

技術報告

大韓熔接學會誌
第1卷第2號 1983年12月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 1, No. 2, Dec., 1983

철분 산화철계 Low Fume 용접봉에 관한 연구

한 회 춘*

Study on the Low Fume Electrode of Iron Powder Iron Oxide Type

by

Hwe Choon Han*

1. 서 론

용접중 발생하는 흠(Fume) 및 가스는 용접작업 환경을 오염시킬 뿐만 아니라 인체에 매우 유해하다. 용접 흠(Fume)은 금속 산화물로 구성된 아주 작은 입자이며 가스는 일반적으로 CO, CO₂, NO_x, SO_x, XF 등으로 구성되어 있다. 일반 피복 아아크 용접봉에서 발생하는 용접 흠은 인체에 매우 해로운 영향을 미친다. 즉 다량 흡입하게 되면 두통, 발열 등 급성 증상이 발생한다. 또한 소량을 장시간 흡입해도 진폐 등 만성 증상을 일으킨다. 그러므로 현 국내 용접장에서는 흠에 의한 장해 방지를 위하여 충분한 환기 시설과 완벽한 보호구 착용 그리고, 용접 재료 자체의 흠 발생량을 감소시킨 저 흠 용접봉(low fume type electrode)의 사용 방법 등이 검토 실시되고 있다. 본 보고서에서는 흠에 대한 올바른 인식을 피하는 한편, 용접자의 건강 보호를 목적으로 개발된 조선 및 철구조물의 주요 용접 재료인 철분 산화철계 저흠 용접봉에 관하여 소개하고자 한다.

2. 용접 흠(Fume) 생성 기구

용접중 발생하는 흠 생성 기구에 대해서는 세계 각국에서 연구가 활발히 진행되고 있지만 일반적으로 알려진 것은 증기압에 의한 흠의 생성이다. 용접중 용융 금속의 표면에는 그 물질의 증기가 잔재하며, 증기

압 즉 증기의 양은 온도가 높을수록 많다. 특히 아아크 용접에 있어서 아아크의 온도는 3000~6000°C 정도의 고온이므로 용접봉의 선단, 이행중의 용적 및 용융지의 표면에서는 금속 증기와 후락스 등을 구성하는 물질의 증기가 격렬하게 발생되고 있다, 이러한 증기가 공기중에 방출되면 증기 전체가 급속히 냉각되는 동시에 금속은 산화되어 극히 미세한 고체의 입자로 된다. 고화된 금속 산화물은 고온 용접부에서 상승 기류와 함께 연기 모양으로 되어 상승한다. 이것이 용접 흠이다. 이 흠 입자는 구상에 가까운 형상을 가지며 다수가 용접하여 사슬 모양의 이차 입자를 형성한다. 인체에 영향을 미치는 흠은 이 이차 입자에 속하며 크기는 보통 0.1 μ m ~ 10 μ m이다. 사진 1은 용접봉 종류별 흠 현상을 나타낸 것이다.



a-E6010 흠
(20,000X)



b-E7018 흠
(20,000X)

사진 1. 흠의 모양

* 서한개발(주) 포항 용접봉 공장, 정회원

3. 실험

본 실험에서는 현재 국내 시판 사용중인 철분 산화철계 용접봉(AWS E 6027)과 외국에서 개발된 저 흡용접봉(AWS E 6027), 그리고 본 연구에서 시작한 용접봉의 흡 발생량, 화학 성분 및 기타 성능 시험으로 구분, 비교 시험하였다.

3.1 흡 발생량 측정 실험 방법

용접중 발생하는 흡량을 측정하는 데는 High Volume Air Sampler 및 Low Volume Air Sampler를 이용하는 2가지 방법이 있다. 본 연구진은 이 2가지 방법을 병행 사용하여 시험하였다.

