

연구자료

스테인레스 아크 용접흡의 특성과 실험동물을 이용한 유해성 연구

1998

한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해예방 기술연구 개발 및 보급사업의 일환으로 수행한 “스테인레스 용접흡의 특성과 실험동물을 이용한 유해성 연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1998. 12

주관연구부서: 산업안전보건연구원 산업화학물질연구센터

연구책임자 :	책임연구원	유 일 재
공동연구원 :	수석연구원	이 용 목
	기술직 4급	정 용 현
	선임연구원	맹 승 희
	위촉연구원	김 광 진
	위촉연구원	한 정 희

목 차

I. 서	론	-----	2
II. 재료 및 방법	-----		5
III. 연구결과	-----		11
IV. 고	찰	-----	28
V. 결론	-----		30
VI. 참 고 문 헌	-----		31

Characterization of stainless steel welding fume and acute toxicity of welding fume.

Il Je Yu, Kwang Jin Kim, Jung Hee Han, Yong Hyun Chung, Seung Hee Maeng, Kyung Seok Song, Kyu Tae Han, Seung Hee Maeng, Yong Mook Lee, Young Hahn Moon. Industrial Chemical Research Center, Industrial Health Research Institute, KISCO, Taejon, Korea

Abstract

In order to investigate welding fume exposure related occupational diseases such as nasal septum perforation, pneumoconiosis and manganese intoxication, welding fume exposure system including welding fume generator, exposure chamber and fume collector were built. The welding fume exposure system was monitored and validated. In addition, an acute inhalation toxicity study of exposing the welding fume generated from stainless steel arc welding to male Sprague Dawley rats was carried out. Male Sprague Dawley rats were exposed to the welding fume with 61.56 mg/m³ for 4 hrs in an inhalation chamber. Animals were sacrificed at 0, 1, 3, 7, 10, and 14 day after exposure. Upper respiratory tract including nasal pathway, conducting airway, and gas exchange region including alveolar ducts, alveolar sacs and alveoli were investigated through histopathological examinations. When the fume concentrations in the chamber were monitored every 15 minutes during 2 hrs of exposure, the fume concentrations were maintained consistently. Major metal concentrations including Fe, Mn, Cr, and Ni were also maintained constantly. The fume particles had various in their diameters ranging from 0.02 - 0.81 μ m and are distributed log normally with average diameter and geometric mean of 0.098 $\pm$ 1.42. The rats exposed the welding fume for 4 hrs did not show any significant toxicities in blood biochemistry and hematology. The average diameter 0.1 μ m resulted in fewer adsorptions of the welding fume particles in the upper respiratory tract. The major sites for particle adsorption were the lower respiratory tracts including bronchioles, alveolar ducts, alveolar sacs, and alveoli. Long-term studies are needed for identification of occupational diseases caused by welding fume.

I. 서론

최근 용접흡에 폭로된 근로자들의 직업병이 대중매체에 많이 보도되었다. 작년 포항 등에서 용접 노동자 11명이 파킨슨 증후군 증세에 따른 망간중독으로 업무상질병요양을 신청, 산업보건연구원 직업병심의위원회로부터 2명의 노동자가 망간중독으로 직업병을 인정받았다. 그리고 최근에는 10~20년간 용접일을 한 근로자 6명에게 '비중격천공'이 발생하여 직업병으로 인정됐다. 이들의 질병은 지난해 특수건강진단시 발견됐는데 크롬도금 작업자 외에 순수한 용접노동자에게 비중격천공이 발생한 것은 이번이 처음이다. 조선공정의 특성상 이들이 크롬도금배관용접, 스테인레스강용접 또는 의장공장에서 크롬함량이 높은 철제용접 등에 종사했을 가능성이 있으므로 과거의 용접작업과 관련 병이 발생했을 것으로 추정된다고 밝히고 있다.

현재 공업기술 분야에서 사용되는 용접방법은 크게 나누어서 용융법과 비용융법이 있다. 이것은 열원의 종류에 따라 아크용접, 전기슬러그용접, 전자빔용접, 레이저용접, 가스용접, 저항용접, 압접 등으로 나누어지고 주로 사용되는 아크용접은 다시 소모전극에 따라서 피복아크용접, MIG(Metal Inert Gas Arc Welding)용접, MAG (Metal Active Gas Shielded Arc Welding)용접, TIG(Tungsten Inert Gas Arc Welding)용접 등으로 나누어지며 피복아크용접과 CO₂ 가스용접이 현재 가장 많이 사용되고 있다 (1). 이 중 피복아크용접은 피복재를 도포한 용접봉을 전극으로 하여 용접물과 전기아크열에 의해 용융시키는 방법으로 이 때 사용되는 피복재는 용접중 아크열에 의해 용융분해 해서 가스를 발생시켜 아크 주위를 덮고 용융금속을 덮음으로써 금속의 산화를 방지하고 탈산제로서의 역할도 하게된다 (1-3).

피복아크용접은 아크에 의해 높은 온도의 산출과 적외선 발생의 원인이 되며 질소산화물과 오존을 발생시키며 이러한 유해요인들이 인체에 미칠수 있는 잠재적인 영향들은 이미 알려진 여러 문헌들을 통해 알 수 있다 (5-8). 또한 여기에서 발생하는 흡은 열에 의해 증발된 물질이 응축되어 생기는 미세한 소립자로서 고온의 아크발생에 의해 용융금속 증기가 주위에 확산됨으로써 발생되며 흡발생에 있어서 보다 더 중요한 요인은 전극에 의해 발생된 불꽃의 산화에 의한 것이다 (9). 피복아크용접에서는 플럭스가 흡의 유해성을 가중 시키는 역할을 한다. 특히 플럭스 성분중의 실리카에 대한 관심이 대두되고 있으며 많은 연구자들은 플럭스를 사용한 용접중에 발생하는 분진중 실리카를 많이 인용하며 철을 포함한 다른 산업분진들과 함께 인체에 해로운 작용물이라고 한다 (10-15). 이러한 흡은 물리, 화학적으로 매우 복잡해서 산업위생학적 측면에서 포집, 분석, 위해성평가를 하는데 여러가지 어려움이 있으며(16), 특히 스테인레스 아크용접에서 발생하는 흡 성분중 크롬과 니켈의 건강상 유해성에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있으며 그중 6가크롬의 문제가 강조되어지고 있다(17-22).

피복아크용접에 있어서 흠발생량과 용접전류의 관계는 전류와 전압이 클 수록, 용접봉 지름이 클수록 발생량이 증가한다. 또한 피복재 종류에 따라서 라임티타니아계에서는 낮고 라임일루미나이트계에서는 높다. 그외 발생량에 관해서는 용접 토치의 경사각도가 크고 아크길이가 길수록 흠발생량도 증가한다 (1). 흠의 대부분은 원형의 미세한 입자상태이며 금속 특유의 결정형태를 가진것도 있다 (23). 크기는 $0.02 - 10\mu\text{m}$ 까지 다양하며 평균 $0.3 - 0.4\mu\text{m}$ 이다. 이중 $0.5 - 5\mu\text{m}$ 의 미세 분진이 폐에 침착된다 (1). 용접시 발생하는 용접흠은 산화철이 대부분을 이루고 있으며 이용되는 용접봉의 직경과 종류, 용접전류 등의 용접변수에 따라 달라질 수 있고 용접 작업자의 용접흠 폭로농도는 용접변수 이외에도 헬멧에서 아크까지의 거리에 의해서 많은 영향을 받을수 있다 (4, 24). 용접흠은 대부분 수동작업이기 때문에 직·간접으로 폭로되는 경우가 많으며 흠 흡입에 의한 인체장해에는 진폐증, 망간중독 등으로써 호흡기계 및 신경계 등에 영향을 미칠 수 있다 (25-31). 최근에 들어서 다양한 형태의 용접흠 흡입독성에 관한 연구결과가 발표되고 있는데 이러한 연구는 대부분 동물을 통해서 실험이 이루어지고 있다. 용접흠이 동물에 어떠한 반응을 나타내는지 알아보는 실험으로서 폐질환, 부종 그리고 급성폭로 후 폐의 선세포조직 안에서 대식세포에 축적된 양과 만성폭로 후 폐의 섬유세포증식 정도 등을 알아보는 실험이 있다 (32-37). 이러한 실험은 실제 작업자에게 건강상의 장해가 있는지의 여부, 즉 유해성평가를 하는 것이 가장 중요한 목적이라 할 수 있다(38-40). 현재 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 TLV (Threshold Limit Value) 에서는 용접환경에서 발생하고 있는 모든 흠의 농도를 균일하게 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 으로 규정하고 있으며 우리나라 노동부에서도 총용접흠의 노출기준을 동일하게 규정하고 있다 (1, 40). 그러나 용접흠의 형태에 따라서 건강상에도 다른 영향을 미칠 것으로 생각된다. 그러므로 여러 형태의 용접흠에 관한 독성연구가 이루어져야 하며 다행인 것은 최근에 들어서 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다는 것이다.

