2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20

# 산업설비의 전자파 장해환경 분석

홍용규*, 김태현*, 김덕근**, 임장섭***, 문채주*
*목포대학교 전기제어공학부, **전기안전시험연구원, ***목포해양대학교 전자 · 통신공학부

# Analysis of Electromagnetic Wave Interference Environment to Industrial Machinery

Hong Yong-Gyu*, Kim Tae-Hyun*, Kim Duck-Keun***, Lim Jang-Sub***, Kim Tae-Hyun*,
Moon Chae-joo*, Chang Young-Hak

**Abstract** - The interference of electromagnetic waves in factory is increasing according with development of industrial society and many use of electrical machinery. Electromagnetic wave is defined as the electrical and magnetic field formed by electrical and electronic equipment used in daily lives, which indiscriminatingly affects the human health and operation of machinery. The electromagnetic spectrum ranges from the shorter wavelengths(including gamma and x-rays) to the longer wavelengths(including microwaves and broadcast radio waves).

Radiation that is not absorbed or scattered in the atmosphere can reach and affect on the operation of machine. In this study, electromagnetic wave that is interfered to the machine and human is detected in factory, and decrease method of electromagnetic wave interference is studied.

## 1. 서 론

인류문명의 산업화로 전자파를 발생시키는 전기기기의 사용시간과 빈도가 증가하고 있다. 전자파는 타 기기들의 동작에 장해 혹은 간섭(EMI : Electricmagneic Interference)의 문제를 발생시키며, 인체에 악영향을 미친다는 내용의 보고서들이 발표되고 있다.

전자파 장해는 옛부터 있었는데 바람이 불면 자연 잡음에 의한 라디오 수신 장해는 현재에도 가장 일반화된 전자파 장해이다. 진공관의 실용은 1915년경이며, 무선통신은 간단한 불꽃방전과 안테나의 조합으로 송신하고, 혼신 회피를 처음에는 안테나의 방향 조정만으로 했으나 마침내 동조회로가 발명되어 진공관의 실용화와 함께 헤테로다인 수신의 채용, 주파수 할당 등으로 해결해 오고 있다. 전자파가 인체관련에 영향을 준다는 연구자료는 1979년 Wertheimer와 Leeper가 미국의 콜로라도주 고압선로 부근에 사는 아동들의 백혈병 발생률을 조사한 결과, 일반 아동들에 비해 두배가 높은 사실을 보고하여 최초로 전자파의 유해 가능성을 제기된 것에서 출발한다. 이 연구 결과 발표 후 수많은 연구들이 수행되어 강한 마이크로파나 라디오파 등의 고주파는 유해한 것으로 결론이 났으며 또한, 가정과 상업용 건물에서의 위치별 자기장 측정, 일반인이 접촉하는 OA기기나 가전제품류 및 정보통신기기 등에 관한 자기장의 측정과 이들에 대한 대책에 관한 연구가 진행되고 있다.

산업현장에서 전자파의 영향으로 인한 기기의 오동작 문제가 현재 심각하게 나타나고 있으나, 일반 산업체에서 전자파 장해에 대한 자료조사 및 연구는 아직 미진한 상태이다. 따라서 산업 제조 현장에서의 전자파 장해에 대한 문제에 대응하기 위한 조사가 필요하다.

본 논문은 산업설비 제작공장에서 사용되고 있는 용접용 로봇설비 주변의 각종 기기들 및 로봇설비에 의한 제어판넬의 동작에 영향을 미칠 수 있는 고주파 환경의 변화에 대하여 조사하고, 환경이 다른 설비에서의 전자파 분포변화에 대하여 분석하였다. 또한 설비의 정지와 운전중 전자파를 측정하여 이들의 차이점을 분석하고, 종업원 노출상태 등을 종합하므로써 전자파 장해에 대한 감소대책을 연구하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 전자파 이론

