용접 · 절단 작업시 화재위험성에 관한 실험적 연구

이성룡

중앙소방학교 소방과학연구실

An Experimental Study on the Fire Risk at Welding · Cutting Process

Sung-Ryong Lee

National Fire Research Laboratory, National Fire Service Academy

(Received March 23, 2012; Revised May 21, 2012; Accepted June 8, 2012)

요 약

본 연구에서는 건설현장 등에서 주로 사용되는 용접·절단기의 작업시 화재위험성을 평가하였다. 실험에는 인버터 AC/DC TIG 용접기와 인버터 에어프리즈마 절단기가 사용되었다. 용접·절단 작업시 비산되는 불티의 온도를 측정하였다. 작업높이와 입력전류의 변화에 따라 비산된 불티의 크기 및 비산범위를 측정하였다. 또한, 용접·절단기 화재원인 중 가장 높은 비율을 차지하는 가연물 근접방치에 의한 화재위험성을 평가하였다. 가연물로는 건조, 방진막, 우레탄폼, 비닐, 종이, 유류가 사용되었다. 용접·절단 작업시 불티의 온도가 최대 450 °C까지 상승하였다. 2.5 m 높이에서 절단 작업시 불티가 최대 4.7 m까지 비산되었다. 용접·절단 작업시 주위에 가연물이 존재할 경우 비산된 불티에 의해 가연물에 착화되어 화재로 발전할 가능성이 매우 높다.

ABSTRACT

In this study, it was evaluated the fire risk during welding · cutting tasks. Welding-cutting machines are representatively used at construction sites. Inverter AC/DC TIG welding machine and inverter air plasma cutting machine were used in experiments. Temperature of spreaded cinders was measured using a thermal camera. Cinder sizes and spread range were measured according to the height and input current. It was also evaluated the fire risk during welding-cutting process, when flammable materials were located around the working area. There were used hay, dust fence, urethane foam, vinyl, paper and oil as flammable materials. Temperature of spreaded cinders was reached at about 450 °C. Cinders were spread approximately 4.7 m, when a worker carried out cutting process at 2.5 m height. The possibility of a fire is very high, when flammable materials were located around the working area.

Keywords : Welding machine, Cutting machine, Fire risk, Welding-cutting cinder, Flammable material

1. 서 론

건설기술의 발달에 따라 최근 건설되는 건축물들은 고층화, 대형화되고 있는 추세이다. 이러한 건축물 공사현장에서는 수많은 배관과 전선들이 벽체 속을 지나고 있으며, 건물의 경우 건설 중은 물론 입주 후에도 증축과 구조변경 공사를 하면서 배관의 연결과 절단 등의 다양한 작업이 이루어진다.

신·개축 공사현장에서는 철재 구조물 등의 사용이 증가하고 있으며, 이에 따라 용접·절단 작업이 널리 수행되고 있다. 특히 용접·절단 작업시 주위에 목재, 스티로폼, 보온재 등 가연물이 상존하고 있다. 용접·절단 작업시 작업자의 부주의 등에 의하여 주위 가연물에 불티가 비산되어

착화될 위험성이 매우 높다.

2008년 1월 7일 경기도 이천 코리아냉동창고에서 냉동 설비 공사중 용접불티 비산으로 추정되는 화재·폭발이 발생하여 40명이 사망하고 10명이 부상하는 대형사고가 발생하였다. 2010년 11월 15일 중국의 상하이 초고층 아파트에서 외벽 보수공사 중 용접불티에 의한 화재가 발생하여 79명이 사망하는 대형사고 발생하였다.

Figure 1에 2010년도 발화관련 기기 화재통계를 나타내었다. 2010년도 발화관련 기기에서 총 16,072건의 화재가 발생하였으며 산업장비에서 1,874건의 화재가 발생하였다⁽¹⁾. 이는 발화관련 기기 중 12%를 차지하고 있다. 총 1,874건의 산업장비 화재 중 용접절단기 화재가 559건(30%)으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다.