2. 연구목적

이러한 배경에서 본연구는 최근 용접 근로자에게서 비중격천공증을 유발한다고 의심되어 지고 있는 스테인레스 아크용접시 발생하는 용접흠의 유해성을 연구했다. 용접흠에 의한 건강장해는 이 용접흠의 중금속의 구성성분에 의한 유해성 때문일 것이라고 추정하고 있으나 아직 국내에서는 용접흠의 유해성을 규명하기위한 구체적인 독성연구는 아직 시도한적이 없으며 이는 국내의 흡입챔버가 대부분 유기용제 또는 가스 폭로용이고 흠이나 분진의 폭로용은 아니기 때문이다. 이 연구에서는 용접흠의 독성 및 산업위생학적 연구를 위하여 1) 용접흠을 자동으로 발생시켜 실험동물에 폭로시키는 용접흠 발생장치와 폭로장치를 개발하였으며, 2) 이 장치에서 발생하는 용접흠의 성분과 입자의 크기를 규명하였으며 3) 용접흠 폭로 흡입챔버의 실험동물에게 단기간 폭로 시켜 용접흠 입자의 침착부위, 조직병리학적 변화

를 관찰하여 장기간 폭로의 기초자료로 사용하고자 하였다.

이 실험을 통해 스테인레스 아크용접흡이 실험동물에 미치는 영향을 토대로하여 작업장에서 발생하는 용접흡이 작업자에게 미치는 유해성 정도를 알아보기 위해서 본연구를 하게 되었다.

II. 재료 및 방법

1. 용접흡의 발생 및 폭로방법

용접흡을 자동흡발생기에 의해 발생시키는 방법으로 Fig. 1에서 보는 것과 같이 발생된 흡은 hood와 duct를 통해 chamber내로 유입되는 방식으로 설계되었다. chamber내의 용적은 1.3 m³, 환기횟수는 14회/hr를 적용하여 duct내 속도를 0.64 m/sec를 유지 하였다. 용접봉은 고려용접봉(KST- 308)의 라임티타니아계이고 크기가 $\Phi 2.6 \times 300\text{mm}$ 인 것을 사용하였다. 또한 전류는 80Amp(A)을 사용하였고 모재는 stainless steel plate(sus304)를 이용하였다. 이 장치에서 용접봉 한 개가 완전히 소모되는 시간은 5분이 소요되었는데 이 중 실제 용접시간은 3분여이고 나머지 시간은 흡발생기의 특성에 따른 준비 기간이다. 용접봉의 총 길이 300mm 중 평균 210mm가 용접시간내에 소모되었다. 흡발생기에 의해 발생된 흡은 chamber내로 유입되어서 일정한 농도로 유지 되었다. chamber내의 농도가 일정하게 유지됨에 따라 대조군을 제외한 실험동물을 4시간 동안 1회 전신폭로 시켰다.

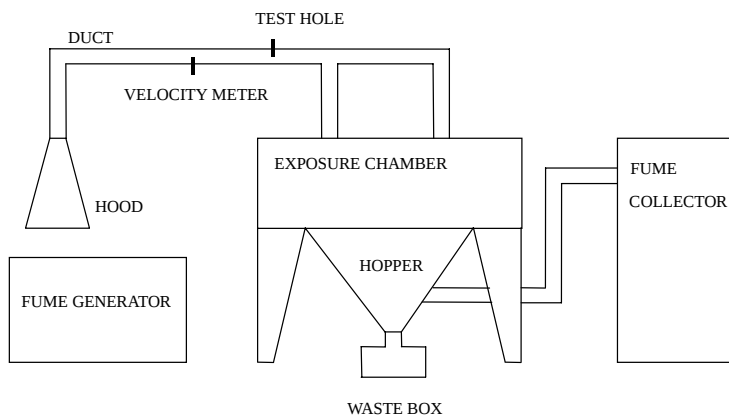


Fig. 1 A Block Diagram of the Inhalation Apparatus

2. 용접흡의 농도측정

용접흡발생기가 정상적으로 작동되고 있을 때 측정구를 통해서 chamber내의 시료를 sampling 하였다. 개인시료 채취 검정기(Soap Film Flow Meter)를 이용하여 sampling하였고 여재(MCEF : Mixed Cellulose Ester Filter)는 공극이 $0.8\mu\text{m}$ 이고 직경이 37mm인 것을 사용하여 유량을 2L/min로 유지하였다. 이러한 조건으로 모니터링은 1시간 간격으로 4시간동안 연속적으로 이루어졌으며 여러차례 반복 측정하였다. 그리고 TWA4hr는 아래의 식으로 구하였다.

$$\text{TWA4hr} = \frac{(C_1T_1) + (C_2T_2) + \dots + (C_nT_n)}{4\text{hr}}$$

3. 용접흡의 입자크기와 분포

Exposure chamber에서 sampling한 후 포집된 용접흡의 크기와 분포를 알아보기 위해서 전자현미경(TEM)을 이용하여 직경을 측정하였다. Filter에 포집된 흡을 아세톤에 녹여 carbon coating된 전자현미경용 grid (200mesh)에 부착시켰으며 무작위로 500개의 흡입자를 20,000배로 확대하여 현미경상에 나타난 흡입자의 크기와 분포를 측정하였다.

4. 용접흡 성분분석

Exposure chamber에서 포집된 용접흡을 전자현미경(TEM)에 장착된 에너지 분 분석기(EDX)를 이용하였으며 구리 grid와 니켈 grid를 만들어 각각 10개의 표본을 이용하여 분석하였다. 스테인레스 용접흡 성분중에 니켈과 구리 성분이 함유되어있어서 정확한 성분분석을 위해서 2종류의 grid를 이용하였다. 각각의 grid에서 산출되는 성분들의 함량을 통계처리하여 주요성분을 측정하였다. 포집된 filter를 회화용기에 넣고 질산과 과염소산을 4:1 (v/v)로 혼합한 회화용액 1 ml을 가한 후 마이크로파 회화기를 사용하여 20 ml로 희석하였다. 그리고 유도결합 플라즈마 분광기 (ICP)를 이용하여 NIOSH 7300 방법으로 금속의 농도를 정량하여 분석하였다 (1994).

5. 급성독성시험

1) 실험동물 및 사육방법

실험동물은 대한동물실험센터에서 도입한 6주령의 수컷 S.D (Sprague-Dawley)계 rat를 이용하였다. Rat는 6개 그룹으로 분류하였으며 1-5그룹까지는 각각 대조군 2마리, 실험군 3마리로 하고 6그룹은 대조군 1마리, 실험군 3마리로 분류하였다. 도입된 rat는 동물실험실에서 4일간의 순화기간을 거쳤으며 동물실험실의 온도 22 - 25℃, 습도 40 - 60%을 유지하였다. 또한 사료와 음료는 멸균처리 하여 충분히 공급하였다.

2) 실험동물의 체중측정

실험동물의 도입당일 체중은 평균 153.7g 이었고 실험당일과 1, 3, 7, 10, 14일 동안 실험 전에 전자저울로 체중을 측정하였다.

3) 실험동물의 폭로방법

실험동물의 폭로는 exposure chamber를 이용하여 전신폭로시켰다. 이때 chamber내의 농도는 일정하게 유지시켰으며. 이러한 상태에서 대조군을 제외한 18마리의 rats를 cage당 3마리씩 분류하여 4시간동안 1회 폭로시켰다.

6. 해부 및 해부병리

용접흡에 폭로된 실험동물을 당일을 포함하여 1, 3, 7, 10, 14일 간격으로 대조군과 실험군의 동물을 해부하였다. 해부 2시간전에 면역조직화학적 검사를 위해서 BrdU (5-Bromo -2'-deoxyuridine)를 투여하였으며 Diethyl ether로 마취시켜 채혈한 후 육안적으로 폐, 기관지, 비강 등의 장기를 검사 하였다.

