

용접 불티 차단막의 방염 및 난연성능 평가 An Evaluation of Flame and Fire Retardant Performance for Welding Blanket

이근원[†] · 권오승* · 하동명**

Keun-Won Lee[†] · Oh-Seung Kwon* · Dong-Myeong Ha**

산업안전보건연구원 안전공학연구실

*방재시험연구원 방재설비부

**세명대학교 안전공학과

(2001. 06. 08 접수/2001. 06. 16 채택)

요 약

본 연구에서는 조선 및 화학공장 등 산업현장에서 용접·용단작업 공정에서 비산 되는 불티에 의한 화재 예방을 위하여 불티 차단막에 관한 방염 및 난연 성능 평가를 실시하였다. 방염성능 실험결과 기존제품의 용접 불티 차단막 6종 모두 충분한 방염성능을 갖고 있었다. 그러나, 용접·용단 불꽃에 의한 난연성실험 결과 섬유유리에 수지코팅한 제품 2종은 용접·용단 불티에 대한 화재예방성능이 부족한 것으로 나타났다. 용접 불티 차단막의 최소산소지수의 국내기준은 30이상으로 고려하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 용접 불티 차단막의 성능향상을 위한 지속적인 연구가 필요하며, 방염 및 난연성능 기술지침 개발의 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

ABSTRACT

This study was undertaken to evaluate the performance of flame retardant for fire precaution from sparks at welding-cutting process in industry sites such as shipbuilding yard and chemical factory. As the results of the performance experiment, six kinds of welding blanket in samples that are used commercially had enough in the performance of flame retardant. Nevertheless, the performance to fire precaution on welding blanket shows that the coating product of two kinds with fiber glass is not sufficient. The lower oxygen index to welding blanket is considered that it is more than 30 in domestic standard. We suggested that the performance improvement of flame retardant for welding blanket need continuously, and the guideline of the flame retardant to welding blanket should be considered and established.

Keywords : Flame retardant, Performance, Welding blanket, Welding-cutting process, Lower oxygen index

1. 서 론

산업현장에서 용접·용단작업시 화재 예방을 위해 용접 불티 차단막을 사용하고 있다. 용접·용단작업시 불티가 주위의 가연성물질에 착화되어 화재 및 폭발 사고를 일으키는 원인이 되고 있다. 이들 불티는 틈새, 배관구멍 또는 마루나 벽의 작은 개구부 등을 통하여 상당 시간 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 비산되어¹⁾,이 반경내에 있는 가연물에 착화될 수 있으므로 이에 대한 예방대책이 필요하다.

미국, 영국, 독일, 일본 등 선진국에서는 화재 확산 방지용 Spatter(or Slag) Sheet 사용이 일반화되어 있고 일부 국가에서는 이의 안전기준이 정립되어 산업현장에서 화재예방을 위한 안전장구로서 널리 사용함으로써 화재 및 폭발을 방지하여 인명과 재산상의 손실

[†] E-mail: leekw@kosha.net

경감에 크게 기여하고 있다. 용접·용단불꽃에 의한 화재예방을 위해 사용되고 있는 용접 불티 차단막의 재료는 석면, Glass Wool 등 무기섬유에서 아크릴 섬유 등 특수가공 처리한 섬유를 사용하고 있다. 현재 국내 사업장 등에서는 용접·용단시 불티에 의한 화재 예방을 위해 Glass Fiber, Silica Fabrics, 석면 등 불연재료와 Glass Fiber 또는 특수가공 아크릴 천에 수지 등을 코팅한 것 등을 차단막으로 사용하고 있다.

본 연구에서는 조선 및 화학공장 등 산업현장에서 다양한 제품의 용접불티 차단막을 사용하고 있다. 이들 차단막은 사용용도에 따라 다르지만 용접불티에 의한 충분한 방염 및 난연 성능을 가지지 못한 제품의 사용과 함께, 차단막에 대한 방염 및 난연 성능이 검증되어 있지 못한 실정이다. 따라서, 불티 차단막의 방염 및 난연 성능시험 데이터를 제공함으로써 사업장에서 활용목적에 맞게 화재 예방대책 수립과 생산업체의 우수한 성능의 제품개발을 위한 기초 연구자료를 제공하고자 하였다. 또한, 국내 산업현장에서 사용되고 있는 용접불티 차단막에 관한 방염 및 난연 성능 평가 방법과 성능기준을 제시하여, 용접불티 차단막의 방염 및 난연성능 평가를 위한 기술지침 개발에 활용하고자 한다.

