한국산업위생학회지 제13권 제3호(2003년 12월)
J Korean Soc Occup Environ Hyg 2003;13(3):

새 국제표준규격에 의한 수용성 유해금속의 평가

윤 충 식[‡]

대구가톨릭대학교 자연대학 산업보건전공

New ISO Procedure for the Evaluation of Hazardous Metals Having Soluble Occupational Exposure Limits

Chung Sik Yoon[†]

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

This study was performed to investigate the total (insoluble+soluble) metal contents and soluble metal contents in flux cored arc welding fumes. A well designed fume collection chamber for welding operations was used for flux-cored arc welding with CO_2gas. Nine different products of 1.2 mm diameter flux-cored wires, five of which were for stainless steel welding applications and the others were for non-stainless welding. Ashing for total metal compositions were treated by NIOSH 7300 method and soluble metals were extracted by newly developed ISO 15202-2(Annex B). Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES) was used to analyze 13 different metal components. The contents of all metals were 47.6% in the non-stainless welding fumes whereas 36.4% in the stainless welding fumes. But the soluble contents of all metals were higher in stainless welding fume than in non-stainless welding fumes(15.% vs 8.3%). The reason that soluble fractions are higher in stainless welding fumes is that there are high levels of potassium and sodium, which contribute other metals to be solubles. Hexavalent chromium, A known human carcinogen, can easily be soluble by combining with potassium and sodium. Total chromium content in stainless welding fumes were 3.8 (2.8-5.2)% and soluble content was 0.8(0.4-1.2)%. So, the soluble fraction of chromium was 21.3% in stainless flux cored arc welding fumes. The content of aluminum was exceptionally high in self-shielded flux cored wire fume(product 'D'). The reason is that aluminum is added as a de-gassing agent that protect the melting part from the nitrogen and oxygen. It was found that soluble chromium concentration should be evaluated for stainless flux cored arc welding. This study revealed that how to use the fume concentration and/or total(insoluble + soluble) metal concen- tration to estimate soluble concentration of occupational exposure limit designated metals.

The metal compositions of flux cored arc welding fumes were similar to those of shielded metal arc welding whereas welding method of flux cored arc welding were similar to that of metal gas arc welding(MIG or MAG), which were mainly explained by flux existed in both flux cored arc welding and shielded metal arc welding.

Key Words : Solubility, Flux, Welding, Fume, ISO, Chromium, OEL, Flux-cored arc welding

Ⅰ. 서 론

세계 각국의 직업노출기준(Occupational Exposure Limit; 이하 OEL)의 근간이 되어

* 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2002-003-D00166)에 의하여 연구되었음.
접수일 : 2003년 10월 22일, 채택일 : 2003년 12월 10일
† 교신저자 : 윤충식(경북 경산시 하양읍 금락 1리 330번지 대구가톨릭대학교 자연대학)
Tel : 053-850-3738, E-mail : csyoon@cu.ac.kr)

온 것은 미국정부산업위생전문가협의회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 이하 ACGIH)의 노출기준인 Threshold Limit Values(이하 TLV)이다. TLV 및 각국의 OEL에는 몇몇 수용성 금속에 대한 OEL이 설정되어 있었음에도 불구하고, 그 분석방법은 통일되지 않았거나 제정되지 못하여 나라 또는 기관마다 달랐다(Fairfax & Boltzer, 1994). 따라서 각 나라 또는 기관 간 평가방법의 차이로 인한 부적절한 측정분석은 작업환경개선이나 직업병 진단시 작업장평가 및 개인 노출량 평가의 잘못을 가져오게 하였고, 자료의 비교를 어렵게 하였다. 우리나라도 수용성 금속에 대한 노출기준이 있음에도 불구하고(표 1), 실제로 작업환경 측정 자료에서는 수용성 금속에 대한 평가 자료가 없다.

작업장의 공기 중 유해금속평가를 할 경우 그 절차는 크게 시료채취, 전처리, 분석으로 대별할 수가 있다. 시료채취는 대개 여과지를 사용하여 공기 중 입자상물질을 모두 채취하는 과정으로 이루어지며 금속분석을 원자흡광분석기나 유도결합플라스마-원자발광분석기로 분석하는 경우는 일단 전 처리된 해당금속을 모두 분석하게 된다. 따라서 수용성 금속만을 평가하려고 한다면 전 처리 과정에서 수용성 금속만을 추출해내야 한다.

학문적으로는 금속원소에 대한 '수용성(soluble)'이라는 용어가 친숙한 용어임에도 불구하고 분석을 위한 시료 전 처리는 기관마다 조작적 정의(operational definition)를 다르게 사용하고 있다. 일반적으로 분석화학에서 수용성이란 '순수한 물에서 어떤 물질의 해리도'를 의미한다. 따라서 금속 및 금속화합물에서는 수용성이란 물에서의 용해도를 의미한다. 대개 어떤 물질이 물에 1%이상 녹으면 수용성으로 정의하고 있는데 실제로 작업환경 중 금속이 얼마만큼 물에 녹을지 결정하는 것은 근로자의 노출량 평가에서 매우 중요하다. 분석적 측면에서 보면 해리도는 각 분석방법 및 목적에 따라 조작적 정의가 다르다. 더구나 보건측면에서 보면 생체액(body fluid)의 조성도는 물과 다르므로 체내에서 용해도는 물과 다를 것이다. 따라서 금속의 대사 및 건강영향은 체내에서의 수용성에 따라 다르다. 따라서 OEL에 수용성이란 개념은 어떤 작동적 정의를 포함하고 있는 것인가가 중요한데 이에 대한 명확한 정의가 내려져 있지 않다.

산업보건 또는 일반 환경 분야에서 공기 중 수용성 금속의 분석방법에 대해 국제적으로도 이에 대한 문제제기가 간헐적으로 이루어져 왔으나 수용성에 대한 화학적 또는 작동적 정의에도 불구하고 실제적으로 구체적인 분석방법은 체계화되지 못하였다(Ashley, 2001).

현재까지 나와 있는 문헌을 요약하면 분석적 측면에서 수용성 금속을 추출하는데 있어 구체적인 실험절차는 다양하지만 크게 대별하면 두 가지이다. 첫 번째는 순수한 물을 이용하여 추출하는 방법인데 이는 '수용성'이라는 정의를 반영하고 있다. 다른 한 가지 방법은 희석된 염산(대개 0.1M이하)을 사용하여 추출하는 방법으로 이는 위산에서 수용성 금속의 해리를 염두에 두어 추출하는 방법이다. 두 경우 모두 추출온도는 체온을 고려하여 37℃를 사용한다. 그러나 작업환경중 금속은 모두 위로 들어가지 않기 때문에 이에 대한 반론도 있다. 니켈은 다른 금속과는 달리 수용성 니켈을 추출할 때는 ammonium citrate를 사용하도록 하고 있다(HSE 1998). 작업환경이외에 소비자들이 사용하는 제품에서 수용성 금속의 측정이 문제화되기도 하는데 대개 이 경우 0.07~0.14 M HCl을 사용하여 상온이나 37℃에서 추출하는 것을 규정하고 있다(ASTM, 1994; ISO 1984).

