

碩士學位論文

조선소 조립작업장의 용접작업에서
새로운 흡 토치에 대한 성능평가

2006年

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

李 壽 鍵

碩 士 學 位 論 文

指導教授 朴杜用

조선소 조립작업장의 용접작업에서
새로운 흡 토치에 대한 성능평가

Study on the Performance of Newly Developed
Fume Torch during Welding Processes
at Assembly Lines in a Shipyard

2005年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

李 壽 鍵

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

李壽鍵의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

조선소 조립작업장의 용접작업에서
새로운 흙 토치에 대한 성능평가

2005年 12月

Study on the Performance of Newly Developed
Fume Torch during Welding Processes
at Assembly Lines in a Shipyard

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2005年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

李 壽 鍵

심사위원장 (인)

심 사 위 원 (인)

심 사 위 원 (인)

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
I. 서 론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구 목적	5
II. 연구대상 및 방법	6
1. 연구대상	6
2. 실험 장치	7
2.1 실험 장치	7
2.2 용접 토치	8
3. 흠 토치 성능 시험 방법	10
3.1 시험편 및 용접 조건	10
3.2 용접흠 채취 방법	11
3.3 흠 토치의 흠 제거율 산출	11
4. 현장 적용 시험 방법	13
4.1 용접흠 채취 방법	13
4.2 와이어 소모량 조사 방법	14
5. 자료 분석	14
III. 연구결과 및 고찰	15
1. 흠 토치 성능시험	15
2. 현장 적용 시험 결과	17
2.1 개인노출농도 저감 효과	20
2.2. 노출기준 초과할 확률 저감 효과	21
2.3. 와이어 소모율 비교	25
2.4. 와이어 소모율과 개인노출농도 상관성	26
2.5. 용접면 내부와 외부의 개인노출농도	30
2.6. 용접면 내부와 외부의 개인노출농도 상관성	31

IV. 결 론	34
참고문헌	36
ABSTRACT	39

List of Tables

Table 1. Welding conditions in the test chamber	10
Table 2. The fume generation rate with/without fume torch operation by welding time	16
Table 3. The fume generation rate with/without fume torch operation by deposited metal	16
Table 4. Measurement result without fume torch operation	18
Table 5. Measurement result with fume torch operation	19
Table 6. The personal exposure level with/without fume torch operation	21
Table 7. Percentage exceeding OEL welding fume($5\text{mg}/\text{m}^3$) with/without fume torch operation	22
Table 8. Comparison of wire consumption	25
Table 9. Correlation of wire consumption and personal exposure level	27
Table 10. Comparison of concentration at welding helmet inside and outside	30
Table 11. Correlation and regression of concentration at welding helmet inside and outside	32

List of Figures

Figure 1. Fume generation and test chamber	7
Figure 2. General welding torch	8
Figure 3. Fume torch and fume collector	9
Figure 4. Personal exposure to welding fume during welding process with/without fume torch operation at inside helmet	23
Figure 5. Personal exposure to welding fume during welding process with/without fume torch operation at outside helmet	24
Figure 6. Correlation and regression of wire consumption and concentration at welding helmet inside and outside with fume torch operation	28
Figure 7. Correlation and regression of wire consumption and concentration at welding helmet inside and outside without fume torch operation	29
Figure 8. Regression of concentrations between welding helmet inside and outside with fume torch operation	33
Figure 9. Regression of concentration at welding helmet inside and outside without fume torch operation	33

I. 서론

1. 연구의 배경

용접의 역사는 인류가 금속을 이용하는 과정에서부터 발전되어 왔다. 기원전 3,000년경 메소포타니아 지방에서 구리판의 납땀이 사용된 이래로 1801년 Davy가 아크를 발견하고 1885년 Slavianoff가 금속 아크 용접법을 발명한 이후 모든 산업으로 보급되어 현재에 이르기까지 무수한 용접법이 발달되었으며 앞으로도 지속적인 발전이 있을 것으로 예상된다(백은규, 2004).

용접은 둘 이상의 물체나 재료를 용융하거나 반 용융상태로 접합하는 것을 말하며(백은규, 2004), 용접방법은 크게 용접(fusion welding), 압접(pressure welding), 납땀(soldering, brazing) 등 세 종류로 구분되는 데 그 중 우리가 흔히 말하는 용접은 주로 용접을 말한다(산업위생핸드북, 2000). 용접은 그 유용성 때문에 많이 사용되고 있는 가공기술 중의 하나로 산업화된 국가에서는 총 노동력의 1% 이상이 용접에 종사하고 있으며 제조공정의 80% 이상이 용접공정을 포함하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 아크용접이 총 용접공정 중 60~80%의 비중을 차지하고 있다(김정환, 1997).

우리나라 조선 산업은 1970년대 초에 세계시장에 진출하여 지금까지 가장 짧은 시간에 세계 1위의 조선국으로 도약하였으며 특히, 국내 조선 건조량의 99.5% 이상을 수출하여 세계 조선시장의 40% 이상을 차지하는 국내 대표적인 고부가가치 산업이다. 이 분야에 종사하는 인원 현황을 보면 2003년 현재 총 종사자는 93,682명이고 이 중 사무직을 제외한 인원이 86,500명에 이른다(조선공업협회, 2003).

용접작업으로 인한 건강장해 중 대표적 유해인자가 용접흠이다. 용접시 용융된 고온의 금속증기가 공기 중으로 방출되어 즉시 산화되고 냉각되어 매우 작은 고체로 입자화($0.05 \sim 0.3 \mu\text{m}$)됨으로서 작업자에게 흡입되어 장해를 일으킨다. 흡입된 흠의 53%가 체내에 들어오게 되고 호기를 통해서 47%가 배출된다. 체내에 들어온 흠은 시간의 경과에 따라 비 인두, 기관지, 폐 등을 거치면서 가래 또는 변으로 44.2%가 배출되고 혈류에 7.05%, 임파에 1.75%가 흡수된다(한국산업안전공단 용접작업관리지침, 1997). 용접흠의 발생량이나 성분은 용접재료에 따라 다르지만 주요 성분은 산화철(Fe_2O_3)이며 이외에도 망간(Mn), 아연(Zn), 니켈(Ni), 납(Pb) 등의 중금속 유해성분이 포함될 수 있다. 건강장해는 금속열, 철폐증, 진폐증, 폐렴, 중금속 중독 증세를 들 수 있다. 금속열은 전율, 오한, 구토, 갈증, 권태감이 나타나다 24시간 이내로 반복된다. 즉 내성이 생겨 잘 모르고 지내다가 노출되면 다시 재발되므로 월요병이라고 부르기도 한다. 철폐증은 1936년 Doig와 Mclaughlin에 의해 처음 기술되었는데 철 성분이 폐 조직 내에 축적되어 폐기능 장해가 발생된다. 망간의 경우는 최근 용접작업자에게서 발생한 파킨슨씨 증상이 용접시 망간이 원인으로 의심된다는 보고가 있어 관심이 고조되고 있으며 증세는 처음에는 쇠약증세, 식욕감퇴, 근육통과 같은 증세로 시작하여 점차 무기력, 성욕감퇴, 어눌한 말투, 가면표정으로 발전되어 보행장해, 감정의 급변, 정신동요, 발작적 폭소나 울음 등 비가역적 변화를 나타낸다. 그밖에 문제시되는 것이 질소산화물(NO , NO_2)과 오존(O_3), 일산화탄소(CO)와 같은 유해가스이다. 이런 물질들은 폐렴이나 폐수종을 일으키며 오존은 두통, 호흡곤란, 심근경색도 일으킨다(백은규, 2004).

조선업 근로자의 용접흠에 대한 노출실태를 보면 1991년 김광중 등은 기하평균이 9.73 mg/m^3 이었고, 독크지역이 12.0 mg/m^3 로 가장 높았다고 보고한 바 있으며, 1995년 변상훈 등은 소조립장의 기하평균 농도가 10.05 mg/m^3 로 보고 하였으며, 1997년 광영순 등은 밀폐작업장의 용접흠 농도는 16.6 mg/m^3 , 개방작업장 5.2 mg/m^3 로 보고하였다. 외

국의 사례로는 1983년 Phoon 등이 밀폐작업장 12.8 mg/m³, 개방작업장 5.6 mg/m³로 보고하였으며, 가장 최근의 보고로 2004년 백영규 등은 철판가공, 소조립, 중조립, 대조립 공정으로 이루어진 선각공장의 평균이 5.62 mg/m³로 보고하였다. 조금 낮아지기는 하였으나 여전히 노출기준(노동부, 2002)을 초과하고 있는 실정이다.

