

## 고주파 웰딩기의 유해 전자파 차단에 관한 연구

장석용\*, 심재형(부산대 대학원 지능기계과), 김준안(경남정보대),  
백인환(부산대 기계공학부)

### A Research on the Shielding of Injurious Electromagnetic Field for High-frequency Welder

S. Y. Jang\*, J. H. Sim(Mech. Eng. Dept., Pusan National Univ.), J. A. Kim( Kyung Nam College of  
Information & Technology.), I. H. Paik(Mech, Pusan National Univ.)

#### ABSTRACT

In the surrounding of the electric machinery and equipments occurring of using the electromagnetic fields, other electric machinery or equipments are induced the malfunctions by the radiated and leaked electromagnetic fields. And the human hazardous problems by that effect are being discussed frequently. So efficiently shielding technique of injurious electromagnetic field for high frequency welder is discussed in this paper.

**Key Words** : High-frequency welder(고주파 웰딩기), Electromagnetic field(전자기파), Shielding(차폐), Taguchi method(다구찌 방법)

#### 1. 서론

현대에 들어 전자기술과 컴퓨터기술이 비약적으로 발전함에 따라 전기전자기기의 사용이 기하급수적으로 증가하고 있다. 따라서 현대인들은 이들 기기에서 방사되는 전자파에 직·간접적으로 노출되어 살아가고 있고 이로 인한 장애가 심각한 문제로 대두되었다<sup>(1,2)</sup>.

불필요한 전자파는 전파간섭에 의해 다른 기기의 성능을 저하시키는 것은 물론 인체에 장애를 일으킬 가능성을 내포하고 있다. 최근 국내의 연구에서도 생체가 전자파에 강하게 노출되는 경우, 백내장 형성, 성기능 장애, 열적 손상, 경련, 행동 둔화 등의 생체작용이 일어나는 것으로 보고되고 있다<sup>(3-7)</sup>.

이러한 이유로 여러 선진국들은 이미 전자파에 대한 중요성을 인식하고 전기기기 제작 시 유해기준을 제시하기 위하여 1997년 국제표준(CISPR/IEC)을 제정하였다. 우리나라에서도 이러한 국제 동향에 부응하고 국내 산업에서의 전자파 안전성을 확립하기 위하여 정보통신부에서 고시하여 2002년 1월1일부터 시행하도록 전자파인체보호기준을 제정하였다<sup>(8)</sup>.

하지만 국내 전자관련 산업에서 정보통신 및 의료용 기기를 제외하고는 이러한 안전기준에 의해 제

작되는 산업용 기계가 거의 없는 실정이다. 그러므로 전기전자기기의 제조사는 앞으로 생산할 제품에 대하여 안전한 작업조건 실현과 강제적인 법규정을 만족시킬 수 있는 제품을 생산하기 위해 다양한 차폐기술을 생산품에 적용하는 노력이 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 신발산업에서 심미적인 형상을 결정하는 제작사의 로고 및 이미지를 강화하는 색 필름을 부착하는 용도로 사용되는 고주파 웰딩장치에서 발생하는 유해 전자파를 차단하는 방안을 제안하고자 한다.

이를 위하여 먼저 고주파 웰딩장치의 각 부분에서 발생하는 전자파의 양을 측정하여 전체 전자파에 미치는 영향을 고찰한다. 측정 결과를 바탕으로 다중코팅 금속막을 이용하여 유해전자파를 차단하는 방안을 제시하고 차단후의 전자파의 강도가 국내 규제치를 만족시키는지 확인한다<sup>(9)</sup>.

모든 실험과정은 객관성과 효율성을 높이기 위하여 다구찌법에 적용하였다<sup>(10)</sup>.

#### 2. 이론적 배경

##### 2.1 전자파 규제현황

각종 연구에서 전자파에 대한 유해성이 심각한

결과를 초래한다는 사실이 알려지면서 선진국에서부터 유해 전자파의 강도를 규제하는 법률이 제정되었다.

먼저 미국의 ANSI(American National Standards Institute)에서는 1966년 처음 규제 법률을 제정한 후 1990년까지 여러 차례 개정하였다. 주요 내용으로는 관리환경에서 인체에 3 kHz ~ 300 GHz의 전자가 조사되는 경우에, 비접촉시에는 실효치 전자계 강도, 등가평면파 자유공간 전력밀도 등이 최대허용조사(MPE)량 이하가 되도록 규제하였고, 전자파 발생 물체와 접촉하는 경우에는 유도전류를 제한하였다.

국내의 경우는 2000년 12월 정보통신부에서 전자파 인체보호기준을 마련하여 고시하였고 2002년 1월 1일부터 시행하였다. 아래의 Table 1은 직업인이 전자파에 전신 노출된 경우에 대한 전기장강도, 자기장강도, 자속밀도 및 전력밀도 규제치를 나타낸다.

