작업 등 화기작업에서의 화재·폭발 사고를 시스템적 관점에서 분석하고 그 결과를 반영하여 화재감시자 배치 확대, 화재위험작업의 사전승인, 화재예방 안전교육 강화 등 제도개선방안을 제안하였다.

Abstract - Recently, fire and explosion accidents caused by sparks scattered during welding and melting work in the work place where flammables are present. The causes of such fire accidents are mostly non-compliance with basic safety rules such as the removal of hazardous goods and the prevention of sparks scattering. It is strongly recommended to revise Industrial Safety and Health Act. This study analyzes the fire and explosion accidents in the work of firearms, such as welding and melting work, and analyzes the causes from a system perspective, and proposes an improvement plan for the system such as expanding the number of fire monitors, pre-approval of fire risk work, and intensifying fire prevention safety education.

Key words : welding, workplace, fire, explosion, fire-flakes, fire guard, pre-checking, work permit

I. 서 론

지난 2015년 7월 3일 오전 9시 13분께 H케미칼 울산2공장 폐수 집수조 상부에서 하청업체 근로자들이 용접작업을 하던 중 가스 폭발로 6명이 사망하고, 1명이 다쳤다.

H케미칼은 폴리염화비닐(PVC) 제조 과정에서 아세트산비닐(VAM) 등의 물질이 폐수에 포함되면서 인화성 가스가 발생하고, 집수조에 축적되어 화재·폭발 위험성이 있으나 평소 가스농도를 측정관리 하지 않았으며, 작업 중 환기 장치만을 가동한 상태에서 용접 중 불꽃에 의해 폭발하였다. [1]

또한, 2014년 3월 14일 오후 8시 50분 여수국가산단 내 D산업 HDPE공장 저장조에서 용접작업 중 폭발사고가 일어나 6명의 건설플랜트 노동자들이

†Corresponding author: hwayi21@empal.com
Copyright © 2019 by The Korean Institute of Gas

사망하고 11명이 중경상을 입었다. 사고는 저장조(사일로)의 내부 검사를 위해 맨홀을 설치할 목적으로 저장조 2층에서 보강판 용접작업 중 사일로 내 부실 퍼지작업으로 인한 잔존 분진과 가스에 의한 연쇄 폭발이 발생하였다. [2]

최근 5년(2014~ 2018년)간 공사장 용접작업 중 불티에 의한 화재는 증가추세를 보이고 있는데, 소방청에 따르면 공사장 용접작업 중 불티로 인한 화재는 총 1,823건 발생했다. 이로 인해 20명이 사망하고, 268명이 부상을 입었다.

주요 사례를 살펴보면 지난 3월 경기 용인 신축 공사장에서 용접작업 중 불티로 인한 화재가 발생해 13명이 부상을 입었으며, 2018년 3월 인천 신축 주상복합 공사장에서도 같은 원인으로 2명이 사망하고 5명이 다쳤다. [3]

이렇듯, 최근 가연물이 있는 장소에서 용접·용단 작업 중 불꽃 비산 등으로 인한 화재·폭발사고가 빈발하고 있으며, 이러한 화재사고의 원인은 위험물 제거, 불꽃 비산방지 조치 등 기본적인 안전수칙 미준수가 대부분으로 산업안전보건법의 제도적인 보완이 필요하다.

II. 본 론

2.1 사고분석

(1) 사고 현황

소방청에서 매년 발간하는 화재통계연감에 따르면 1966년 이후 대형화재는 전체 279건 중 화재원인이 용접, 용단, 불티 등에 의한 화재 발생 건수는 19건으로 6.8%를 차지하고 있다. 이 중 2000년대 발생하여 세간의 이목을 끈 화재를 중심으로 세부 내용을 살펴보면, S전자 화성사업장 화재(2019.3.14., 우수배관 맨홀에서 용접 중 화재), 군산 폐기물 처리장 화재(2019.3.9., 산소 용접기를 사용하다가 불꽃이 튀면서 화재, 20백만원 재산피해), 화성 플라스틱 공장화재(2019.3.7., 공사 중 산소용접기 화재, 1명 사망, 1명 부상), 대창초등학교 체육관 화재(2019.3.6., 체육관 내진 보강공사 용접 중 바닥 스펀지에 화재, 88백만원 재산피해), 세종시 주상복합 건물 공사 화재(2018.6.26., 지하1층 승강기 설치 용접 중 불티가 스티로폼 내장재에 옮겨 붙음, 4,040 백만원 재산피해, 3명 사망, 37명 부상), 김포공항 국제선 청사 화재(2017.11.29., S몰 리모델링 공사 용접 중 화재. 35백만원 재산피해, 300명 대피), 화성시 메타폴리스 B블럭 상가 화재(2017.2.4., 3층 상가 철거 가스용단 작업 중 스티로폼에 착화, 4명 사망, 14명 부상, 2,374백만원 재산피해), 파주시 의