Figure 1. Statistics of machinery/equipment fires (2010)⁽¹⁾.

Figure 2. Place of welding/cutting machine fires.

용접절단기 화재 559건에 대하여 화재조사보고서⁽¹⁾를 바탕으로 화재원인을 분석한 결과 용접 · 절단 작업시 불티 비산에 의하여 주위 가연물에 착화하여 화재로 발전한 경우가 대부분을 차지하고 있다. 용접 · 절단기 화재 발생장소를 Figure 2에 나타내었다. 공사현장에서 162건의 화재가 발생하였으며, 용접 · 절단기 화재의 29 %를 차지하고 있다. 공장에서 84건, 축사에서 54건, 고물상에서 50건의 화재가 발생하였다.

사용된 용접기의 종류를 살펴보면 전기용접기 화재 275건, 가스절단기 화재 256건, 토치램프 화재 26건, 절단기 화재 2건을 차지하였다.

용접 · 절단 작업시 발생한 화재의 최초 착화물 통계를 Figure 3에 나타내었다. 공사현장에서 용접 · 절단 작업시 불티가 비산하여 방진막에 착화하여 화재가 발생한 건수가 87건(16 %)으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 뒤를 이어 합성수지(85건, 15 %), 스티로폼(84건, 15 %), 건초(79건, 14 %) 순으로 최초 착화한 후 화재가 확대되었다.

목연수 등은 건설현장의 안전수준 현황조사를 실시하였

Figure 3. Initial flammable materials of welding/cutting machine fires.

으며, 용접불꽃 착화실험을 통하여 화재요인을 분석하였다⁽²⁾. 노성환은 용접불티에 의한 화재사례 분석을 통하여 화재예방 대책을 제시하였다⁽³⁾. 이근원 등은 용접불티 차단막의 방염 및 난연성능 평가를 통하여 적정 방염처리 방안에 관한 연구를 수행하였다^(4,5). 임상범은 건설공사 현장에서 사용되는 부직포의 화재위험성 평가에 관한 연구를 수행하였다⁽⁶⁾. 또한, 용접절단기 화재에 대한 전문서적들이 출판되어 현장조사, 감식 · 감정 및 출화사례들을 소개하고 있다.

본 연구에서는 건설현장 등에서 사용되는 대표적인 산업장비인 용접기 및 절단기에 대하여 재현실험 등을 통하여 용접 · 절단 작업시 비산되는 불티의 특성을 평가하고, 주변 가연물에 따른 용접 · 절단기 화재 위험성을 평가하고자 한다.

2. 실험 용접 · 절단기 및 실험방법

2.1 실험대상 용접 · 절단기

본 연구에서는 인버터 AC/DC TIG(Tungsten inert gas) 용접기와 인버터 에어 프라즈마 절단기를 사용하여 실험을 실시하였다.

실험에 사용된 용접기는 인버터 AC/DC TIG(Tungsten inert gas) 용접기(Perfect-500WT)로 TIG 용접 및 수용접이 가능하다. 용접기의 제원을 Table 1에, 사진을 Figure 4의 (a)에 나타내었다. 절단실험을 위하여 인버터 에어 프라즈마 절단기(Perfect-120AP)를 사용하였으며 제원을 Table 2에, 절단기를 Figure 4의 (b)에 나타내었다.

2.2 측정장치 및 실험방법

용접 · 절단 작업시 모재 및 불티의 온도분포 측정을 위하여 열화상 카메라(FLIR i5, USA)를 사용하여 온도를 측정하였다. 열화상 카메라의 최대 온도 측정범위는 1300 °C이다.