3.1.1 High Volume Air Sampler Method

이 시험 방법의 특징은 용접중 발생하는 흡 전량 채취가 가능하고 여과지(filter paper)에 채취되는 흡 농도의 육안 식별이 가능하며, 다량의 흡이 채취되기 때문에 흡의 화학 성분 분석이 용이하다. 반면에 흡 이외의 공기 중의 먼지 및 스캐터 등이 포집될 수 있어 분석의 오차 범위가 큰 단점이 있다. 측정 장치의 개략적인 구성은 그림 1에서 보는 바와 같다. 시험 순서는 흡입기를 가동, 일정 시간(sec) 용접 후 여과지에 포집된 매연을 계량한 후 F_i (용접 단위 시간당 발생한 전 흡량) 및 F_w (소비 용접봉 단위 질량당 발생한 전 흡량)를 산출한다. 동일 시험을 3회 반복하여 평균 값을 구한다. 흡의 중량 계산식은 다음과 같다.

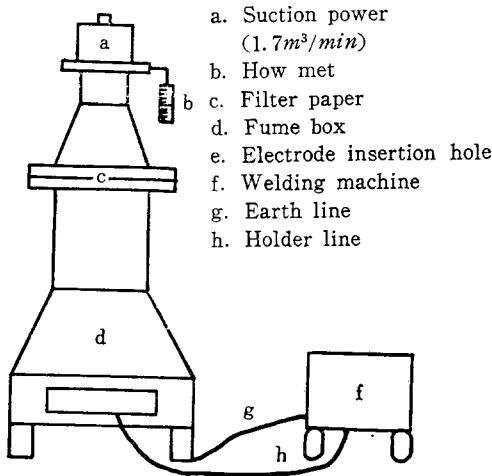


그림 1. High volume air sampler 시험기

- a. Suction power (1.7m³/min)
- b. How met
- c. Filter paper
- d. Fume box
- e. Electrode insertion hole
- f. Welding machine
- g. Earth line
- h. Holder line

$$F_i = \frac{W_2 - W_1}{T} \times 60 \quad F_w = \frac{W_2 - W_1}{M_2 - M_1}$$

F_i : 용접 단위 시간당 발생한 전 흡량(mg/min)
 F_w : 소비 용접봉 단위 질량당 발생한 전 흡량(mg/g)

T : 용접 시간(sec)

W_1 : 흡 포집 전 여과지 질량(mg)

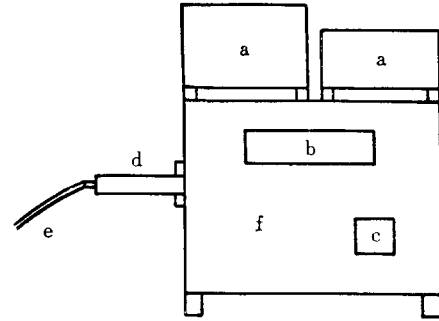
W_2 : 흡 포집 후 여과지 질량(mg)

M_2 : 용접 전의 용접봉 질량(g)

M_1 : 용접 후의 용접봉 질량(g)

3.1.2 Low Volume Air Sampler Method

이 방법은 밀폐된 일정 부피의 용기내에서 흡을 발생시킨 후 일부분의 공기 시료를 채취하여 흡 중량을 채취하는 방법이다. 흡수부에 cyclone이 부착되어 인체에 영향을 주는 15 μ m 이하의 순수 흡만을 채취할 수 있어 시험의 정확성과 신뢰도가 높은 측정 방법이라 할 수 있다. 측정 장치의 구성은 그림 2에서 보는 바와 같



- a. Suction set
- b. Observation glass
- c. Electrode insertion hole
- d. Probe
- e. Silicon tube
- f. Fume box

그림 2. Low volume air sampler 시험기

으며 시험 순서는 일정 시간(sec) 용접 후 일정량의 시료를 채취한 다음 여과지에 포집된 흡을 계량한 후 F_i 및 F_w 를 산출한다. 이 시험을 3회 반복하여 평균 값을 구하며, 흡의 중량 계산식은 다음과 같다.

$$F_i = A/T \times V/N \quad F_w = A/W \times V/N$$

단, F_i : 용접 단위 시간당 발생한 흡량(mg/min)

F_w : 소비 용접봉 단위 질량당 발생한 흡량(mg/g)

A : 일정 시료 공기에 포함되어 있는 흡 중량(mg)

V : 흡 발생 용기의 유효 용적(l)

W : 소비 용접봉 중량(g)

T : 용접 시간(min)

N : 채취된 일정 시료 공기량(l)

3.2 기타 성능 시험

기타 성능 시험은 전 용착 시험, 용접성 비이드 외 관, 파단 시험, 능률성, 운봉비별 각장 관계를 비교 시험하였다.

