

# 제조공장에서서의 극저주파 자기장의 측정 및 분석

(Analysis and Measurement of the ELF at Manufactories)

-작업장의 지역별 구분에 의한 자기장을 중심으로-

-Centering on the Magnetic Fields by Regional Section of Workspaces-

정익모\*, 임영철\*\*, 양승학\*\*\*

(Ik-Mo Jeong, Young-Cheol Lim and Seung-Hak Yang)

## 1. 서론

산업사회의 발달과 더불어 전기를 사용하는 기기들의 사용빈도나 시간이 기하급수적으로 증가하는 추세에 있다. 이러한 전기를 사용하는 기기로부터는 전자기장이 발생되고 있다. 전자기장의 영향은 주변기기들의 정상작동을 방해하는 전자파간섭(EMI: Electromagnetic Interference)이 문제로 나타나고 최근에는 생체에 영향을 미친다는 보고들이 발표되고 있다.

전자기장이 인체에 영향을 준다는 연구자료로는 1979년 미국의 Denver에서 Nancy Wertheimer에 의해 처음으로 제기된 것을 시작으로 선진국의 연구기관에 의해 계속적으로 발표되고 있다.[1]

아직까지 전자기장의 인체관련 영향에 대한 확실한 생물학적 매커니즘은 규명되지 않았으나 실험적인 연구와 인구표본에 대한 역학적인 조사로서, 쥐의 경우 고레벨 전자기장하에서 호르몬량의 변화가 측정되고, 소아의 암의 경우 2 내지 4mG이상의 환경에서 상대적인 위험이 1.5 내지 3정도라는 자료와 직장의 성인의 경우 고레벨의 상용주파수 전자기장에 노출된 전력회사 근로자와 알루미늄 정제공장의 근로자는 다른 직종의 근로자에 비해 1.5 내지 7정도로 상대적 위험이 높다는 보고가 있다.[1~2]

또한 가정과 상업용 건물에서의 위치별 자기장 측정사례와 주로 일반인이 접촉하는 OA기기나 가전제품류 및 정보통신기기 등에 관한 자기장의 측정사례 및 이들에 대한 노출감소대책의 권고안이 보고되고 있다.

그러나 고레벨의 전력을 사용하는 산업현장이 아니며 가정 또는 상업용 건물이 아닌 일반

제조공장에서서의 전자기장에 대한 자료는 조사된 바가 없다. 따라서 향후에 불가피하게 당면하게 될 일반 제조현장에서의 전자기장에 대한 문제에 적극적으로 대응하기 위한 조사가 필요하다.

일반제조현장에서 사용되고 있는 각종 전기기기들의 주파수의 범위는 상용주파수를 포함하는 극저주파(ELF : Extremely Low Frequency)라고 불리는 주파수영역(DC- 3kHz)에 속하므로 본 논문에서는 조사범위를 ELF로 한정하고, 전자기장중에서도 전기장의 경우는 차폐로써 감소가 가능하며 일반제조공장의 전기기기의 사용전압이 비교적 낮아 전기장의 노출에 대한 영향은 무시할 수 있으므로 자기장의 세기만을 조사 분석하기로 한다. 자체의 단위로서는 테슬러[T]를 이용하지만 본문에서는 가우스 [G]를 이용하는 경우가 많고 1 [T] = 10,000 [G], 1 [mT] = 10 [G]이다.

이러한 배경으로 본 논문에서는 장시간 노출되기 쉬운 제조공장에서서 작업자에 대한 자기장의 세기에 영향을 주는 조건을 찾고 이들의 감소대책을 구함으로서 새로운 공장건설이나 기존의 공장에서 설비를 신설할 경우에 적용하기 위하여, 제조공정은 같으나 전기설비의 설치 환경과 배전전압 즉 사용전압이 다른 두 공장에 대해 자속밀도의 분포를 기기의 배치에 관계없이 일정간격의 지점에서 측정 비교하여 자기장의 세기에 대한 감소대책을 구하고자 한다.