2. 방염 및 난연 성능 시험

2.1 실험재료

용접불티 차단막의 방염 및 난연성능 평가 실험재료

를 선택하기 위해 조선업 및 화학공장 등을 방문하여 용접·용단작업공정에 사용되는 용접 불티 차단막의 사용실태를 분석하였다. 이들 사업장의 용접·용단 공정의 실태조사를 통하여 수집한 9종의 용접 불티 차단막 중 현재 산업현장에서 많이 사용되고 있는 기존제품 6종을 선택하였다. 시험재료는 국내에서 유통되고 있는 화재확산 방지용 용접 불티 차단막을 구입하였다. 구입한 6종의 용접 불티 차단막 재료의 구성재료와 규격을 표 1에 나타내었다.

2.2 실험장치 및 방법

2.2.1 방염성능 시험

방염성능 시험은 건축공사용 시트의 방염성능시험에 대해서 일본소방법²⁾, KS F 8081³⁾, JIS A 8952⁴⁾ 등에서 규정하고 있다. 본 연구에서는 용접 및 용단작업이 옥내는 물론 옥외에서도 이루어지고 있기 때문에 시험방법이 단순하고 연소조건이 보다 가혹한 일본 소방법에서 규정한 시험방법을 적용하였다. 또한, 텐트의 방염성능시험에 대해서는 KS K 0770⁵⁾, ASTM D 4372⁶⁾, CPAI 84⁷⁾에서 규정하고 있고 각 시험기준이 동일하기 때문에 KS K 0770을 적용하였다.

방염성능 시험은 45도 방염 성능 시험과 수직 연소성 시험으로 나눌 수 있다. 45도 방염성능 시험장치(Flammability 45 Degree Test Instrument, SUGA사)는 연소상자, 버너, 실험체 설치대 및 잔염시간, 잔진 시간 측정장치 등으로 구성되어 있으며, 탄화면적을 측

표 1. 시험에 사용된 불티 차단막의 구성재료와 규격

상품명	구성 재료	규격	비고
HD 118	Fiber glass+우레탄수지 양면코팅	두께 : 0.2 mm 단위중량 : 254.2 g/m ²	국산
KNF 209	Fiber glass+PVC수지양면코팅	두께 : 0.35 mm 단위중량 : 471.9 g/m ²	국산
Thermosil	Fiber glass	두께 : 3.2 mm 단위중량 : 1,580.3 g/m ²	수입
Siltex(HF 3200)	Silica Fabrics	두께 : 3.2 mm 단위중량 : 1,195.4 g/m ²	수입
Lastan (KTOP-2010S)	특수아크릴섬유+실리콘 수지 코팅	두께 : 1.0 mm 단위중량 : 605.8 g/m ²	수입
석면포	석면	두께 : 3.2 mm 단위중량 : 1,384 g/m ²	국산

표 2. 45도 방염시험에 의한 성능기준

시험체 구분	잔염시간(초)	잔진시간(초)	탄화면적(cm ²)	탄화길이(cm)	접염회수(회)
얇은포(450 g/m ² 이하)	3이하	5이하	30이하	20이하	3이상
두꺼운포(450 g/m ² 초과)	5이하	20이하	40이하	20이하	3이상

표 3. 수직법에 의한 방염성능기준

실험방법	성능기준			
	잔염시간	개개값 : 4.0초 이하 평균값 : 2.0초 이하		
수직법	탄화거리	부게 (g/m ²)	최대평균 탄화거리 (cm)	최대 개개 탄화 거리 (cm)
		339 초과 271 초과 339 이하 203 초과 271 이하 136 초과 203 이하 51 초과 136 이하 51 이하	11.5(4.5") 14.0(5.5") 16.5 19.0 21.5 23.0	25.4(10") 25.4 25.4 25.4 25.4 25.4

정하기 위해서는 면적계(Digiting Area-Line Meter, TAMAYA사)를 사용하였다. 실험결과에 따라 공사용 시트의 방염성능은 표 2의 성능기준에 의하여 평가한다.

수직 연소성 실험은 텐트 및 텐트용 직물재료의 방염성능을 확인하기 위하여 소형불꽃에 의한 제품의 손상정도 및 연소상황을 측정하여 방염성능을 확인하는 실험이다. 실험장치는 연소실험상자, 안지를 9.5 mm의 분첸버너, 실험체 설치대 및 잔염시간 측정 장치 등으로 구성된 수직연소성 실험장치(Flammability Vertical Test Instrument, CS-1S, SUGA사)를 사용하였다. 실험결과에 따라 텐트의 방염성능은 표 3의 성능기준에 의해 평가한다.

