

안전 Sheet의 방염 및 난연성능 비교

이근원, 김두환, 권오승*, 박찬선*, 이복영*, 이두형*

한국산업안전공단 산업안전연구원, 한국화재보험협회 부설방재시험연구소*

1. 서 론

조선업 및 화학공장 등 산업현장의 화재사고 중 용접·용단작업시 불티에 의해 주위의 가연성물질을 착화시켜 화재, 폭발 사고를 일으키는 원인이 되고 있다. 이들 불꽃은 수평방향 및 틈새, 배관구멍 또는 마루나 벽의 작은 개구부 등을 통하여 비산되고 상당시간 혼소화재 형태를 유지하다 발화되어 화재의 원인이 되고 있다. 특히, 용단작업시 비산되는 불티는 1,600 °C 이상의 고온체로서 산소 압력에 따라 다르나 약 11 m(산소압력, 7 kg/cm²)까지 비산되어 이 반경내에 있는 가연물에 착화될 수 있으므로 이에 대한 예방대책이 필요한 작업공정이다.

미국, 영국, 독일, 일본 등 선진국에서는 화재확산방지용 Spatter(or Slag) Sheet 사용이 일반화되어 있고 일부 국가에서는 이의 안전기준이 정립되어 산업현장에서 화재예방을 위한 안전장구로서 널리 사용함으로써 화재 및 폭발을 방지하여 인명과 재산상의 손실경감에 크게 기여하고 있다. 우리나라의 조선 및 화학공장 등에서 용접·용단불꽃에 의한 화재예방을 위해 안전sheet을 사용하고 있다. 안전sheet의 재료는 석면, glass wool 등 무기섬유에서 아크릴 섬유 등 특수가공 처리한 섬유를 사용하고 있다. 현재 우리나라 조선사업장 등에서는 용접·용단시 불티에 의한 화재예방을 위해 glass fiber, silica fabrics, 석면 등 불연재료와 Glass Fiber 또는 특수가공 아크릴 천에 수지 등을 코팅한 것 등을 안전sheet으로 사용하고 있다.

본 연구에서는 조선 및 화학공장 등 산업현장에서 용접·용단작업시 비산되는 불티 의해 화재를 예방하기 위하여 사업장의 따라 다양한 제품의 안전sheet을 구입하여 안전sheet을 사용하고 있으나, 안전sheet의 적정성능에 대한 신뢰성이 검증되어 있지 못한 실정이다. 따라서, 적절한 화재예방대책을 수립하기 위한 기반연구로서 국내의 안전sheet에 관한 방염 및 난연 성능비교를 통해 사업장에서 활용할 수 있는 안전sheet의 방염 및 난연성능 기준을 제시하고자 한다.

2. 연구방법 및 실험

안전sheet 화재확산방지를 위한 적정 방염처리방안 연구를 위하여 먼저 조선업 및 화학공장 등의 용접·용단작시 안전sheet의 사용실태조사와 용접·용단작업의 화재위험 특성을 조사·분석하였다. 또한 착화방지용 안전sheet에 대한 각국의 시험기준을 조사·분석하여 성능확보에 필요한 적정 성능평가 기준을 선정하고, 국내외 사용하고 있는 화재확산 방지용 안전sheet를 구입하여 난연 및 방염 성능에 관한 비교실험을 실시하였다. 방염 및 난연 성능실험을 위하여 조선소 등에서 수집한 6종의 안전sheet의 재료의 구성재료와 규격을 [표1]에 나타내었다.