용접 · 절단 작업시 비산된 불티의 분포 및 비산거리를 측정하였다. 크기가 1.5 mm 이상인 용접 · 절단 불티의 위

Table 1. Specifications of Welding Machine

Output Current [A]		500
Rated Input Voltage [V]		220/380
Rated Frequency [Hz]		50/60
Rated Input	AC TIG [kVA]	18.5 (15 kW)
	DC TIG [kVA]	17.5
	DC Manual Welding [kVA]	14.5
Output Current	AC TIG[A]	10~500
	DC TIG[A]	10~500
	DC Manual Welding [A]	10~300
Rated Duty Cycle [%]		60
Rated Unload Voltage [V]		67
Initial Current [A]		10~500
Crater Current [A]		10~500
Pulse Current [A]		10~500
Pulse Frequency [Hz]		0.5~500
Dimensions (W×D×H) [mm]		410×600×740
Weight [kg]		79

(a) Welding machine

(b) Cutting machine

Figure 4. Welding · cutting machines used in experiments.

Table 2. Specifications of Cutting Machine

Rated Input Voltage [V]	220/380
Constant Figures [Ø]	1.3PH
Rated Frequency [Hz]	50/60
Rated Input [Kva]	18.5
Rated Output Current [A]	110
Rated Load Voltage [V]	124
Output Current Range [A]	25~120
Rated Unload Voltage [V]	320
Rated Duty Cycle [%]	60
Dimensions (W×D×H) [mm]	390×500×620
Weight [kg]	62

치 및 크기를 측정하였다. 작업시 입력전류의 변화에 따른 불티분포 특성을 평가하였다. 전류를 50~125 A로 변화시켜가면서 실험을 실시하였다. 또한 작업 높이 변화에 따른 영향을 평가하기 위하여 바닥, 1.0 m, 1.9 m, 2.7 m 높이에서 실험을 실시하여 불티분포 및 비산거리를 측정하였다. 전기 용접시 용접봉(CR-13)을 1~4개를 사용하여 30 cm 길이만큼 용접 · 절단 작업을 실시하였다. 프라즈마 절단기의 경우 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m 높이에서 절단작업을 실시하여 절단불티의 비산거리를 측정하였다. 각 높이에서 60 cm 길이만큼 길이 방향으로 절단작업을 실시하였다.

용접 · 절단 작업시 비산된 불티에 의하여 주위 가연물에 착화 여부를 평가하기 위하여 실험을 실시하였다. 가연물로는 건초, 방진막, 종이류, 우레탄폼, 비닐, 부직포, 유류(휘발유, 경유, 등유)가 사용되었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 용접불티 온도분포 측정 결과

용접 · 절단기 관련 화재의 대부분은 작업시 비산된 불티가 주변의 가연물에 착화되어 화재로 발전한 경우가 대부분을 차지하고 있다. 따라서 본 연구에서는 용접 · 절단 작업시 비산되는 불티의 위험성을 평가하기 위하여 열화상 카메라를 이용하여 용접 모재 및 비산되는 불티의 온도를 측정하였다. 입력 전류를 50 A, 75 A, 100 A, 125 A로 변화시켜 가면서 용접작업을 수행하였다. 실험시 주위 온도는 30.1 °C, 상대습도는 68 %이었다.

입력전류 100 A일 때 용접 작업 시 열화상 촬영 결과를 Figure 5에 나타내었다. 입력 전류가 50 A일 때 모재의 온도는 약 750 °C까지 상승하였다. 비산된 불티의 온도는 약 350 °C까지 도달하였다. 입력전류 75 A 이상에서는 모재의 온도가 모두 1300 °C 이상 도달하였다. 본 실험에는 1300 °C 까지 측정 가능한 열화상 카메라를 사용하였으며 실제 모재의 온도는 이 이상 도달할 것으로 사료된다. 비산 불티의 온도는 입력 전류 75 A 이상에서 약 450 °C까지 도달하였다.

Figure 5. Thermal photograph (welding, 100 A).