이러한 용접흠을 제어하기 위한 산업환기적인 제어대책으로는 전체환기에 의한 방법과 국소환기에 의한 방법으로 크게 나눌 수 있다. 전체환기를 이용하여 조선작업장의 조립공정과 같은 용적이 큰 작업장에서 용접흠을 배기시켜 노출기준 이하로 유지하는 것은 불가능한 일이며 비용도 많이 든다. 또한 이 방법은 작업장 전체의 농도를 감소시킬 수 있을지 모르지만, 작업자 호흡 영역의 흠 농도를 현저히 저감시킬 수 없는 문제점이 있다(최찬기, 1999 ; 송세욱, 2000). 반면 조선작업장에 일반적으로 보급된 이동식 소형팬을 사용한 국소환기를 할 경우, 변상훈(1995)의 연구에 의하면 옆에서 불어주었을 때 47.8% 정도 저감 효과가 있고 용접자 전면에서 흡입하였을 때 71.7% 정도의 저감 효과가 있는 것으로 보고 되었다. 그러나 이동이 많은 작업, 복잡한 형상을 가진 블록, 밀폐공간에서는 환기용 소형 팬을 이동시키면서 작업을 하기가 힘들기 때문에 근로자들이 사용을 기피하는 경향이 있다(송세욱, 2000). 그 외 작업자와 함께 이동이 가능하면서 흠을 제거할 수 있는 방식으로 송세욱(2000) 등이 용접면 외부에 가는 호스를 부착하고 공기를 분사하여 용접흠 상승기류가 호흡기 영역으로 침입하는 것을 차단하는 JASM(Jet Air Supplying welding Mask)이 실험실적으로 90%, 실제 작업장에서 80% 정도 흠 노출 저감 효과가 있다고 보고하였고, 변세환(2004) 등은 용접토치 위에 공기급기장치를 설치하여 에어커튼을 형성 용접흠 상승기류가 호흡기영역으로 확산되는 것을 차단하는 급기식 토치가 실험실적으로 43.0~91.5%, 실제 작업장에서 58.0~74.4%의 저감 효과가 있는 것으로 보고하였다. 백은규(2004)등은 작업자 두부 전체를 감싸고 내부에 양압을 형성시켜 용접흠이 용접면 내부로 침입하는 것을 방지하여 노출을 차단하는 송기용접면을 개발하였다

고 보고하였다. 또한 최찬기(1999) 등은 기존 토치 외부에 배기다트를 설치하여 발생원에서 흠을 배출 제거함으로써 작업자가 흠에 노출되는 것을 차단하는 흠 토치가 실험실적으로 95% 이상 저감효과가 있는 것으로 보고하였다. 그러나 위에서 열거한 이동식 용접흠 제거 방법들도 국내에서는 상용화되어 일반적으로 사용되지는 못하고 있는 실정이며, 대부분이 흠 확산 방향을 변경하거나 차단하여 호흡기 영역으로 침입을 방지하는 방식이고 발생원에서 원천적으로 흠을 제거하여 작업자 노출을 차단하는 방법은 흠 토치 방법이 유일하다.

2. 연구 목적

조선작업장에서 주로 사용되는 국소환기 방식은 소형팬을 이용하는 방법이다. 그러나 이동이 많은 작업, 복잡한 형상을 가진 블록, 밀폐공간이 산재해 있는 조선작업의 특성상 작업자가 이동할 때마다 환기용 소형팬을 이동시키면서 작업하기 힘들기 때문에 소형팬의 사용을 기피하는 경향이 있다. 이러한 기피현상을 해소하고자 작업자와 함께 이동이 가능하고 용접흠 노출을 차단할 수 있는 방안으로 흠 토치, 급기형 토치, JASM, 송기용접면 등을 사용하는 몇 가지 방법들이 제안된 바 있다. 그 중에서도 발생원에서 용접흠을 제거하여 확산과 작업자 노출을 차단하는 방법은 흠 토치가 가장 좋은 방법이다.

이에 본 연구에서는 흠 토치를 조선작업장 조립공정에 적용하고 기존 토치와 비교한 흠 토치의 작업환경 개선 효과를 확인하여 향후 흠 토치의 성능 향상이나 개선시 기초 자료를 제공하고자 다음과 같은 목적으로 이루어졌다.

- 1) 흠 포집 장치 내에서 흠 토치의 흠 배출장치를 가동하지 않고 용접하였을 때와 흠 배출장치를 가동하고 용접을 하였을 때에 흠 발생량을 측정하여 흠 토치의 흠 제거율을 평가한다.
- 2) 생산 현장에서 흠 토치 사용하여 용접하였을 때와 기존토치를 사용하여 용접하였을 때 개인노출농도 감소효과를 평가한다.
- 3) 생산 현장에서 흠 토치 사용하여 용접하였을 때와 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 용접면 내부와 외부의 개인노출농도 비를 구하고 차이를 확인한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

먼저 흠토치의 성능을 시험하기 위하여 실험실에서 흠제거량 및 효율에 대해 검증하였고 현장에 적용하는 실험을 하였다. 실험실에서 흠 토치의 흠 제거율 실험은 H 조선사업장 용접 시험장에서 2004년 7월 21일 실시하였다.

선박 건조 공정을 크게 보면 강제하역 → 전처리 및 방청도장 → 마킹·절단 → 소조립 → 중조립 → 대조립 → 선행 도장·의장 → 탑재 → 진수 → 도장·의장 → 시운전의 과정으로 이루어진다. 소조립 공정은 가공 공정에서 규격에 맞게 절단된 소부재를 이어가는 공정이고, 중조립 공정은 소조립된 소형블록(block)이나 판넬(panel)을 이어서 블록화는 공정이며, 대조립 공정은 중조립된 블록이나, 곡면 형태를 가진 대형 구조물을 제작하거나 조립하는 공정이다. 조립 공정의 작업은 절단(cutting), 용접(welding), 연마(grinding) 및 성형(heating) 등으로 이루어지며 주 작업은 용접작업이다. 본 연구에서는 흠토치를 현장에 적용한 공정은 조선 작업장 용접공정의 대표적인 중조립 공정과 판넬 조립 공정이었다. 현장조사는 2005년 8월 22일부터 8월 26일까지 중조립 공정에서 흠토치 사용자 10명과 기존 토치 사용자 10명에 대하여 1차 조사를 하였으며, 2차로 판넬조립 공정에서 9월 5일부터 9월 13일까지 조사하였다.

2. 실험 장치

2.1 실험 장치

한국산업규격(KS D 0062) 아크용접에서의 총 흡 및 원소별 흡 발생량 평가방법의 흡 포집 장치를 참조하여 제작하였다. 흡 포집 장치는 <Figure 1>과 같이 구성되어 있으며, 본체는 흡 발생장치, 포집 장치로 구성하였고 하부 받침대는 본 실험에서 필수장치가 아니어서 제작하지 않았다. 흡 발생장치(70 cm × 70 cm × 80 cm)는 전면에 손을 넣어 용접을 수행할 수 있도록 하였고, 상단부에는 시험과정을 지켜볼 수 있도록 하였으며, 하단부에는 공기 흡입을 위한 12개($\varnothing$ 4cm)의 구멍이 있다. 흡 포집 장치는 여과지 장착부와 흡인펌프로 구성되어 있으며 여과지 장착부(25.4 cm × 20.3 cm)는 흡인펌프 작동시 공기가 누설되지 않는 구조로 되어있다.

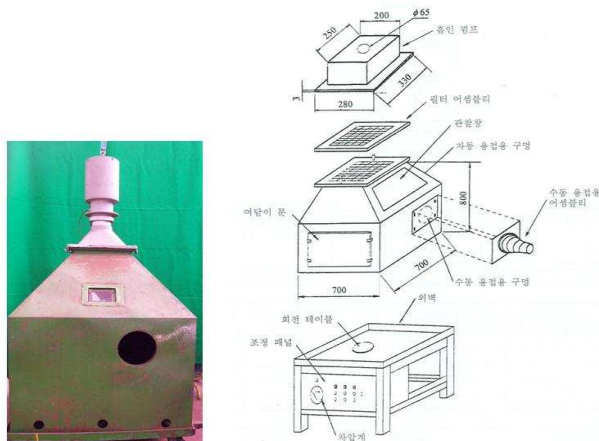


Figure 1. Fume generation and test chamber.

2.2 용접 토치

본 연구에 사용된 기존 토치의 구성은 <Figure 2>에서 보는 바와 같이 내장부품별로는 보호가스관, 와이어 공급관, 전원케이블로 구성되어 있으며, 외관형태로는 노즐부, 홀더부, 케이블부로 구성되어 있다. 케이블의 길이는 3.5 m 정도이고 무게는 4.5 kg이다. 흡 토치는 외관형태에 따른 구성을 보면 노즐부, 홀더부, 케이블부 외에 집진부가 기존 토치와 비교하여 더 추가되어 있다. 흡 토치는 기존 토치의 외부에 관을 감싼 형태로 노즐부에는 슬롯으로 된 후두가 감싸고 있고, 홀더부와 케이블부는 보호가스관, 와이어 공급관, 전원케이블을 포함하는 한 묶음의 관 외부에 또 다른 관으로 감싸서 배기덕트로 활용한 형태이다. 용접시 배기덕트로 배출되는 오염공기는 집진기에서 포집·정화되고 청정공기를 작업장으로 배출하는 방식이다. 흡 토치의 케이블의 길이는 3.5 m이고 무게는 5.5 kg이며, <Figure 3>은 흡 토치와 집진기이다.