4. 시험 결과

4.1 국내의 시판 용접봉의 흠 발생량 비교

High Volume Air Sampler Method에 의한 국내 A, B, C사 용접 재료(AWS E 6027)와 국외 저 흠 용접봉(AWS E 6027)의 흠 발생량을 비교한 결과는 표 1에서 나타낸 바와 같다.

표 1에서 나타난 바와 같이 국내 기존 철분 산화철계 용접봉의 흠 발생량은 Ft avg. 420~510이며, 외국

표 1. 발생 흠량의 비교

Maker	회 구분	1	2	3	avg.
		국내 A 사	Ft 448	491	
	Fw	6.8	7.8	8.9	7.8
B 사	Ft	508	496	512	505
	Fw	7.1	6.9	7.3	7.1
C 사	Ft	437	398	428	421
	Fw	6.2	5.9	6.1	6.1
국외 D 사 (low fume type electrode)	Ft	265	322	280	280
	Fw	4.7	6.8	4.4	5.0

(5.0φ 기준 Amp. 220~230)

표 2. 흠 발생량

제품	회 구분	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	avg.
		개발시작품	Ft 304	269	379	280	273	347	310	325	335	
	Fw 4.2	3.9	5.7	4.7	4.2	5.5	4.7	4.7	4.9	4.0	4.7 (mg/g)	
기존품	Ft 407	448	465	690	467	534	491	495	420	668	498.6 (mg/min)	
	Fw 6.2	6.8	6.9	10.1	6.8	8.9	7.8	7.2	5.8	9.3	7.6 (mg/g)	
외국 Low Fume Type Electrode	Ft 265	333	272	379	280	232	296	322	304	332	311.5 (mg/min)	
	Fw 4.7	6.2	5.0	6.7	4.4	5.5	4.7	6.0	5.1	6.2	5.4 (mg/g)	

(5.0φ 기준 Amp. 220-230)

산 저 흠 용접봉은 Ft avg. 260으로 외국산 저 흠 용접봉의 흠 발생량이 국내 기존 용접봉의 것보다 30~50% 적은 것을 알 수 있다. 표 1을 참고로 본 연구에서는 흠 발생에 영향을 미치는 인자, 즉 피복재의 화학 조성, 용접법, 용접 조건 등을 각각도로 분석하여 외국산 저 흠 용접봉의 흠 발생 수준보다 낮은 용접봉을 시작하였다.

4.2 개발 시작품과 기존 시판봉 및 외국산 저 흠 용접봉의 흠 발생량 비교

개발 시작품 및 기존품, 외국산 저 흠 용접봉의 High Volume 및 Low Volume Air Sampler Method를 사용하여 흠 발생량을 측정한 결과는 표 2 및 그림 3과 같다.

그림 3, 4에서 나타난 바와 같이 개발 시험품의 흠 발생량 수준은 국내 시판 기존품보다 약 30~50% 감

4.2.1 High Volume Air Sampler Test

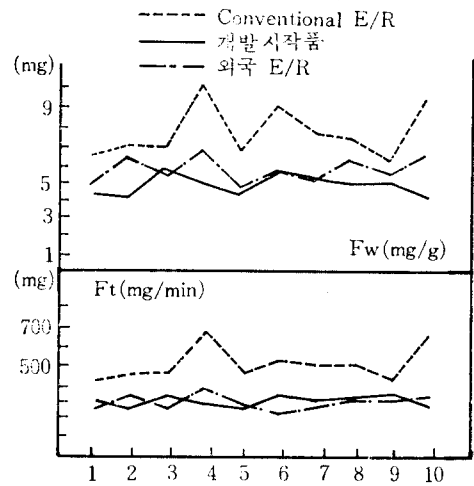


그림 3. 발생된 흠의 양

4.2.2 Low Volume Air Sampler Test

표 3. 발생된 흙의 양

제 품	구분	회	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	avg.
		개발시작품	Ft	345	285	245	250	265	245	300	295	245	270
	Fw	5.0	4.1	3.6	3.7	3.8	3.6	4.3	4.3	3.6	3.9	4.0 (mg/g)	
기 존 품	Ft	495	485	445	485	481	495	505	510	520	550	497.1 (mg/min)	
	Fw	7.3	7.2	6.2	7.3	7.0	7.3	7.2	7.4	7.7	8.1	7.3 (mg/g)	
외 국 Low Fume Type Electrode	Ft	300	345	240	255	295	250	255	335	220	240	273.5 (mg/min)	
	Fw	4.5	5.6	4.0	4.1	4.9	4.2	4.0	5.6	3.8	4.0	4.4 (mg/g)	