전자파란 전하가 급속하게 진동하거나 전류가 진동적으로 변화할때 생기며, 그 통로에 해당되는 공간에 전기적 작용을 끼치면서 빛과 같은 속도로 전파된다. 파의 성질로 보면 전기장과 자기장이 동반하여 파가 진행하는 방향에 대해 수직으로 진동하는 전기적 횡파이다. 전자파는 주파수에 따라 0Hz인 직류부터 $10^{22}$Hz 감마선에 이르기까지 광범위한 주파수 영역을 가지는 일종의 전자기 에너지이다

전자기장은 전기장과 자기장으로 구성되어지며 3차원의 공간에 있어서의 벡터장이다. 이 전자기장은 다음의 맥스웰 방정식에 의해 수학적으로 그 특성을 기술할 수 있다.

$$\nabla \times E = -(\partial B)/(\partial t) \quad \text{(식 1)}$$
$$\nabla \times H = J + (\partial D)/(\partial t)$$
$$\nabla \cdot B = 0$$
$$\nabla \cdot D = \rho$$

위의 방정식은 공간의 각 위치에서의 장의 특성을 나타내며 어떤 주어진 공간내에서의 특성을 알기 위해서는 그 영역을 특성지우는 물질 특성과 경계조건을 알아야 한다. 이에 관계된 물질 특성은 다음과 같다.

$$D = \varepsilon E \quad \text{(식 2)}$$
$$B = \mu H$$
$$J = \sigma E$$

맥스웰 방정식의 E, H는 전장의 세기와 자기장의 세기를 나타내며 이 두 성분에 의해 전달되는 에너지(전력 밀도)는 $S = E \times H$에 의해 나타내지고, 어느 한지점에서의 $|E|/|H|$를 wave 임피던스 (Zw)라 한다. 이 wave 임피던스를 기준으로 장을 분류할 수 있다. 맥스웰 방정식에서 DC($\partial/\partial t = 0$)에서는 전기장과 자기장이 따로 존재하며 AC($\partial/\partial t \neq 0$)에서는 전기장과 자기장이 같이 존재하여 전자기장을 이룬다. 그러나 아주 낮은 주파수 대역에서는 해석의 편의를 위해 어느 하나만 가정하기도 한다. 근역장은 발생원의 특성에 따라 전기장과 자기장으로 나눌 수 있으며, 전기장에서는 Wave임피던스(Zw)가 자유공간 임피던스 ($Zo, \sqrt{(\mu/\varepsilon)}$), 자유공간의 $Zo = 120\pi\,\Omega$)보다 크며, 자기장에서는

Zw가 Zo보다 작다.

또한, 방출되는 전자기파의 전기장과 자기장은 서로 수직이며, 또한 진행방향에 수직이다.

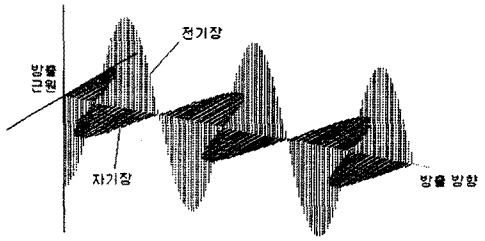


그림 1. 전자파의 진행방향

### 2.2 실험방법

산업현장에서 발생하는 전자파를 측정하기 위해 그림 2와 같이 장비를 구성하였다. 전자파를 수신할 수 있는 안테나는 20㎒-1㎓의 주파수 특성을 갖으며, 안테나를 통해 입력되는 전자파는 preselector를 이용해 통신주파수나 방송파 주파수처럼 이미 알고있는 주파수 대역을 선택해 외부 노이즈로 처리하였으며, 외부 노이즈를 제거한 신호를 pre-amp(×30dB)로 증폭하여 EMC analyzer에 입력하였다. HP8594EM series EMC analyzer를 이용해 산업용 로봇설비 주위의 전자파를 측정하고 분석하였다. 또한, ELF 측정장비를 사용하여 종업원의 극저주파에 대한노출강도를 측정하고 분석하였다.