7. 혈액 생화학

실험동물에 대해 Diethyl ether를 이용하여 마취시킨 후 복대동맥에서 혈액을 채취하여 TP(total protein), BUN(urea nitrogen in blood), CRTN(creatinine), T-BIL(total bilirubin), GLU(glucose), T-CHO(total cholesterol), GOT(glutamic oxaloacetic trans-minase), GPT(glutamic pyruvic transminase), LDH(lactate

dehydrogenase), ALP(alkaline phosphatase)을 혈액생화학분석기(TBA 20 FR)로 측정하였다.

8. 혈액학

실험동물의 복대동맥에서 채취된 혈액을 WBC(white blood cell count), RBC(red blood cell count), HGB(hemoglobin), HCT (hematocrit), MCV(mean corpuscular volume), MCH(mean corpuscular hemoglobin), MCHC(mean corpuscular hemoglobin concentration), PLT(platelet)을 혈구계수기(Sysmex F-820)를 이용하여 측정하였다.

9. 조직병리

실험동물에서 혈액을 채혈한 후 해부하여 1차적으로 육안 관찰을 하였으며 폐 기관지, 비강, 등의 장기를 적출하여 10% 중성 포르말린 용액에 고정하였다. 장기조직은 파라핀(paraffin)에 포매하고 헤마톡시린과 에오신(Hematoxylin & Eosin)에 염색을하여 광학현미경에 의한 조직병리학적 검사를 하였다.

10. 통계적 분석방법

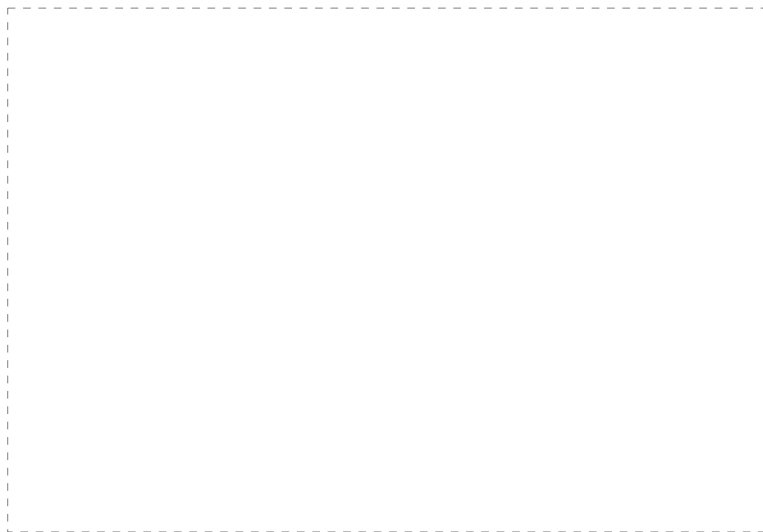
동물의 체중측정과 혈액생화학적검사, 혈액학적검사를 하는데 있어서 실험군의 체중, 장기무게, 생화학적 측정치, 혈액학적 측정치는 대조군의 측정치와 ANOVA test를 이용하여 비교하였다.

III. 연구결과

1. 용접흙의 입자크기와 분포상태

용접흙을 전자현미경(TEM)으로 측정한 결과 다양한 크기의 입자가 존재함을 볼 수 있었다. Fig. 2에서 볼 수 있는 것은 스테인레스 아크용접흙을 전자현미경에 의한 20,000배로 확대된 입자의 모양과 크기를 보여주는 것이다. 또한 흙입자의 크기에 따른 분포상태를 알아보기 위해 현미경상에 나타난 흙입자 500개를 측정한 결과 크기의 분포는 $0.02 - 0.81\mu\text{m}$ 까지 다양한 크기의 입자를 접할 수 있었다. 측정된 입자의 평균크기는 $0.098\mu\text{m}$ 이었으며 Fig. 3A에서는 측정된 500개의 흙입자의 분포를 보여주고 있으나 이는 정규분포를 보여주지 않고 있으며 Fig. 3B에서는 log diameter에 따른 분포를 보여주는 것인데 이 그래프를 통해서 다양한 크기의 흙입자가 정규분포적인 형태를 이루고 있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 3C에서는 Cumulative 분포를 보여주고 있다. Count mean diameter가 $0.1\mu\text{m}$ 정도인 것을 알 수 있다.

Figure 2. Electron Microscopic Pictures of Stainless steel Arc Welding fume Particles. 20000 Bar = $0.5\mu\text{m}$



