

제트 환기 시스템 도입에 의한 플랜트 기자재 용접장의 환경 개선 효과 분석

임정호, 이태구*, 문승재**, 이재현†

한양대학교 대학원 플랜트엔지니어링공학과, *한양대학교 대학원 기계공학과, **한양대학교 기계공학부

Environmental Improvement in a Welding Factory by the Jet Ventilation System

Jung-Ho Lim, Tae-Gu Lee*, Seung-Jae Moon**, Jae-Heon Lee**†

Department of Plant Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

**School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received January 11, 2008; revised April 18, 2008; accepted June 10, 2008)

ABSTRACT : In this inquiry, I would suggest jet ventilation system for effective elimination of welding flaw at machinery material welding shop on plant and evaluate the airstream on inner space and property of welding flaw's density through the examination.

We can know outer atmosphere inflows at the speed of about 0.05m/s from western entrance in case of stopping the jet ventilation system, but airstream is accumulated on entire space. At height of worker's breathing surface (Ground Level = 1.5 m, below of GL) and welding work center, density of welding flaw on upper part (GL = 12m) is appeared 4 times higher than outer atmosphere at surplus range besides nearby of western entrance.

At operation of jet ventilation system, since the smooth air current transfer at inner space and exhaust effect the wind speed is maintained at 0.932 m/s at the point of height of worker's breathing surface on inner space and it's concluded about the working conditions have been better than before operation of jet ventilation system because of that results show that inner space density of welding flaw at height of worker's breathing surface is 40.5%, and in the work shop, it is 20.3% at upper part.

Key words : Jet ventilation system(제트 환기시스템), Welding factory(용접장), Ventilation efficiency(환기효율)

1. 서론

2003년 5인 이상 근로자수를 가진 우리나라의 선박, 건조 및 수리 사업장은 1,104개로 총 91,669명의 근로자가 종사하고 있으며, 이 가운데 1,000인 이상 대규모 사업장에 종사하고 있는 근로자 수는

54,108명으로 대부분 대규모 사업장에 종사하고 있다. 이는 1995년 546개 사업장, 총 74,481명의 근로자인 것과 비교하면 23.1% 증가 된 것으로 플랜트 산업이 발전하고 있음을 말 한다.

이러한 중공업의 발달과 더불어 유해 작업공정이 증가함에 따라 대형 용접 작업장에서는 작업환경개선을 위한 대책마련에 고민하고 있다. 유해 작업환경에 의한 피해사례는 노동부 2005년도 산업재해 발생현황을 통해 알 수 있다. 총 6,400명의 작업자 중 24.44%가 진폐증 증상을 나타냈으며 중금속에

† Corresponding author

Tel.: +82-2-2220-0425; fax: +82-2-2220-4425

E-mail address: jhlee@hanyang.ac.kr

의한 환자들은 0.16%로 발표되었다. 이러한 사례들로 인하여 작업자들이 유해 작업을 기피하는 경향이 증가되고 있으며 이에 정부 및 기업은 대책 마련에 고심하고 있다.

용접 작업시 발생하는 유해환경요인은 용접흄, 분진, 산화철을 비롯한 각종 중금속 등의 입자상 물질과 오존, 이산화질소, 일산화탄소, 포스겐 등의 가스상 물질, 자외선 등의 유해광선이 있다. 유해요인에 의해 발생하는 건강장해로는 용접흄의 주성분인 산화철이 폐조직 내에 침착되어 발생하는 용접 공폐증, 금속열, 폐기종, 폐부종, 만성 기관지염, 폐암 과, 폐인트가 도포된 모재 금속을 용접시 발생할 수 있는 납중독과 망간중독 등의 각종 중금속 중독, 시력장해 등을 유발한다. 이러한 용접흄과 각종 중금속 발생량은 모재금속의 종류, 용접방법, 작업장의 환기상태, 작업장의 크기, 전류의 세기 등에 따라 다르다고 알려져 있다.