## 2. ELF의 범위 및 안전 허용 기준

### 2.1 ELF의 범위

전자계에 의한 영향은 그의 주파수에 의해서 다르다 전자파의 주파수 범위는 수Hz로부터 10<sup>23</sup>Hz에 이르는 영역을 차지하는데 주파

\*정희원 · (주)금호타이어

\*\*정희원 · 전남대학교 공대 전기공학과 교수

\*\*\*정희원 · 호남대학교 공대 전기공학과 조교수

수에 따라 분류하여 표시한 것을 전자파 스펙트럼이라 하고, 본 연구에서는 상용 주파수대를 포함하며 측정 현장에서 주로 이용하는 주파수대역인 극저주파수(ELF : Extremely Low Frequency)대의 자기장을 대상으로 측정 분석하였다

## 2.2 인전허용기준

### 1) 상대적 위험의 조사에 의한 기준

전자기장의 생물학적 영향에 대한 연구로써 단일 세포에 대한 연구와 실험용 동물에 의한 연구 및 인구집단에 대한 역학적 연구등이 이루어지고 있으며 이중 많은 역학적 조사 자료를 구분해 볼 때 가정에서 어린이 암 및 직업적 성인의 암에 대한 Odds Ratio가 1을 넘는 수준은 2~3mG 이상이며 스웨덴에서 조사된 자료는 어린이 암의 경우 1mG 이상에서는 OR이 2배, 2mG 이상인 경우는 3배, 3mG 이상의 경우는 1mG 이하의 경우보다 4배 정도의 차이가 있다고 발표하였으며, 컴퓨터의 경우 스웨덴 국립 전자파 연구소의 규정(MPR II 1990.8)에서 안전수치 2.5mG 이하를 제시하고 있으며, NCRP(the National Council on Radiation Protection and Measurements)에서는 가정, 학교, 사무실의 경우 10mG를 제시한다. 그러나 이들 모두 신경세포의 생물학적 변화 가능성을 주장하고 있으나 이론적 증명을 하지 못한 상태로 많은 반대 주장이 제기되고 있다.[3] 표 1.는 일반인에 대한 전기장과 자기장 세기의 허용기준 단체별로 비교한 것이다.

### 2) 인체 안전 허용전류에 의한 기준

60Hz 전기장은 도전체인 인체 및 비생물체가 결합할 때에 정전유도를 일으키며 이때 도전체가 접지된 경우 단락전류가 흐른다. 이 전류는  $I_{\text{short-circuit(microamps)}} = 5.4 (h^2_{\text{height(m)}})(E_{\text{kV/m}})$ 의 공식으로 구해진다. 쇼크를 지각할 정도 및 다치지 않을 정도의 전류는 남자의 경우 1.0mA이고 여자의 경우 0.65mA이며, 치명적일 정도의 전류를 남자와 여자에 9.0mA와 6.0mA로 보고 NESC(the National Electrical Safety Code)는 차량, 트럭, 장비 등으로 부터의 최대 허용 단락 전류를 5mA로 규정하고, ANSI (the American National Standard Institute)에서는 이동용 가정기기와 고정기기를로부터의 누설전류들 0.5mA까지 허용하고 있다.[4] 이러한 안전 허용 전류를 기초로 한 전자기장의 세기에 대한 기준치들을 제시하고 있다.