3.2 용접 · 절단 불티분포 측정 결과

3.2.1 용접불티 분포 측정 결과

용접 작업시 비산되는 불티의 분포를 측정하기 위하여 입력전류(50~125 A) 및 높이(0 m, 1 m)를 변화시켜가면서 실험을 실시하였다. 30 cm 길이의 강재에 대하여 용접을 실시하였으며 용접봉 1개가 사용되었다. 용접 작업시 비산된 불티 중에서 직경 1.5 mm 이상인 불티를 수거하여 위치 및 크기를 측정하였다. 용접 작업시 용접봉의 각도 및 위치에 따라서 비산된 불티의 분포가 실험시마다 차이를 보였다. 본 결과에서는 유사한 경향을 보이는 결과중 하나를 선택하여 특성을 평가하였다.

50 A의 경우, 1.5 mm 이상인 불티가 약 50 cm까지 비산되었다. 1.5 mm 이상인 불티가 14개 수거되었으며, 최대 직경 3.47 mm를 차지하였다. 75 A의 경우, 불티가 약 30 cm까지 비산되었다. 1.5 mm 이상인 불티가 14개 수거되었으며, 최대 직경 3.36 mm를 차지하였다. 100 A의 경우, 불티가 약 64 cm까지 비산되었다. 1.5 mm 이상인 불티가 58개 수거되었으며, 최대 직경 4.49 mm를 차지하였다. 125 A의 경우, 불티가 약 70 cm까지 비산되었다. 1.5 mm 이상인 불티가 95개 수거되었으며, 최대 직경 3.43 mm를 차지하였다. 입력전류 125 A일 때 용접 작업시 비산된 불티의 분

Figure 6. Distribution of welding cinders.

포를 Figure 6에 나타내었다.

용접 작업중 전체 불티의 분포를 확인하기 위하여 바닥에 스티로폼(1,800×900 mm)을 깔고 용접을 실시하여 용접불티의 분포를 확인하였다. 작업 높이를 1 m, 1.9 m, 2.7 m로 변화시켜가면서 작업 높이에 따른 영향을 평가하였다. 또한, 입력전류의 크기를 50 A, 75 A, 100 A, 125 A로 변화시켜가면서 입력전류의 변화에 따른 영향을 평가하였다.

용접작업으로 인하여 비산된 불티의 대부분이 바닥에 설치된 스티로폼에 떨어졌으며 입력전류의 크기가 증가할수록 불티의 분포 면적이 소폭 증가하였다. 불티의 분포 밀도가 입력전류의 크기 증가에 따라 증가하였다. 또한, 반복작업에 따른 영향을 평가하기 위하여 용접봉 4개를 사용하여 동일 위치에서 실험을 수행하였다. 입력전류가 125 A일 때 절단 불티의 분포를 Figure 7에 나타내었다. 불티의 분포 면적은 용접봉 1개를 사용하였을 때와 비교하여 유사한 위치에 분포하고 있으며, 비산된 불티의 대부분이 작업 위치 부근에 집중되는 것을 확인할 수 있다.

Figure 7. Distribution of welding cinders.

3.2.2 절단불티 분포 측정 결과

절단불티의 분포 특성을 파악하기 위하여 입력전류 125 A, 작업높이 1 m에서 절단 작업을 수행하였다. 직경 1.5 mm 이상인 불티의 분포 측정 실험의 경우 용접봉 1개, 바닥에 스티로폼을 깔고 분포를 측정한 경우 용접봉 2개를 사용하였다.

직경 1.5 mm 이상인 불티의 분포를 Figure 8에 나타내었다. 절단 작업의 경우 모재가 함께 용융되어 비산됨으로

Figure 8. Distribution of cutting cinders.

(a) welding

(b) cutting

Figure 9. Comparison of welding · cutting cinders.