1990년대 이후 수용성 금속에 대한 적절한 분석방법에 대한 논의가 되어왔으며(Fairfax & Boltzer, 1994) 국제표준화기구(International Organization for Standardization; ISO)는 2001년도에 작업환경 중 수용성 금속의 전 처리 및 분석방법에 대한 국제 표준 시험 드래프트(FDIS; Final Draft International Standard)를 발간하여 국제적 통일성을 기하려고 하여 현재는 국제 표준(IS 15202-2)으로 발간되고 있다(http://www.iso.ch). 그러나 ISO 국제 표

Table 1. Occupational exposure limits for soluble hazardous metals

Element and soluble compounds	우리나라 노출기준 (mg/m³)	ACGIH TLV-TWA (mg/m³)
Aluminum-Soluble salts, as Al	2	2
Barium-Soluble compounds, as Ba	0.5	0.5
Chromium-Water-soluble CrVI compound	0.05	0.05
Iron-Soluble salts, as Fe	1	1
Molybdenum-Soluble compound, as Mo	5	0.5
Nickel-Soluble compounds, as Ni	0.1	0.1
Platinum-Soluble salts, as Pt	0.002	0.002
Rhodium-Soluble compounds, as Rh	-	0.01
Silver-Soluble compounds, as Ag	0.01	0.01
Thallium-Soluble compounds, as Tl	0.1	0.1
Tungsten-Soluble compounds, as W	1	1
Uranium-Soluble compounds, as U	0.2	0.2

준은 어느 한 국가가 발의하여 여러 국가에서 이론적 검토를 하여 투표로서 결정하는 과정을 거치기 때문에 최종 규격이 적정한지 평가한 예가 없다. 또한 기존의 각국이나 각 기관에서 제시하는 다른 시험방법은 각 국가마다 또는 기관마다 그 방법이 달라 자료의 비교 평가에 문제점이 있다.

국내에서는 작업환경측정분석의 공정시험법이 없고, 측정보고서에 분석방법이 상세히 제시되지 않고 있어(작업환경측정기관협의회, 2001) 실태를 파악하기 어려우나 수용성 금속을 측정하는 경우는 없고, 대부분 산으로 전 처리한 후 원자흡광분석기(일부기관은 유도결합플라스마-원자발광분석기)로 분석하고 있다. 이런 경우 실제로 분석한 금속은 총 금속(수용성 + 불용성)으로 노출기준이 수용성으로 제시된 경우 그 평가는 부적절한 것이 된다.

용접 흄은 여러 가지 금속을 함유하고 있고, 금속이 다른 금속 또는 다른 원소와 다양한 결합상태를 이루고 있기 때문에 수용성을 시험하기에 적합한 입자상 물질이다. 특히, 스테인리스 강에 대한 용접을 할 때 발생되는 용접 흄은 발암성 물질인 니켈과 크롬을 비롯하여 여러 종류의 금속을 포함하고 있고, 이때 니켈 및 크롬은 수용성에 대한 노출기준이 설정되어 있으나 이에 대한 국제 및 국내 연구는 미흡하다. 알루미늄을 비롯한 다른 금속도 역시 수용성이냐 아니냐가 인체에 미치는 영향이 중요한데 이에 대한 평가가 이루어지지 않고 있다. 국내에서는 용접흄 중 수용성 6가 크롬에 대해서만 쉽고 정확하게 분석하는 방법이 제안되었고(윤충식 등, 1999) 수용성 6가 크롬의 함량도 평가되었으나(윤충식, 2000) 다른 수용성 금속의 전 처리 방법에 대한 연구는 되어 있지 않다.

이런 측면에서 새로 제정된 국제 표준규격을 이용하여 유해금속을 다량 함유하고 있는 입자상 물질인 용접흄에 대한 특성을 연구하는 것은 학문적 가치뿐 아니라 근로자가 일하는 작업환경관리나 직업병 진단에서 매우 중요한 의미를 갖고 있다.

본 연구의 목적은 입자상물질 중 다양한 유해 금속을 포함하고 있는 용접흄중 Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca의 13가지 금속에 대하여 총 금속(불용성+수용성)의 함량과 2001년 새로 규격화된 ISO의 공정시험법 IS 15202-2의 시료 전 처리법 방법을 적용하여 수용성 성분의 함량을 평가하는데 있다.

Ⅱ. 연구방법

1 용접작업의 수행

본 연구에 사용할 용접흄 발생 및 시료 채취장치는 KS 규격 및 미국용접학회규격을 만족하며 자동과 수동 용접을 할 수 있고, 단위 시간당 용접 흄 발생량을 측정할 수 있도록 고안된 장치를 사용하였다. 이 장치는 용접시간, 용접길이, 와이어 송급속도, 용접속도, 토치각도, CTWD (Contact Tube to Workpiece Distance) 및 흄 채취시간을 변화시키면서 각 변수를 모니터링 할 수 있도록 설계되었다(한국생산기술연구원, 1998; 채현병 외, 1998). 이 용접 흄 발생장치를 이용하면 CO_2 플럭스 코어드 아크용접을 용이하게 수행할 수 있으며 위에 열거된 용접조건을 정확히 모니터링 할 수 있다.

주된 용접조건인 전류와 전압은 용가재 제조회사에서 추천하는 적정전류-전압조건에서 수행하였다(표 2). 용가재는 모두 직경 1.2 mm인 플럭스 코어드 와이어로 비스테인리스용 4 제품(A, B, C, D)과 스테인리스 강용 제품 5가지(E, F, G, H, I)로 비스테인리스용일 경우 연강(SS 400)을 모재로 하고, 스테인리스용일 경우 스테인리스 강(STS 304)을 모재로 하였으며 보호가스로 CO_2를 사용하였다. 제품 'D'는 용접할 때 보호가스가 필요 없는 'self shield'용이다.

2. 용접 흄의 시료채취

용접이 진행되는 동안 용접 흄 채취장치 상단에 장착한 0.6 ㎛ 공극을 갖는 254 ㎜ x 203㎜ 크기의 유리 섬유 여과지(공극 0.6㎛, 254mm x 203mm, Whatman 2000, USA)로 용접 흄을 채취하였다. 이때 유리섬유여과지에 많은 용접 흄이 쌓이게 되면(2분 이상 용접), 용접흄중 금속 함량 및 수용성 금속 함량을 분석하기 위하여 유리섬유 여과지로부터 태플론 주걱칼을 이용하여 표면의 흄을 조심스럽게 긁어모아서 잘 세척된 바이알에 용접 흄만을 모았다. 이 용접 흄은 온습도 조절 데시케이터에 보관하면서 평가시험 재료로 사용하였다.

3. 용접 흄중 총 금속의 평가

수용성 금속에 대한 시험방법을 적용하기 이전에 용접 흄중 각 금속(비수용성 포함)의 함량을 결정하였다. 이 실험을 수행하여야 흄 중 각 중금속 함량을 알 수 있고, 추후 수용성 금속 실험을 수행한 후 각 금속별로 수용성이 얼마나 되는지 평가할 수 있기 때문이다. 총 금속함량을 결정하기 위한 전 처리는 NIOSH 7300 방법에 따라 수행하였으며, 분석은 유도결합플라스마-원자발광분석기(ICP-AES)를 이용하여 Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca의 최적 발광파장을 이용하였다.