료용 테이프공장 화재(2016.10.28., 집진기 내부 칸막이 용접작업 중 불티로 인해 화재, 2명 사망), 고양시 터미널 화재(2014.5.26., 지하 1층 내부 인테리어 공사 중 도시가스 주변 용접불티가 가스에 착화되었고 천장 및 보온재에 옮겨 붙음, 8명 사망, 116명 부상, 13,814백만원 재산피해), 인천 L냉동창고 화재(2008.12.5., 전기용접 작업 중 불티가 내부 단열재에 착화, 7명 사망, 6명 부상, 600억 재산피해), 인천 K냉동창고 화재(2008.1.7., 벽체 샌드위치패널 용접작업 중 우레탄폼 유증기에 착화, 40명 사망, 10명 부상, 71억원 재산피해) 등이 있다.

안전보건공단에서 최근 10년(2009~2018년)간 용접·용단관련 사고 841건을 대상으로 분석한 결과, 화재사고는 총 520건(61.6%)이 발생(사망 45건, 부상 475건)하였고 폭발사고는 283건(33.6%)이 발생(사망 40건, 부상 243건)하였다. 그 외 화학물질 누

Table 1. Comparison of fire and explosion accidents by labor loss date

근로손실일수	화재	폭발
50일 이하	22%	17%
51~100일	25%	22%
101~200일	31%	22%
201일 이상	22%	39%



Fig. 1. Major fire accident scene.

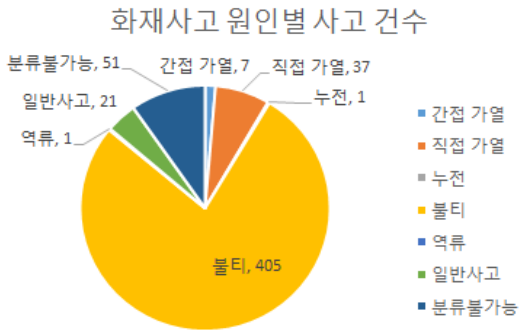


Fig. 2. The number of accidents by the cause of welding and melting fire accidents.

출·접촉과 산소결핍에 따른 사고가 발생하였다.

용접·용단작업 화재·폭발과 관련된 근로손실 일수를 비교하면 Table 1과 같다. 근로손실 일수 100일 이상의 심각한 사고가 화재 53%, 폭발 61%를 차지하는 등 사고로 인한 인명피해는 다른 사고에 비해 심각하다고 할 수 있다.

화재의 주요 원인은 Fig. 2와 같이 불티, 직접가열, 간접가열, 누전, 역류, 일반사고 등으로 분류된다.

화재, 폭발·파열 등 사고의 주요 원인은 Table 2와 같이 불티, 설비 불량, 역화, 인적 오류, 직접 가열, 일반사고 등이다. 또한, 사고 중 외국인인 유발하는 사고가 10%나 되기 때문에 외국인 용접 작업자에 대한 대책이 필요하다.

(2) 사고원인 분석

사고를 보다 체계적으로 분석하기 위하여 사고를 계층적으로 분석하였다. 이는 제도적인 대안을 마련하기 위하여 매우 효과적인 방법으로 알려져 있다.[4,5]

용접·용단과 관련한 직접적인 화재·폭발 사고조사를 분석해보면 신·개축 공사현장에서 용접작업 시 주위에 목재, 스티로폼, 보온재 등 가연물이 상존하고 있는 경우, 용접작업 시 작업자의 부주의 등에 의하여 주위 가연물에 불티가 비산되어 착화될 위험성이 매우 높았다. 또한, 산업현장 등에서 접합 및 절단용으로 사용되는 용접·절단기에 대하여 다양한 조건 하에서 발화 위험성을 평가하였으며 조사를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.[6]

첫째, 용접작업 시 입력전류가 증가함에 따라 비산된 불티 중 직경 1.5 mm 이상인 불티의 개수가 증가한다. 둘째, 1 m 높이에서 용접작업 시 직경 1.5 mm 이상인 불티가 작업위치로부터 1 m 이내에 분포한다. 셋째, 1 m 높이에서 절단작업 시 직