또한 Table 2는 국부노출로 인한 전자파흡수율(SAR : Specific Absorption Rate)의 규제값을 나타낸 것이다

## 2.2 전자파 차폐

이미 상용화된 유해 전자파의 차폐기술로는 발생되는 전자파의 주파수에 따라 정전차폐, 자기차폐, 전자차폐가 있다. 정전차폐는 정전계의 영향을 제거하는 방식으로 전기저항이 작은 재료를 접지시켜 정전계에서 발생하는 전자파를 차폐재료와 연결된 접지방향으로 흐르게 하여 차폐하는 방식이다. 자기차폐는 주로 10 kHz이하의 자계에 대한 차폐를 말하며, 일반적으로 자계전달경로 중간에 금속판을 삽입하여 자속을 금속판으로 흐르게 함으로써 자속의 영향을 줄일 수 있는 방법이다. 전자차폐는 전류의 주변에 발생하는 전자파를 제거하는 방식으로 전기저항이

Table 1 Occupational regulation value for electro magnetic field

Frequency Range	Electric Field Strength(V/m)	Magnetic Field Strength(A/m)	Density of magnetic flux(μT)
0 ~ 1 Hz	-	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$
1Hz ~ 8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
8Hz ~ 25 Hz	20,000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$
25Hz ~ 0.82 kHz	500/f	20/f	25/f
0.82kHz ~ 65 kHz	610	24.4	30.7
65 kHz ~ 1 MHz	610	1.6/f	2.0/f
1MHz ~ 10 MHz	610/f	1.6/f	2.0/f
10MHz ~ 0.4 GHz	61	0.16	0.2
0.4GHz ~ 2 GHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$
~ 300 GHz	137	0.36	0.45

Table 2 Local exposure SAR's Maximum Value

Frequency Range	Specific Absorption Rate(W/kg)
100 kHz ~ 10 GHz	1.6

작은 금속으로 차단막을 형성하여 발생 전자파의 흐름을 차단하는 방식이다.

일반적으로 앞서 설명된 차폐방법을 이용하여 발생원에서 1차적으로 전자파를 차단하는 방법과 의복 등을 이용하여 인체에 흡수되는 전자파를 차단하는 방식이 상용화되어 있다.

## 2.3 다구찌 실험계획법

공학에서 행해지는 실험은 매우 다양한 인자에 의해 지배받는 복잡한 과정이다. 특히 실험에 대한 체계적인 지식이나 기초 이론이 없는 경우에는 다양한 지배인자와 이를 통해 발생하는 결과 사이의 관계를 규정하는 것은 매우 어렵다. 본 연구의 고주파 웰딩 작업에서도 다양한 작업조건이 발생하는 전자파의 강도에 미치는 영향을 알기 위해서는 매우 많은 실험을 수행해야 한다.

이러한 실험의 특성을 극복하기 위해 이용되는 것이 실험계획법이다. 실험계획법이란 '해결하고자 하는 문제에 대하여 실험을 어떻게 행하고, 데이터를 어떻게 취하며, 어떠한 통계적 방법으로 데이터를 분석하면 최소의 실험 횟수에서 최대의 정보를 얻을 수 있는가를 계획하는 것'이다.

특히 본 연구에서 적용된 다구찌 실험계획법은 기존의 실험계획법에 비하여 기술 정보의 획득효율에 초점을 맞추고 있으며 데이터에 미치는 인자의 정도를 객관적으로, 그리고 계량적으로 평가할 수 있는 방법이다.

다구찌법은 잡음의 영향력을 최소로 하는 SN비(signal to noise ratio)를 사용한다. SN비는 목적함수(특성치)에 의해 그 정의가 달라지게 되는데 이 연구에서는 기대값(전자파의 양)의 최소화로 SN비의 최대화와 관계가 있으므로 망대특성을 사용한다. 망대특성의 SN비는 식(1)로 나타낼수 있다.

$$SN = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (1)$$

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 다음의 Fig. 1과 같이 고주파 웰딩기와 전자파 측정기로 구성되어 있다.

고주파 웰딩기는 유전가열의 원리를 이용한 것으로 두 전극간에 가열하고자하는 물체(유전체)를 놓고 양전극에 고주파 전압을 가하면 유전체를 구성하고 있는 쌍극자가 교류전계의 교번에 따라 방향을 변경하면서 인가 주파수와 동일한 진동을 발생시킨

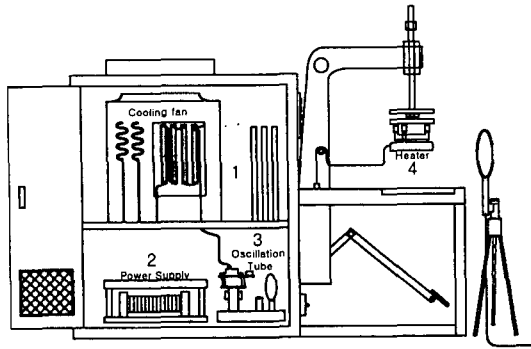


Fig. 1 Experimental setup

다. 이 진동은 유전체 내부에 쌍극자의 마찰열이 발생되어 유전체를 가열시킨다.