현재 용접 작업장에서 발생하는 용접흄에 대한 제어 및 환기방법으로는 국소 배기방법과 공간 환기방법으로 나눌 수 있다. 국소 배기는 이동식 후드를 통하여 용접흄을 흡입, 배기시키는 것으로서 가장 이상적인 방법이라 할 수 있지만, 대형 용접장의 경우 공장전체에 걸쳐 용접흄 발생위치가 퍼져 있고, 작업특성으로 인한 국소배기 방법이 적용 불가능할 경우가 많아 실제 사용이 어렵다. 이와 반대로 공간 환기방법은 용접시 방출된 유해 물질을 외부의 비교적 깨끗한 공기와 희석시킴으로 작업장 내의 유해물질의 농도를 감소시키는데 중점을 둔다. 공간 환기방법은 급기 및 배기를 위한 기계적인 힘의 사용여부에 따라 자연환기와 기계환기로 구분된다.

자연환기는 공장건물의 출입문, 창문 등의 개구부를 통하여 바람의 유입이나 공장 내, 외부의 온도차에 의한 대류작용에 의해 오염된 공기가 외부의 신선한 공기와 섞임으로써 자연적으로 이루어지는 환기방법을 말한다. 하지만 풍향과 풍속, 기온의 변화로 인하여 환기량이 일정치 않아 사용하는데 많은 제한을 받는 특징이 있다. 기계환기는 송풍기 등과 같은 동력을 사용한 방식으로 강제적으로 외부의 공기를 공장 내부로 급, 배기시킨다. 환기량을 원하는 수준으로 일정하게 유지시킬 수 있어 작업장 환경개선을 위한 적합한 방법이지만 설치비 및 운영비가 많이 들고 소음문제가 발생하는 특징이 있다.

본 연구에서는 효과적인 오염물 제어를 위해 외부의 신선한 공기를 유입하여 작업장 내부 오염물질

농도를 감소시키는 기계 환기방식인 제트 환기 시스템을 제안하고 작업환경 개선효과를 분석하기 위하여 작업공간의 용접흄 농도분포 및 공간 풍속을 실험을 통해 분석하였다.

2. 유해 물질

2.1 용접흄의 구성

용접작업 중에 발생하는 유해물질은 자외선, 가시광선, 적외선, 소음, 고열, 등의 인자와 가스, 중금속, 분진, 흄 등 다양하다. 이러한 유해인자에 대하여 적절한 대책이 마련되지 않으면 근로자의 생산성이나 제품의 품질 저하뿐만 아니라 직업병이 발생한다. 그중 이번 연구에서 다루고 있는 용접흄은 용접시 모재와 용접재료를 용접 이상 가열하여 생성되는 증기를 말한다. 이때 발생한 증기는 고온이며 생성된 증기가 공기중에 방출되면 증기전체가 급속하게 냉각, 고화하는 동시에 금속은 산화되고 지극히 미세한(1/수백 ~ 1/수십 μm) 1차 입자가 형성된다. 이 입자는 발생 직후 다수 응집하여 2차 입자(0.01 ~ 10 μm)를 형성하게 되며 이것이 용접자의 호흡 영역에 존재하다가 호흡에 의해 체내에 흡인된다.

용접흄은 모든 종류의 용접공정에서 발생하며 그 발생량은 매우 다양하다고 이전의 연구 결과에서 살펴볼 수 있다. 용접흄의 발생량 변화의 요인은 용접 방법, 용접재료(모재, 용접가스, 용접 Wire, Flux 등)의 조성, 용접조건(전류, 전압, 용접봉 지름 등), 도장이나 도금 등에 의한 모재표면의 피복상태 그리고 세척 작업 시 발생 가능한 주위 오염물질 등 여러 인자에 의해 결정된다.

용접흄의 구성성분은 철, 망간, 크롬, 니켈, 규소, 칼륨, 나트륨, 칼슘, 티타늄, 알루미늄, 망간 성분 등으로 이루어져 있다. 이러한 물질들은 일반적으로 인체에 해를 줄 만큼 발생하는 것은 아니지만 용접흄을 다량으로 흡입(총 흡입하는 흄의 53%가 축적, 호흡기를 통해서 47%가 배출)하는 경우 건강에 장해를 일으킬 수 있기 때문에 주의하여야 한다.

2.2 용접흄의 영향 및 대책

용접흄에 의한 건강장애는 용접흄을 다량으로 흡입했을 경우 발생하며, 작업자는 단시간에 생기는 급성증상과 장시간에 걸쳐 누적 발생하는 만성증상

등이 생긴다. 급성증상으로는 구토, 두통, 발한 등이 올수 있으며, 장시간 흡입한 결과 생기는 만성증상은 폐조직이 섬유화 되는 용접 공폐증, 폐기종, 만성 기관지염 등의 폐질환 등이 생긴다. 이와 같은 작업상 질병을 억제하기 위해 노동부에서는 용접흡 허용기준을 마련하여 용접흡이 작업자에게 미치는 영향을 최소화하도록 유도하고 있다.