미국의 경우 몇몇 주 정부마다 고전압 송전

선 선로 아래에서의 전기장의 세기에 대한 표준, 즉 안전한 전자기장의 표준으로써 또는 표준 설정을 위한 판단의 기준으로써 신중한 노출 회피 정도의 표준이 설정되고, 플로리다 주의 경우 자기장에 관한 표준을 설정하였다. 그러나 아직 배전선이나 기계장치들에 대한 자기장에의 노출을 제한하는 표준은 설정되지 못하였다. 전력선의 전기장의 노출에 대한 표준이나 기준선은 영국, 일본, 폴란드, 러시아에도 존재하며 미국 주 정부의 표준들과 큰 차이는 없다. 예로써 러시아의 경우 대중들의 접근 가능 지역에서는 전기장을 10KV/m로 영구적 거주 지역의 경우는 2KV/m를 제시하였다.[5]

## 3. 측정 방법 및 자기장 세기 분포 조사

### 3.1 측정 방법

본 측정에서 사용한 측정기는 표 2와 같은 사양을 갖는다.

측정기 휴대방법으로써 전기장을 측정할 경우는 측정기의 전하가 피측정 대상물의 전하를 재배치시키고 사람의 신체에 보유한 전하에 의해 전기장이 영향을 받기가 쉬우므로 신체로부터 이격을 시키고 절연봉을 사용하나, 자기장의 경우는 신체나 다른 물체로부터 영향을 받지 않기 때문에 차폐와 관계없이 측정자가 직접 측정기를 휴대하고 측정하였으며, 측정센서 즉 안테나가 흔들릴 경우 측정치에 영향을 받기 때문에 마이크 고정대에 고정시키고 측정하였다.

또한 측정 위치와 측정횟수 및 시간은 각종 산업용 전기기기가 사용된 제조현장의 건물내에서 건물의 기둥위치를 측정점으로 전기기기나 전력선과의 거리에 관계없이 측정하였으며 신체의 가슴 높이에서 센서를 회전시키면서 5초 이상 지속되는 최대치의 값을 취득하였다.

공장의 부하가 감소하는 식사시간 및 작업 교대시간을 피하고 정상적인 작업시간대로 각각 다른 날짜에 2회 측정하였다.

극저주파 자기장을 측정하는 방법으로는 선택한 지점에서 데이터를 측정하는 점측정과, 일정한 간격을 등고선으로 맵핑하는 등거리 측정과, 고정 장소에서의 시간에 따른 노출량 자료를 수집하는 방출선량 측정방법 등이 있으며 [6], 본 측정에서는 점 측정과 등거리 측정 방법을 사용하였다

### 3.2 공장 작업장내의 자기장 세기의 분포

제조 공정은 같으나 전기 설비의 설치 환경

과 배전 전압이 다른 두 공장의 일정 장소중 전력 소비가 가장 많은 3개 공정을 선택하여 A공장의 경우 3개 지역, B공장의 경우 4개 지역(공정은 같으나 설비 배치 환경이 다르기 때문임)에 대한 일정 간격 지점에서의 최대치와 최저치를 각각 별개의 시간대에 2회 측정하였다.

이들 측정 자료를 기본으로 각 위치별 자기장 세기의 분포를 3차원 그래프 및 2차원 등고선도와 고 자기장 발생원 배치도로 구하였다(그림1(a)부터 그림7(b)). 고 자기장 발생원의 기준은 NCRP(The National Council on Radiation Protection and Measurements)에서 제시한 권고 기준치인 10mG 이상이 측정된 지점의 부근에 위치한 발생원의 기기 종류와 용량 및 수량 등을 표시하였다.

### 3.2.1 A공장의 자기장 세기의 측정

A공장 각 지역의 자기장 세기의 측정 조건과 데이터는 표 3과 같다.

### 3.2.2 B공장의 자기장 세기의 측정

B공장 각 지역의 자기장 세기의 측정 조건과 데이터는 표 4와 같다.

## 4. 측정 결과 및 고찰

A공장의 3개 지역과 B공장의 4개 지역을 측정한 데이터를 분석하고 NCRP에서 권고한 10mG를 기준으로 비교한 결과, A공장 A지역의 경우는 전동 지게차용 배터리 충전기 주위와 직류 전동기 구동용 콘트를 판넬 등의 근거리에서 10mG 이상이 분포되고 있으며(그림1), A공장 B지역의 경우는 공정에 설치된 서브 스테이션의 변압기 주위에서 최대치를 보이고 여타 지역은 10mG이하이다(그림2).