인하여 용접 작업과 비교하여 많은 불티가 비산되었다. 직경 1.5 mm 이상인 불티가 409개 확인되었으며, 불티가 약 170 cm까지 비산되었다. 이 중 17개가 직경 4.5 mm 이상이었다. 비산 불티 중 최대 직경 불티는 5.15 mm를 차지하였다. 용접실험 결과와 비교하면 직경 1.5 mm 이상인 불티의 개수가 6배 많이 분포하고 있으며, 비산거리가 약 90 cm 증가하였다.

바닥에 스티로폼을 깔고 용접 작업시와 절단 작업시의 불티분포 형태를 비교하기 위하여 1 m 높이에서 용접봉 2개를 사용하여 각각 실험을 실시한 결과를 Figure 9에 나타내었다. 용접 작업의 경우 불티가 작업 위치 부근에 집중되어 있으며, 절단 작업의 경우 불티의 분포범위가 용접 시보다 넓게 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다.

3.2.3 용접 · 절단 불티 비산범위

용접 · 절단 작업시 불티의 최대 비산범위를 측정하기 위하여 바닥에 스티로폼을 깔고 용접 · 절단 작업을 수행하였다. 용접 작업시 125 A의 입력전류를 가하고 1 m, 1.9 m, 2.7 m 높이에서 각각 실험을 실시하였다. 절단 작업의 경우 두께가 2 mm인 철판을 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 2.5 m 높이에서 길이방향으로 60 cm를 절단하였다.

용접 작업시 불티의 비산범위 측정 결과를 Figure 10에 나타내었다. 작업 높이가 증가할수록 불티의 비산거리가 증가하였으며, 작업 높이 2.7 m일 때 불티가 길이 방향으로 최대 2.8 m까지 비산되었으며 폭 방향으로 약 2 m 비산되었다.

절단 작업시 불티의 비산범위 측정 결과를 Figure 11에 나타내었다. 작업 높이가 증가할수록 불티의 비산거리가 증가하였다. 작업 높이가 2.5 m일 때 불티가 길이 방향으로 최대 4.7 m까지 비산되었으며 폭 방향으로 약 2 m 이상 비산되었다.

Figure 10. Spread range of welding cinders.

Figure 11. Spread range of cutting cinders.

3.3 용접 · 절단 작업시 가연물 착화실험 결과

용접 · 절단 작업시 비산되는 불티에 의한 주변 가연물에 착화 유무를 평가하기 위하여 실험을 실시하였다. 작업 높이 1 m, 입력전류 125 A를 가하여 작업을 실시하였다. 가연물로는 건조, 방진막, 부직포, 우레탄폼, 비닐, 종이, 골판지, 유류(휘발유, 경유, 등유)를 사용하였다. 실험시 매회 착화되는 경우 실험회수를 단축하여 실시하였다. 부직포를 가연물로 사용하였을 경우 불티에 의한 가연물 착화실험 모습을 Figure 12에 나타내었다.

건조를 가연물로 사용한 경우, 총 9회(용접 4회, 절단 5회) 실험을 실시하였다. 4회의 용접실험 모두 건조에 착화되지 않았으나 절단작업의 경우 5회 모두 건조에 착화되었다.

방진막의 경우, 총 5회(용접 3회, 절단 2회) 실험을 실시하였다. 3회의 용접실험 모두 방진막에 착화되지 않았으나 절단작업의 경우 2회 모두 방진막에 착화되었다.

부직포의 경우, 총 4회(용접 2회, 절단 2회) 실험을 실시하였다. 2회의 용접실험 모두 부직포에 착화되었다. 절단 작업의 경우도 2회 모두 부직포에 착화되었다.

우레탄폼의 경우, 총 6회(용접 4회, 절단 2회) 실험을 실

Figure 12. Photograph of an experiment.

시하였다. 4회의 용접실험 중 1회 우레탄폼에 착화되었다. 절단작업의 경우 2회 모두 우레탄폼에 착화되었다.

