

설비배관에서 용접봉에 따른 환경오염

윤영목*, 이우람⁺, 이철구⁺⁺, 김주한⁺⁺
(논문접수일 2009. 4. 6, 심사완료일 2009. 5. 23)

Environments Pollution Caused by Welding Rod in the Process of Pipe Working

Young-Mook Yoon*, Woo-ram Lee⁺, Chul-Ku Lee⁺⁺, Joo-han Kim⁺⁺

Abstract

Welding technology is applicable in many kinds of fields, with the help of its advantages such as easy operational procedure and structural simplification. However, in the process of welding, hazardous materials and fumes cause huge fire broke-outs, explosions, and health-conscious problems. Also, as heavy metals in fumes have a harmful effect on the environment, recently, this has emerged as a urgent social issue. This study has been aimed at the recommendation of the most environment-friendly, among materials currently used in plumbing welding, and it has been done at the result of the analysis of amount, ingredient, and size in collected fumes created in the experiment of welding five rods to galvanized steel pipes and steel pipe ones. At the test result, due to the effect of Zn-coating, galvanized steel pipes, when welded to rods, created more fumes than steel pipe ones. In the mean time, when it comes to welding rods, among five, WR-03 produced fumes the least. Therefore, a combination of the test results clearly indicates that the case of welding WR-03 to cast-iron pipes turned out to be the most environment-friendly.

Key Words : Fume(용접흠), Heavy metal(중금속), Welding rod(용접봉), Environment-friendly(친환경)

1. 서론

현재 각종 자동차, 수송기기, 항공기의 경량화를 위한 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며 이를 위해 알루미늄합금과 마그네슘합금 등 경량합금 부재의 적용이 빠른 속도로 확

대되고 있다⁽¹⁾. 뿐만 아니라 실생활에서는 배관용접에 사용되는 기술 또한 빠르게 향상되고 있다.

그러나, 용접작업의 위험·유해성은 그간 다른 유해·위험 요인 보다 소홀히 다루어져 왔으나, 최근 대형화재·폭발 또는 산업현장에서 부수적으로 발생하는 용접 흠 및 유해 물

* 서울산업대학교, 친환경소재 제품인력양성센터 (youngarms@gsneotek.co.kr)

주소: 152-055 서울시 구로구 구로동 588 지에스네오텍(주)

+ 서울산업대학교 NID대학원 나노, IT융합프로그램

++ 서울산업대학교 기계공학과

질로 인한 근로자의 건강장해가 사회적 문제로 대두되면서 용접 흠 속에 함유된 중금속으로 인한 새로운 작업병이 사회적인 관심사로 부각되었다.

따라서, 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여 용접 흠의 발생량이 높은 아크용접에 대해서, 건설현장에서 많이 사용하는 백관과 흑관에 대한 아크용접 실험을 실시하여, 발생하는 흠을 용접봉의 성분구성을 변화시켜가며 실시 포집하여, 양과 성분을 분석하여, 건설현장의 환경오염을 저감시켜 인체의 유해성을 줄일 수 있는 용접재료에 대한 방향을 제시코져 한다.

2. 용접의 유해성

2.1 용접중 발생하는 중독성 가스 재해

초기에는 용접 작업시 피복제의 연소로 인해 발생하는 중독성 가스가 재해의 전부라고 생각하였으나 최근 일반적인 후락스 속에는 산화철, 이산화망간, 페로망간, 셀룰로오스, 석회 등이 있어 이것들의 연소로 인해서 가스와 흠이 발생하고 있다.

용접매연의 영향을 주는 인자를 살펴보면

- 1) 용접전류와 전압의 상승으로 매연이 증가한다.
- 2) 용적의 이행 형태에 따라서 달라진다.
- 3) 전류의 정류와 극성에 따라서 달라진다.
- 4) 보호가스의 영향을 받는 경우도 있다.

2.2 용접작업으로 인한 건강장해 유형

- ① 급성호흡기 질환
- ② 만성 호흡기 질환
- ③ 발암
- ④ 눈과 시력장해
- ⑤ 신경계 장해
- ⑥ 심혈관계 장해
- ⑦ 위장관 장해
- ⑧ 근골격계 장해
- ⑨ 청력장해
- ⑩ 피부질환

3. 실험

3.1 실험재료

실험에서 용접에 사용된 시편은 실제 건축설비 현장에서 가

장 많이 사용하는 KSD3507규격의 100mm 백관(galvanized steel pipe)과 흑관(steel pipe)을 선정하였으며, 용접봉 또한 실제 현장에서 가장 많이 사용하는 5종류의 용접봉을 선정하였다.