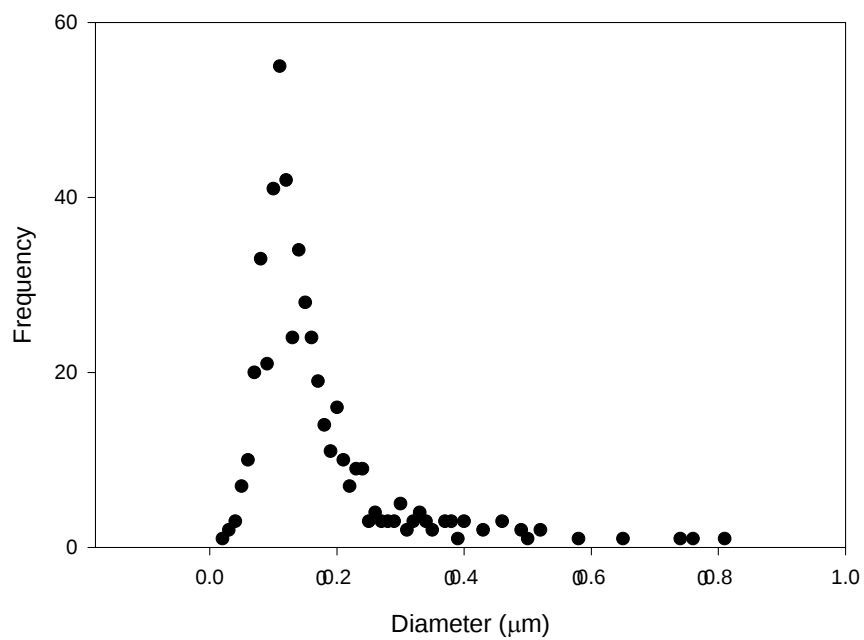


Figure 3A. Normal Distribution of Welding fume Particles

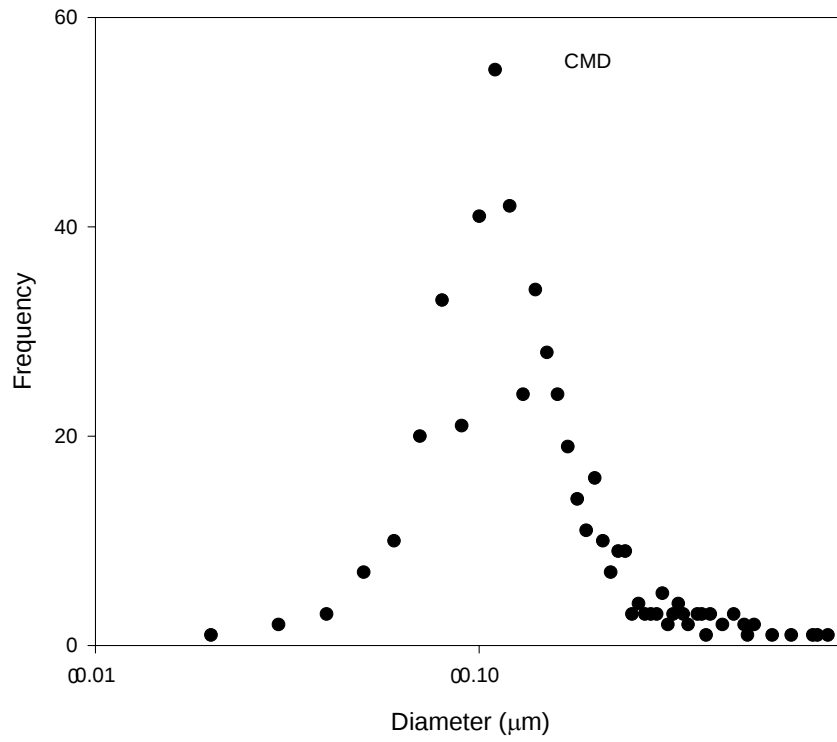


Figure 3B. Log-normal Distribution of Welding fume Particles

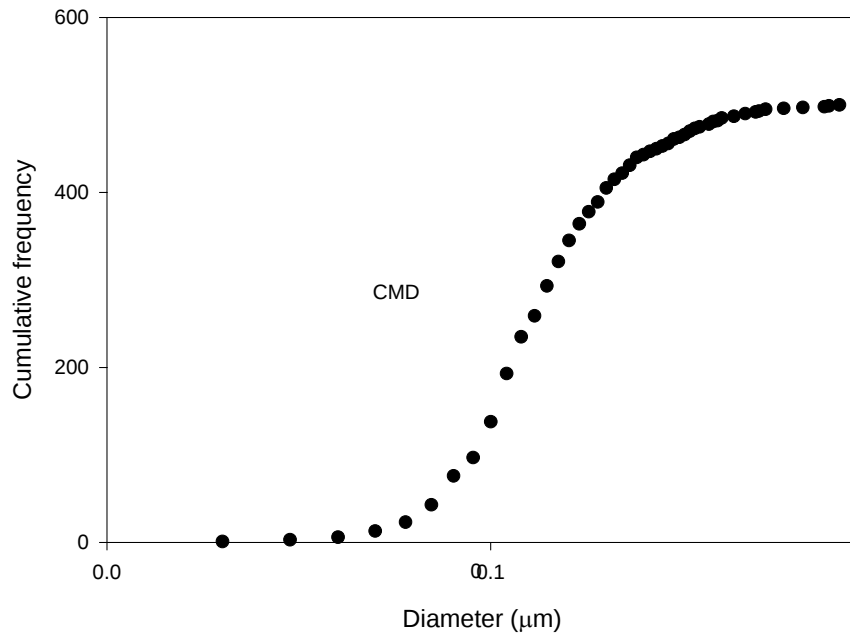


Figure 3C. Cumulative Distribution of Welding fume Particles

2. 용접흡 성분분석 결과

Table 1에서는 용접흡을 EDX(Energy Dispersive X-ray)에 의한 성분분석의 결과를 보여주는 것이다. 여기에서 Cu 와 Ni은 사용 grid에 따라서 발생하는 오차를 줄이기 위해 각각 10개씩의 표본을 사용하였다. 스테인레스 용접흡 성분중 사회적 문제를 야기하고 있는 Mn 과 Cr 이 각각 11.39, 9.36%로서 비교적 많은 부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

Table 1. Energy Dispersive X-ray Analysis data of Stainless steel Arc Welding fume

Element	Weight (%)
Al	1.37 $\pm$ 1.03
Si	8.05 $\pm$ 3.71
K	8.48 $\pm$ 4.06
Ca	0.87 $\pm$ 0.53
Ti	0.85 $\pm$ 0.78
Cr	9.36 $\pm$ 5.14
Mn	11.39 $\pm$ 5.08
Fe	24.52 $\pm$ 10.27
Ni	4.75 $\pm$ 1.08
Cu	27.23 $\pm$ 15.21

All values are expressed as mean $\pm$ SD. % of elements were determined by EDX through measuring 20 EM fields 20,000 magnification.

3. 용접흡의 폭로농도

Exposure chamber 내에서 용접흡의 농도를 15분 간격으로 2시간동안 반복 측정한 결과 Fig. 4에서 보는바와 같이 일정한 농도를 유지할 수 있었다. 그리고 이때의 금속별 농도 즉 Fe (Figure 5A), Cr (Figure 5B), Mn (Figure 5C), Ni (Figure 5D)등은 일정하게 유지 되었다. 이 결과로 보아 전체 fume농도 금속성분도 폭로챔버 내에서 일정하게 유지되는 것을 알수 있었다. 실제 실험동물의 4시간 동안 폭로농도에서도 시간당 평균 61.56 mg/m³의 농도로 폭로되었는데 시간별 폭로농도는 Fig. 6에서와 같다.

Figure 4. Concentration of welding fume during 2 hrs of exposure.

_____ first experiment, second experiment.

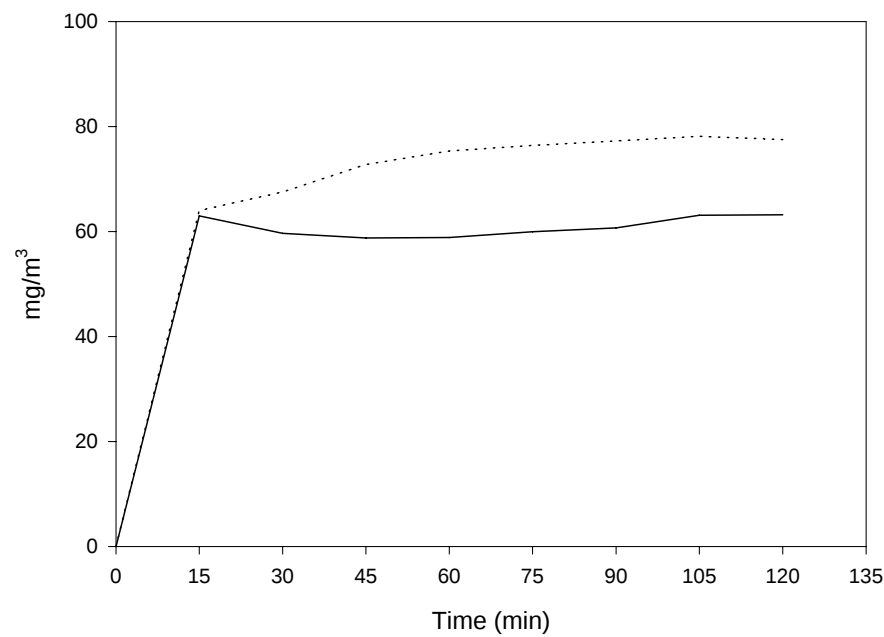


Figure 5A. Concentration of Fe during 2 hrs of exposure.

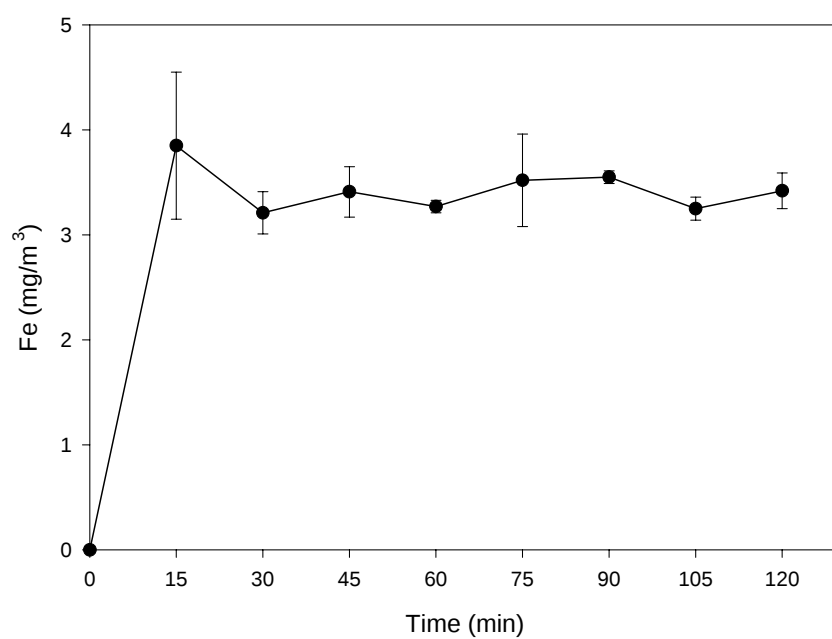


Figure 5B. Concentration of Cr during 2 hrs of exposure.