(5.0φ 기준 Amp. 220-230)

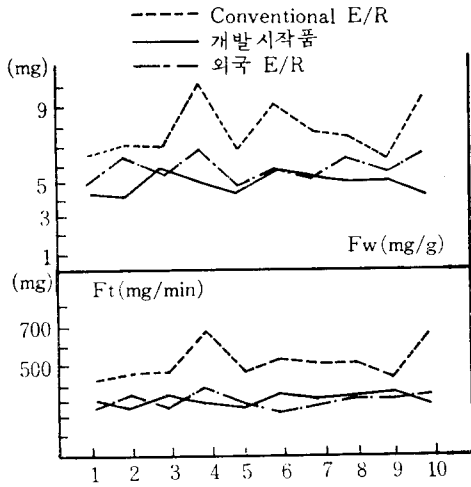


그림 4. 발생된 흙의 양

소된 것으로 나타났으며, 외국 저 흙 용접봉과 비슷한 수준으로 나타났다.

4.2.3 용접봉경 및 전류에 따른 흙 발생량 비교

용접봉경 및 전류에 따라 흙 발생량은 달라진다. 그림 5는 봉경 및 전류에 따른 흙 발생량을 나타낸 것이다.

4.2.4 흙의 화학 성분 비교

흙의 화학 조성을 표 4에 나타내었다. 표 4에 나타난

표 4. 흙의 화학 조성

Electrode	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
개발시작품	41.95	32.85	9.25	0.44	2.40	Tr	0.13	4.53	5.87
기 존 품	44.69	34.65	7.65	Tr	1.21	Tr	0.75	5.03	4.78
외 국 Low Fume Type Electrode	43.46	34.40	8.96	Tr	3.49	Tr	0.52	4.96	4.07

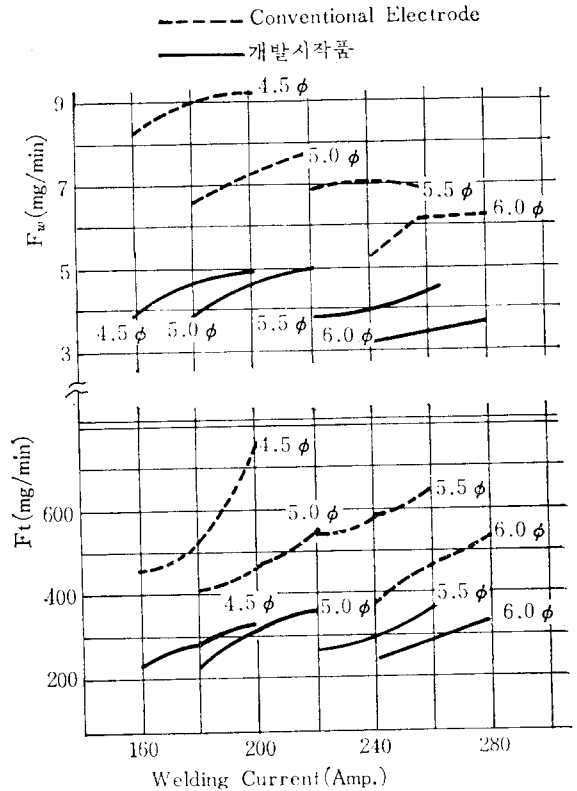
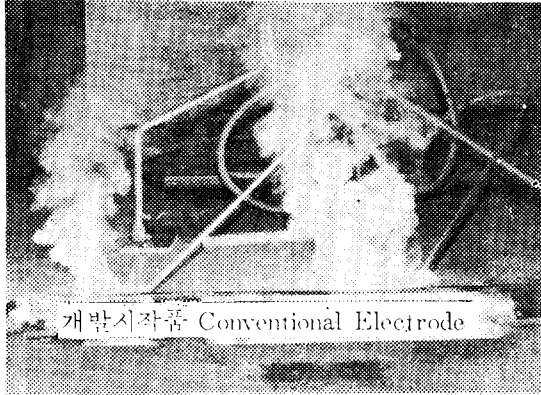


그림 5. 봉경 및 전류에 따른 흙 발생량

바와 같이 기존품 개발 시작품 및 외국 저 흠 용접봉은 화학 조성상 거의 차이점이 없음을 볼 수 있다.