용접봉은 고산화티탄계(high-titania potassium type) 용접봉 3종류와 일미나이트계(Ilmenite type) 용접봉 2종류를 사용하였다. 실험에 사용된 용접봉의 사양 및 용착금속의 구성성분은 Table 1과 같다.

포집장치는 클린에어텍의 CF-200을 사용하였으며, 입경 0.3 μ m의 입자를 99.97% 이상 포집이 가능한 헤파필터(hepa filter)를 장착하여 발생하는 용접 흠을 포집하였다.

3.2 실험장치 및 방법

흠 포집을 위하여 Fig. 1과 같이 HVAS(High Volume Air Sample) 방식으로 실험장치를 구성 실시하였다.

이 시험 방법의 특징은 용접중 발생하는 흠 전량 채취가 가능하고 헤파필터에 채취되는 흠 농도의 육안 식별 및 다량의 흠이 채취되기 때문에 흠의 화학 성분 분석이 용이하다. 반면에 흠 이외의 공기 중의 먼지 및 스펙터 등이 포집될 수 있어 분석의 오차 범위가 큰 단점이 있다.

흠 포집 장치로는 CF-200모델을 사용하였으며, 실험에 사용된 헤파필터는 20CMM의 풍량에서 0.3 μ m의 입자를 99.97%

Table 1 Chemical ingredient of welding rod

Rod	Series	Dia. [mm]	Coated flux [%]				
			C	Si	Mn	P	S
WR-01	High-titania potassium type	2.6	0.059	0.310	0.530	0.026	0.015
WR-02	High-titania potassium type	2.6	0.049	0.230	0.350	0.022	0.017
WR-03	High-titania potassium type	2.6	0.080	0.280	0.380	0.017	0.011
WR-04	Ilmenite type	2.6	0.080	0.100	0.420	0.016	0.010
WR-05	Ilmenite type	2.6	0.055	0.100	0.370	0.021	0.014

이상 포집할 수 있는 필터를 사용하였다.

그리고 실험실내에서 발생하는 먼지 및 수증기가 필터에 미치는 영향을 최소화 하기위해서 각각의 필터에 대해서 실험전에 10분간 용접을 실시하지 않고 포집장치를 가동시켜 캘리브레이션(calibration)을 실시 측정값을 보정하였다.

실험은 Fig. 1과 같이 구성하고, 용접을 실시하기 전후에 30초 동안 포집장치를 가동하여 잔류하는 용접 흄을 모두 포집하였으며, 용접시 전압은 부하전압 DC 27V, 전류는 80A로 셋팅하여 피복아크 용접을 실시하였다.

실험순서는 우선 용접실시 전의 시편, 필터, 용접봉의 무게 및 길이를 측정한다. 그리고 Fig. 1과 같이 셋팅 한다.

이때 포집장치와 용접시편간의 거리는 실제 작업자와 용접시편간의 거리를 고려하여 30cm로 설치될 한다. 용접 약 30초전에 포집장치의 펌프를 가동시키고, 용접봉 10개의 용접을 실시한다.

용접이 완료 30초 후 포집장치 가동을 정지시키고, 필터와 시편, 잔여 용접봉의 무게를 측정한다. 이렇게 1종의 용접봉에 대하여 3회의 반복실험을 실시한 후, 용접 흄과 필터 샘플을 채취한다. 이렇게 채취한 샘플은 FE-SEM을 통해 촬영 및 원소를 분석하였다.