이러한 용접흡의 대책 방법으로는 작업자가 작업 방법에 변화를 주거나 용접특성상 모재와 용접재료에 따라 다양한 유해성분을 배출하기 때문에 이러한 성분을 관리하기 위하여 성분별 허용농도의 관리가 필요하다. 작업자는 방진 마스크, 용접헬멧 등 작업자 보호 장비를 반드시 착용하고, 작업장 주변 및 공장에 환기 시스템을 설치하여 용접 작업자가 용접흡에 노출되는 것을 감소 시켜야한다.

3. 연구모델

3.1 플랜트 기자재 용접장

본 연구에서는 오염물 발생량이 많고 용접작업 위치이동이 많아 공간 환기가 필수적으로 요구되는 플랜트 기자재 용접장을 연구대상으로 선정하였다. Fig. 1은 이번 연구에 실험장소로 사용된 대형 용접장의 전체 레이아웃이다. 용접구역의 위치는 서측(B ~ C열), 기둥(18 ~ 26주)구간인 제관 ASS'Y (Assembly, 이하 ASS'Y) 작업장이며, 공장이 위치한 곳은 서남풍이 주로 불어오는 지역적 특색을 가지고 있기 때문에 제관 ASS'Y 작업장 구역에서 발생한 용접흡이 서측에 출입문을 통해 유입되는 외기로 공장 동측지역으로 확산되는 문제점이 있다.

3.2 제트 환기시스템 설치조건

용접작업 공간 내부에는 작업환경 개선을 위하여

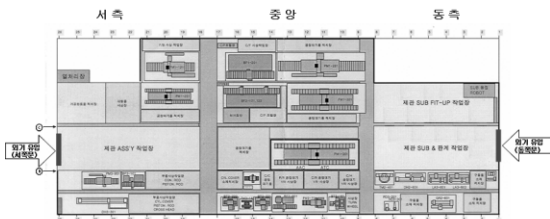


Fig. 1 The schematics of the welding factory.

과워 제트팬 42대와 멀티 제트팬 26대가 설치되어 있다. 각 제트팬의 용도와 설치각의 사양에 대해서는 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 과워 제트팬

Table 1 Specification of the jetfan for exhaust

Fan No.	Type	Air-flow rate(CMH)	Angle (deg.)		
			up	cw	
PN01	exhaust	25,000	0	-30	
PN02			0	-15	
PN03			0	-30	
PN04			15	-30	
PN05			0	-15	
PN06			5	-15	
PN07			0	-30	
PN08			15	-30	
PN09			0	-15	
PN10			5	-15	
PN11			-20	-35	
PN12			8	-35	
PN13			-20	-60	
PN14			-10	-60	
PN15	exhaust	25,000	0	-25	
PN16			0	-25	
PN17			0	-40	
PN18			0	-40	
PS01	exhaust		25,000	0	30
PS02				0	15
PS03				0	30
PS04				15	30
PS05				0	15
PS06				5	15
PS07				0	30
PS08				15	30
PS09				0	15
PS10				5	15
PS11		-20		35	
PS12		8		35	
PS13		-20		60	
PS14		-10		60	
PS15		exhaust		25,000	0
PS16	0		25		
PS17	0		40		
PS18	0		40		

제트 환기 시스템 도입에 의한 플랜트 기자재 용접장의 환경 개선 효과 분석

PN01 ~ PN14와 PS01 ~ PS14는 각각 북, 남측에 중부 배기를 위한 25,000 CMH급 제트팬을 나타낸다. 파워 제트팬 PN15 ~ PN18과 PS15 ~ PS18은 각각 북, 남측에 상부 배기를 위한 25,000 CMH급 제트팬이다. PN19 ~ PN21와 PS19 ~ PS21은 통로 배기를 위한 25,000 CMH급 파워 제트팬이다. 멀티 제트팬 MN01 ~ MN10와 MS01 ~ MS16은 각각 북, 남측에 하부 유인을 위한 5,000 CMH급 제트팬으로 표시하였다. 각각의 제트팬들은 설치시 각도를 조정하였으며 이는 초대형 규모의 플

랜트 용접장 내부에서 작업자의 작업 활동과 크레인 등의 공간 구조물 등을 고려하여 기류가 가장 잘 형성되도록 하기 위한 것이다. 바닥면을 기준으로 제트팬을 상향으로 조정하였을 때를 up, 제트팬 설치기둥을 축으로 시계 방향으로 회전시켰을 때를 cw로 표시하였다.