[표1] 실험에 사용된 안전sheet의 구성재료와 규격

상 품 명	구 성 재 료	규 격	비 교
HD 118	Fiber glass +우레탄수지 양면코팅	두께 : 0.2mm 단위중량 : 254.2 g/m ²	국산
KNF 209	Fiber glass +PVC수지 양면코팅	두께 : 0.35mm 단위중량 : 471.9 g/m ²	국산
Thermosil	Fiber glass	두께 : 3.2mm 단위중량 : 1,580.3 g/m ²	수입
Siltex (HF 3200)	Silica Fabrics	두께 : 3.2mm 단위중량 : 1,195.4 g/m ²	수입
Lastan (KTOP-2010S)	특수아크릴 섬유+실리콘 수지 코팅	두께 : 1.0mm 단위중량 : 605.8 g/m ²	수입
석면포	석면	두께 : 3.2mm 단위중량 : 1,384 g/m ²	국산

방염성능 실험은 건축공사용 안전시트의 방염성능실험에 대해서 일본소방법, KS F 8081, JIS A 8952에서 규정하고 있다. 그러나 KS F 8081 시험은 일본 소방법 및 JIS A 8952에 비해 방염성능시험 방법이 4가지 종류로 복잡한 반면에 일본 소방법 및 JIS A 8952는 KS F 8081에 비해 연소조건이 가혹한 측면이 있다. 일반적으로 용접 및 용단 작업은 옥내는 물론 옥외에서도 이루어지고 있기 때문에 실험방법이 단순하고 연소 조건이 보다 가혹한 일본 소방법 에서 규정한 실험방법을 적용하였다. 또한 텐트의 방염성능시험에 대해서는 KS K 0770, ASTM D 4372, CPAI 84에서 규정하고 있고 각 시험기준이 동일하기 때문에 KS K 0770을 적용하였다.

난연성능실험은 주로 산소지수 실험과 관통공 실험이 있다. 산소지수실험은 KS, JIS, ISO, ASTM 기준에서 규정하고 있다. 이 기준들을 비교 검토한 결과 성능실험 절차가 거의 유사하나 재료의 종류에 따라 실험체 양생조건을 세분화 하고 있는 KS M 3032를 성능평가 기준으로 적용하였다. 또한 관통공 실험은 실제 용단작업시 사용되는 강판의 두께에 따라 발생하는 불꽃에 의한 차단막의 착화성 및 용적물(溶滴物)에 의한 방화상 유해한 관통공의 발생을 유무를 확인하는 실험이다. 한국, 일본에서는 건축공사시 용접·용단작업에 의한 불꽃에 대한 난연성능실험 기준으로서 KS F 2298, JIS A 1323에 규정되어 있으며, 본 연구에서는 용접·용단불꽃이 직접 가연물에 착화되어 화재가 확산되는 현상을 고려한 KS F 2298을 적용하여 실험을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 국내 용접·용단 작업장의 안전sheet 사용 실태 조사 결과

안전sheet의 난연 및 방염 성능 평가를 위해 조선사업장과 화학공장 등 7개 사업장에 대한 안전sheet의 사용실태를 조사하였다. 그 사용실태와 문제점을 요약 하면 다음과 같다.

- 소재는 Glass Fiber, Silica Fabrics, 석면 등의 불연재료와 Glass Fiber에 PVC, 우레탄 수지 등을 코팅하여 강도를 보강한 것과, 아크릴 섬유 등에 수지 등을 코팅하여 불연성을 보강한 것 등을 사용하고 있었다.
- 안전sheet의 사용부위는 용접부위로부터 대부분 2~5 m이며, 조선 사업장의 선박 선조의 경우 10 m 이상인 곳도 있었다.
- 안전sheet의 내용연한은 소재, 작업상황 등에 따라 각기 다르지만, 짧게는 2-3 회, 길게는 구멍이 생겨 사용이 불가능할 때까지 사용하며 선박 건조시는 약 4~6개월 정도 사용하는 경우도 있었다.

- 유리섬유 및 석면포의 경우 인체에 유해한 분진 등이 발생하고 있었으며, 중량이 무거워 작업자가 사용하기에 불편하였다.
- 일부 사업장은 용접·용단작업시 안전sheet 사용에 대한 안전규정이 없으며 일부 조선사업장의 경우 작업장이 광범위하게 산재되어 있어 안전담당 부서에서 통제가 불가능 상태이었다.
- 조선 사업장의 경우 하도급 업체의 특성상 작업자의 잦은 이동에 따른 미숙련 작업자의 안전수칙의 미이행과 안전담당부서의 하도급업체에 대한 통제기능 미비 및 관리의 이원화로 인해 안전sheet의 사용없이 용접·용단 작업이 이루어지고 있는 경우도 있었다.