4. 용접 흄중 수용성 금속의 평가

용접 흄중의 수용성 금속을 평가하기 위하여 용접 흄 일정량을 취하여 새로 국제 규격화된 ISO 15202-2의 부록 B(ISO 15202-2 annex B)방법을 적용하여 분석하였다. 표 3은 새로 국제 규격화된 ISO 15202-2 방법 중 수용성 금속의 실험방법의 개요를 기술한 것이다(ISO, 2001). 이렇게 전 처리하여 추출된 수용성 금속을 유도결합플라스마-원자발광분석기(ICP-AES)를 이용하여 Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca의 최적 발광파장을 이용하였으며 본 논문에서는 주로 철, 크롬, 알루미늄, 바륨등 수용성 금속의 TLV가 설정된 금속에 대해 평가하였다.

Table 2. Welding conditions and materials for generating fumes

Welding parameters	Conditions
Welding type and method	: Flux cored arc welding, beads on plate
Welding time(sec)	: 120
Shielding gas	: CO_2(20 L/min)
Nominal voltage(V) and current	: Optimal input energy(25 V and 180 A)
Current characteristics	: DCEP(Direct Current Electrode Positive)
Welding machine	: Dyna Auto Super 600(Japan)
Electrode type	: A(Dual Shield 7100, AWS A5.20 E 71T-1, KSD 7104, SeAH ESAB, Korea) B(Dual Shield 8000-B2, AWS A5.29 E80T5-B2, KSD 7121, SeAH ESAB, Korea) C(Dual Shield 9100, AWS A5.29 E91T1-Ni1, KSD 7104, SeAH ESAB, Korea) D(Core Shield 15, AWS A5.20 E71T-GS, KSD 7104, SeAH ESAB, Korea) E(K308LT, AWS A5.22 E308LT1-1/4, KSD 3612, Koryeo Rod, Korea) F(Shield Bright 316L, AWS A5.22 E316LT0-1, KSD 3612, SeAH ESAB, Korea) G(Shield Bright 308L, AWS A5.22 E308LT0-1/4, KSD 3612, SeAH ESAB, Korea) H(Shield Bright 309L, AWS A5.22 E309LT0-1/4, KSD 3612, SeAH ESAB, Korea) I(SW308 Cored, AWS A5.22 E308LT1-1, KSD 3612, Hyun Dae Rod. Korea)
Test plate	: Mild Steel(SS 400) for wire A ~D, STS 304(260 ㎜ x 260 ㎜ x 10 ㎜) for wire E ~I, Travel speed; 6 mm/sec
CTWD	: 14 mm
Torch angle	: 90 °
Wire feeding rate	: 15.1 m/min

단, 수용성 니켈 분석을 위하여 일정양의 용접 흄을 ammonium citrate 추출용액으로 추출하였다. 추출액의 제조는 17 g의 di-ammonium hydrogen citrate(CAS No. 5949-29-1, Aldrich, USA)와 5g의 citric acid monohydrate(Cas No. 3012-65-5, Fluka, Switzerland)를 칭량하여 3차 증류수로 1 리터로 하여 pH 4.4로 하였다.

5. 통계처리

용접종류별 금속함량은 해당 용접 흄중 금속 함량을 백분율

$$Metal\ content,\ \% = \frac{metal\ analysed}{fume\ mass}\times 100)$$

로 계산하였으며 금속중 수용성 금속의 함량의 평가도 백분율(Soluble metal

$$fraction,\% = \frac{Soluble\ metal\ analysed}{Total\ metal\ analysed}\times 100)$$

로 표시하였다. 분석방법의 정밀도를 보기 위하여 표준편차(SD) 또는 상대표준편차(Sr)를 계산하였다. 필요한 경우 분산분석을 실시하여 95% 신뢰수준에서 유의성 테스트를 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 용접 흄중 금속성분 함량

용접 흄중 주요 금속 구성성분인 Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca의 총 함량은 표 4와 같이 비스테인리스강용 플럭스 코어드 와이어일 경우 평균 및 표준편차는 47.9±1.6%였으며, 스테인리스 강용 플럭스 코어드 와이어의 경우 36.4±1.5%로 95% 신뢰수준에서 유

Table 3. Digestion method for soluble metals and analytical method

Digestion Methods	
	·Fume weighing after desiccation ·Fume treatment with 5 ml deionized water (ammonium citrate solution in case of Ni) ·Mechanical agitation(120 rpm) in a water bath at 37±2℃for 60 min. ·Filtration using suction apparatus or syringe filter ·Acidifying with nitric acid to stabilize dissolved metal
Analytical Method	
Model	: Optima 3000 DV(Perkin-Elmer, USA)
Sample flowrate	: 1 ㎖/min
Electromagnetic power	: 1300 W
Detector	: Charge-coupled device(CCD) detector

의한 차이가 있었다(p<0.01). 평균 함량이 가장 높은 철인 경우 비스테인리스 용접흄에 평균 25.3%가 함유되었으며 스테인리스 용접흄에서는 이의 약 1/3정도인 7.7%가 함유되어 있다. 니켈의 경우 비스테인리스 용접 흄에서는 전혀 검출이 되지 않았으나 스테인리스 용접흄인 경우 약 0.9%가 함유되어 있다. 크롬은 스테인리스 용접흄에서 3.8%로 검출되었다. 비스테인리스 용접흄인 경우 제품 'B'를 제외한 나머지 와이어의 용접흄에서는 크롬이 함유되지 않았으나 내열강용 와이어인 제품 'B'의 용접흄에서는 크롬이 0.6% 함유되었다. 실제로 제품 'B' 제조회사에서 제공하는 용착금속(용접흄이 아닌 용접된 부위의 금속)의 성분을 분석한 자료에서도 크롬이 1.1% 함유되어 있다고 표기되어 있고, 금속의 내열성을 높이기 위해서는 크롬이 함유되어야 하기 때문에 일반 연강용 용접와이어라 하더라도 내열강용 와이어를 사용할 때는 크롬이 공기중으로 방출됨을 알 수 있다. 칼륨은 스테인리스 용접흄이 비스테인리스 용접흄에서의 함유량 보다 높고(10.8% vs 1.8%), 역으로 마그네슘은 비스테인리스 용접흄에서 높았다(6.7% vs 0.03%). 망간은 'self-shield' 와이어인 제품 'D'를 제외하고는 비스테인리스 용접흄과 스테인리스의 용접흄중 함량차이는 유의하지 않았으며(p=0.24)와 바륨, 리튬, 아연, 구리 등의 각각의 함유량이 0.1% 미만으로 차이가 없었다.