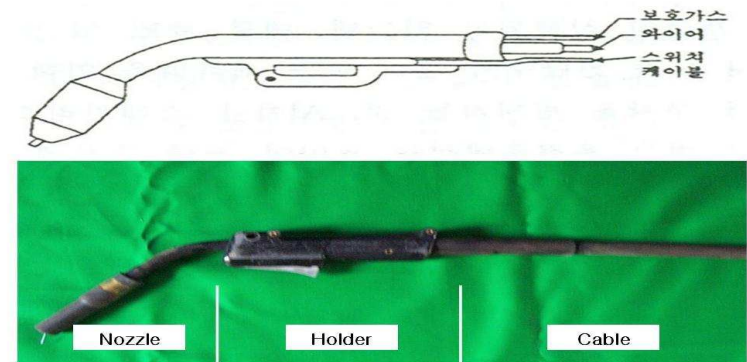


Figure 2. General welding torch.

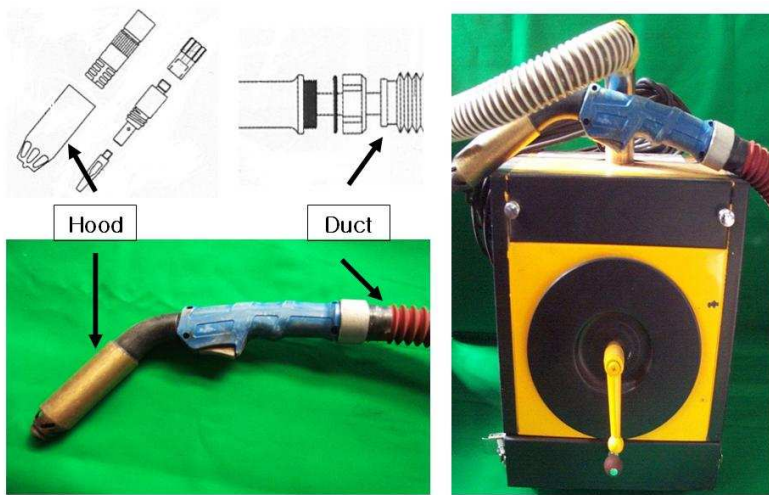


Figure 3. Fume torch and fume collector.

3. 흡 토치 성능 시험 방법

3.1 시험편 및 용접 조건

본 연구에 사용된 시험편은 한국산업규격(KS D 3503) 일반 구조용 압연 강재에서 규정한 SS400을 한국산업규격(KS D 0062) 아크 용접에서의 총 흡 및 원소별 흡 발생량 평가 방법의 시험편 규정에 따라 두께 1.4 cm, 크기 26 cm × 26 cm로 제작하여 사용하였다. 시험편의 전처리에는 화학 약품을 사용하여 세척하지 않고, 강재의 녹 방지와 보존을 위하여 조선사업장에서 사용하는 페인트(K화학, IZ 182)를 도장하여 실험하였다. 그 이유는 작업장 적용 조사시 작업장에서 강제표면에 도장한 조건과 동일한 조건을 형성하기 위해서이다.

용접 조건은 <Table 1>에서 보는 바와 같이 용접기는 H사의 HD 600 모델을 사용하였고 플럭스 코드 아크 용접(Flux Cored Arc Welding, FCAW)용 와이어(wire)는 H사의 Supercored 71, 직경 1.4 mm를 사용하였다. 용접전류는 300A였으며, 용접전압은 30V로 조정하였고, 용접속도는 아래보기 자세로 6.6 mm/sec로 하였다. 보호가스의 유량은 25 ℓ/min이었다. 흡 토치 배기유량은 난류의 영향을 줄이기 위하여 배기덕트를 일직선으로 펴고 피토티 튜브를 삽입하여 동압을 측정한 후 유량을 구하였으며 제조업체에서 제시하고 있는 유량 2.6 m³/min의 78%인 2.02 m³/min 정도였다.

Table 1. Welding conditions in the test chamber

shield gas (CO ₂)	tip ↔ base metal	torch angle	arc voltage	welding current	wire speed	welding speed
25 ℓ/min	25 mm	90°	30 V	300 A	9 m/min	6.6 mm/s

3.2 용접흙 채취 방법

용접흙의 포집 및 증량분석방법으로 한국산업규격(KS D 0062) 아크 용접에서의 총 흙 및 원소별 흙 발생량 평가 방법과 미국용접협회(American Welding Society, AWS)의 용접과 관련공정의 총 흙과 흙 발생량 측정방법(Laboratory method for measuring fume generation rates and total fume emission of welding and allied processes, F1.2-92)을 사용하였다. 여과지는 0.3 μm 의 입자에 대해서 99.9% 이상 포집율을 가진 유리섬유여과지(Grass fiber filter, Wattman EPM 2000)를 건조로(Dry oven, 동양과학 Fine oven 60)에서 약 100°C, 60분 정도 건조시킨 후 천칭실의 온도까지 방냉시킨 후에 0.01 mg까지 칭량 가능한 저울(Electronic balance, AND ER-182A)로 1 mg까지 포집 전과 후 동일한 방법으로 칭량하였다. 흙 포집을 위한 용접시간은 약 10초 정도였으며, 용접 종료 후 흙 발생 장치 내에 흙이 보이지 않을 때까지 약 1분 정도 흡인펌프를 계속 가동하여 흙이 완전히 포집되도록 하였다. 용착금속 당 흙 발생량을 측정하기 위해서는 시험편의 무게를 용접 전과 후에 0.01 g까지 칭량 가능한 저울(Electronic balance, Precisa instrument 2400 D)로 0.1 g까지 칭량하였다.

3.3 흙 토치의 흙 제거율 산출

흙 발생량을 측정하는 방법은 여러 가지가 있다. 일정한 시간을 용접하고 발생하는 흙을 모두 여과지에 포집하는 방법은 모두 동일하나 기준을 시간, 용착금속 등 어떤 것으로 하느냐에 따라 표현 방법이 달라진다. 시간을 기준으로 하는 시간 당 흙 발생량(g/min)은 작업장 환기장치를 구축할 때 많이 사용되고, 용착금속을 기준으로 하는 용착금속 단위 무게 당 흙 발생량(g/kg)은 용접 생산성 향상을 파악할 때 사용한다.

흙 토치의 흙 배출장치를 가동하지 않고 용접하였을 때와 흙 배출장치를 가동하고 용접하였을 때에 각각 용접 전과 후에 동일한 조건으로 4회 포집하고 그 평균값을 나타내었다. 용접 단위시간 당 흙 발생량은 식 1에서 보는 바와 같이 용접 전과 후에 포집된 흙 량의 차이를 공시료로 보정한 후 용접시간을 나눈 값이며, 용착금속 당 흙 발생량은 식 1에서 보는 바와 같이 용접 전과 후에 포집된 흙 량의 차이를 공시료로 보정한 후 용착금속 무게로 나눈 값이다.

$$FGR = \frac{(W2 - W1) \pm B}{TW} \times 100 \quad \dots \dots \dots \text{식1}$$

여기서, FGR : 흙 발생량(g/min 또는 g/kg)

W1 : 용접 전 여과지 무게(g)

W2 : 용접 후 여과지 무게(g)

B : 공시료 무게(g)

TW : 용접시간(min), 용착금속 무게(kg)

흙 토치의 흙 제거율 계산은 식 2에서 보는 바와 같이 흙 토치의 흙 배출장치를 가동하지 않고 용접하였을 때와 흙 배출장치를 가동하고 용접하였을 때의 차이를 흙 배출장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 흙 발생량으로 나눈 값이다.

$$FRR = \frac{(FEN - FEY)}{FEN} \times 100 \quad \dots \dots \dots \text{식2}$$

여기서, FRR : 흙 제거율(%)

FEY : 흙 토치의 흙 배출 장치를 가동하고 용접하였을 때 흙 발생량 (g/min 또는 g/kg)

FEN : 흙 토치의 흙 배출 장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 흙 발생량 (g/min 또는 g/kg)