비닐의 경우, 총 6회(용접 3회, 절단 3회) 실험을 실시하였다. 3회의 용접실험중 1회 비닐에 착화되었다. 절단작업의 경우 3회 중 2회의 실험에서 비닐에 착화되었다. 비닐을 접어서 배치하였을 경우, 용접 · 절단 실험 모두 착화되지 않았다. 비닐을 구긴상태로 배치하였을 때 용접 · 절단 불티가 비닐 내부로 침투하여 열축적이 용이하기 때문에 두 경우 모두 비닐에 착화되었다.

종이의 경우, 총 8회(용접 4회, 절단 4회) 실험을 실시하였다. A4 용지의 경우 4회의 용접실험 중 2회 종이에 착화되었다. 절단작업의 경우 A4 용지를 가연물로 사용하였을 때 2회 모두 종이에 착화되었다. 골판지의 경우, 절단 실험 2회 중 1회 골판지에 착화되었다.

유류의 경우, 총 3회(용접 3회) 실험을 실시하였다. 용접 작업시에 착화되지 않은 건조에 휘발유, 경유, 등유를 뿌린 후 용접작업을 수행하였다. 3회의 용접 실험 모두 용접 작업 즉시 착화되었다.

용접 작업시 보다는 절단 작업시 발생하는 불티의 크기가 크기 때문에 보다 쉽게 가연물에 착화되었다. 유류의 경우 용접작업에 의해 발생한 불티에 의해 즉시 착화되어 위험성이 매우 높은 것으로 확인되었다. 부직포의 경우 용접 · 절단 실험 모든 경우에 착화되어 실험에 사용된 고체 가연물중 가장 위험성이 높다.

4. 결 론

본 연구에서는 산업현장 등에서 접합 및 절단용으로 사용되는 용접 · 절단기에 대하여 다양한 조건 하에서 발화위험성을 평가하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) 용접 작업시 입력전류가 증가함에 따라 비산된 불티 중 직경 1.5 mm 이상인 불티의 개수가 증가하였다.
- (2) 1 m 높이에서 용접 작업시 직경 1.5 mm 이상인 불티가 작업 위치로부터 1 m 이내에 분포하였다.
- (3) 1 m 높이에서 절단 작업시 직경 1.5 mm 이상인 불티가 작업 위치로부터 1.7 m 이내에 분포하였다.
- (4) 용접 작업시 비산된 불티가 최대 2.8 m, 절단 작업시 최대 4.7 m까지 비산되었으며 절단 작업시 보다 많은 불티가 비산되었다.
- (5) 용접 · 절단 작업시 비산된 불티에 의해 작업위치 주변의 가연물에 쉽게 착화되어 화재로 발전할 가능성이 매우 높다. 특히 유류의 경우 용접 · 절단 작업시 비산된 불티에 의한 착화 위험성이 매우 높다.

참고문헌

1. “National Fire Data System”, www.nfds.go.kr, National

- Emergency Management Agency.
2. Y. S. Mok, S. R. Chang, Y. S. Lee and S. S. Go, "A Study on the Fire Preventin of the Constructin Sites", Journal of the KIIS, Vol. 17, No. 2, pp. 69-75 (2002).
 3. S. H. Rho, "A Fire Case by Welding Cinder", Magazine of Fire Investigation Society of Korea, Vol. 1, No. 1, pp. 1-6 (2009).
 4. K. W. Lee, O. S. Kwon and D. M. Ha, "An Evaluation of Flame and Fire Retardant Performance for Welding Blanket", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 15, No. 2, pp. 53-58 (2001).
 5. K. W. Lee, K. E. Kim and D. H. Lee, "A Study on the Treatment of Suitable Flame Retardant to the Fibers for Welding Blanket Development", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 48-55 (2002).
 6. S. B. Im, "A Study on Fire Risk Assesment for many Kinds of Nonwoven used in the Construction Field", MS thesis, Kyungwon University (2011).