제품 'D'는 용접시 보호가스가 필요 없는 'self-shield'와이어로 다른 와이어의 용접흄과는 특이한 금속함유량 특징을 보이고 있다. 특징적으로 이 제품의 용접흄에서 알루미늄(7.6%), 마그네슘(20.6%), 칼슘(1.4%)의 함유량이 다른 형태의 와이어 용접흄(알루미늄; 0.6% 미만, 마그네슘; 5.0% 미만, 칼슘; 0.2% 미만)보다 높고, 망간(1.7%) 및 나트륨(0.5%)의 함유량은 다른 와이어(각각 6.0~10.1%, 2.7~6.5%)보다 낮다.

2. 용접흄중 수용성 금속 성분 함량

용접흄중 주요 금속 구성성분인 Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca의 수용성 금속 함량은 표 5와 같이 비스테인리스강용 플럭스 코어드 와이어일 경우 평균 8.3(범위; 3.0~12.5)%였으며, 스테인리스 강용 플럭스 코어드 와이어의 경우 평균 15.7(범위 6.1~23.8)%였다. 총 금속함량은 스테인리스 강용 플럭스 코어드 와이어의 흄보다 비스테인리스강용 플럭스 코어드 와이어의 흄중에서 많으나(47.9% vs 36.4%), 수용성 금속은 반대로 스테인리스 강용 플럭스 코어드 와이어에서 금속 함량이 높다(8.3% vs 15.7%). 그 이유는 주로 수용성 칼륨 성분이 스테인리스용 와이어에서 비스테인리스강용 와이어보다 높기 때문이다(7.9% vs 1.3%). 총 금속 성분중 수용성 부분은 비스테인리스 와이어의 용접흄일때는 17.3(6.3~27.2)%이었으나 스테인리스 용접흄에서 44.8(17.0~64.8)%로 95% 신뢰수준에서 유의한 차이가 있었다(p=0.02). 표 4와 표 5를 비교하면 용접흄에 존재하는 여러 금속중에서 그 함량이 1% 이상이며 주로 수용성으로 존재하는 금속은 나트륨(비스테인리스 용접흄 82.8%, 스테인리스 용접흄 97.0%), 칼륨(비스테인리스 용접흄 74.6%, 스테인리스 용접흄 92.6%)이다. 이들은 여러 가지 다른 금속을 수용성으로 만드는 역할을 한다.

용접흄중 철의 총 함량은 플럭스 코어드 와이어가 비스테인리스강용일 경우 평균 25.3%였으나 스테인리스용 와이어일 경우 7.7%였다. 수용성 철인 경우 비스테인리스강용일 경우 전체 흄중 2.0%를 차지하였고, 스테인리스용 와이어일 경우 0.2%였다. 따라서 철은 비스테인리스 용접흄에서 수용성 부분이 8.0%였으며 스테인리스 용접흄일 때는 철중의 3.0%만이 수용성으로 존재하고 나머지는 불용성으로 존재한다.

용접흄중 크롬의 총 함량은 플럭스 코어드 와이어가 비스테인리스강용일 경우 평균 내열강용일 경우만 0.6% 함유를 함유하고 있었고 다른 종류의 와이어를 사용하였을 때는 함유하고 있지 않았으나, 스테인리스용 와이어일 경우 평균 3.8%였다. 용접흄중 수용성 성분은 내열강일 경우 0.2% 함유하였고, 스테인리스용 와이어일 경우 0.8%를 함유하였다. 스테인리스 용접흄에서 발생되는 크롬중에서

Table 4. Contents of total metals(insoluble+soluble) in flux cored wires

Basemetal & wire type	Product	Metal(Soluble+Insoluble) contents in fume, Mean(%)±SD										
		Fe	Cr	Al	Ni	Ba	Mn	Na	K	Mg	Others	Total*
Non-stainless Steel	A(n=3)	30.1±0.17	<0.01	0.31±0.25	<0.01	<0.01	10.06±0.30	4.81±0.75	3.38±0.03	1.07±1.58	0.17	49.90±2.61
	B(n=3)	29.9±0.64	0.62±0.01	0.07±0.06	<0.01	<0.01	8.19±0.09	6.49±1.35	0.23±0.10	0.15±0.17	0.34	45.99±1.45
	C(n=3)	25.4±1.12	<0.01	0.05±0.04	<0.01	0.01±0.02	8.77±0.31	5.33±0.63	3.24±0.12	5.02±0.29	0.16	47.98±1.90
	D(n=3)	15.8±0.51	<0.01	7.56±0.23	<0.01	0.02±0.03	1.65±0.15	0.48±0.42	0.18±0.19	20.61±0.55	1.52	47.82±1.05
Stainless steel	E(n=3)	8.87±0.33	3.93±0.14	0.37±0.09	0.86±0.03	0.02±0.02	9.29±0.34	6.04±0.76	9.00±0.73	0.12±0.20	0.10	38.60±2.52
	F(n=3)	6.96±0.34	3.02±0.27	0.52±0.02	0.92±0.05	0.03±0.04	7.22±0.43	5.38±0.67	12.11± 1.64	<0.01	0.07	36.23±2.99
	G(n=3)	4.52±0.05	2.81±0.10	0.13±0.01	0.46±0.01	<0.01	6.01±0.26	5.90±0.15	16.86± 0.38	<0.01	<0.01	36.69±0.86
	H(n=3)	5.09±0.24	3.97±0.40	0.35±0.03	1.02±0.06	<0.01	6.48±0.25	5.14±0.26	12.42± 1.15	<0.01	<0.01	34.47±2.24
	I(n=3)	13.0±0.40	5.17±0.48	0.56±0.02	1.33±0.04	<0.01	9.35±0.42	2.74±0.41	3.60±0.39	<0.01	<0.01	35.75±1.81

* Total metal includes Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca

Table 5. Contents of soluble metals in flux cored wires

Base Metal & wire type	Product	Soluble metal contents in fume, Mean(%)±SD										
		Fe	Cr	Al	Ni*	Ba	Mn	Na	K	Mg	Others	Total**
Non-stainless Steel	A(n=3)	1.18±0.25	<0.01	0.07±0.05	<0.01	<0.01	0.19±0.32	4.33±0.33	2.40±0.19	0.20±0.08	0.01	8.38±1.06
	B(n=3)	5.89±1.48	0.23±0.02	<0.01	<0.01	<0.01	1.85±0.40	4.51±2.15	<0.01	<0.01	0.02	12.5±0.25
	C(n=3)	1.02±0.25	<0.01	0.01±0.01	<0.01	<0.01	0.12±0.20	5.03±0.61	2.74±0.05	0.30±0.08	<0.01	9.22±0.71
	D(n=3)	<0.01	<0.01	0.26±0.23	<0.01	<0.01	0.02±0.03	0.29±0.47	0.10±0.17	0.99±0.04	1.36	3.02±0.23
Stainless Steel	E(n=3)	0.44±0.01	0.99±0.02	0.04±0.01	0.07±0.003	<0.01	0.72±0.07	5.67±0.60	8.15±0.66	<0.01	0.01	16.09±1.35
	F(n=3)	0.11±0.03	0.63±0.02	0.04±0.02	0.04±0.004	<0.01	0.14±0.12	5.05±0.90	11.44±1.61	<0.01	<0.01	17.45±4.03
	G(n=3)	0.17±0.05	1.16±0.02	<0.01	0.06±0.01	<0.01	0.11±0.18	5.90±0.15	16.36±0.37	<0.01	<0.01	23.76±0.54
	H(n=3)	0.03±0.03	0.89±0.07	0.01±0.003	0.04±0.01	<0.01	0.14±0.04	5.14±0.36	11.71±1.09	<0.01	<0.01	17.95±3.55
	I(n=3)	0.39±0.17	0.35±0.15	0.02±0.004	0.04±0.02	<0.01	0.27±0.24	2.69±0.40	2.32±0.38	<0.01	<0.01	6.08±0.79