이렇게 측정된 흄의 중량은 아래의 계산식을 통해 계산한다.

$$F_t = \frac{W_2 - W_1}{T} \times 60 \quad (1)$$

$$F_w = \frac{W_2 - W_1}{M_2 - M_1} \quad (2)$$

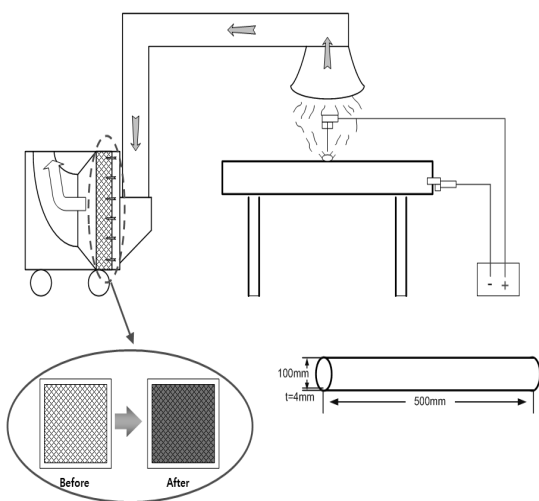


Fig. 1 Diagram of experimental apparatus

F_t : 용접 단위시간당 발생한 전 흄량(g/min)

F_w : 소비 용접봉 단위 질량당 발생한 전 흄량(g/g)

T : 용접시간(sec)

W_1 : 흄 포집 전 여과지 질량(g)

W_2 : 흄 포집 후 여과지 질량(g)

M_1 : 용접 전의 용접봉 질량(g)

M_2 : 용접 후의 용접봉 질량(g)

4. 결과 및 고찰

4.1 용접흄 입자의 크기 및 형상

용접시 흄은 미세한 입자(1/수백~1/수십 μ m)들로 발생되지만 발생 직후 1차 입자들이 다수 응집하여 2차 입자(0.01~10 μ m)를 형성하게 되며 이것들이 용접사의 호흡 영역에 존재하다가 호흡에 의해 체내에 흡입된다.

따라서 인체에 미치는 영향을 고려하는 경우 중요한 입자는 1차 입자의 크기가 아니라 2차입자의 크기이다.

2차 입자는 입자들 사이의 정전기력과 수분에 의한 흡착력에 의해 생성된다. 입자 크기와 생성 기구를 고려하면 정전기력과 수분에 의한 흡착력에 의해 생성된다.

입자 크기와 생성 기구를 고려하면 정전기력의 크기는 용접재료에 관계없이 일정하다고 가정할 수 있다.

따라서 알카리 원소들인 Li, Na, K 등 흡착력에 영향을 미치는 성분들의 함량이 증가함에 따라 2차 입자내 1차 입자의 수가 증가한다.

본 실험에 사용된 백관과 흑관 그리고 용접봉에는 알카리 원소들의 함량이 적으므로 흡입자 크기가 거의 비슷한 것을 Fig. 2~11에서 확인할 수 있다.

또한 용접 흄은 호흡기를 통해 인체로 들어갈 때 0.1~5 μ m의 크기를 가진 입자들이 호흡에 의해 인체내에 가장 잘 흡수되며 5 μ m 이상의 입자는 상부 기관지에 붙어 있다가 가래와 함께 배출되고 0.1 μ m 이하의 입자는 숨을 쉴 때 호흡기를 통해 다시 배출된다.

백관에서는 Fig. 2의 WR-01, Fig. 3의 WR-02, Fig. 6의 WR-05의 사진에서 볼 수 있듯이 인체에 유해한 크기의 입자(0.1~5.0 μ m)가 많이 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 흑관에서는 Fig. 7의 WR-01, Fig. 10의 WR-04, Fig. 11의 WR-05의 사진에서 볼 수 있듯이 인체에 유해한 크기의 입자(0.1~5.0 μ m)가 많이 분포되어 있는 것을 볼 수 있다.

따라서 입자의 크기만을 고려할 때 인체에 무해한 용접봉은 WR-03이다. 또한 백관의 용접 흄이 흑관에 비해서 조금

더 미세한 것을 볼 수 있는데, 이것은 백관의 아연이 산성에 가까운 금속원소로서 함유되어 있지 않을 때 보다 용접 흠의 흠착에 의한 성장을 방해하기 때문이다. 이러한 점이 가장 두드러지는 것은 동일한 용접봉 WR-03를 사용한 Fig. 4와 Fig. 9의 주사형 전자 현미경(SEM) 측정에서 볼 수 있다.

4.2 용접흠의 화학조성

모재 내의 금속성분의 농도가 증가하면 흠의 농도가 증가하므로 흠의 구성성분을 살펴보면, 백관이나 흑관 모두 용접 자재의 주원소인 철의 함유량이 가장 많았다.