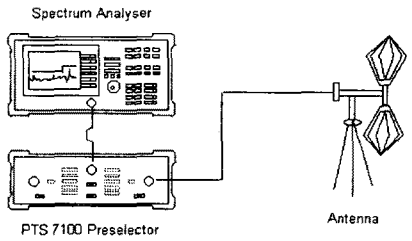


그림 2. 전자파 측정장치 구성도

### 2.3 결과 및 고찰

A공장의 2개 설비와 B공장의 10대 설비의 지역을 측정한 데이터를 분석하고 방사량 측정시 70dB 이상의 값만 주파수별로 나타냈는데 이는 현장에서 측정되는 전자파 중 전기 통신 설비의 평균 측정 레벨로써 기기의 오동작을 일으키는 전자파는 큰 피크값을 갖는 특정 주파수의 신호이다. 현재 기기의 오동작을 일으키는 주파수나 신호크기에 대한 규정이나 연구보고는 없는 실정이다.

따라서 본 논문의 연구장소인 S 중공업의 경우, 라디오 주파수 및 휴대폰 사용 주파수의 평균 신호 이득이 70dB 이하의 크기를 보이기 때문에 기기의 오동작에 직접 영향을 미치지 못하는 외부 노이즈 신호로 간주하였다.

70dB 이하의 신호들도 기기의 오동작에 영향을 전혀 미치지 못한다는 것에 대한 검증은 이루어져 있지 않지만 본 연구에서는 70dB 이하의 값으로 나타나는 신호들은 기기의 오동작에 대한 영향의 확률이 낮다고 판단하여 측정에서 배제하였다.

A공장의 수평로봇 설비의 정지시 전자파는 90, 100, 110, 170, 330, 440, 450, 890㎒에서 높은 피크치 특성을 나타냈으며, 가동시에는 90, 100, 110, 170, 440, 450, 890㎒에서 전자파가 높게 나타나고 있다. 그림 3부터 그림 6까지의 그래프에서 범례에 표시되어 있는 부분은 로봇설비가 설치되어있는 공장의 측정위치를 나타낸다.