* Ni in this table was extracted with distilled water like other metals. Ammonium citrate solution extracted Ni was presented at table 6.
** Total metal includes Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K, Mg, Zn, Cu, Ca

수용성으로 존재하는 것은 21.3 (6.7~41.2)%이고 나머지는 불용성으로 검출되었다. 이 수용성 크롬은 산업보건학적으로 매우 중요한데 대부분의 수용성 크롬은 대부분 6가 형태로 존재하기 때문이고 이는 발암성으로 알려져 있다(Koponen et al., 1981). 불용성 크롬은 6가로 존재할 수 도 있으나 다른 원자가로도 존재할 수 있다.

비스테인리스 용접흄과 스테인리스 용접흄에서 알루미늄은 용접흄중 각각 0.08, 0.02%가 수용성으로 존재한다. 따라서 총 알루미늄의 4.2%와 6.2%만이 수용성 성분으로 존재한다. 망간은 용접흄중 각각 0.6%와 0.3% 수용성이므로 총 망간에서 수용성 망간은 각각 7.6%와 3.6%이다. 용접 흄중 총 알루미늄함량이 다른 와이어에 비해 많이 높았던 'self shield' 제품 'D'인 경우에도 총 알루미늄의 3.4%만이 수용성으로 분석되어졌다. 칼슘은 제품 D에서만 용접흄의 1.4%만 수용성으로 검출되었으며 수용성 바륨, 리튬, 아연, 구리 등은 모든 용접흄에서 0.1% 미만으로 검출되었다.

그림 1은 분석대상금속 13가지의 총 함량과 수용성 금속의 함량을 표시한 것이다. 그림 2, 3, 4는 ACGIH 및 우리나라 작업환경기준에 수용성 성분으로 노출기준이 설정된 것으로 용접흄에서 검출된 철, 크롬, 알루미늄의 함량(불용성+수용성)과 수용성함량을 표시한 것이다.

3. 수용성 니켈

서론에서 언급하였다시피 수용성 금속은 물에서의 수용성을 전제로 한다. 그러나 니켈에 대한 수용성 금속을 분석할 때는 다른 금속과는 달리 증류수를 이용하지 않고, ammonium citrate 용액을 이용하도록 하고 있다. 수용성 니켈의 분석에서 ammonium citrate를 사용하는 이유는 이 용액의 완충액으로서의 역할과 킬레이트

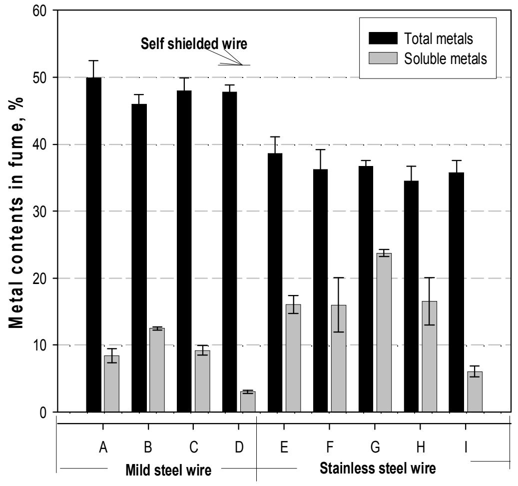

Fig 1. Total metal and soluble metal contents in fume by wire types.

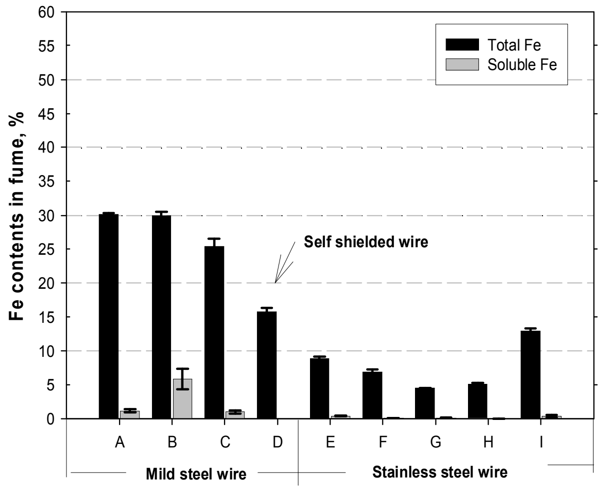

Fig 2. Total iron and soluble iron contents in fume by wire types.

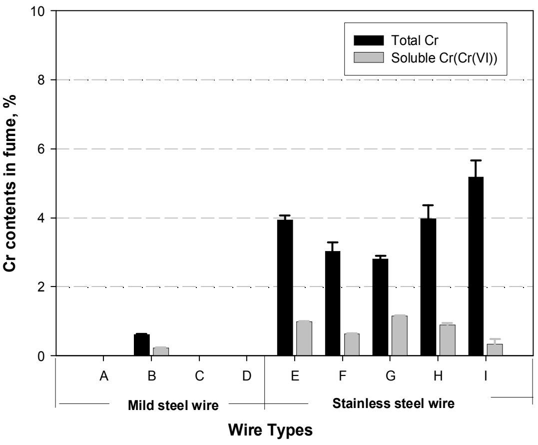

Fig 3. Total chromium and soluble chromium contents in fume by wire types.

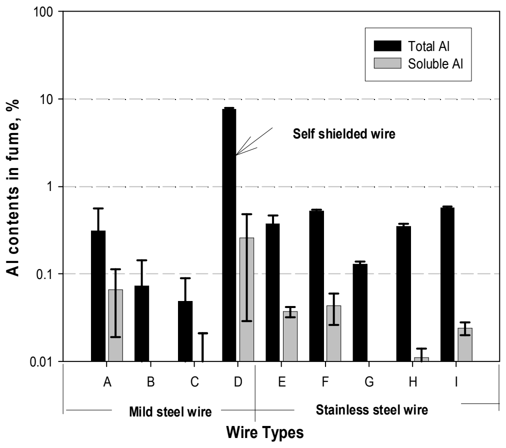

Fig 4. Total aluminum and soluble aluminum contents in fume by wire types.

형성능력 때문이다. 이는 원자가가 높은 니켈이온의 추출과 가수분해에 따른 수용액의 pH를 거의 변하지 않게 하며, 불용성 니켈이 영향 받지 않도록 해준다 (Zatka et al, 1992).

본 연구에서는 제품 'A', 'D', 'G', 'H' 네 종류의 용접흄을 증류수로 전 처리했을 때와 ammonium citrate 용액으로 전 처리 했을 때를 비교하였다.