이러한 유전가열은 보통 10 MHz 이상의 고주파가 사용되므로 반도체 소자가 사용되지 못하고 오직 진공관만 사용된다. 이러한 특성 때문에 고주파 웰딩기에는 매우 높은 전자파가 생성되고, 작업도 웰딩기에 매우 근접한 상태로 이루어지므로 작업자는 고주파에 완전히 노출된다.

실험에 사용된 측정기는 펄스사의 PSEL02이며 측정치는 True RMS 값을 V/m의 단위로 표현된다.

### 3.2 실험조건외의 결정

고주파 가공에서는 사용되는 소재의 종류에 따라 고주파 발진의 단계와 소재에 가해지는 발진의 시간 그리고 금형이 설치되는 가열판의 온도가 달라지게 된다. 이러한 인자들이 전자파의 강도에 미치는 영향을 정량적으로 파악하기 위하여 모든 인자들을 조합하여 실험할 경우 실험횟수는 크게 늘어나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 2.3절에서 소개된 다구찌법을 적용하여 전자파의 강도에 영향을 미치는 인자를 알아낸다.

먼저 고주파 웰딩기에서 전자파가 가장 많이 누설되는 부위를 찾아내기 위해 Fig.1에 표시된 1, 2, 3, 4번 부위에서 측정을 행한다. 다음의 Table 3은 측정결과이다.

측정결과는 실제 작업이 수행되는 단두부위(4번 지점)에서 유출되는 전자파의 강도가 가장 크다는 것을 보인다. 또한 거리가 멀어질수록 전자파가 지

Table 3 Electromagnetic field strength at measuring parts

Position	Distance	10 cm	20 cm	30 cm
1		2369	2010	1820
2		2954	2446	2252
3		2749	1997	1557
4		3707	2736	2512

수적으로 감소함을 보인다. 따라서 모든 실험은 전자파의 강도가 가장 큰 단두부위에서 행한다.

고주파 작업에서 작업인자와 전자파 강도 사이의 관계를 알아보기 위해 측정점과의 거리, 발진 단계, 발진시간, 가열판의 상태를 인자로 사용하여 앞의 식 1로 표현되는 망대특성의 SN비를 구한다.

다음의 Table 4는 위의 인자들을 다구찌 실험계획법에 적용된 인자의 조합이다.

Table 4 Levels of selected factors

Factor	A	B	C	D
Level	Distance (cm)	Oscillation Level	Oscillation Time (sec)	Heater Condition
1	20	80	2	Not Install
2	30	90	4	ON
3	40	100	6	OFF

### 3.3 실험 결과

Table 5는 앞 절에서 결정된 인자에 대한 실험 결과와 이 결과를 다구찌법에 적용하여 얻은 SN비를 나타낸 것이다. 이 SN비들을 각 인자별 수준으로 합계를 구한 결과와 수준에 따른 분산을 Table 6에서 나타내었다. 이 결과는 전자파의 강도에 큰 영향을 미치는 인자는 A(거리)와 D(가열판의 상태)임과 인자의 단계별 영향의 정도를 알 수 있다.

다음의 Fig. 2는 전자파 강도에 가장 큰 영향을 미치는 거리에 대한 전자파의 강도변화를 측정된 결과이다. 그림에서와 같이 전자파의 강도는 거리에 지수적으로 감소하는 결과를 나타낸다. 이는 유해전자파의 영향을 최소화시킬 수 있는 가장 효과적인 방법 중의 하나가 전자파 발생원으로부터 일정거리를 유지하는 것이라는 사실을 보여준다.