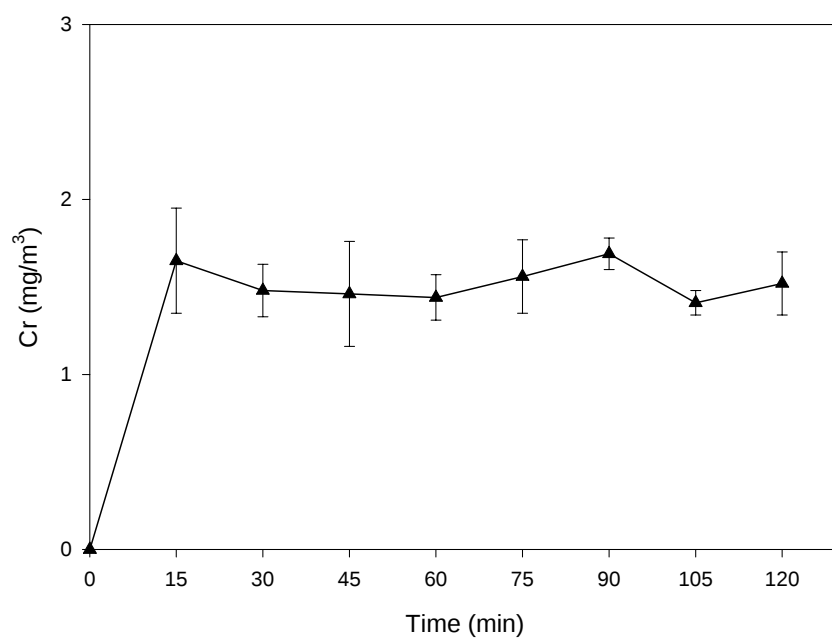


Figure 5C. Concentration of Mn during 2 hrs of exposure.

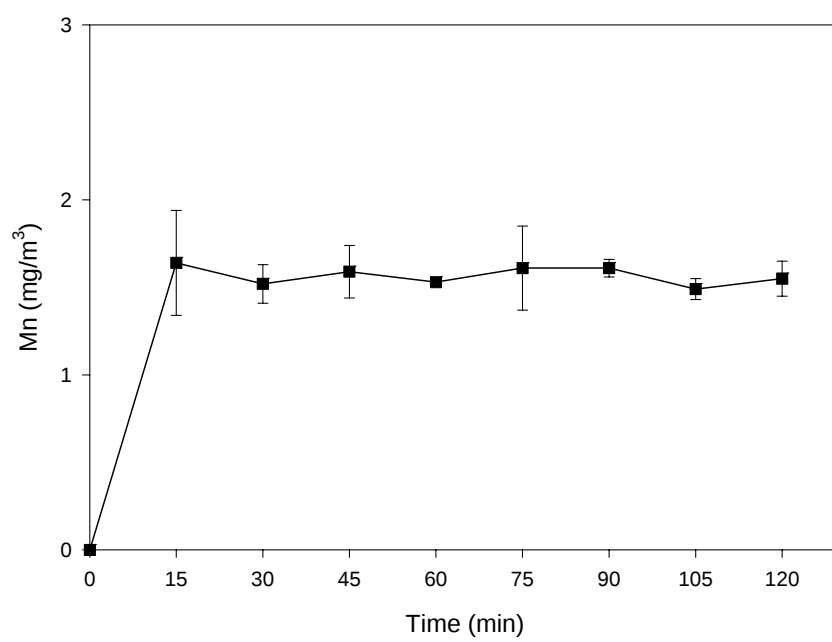
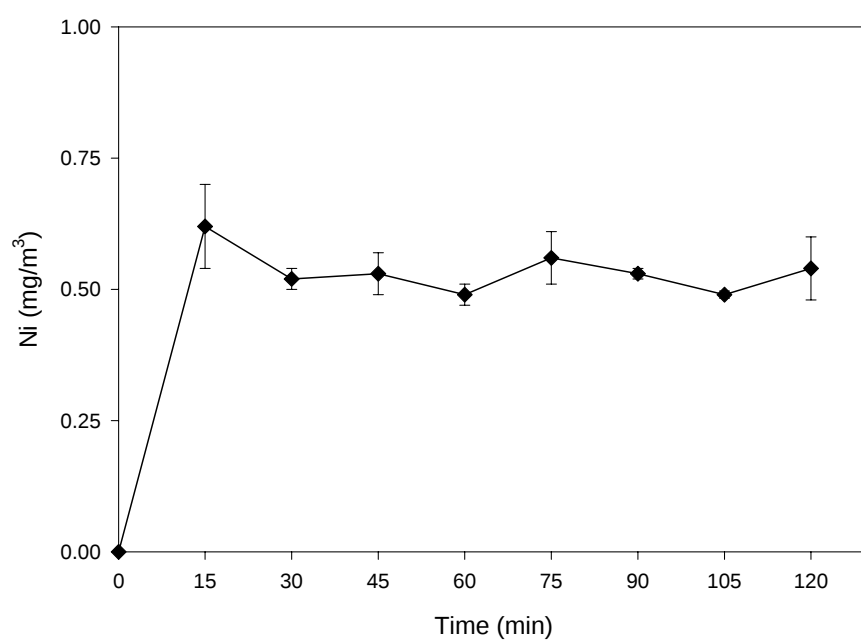


Figure 5D. Concentration of Ni during 2 hrs of exposure.



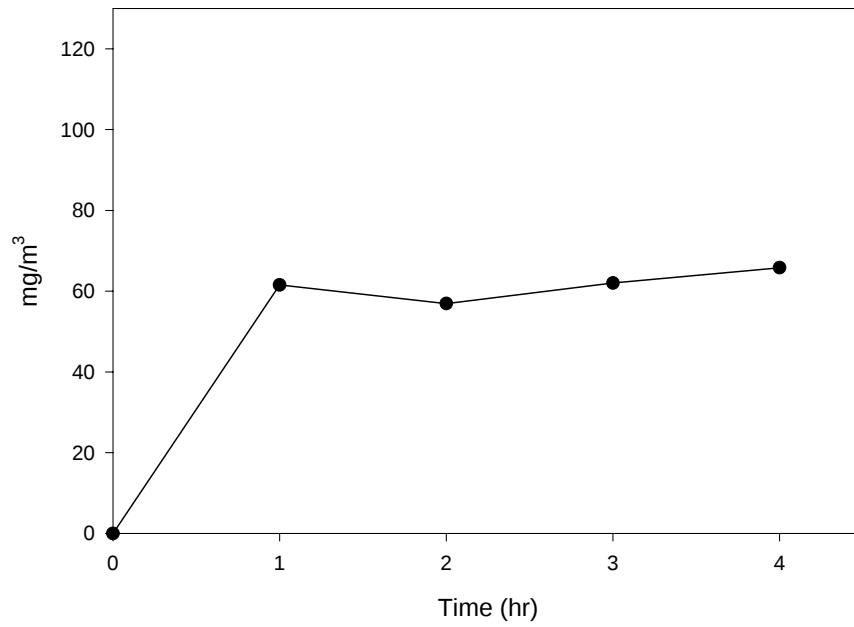


Fig. 4 Concentration of Welding fume During 4hrs

4. 실험동물의 체중변화 및 임상증상

용접흡에 폭로시 실험동물은 처음 10분 동안은 매우 민감한 반응을 보였으나 폭로 종료 후 모두 정상범위의 행동상태를 보여주었으며 폭로후 14일 관찰시 특이한 임상적 증상은 관찰되지 않았다.

실험기간동안 실험동물의 체중변화는 실험군과 대조군 모두 증가하였으며 체중감소는 없었다. Fig. 6에서는 실험기간동안 실험동물의 체중변화를 보여주고 있다.

5. 해부병리 결과

스테인레스 용접흡에 폭로된 실험동물을 Di ethyl ether를 이용하여 질식사킨 후 당일을 포함 1, 3, 7, 10, 14일 간격으로 부검하여 대조군과 비교하였을 때 폐, 기관지, 비강등에서 육안적으로 특이한 증상은 관찰되지 않았다.

6. 혈액 생화학 검사

흡에 폭로된 실험군과 대조군에서 채혈 후 혈청을 분리하여 TP (total protein), BUN(urea nitrogen in blood), 등의 생화학적 검사를 하였다 (data not shown). 당일 GLU(glucose) 와 ALP(alkaline phosphatase)에서 $p < 0.05$ 의 유의성 있는 감소를 나타내었으나 나머지 동물에서 정상범주내의 수치를 나타내었으며, 7일째 T-BIL(total bilirubin)에서는 $p < 0.01$ 감소되었으나 이의 수치도 정상범주내에 포함되어 있는 것으로 확인되었다. 생화학적 결과를 종합하여 볼 때 유의성 있는 결과를 예견할 수 없었다.

7. 혈액학 검사

흡에 폭로된 실험군과 대조군에서 채혈하여 혈액학적 검사를 통해 WBC(white blood cell count), RBC(red blood cell count) 등을 분석하였다 (data not shown). 1일째 MCHC(mean corpuscular hemoglobin concentration), 7일째 WBC(white blood cell count), 10일째 MCV(mean corpuscular hemoglobin)에서 $p < 0.01$ 유의적인 반응을 나타내었으나 농도 의존적이지는 않았으며 모두 정상범주 내의 결과를 나타내었다.