용접 흠의 검출 원소 중 Mn은 흠에 함유된 다른 원소에 비해서 장기간 노출 시 금속열, 중추신경 장애 및 망간중독과 같이 인체에 미치는 영향이 크므로 흠의 화학조성 중 인체에 미치는 영향의 척도로 삼을 수 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 고산화티탄계 용접봉에서는 WR-01의 망간농도가 가장 높으며, 일미나이트계 용접봉에서는 WR-04의 망간농도

가 높으므로 인체에 유해도가 높다고 볼 수 있다.

이와 같은 결과는 용접봉에 함유된 원소 비중을 분석해 볼 때, 용접봉의 망간함유량도 중요하지만, 망간과 인의 비중이 높을수록 용접 흠에서 망간의 함유량이 높아지는 것을 관찰 할 수 있었다.

따라서 망간의 함유량을 낮추면서 인의 함유량을 높일때 흠에 망간 함유량을 낮출 수 있으므로 친환경적인 용접봉 개발을 위해서는 이에 대한 최적의 비율을 도출 할 필요가 있다.

백관의 흠에서는 망간이 검출되었는데, 망간은 금속열과 같은 인체 장애가 있으므로, 백관 용접이 흑관 용접에 비해서 유해함을 알 수 있다.

4.3 용접흠의 발생량

앞에서 언급한 바와 같이 백관은 아연도금 재질로 용접시 산화아연이 흠에 포함되어 있어 흑관에 비해서 흠의 발생량

Table 2 Component of fume[Galvanized steel pipe]%

Conts.	O	Si	Ti	Mn	Fe	Zn	Other	Total
WR-01	30.24	2.34	5.35	2.93	39.52	17.36	2.26	100
WR-02	29.31	2.73	7.81	2.34	39.12	16.02	2.67	100
WR-03	29.75	2.39	6.10	2.57	40.72	16.21	2.26	100
WR-04	27.70	3.36	3.87	3.90	41.25	17.63	2.29	100
WR-05	30.03	2.24	2.27	1.88	42.61	18.93	2.04	100

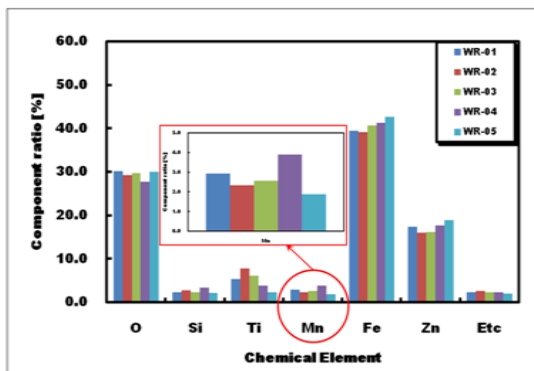


Fig. 12 Component of fume[Galvanized steel pipe]

Table 3 Component of fume[Steel pipe]%

Conts.	O	Si	Ti	Mn	Fe	C	Other	Total
WR-01	29.83	1.45	2.27	1.24	56.25	4.64	4.32	100
WR-02	31.04	0.54	1.05	0.76	51.46	12.85	2.3	100
WR-03	31.74	0.64	1.9	0.97	46.19	14.96	3.6	100
WR-04	31.28	1.4	1.58	1.96	56.44	2.9	4.44	100
WR-05	28.26	1.06	0.56	1.09	56.4	6.2	6.43	100

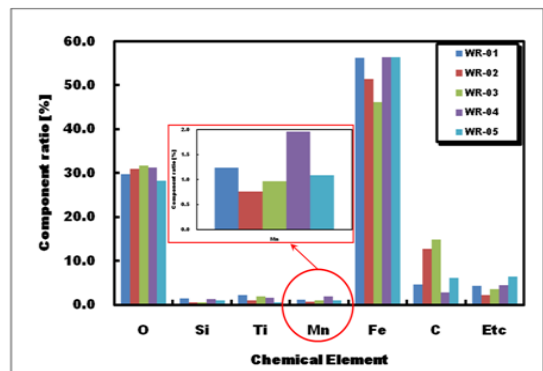


Fig. 13 Component of fume[steel pipe]