A공장 C지역의 경우는 전력 다소비 공정으로 건물의 양쪽에 서브 스테이션이 6개소 설치되어 예외 없이 고 레벨 자기장의 원천이 되고 있으나 작업자는 별도의 장소에서 작업하고 있다(그림3) B공장 A지역의 경우는 전력 다소비 공정임에도 불구하고 10mG를 초과한 개소는 한군데도 없는 점으로 이는 건물의 기둥을 지점으로 측정한 측정 방법상의 문제가 있으나 본 공장은 최근 설치한 공장으로써 내부의 면적이 넓어 기기의 배치상 비교적 여유가 있어 기둥이나 벽면 등에서 설비가 떨어져 있기 때문으로 추정되며 더욱 관심 되는 부분은 사용 전압이 A공장에 비해 2배로 사용됨으로써 전류가 반감되기 때문으로 판단된다(그림4).

B공장 B지역의 경우는 역시 10mG이상인 곳

은 없으나 타 지점에 비해 다소 높은 지역의 경우 A공장에서와 같이 기둥에 동력 분전반이 설치되었거나 케이블 트레이가 지나가는 지점이 높게 나타났으며 분전반의 설치 위치가 낮은 곳에서 높게 측정된다(그림5).

B공장 C지역의 경우는 전력 다소비 공정으로써 전기 서브 스테이션이 있는 지역이 10mG를 초과한 지역으로 주로 변압기, 배전반, 고압 전동기 스타트 판넬, 직류 전동기 구동용 콘트를 판넬들이 위치한 곳이다(그림6).

B공장 D지역의 경우는 주로 직류 전동기가 많이 사용되는 공정이나 모든 전동기 구동용 콘트를 판넬 및 배전반이 별도의 2층에 위치되어 있어 특별히 높게 나타난 지역은 없다(그림7). A공장 A, B, C지역과 B공장 A, B, C, D지역간의 1대 1로는 설비의 배치가 서로 다르기 때문에 비교할 수 없다. 또한 이들 측정값의 최소, 최대, 평균 값의 비교는 표 5와 같이 비교되어 진다.

A공장의 평균 2.96mG에 비해 B공장의 평균 1.57mG로 거의 절반 수준의 자기장 세기의 차이가 있음을 알 수 있으며 최대값도 많은 차이가 있다.

이러한 차이를 나타내는 주요 조건을 찾기 위해 양 공장의 전기 설비의 설치 환경과 배전 전압의 차이를 조사하여 표 6에 종합하였다.

## 5. 결론

전기기기의 설치 환경이 다른 두 곳의 일반 제조 공장에서의 일정 간격별로 자기장 세기를 측정하여 비교 분석하여 본 결과, 전기 설비를 사용하고 있는 작업 장소내의 자기장 세기를 저감시켜 작업자에 미치는 영향을 감소시키기 위한 방법은 다음과 같음을 알 수 있었다.

1. 가능한 기기의 사용 전압을 높여 배전 전압을 높게 함으로써 기기 및 전원 케이블의 전류를 감소케 한다.
2. 고레벨 자기장 발생원인 변압기와 각종 배전반 특히 고압 배전반 등은 작업자와 격리된 별도의 장소에 설치한다.
3. 공장 건물의 높이를 최대한 이용하여 전력용 케이블 트레이의 설치 높이를 높게하여 작업자와의 이격 거리를 크게 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Telka S.Perry, "Today's View of Magnetic

Fields", IEEE Spectrum, pp.14-23, 1994

[2] M.G.Morgan, "Part2:What can we conclude from measurements of power-frequency fields?", Carnegie Mellon Univ., 1989