3-2. 안전sheet의 방염성능

가. 방염 성능실험 결과

기존제품 6종의 방염성능을 평가하기 위하여 선정한 실험방법에 따라 실험체를 45도, 수직, 수평으로 설치하고 마이크로버너 또는 맥켈버너, 분첸버너, 메타나민정제 및 소형목재크립의 불꽃에 접촉시키는 실험을 실시하였다. 건축용 시트의 방염성능 실험(45도 마이크로버너법 및 45도 맥켈버너법)에 의한 방염성능 결과를 [표2]에 나타내었다.

[표2] 건축용 시트의 방염성능실험에 의한 방염성능결과

상 품 명	측 정 항 목			단위중량 (g/m ²)
	잔염시간(초)	잔진시간(초)	탄화면적(cm ²)	
HD 118	0	0	17.7	254.2
KNF 209	0	0	27.1	471.9
Thermosil	0	0	13.1	1,580.3
Siltex	0	0	20.7	1,995.4
Lastan	0	0	8.5	605.8
석 면 포	0	0	17.7	1,384

(실험체 3개의 평균값)

이들 실험결과의 방염성능 판단 기준은 일본 소방법에서 제시한 것을 참고하였으며, 기존제품 6종 모두 불꽃에 의해 착화되지 않고 화재를 확대시키지도 않아 방염성능 요건에 적합하였다.

텐트의 방염 성능실험은 수직버너법 및 메타나민정제법 등이 있으나, 여기서는 수직버너법에 의한 방염성능 결과를 [표3]에 나타내었다. [표]에서 보는 바와 같이 방염성능실험을 실시한 결과 실험체 6종 모두 탄화정도에서 약간의 차이를 보였

으나 방염성능에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 기존제품들이 충분한 방염성능을 갖고 있는 소재로 제조되었기 때문으로 판단된다.

[표3] 수직버너법에 의한 방염성능 실험 결과

상 품 명	탄 화 길 이 (mm)						잔 염 시 간 (초)		
	12초가열		30초가열		60초가열		12초가열	30초가열	60초가열
	최대	평균	최대	평균	최대	평균	평균	평균	평균
HD 118	9	7.75	14	12.25	16	15.5	0	0	0
KNF 209	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thermosil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siltex	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lastan	0	0	0	0	0	0	0	0	0
석 면 포	0	0	0	0	0	0	0	0	0

나. 난연 성능 실험결과

산소지수법은 산소와 질소가 혼합된 상승기류속에서 착화된 물질이 연소를 지속하는데 필요한 최저산소농도(부피 %)를 측정하여 재료의 상대적인 연소성을 판단하는 것이다. 대상 안전sheet의 난연 성능실험은 산소지수법에 의한 고분자 재료의 난연성능실험 방법에 따라 성능 결과를 [표4]에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 Fiber glass첨유 위에 수지코팅한 제품인 HD 118과 KNF 209의 산소 지수는 각각 36과 31이었고, 나머지 4종은 모두 50이상인 값을 갖는 것으로 나타나 수지코팅한 제품이 연소하기 어려운 것으로 나타내었다.

[표4] 제품에 따른 산소 지수값의 비교

제 품 명	산 소 지 수 (%)
HD 118	36
KNF 209	31
Thermosil	50 이상
Siltex	50 이상
Lastan	50 이상
석 면 포	50 이상

(실험체 3개의 평균값)

내구성 실험은 산소-아세틸렌 자동절단기의 용단작업시 발생하는 불꽃에 의한 화재발생을 예방하기 위하여 사용되는 안전sheet의 난연성능을 확인하기 위한 실험

협이다. 불꽃 발생용 강판은 [표5]와 같이 강판 두께에 따라 난연등급을 나눌 수 있다.