Table 4 Generation of fume

Material	Sample No	Conts.	1	2	3	Avg
Galva. steel pipe	WR-01	Ft	1.17	1.13	1.13	1.14
		Fw	7.48	6.61	7.85	7.32
	WR-02	Ft	0.88	1.25	0.77	0.97
		Fw	7.23	9.82	5.97	7.67
	WR-03	Ft	0.69	0.69	0.66	0.68
		Fw	5.39	5.48	5.43	5.43
	WR-04	Ft	0.94	1.06	1.32	1.11
		Fw	9.45	8.96	11.27	9.89
	WR-05	Ft	0.93	0.95	0.95	0.94
		Fw	6.60	7.08	5.92	6.53
Steel pipe	WR-01	Ft	0.16	0.19	0.20	0.18
		Fw	1.69	1.73	1.90	1.77
	WR-02	Ft	0.14	0.13	0.14	0.13
		Fw	1.05	1.06	1.10	1.07
	WR-03	Ft	0.12	0.12	0.11	0.12
		Fw	0.94	0.93	0.94	0.94
	WR-04	Ft	0.13	0.14	0.13	0.13
		Fw	1.25	1.19	1.12	1.19
	WR-05	Ft	0.10	0.10	0.10	0.10
		Fw	1.10	1.05	0.96	1.04

이 많다. 동일한 재질을 용접할 경우에는 용접봉에 따라서 흠의 발생량이 다른데, 고산화티탄계 용접봉에서는 WR-01이, 일미나이트계에서는 WR-04가 가장 많은 흠이 검출되었다.

용접 흠의 함유 원소 중 인체에 가장 영향이 많은 원소는 망간이고, 원소의 질량비중과 측정된 발생량을 조합할 때, 흠에 포함된 망간의 양을 아래 식을 통해 구할 수 있다. 그리고 이렇게 도출된 값을 통해 각각의 용접흠이 인체에 미치는 유해성의 척도로 삼을 수 있다.

$$Mn(w\%) \times \dot{m}(g/min) = Mn(g)$$

이렇게 구해진 값을 Table 4에 나타냈다. WR-01과 WR-04는 원소분석에서도 망간의 함유량이 높았고, 흠의 발생량도 많아 인체에 가장 유해한 용접재료로 볼 수 있다. 이와 같은 경향은 백관과 흑관 모두 동일하다. 그리고 백관의 아연도금이 전체적인 흠의 발생량도 증가시키지만 산화아연으로만

Table 5 Weight of Manganese

Material	WR	Mn[w%]	Ft[g/min]	Mn[g/min]
Galva. steel pipe	WR-01	2.93	1.14	3.35
	WR-02	2.34	0.97	2.27
	WR-03	2.57	0.68	1.74
	WR-04	3.90	1.11	4.31
	WR-05	1.88	0.94	1.78
Steel pipe	WR-01	1.24	0.18	0.23
	WR-02	0.76	0.13	0.10
	WR-03	0.97	0.12	0.11
	WR-04	1.96	0.13	0.26
	WR-05	1.09	0.10	0.11

증가되는 흠의 양이 아닌 망간과 같은 다른 함유원소의 흠도 함께 발생을 촉진시킴을 확인 할 수 있다.

실험에 사용된 용접봉 중 가장 인체에 유해한 용접봉은 일미나이트계 용접봉인 WR-04로 흠의 발생량은 두 번째이지만, 망간의 함유량이 높아 가장 유해한 것으로 나타났다. 그러나 인의 함유량을 높일 경우 고산화티탄계에 용접봉에 비해서 망간의 함유량이 대폭 개선되는 것을 WR-05의 실험 결과를 통해 알 수 있다. 그러나 WR-05의 경우 용접 흠의 크기가 작아 호흡기에 유입되기 쉬우므로, Mn의 함유량과 입자크기를 볼 때 WR-03이 가장 인체에 무해할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 실제 산업현장에서 사용되는 5종류의 용접봉을 백관과 흑관에 용접하여 발생하는 흠을 포집하고, 흠의 발생량과 망간의 함유량 분석을 통하여 인체 유해도를 측정된 결과 다음과 결론을 얻었다.