4. 현장 적용 시험 방법

4.1 용접흙 채취 방법

용접흙의 시료 채취 방법으로 노동부 작업환경측정 및 정도관리 규정(노동부, 2003-62)과 미국용접협회의 용접과 관련 공정에 의해 발생된 공기 중의 입자상물질 측정방법(Method for sampling airborne particulates generated by welding and allied processes, F1.1-85) 및 미국산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 총 분진 측정방법(Particulates not otherwise regulated, total, 0500)을 사용하였다. 여과지는 금속을 동시에 측정하기 위하여 PVC(Polyvinyl chloride) 대신에 공극 0.8 μm , 직경 37 mm MCE(Mixed cellulose ester membrane, Millipore)를 사용하였으며, 0.01mg까지 칭량 가능한 저울(Electric balance, AND ER-182A)로 칭량한 후 카세트 홀더에 장착하여 비누거품유량계(Gilian standard-type)로 약 1.5 ℓ/min 로 보정한 후 용접흙을 채취하였다. 용접흙의 개인 시료 채취는 헬멧 내부와 외부의 농도를 비교하기 위하여 용접 헬멧 내부와 외부로 구분하여 시료를 채취하였다. 헬멧 내부의 개인시료채취는 노동부 작업환경측정 및 정도관리 규정과 미국용접협회의 용접과 관련 공정에 의해 발생된 공기 중의 입자상물질 측정방법에 따라 호흡영역의 중앙선으로부터 5 cm 이내에 홀더를 부착하는 것을 원칙으로 하였으며, 수시로 작업장을 순회하면서 이탈시에는 교정하였다. 용접 헬멧 외부에서 개인시료채취는 노동부 작업환경측정 및 정도관리 규정에 따라 호흡기 반경 30 cm 이내에서 좌·우 구분 없이 홀더를 부착하였다. 흙 토치 집진기의 분진 제거 필터는 동일한 유량을 얻기 위하여 제거한 상태로 시료를 포집하였다.

4.2 와이어 소모량 조사 방법

기존 토치와 흙 토치를 사용하여 용접할 때 일간 와이어 소모량을 확인하기 위하여 작업자들이 작업을 시작하기 전에 12.5 kg의 새 와이어를 장착도록 하였으며, 시료채취가 끝난 후 시료채취기를 회수할 때 남은 와이어를 함께 수거하여 0.01 g까지 칭량 가능한 저울로 0.1 g까지 칭량하였다.

5. 자료 분석

성능시험 결과 나타난 흙 토치의 흙 제거율과 기존에 보고된 제거율의 비교는 일표본 t-검정을 하였고, 현장 적용 시험에서 흙 토치와 기존 토치의 개인노출농도 차이, 와이어 소모량 비교는 독립표본 t-검정을 하였다. 용접면 내부와 외부 개인노출농도 비교는 대응 표본 t-검정을 하였으며, 자료의 분석은 SPSS 10을 이용하였다. 기하평균 등의 기초통계, 기하분포표, 와이어 소모량과 개인노출농도의 상관성 분석, 선형적 회귀모형의 확인은 Excel 2002를 이용하여 분석하였다.

III. 연구결과 및 고찰

1. 흡 토치 성능시험

흡 토치의 흡 제거 성능을 확인하기 위하여 흡 토치에 부착된 배기장치를 가동하지 않고 용접하였을 때와 가동하고 용접하였을 때를 구분하여 흡 포집장치 내에서 흡 발생량을 측정하였으며, 그 결과는 <Table 2>, <Table 3>과 같다. 흡 발생량 시험은 용접시간 당 흡 발생량과 용착금속 당 흡 발생량으로 구분하여 결과를 산출하였으며, 흡 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때와 가동하지 않고 용접하였을 때를 나누어 아래보기(flat) 자세로 각각 4회씩 시험하였다. 용접시간 당 흡 발생량은 배기장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 1.255 g/min 이었고, 같은 조건에서 흡 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때 0.038 g/min으로 흡 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때가 배기장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 보다 흡 발생량이 97.0%가 줄어드는 것으로 나타났다. 용착금속 당 흡 발생량도 배기장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 14.329 g/kg 이었고, 같은 조건에서 흡 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때 0.427 g/kg으로 흡 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때가 배기장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 보다 흡 발생량이 97.0%가 줄어드는 것으로 나타났다. 흡 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때 용접시간 당 흡 발생량과 용착금속 당 흡 발생량으로 97.0% 흡 발생량이 줄어드는 결과는 최찬기(1999) 등이 흡 토치 성능 평가에 관한 연구에서 보고한 아래보기(flat) 95.8%, 위보기(overhead) 96.4%, 수평자세(horizontal) 95.1%와 비교한 결과 통계적으로 유의한 차이가 없었다(일표본 t-test, $P=0.55>0.05$). 아래보기, 위보기, 수평자세 세 가지 자세와 용접점과 후드 거리에 따른 흡 제어율도 차이가 없다고 보고하였으므로 위보기와 수평자세, 용접점과 후드 거리에 영향을 고려하지 않고 실험을 하였다.

Table 2. The fume generation rate with/without fume torch operation by welding time

test no	fume torch operation(g/min)	
	yes	no
4	0.038	1.214
	0.046	1.302
	0.026	1.290
	0.044	1.213
mean	0.038	1.255
standard deviation	0.009	0.048

*Collection Efficiency by fume torch

$$= \frac{1.255 - 0.038}{1.255} \times 100 = 97\%$$

Table 3. The fume generation rate with/without fume torch operation by deposited metal

test no	fume torch operation(g/min)	
	yes	no
4	0.478	13.921
	0.455	14.608
	0.274	13.562
	0.500	15.226
mean	0.427	14.329
standard deviation	0.103	0.739

*Collection Efficiency by fume torch

$$= \frac{14.329 - 0.427}{14.329} \times 100 = 97\%$$

2. 현장 적용 시험 결과

흙 토치를 생산현장에 적용하여 용접하였을 때와 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 개인노출농도, 노출기준 초과확률, 와이어 소모량 등의 차이와 용접면 내부와 외부의 개인노출농도 비를 확인하기 위하여 기존 토치 사용자 20명과 흙 토치 사용자 20명에 대하여 측정하였다. <Table 4>는 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 측정한 결과이고 <Table 5>는 흙 토치를 사용하여 용접하였을 때 측정한 결과이다.

기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 측정한 용접면 내부에서 개인노출농도 기하평균은 4.17 mg/m^3 이었고, 용접면 외부에서는 7.62 mg/m^3 이었다. 흙 토치를 사용하여 용접하였을 때 측정한 용접면 내부에서 개인노출농도 기하평균은 3.27 mg/m^3 이었고, 용접면 외부에서 개인노출농도 기하평균은 5.69 mg/m^3 로 나타났다.

용접 와이어의 소모율은 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 30.77 g/min , 흙 토치 사용하여 용접하였을 때 28.58 g/min 으로 나타났다.

용접면 내부와 외부의 개인노출농도 비는 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 용접면 외부의 개인노출농도가 용접면 내부의 개인노출농도보다 1.9배가 높았으며, 흙 토치를 사용하여 용접하였을 때는 용접면 외부의 개인노출농도가 용접면 내부의 개인노출농도보다 1.8배가 높은 것으로 나타났다.

2.1. 개인노출농도 저감 효과

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 개인노출농도 수준이 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때의 개인노출농도 수준 보다 얼마나 저감되었는지 확인하기 위해서 흡 토치 사용자와 기존 토치 사용자를 구분하여 용접면 내부와 외부에서 각각 개인노출농도를 측정하였고, 그 결과는 <Table 6>에서 보는 바와 같다.

용접면 내부의 개인노출농도는 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 산술평균은 3.98 mg/m³이었고, 기존 토치 사용하여 용접하였을 때 산술평균은 5.20 mg/m³로 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때가 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 흡 노출량이 23.5% 정도 저감된 것으로 나타났다.

용접면 외부에서 개인노출농도는 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 산술평균은 6.61 mg/m³이었고, 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 산술평균은 9.14 mg/m³로 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때가 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 흡 노출량이 27.7% 정도 저감된 것으로 나타났다.

흡 토치를 사용함으로써 작업자 노출량의 상당한 저감효과를 기대하였으나 저감률은 23.5~27.7%로 나타났고, 통계적으로 용접면 내부와 외부 모두 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때와 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때에 차이는 없는 것으로 나타났다(용접면내 0.24>0.05, 용접면 외 0.11>0.05). 저감률 23.5~27.7%는 NOISH(1979)가 보고한 8시간 가중평균 호흡농도로서 저감률 50%보다 낮게 나타난 것이며, 그 이유는 NOISH에서 제시한 앵글 부분과 코너 부분 용접시 만족스러운 효과를 얻지 못한 것 외에 토치의 각도에 따라 흡 배출이 달라지는 것을 현장 측정시 목격할 수 있었다.