[표5] 불꽃발생용 강판두께에 따른 난연등급

난연등급	강판두께 (mm)	강판크기 (mm)	종 류
A	9	10×60	KS D 3503, 2종, SS 41
B	4.5		
C	3.2		

내구성 실험은 불꽃 발생정도가 심한 A급의 난연등급 적용하여 “불연속 내구성 실험”과 “연속 내구성 실험”을 행하였다. 용단작업에 의한 불꽃을 받을 수 있도록 안전sheet를 설치하여, 불꽃발생에 의해 착화상태 및 방화상 유해한 관통구멍 발생 유무를 확인하여 용접·용단 작업장에 설치되는 안전sheet의 화재예방 성능을 검증하였다.

건축용 시트의 용접 및 용단불꽃에 의한 난연성실험방법에 의한 연속성 내구성 성능결과를 대표적인 것 하나만을 [표6]에 나타내었다.

[표6] 난연 등급에 따른 난연 성능실험 결과

상 품 명	난연등급	발 염 유 무	관통공의 유무	비 고
Thermosil	A	착화현상 없음	관통공 발생없음	
	B	착화현상 없음	관통공 발생없음	
	C	착화현상 없음	관통공 발생없음	
Siltex	A	착화현상 없음	관통공 발생없음	
	B	착화현상 없음	관통공 발생없음	
	C	착화현상 없음	관통공 발생없음	
Lastan	A	착화현상 없음	관통공 발생없음	연기발생
	B	착화현상 없음	관통공 발생없음	연기발생
	C	착화현상 없음	관통공 발생없음	
석 면 포	A	착화현상 없음	직조과정의 관통공으로 불티비산	연기발생
	B	착화현상 없음	직조과정의 관통공으로 불티비산	연기발생
	C	착화현상 없음	직조과정의 관통공으로 불티비산	

이상과 같이 난연 및 방염성능 실험을 통하여 방염 및 난연 성능결과 난연 성능이 우수한 제품은 Thermosil, Siltex 및 Lastan 3종으로 나타났으나, HD 118, KNF 209 및 석면포 3종은 용단시 불꽃에 의한 난연성능이 적절하지 못한 것으로 나타났다. 석면제품 실험체는 제품 직조과정에서 생긴 틈으로 용단시의 불꽃이 관통하여 효과적인 화재예방 성능을 갖고 있지 못한 것으로 보이며 또한 용적물에 의해 연기 및 분진을 발생시켜 인체 및 작업환경에도 유해한 영향을 미치는 것으로 나타났다. Fiber glass 위에 epoxy 수지 및 PVC 수지를 코팅한 제품은 현장 실태조사시 분석된 용단 강판의 두께를 고려하면 안전sheet으로서 화재예방성능이 전혀 없는 것으로 나타났다. 재사용 정도를 분석하기 위한 내구성실험결과 수입되어 공급되고 있는 Thermosil, Siltex 및 Lastan 3종의 실험체는 불연속적으로 사용할 때 화재예방 성능을 유지하는 빈도는 2~3회 정도로 나타났으며 동일 작업장에서 철거, 이물질 제거 등이 없이 연속작업시에는 20회 이상 용단작업에 사용할 수 있는 것으로 나타나 안전sheet의 재사용빈도는 용적물의 접촉으로 인한 열화 현상이 원소재의 형상 및 강도를 저하시켜 관통공을 발생시키는 수 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

방염성능실험결과 기존제품 안전sheet 6종 모두 충분한 방염성능을 갖고 있었다. 그러나, 용접·용단 불꽃에 의한 난연성실험결과 Fiber Glass에 수지코팅한 제품 2종은 용접·용단 불꽃에 대한 화재예방성능이 부족한 것으로 나타나 성능향상을 위한 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

향후 연구과제로 축소모형실험을 통하여 용접·용단 불꽃의 비산범위와 착화 위험성을 파악하고, 위험정도에 따른 화재확산방지용 안전sheet의 적정성능요건과 안전기준을 정립하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 消防關係法規集, 近代消防社, 1997.
2. KS K 0770, 텐트의 방염성 시험방법, 1996.
3. KS M 3032, 산소지수법에 의한 고분자 재료의 연소시험방법, 1995.
4. KS F 2298, 건축공사용 시이트의 용접 및 용단불꽃에 대한 난연성 시험방법, 1995.