Table 2 Specification of the jetfan for flow induction

Fan No.	Type	Air-flow rate (CMH)	Angle (deg.)	
			up	cw
PN19 ~ PN21	exhaust	25,000	0	0
PS19 ~ PS21			0	0
MN01	induction	5,000	-50	40
MN02			-50	20
MN03			-50	40
MN04			-50	20
MN05			-50	40
MN06			-50	20
MN07			-50	40
MN08			-50	20
MN09			-68	40
MN10			-68	20
MS01	induction	5,000	50	40
MS02			50	20
MS03			50	40
MS04			50	20
MS05			50	40
MS06			50	20
MS07			50	40
MS08			50	20
MS09			50	40
MS10			50	20
MS11			50	40
MS12			50	20
MS13			50	40
MS14			50	20
MS15			68	40
MS16			68	20

3.2 제트 환기시스템 배치

본 연구에서 연구 모델로 설정한 용접 작업공간의 규모는 Fig. 2와 같이 길이 132 m, 폭 60 m, 높이 37 m인 바닥면적 7,920 m², 공장체적 213,120 m³의 고층고 대형 용접작업 공간이다. 출입구는 서측에 17.8 m × 14 m와 북, 남측에 12 m × 17.8 m로 있으며 루머는 북, 남측 상단에 각각 132 m × 5 m, 132 m × 4 m 크기로 각각 1개씩 설치되어있다. 용접장에 설치된 제트 환기 시스템은 파워 제트팬 상부 배기용 8대, 중부 배기용 14대, 하부 배기용 14대, 통로 배기용 6대와, 멀티 제트팬 하부 유인용 26대가 공장 북, 남측 외벽과 통로에 배치 되어있다.

3.3 분진측정방법

실시간 시료포집을 위하여 분진 측정기(Dust

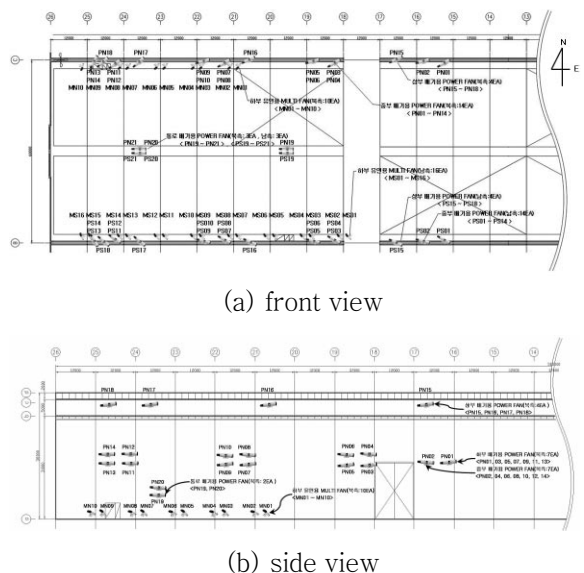


Fig. 2 The schematics of the jet ventilation system.

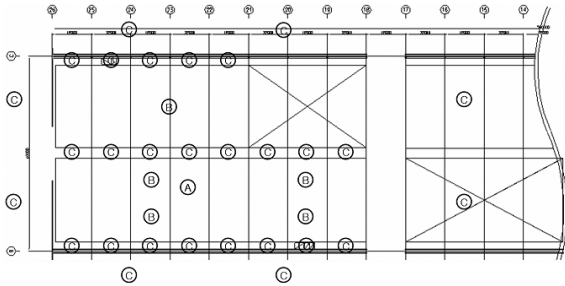


Fig. 3 The point of the dust measuring.