비스테인리스 강에 대한 와이어인 제품 'A'와 제품 'D'에서는 표 4 및 표 6에서와 같이 총 니켈 및 수용성 니켈이 거의 검출되지 않았는데 이는 모재나 와이어에 거의 니켈 성분이 존재하지 않기 때문이다.

표 4 및 표 6에서 보듯이 스테인리스강 와이어의 용접흄에는 총 니켈 및 수용성 니켈이 함유되어 있다. 수용성 니켈은 단순히 증류수로 전 처리했을 때보다 ammonium citrate 추출용액을 사용했을 때 함량이 거의 2배 이상이 되고 있다. 따라서 증류수로 전 처리하는 것은 수용성 니켈을 평가할 때 부적절하다고 할 수 있다. 제품 'G'의 용접흄중 총 니켈 함량은 0.46%이고 수용성의 함량은 0.12%이므로 총 니켈중 수용성부분은 26.1%에 달하고, 제품 'H'의 총 니켈중 수용성 부분은 10.8%에 해당한다.

Ⅳ. 토 의

본 연구에서 분석한 13개 금속 중 우리나라 노출기준 및 ACGIH의 TLV에 수용성 금속의 노출기준으로 설정되어 있는 것은 철, 크롬, 니켈, 알루미늄, 바륨의 5가지이다. 바륨은 0.1% 미만이 검출되었다. 크롬은 우리나라 노출기준이나 ACGIH의 TLV에 수용성 6가 크롬으로 표시되어 있으나 본 연구에서는 수용성 총 크롬을 분석하였다. 수용성 크롬의 약 80 ~ 90% 가 6가 크롬으로 존재한다(윤충식외 2000).

본 연구 결과를 이용하면 플럭스 코어드 와이어를 사용하는 용접 사업장을 측정한 과거의 많은 자료에서 수용성 금속이 어느 정도 OEL을 초과했는지 추정할 수 있고, 향후 경제적 이유, 인력, 장비 등의 제한으로 현재처럼 수용성 금속을 따로 측정하지 못하는 경우 수용성 금속성분을 분석하지 않고도 수용성 금속의 OEL 초과 가능성을 추정할 수 있다.

표 7은 이를 추정한 것이다. 예를 들어보면 비스테인리스 작업장에서 여러 이유로 수용성 철 성분을 측정하지 못했다고 하자. 이럴 경우 중량법으로 측정한 용접 흄 무게를 이용하였을 때 수용성 철 성분이 OEL을 넘을려면 49.5mg/m^3의 용접흄이 있어야 한다. 즉, 본연구에서 용접흄의 2.02%만이 수용성 철이므로 용접흄중 수용성 철이 OEL인 1mg/m^3만큼 존재하려면 1mg/m^3÷0.0202 = 49.50mg/m^3처럼 계산된다. 대부분 측정기관에서 금속을

Table 6. Comparison of soluble Ni by leaching solution

Base Metal & wire type	product	Contents of soluble Ni in fumes,%±SD	
		Distilled water leaching	Ammonium citrate solution leaching
Non-stainless Steel	A(n=3)	<0.01	<0.01
	C(n=3)	<0.01	0.03±0.002
Stainless steel	G(n=3)	0.06±0.01	0.12±0.002
	H(n=3)	0.04±0.01	0.11±0.006

Table 7. Estimation of welding fume concentrations and metal concentrations which have the possibility of exceeding the OELs of the soluble metals

Metals	OEL mg/m³	Contents of soluble metal				Estimated concentrations that exceed the OELs of the soluble metals,mg/m³			
		in fumes,%		in each metals,%		Welding fumes		Metals(Insoluble+Soluble)	
		Non-stainless wire	Stainless wire	Non-stainless wire	Stainless wire	Non-stainless wire	Stainless wire	Non-stainless wire	Stainless wire
Soluble Fe	1	2.02	0.23	7.99	2.97	49.50	434.8	12.52	33.67
Soluble Cr(CrVI*)	0.05	0.23**	0.80	37.21**	21.30	27.74**	6.25	0.13**	0.23
Soluble Ni	0.1	<0.01	<0.01	0.01	0.11	-	-	1000	90
Soluble Al	2	0.08	0.02	4.16	6.15	2500	10000	48.08	32.52

* Soulble Cr was mostly existed as Cr(VI).

** Only found in product B(for heat resistant steel)

전처리할 때 사용하는 방법인 산을 이용한 회화법을 사용하여 분석하였을 때 총 철성분(불용성+수용성)이 분석되면 이중 수용성 철 성분이 OEL을 넘으려면 12.52mg/m³의 철이 분석되어져야 한다. 마찬가지로 비스테인리스 용접흄의 철금속중 7.99%만이 수용성 철이므로 수용성 철이 OEL인 1mg/m³만큼 존재하려면 1mg/m³÷0.0799 = 12.52mg/m³처럼 계산된다. 실제 작업장 공기 중 용접 흄을 측정하여 보면 공기 1m³당 용접흄 농도가 수십~수백mg되기는 힘들다. 또한 각 금속성분이 수십mg이상 측정되는 경우도 특별한 경우가 아니면 흔치 않다. 따라서 표 7에서 산업보건학적으로 의미가 있는 것은 스테인리스 플럭스 코어드 와이어를 사용했을 때 6가 크롬을 분석하지 않은 경우 총 크롬이 0.23mg/m³이 초과하면 6가 크롬도 이를 초과할 가능성이 있다. 왜냐 하면 수용성 크롬은 대부분 6가 크롬 형태로 존재하기 때문이다. 따라서 스테인리스 강을 용접하는 경우 총 크롬이 0.23mg/m³이상 측정되거나 용접 흄의 총량이 6.25mg/m³이상 되면 6가 크롬을 측정하지 않더라도 그 초과가능성을 염두에 두어야 한다.

표 8은 여러 종류의 용접 와이어에서

Table 8. Ranges of element content variation in welding fumes, generated when welding the most widely used types of steel with different welding consumables(%)

Element	Voitkevich(1995)						Hewitt and Gray(1983)		3) Koponen (1981)		This study	
	MMA/MS	FCAW/MS	MIG/MS	MMA/SS	FCAW/SS	MIG/SS	MMA*	MIG	MMA/SS	MIG/SS	FCAW/MS	FCAW/SS
Fe	20-40	35-45	45-50	5-20	8-10	35-40	7.71	31.5	4.8~6.3	28~39.8	25.33	7.68
Mn	5-15	5-15	10-15	2-12	8-25	1-20	10.23	7.00	2.7~7.2	5.8~12.2	7.17	7.67
Crtotal	0.01-0.05	0.1-0.3	0.1-0.3	0.5-7	2-5	8-25	5.86	15.50	3.8~5.2	8.3~15.8	0.16	3.78
Cr(Ⅵ)	n.f.	n.f.	n.f.	0.5-5	1.5-4	0.2-1	2.40	0.45	n.a	n.a	n.a.	n.a.
Ni	n.f.	n.f.	n.f.	0.1-5	0.1-6	2-6	0.66	7.30	0.45~1.0	3.1 6.5	-	0.92
Si	5-20	2-4	3-5	5-20	3-6	1-4	n.a.	n.a.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
F	0-2* 14-18**	8-15	n.f.	15-20	5-10	n.f.	n.a.	n.a.	n.a	n.a	n.a.	n.a.
Ca	0.1-2* 8-15**	2-15	n.f.	0.2-1	0.1-1	n.f.	0.81	-	1.4~9	0.18~1.5	0.43	0.03
K	5-20	0-10	n.f.	5-15	3-10	n.f.	6.29	-	4~24.4	≤2.3	1.76	10.80
Na	3-15	0-10	n.f.	5-15	3-10	n.f.	27.76	-	2.1~7.5	≤0.09	4.28	5.04
Mg	n.a.	n.a.	n.f.	n.a.	n.a.	n.f.	0.06	-	n.a	n.a	6.71	0.03
Al	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a	n.a	2.00	0.39