Table 6. The personal exposure level with/without fume torch operation

	inside helmet(N=20)		outside helmet(N=20)	
	w*	w/o**	w	w/o
mean(mg/m ³)	3.98	5.20	6.61	9.14
standard deviation	2.55	3.75	3.84	5.76
reduction efficiency(%)***	23.5		27.7	
P****	0.24		0.11	

Where * : With fume torch

** : Without fume torch

***: Reduction efficiency (%) = $\frac{w/o(\text{mg/m}^3) - w(\text{mg/m}^3)}{w/o(\text{mg/m}^3)} \times 100$

****: P-value of Independent t-test at confidence level 95%

2.2. 노출기준 초과할 확률 저감 효과

지금까지 산업장 내 공기 중의 석면섬유, 먼지, 입자상물질, 벤젠 그리고 방사성 물질 등의 농도와 대기 중의 이산화황의 농도는 정규분포보다는 대수정규분포를 한다고 알려져 있다(백남원 산업위생학 개론, 1995). 일반적으로 작업환경개선 효과를 파악할 때에는 작업환경 측정 자료가 대수정규분포를 하므로 평균이 얼마만큼 감소되었는가보다는 위해수준 이상의 높은 농도가 얼마나 줄었는가 하는 점이 중요하다. 이러한 효과는 대수정규분포도에서 고농도 부분의 분포가 얼마나 줄었는지, 즉 고농도에서 저농도로 분포가 얼마나 이동되었는지가 중요한 관심에 대상이다. 따라서 본 연구에서는 노출기준 초과할 확률이 어떻게 변하였는가를 검토하였다. 용접 토치 종류별 용접면 내부와 외부의 개인노출농도가 용접흡 노출기준 5 mg/m³를 초과할 확률은 <Table 7>과 같다.

용접면 내부에서 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 노출기준을 초과할 확률은 25.8%이었고, 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 노출기준을 초과할 확률은 39.6%로 나타났다. 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 흡 토치를 사용하여 용접할 때가 노출기준 초과할 확률이 34.8% 낮아지는 것으로 나타났다.

용접면 외부에서는 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 노출기준을 초과할 확률은 59.1%이었고, 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 노출기준을 초과할 확률은 74.6%로 나타났다. 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 흡 토치를 사용하여 용접할 때가 노출기준 초과할 확률이 20.8% 낮아지는 것으로 나타났다.

<Figure 4>, <Figure 5>에서 보는 바와 같이 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 고농도 부분의 노출분포가 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때에는 저농도 부분으로 이동하였음을 알 수 있고 흡 토치의 용접흡 제거 효과를 확인할 수 있다.

Table 7. Percentage exceeding OEL welding fume(5mg/m³) with/without fume torch operation

	inside helmet(N=20)		outside helmet(N=20)	
	w*	w/o**	w	w/o
geometric mean(mg/m ³)	3.27	4.17	5.69	7.62
geometric standard deviation	1.92	1.99	1.76	1.89
%>OEL	25.8	39.6	59.1	74.6
reduction efficiency(%)***	34.8		20.8	

Where * : With fume torch

** : Without fume torch

***: Reduction efficiency (%) = $\frac{w/o(\%>OEL) - w(\%>OEL)}{w/o(\%>OEL)} \times 100$

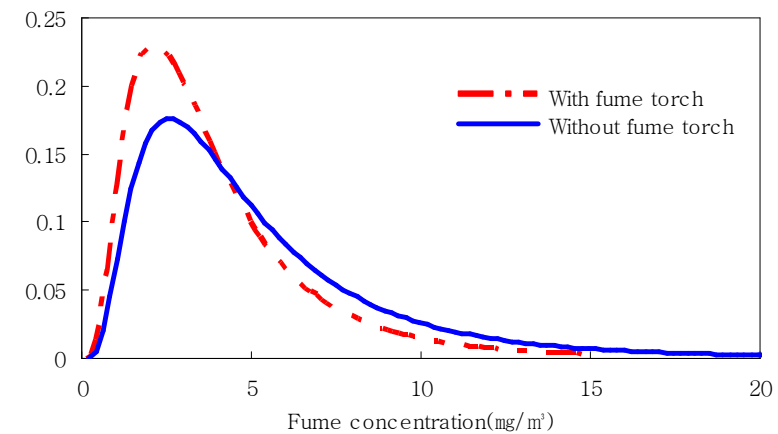
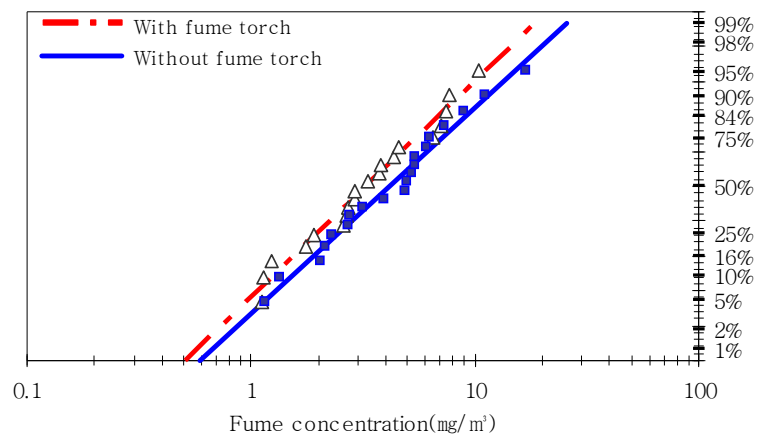


Figure 4. Personal exposure to welding fume during welding process with/without fume torch operation at inside helmet.

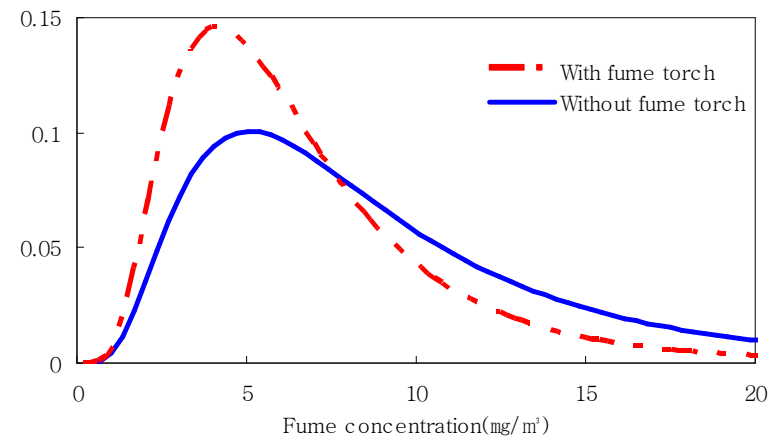
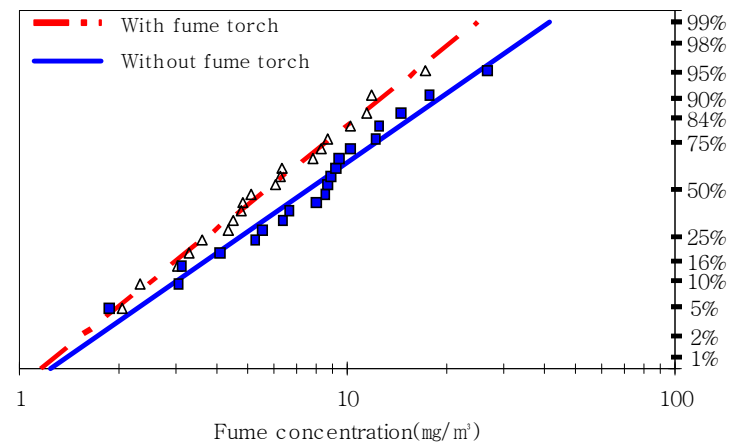


Figure 5. Personal exposure to welding fume during welding process with/without fume torch operation at outside helmet.

2.3. 와이어 소모율 비교

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때와 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 토치종류 별 와이어 소모율의 차이를 확인하기 위해 흡 토치 사용자와 기존 토치 사용자를 구분하여 와이어 소모율을 조사하였고 그 결과는 <Table 8>에서 보는 바와 같다.

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 와이어 소모율은 28.58 g/min이었고, 기존 토치 사용하여 용접하였을 때는 30.77 g/min으로 나타났다. 흡 토치를 사용하여 용접하였을 때가 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 0.19 g/min이 작은 것으로 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Independent t-test: $P=0.77>0.05$).

흡 토치를 사용함으로써 작업자 주변의 환경이 개선되어 와이어 소모량이 증가할 것으로 예상하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없지만, 0.19 g/min이 감소하였다. 이는 작업자에게 측정 당일에 흡 토치를 지급하여 사용이 익숙하지 않았던 점, 기존 토치에 비해 무게가 무겁고 투박한 점, 앵글부분과 코너 용접 그리고 흡 토치의 용접 각도에 따라 흡 배출이 용이하지 않았던 점에 기인한 것으로 판단된다.