수평 연소성 실험은 용접 불티 차단막 으로부터 23 × 23 cm의 정사각형 실험편 4매씩을 채취 하여 온도 20°C ± 2°C, 상대습도 65 ± 5%의 항온조내에서 24시간 보존한 다음 실리카겔을 넣은 데시케이터내에서 2시간 보존한다. 시험재료를 두께 6.4 mm 정도의 석면판으로 제조된 안치수 305 × 305 × 305 mm의 상자바닥 중앙에 펴놓고 228 × 228 mm의 정사각형 금속테두리를 얹어 실험편의 주위를 누르고 메탄 아민정제 1개를 중앙에 놓고 성냥으로 점화한다. 시험편에 대하여 금속테두리의 중앙을 통과하는 선상에서 탄화부분의 주변과 금속테두리의 구멍주변과의 최단거리(cm)를 측정하였다.

2.2.2 난연성능 실험

(1) 최소산소지수 실험

산소와 질소가 혼합된 상승기류속에서 착화된 불질이 연소를 지속하는데 필요한 최저산소농도(vol %)를 측정하여 재료의 상대적인 연소성을 판단하는 실험이다. 최소산소지수 실험은 KS M 3032⁸⁾, JIS K 7201⁹⁾, ISO 4589¹⁰⁾, ASTM D 2863¹¹⁾ 기준에서 규정하고 있다. 이 기준들을 비교 검토한 결과 성능실험 절차

차가 거의 유사하나 재료의 종류에 따라 실험체 양생 조건을 세분화하고 있는 KS M 3032를 성능평가 기준으로 적용하였다. 실험장치는 최소산소지수 시험기는 연소부, 가스공급부, 측정부 및 점화기로 구성되어 있다(최소산소지수 시험기, CS-178B, CSI사). 실험방법은 실험편에 15~20 mm의 불꽃의 점화기로 점화시켜 연소시간이 3분 이상이거나 연소길이가 50 mm 이상이 되는데 필요한 최저의 산소유량과 질소유량을 결정한다. 다음 다음식으로 산소지수를 구하고, 3개의 실험편에 대한 평균치를 산소 지수값으로 하였다.

$$\text{산소지수} = \frac{[O_2]}{[O_2] + [N_2]} \times 100$$

여기서, [O₂]는 산소의 유량(l/min)이며, [N₂]는 산소유량에 대응한 질소의 유량(l/min)이다.

(2) 용접 및 용단불꽃에 의한 난연성 실험

난연성 실험은 산소-아세틸렌 자동절단기의 용단작업시 강관의 두께에 따라 발생하는 불꽃에 의한 불티 차단막의 착화성 및 용적물에 의한 방화상 유해한 관통공의 발생을 확인하여 내구성을 평가하는 실험이다. 각국의 실험기준을 분석한 결과 용접·용단불꽃이 직접 가연물에 착화되어 화재가 확산되는 현상을 고려한 KS F 2298¹²⁾, JIS A 1323¹³⁾ 실험 기준이 사업장에서 화재예방 목적에 부합하는 것으로 분석되어 KS F 2298 기준을 적용하여 실험을 실시하였다. 실험방법은 실험체를 불꽃 발생부에서 발생된 용접불꽃을 직접 접할 수 있도록 설치하고 표 4와 같이 난연등급은 강관의 두께에 따라 나눌 수 있으며, 불꽃발생용 강관을 교체하면서 실험을 하였다. 난연성 실험에서 “불연속 난연성 실험”은 실험체를 1회만 사용하여 내구성을 평가하는 것이고, “연속 난연성 실험”은 실험체를 연속(재사용)해서 내구성을 평가하는 실험이다. 실험결과와 평가는 용단할 때 발생하는 불꽃에 대하여 발염 및 방화상 유해한 관통구멍이 없어야 한다. 발염은 실험체가 화염을 올리고 연소하기 시작한 상태를 말하며 방화상 유해한 관통구멍 유무의 판정은 실험체에서 떨어진 불꽃에 의해서 판정용 매트종이가 발염하는 것의 유부에

표 4. 불꽃발생용 강관의 규격

난연등급	강관두께 (mm)	강관크기 (mm)	종류
A	9	10×60	KS D 3503, 2종, SS 41
B	4.5		
C	3.2		

따른다. 이들 결과에 의해 난연성능을 A, B, 및 C급으로 나눌 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 방염성능 실험 결과

기존제품 6종의 방염성능을 평가하기 위하여 선정된 실험방법에 따라 실험체를 45도, 수직, 수평으로 설치하고 마이크로버너 또는 벡켈버너, 분첸버너, 메타나민 정제 불꽃에 접촉시키는 실험을 실시하였다. 건축용 시트의 방염성능실험(45도 마이크로버너법 및 45도 벡켈버너법)에 의한 방염성능 결과를 표 5에 나타내었으며, 실험체는 3개의 평균값이다.