MMA : Manual Metal Arc Welding or SMAW(Shielded Metal Arc Welding),

FCAW : Flux Cored Arc Welding, MIG : Metal Inert Gas Welding, MS : Mild Steel, SS : Stainless Steel

E70T-1 : Welding rod or wire for mild steel, E308-16 : Welding rod or wire for stainless steel

* : Rutile Type, ** : Lime Type

n.a. : not available, n.f. : analyzed but not founded

흄중 금속을 포함한 여러 성분을 분석한 표이다(Voitkevich, 1995; Hewitt and Gray, 1983). 이번 연구에 실행된 플럭스 코어드 아크 용접에서 발생하는 용접 흄의 구성성분은 미그 용접보다는 피복아크용접(표 8에서 MMA로 표시)의 용접흄 구성성분에 더 가까운데 그 이유는 두 용접 모두 플럭스라는 물질을 사용하기 때문에 용접 흄의 성분이 그 영향을 많이 받기 때문이다. 단지, 피복아크 용접에서는 플럭스가 용접봉 표면에 외피처럼 감싸고 있고, 플럭스 코어드 아크용접에 사용되는 와이어는 플럭스가 안쪽에 있다(윤충식외, 2002). 플럭스는 아크 안정제, 슬래그 형성제, 탈산제, 탈질제, 가스형성제, 합금첨가제, 윤활제, 고착제의 역할을 하며 그 구성성분은 100여가지가 넘고 그 성분비도 매우 다양하여(박종우, 1997) 일률적으로 예측하기가 힘들다.

여러 원소가 다양한 화합물 형태로 존재하는 용접 흄이 체내로 들어와 미치는 독성은 쉽게 예측할 수 없고, 일률적으로 말할 수는 없지만 수용성이 독성의 발현에 큰 역할을 한다. 용접 흄에서 금속은 단독으로 존재하기 보다는 여러 가지 원소가 혼합하여 존재하게 되는데 이중에 수용성을 띠게 하는 주요 원소로는 칼륨과 나트륨이 있다. 이들과 결합한 화합물은 수용액에서 이온화가 쉽게 되어 수용성이 되기 쉽다. 본 연구에서 사용한 제품 'D'는 다른 제품에 비해 칼륨과 나트륨의 함유량이 적어(각각 0.3%, 0.1%) 용접흄중 수용성 금속의 함량도 다른 제품(6.08~23.76%)에 비해 매우 적다(3.0%). 또한 불소(F)와 실리카 성분과 결합된 화합물도 수용성이 증가되는 것으로 알려져 있으나(Voitkevich, 1995) 본 연구에서는 분석하지 않았다.

일반적으로 용접흄에서 망간의 수용성은 철보다는 크다고 알려져 있는데. 이는 철이 불용성인 마그네타이트 형태(Fe_3O_4) 뿐 아니라 망간과 같이 결합하여 수용성 성질이 있는 파라마그네타이트 형태($MnO{\cdot}MnFe_2O_3$)로 존재할 수도 있기 때문이다. 실제로 제품 'B'는 수용성 망간의 함량(1.9%)과 수용성 철의 함량(5.9%)이 다른 제품(망간; 0.02~0.7%, 철; 1.2%이하)에 비해 높아 위 사실을 뒷받침하고 있다.

Koponen 등(1981)에 의하면 스테인리스강에 대한 피복금속아크용접(SMAW) 흄에서 수용성 크롬이 높고 스테인리스 강에 대한 미그(MIG) 용접에서는 대부분 비수용성이라고 하였다. 본 연구는 스테인리스 강에 대한 플럭스 코어드 아크용접에서 총 크롬중 수용성 크롬이 평균 23.30 (6.77~41.28)%로 미그용접보다 높다. 피복금속아크 용접에서 수용성 크롬의 함량이 미그 용접보다 큰 이유는 피복재에 있는 성분이 알칼리 크롬화합물($CaCrO_4$, $K_2Cr_2O_7$)을 만들기 때문인데(Koponen et al., 1981) 본 연구에서도 크롬을 수용성으로 존재하게 할 수 있는 칼륨, 나트륨, 칼슘등이 스테인리스 흄에서 발견되고 있다. 다른 연구에서도 칼륨과 나트륨이 크롬과 결합하여 그것을 6가 형태로 유지하게 하여 수용성 성질을 갖기 쉽게 한다고 하였다. 따라서 용접흄에서 발견되는 수용성 크롬은 거의 대부분이 6가 크롬이라고 하기도 하였다.(Koponen et al., 1981). 피복금속아크용접에서 실제로 발견되는 크롬화합물은 3가인 경우에는 Cr_2O_3, $FeCr_2O_4$, $KCrF_3$ 등이 있으며 6가 크롬인 경우는 K_2CrO_4, Na_2CrO_4, K_2NaCrF_6이다. 이들 6가 크롬은 모두 수용성 성질을 갖고 있는데 이는 피복재에 있는 칼륨과 나트륨이 크롬화합물을 형성하기 때문이다 (Voitkevich, 1995). 본 연구에 사용된 제품들도 마찬가지로 플럭스내에 칼륨과 나트륨이 존재하여 크롬에 수용성을 부여한다고 할수 있다. 피복아크용접이나 플럭스 코어드 아크 용접에서 칼륨과 나트륨은 용접을 할때 아크를 안정시켜 용접을 잘 되게 하는 아크 안정제로서 역할을 한다 (대한용접학회, 1998).