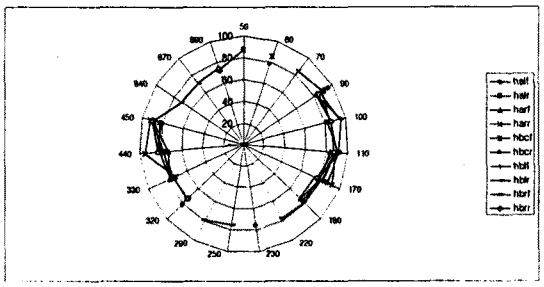

그림 3. A공장의 수평로봇 설비의 정지시 전자파 분포

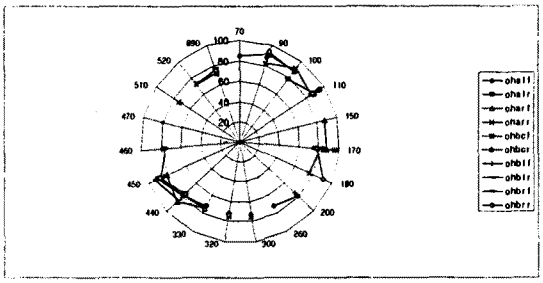

그림 4. A공장의 수평로봇 설비의 가동시 전자파 분포

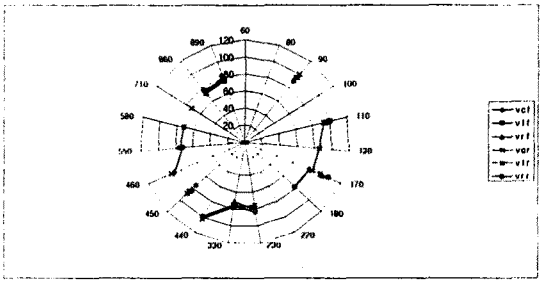

그림 5. B공장의 수직로봇 설비의 정지시 전자파 분포

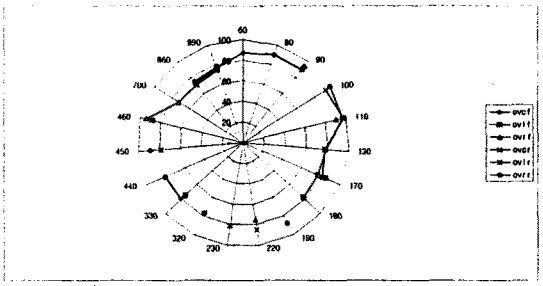

그림 6. B공장의 수직로봇 설비의 가동시 전자파 분포

B공장의 수직로봇 설비의 정지시 전자파는 90, 110, 170, 230, 330, 450, 860, 890㎒의 주파수에서높게

나타났으며, 가동시에는 90, 110, 170, 330, 460, 860, 890㎒에서 높은 분포를 보인다. 특히, 60, 80㎒ 주파수에서 전자파는 정지시에는 나타나지 않았다.

A공장 및 B공장 모두 용접작업 도중보다 용접작업 준비시 주변기기들이 영향을 많이 받고 있는 것으로 나타났다. 가동시 방사량 측정값이 정지시보다 낮은 것은 천장 크레인 또는 컨베이어 모터가 작동되면서 발생되는 전자파로 판단된다. 그리고, 실제 현장업무 실적을 분석한 결과, A, B공장의 로봇설비 작업 정지시 주변설비들의 오동작을 일으키는 것으로 파악되었다.

표 1. A, B공장의 용접작업에 대한 전자파 측정비교

| 항 목 | A 공장 | | B 공장 | |
|---|---|---|---|---|
| | 정지시 | 가동시 | 정지시 | 가동시 |
| 측 정 수 | 19개 | 19개 | 15개 | 19개 |
| Peak 개소 | 84개 | 79개 | 52개 | 50개 |
| 최 대 값 | 96dB | 97dB | 104dB | 98dB |
| 최 소 값 | 71dB | 71dB | 71dB | 71dB |
| 평 균 값 | 82.4dB | 80.6dB | 85.0dB | 84dB |

저주파 자계 측정기(5[Hz]~2[㎑])와 고주파 자계 측정기(2[㎑]~300[㎑])를 사용해 측정하였으나, 고주파대역은 본 조사에 미치는 영향이 미비하여 저주파 자계 측정값만 나타냈다. 수직로봇과 수평로봇 설비의 저지 및 가동시 자계분포는 그림 7 및 8과 같다. A구역은 자계의 변화가 크지 않았으나, A기의 좌측과 B기의 우측에서 일반 아크용접 작업시 자계의 변화가 있었으며, 이에 비해 B구역의 자계의 변화는 상당히 큰 편이었다. 원인으로는 A구역은 로봇이 4대인데 비해서 B구역은 14대이고, 특히 좌측후면에서 직업인의 경우 규제값 4.1 [mG]의 약 4배 높게 나타났고, 이는 좌측동의 일반 아크용접 작업 및 밀링 머신(EDGE Milling Machine)의 영향으로 판단된다.