TRAK Aerosol Monitor, 8520, TSI/USA)를 사용하여 용접작업이 가장 활발히 진행되는 한 지점인 Fig. 3의 ①지점(1 곳)에 설치(Ground Level = 1.5 m, 이하 GL)하여 제트 환기 시스템을 작동 했을 때와 작동 중지 하였을 때 각각 60분씩 측정하여 제트 환기 시스템 작동여부에 따른 용접흡 농도의 평균값을 비교하였다. 용접작업장 전체의 분진농도를 측정하기 위해 Fig. 3의 ③지점(29 곳)에 분진 측정기를 사용하여 10분에 1번씩 측정(GL = 1.5 m)하여 제트 환기 시스템 작동에 따른 공간 분진농도를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 제트 환기시스템 정지시 용접흡 농도

제트 환기 시스템 정지시 플랜트 용접 작업장 내부 작업자 호흡면 높이(GL = 1.5 m)의 용접흡 농도를 Table 3에 나타나 있다. 표는 실시간 시료포집기인 분진측정기를 이용한 실험 데이터와 용접장 중, 상부(GL = 12 m)에서 정시간 측정기인 퍼스널 샘플러를 이용하여 측정한 실험 데이터 값이며, 제트 환기 시스템 가동 전 총 6회에 걸친 분진농도 실험 데이터 값을 산술평균 한 값이다.

Table 3 Concentration in case of the jet ventilation system is not operating

	Sample no. [mg/m ³]						average
	1	2	3	4	5	6	
Concentration (GL = 1.5m)	0.357	0.467	0.474	0.254	0.515	0.586	0.442
Concentration (GL = 12 m)	2.802	2.000	2.713	1.511	1.422	1.131	1.917

표에서 제트 환기 시스템 정지시 작업자 호흡면 높이의 용접흡 농도를 살펴보면 평균 0.442 mg/m³임을 알 수 있다. 외부공기의 분진농도는 실험을 통해 0.062 mg/m³으로 구하였고, 이를 통해 용접장 내부와 외부공기의 분진농도 차는 0.38 mg/m³으로 내부공기가 약 7배 정도 높은 것으로 나타났다. 용접장 중, 상부에서의 제트 환기 시스템 정지시 용접흡 농도는 평균 1.917mg/m³으로, 이를 작업자 호흡면 높이의 용접흡 농도와 비교 하면 중, 상부의 용접흡 농도가 약 4배 이상 높은 것으로 나타난다. 이는 하부에서 용접 작업시 발생한 용접흡이 대류현상에 의하여 뜨거운 공기가 상승할 때 함께 상승하여 중, 상부에 정체 되어 있는 모습으로 공기보다 비교적 무거운 용접흡이 상부에 위치한 루버를 통해 원활히 배출되지 않고 하강하고 있음을 보여준다. 따라서 용접작업장 전체의 용접흡 농도는 외부공기의 용접흡 농도보다 높은 농도를 보임으로 작업자에게 유해한 환경이 조성되어있음을 알 수 있다.

4.2 제트 환기시스템 가동시 용접흡 농도

Table 4는 제트 환기 시스템 가동시 용접 작업자 호흡면 높이(GL = 1.5 m)에서 실시간 시료포집기인 분진측정기를 이용한 실험 데이터와 용접장 중, 상부(GL = 12 m)에서 정시간 측정기인 퍼스널 샘플러를 이용하여 측정한 실험 데이터 값이다. 제트 환기 시스템의 영향으로 외부에서 신선공기가 루버와 출입문을 통해 유입 되면서 공간 환기가 이루어짐으로 환기 시스템 정지시 작업자 호흡면 높이의 용접흡 농도 0.442 mg/m³에 비해 낮은 0.263 mg/m³의 농도를 나타낸다. 용접 작업장 중, 상부에서 용접흡 농도는 제트 환기 시스템 가동시 약 1.533 mg/m³임을 알 수 있다. 환기 시스템 가동 전의 용접흡 농도 1.917 mg/m³과 비교 하였을 때 용접흡 농도가

Table 4 Concentration in case of the jet ventilation system is operating

	Sample no. [mg/m ³]						average
	1	2	3	4	5	6	
Concentration (GL = 1.5m)	0.231	0.312	0.260	0.150	0.340	0.586	0.263
Concentration (GL = 12 m)	1.912	2.611	2.134	1.322	0.701	0.612	1.533

0.384 mg/m³ 감소하였음을 알 수 있다.

작업자의 용접작업이 수행되는 호흡영역과 용접장 중, 상부의 용접흡농도의 개선효과(I_f)는 아래의 식을 통하여 산출 하였다.

$$I_f = \frac{(a_1 - a_2)}{a_1} \times 100 \quad (1)$$

여기서, a₁ 과 a₂는 각각 환기 시스템 가동 전 용접흡 농도와 가동 후 용접흡 농도를 나타낸다.