Table 2. Type and cause of accident

형태	사고원인1	사고원인2
화재(517)	불티(405)	작업자(150)
		가연물(169)
		잔류가연물(53)
		벨브/호스 누설(33)
	직접가열(37)	
	일반사고(15)	
	간접가열(7)	
폭발·파열(333)	직접가열(153)	잔류가연물(127)
		벨브/호스 누설(9)
		가연물(7)
	불티(48)	
	일반사고(28)	
	인적오류(6)	
	설비불량(3)	
기타(40)	화학물질누출 접촉(37)	
		산소결핍(3)
	역류(1)	
	누전(1)	
	미상(51)	

경 1.5 mm 이상인 불티가 작업위치로부터 1.7 m 이내에 분포한다. 넷째, 용접작업 시 비산된 불티가 최대 2.8 m 절단작업 시 최대 4.7 m까지 비산되었으며 절단 작업 시 보다 많은 불티가 비산된다. 다섯째, 용접·절단작업 시 비산된 불티에 의해 작업위치 주변의 가연물에 쉽게 착화되어 화재로 발전할 가능성이 매우 높았다. 특히 유류의 경우 용접·절단작업 시 비산된 불티에 의한 착화 위험성이 매우 높은 것으로 조사되었다. [6]

Table 3. Major countermeasures by causes of welding and melting accidents

구분	주요원인	주요대책
화재	불꽃비산	· 불꽃받이나 방염시트 사용 · 불꽃비산 구역 내 가연물질 제거 및 정리정돈 · 소화기 비치
	가열된 용접부 후면에 있는 가연물	· 용접부 뒷면 점검 · 작업 종료 후 가연물 비치
폭발	토치나 호스에서 가스 누설	· 가스누설이 없는 토치나 호스 사용 · 좁은 구역에서 작업 시 휴게시간에 토치를 공기의 유통이 좋은 곳에 둬 · 호스 접속 시 실수가 없도록 호스에 Tag 부착
	산유드럼통 등 용접, 절단시 가연성 증기 폭발	· 내부에 가스나 증기가 없는 것을 확인
	역화	정비된 토치와 호스 사용 역화방지 설치

2.2 사고예방대책

(1) 관련 법령 준수

현행 산업안전보건법령에서 사업주는 통풍이나 환기가 충분하지 않고 가연물이 있는 건축물 내부나 설비 내부에서 화재위험작업을 하는 경우에는 화재예방을 위하여, 다음 6가지의 사항을 준수하도록 하고 있다. [7]

“1. 작업 준비 및 작업 절차 수립 2. 작업장 내 위험물의 사용·보관 현황 파악 3. 화기작업에 따른 인근 인화성 액체에 대한 방호조치 및 소화기구 비치 4. 용접불티 비산방지덮개, 용접방화포 등 불꽃, 불티 등 비산방지조치 5. 인화성 액체의 증기가 남아 있지 않도록 환기 등의 조치 6. 작업근로자에 대한 화재예방 및 피난교육 등 비상조치” 등 현행 산업안전보건 법령에서 요구하는 사항을 철저히 준수하는 것이 우선되어야 한다.

또한, 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 제10조의 2 제4항에서 임시소방시설을 설치 관련하여 “1.소화기구, 2. 간이소화장치,

3. 비상경보장치, 4. 간이피난유도선” 등 NFSC606 준수하도록 하고 있다.[8]

(2) 현장 안전관리 강화

공사장 용접작업 중에 작은 불티로 인한 화재를 예방하기 위해서는 위험성평가에 따른 작업안전수칙을 철저히 준수해야 한다. 용접작업 시에는 안전관리자에게 사전허가를 받아야 하며, 작업자가 직접 현장 위험성을 확인한 후 안전조치를 취해야 한다.

(3) 현장 안전조치 강화

용접작업 불티가 가연성 물질에 착화되는 것을 예방하기 위해서는 최소 15 m 이상의 안전거리를 유지하고, 방화벽으로 구획하거나 방화커튼 등으로 덮어야 한다. 또한 작업장 내 위험물질에 영향을 주는 요인은 격리시키고 공정상 필요한 최소량만 작업장 내에 보관해야 한다. 아울러 단열재 등 부가가 큰 자재는 지상 층에 별도로 구획된 장소에 보관하고 화기금지 표시 및 소화용구를 비치한다. 상층부에서 용접작업을 할 때는 불티가 넓게 날아가 갈 가능성이 있으므로 반드시 용접 불티가 날아가지 않도록 방지포를 씌운 후 작업하여야 한다. [9]

(4) 안전교육 강화

법제와 규정이 완벽하더라도 그것을 실천해야 하는 것은 사람이기 때문에, 그리고 재난 시 피해 역시 인명이 가장 소중하기 때문에 화재예방 안전교육은 사실 최우선의 과제이다.