Table 8. Comparison of wire consumption

	with fume torch operation (g/min, N=20)	without fume torch operation (g/min, N=20)
mean	28.58	30.77
standard deviation	10.388	31.501
P-value*	0.77	

Where * : P-value of Independent t-test at confidence level 95%

2.4. 와이어 소모율과 개인노출농도 상관성

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때와 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 토치 종류별 와이어 소모율과 용접면 내부와 외부 개인노출농도의 상관성 및 회귀분석을 실시한 결과는 <Table 9>에서 보는 바와 같다.

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때 와이어 소모율과 용접면 내부 개인노출농도의 상관계수 0.50이었고, 용접면 외부 개인노출농도와 상관계수는 0.59로 나타났으며, <Figure 6>에서 보는 바와 같이 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났고, 용접면 내부($0.02<0.05$)와 외부($0.01<0.05$) 모두 통계적으로 유의한 선형적 회귀모형이 존재하는 것으로 나타났다. 와이어 소모율과 용접면 내부 회귀식은 $Y = 0.1233X + 0.4555$ 로 나타났고 설명률은 25.2%이었다. 와이어 소모율과 용접면 외부 회귀식은 $Y = 0.2168X + 0.4092$ 로 설명률은 34.5%이었다.

기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 와이어 소모율과 용접면 내부 개인노출 농도의 상관계수 0.36이었고, 용접면 외부 개인노출농도와 상관계수는 0.40로 나타났다. <Figure 7>에서 보는 바와 같이 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 선형적 회귀모형은 용접면 내부($0.11>0.05$)와 외부($0.08>0.05$) 모두 통계적으로 존재하지 않은 것으로 나타났다.

흡 토치에서 와이어 소모량이 증가하면 개인노출농도가 증가하는 것으로 나타났으나, 설명률이 25.2~34.5%로 낮게 나타난 것과 기존 토치에서 선형적 회귀모형이 존재하지 않은 것으로 나타난 것은 와이어 소모량 외에 다른 요인들이 개인노출농도 증가에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 오광중(1998) 등은 아크에서 헬멧까지의 거리가 개인노출량에 영향을 미친다고 보고하였고, 신용철(1997) 등은 작업공간의 밀폐 여부 또는 환기상태가 근로자의 용접흡 개인노출농도를 결정하는

요인이라고 보고하였다. 따라서 아크에서 헬멧까지 거리, 작업공간의 밀폐 여부, 환기상태의 영향을 고려한 체계적인 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

Table 9. Correlation of wire consumption and personal exposure level

	with fume torch operation (N=20)			without fume torch operation (N=20)		
	wire consumption (g/min)	inside helmet (mg/m ³)	outside helmet (mg/m ³)	wire consumption (g/min)	inside helmet (mg/m ³)	outside helmet (mg/m ³)
mean	28.58	3.98	6.61	30.77	5.20	9.14
standard deviation	10.39	2.55	3.84	31.50	3.75	5.76
r*	-	0.50	0.59	-	0.36	0.40
P**	-	0.02	0.01	-	0.11	0.08

Where * : Correlation coefficient

** : P-value of regression at confidence level 95%

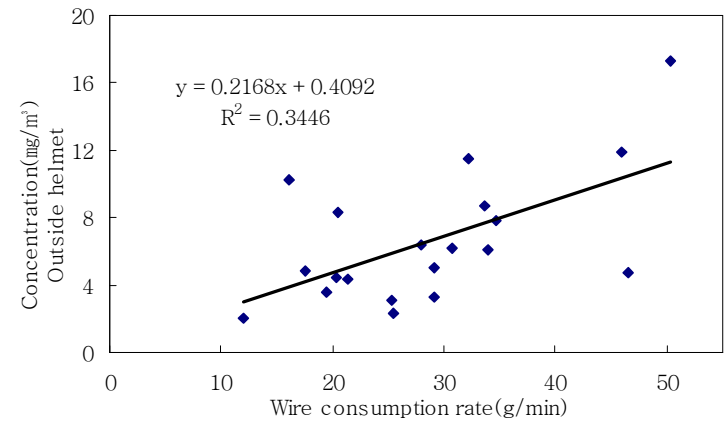
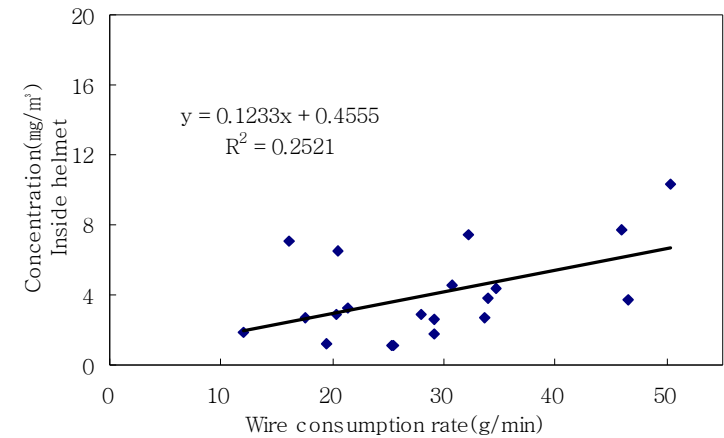


Figure 6. Correlation and regression of wire consumption and concentration at welding helmet inside and outside with fume torch operation.

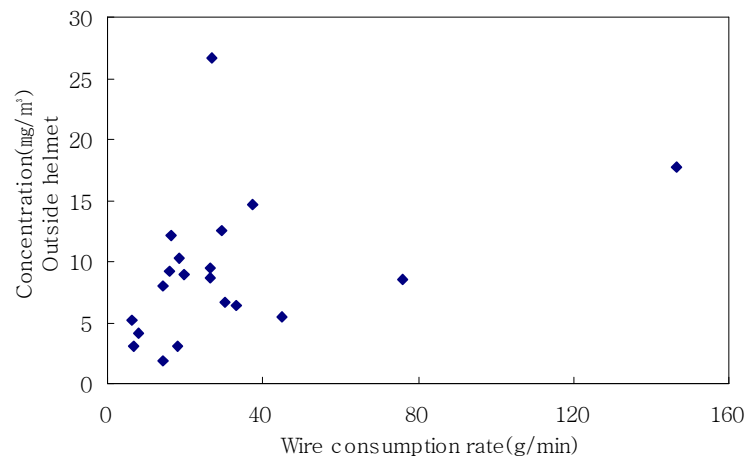
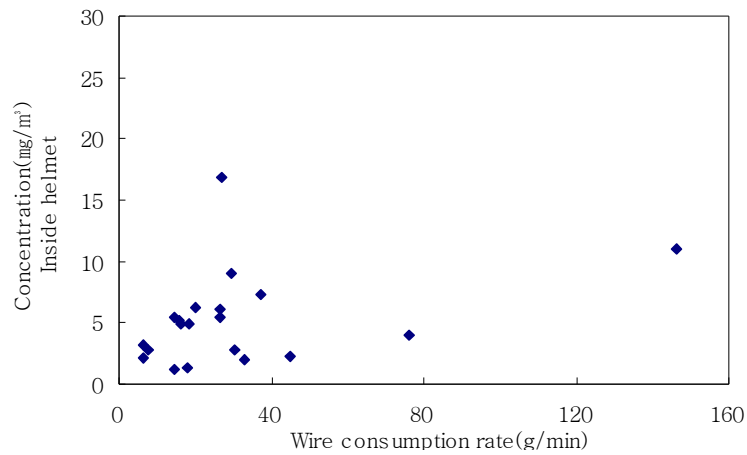


Figure 7. Correlation and regression of wire consumption and concentration at welding helmet inside and outside without fume torch operation.

2.5. 용접면 내부와 외부의 개인노출농도

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때와 기존토치를 사용하여 용접하였을 때를 구분하여 생산현장에서 측정한 용접면 내부와 외부의 개인노출농도의 비는 <Table 10>에 나타난 바와 같다.

흡 토치를 사용하여 용접하였을 때에 용접면 내부의 개인노출농도와 비교한 외부의 개인노출농도 비는 1.8이었고 통계적으로 유의한 차이가 있었으며(Paired t-test: $P=0.000<0.05$),

기존 토치를 사용하여 용접하였을 때에 용접면 내부의 개인노출농도와 비교한 외부의 개인노출농도 비는 1.9이었고 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Paired t-test: $P=0.000<0.05$).

용접면 내부와 외부의 비가 1.8~1.9로 나타난 것은 신용철(1997) 등이 보고한 2.02(1.06~3.79)배와 유사한 수준이며, Paik와 Goller(1985)의 용접면 외부의 총 흡이 내부의 총 흡 보다 1.41~2.78배 높다는 보고와 유사하였다.