[3] E.J.Lerner, "Biological Effects of Electro-magnetic Fields", IEEE Spectrum, pp.57-69, 1984

[4] L.Vitale, "ELF Fundamentals", Presented to the New York Interagency Engineering Council, 1995

[5] M.G.Morgan, "Electric and Magnetic Fileds from 60Hz Electric Power", Carnegie Mellon Univ., 1989

[6] M.G.Morgan, "Part1 Measuring Power Frequency Fields", Carnegie Mellon Univ., 1992

표 4. B공장 다 지점의 측정 조건과 결과

Table 4. Measuring conditions and results at B plant

항목	구분	A지점	B지점	C지점	D지점
측정간격	가로(m)	3	3	3	1.2
	세로(m)	5	5	5	2.7
측정수	서점	572	550	550	198
	최소값(mG)	0.1	0.1	0.1	0.1
	최대값(mG)	130	6.3	56.5	3.4
평균값(mG)		0.60	1.03	1.46	0.75
	3차원그래프	그림4(a)	그림5(a)	그림6(a)	그림7(a)
결과그래프		그림4(b)	그림5(b)	그림6(b)	그림7(b)

표 5. A, B공장의 자기장 분포의 측정값 비교

Table 5. Comparisons of the magnetic fields distributions at A and B plants

항목	A공장	B공장
측정수	1,273	1,870
최소값	0.2mG	0.1mG
최대값	200mG	55.5mG
평균값	2.96mG	1.37mG

표 6. A공장과 B공장의 전기 설비의 설치 환경 및 배선 현황

Table 6. Electrical equipments and distribution routes at A and B plants

항목	A공장	B공장
주전압 및 용량	3상 54KV	3상 154KV
	40 MVA	30 MVA
사용전압(고압)	3상 12KV	3상 66KV
	3상 220V	3상 40V
	1상 110V	1상 또는 3상 220V
직접유연인기 및 고압 배선반 설치위치	겉벽에 혼산	별도로 후벽 (측정대상 제외)
제이플 로케이 계측용이	4.5 M	5.5 M
발비비공간	여유공간이 충분	여유공간이 부족

표 1. 일반인에 의한 인체별 전기장과 자기장 세기의 허용 기준

Table 1. Permissible standard on strength of electric and magnetic fields for an ordinary person

인체형	구분	전기장 세기	자기장 세기
NCRP	가정, 학교, 사무실		10 mG
	MPRG and VDT at 0.5m		
IEEE P1140	5-2 kHz Band	25V/m	2.5mG
	0-400kHz Band	2.5V/m	0.25mG

NCRP The National Council on Radiation Protection and Measurement  
IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers

표 2. 측정기의 사양

Table 2. Specification of the measuring system

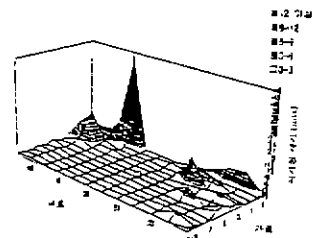
No	구분	비고
1	기기명	Field Monitor
2	제조사	Walker Scientific, Inc. USA
3	모델	ELF-6D
4	범위	11mG to 999G
5	밴드폭	40Hz to 400Hz
6	측정수	Single Axis
7	아날로그 출력	200mV FS
8	센서	Mixed External Sensor
9	정확도	±1% ±1 digital at 50Hz or 60Hz ±5% at 40Hz to 400Hz
0	단위	mV/div or Gauss

표 3. A 공장 다 지점의 측정 조건과 결과

Table 3. Measuring conditions and results at A plant

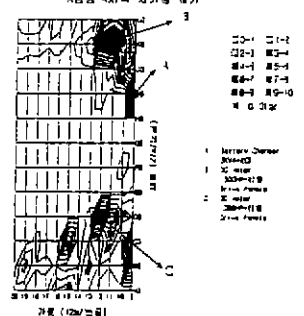
항목	구분	A지점	B지점	C지점
측정간격	가로(m)	12	9	3
	세로(m)	27	18	5
측정수	서점	298	254	20
	최소값(mG)	0.2	0.3	0.2
	최대값(mG)	51.2	320.0	11.1
평균값(mG)		1.91	3.76	1.32
	3차원그래프	그림1(a)	그림2(a)	그림3(a)
결과그래프		그림1(b)	그림2(b)	그림3(b)