사업자와 안전관련 종사자, 근로자들이 책임감 있게 안전교육에 임하고 안전한 용접 등의 작업에 임해야 할 것이다. 최근 외국인 근로자들이 건설 현장이나 산업 현장에 다수 투입되는 상황을 고려했을 때 안전교육은 보다 다양한 방법으로 제공되어야 하고 철저하게 확인될 필요가 있다.

2.3 제도개선 방안

위에서 살펴본 바와 같이 사고를 예방하고 효율적인 사고예방대책을 수립하기 위하여 「산업안전보건기준에 관한 규칙 제2장 폭발·화재 및 위험물 누출에 의한 위험방지」 부분에 다음과 같이 제도개선방안을 제안한다.

(1) 사업주 및 관리감독자의 책임 강화

「산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조 2항」 “사업주는 가연성물질이 있는 장소에서 화재위험작업을 하는 경우에는 화재예방에 필요한 다음 각 호의 사항을 준수하여야 한다.”에서 용접·용단 작업과 관련 하여 사업주와 관리감독자들의 주의 의

무를 보다 상세화 하고 강화된 형태로 규정해야 한다. 용접·용단 업무 계획 및 시행에 관해 용접·용단 작업 이전의 교육 실시, 화기관리, 소화기설치, 화재감시자의 배치, 절차의 기록, 용접·용단 담당자에 대한 전문성 파악 등 관리 감독 의무를 구체화해야 할 것이다. 사업주의 책임과 배려는 사용자 자기 자신, 근로자 또는 작업자, 그리고 제3자인 일반 시민 등에까지 미쳐야 한다.

(2) 전담 화재감시인 지정 및 배치

「산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조의2」에서 화재감시자는 화기작업으로 인한 사고가 빈번하게 발생하고, 특히 화재가 해당 건물이나 시설물에 한정되지 않고 인근 지역까지 재난으로 확대되는 사례가 증가하면서 사회적 위험을 최소화하고 화재를 예방하기 위한 화재감시자를 지정하고 배치하도록 하고 있으나, 화재감시자가 그 역할을 충실히 수행할 수 있도록 시스템적인 보완이 필요하다. 전담화재감시자로서 작업현장에 대한 책임과 권한이 주어져야 하며, 작업 전에 작업자, 작업여건 및 환경에 의한 사고 위험 대비 및 비상 상황에 대한 경험을 갖춘 자를 지정하여야 한다.

(3) 용접·용단 화재위험작업의 승인

2019년 12월26일 신설된「산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조 4항」 “사업주는 화재위험작업이 시작되는 시점부터 종료 될 때까지 작업내용, 작업일시, 안전점검 및 조치에 관한 사항 등을 해당 작업 장소에 서면으로 게시해야 한다. 다만, 같은 장소에서 상시·반복적으로 화재위험작업을 하는 경우에는 생략할 수 있다.” 와 같이 일반적인 작업장의 화기작업에 대해서는 개정된 규칙을 따르도록 하고, 실제로 위험성이 높은 용접·용단 화재위험 작업 등에 대해서는 화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 제10조의2 제4항에 따라 NFSC606의 임시소방시설을 갖추도록 명확히 하여야 하며, 사전에 화재예방 및 피난교육, 방호조치, 불꽃, 불티 비상방지조치, 환기조치 등 조치 사항을 명확하고 구체적으로 하여 사업주에 의해 사전 신고 및 관리 되도록 제도적 보완이 되어야 한다.

(4) 안전교육 강화

「산업안전보건기준에 관한 규칙 제241조 2항 6」 작업근로자에 대한 화재예방 및 피난교육 등 비상조치 사항은 소방관서와 관련 전문기관에서 실시하는 용접·용단 작업관련 화재예방 교육을 필수적

으로 그리고 정기적으로 이수하게 할 필요가 있다. 화재예방 교육 이수증이 있는 사람만이 현장에서 용접, 용단 작업을 할 수 있게 하는 것이다. 아울러 어떤 형태의 작업에 참여하는 근로자는 작업 전에 사업자 또는 안전관리자 등으로부터 안전교육을 소정의 시간과 방법에 따라 이수 후 작업에 투입되어야 한다. 또한, 안전교육이 표준화되고 안전교육에 관한 이력관리가 되어야 한다.

III. 결 론

산업현장에서 용접·용단 작업 중 불꽃 비산 등으로 인한 화재·폭발사고는 아직까지도 빈발하고 있으며, 이러한 사고의 원인을 안전보건공단에서 분석한 자료를 통해 분석해보면 위험물 제거, 불꽃비산방지 조치 등 기본적인 안전수칙 미준수가 대부분이다.