Table 10. Comparison of concentration at welding helmet inside and outside

	with fume torch operation(N=20)			without fume torch operation(N=20)		
	inside helmet (Ih,mg/m³)	outside helmet (Oh,mg/m³)	ratio (Oh/Ih)	inside helmet (Ih,mg/m³)	outside helmet (Oh,mg/m³)	ratio (Oh/Ih)
mean	3.98	6.61	1.8	5.20	9.14	1.9
standard deviation	2.55	3.84	0.57	3.75	5.76	0.46
P-Value*	0.000		-	0.000		-

Where * : P-value of paired t test at confidence level 95%

2.6. 용접면 내부와 외부의 개인노출농도 상관성

흠 토치와 기존 토치 사용하여 용접하였을 때 용접면 내부와 외부의 상관성 및 선형적 회귀모형은 <Table 11>과 <Figure 8>와 <Figure 9>에서 보는 바와 같다.

흠 토치를 사용하여 용접하였을 때 용접면 내부와 외부의 개인 노출농도는 강한 양의 상관관계가 있었고($r=0.937$), 선형적 회귀모형이 존재하는 것으로 나타났다($P=1.21 \times 10^{-9} < 0.05$). 회귀식은 $Y = 0.6226X - 0.1352$ 로 용접면 외부의 농도가 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 증가하면 용접면 내부의 농도는 $0.62\text{mg}/\text{m}^3$ 증가함을 알 수 있고 설명률($R^2=0.877$)은 87.7% 이상으로 나타났다.

기존 토치를 사용하여 용접하였을 때도 용접면 내부와 외부의 개인노출농도는 강한 양의 상관관계가 있었고($r=0.963$), 선형적 회귀모형이 존재하는 것으로 나타났다($P=1.03 \times 10^{-11} < 0.05$). 회귀식은 $Y = 0.6270X - 0.5289$ 로 용접면 외부의 농도가 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 증가하면 용접면 외부의 농도가 $0.63\text{mg}/\text{m}^3$ 증가함을 알 수 있고 설명률($R^2=0.927$)은 92.0% 이상이었다.

용접면 외부의 농도가 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 증가할 때 용접면 내부의 농도는 흠 토치 보다 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때가 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ 더 증가하는 것으로 나타났다.

Table 11. Correlation and regression of concentration at welding helmet inside and outside

	with fume torch operation (N=20,)	without fume torch operation (N=20)
ratio(Oh/Ih)*	1.8 ± 0.58	1.9 ± 0.46
r**	0.937	0.963
P***	1.21×10^{-9}	1.03×10^{-11}
Regression equation	$Y = 0.6226X - 0.1352$ $R^2=0.878$	$Y = 0.6270X - 0.5289$ $R^2=0.928$

Where * : Rate of Concentration-outside divided by
concentration-Inside

** : Correlation coefficient

*** : P-value of regression at confidence level 95%

IV. 결 론

본 연구는 흄 토치를 사용하여 용접하였을 때와 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 개인노출농도, 와이어 소모율, 용접면 내부와 외부의 노출농도의 변화를 확인하고자 조선작업장 조립공정을 대상으로 측정을 실시하였고, 흄 토치의 흄 제거 효율을 확인하기 위하여 흄 포집장치 내에서 실험을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험실 조건에서 흄 토치의 효율을 용접시간 당 흄 발생량과 용착 금속 당 흄 발생량으로 산출한 결과, 흄 토치의 배기장치를 가동하고 용접하였을 때가 배기장치를 가동하지 않고 용접하였을 때 보다 흄 발생량이 97.0%가 줄어드는 것으로 나타났다.

2. 용접면 내부의 개인노출농도는 흄 토치를 사용하여 용접하였을 때 산술평균으로 3.98 mg/m³, 기존 토치는 5.20 mg/m³로 나타났고, 용접면 외부에서는 흄 토치는 6.61 mg/m³, 기존 토치는 9.14 mg/m³로 나타났으며, 흄 토치를 사용하여 용접하였을 때가 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 용접면 내부는 흄 노출량이 23.5%, 외부는 27.7%가 감소된 것으로 나타났다.

3. 용접면 내부에서 흄 토치를 사용하여 용접하였을 때 노출기준을 초과할 확률은 25.8%, 기존토치는 39.6%로 나타났고, 용접면 외부에서는 흄 토치는 59.1%, 기존 토치는 74.6%로 나타났으며, 기존 토치를 사용하여 용접하였을 때 보다 흄 토치를 사용하여 용접할 때가 노출기준 초과할 확률이 용접면 내부는 34.8%, 외부는 20.8% 낮아지는 것으로 나타났다.

4. 흄 토치를 사용하여 용접하였을 때 와이어 소모율은 28.58 g/min이었고, 기존 토치 사용하여 용접하였을 때는 30.77 g/min으로

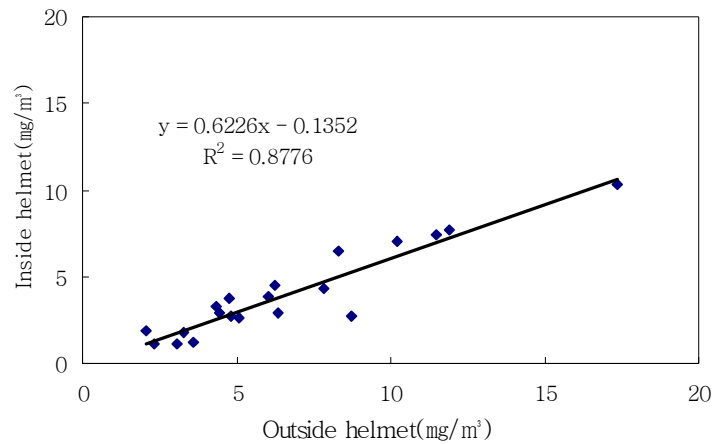


Figure 8. Regression of concentrations between welding helmet inside and outside with fume torch operation.

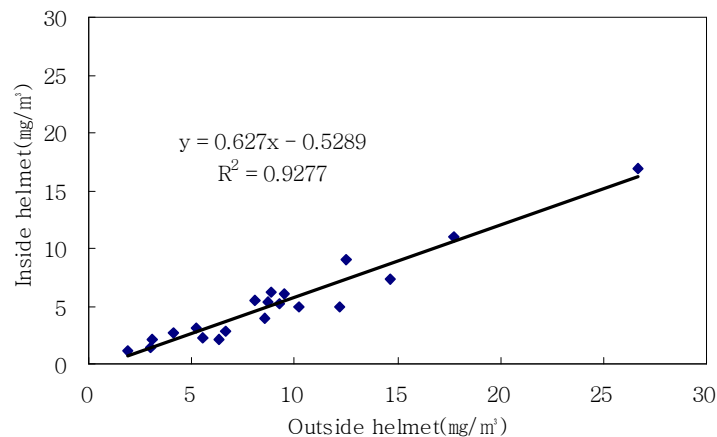


Figure 9. Regression of concentration at welding helmet inside and outside without fume torch operation.

나타났으며, 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

5. 흠 토치와 기존 토치 모두 와이어 소모율과 용접면 내부, 외부의 개인노출농도 간에는 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, 흠 토치는 선형적 회귀모형이 존재하는 것으로 나타났고 기존 토치는 선형적 회귀모형이 나타나지 않은 것으로 나타났다. 설명률이 25.2~34.5%로 낮게 나타난 것과 기존 토치에서 선형적 회귀모형이 나타나지 않은 것은 와이어 소모량 외에 다른 영향이 작용하는 것으로서 아크에서 헬멧까지 거리, 작업공간의 밀폐 여부, 환기상태의 영향을 고려한 체계적인 조사가 필요하다.

6. 흠 토치를 사용하여 용접하였을 때 용접면 내부와 비교한 외부의 개인노출농도 비는 1.8이었고, 기존 토치는 1.9이었으며, 용접면 내부와 외부 사이의 개인노출농도는 차이가 있었다.