4.2.5 흠 발생량 육안 비교

사진 2는 용접시 육안으로 측정되는 흠 발생 현상을 나타내었다.



개발시작품 Conventional Electrode

사진 2. 흠 현상

4.3 개발 시작품의 제반 성능 시험 결과

흠 발생량에서 철분 산화철 계통의 시작품은 흠량이 기존 용접봉보다 상당히 감소된 저 흠 용접봉으로 나타났으며 성능 시험 결과는 다음과 같다.

4.3.1 전용착 시험(All-Weld Metal Test)

시작품과 기존품의 용착 금속의 화학 성분 및 기계적 성질을 미국 용접학회 규정(AWS A 5.1)에 의거 시험한 결과는 표 5와 표 6에서 보는 바와 같다.

1) 용착 금속의 화학 성분

표 5. 용착 금속의 화학 조성(%)

E/R	성분	C	Si	Mn	P	S
개발 시작품		0.056	0.34	0.82	0.027	0.014
기존 품		0.070	0.55	0.84	0.031	0.015

2) 용착 금속의 기계적 성질

표 6. 인장 시험 및 충격 시험 결과

E/R	항복 (kgf/mm ²)	YP (kgf/mm ²)	TP (kgf/mm ²)	EL (%)	RA (%)
개발 시작품		48.6	51.6	27.6	64.0
기존 품		44.8	49.9	24.8	51.0
AWS Spec.		≥35.2	≥43.6	≥22.0	—

4.3.2 작업성

표 8은 용접시 나타나는 개발 시작품의 작업성 성능을 나타낸 것이다.

표 7. 충격 시험 결과(-20°C)

E/R	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X
개발 시작품	5.8	5.3	5.8	5.4	5.2	5.5
기존 품	4.6	5.8	5.5	5.4	5.3	5.4
AWS Spec.	≥2.76 at -29°C					

표 8. 작업성

E/R	항복 유동성	슬래그 배리어성	아아크 안정성	용융성	비이드 외관	기타
개발 시작품	○	◎	○	○	◎	○
기존 품	◎	◎	○	◎	○	○

◎ 매우 양호 ○ 양호 △ 보통 × 불량

4.3.3 개발 시작품의 비이드 외관

speed ratio 1.27-1.32

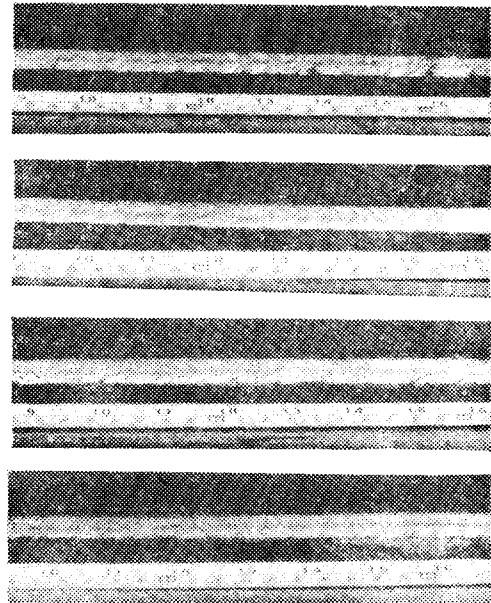


사진 3. 비이드 외관

사진 3에서 보는 바와 같이 개발 시작품은 아름다운 비이드를 가진다.

4.3.4 내기공성(Resistance to Blow-Holes)

펄렛 용접에서 페인트, 먼지, 녹 등은 기공을 발생시킨다. 개발 시작품은 사진 4에서 보는 바와 같이 파단 시험 결과 기공이 없다. 이 용접봉은 기공에 강한 저항성을 가진다.