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

텐트의 방염 성능실험은 수직버너법 및 메타나민정제법 등이 있으나, 여기서는 수직버너법에 의한 방염성능 결과를 표 6에 나타내었다. 실험체 6종 모두 탄화정도에서 약간의 차이를 보였으나 방염성능에는 큰

표 5. 건축용 시트의 방염성능 실험에 의한 방염성능 결과

상품명	측정항목			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	1,195.4
Lastan	0	0	8.5	605.8
석면포	0	0	17.7	1,384

차이가 없는 것으로 나타났으며, 이는 기존 제품들이 충분한 방염성능을 갖고 있는 소재로 제조되었기 때문으로 판단된다.

3.2 난연성능 실험결과

용접 불티 차단막의 난연성능을 평가하기 위해 최소 산소지수법에 의해 난연 성능을 측정된 결과를 표 7에 나타내었으며, 실험체는 3개의 평균값이다. 기존제품 실험체의 경우 Fiber Glass에 PVC 등 수지 코팅한 제품인 HD 118과 KNF 209의 산소지수는 각각 36과 31이었고, 나머지 4종은 모두 50이상인 값을 갖는 것으로 나타났다. 일반적으로 섬유 원단에 수지 등을 코팅을 하지 않은 실험체의 최소산소지수는 19~22 정도이다. 이때는 불꽃이나 불티에서 불이 붙게 되고, 통상 최소산소지수가 23 이상부터 방염성이 있다고 말한다. 화재예방을 위한 보호덮개 물질에 대한 최소산소지수는 LPS 1207¹⁴⁾에 따르면 23이상을 요구하고 있고, 미국 MIL-STD-2031(SH)¹⁵⁾의 잠수함 내부에 물질에 적용되는 최소산소지수는 35이상을 요구하고 있다. 일반적으로 최소산소지수값이 크면 연소하기가 어렵지만 방염제 등을 많이 사용하여 방염성을 부여해야 하기 때문에 제품의 물성 변화와 가격 상승요인이 발생하게 된다. 따라서 국내의 용접불티 차단막의 최소산

표 7. 제품에 따른 최소산소지수값의 비교

제품명	최소산소지수(%)	비고
HD 118	36	*HIL-STD-2031(SH) 35 이상 *LPS 1207 23이상
KNF 209	31	
Thermosil	불연	
Siltex	불연	
Lastan	54	
석면포	불연	

표 6. 수직버너법에 의한 방염성능 실험 결과

상품명	탄화길이 (mm)						잔염시간 (초)		
	12초 가열		30초 가열		60초 가열		12초 가열	30초 가열	60초 가열
	최대	평균	최대	평균	최대	평균	최대 및 평균	최대 및 평균	최대 및 평균
HD 118	0.9	0.8	1.4	1.2	1.6	1.5	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
석면포	0	0	0	0	0	0	0	0	0

표 8. 난연 등급에 따른 난연 성능시험 결과

상 품 명	난연등급	발염유무	관통공의 유무	비 고
HD 118	A	착화현상 없음	1회 시험시 관통공 발생	
	B	착화현상 없음	2~3회 시험시 관통공 발생	
	C	착화현상 없음	2~3회 시험시 관통공 발생	
KNF 209	A	착화현상 발생	1회 시험시 관통공 발생	
	B	착화현상 없음	2회 시험시 관통공 발생	
	C	착화현상 없음	3회 시험시 관통공 발생	
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	용적물에 의해 연기발생
	B	착화현상 없음	관통공 발생없음	용적물에 의해 연기발생
	C	착화현상 없음	관통공 발생없음	
석면포	A	착화현상 없음	직조과정의 관통공으로 불티비산	용적물에 의해 연기발생
	B	착화현상 없음	직조과정의 관통공으로 불티비산	용적물에 의해 연기발생
	C	착화현상 없음	직조과정의 관통공으로 불티비산	

소지수는 각국의 기준과 시험결과를 종합할 때, 산업 현장의 가혹한 조건에서 사용해야 함으로 국내기준은 30이상으로 고려하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