Table 5 Results of the Taguchi method

Factor	A	B	C	D	Average (V/m)	SN-ratio $\eta$ (db)
Exp.No.						
1	1	1	1	1	3029.2	69.626
2	1	2	2	2	3127.8	69.904
3	1	3	3	3	2145.4	66.630
4	2	1	2	3	1323.8	62.436
5	2	2	3	1	1959.4	65.842
6	2	3	1	2	2044.4	66.211
7	3	1	3	2	1520.8	63.641
8	3	2	1	3	1029.6	60.253
9	3	3	2	1	1515.6	63.612

Table 6 Factors affecting the Electromagnetic Field

Factor	Effect			Deviation
	1	2	3	
A	206.160	194.490	187.506	59.21442
B	195.704	196.000	196.452	0.094711
C	196.091	95.952	196.113	0.005068
D	199.080	199.757	189.319	22.74215
Total				82.05635

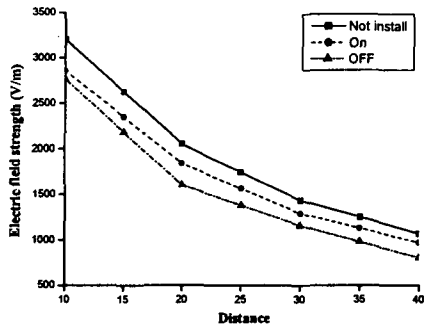


Fig. 2 Electromagnetic field strength according to distance

아래의 Fig. 3은 차폐없이 측정된 전자파의 양과 Ni-Cu-Ni의 3중 구조로 제작된 차폐막으로 차단한 후의 결과와 비교한 것이다. 이 결과는 차폐막을 접지한 상태로 측정된 것으로 차단효과가 약 90% 정도로 우수함을 보인다.

또 차폐막을 접지하지 않았을 때의 차단 효과가 약 10%이고 접지 상태에서의 차단 효과는 약 90%로 접지여부가 차폐효과에 가장 큰 영향을 미친 요인임을 알 수 있다.

차단막을 통하여 차폐를 시도한 이유는, 차폐 소재가 통전이 잘되고 금속이 코팅재료로 사용되고 있어 인체에 바로 접하게 될 경우 해를 줄 수 있는 위험이 있고 의복이 금형과 직접 닿을 경우 작업자에게 다량의 고주파가 직접 전달되어 화상의 위험이 있다.

마지막으로 안전성 기준에 대한 적합여부를 판단하기 위하여 정보통신부의 전자파 인체 보호기준을 참고하면 고주파 웰딩기의 작동주파수인 27.12 MHz에 해당하는 규제치가 61 V/m임을 알 수 있다. 그

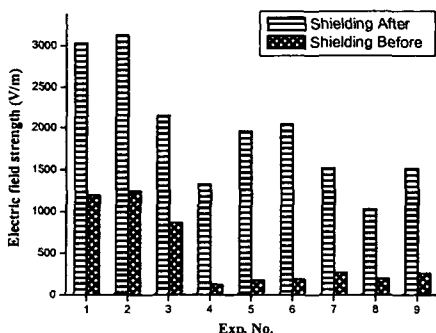


Fig. 3 Electromagnetic field value when before and after shielding

런데 본 연구에서 차폐 후 측정치가 약 120 V/m로 안전 기준을 만족시키지 못한다.

#### 4. 결론

본 논문에서 고주파 웰딩기에서 발생하는 전자파와 금속 코팅 차폐막으로 차폐를 실시한 후 감소되는 전자파를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 고주파 웰딩기의 단두부에서 가장 큰 전자파가 발생하는 것을 알 수 있었다.
2. 다구찌법을 통하여 고주파 웰딩기에서 전자파의 양에 영향을 주는 인자는 거리와 가열판의 상태라는 것을 알 수 있었다.
2. 차폐 후 측정된 전자파의 양이 작업자의 전자파 인체기준 수준으로 접근함을 알 수 있었다.
4. 차폐막의 접지여부가 전자파 차폐의 영향에 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

추후 다른 차폐기술을 병행하여 안전기준을 만족하는 고주파 웰딩기의 개발을 수행할 것이다.

#### 후기

본 논문은 산업기술개발사업 중 신발기초기술 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

#### 참고문헌

1. 최익권, "전자파의 인체위해 조사연구," 한국전자파기술협회, Vol. 4, No. 1, pp. 84-100, 1993.
2. 정연춘, "전자파장해 측정사업 최종보고서," 한국표준과학연구원, 1999.
3. Donald RJ White & Michel Mardiguian, "Electromagnetic Shielding EMC handbook," Vol. 3, 1998.
4. Tlustý, J., Smith, S., and Zamudia, C., "Operation Planning Based on Cutting Process Model," Annals of the CIRP, Vol. 39, pp. 517-521, 1990.
5. Werner Graf, Edward F. Vance, Shielding Effectiveness and Electromagnetic Protection, IEEE Tran. on EMC, Vol. 30, No. 3, August, 1988.
6. 김석주, 전기기기의 전자파 차폐설계기법 연구 최종보고서, 한국전기연구소, 1994.
7. 정낙삼, 전자파간섭 측정 및 극복기술 개발 최종 보고서, 한국 표준연구소, 1994
8. 정보통신부, 전자파인체보호기준, 정보통신부, 2000.
9. 이재건, 실무고주파 가열, 진영사, 1995
10. 박성현, 현대실험계획법, 민영사, 2001