4.3.5 용접 효율성(Welding Efficiency)

표 9는 용착 속도, 용융 속도, 용착 효율을 나타

표 9. Melting Rate, Deposition Rate and Deposition Efficiency

(5.0φ 기준)

항 목 E/R	용접 전류 (amp.)	용융 속도 (mm/min)	용착 속도 (g/min)	용 착 효 율	
				A	B
개 발 시 작 품	230	212.15	48.36	69.82	147.96
	250	248.03	54.93	68.18	143.75
기 존 품	230	213.18	48.70	68.20	152.82
	250	250.21	54.72	68.32	146.29
외 국 Low Fume Type Electrode	220	200.35	38.95	66.86	126.21
	250	242.87	47.26	66.73	126.02

* 용착 효율/A : 용접봉에 대한 용착 효율 B : 심선에 대한 용착 효율

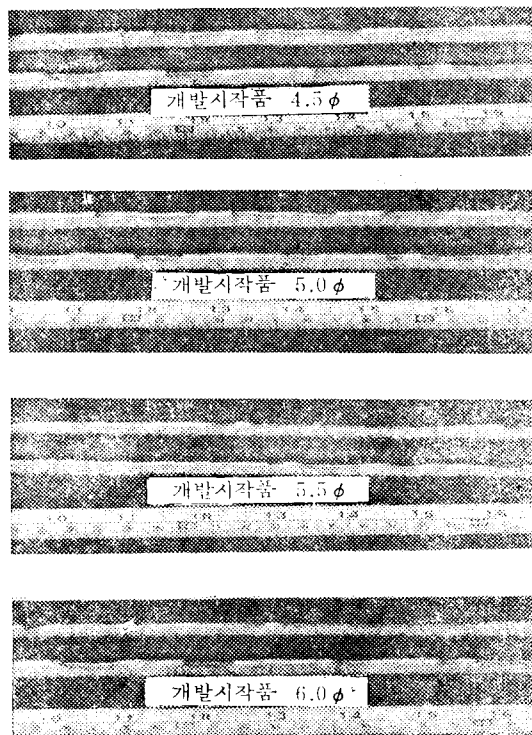


사진 4. 비이드 파단면

낸다.

4.3.6 운봉비별 각장

개발 시작품의 봉경별 운봉비에 따른 각장과의 관계를 그림 6에서 나타내었다.

5. 결 론

철분 산화철계 용접봉의 성질을 충분히 만족한 저 흙 용접봉을 개발하게 되었다. 용접성, 작업성, 기타 기계적 성질 등의 면에서도 본 시작품은 우수한 것으로

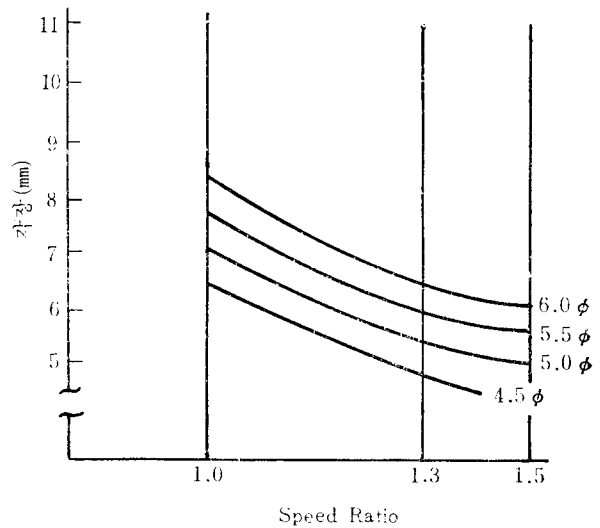


그림 6. 용접 속도와 각장과의 관계

시험 평가되었다.

일본에서는 1975년 저 흙 용접봉이 처음 개발된 이래로 수종이 개발 사용되어 작업자의 안전에 크게 기여하고 있다.

본 연구진도 국내 처음 시도 개발된 철분 산화철계의 저 흙 용접봉을 시발로 전 용접 재료의 저 흙화를 추진 중이다.

국내 용접 관계자 및 재료 메이커에서도 이 방면에 깊이 있는 관심과 노력을 경주할 때라고 본다.

참 고 문 헌

1. A.W.S. "Fumes and Gases in the Welding Environment", 1979.
2. A. W. S "Characterization of Arc Welding Fume" February, 1983.