8. 조직병리학 검사

4시간동안 폭로된 실험동물에 대해 당일을 포함하여 1, 3, 7, 10, 14일 후 부검하여 폐, 기관지, 비강 등에 대한 조직병리학적 검사 결과 용접흡 입자는 상기도인 비강에서 침착되지 않았으며 일부 세기관지와 폐낭에서 발견되었다.

Fig. 7은 흡에 폭로된 실험동물의 상기도(Head Airway)의 조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다. A는 호흡상피세포(Respiratory Epithelium), B는 이행상피세포(Transitional Epithelium), C는 후각상피세포(Olfactory Epithelium), D는 기관(Treachea)이다. 그림에서 보듯이 상기도 부근에서는 흡의 침착을 볼 수 없으며 조직병리학적 이상징후도 발견할 수 없었다.

Fig. 8은 세기관지(Bronchiole)를 보여주는 것인데 A는 대조군이고 B는 실험군으로 B의 Macrophages에 흡입자가 탐식되어 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9는 세기관지의 분지점(Bifurcating Bronchioles)을 보여주고 있으며 A는 대조군, B는 실험군이다. B의 Macrophages에서도 흡입자가 탐식되어 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 10에서는 폐의 폐낭(Alveolar sacs)을 보여주고 있다. A는 대조군이고 B는 실험군이다. B의 Alveolar Macrophages에서도 흡입자의 탐식을 확인할 수 있다.

Table 4에서는 조직병리학적 변화를 종합적으로 보여주고 있다. 용접흡 입자는 7일 이후부터 서서히 감소하여 14일에는 거의 소멸되었음을 볼 수 있다.

Fig. 7 Light Microscopic Photograph of Head Airway
Region of Welding Fume Exposed Rat

A: Respiratory Epithelium B: Transitional Epithelium
C: Olfactory Epithelium D: Treachea
(Hematoxylin and Eosin stain. x 200)

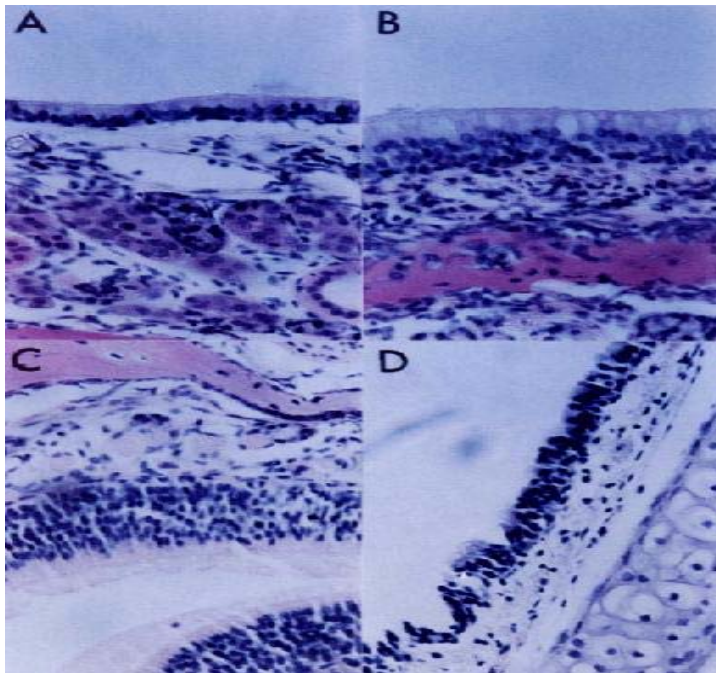


Fig. 8 Light Microscopic Photograph of Bronchiolar 에서는 조직병리학적인 변화를 종합적으로 보여주고 있다. 용접흄 입자는 7일 이후부터 서서히 감소하여 14일에는 거의 소멸되었음을 볼 수 있다.

Region of Welding Fume Exposed Rat

A: Control

B: Exposure

▷ Macrophages

▶ Welding fume ingested Macrophages

(Hematoxylin and Eosin stain. x 400)

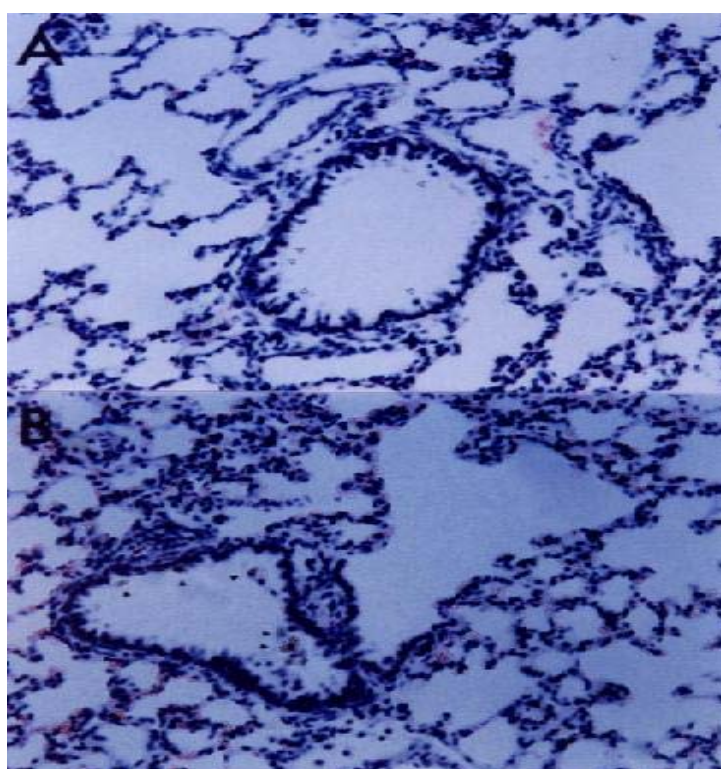


Fig. 9 Light Microscopic Photograph of Bifurcating Bron-
chioles Region of Welding Fume Exposed Rat

A: Control

B: Exposure

▷ Macrophages

► Welding fume ingested Macrophages

(Hematoxylin and Eosin stain. x 400)

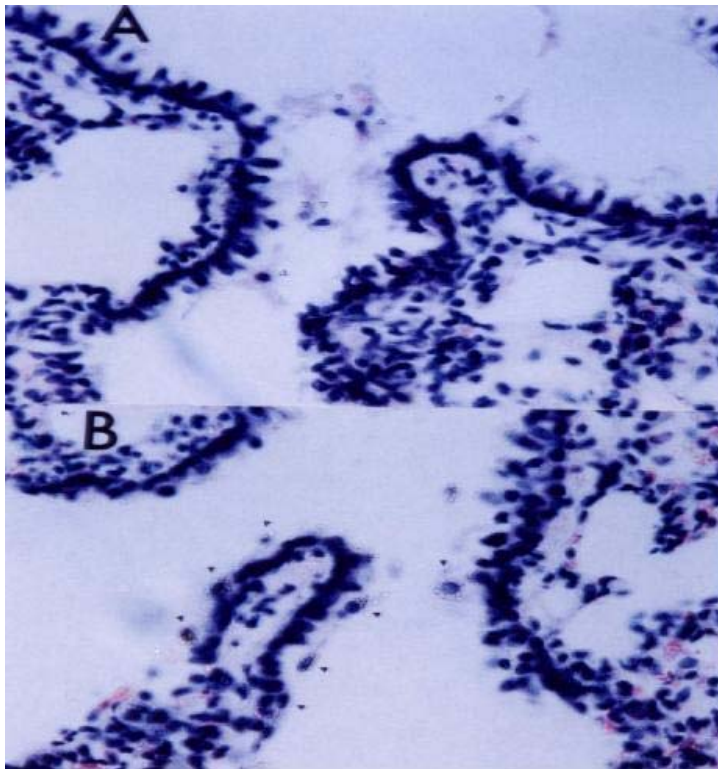


Fig. 10 Light Microscopic Photograph of Alveolar Region
of Welding Fume Exposed Rat

A: Control B: Exposure
▷ Macrophages ► Welding fume ingested Macrophages
(Hematoxylin and Eosin stain. x 400)