- (1) 아연 도금된 백관 용접 작업시 산화아연 성분이 흠에 다량 함유되어 있고, 산화아연이 2차 흠 형성시 응집을 방해, 2차 흠의 크기를 작게 하여 호흡기로 유입되기 가장 좋은 크기의 흠입자가 형성된다. 따라서 백관용접이 흑관 용접에 비해 인체에 유해하다.
- (2) 흠의 발생량 측면에서는 고산화 티탄계에서는 WR-01이, 일미나이트계에서는 WR-04의 흠 발생량이 가장 많으며, 망간의 함유량도 높아 인체에 가장 유해한 용접봉

이다.

- (3) WR-03은 용접흡의 크기도 크고, 발생량도 매우 작으므로 본 실험에 용접봉 중 인체에 가장 무해한 용접봉이다.

참고 문헌

- (1) Yoon, B. H., No, J. S., Kim, H. J., and Jang, W. S., 2004, "A study on the corrosion characteristics of GMA and FS welded Aluminium alloy," *Proceeding of 2004 KWJS Spring Conference*, pp. 293~295.
- (2) Ryu, H. J., Park, K. D., and Jung, J. H., 2006, "A Study on Welding Corrosion Fatigue Characteristics of Piping Materials for Water and Wastewater," *Proceeding of 2006 KSEE Spring Conference*, pp. 1864~1871.
- (3) Shin, Y. C., Lee, G. Y., Park, S. H., Lee, N. R., Jung, J. Y., Park, J. G., Oh, S. M., and Moon, Y. H., 1997, "The study of effective factor of fume composition and concentration in the air by welding working," *Journal of Korea Society of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 7, No. 2, pp. 181~195.
- (4) Voitkevich, V., 1995, *In welding fumes-formation, properties and biological effects: Chapter 2. Welding fume properties*, Abington Publishing, England, pp. 18~77.
- (5) Jo, M. J., Park, S. S., and Kim, D. R., 1997, "Effect of Alloying Elements (C, N, Ti, Nb) and Welding Conditions on the Weldment Corrosion of Type 409 Stainless Steel," *Journal of The Corrosion Science Society of Korea*, Vol. 26, No. 2, pp. 75~88.
- (6) Im, W. J., Yang, H. H., In, H. M., and Lee, J. Y., 1998, *Corrosion and Corrosion protection*, Gijeon, Republic of Korea, pp. 330~336.
- (7) Yua, I. J., Song, K. S., Maeng, S. H., Kim, S. J., Sung, J. H., Han, J. H., Chung, Y. H., Cho, M. H., Chung, K. H., Han, K. T., Hyun, J. S., and Kim, K. J., 2004, "Inflammatory and genotoxic responses during 30-day welding-fume exposure period," *Toxicology Letters*, Vol. 154, pp. 105~115.
- (8) Han, H. C., Lee, S. H., and Chung, I. S., 1984, "Threshold Limit Value of Welding fume," *Journal of the Korean Welding Society*, Vol. 2, No. 2, pp. 7~12.
- (9) Shin, Y. C., Yi, G. Y., Park, S. H., Lee, N. R., Jeong, J. Y., Park, J. K., Oh, S. M., and Moon, Y. H., 1997, "A Study on Factors Affecting Airborne Fume Composition and Concentration in Welding Process," *Korea Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol. 7, No. 2, pp. 181~192.
- (10) Lee, K. M. and Lee, C. K., 2006, "The management counterplan of health caused by harmful materials during the welding work," *Proceeding of 2006 KWJS Autumn Conference*, pp. 274~276.
- (11) Lee, K. M. and Lee, C. K., 2007, "A study on the effect of welding fume during the welding work," *Proceeding of 2007 KWJS Autumn Conference*, (Vol.48), pp. 306~309.
- (12) Che, B. H., Kim, J. G., Kim, J. H., and Lee, S. H., 1997, "A Study on the Fume Generation Mechanism by the Investigation of Cr Fume Generation Behavior in Arc Welding," *Journal of the Korea Welding and Joining Society*, Vol. 3, No. 1, pp. 177~180.
- (13) Han, J. M., 1998, "Review on Flux Cored Wire Development for Welding Fume Reduction," *Journal of the Korea Welding and Joining Society*, Vol. 16, No. 1, pp. 49~51.
- (14) Lee, K. M. and Lee, C. K., 2008, "An effect of harmful materials during the welding work," *Transactions of the Korea Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 17, No. 1, pp. 43~49.