환기 시스템 정지시 작업자 호흡면 높이에서 용접흡은 제트 환기 시스템 가동 전 평균 0.442 mg/m³과 작동 후 평균 0.263 mg/m³으로 나타났고, 식 (1)을 이용하여 40.5% 로 개선되었음을 알 수 있다. 용접작업장 중, 상부의 용접흡 농도는 환기 시스템 가동 전 평균 1.917 mg/m³이었던 용접흡 농도가 환기 시스템 가동 후 1.533 mg/m³로 감소함을 알 수 있고, 환기 시스템 가동 유, 무에 따른 용접흡 개선효과는 20.3% 로 나타났다..

이와 같은 실험결과로 용접작업시 발생한 용접흡이 대류하는 공기의 흐름과 멀티 제트팬의 유도기류에 따라 용접장 중, 상부로 상승하여 파워 제트팬이 토출하는 유도기류에 의해 서쪽 출입구와 상부 루버로 배출되어 작업장 내부의 용접흡 농도가 낮아지고 용접 작업을 하지 않는 타 지역 으로의 확산을 방지할 수 있음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 길이 132 m, 폭 60 m, 및 높이 37 m 크기의 플랜트 기자재 용접장에 제트 환기 시스템을 도입하고, 실제 실험을 통하여 용접장 내부에서 환기시스템의 가동 전, 후의 용접흡 농도 및 기류를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 제트 환기 시스템이 정지한 경우 용접작업장 내부 공간에는 루버와 출입문을 통해 유입되는 외기로 자연환기 되었으나 공간 대부분의 영역에서는 정체 현상이 나타났다. 작업자 호흡면 높이 (Ground Level = 1.5 m, 이하 GL)지점에서의 풍속은 자연환기의 영향으로 0.4 m/s로 나타났다. (GL = 1.5 m)에서의 용접흡 평균농도는 0.442 mg/m³이며 용접장 중, 상부 (GL = 12 m)의 용접흡 농도는 1.917 mg/m³으로 외부공기의 분진농도

0.062 mg/m³보다 높았다. 이는 플랜트 용접장의 작업환경이 작업자에게 유해함을 말해준다.

(2) 제트 환기 시스템 가동 시 용접작업장 내부로 신선외기가 유입됨에 따라 작업자 호흡면 높이 (GL = 1.5 m)지점에서의 풍속은 0.93 m/s로 측정되었다. 이러한 기류의 영향으로(GL = 1.5 m)에서의 용접흡 농도는 0.263 mg/m³이고 중, 상부의 용접흡 농도는 1.533 mg/m³로 나타났다. 제트 환기 시스템 가동 전, 후의 용접흡 개선효과는 작업자 호흡면 높이(GL = 1.5 m)에서 40.5% , 용접작업장 중, 상부(GL = 12 m)에서 20.3%로 제트 환기 시스템 가동 전에 비해 작업환경이 개선되었다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Sandberg, M. and Sjoberg, M., The use of moments for assessing air quality in ventilated rooms, Building and Environment, Vol. 18, No. 4, pp. 181-197.
2. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Ch. 25.3-25.7.3. Tuve, G. L. and Ohio, C., 1953, Air velocities in ventilating jets, Transactions American Society of Heating and Ventilating Engineer, A.S.H.V.E Research Report No. 1476 pp. 261-279
3. Choi, W. Y., Ko, C. K., Lee, J. H. and Ryu, H. S., 1999, Development of a TFM load calculation program based on thermal response factor, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 11, No. 5, pp. 684-690.
4. Kwag, Y. S., 1997, A study on Airborne of Welding Fumes and Metals in Confined Spaces of a Shipyard, Journal of Korean Industrial Hygienists Association, Vol. 7, No. 1, pp. 113-131.
5. Byeon, S. H., 1995, A study on the airborne concentration of welding fume for some manufacturing industries, Journal of Korean Industrial Hygienists Association, Vol. 5, No.

- 2, pp. 172 ~ 183
6. Institute for Occupational and Environmental Health, 1999, Handbook of the industrial Hygiene, Occupational Safety and Health Research Insitute, Chap. 10.
7. Notice 97-56, Ministry of Labor of the Republic of Korea, Exposure Limits of Chemical material and Physical factors.