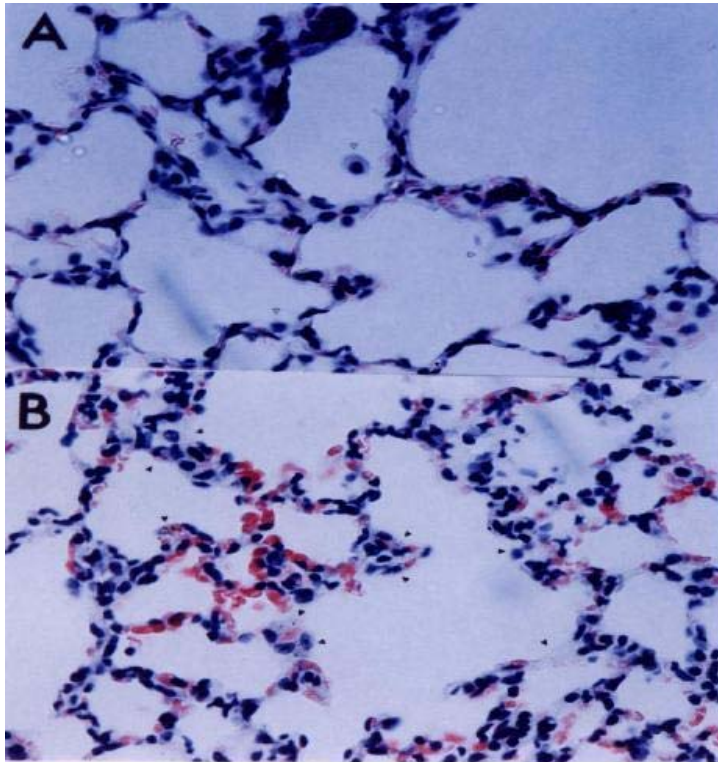


Table 4. Location of Welding fume Particles at Anatomical Region

Day	<u>Head airway</u>				<u>Tracheobronchial</u>			<u>Gas exchange</u>		
	squa	tran	resp	olfc	trac	bron	bronchiol	AD	AS	Al
0	-	-	-	-	-	-	++++	++++	++++	++++
1	-	-	-	-	-	-	++++	++++	++++	++++
3	-	-	-	-	-	-	++++	++++	++++	++++
7	-	-	-	-	-	-	+++	+++	+++	+++
10	-	-	-	-	-	-	++	++	++	++
14	-	-	-	-	-	-	±	±	±	+

Squa, squamous epithelium; tran, transitional epithelium; resp, respiratory epithelium; olfc, olfactory epithelium; trac, trachea; bron, bronchi; Ad, alveolar duct; AS, alveolar sac; Al, alveolar.

IV. 고찰

본 연구에서는 국내 최초로 stainless steel arc 용접흡을 발생시키기 위한 장치를 개발하였다. CO₂ 용접은 대부분이 자동용접기로 용접을 하기 때문에 용접흡을 발생시키기 용이하나 용접봉을 이용한 stainless arc 용접 (manual metal arc-stainless steel; MMA-SS)은 대부분이 수작업을 하기 때문에 용접흡 발생이 용이하지 아니하나 본 연구에서는 이를 경제적인 반자동 형식으로 개발하여 용접흡의 발생을 가능하게 하고 도 동물을 이용한 흡입독성시험을 가능하게 하였다. 일본과 미국의 용접흡연구 현황을 살펴보면, 본 연구자가 Harvard 대학의 공중보건학교실과 일본 노동성 산업의학총합연구소의 용접흡 연구팀과의 방문 토의와 그들의 기자재를 살펴본 결과로는 두 연구실이 CO₂ 용접의 독성을 연구하고 있으며 MMA-SS 연구는 용접흡의 발생의 어려움으로 실행을 못하고 있었으며, 두 연구실의 가장 큰 단점으로는 일정한 농도로 장시간의 실험동물 폭로가 어렵다는 사실이었다. 금번 우리가 개발한 용접흡 장치는 일정한 농도로 장시간 폭로가 가능한 장점이 있음으로 장단기 용접흡 독성연구에 아주 유용하게 사용될 수 있으리라 보며 현재 90일 장기 폭로 실험이 진행중에 있다.

본 연구가 제시하는 결과로 보아 용접흡 입자 폭로에 의한 비중격 천공은 가능성이 아주 적다고 생각된다. 용접흡은 평균 입자 직경이 0.1 μm 이며 용접흡 입자의 침착부위는 비강이나 기도가 아니며 주로 세기관지 (small bronchioles) 와 alveolar region이기 때문에 용접흡 입자가 비강에 침착되어 비중격 천공을 일으킬 가능성은 아주 낮으리라 생각된다. 그러나 용접흡 입자와 함께 발생하는 SO_x, NO_x, O₃, 등의 가스성 물질과 가스성 Cr VI 에 의한 비중격천공의 가능성은 배제할 수 없다. 본연구에서는 이들 가스성 물질에 대한 농도를 측정하지 않았으나 앞으로는 이들 가스성 물질에 대한 측정을 계획하고 있다.

조직병리학적인 조사에서 기관지, 세기관지에서는 아무런 주요 병변이 발견되지 않았으며 특히 기관지나 세기관지의 주요 병변으로 간주되는 섬모세포의 섬모상실이나 Clara세포의 증가등은 발견되지 않았다. 폐포 (alveolar)에서도 주요병변은 발견되지 않았지만, macrophage의 용접흡 탐식작용은 아주 현저하였으며 특히 bronchiol의 분지점 (bifurcating region)에서의 macrophage의 탐식작용은 많은 입자가 impaction에 의하여 침착될 수 있다는 것을 암시하고 있다. 용접흡의 평균 입자의 크기가 0.1 μm 이기 때문에 많은수의 입자는 diffusion에 의하여 폐포에 흡수될 수도 있을 것이라고 생각된다. 용접흡을 탐식한 macrophage가 lymphatic duct를 따라 폐의 local lymph node에 이동된 것을 조사하였으나 4시간 폭로후 14일 동안의 관찰 기간 동안에는 발견할 수 없었다. 앞으로의 장기 폭로에서는 가능하리라고 본다.

용접흡 입자는 7일 이후에는 소멸하기 시작하여 14일 이후에는 대부분이 소멸되었으나 많은 수의 세포들이 용접흡 입자를 유지하고 있었다. 이는 주요 금속 입자들은 시간이 지나면 용해가 되어 소멸이 되나, SiO₂ 같은 불용해성 입자들은 지속성이 높기 때문에 상당기간 유지될 것이라고 생각된다. 용접흡에 의한 진폐의 원인으로서는 SiO₂같은 durability가 긴 입자들이 상당기간 동안 많은 양이 축적 되었을 때 진폐가 발생되리라고 추측된다.

용접흡의 급성독성시험에서는 주요 병변이 발견되지 않았으며, 이 실험과 동시에 행한 혈액생화학적 검사와 혈액학 검사에서도 이상징후가 발견되지 않았다. 이는 65 mg/m³ 농도로의 4시간 폭로로는 혈액학적인 변화가 유발될 수는 없다고 생각된다.

이와같은 연구의 결과를 종합하여 볼 때 용접흡 폭로에 의한 비중격천공이나 진폐를 규명하기 위해서는 장기적인 폭로가 필요하며, 용접시 발생하는 gas상 물질의 역할도 배제할 수는 없으리라고 생각된다. 앞으로의 연구방향은 장기적 폭로가 필요하며 장기 폭로후 흉부 X선 검사와 금속의 장기 분포등의 조사를 병행하며, 그리고 망간중독의 기전 연구를 위해 뇌의 면역조직학적인 연구와 진폐의 기전 연구를 위해서는 폐의 면역조직학적인 연구를 병행하여 진해해나가야 한다고 본다.