7. 흠 토치를 사용하여 용접하였을 때 용접면 내부와 외부의 개인노출농도 간의 회귀식은 $Y = 0.6226X - 0.1352$ 로 용접면 외부의 농도가 1 mg/m³ 증가하면 용접면 내부의 농도가 0.62 mg/m³ 증가하는 것으로 나타났으며, 기존 토치의 회귀식은 $Y = 0.6270X - 0.5289$ 로 용접면 외부의 농도가 1 mg/m³ 증가하면 용접면 내부의 농도가 0.63 mg/m³ 증가하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 백남원 : 산업위생학개론, 1995.
2. 조선공업협회 : 홈페이지 조선자료집 조선인력현황.
3. 한국산업안전공단 : 용접작업관리지침(보건97-4-13), 1997.
4. 한국산업안전공단 : 산업위생핸드북(보건분야 2000-89-391), 2000.
5. 노동부 : 화학물질 및 물리적인자의 노출기준, 고시 제 2002-8호
6. 노동부 : 작업환경측정 및 정도관리규정, 고시 제 2003-62호
7. 한국산업규격 : 일반 구조용 압연 강재, AS D 3503, 1998.
8. 백은규 외 3명 : 산업환기효율 향상에 관한 연구(조선업 용접공정을 중심으로, 보건분야 2004-108-605), 2004.
9. 김정환 외 1명 : Arc 용접시 Fume 발생 특성 및 Fume의 포집/분석 기술, 한국생산기술원 생산기반기술센터, 1997.
10. 한국산업규격 : 아크 용접에서의 총흠 및 원소별 흠 발생량 평가 방법, KS D 0062, 2004.
11. 김광중 외 1명 : 모 조선업 작업장의 공기중 용접흠 농도에 관한 조사, 한국산업위생학회지 1권 1호 ,1991.

12. 변상훈 외 6명: 일부 업종의 용접흠 분석 및 폭로농도에 관한 연구, 한국산업위생학회지 5권 2호, 1995.
13. 광영순 외1명 : 모 조선소의 밀폐된 작업장에서의 공기중 용접흠 및 중금속 농도에 관한 조사 연구, 한국산업위생학회지 7권 1호, 1997.
14. 최찬기 외 3명 : 톱토치 성능 평가에 관한 연구, 한국산업위생학회지 9권 2호, 1999.
15. 송세욱 외 5명 : 압축공기를 이용한 용접흠 제어용 용접면(JASM)의 개발, 한국산업위생학회지 10권 2호, 2000.
16. 신용철 외 7명 : 용접공정에서 발생된 공기중 흠의 조성파 농도에 영향을 미치는 요인에 관한 연구, 한국산업위생학회지 7권 2호, 1997.
17. 변세환 외 5명 : 공기분사 노즐이 부착된 용접 토치를 이용한 용접 흠 제어효율 평가, 한국산업위생학회지 14권 1호, 2004.
18. American Welding Society(AWS) : Laboratory method for measuring fume generation rates and total fume emission of welding and allied processes, F1.2-92, 1992.
19. American Welding Society(AWS) : Method for sampling airborne particulates generated by welding and allied processes, F1.1-85, 1985.
20. National Institute of Occupational Safety and Helth(NIOSH) : Manual of analytical methods, fourth edition, No 0500, 1984.

21. National Institute of Occupational Safety and Helth(NIOSH) : Assessment of selected control technology techniques for welding fumes, DHEW publication No 79-125, Cincinnati, OH,1979.
22. Phoon, W.H and Tan, K.T : Welding fumes in shipyards, Occupational Safety and Helth 2, 1983.
23. Goller, J.W and N.W paik : A comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmet, American industrial hygiene association jounal. 20, 1959.

ABSTRACT

Study on the Performance of Newly Developed Fume Torch during Welding Processes at Assembly Lines in a Shipyard

Lee, Su Geon

Division of Industrial Hygiene Engineering
Graduate School of Occupational Safety and Health
Hansung University

Director

Park, Doo Yong, Dr.P.H., CIH

A newly developed fume torch was tested both in a test chamber and in the field at the welding processes in a shipyard. Fume concentrations were measured inside and outside helmet of the welders with/without use of fume torch in the fields.

Main findings in this research were as follows.

1. Fume generated in the test chamber was decreased up to 97% with use of fume torch.
2. Mean concentration of welders exposure to welding fume inside helmet was 3.98 mg/m³ with the use of fume torch and 5.20 mg/m³ without use of fume torch. Thus, fume concentration inside helmet was decreased as much as 23.5% by using fume torch.

3. Probabilities exceeding the OEL, 5 mg/m³ based on the measurement results inside helmet were 25.8% with use of fume torch and 39.6% inside helmet without use of fume torch. Thus, fume torch decreased the fume concentration inside helmet up to 34.8% by using fume torch.

4. There was no difference of wire consumption rates between with and without fume torch.

5. Ratios of fume concentrations inside and outside of helmet were 1:1.8 with use of fume torch and 1:1.9 without use of fume torch respectively.

Table 4. Measurement result without fume torch operation

No	Process	Date of sampling	Wire consumption (Wc, kg)	Welding duration (Wt, min)	Wire Consumption rate (Wc/Wt×1000, g/min)	Concentration(N=20)*****		Ratio (Oh/Ih)
						Inside helmet (Ih***, mg/m ³)	Outside helmet (Oh****, mg/m ³)	
1	SA*	08/22/05	5.9	412	14.34	1.15	1.87	1.6
2	SA	08/22/05	9.7	361	26.87	16.84	26.69	1.6
3	SA	08/23/05	3.0	384	7.81	2.74	4.09	1.5
4	SA	08/23/05	5.7	363	15.79	5.22	9.25	1.8
5	SA	08/24/05	2.5	388	6.37	3.14	5.19	1.7
6	SA	08/24/05	12.5	378	33.07	2.05	6.34	3.1
7	SA	08/25/05	10.0	378	26.46	5.39	8.69	1.6
8	SA	08/25/05	5.7	397	14.36	5.43	8.05	1.5
9	SA	08/25/05	12.5	335	37.31	7.27	14.64	2.0
10	SA	08/25/05	49.2	336	146.52	11.03	17.73	1.6
11	PA**	09/05/05	2.5	380	6.58	2.14	3.10	1.4
12	PA	09/05/05	6.3	381	16.40	4.97	12.18	2.5
13	PA	09/08/05	11.5	390	29.59	8.99	12.49	1.4
14	PA	09/08/05	10.6	403	26.33	6.12	9.49	1.6
15	PA	09/09/05	31.3	412	76.02	3.92	8.55	2.2
16	PA	09/09/05	18.0	402	44.78	2.31	5.53	2.4
17	PA	09/12/05	7.3	395	18.35	4.91	10.24	2.1
18	PA	09/12/05	12.1	400	30.33	2.76	6.65	2.4
19	PA	09/13/05	7.4	407	18.13	1.34	3.04	2.3
20	PA	09/13/05	8.3	415	19.93	6.26	8.89	1.4
Total		-	11.6±10.94	386±23.0	30.77±31.501	4.17±1.992	7.62±1.892	1.9±0.46

Where * : Semiunit assembly, ** : Panel assembly, *** : Concentration—Inside Helmet,

**** : Concentration—Outside ***** : Geometric mean ± Geometric standard deviation

Table 5. Measurement result with fume torch operation

No	Process	Date of sampling	Wire consumption (Wc, kg)	Welding duration (Wt, min)	Wire Consumption rate (Wc/Wt×1000, g/min)	Concentration(N=20)*****		Ratio (Oh/Ih)
						Inside helmet (Ih***, mg/m ³)	Outside helmet (Oh****, mg/m ³)	
1	SA*	08/22/05	6.6	375	17.49	2.70	4.82	1.8
2	SA	08/22/05	5.9	368	16.06	7.04	10.21	1.5
3	SA	08/23/05	12.5	361	34.63	4.33	7.83	1.8
4	SA	08/23/05	12.5	369	33.88	3.82	6.04	1.6
5	SA	08/24/05	10.2	350	29.11	1.75	3.29	1.9
6	SA	08/24/05	3.5	170	20.35	2.89	4.46	1.5
7	SA	08/25/05	9.8	389	25.24	1.13	3.05	2.7
8	SA	08/25/05	10.2	401	25.39	1.11	2.34	2.1
9	SA	08/25/05	14.9	325	45.97	7.68	11.89	1.5
10	SA	08/25/05	16.7	332	50.30	10.33	17.33	1.7
11	PA**	09/05/05	8.0	374	21.36	3.30	4.33	1.3
12	PA	09/05/05	4.5	373	11.98	1.90	2.05	1.1
13	PA	09/08/05	13.1	405	32.22	7.45	11.49	1.5
14	PA	09/08/05	13.5	402	33.58	2.68	8.71	3.3
15	PA	09/09/05	18.5	397	46.55	3.71	4.75	1.3
16	PA	09/09/05	11.6	398	29.07	2.60	5.06	1.9
17	PA	09/12/05	11.5	414	27.87	2.89	6.35	2.2
18	PA	09/12/05	7.7	397	19.45	1.23	3.59	2.9
19	PA	09/13/05	12.2	399	30.65	4.54	6.22	1.4
20	PA	09/13/05	7.7	376	20.51	6.49	8.33	1.3
Total		-	10.6±3.94	352±71.5	28.58±10.388	3.27±1.922	5.69±1.755	1.8±0.58

Where * : Semiunit assembly, ** : Panel assembly, *** : Concentration—Inside Helmet,

**** : Concentration—Outside, ***** : Geometric mean ± Geometric standard deviation