매년 지속적으로 발생하는 용접·용단 작업 중 화재·폭발 사고를 예방하기 위하여, 첫째, 산업안전보건법 등 관련 법령을 철저히 준수하여야 하고, 둘째, 사업주나 관리감독자는 현장의 안전관리를 더욱 강화하여야 할 것이며, 셋째, 현장의 안전조치를 세밀하게 점검하고 안전조치가 이행된 경우에만 작업을 시작하게 하고, 넷째, 근로자 안전보건 교육을 작업 전에 철저히 시켜야 할 것이다.

이와 아울러, 용접용단 작업과 관련하여 산업안전보건법령의 개정 등 제도적인 보완대책을 다음과 같이 제안한다.

첫째, 사업주와 관리감독자의 책임강화를 통해 작업장의 근로자뿐만 아니라 일반 시민의 안전도 확보하여야 할 것이고, 둘째, 전담 화재감시인을 지정·배치하여 화기작업의 상시 감독을 통한 화재·폭발 예방으로 작업장이나 인근 시설물에 사고로 인한 피해가 가지 않도록 하여야 할 것이며, 셋째, 용접·용단 화재위험 작업의 사전승인을 통해 사업주나 관리감독자는 사전 방호조치를 철저히 수행하고 해당 근로자를 교육하는 등 화재예방 조치의 누수가 없도록 철저히 관리범위 안에 들어오게 하여야 하고 만약의 경우, 발생한 사고를 최소화하고 신속하게 대응하게 할 수 있어야 할 것이다. 마지막으로 근로자의 안전교육을 통해 기초적이고 현장 활용성 있는 화재예방 지식을 갖추게 하여 교육 이수증이 있는 근로자만이 작업장을 출입할 수 있게 하는 등의 제도적 보완이 필요할 것이다.

최근 산업안전보건에 관한 규칙 제241조의2(개정 2019.12.26.)에도 불구하고 많은 현장에서는 화재감시자의 전담업무에 대한 이해가 부족하고 전담자를 형식적으로 배치하고 있어 그 실효성이 떨어지거나 앞서 여러 사고 사례 및 현황에서 보았듯이 화재·폭발에 의한 사고의 피해는 엄청나고 돌이킬 수 없으므로 화재감시자의 역할이 중요할 것이다. 따라서 화재감시자가 실효성 있는 화재 지킴이로서의 임무를 수행할 수 있도록 추가적인 제도 보완이 필요하다.

다만, 제도의 도입에 따른 사고감소 효과와 제도의 시행에 따른 비용 등을 고려하여 비용/편익 분석을 세부적으로 시행할 필요가 있다.

REFERENCES

- [1] Yonhap News Internet Version 2015.11.19. Quoted the article “2 Hanwha Chemical practitioners in charge of explosions
- [2] Yonhap News Internet Version 2014.5.29. Quoted the article entitled “The Supreme Law, Yeo-su Industrial Complex Explosion”
- [3] Safety Journal Internet Version 2019.4.12. Quoted the article entitled “Small welding burns, causes of large fires, 1800 cases in 5 years”
- [4] Park, K.S., “An Analysis of Gas Accident between 1995 and 1998, and Suggestion of Accident Reduction Countermeasures”, *KIGAS*, 4(3), 2-3, (2000)
- [5] Park, K.S., “Development of Accident Taxonomy for Experimental Laboratory”, *Korean Society of Safety*, 31(5), 49-53, (2016)
- [6] Lee, S.Y., “Experimental Study on Fire Hazards in Welding Cutting Operations”, *Korea Institute of Fire Science and Engineering*, 26(3), 63-64, (2012)
- [7] Rule 241 on Industrial Safety and Health
- [8] NFSC 606 on Fire Prevention and Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-Fighting Systems
- [9] Research Report, “A Study on the Improvement of Institutional Measures for Prevention of Fire Explosion in Welding and Melting Operations,” *Korea Institute for Occupational Safety and Health*, (2019)
- [10] Lee, H., “A Study on Fire Prevention at Welding-work Site”, (2011)
- [11] Seo, D.H., “Characteristics analysis of fire and explosion accidents occurred during welding and blowing work”, *Korea Institute of Gas*, 2018(5), 209-209, (2018)
- [12] Seo, S.H., “A Study on Reduction of Hazard Conditions on Plant Work of Steel Industry” *Korea Safety Management and Science*, 13(4), 61-69, (2011)