V. 결 론

용접흡 자동발생기를 통한 stainless steel 용접흡의 분석결과와 실험동물을 4시간동안 폭로시키는 급성흡입독성실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 용접흡을 전자현미경(TEM)으로 분석한 결과 폐에 침착될 수 있는 $0.02 - 0.81\mu\text{m}$ 로 다양하게 분포하고 있었으며 평균 $0.098\mu\text{m}(\pm 1.42)$ 이었다.
2. 용접흡을 EDX(energy dispersive x-ray) 분석결과 사회적으로 문제가 되고 있는 Mn과 Cr 이 각각 11.39, 9.36%으로 많은 비중을 차지하고 있음을 알 수 있었다.
3. 4시간 전신폭로에 의한 급성흡입시험에서 실험동물에 특이한 임상적 소견 및 조직병리학적인 이상소견은 발견되지 않았으며 혈액과 혈액생화학적 검사에서도 정상범주내의 결과를 나타내었다.
4. 4시간동안 폭로된 실험동물에 대해 당일을 포함, 1, 3, 7, 10, 14일 후 부검하여 폐, 기관지, 비강에 대하여 조직병리학적 검사 결과 용접흡 입자는 비강에서 침착되지 않았으며 일부 세기관지와 폐낭에서 발견되었으나 7일 이후부터 서서히 감소하였으며 14일에는 완전히 소멸하여 발견할 수가 없었다.

이러한 결과를 종합하여 보면 stainless steel 용접흡은 망간중독과 비중격천공을 일으킬 수 있는 Mn과 Cr를 다량 함유하고 있다는 것과 흡입자의 특성에 따라 폐에 침착되어 진폐증과 같은 질병을 일으킬 수 있다. 4시간동안 급성폭로에 따른 결과에서 처럼 임상적, 조직병리학적, 혈액학적, 혈액생화학적, 이상소견이 발견되지 않았다 하더라도 장기 폭로시에는 어떠한 형태로든 영향을 미칠것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 스테인레스 용접흡에 대한 유해성을 검증하는데 있어서 체계적인 실험을 할 수 있었다는 것에 의의를 갖고자 한다.

VI. 참고문헌

1. 한국산업안전공단., 용접작업관리지침. 한국산업안전공단. 13 - 36 (1997).
2. 최 정영., 용접강도핸드북. 도서출판골드. 1 - 21 (1997).
3. 대한산업보건협회., 작업공정별 보건관리 매뉴얼. 대한산업보건협회. 98 - 141 (1993).
4. 한국산업위생학회., Co2 용접에서 용접변수의 변화에 따른 용접흠 제어 방법에 관한 연구. 한국산업위생학회. 76 - 87 (1998).
5. Welding Institute., Welding fume, Sources, Characteristics, Control. Welding Institute. Abington. United Kingdom. vol. 1, 2 (1981).
6. American Welding Society., Fume and Gases in the welding environment. American Welding Society. Miami. Florida. (1979).
7. Lunau F.W., Ozone in arc welding. Ann. Occ. Hyg. 10(3), 174 - 188 (1967).
8. Morley R. and Silk S.J., The industrial hazards from nitrous fume. Ann. Occ. Hyg. 13(2), 101 - 107 (1970).
9. Gray C.N., Fume formation in electric arc welding. ph. D. Thesis. University of bradford. United Kingdom. (1980).
10. Harding H.E., McRae T.D.L. and Mclaughlin A.I.G., Disease of lung in boiler scalers. Br. J. Ind. Med. 1, 247 - 251 (1944).
11. Charv R., Respiratory disorders among welders. An. Rev. Tuberc. 71, 877 (1955).
12. Eskildsen P., Silicosis in steel and iron cleaners. Acta Med. Scand. 135, 25 - 33 (1949).
13. Friede E. and Rachow D.O., Symptomatic pulmonary disease in arc welders. Ann. Intern. Med. 54, 121 - 127 (1961).

14. Halme J. Korhonen P. and Lindy S., Protocollagen proline hydroxylase activity in experimental pulmonary fibrosis of rats. J. Lab. Clin. Med. 25, 535 - 541 (1970).
15. Langaard S., A survey of respiratory symptoms and lung function in ferrochromium and ferrosilicon workers. Int. Occup. Environ. Health. 46, 1 - 10 (1980).
16. Hewitt P.J. and Gray C.N., Some difficulties in the assessment of electric arc welding fume. Ann. Ind. Hyg. Assoc. J. 44(10), 727 - 732 (1983).
17. Koshi K., Effects of fume particles from stainless steel welding on sister chromatid exchange and chromosome aberrations in chinese hamster cells. Ind. health. 17, 39 - 49 (1979).
18. Stern R.M., A chemical, physical and biological assay of welding fume. In : Institute of occupational health. The Hungarian - Finish Scandinavian symposium on industrial dust problems. Helsinki. 44 - 58 (1977).
19. Pirkko L.K., Marja L.J. and Kalevi K.K., Comparison of the behavior of stainless and mild steel manual metal arc welding fumes in rat lung. Scand J work environ health. 9, 176 - 180 (1983).
20. Costa M. and Mollenhauer H.H., Carcinogenic activity of particulate nickel compounds is proportional to their cellular uptake. Science. 209, 515 - 517 (1980).
21. Sunderman F.W., Hopfer S.M. and Knight J.A., Physicochemical characteristics and biological effects of nickel oxides. Carcinogenesis. 8, 305 - 313 (1987).
22. Boysen M. and Reith A.K., Stereological analysis of nasal mucosa III, Stepwise alterations in cellular and subcellular components of pseudostratified metaplastic and dysplastic epithelium in nickel workers. Virchows Arch. B. 40, 311 - 325 (1982).
23. Minni E., Gustafsson T.E. and Koponen M., A study of the chemical structure of particles in the welding fumes of mild and stainless steel. J. Aerosol. sci. 15, 57 - 68 (1984).

24. Goller JW. and Paik NW., A comparison of iron oxide fume inside and outside of welding helmets. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 46(2), 89 – 93 (1985).
25. Berg NO., Berlin M. and Bohgard M., Welding and thermal spraying fumes containing chromium in the rat. *Am. J. Ind. Med.* 11(1), 39 – 54 (1987).
26. Kalliomaki PC., Hyvarinen HK. and Aitio A., Kinetics of the metal components of intratracheally instilled stainless steel welding fume suspensions in rats. *Br. J. Ind. Med.* 43(2), 112 – 119 (1986).
27. Lam HF., Hewitt PJ. and Hicks R., A study of pulmonary deposition and the elimination of some constituent metals from welding fume in laboratory animals. *Ann. Occup. Hyg.* 21 (4), 363 – 373 (1979).
28. Amtonini JM., Krishna Murthy GG. and Brain JD., Responses to welding fume : lung injury inflammation and release of tumor necrosis factor- alpha and interleukin-1 beta. *Exp. Lung. Res.* 23(3), 205 – 227 (1997).
29. Amtonini JM., Krishna Murthy GG. and Rogers RA., Pneumotoxicity and pulmonary clearance of different welding fumes after intratracheal instillation in the rat. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 140(1), 188 – 199 (1996).
30. Jelmert O., Hansteen IL. and Langard S., Chromosome damage in lymphocytes of stainless steel welders related to past and current exposure to manual metal arc welding fumes. *Mutat. Res.* 32(3), 223 – 233 (1994).
31. Blanc PD., Boushey HA. and Wong H., Cytokines in metal fume fever. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147(1), 134 – 138 (1993).
32. Von Haan E. and Grom J.J., The pathology of shielded arc welding. *J. Ind. Hyg. Toxicol.* 23, 55 (1941).
33. McCord C.P., Harrold G.C. and Meek S.F., A chemical and physiological investigation of electric arc welding III, coated welding rods. *J. Ind. Hyg. Toxicol.* 23, 200 (1941).
34. Hewitt P.J. and Hicks R., An investigation of effect of inhaled welding fume in the rat. *Ann. Occup. Hyg.* 16, 213 (1973).

35. Hewitt P.J. and Hicks R., The retention of metallic elements in tissues of rats exposed to welding fumes. Br. J. Pharmacol. 46, 571 (1972).
36. Vlasova – pryadilova N.V., An occupational health study of arc welding and cutting of copper. Gig. Tr. Prof. Zabol. 15, 20 (1971).
37. Arutyunov V.D., Kirreev V.I. and Likachev Y.P., Development of pulmonary alveolar proteinosis following inhalation of some industrial aerosols. Gig. Tr. Prof. Zabol. 9, 33 (1976).
38. Farrants G., Schuler B. and Karlsen J., Characterization of the morphological properties of welding fume particles by transmission electron microscopy and digital image analysis. An. Ind. Hyg. Assoc. J. 50(9), 473 – 479 (1989).
39. Safety and health committee of the American Welding Society., Effects of welding on health. (1972).
40. American conference of government industrial hygienists., Threshold limit values for chemical substances and physical agents, Biological exposure indices. ACGIH. Cincinnati. (1997).