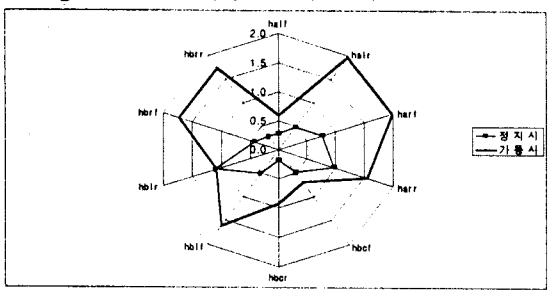


그림 7. 수평로봇 설비의 정지 및 가동시 자계 분포

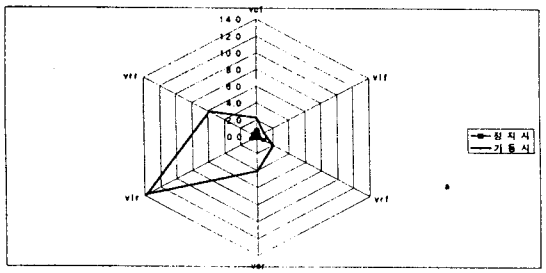


그림 8. 수직로봇 설비의 정지 및 가동시 자계 분포

## 3. 결 론

A 공장 및 B 공장의 현상들을 종합한 결과 양 공장 모두 용접작업시 보다는 용접작업준비를 위해 용접 대상물 이동을 위해 천장크레인 사용 및 컨베이어 전동기로 부재이동 작업을 하기 때문에 전자파에 상시노출 되어 로봇이 용접작업중인 경우 보다 전자파 방사량이 더 심한 것으로 나타났다. 또한, 저주파 자계를 측정한 결과 14대의 로봇이 설치된 B구역의 자계값이 직업인의 규제값 보다 약 4배 높게 나타났다. 따라서 작업장 내의 기기와 종업원에 미치는 영향을 감소시키기 위한 방법은 다음과 같다.

1. A구역 및 B구역 모두 용접작업 보다 용접작업 준비를 위한 용접물체 이동 중에 천장 크레인 사용 및 컨베이어로 부재이동을 하기 때문에 전자파에 상시 노출되어 실제 작업 때 보다 용접작업 준비시의 전자파가 크게 나타났다. 따라서, 안전사고 예방과 기기보호를 위하여 용접작업 준비중에는 로봇설비가 운전대기 모드상태에서 전원이 차단 되도록 현장작업 수칙을 개정한다.
2. A구역 전체적으로 자계의 변화가 크지 않았다. A구역 A기의 좌측과 B기의 우측에서 일반 아크용접 작업시 미소한 자계의 변화만 있었으며, 이에 비해 B구역의 자계 변화는 상당히 큰 편이었다. 좌측후면에서 평균값을 훨씬 상회하였으며, 좌측동의 일반 아크용접 작업 및 밀링머신(EDGE Milling Machine)의 영향으로 판단된다. 따라서, 현재 우리나라의 자계 노출기준이 직업인의 경우 4.1[mG]이므로(일반인의 경우 0.83[mG]) 이 기준을 초과하는 지역의 작업시간이 최소화 되도록 현장 작업수칙을 개정한다.
3. 공장건물의 높이를 최대한 이용하여 전력용 트레이의 설치높이를 높게하여 작업자와 이격거리를 크게 한다.
4. 모든 기기의 전원 케이블을 인입단자 쪽이 작업자와 반대방향으로 위치하도록 하고, 인입 단자 박스 부분은 커버로 차폐시키며 인입 케이블은 배관을 사용한다. 전기 배전함의 문이 있는 배전반과 제어반, 분전반류의 문 개방을 금지한다.

대부분의 전기에너지 이용설비는 어느 정도의 전자파 잡음을 발생시키며 이러한 잡음은 공중을 통한 전자파 방사의 형태나 전원선 같은 도선을 통한 전도의 형태로 전달된다. 전자파 장해 현상에는 3가지 요소가 존재하게 되는데 이것은 전도나 방사 형태의 전자에너지를 방출하는 잡음원과 전자 에너지를 전달하는 전자매체 및 잡음에 의하여 방해를 받는 피해 기기이다. 이러한 요소중에서 어느 한가지만 배제되어도 전자파 장애현상은 일어나지 않게 된다.

## [참 고 문 헌]


[1] 하세가와신, 스기우라 아끼라, 오까무라 마사우, 구로누마 히로시 공저"전자파 장해", 대광서림, 1997

[2] Wertheimer, N., & Leeper. E. "Electrical wirting configuration and childhood cancer" Am. J. Epidemiol, Vol. 109. PP. 273~284, 1979

[3] M. Granger Morgan, "Part 2 : What can We Conclude from Measurements of Power Frequency Fields?," Department of Engineering and Public Policy Carnegie Mellon University in Pittsburgh, 1993