난연성 시험은 산소-아세틸렌 자동절단기의 용단작업시 발생하는 불꽃에 의한 화재발생을 예방하기 위하여 불티 차단막의 내구성을 확인하기 위한 시험이다. 난연성 시험은 불꽃 발생정도가 심한 A급의 난연등급 적용하여 “불연속 난연성 시험”과 “연속 난연성 시험”을 행하였다. 용단작업에 의한 불꽃을 받을 수 있도록 불티 차단막을 설치하여, 불꽃발생에 의해 착화상태 및 방화상 유해한 관통구멍 발생 유무를 확인하여 용접 불티 차단막의 화재예방 성능을 검증하였다. 건축용 시트의 용접 및 용단불꽃에 의한 난연성 시험방법에 의해 내구성을 평가하기 위한 연속성 난연 성능결과를 표 8에 나타내었다.

이상과 같이 난연 및 방염성능 시험을 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 시험체는 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. 재사용 정도를 분석하기 위한 난연성 시험결과 수입되어 공급되고 있는 Thermosil, Siltex 및 Lastan 3종의 시험체는 불연속적으로 사용할 때, 화재예방 성능을 유지하는 빈도는 2~3회 정도로 나타났다. 동일 작업장에서 철거, 이물질 제거 등이 없이 연속 작업시에는 20회 이상 용단작업에 사용할 수 있는 것으로 나타났으며, 차단막의 재사용 빈도는 용적물의 접촉으로 인한 열화 현상이 된 소재의 형상 및 강도를 저하시켜 관통공을 발생시키는 수 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

용접 용단시 불티에 의한 화재 예방을 위해 불티 차단막의 사용 실태조사와 방염 및 난연 성능 평가 시험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

국내에서 주로 사용되고 있는 용접 불티 차단막의 6종 모두 충분한 방염성능을 갖고 있었다. 용단 불꽃에 의한 내구성 시험 결과 Thermosil, Siltex 및 Lastan 이 내구성이 좋았다. 그러나, 용접·용단 불꽃에 의한

난연성 실험결과 Fiber Glass에 수지코팅한 제품 2종은 용접·용단 불티에 대한 화재예방 성능이 부족함 것으로 나타났으며, 방염 및 난연성능 향상을 위한 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다

Fiber Glass에 수지를 코팅한 제품 등 3종은 용접·용단불티에 의한 난연성능이 부족한 것으로 나타났다. 특히 석면포는 취급시 발암물질인 석면분진이 발생함으로 용접불티 차단막으로 사용하는 것이 부적합한 것으로 사료된다. 또한, 용접 불티 차단막의 최소산소지수의 국내기준은 30이상으로 고려하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 이상의 연구결과에 근거하여 용접불티 차단막을 사용하고 있는 사업장의 화재예방 대책수립과 용접불티 차단막의 방염 및 난연성능 기술지침 개발의 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 사용목적과 위험정도에 따른 화재 확산방지용 불티 차단막의 적정성능 요건과 안전기준을 정립하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 한국화재보험협회, “가스용접의 방화지침”, pp.37-39 (1980).
2. 日本防炎協會, “防炎關係法規集”, (財)日本防炎協會, (1997).
3. KS F 8081, “건축공사용 시트”, (1997).
4. JIS A 8952, “建築工事用 ツ-ト”, (1997).
5. KS K 0770, “텐트의 방염성 시험방법”, (1996).
6. ASTM D 4372, “Standard Specification for Flame-Resistant Materials Used in Camping Tentage”, (1993).
7. CAPI 84, “A Specification for Flame Retardant Materials Used in Camping Tentage”, (1972).
8. KS M 3032, “산소지수법에 의한 고분자 재료의 연소시험방법”, (1995).
9. JIS K 7201, “酸素指數法による高分子材料の燃焼試験方法”, (1995).
10. ISO 4589, “Plastics-Determination of Flammability by Oxygen Index”, (1991).
11. ASTM D 2863, “Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-like Combustion of Plastics”, (1991).
12. KS F 2298, “건축공사용 시트의 용접 및 용단불꽃에 대한 난연성 시험방법”, (1995).
13. JIS A 1323, “建築工事用 ツ-トの溶接及び溶断火花に対する難燃性試験方法”, (1995).
14. LPS 1207, “Fire Requirements for Protective Covering Materials”, (1996).
15. MIL-STD-2031(SH), “Fire and Toxicity Test Methods and Qualification Procedure for Composite Material Systems Used in Hull, Machinery, and structural Applications Inside Naval Submarines”, (1991).