플럭스 코어드 아크용접에서 플럭스는 피복아크용접에서의 피복재와 마찬가지로 아크안정제, 슬래그 형성제, 탈산제, 탈질제, 가스 형성제, 합금성분 등을 포함하며 그 성분은 100여가지에 달한다. 용접할 때 보호가스가 필요 없는 self shield 와이어인 경우 플럭스 성분에 가스발생제가 많이 포함되는데 CaF_2나 $CaCO_3$이 역할을 한다. 그러나 가스 발생제가 충분한 역할을 하지 못하기 때문에, 용착부위로 공기 중 질소의 침입을 막기 위해 탈질제를 첨가하는데 알루미늄이 사용되기도 한다(대한용접학회, 1998). 표 4와 표 5에서 기타성분의 함량은 제품 'D'가 높은데 총 금속의 기타성분 1.52%중 칼슘이 1.37%로 대부분을 차지하고 있고, 수용성 금속의 기타 성분 1.36%는 모두 칼슘이었다. 또 제품 'D'에서 알루미늄의 함량이 다른 제품보다 높은 것도 알루미늄이 탈산제와 탈질제의 역할을 하여 아크 주위의 산소와 질소의 영향을 억제하는 역할을 한다고 할 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 용접흄에 존재하는 Fe, Cr, Ni, Al, Ba, Mn, Li, Na, K,mg, Zn, Cu, Ca의 13가지 금속에 대하여 총 금속(불용성+수용성)의 함량과 최근에 2001년 국제표준이 된 ISO 15202-2의 수용성 금속 분석법을 적용하여 수용성 성분의 함량을 평가하는데 있다. 비스테인리스 플럭스 코어드 와이어 4종과 스테인리용 와이어 5종을 선정하여 잘 설계된 용접흄 발생 체임버에서 시료를 채취하여 이중 일정량의 흄을 취하여 총금속은 NIOSH 7300 방법을, 수용성금속은 ISO 15202-2 방법을 적용하여 전처리하여 유도결합플라스마-원자발광분석기로 분석하였다. 중요한 결론은 다음과 같다.

용접 흄중 총 금속 함량은 비스테인리스 강용 와이어를 사용할 때 47.9%이고, 스테인리스 강용일때는 평균 36.4%로 유의한 차이가 있었다. 그러나 수용성 금속 함량은 반대로 스테인리스 용접흄 중 함량이 15.7%로 비스테인리스 용접 흄의 함량 8.3%보다 유의하게 높았다. 그 이유는 주로 불용성으로 존재하는 철의 함량이 적고, 다른 금속화합물에 수용성 성질을 갖게 하는 칼륨, 나트륨이 상대적으로 많이 존재하기 때문이다. 발암성물질인 6가 크롬은 칼륨, 나트륨과 결합하여 수용

성으로 존재하게 된다.

용접 흄중 크롬(수용성+비수용성)의 함량은 스테인리스 용접흄일 경우 3.8%였다. 대부분 6가 형태로 존재하는 수용성 크롬은 스테인리스 용접흄에서는 0.8%를 함유하였다. 총 크롬중 발암성인 6가 크롬의 함량은 평균 21.3%이고 나머지는 불용성으로 존재한다. 내열강용 와이어인 경우(0.6%)를 제외하고는 비스테인리스 용접흄에서는 크롬이 함유되지 않았다.

비스테인리스강용 용접흄 중 알루미늄 총 함량은 매우 낮으나(비스테인리스용 용접흄 0.14%, 스테인리스 용접흄 0.4%) 용접시 보호가스를 사용하지 않는 self shield 플럭스코어드 와이어(제품 'D')인 경우 7.6%로 다른 와이어 보다 유의하게 높았다. 수용성인 경우도 self shielded 플럭스코어드 와이어(제품 D)인 경우 0.26%였고, 다른 경우는 0.02%로 낮았다. 바륨은 수용성이나 비수용성 모두 0.1% 미만으로 낮았다.

따라서 수용성 금속으로 OEL이 정해져 있으면서 용접흄에서 함량이 높아 평가할 필요성이 있는 금속은 크롬의 경우이다. 본 연구에서는 수용성 크롬을 측정하지 못하였어도 용접 흄이나 총크롬의 공기중 농도를 이용하여 수용성 크롬농도를 추정하는 방법을 제시하였다. 본 연구는 용접 흄을 대상으로 수용성 금속을 평가한 것이므로 수용성 OEL이 정해져 있는 금속을 특별히 많이 취급하는 곳에서는 해당 금속의 수용성을 고려하여 작업장을 평가하여야 한다.

용접 작업장 평가시 크롬의 경우 비스테인리스 용접흄일 경우 평가할 필요가 없으나 스테인리스 플럭스 코어드 아크 용접에서는 총 크롬중 수용성(수용성은 대부분 6가로 존재)이 약 21% 존재하므로 6가 크롬을 측정하던지 수용성 크롬을 측정하여야 한다. 6가 크롬을 측정하는 것이 정확하나 측정 분석시 어려움이 따르므로 차선책으로 수용성을 측정하고, 이를 수용성 6가 크롬으로 간주하는 것도 한 방법이다.

플럭스 코어드 와이어 용접법은 가스 금속아크 용접(매그 또는 미그용접)과 용접 작업면에서는 비슷하나, 용접 흄의 구성성분은 수동용접인 피복아크용접과 비슷하다. 그 이유는 용접흄의 구성성분에 플럭스가 큰 영향을 미치기 때문이다.

REFERENCES

박종우. 정밀 용접공학. 일진사; 1997. (30-60쪽)

대한용접학회. 용접·접합 편람. 대한용접학회; 1998. (531-575쪽)

윤충식, 백남원, 김정한, 박동욱, 하권철, 최상준, 김신범, 채현병. 플럭스 코어드 아크 용접중 발생하는 총 크롬 및 6가 크롬의 함량변화. 한국산업위생학회지 2000;10(1):32-43

윤충식, 박동욱, 박두용. 용접흄 중 금속 함량 변화에 관한 연구. 한국환경위생학회지 2002;28(2):117-129

American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: ACGIH; 2003.

Ashley K. International standard procedure for the extraction of metal compounds having soluble threshold limit values. Appl Occup Environ Hyg 2001;16(9) 850-853

Fairfax R, Boltzer M. TLVs-Soluble and insoluble metal compounds. Appl Occup Environ Hyg 1994;9(10) 683-686

Koponen M, Gustafsson T, Kalliomaki P, Pyy L. Chromium and nickel aerosols in stainless steel manufacturing, grinding and welding. Am Ind Hyg Assoc J 1981;42:596-601

International Organization for Standardization(ISO). ISO 15202-2-2001, Workplace air-Determination of metals and metalloids in airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry-part 2: sample preparation. Annex B: Sample dissolution method for soluble metal and metalloid compounds. Geneva, Switzerland: ISO; 2001(www.iso.ch)

International Organization for Standardization(ISO). ISO 3856-1984, Paint and varnishes- determination of "soluble" metal content (7 parts). Geneva, Switzerland: ISO; 1984

Health and Safety Executive. MDHS Method 42/2, Nickel and inorganic compounds of nickel; and Method 46/2, Platinum metal and soluble platinum compounds, In methods for the deteination of hazardous substances. Lonn, United Kingdom: HSE; 1998

Hewitt PJ, Gray CN, Some difficulties in the assessment of electric arc welding fume. Am Ind Hyg Assoc J 1983; 44(10):727-732

Voitkevich V. Chapter 2. Welding fume properties, In welding fumes-formation, properties and biological effects. England: Abington Publishing; 1995. p. 18-77

Zatka VJ, Warner JS, Maskery D. Chemical speciation of nickel in airborne dusts: Analytical method and results of an interlaboratory test program. Environ Sci Technol 1992;26:138