그림 4. A 공장 A지점 자기장 세기



(a) A공장 A지점 자기장 세기의 3차원 그래프

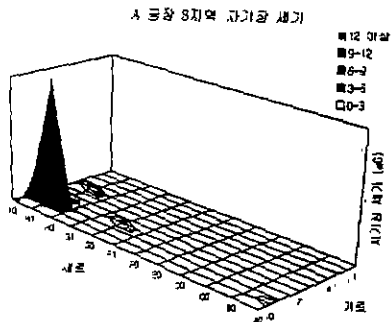
A공장 A지점 전기장 세기



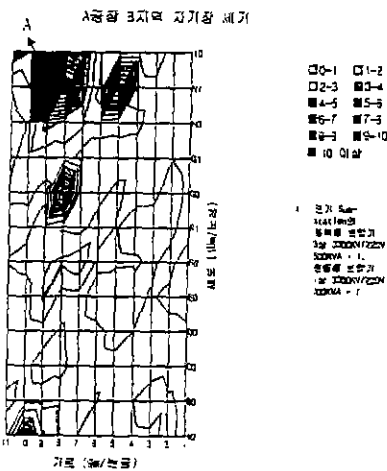
(b) A공장 A지점 자기장 세기의 등고선도와 고 자기장 발생원 위치도

그림 1. A공장 A지점에서 자기장의 세기

Fig. Strength of magnetic fields at A section of A plant

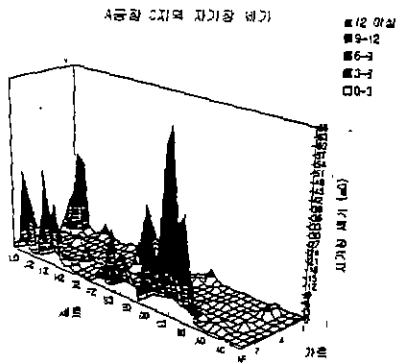


(a) A공장 B지역 자기장 세기의 3차원 그래프



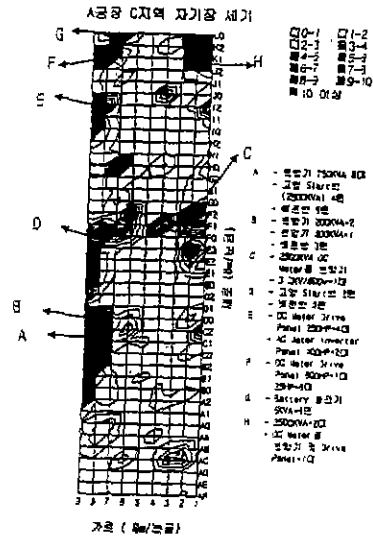
(b) A공장 B지역 자기장 세기의 등고선도와 그 자기장 발생원 배치도

그림 2. A공장 B지역에서의 자기장의 세기  
Fig. 2. Strength of magnetic fields at B section of A plant

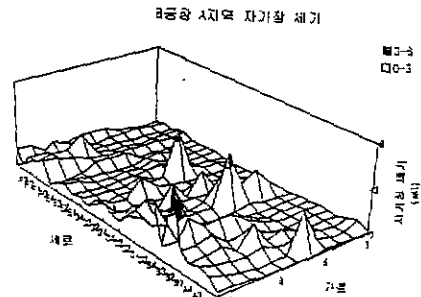


(a) A공장 C지역 자기장 세기의 3차원 그래프

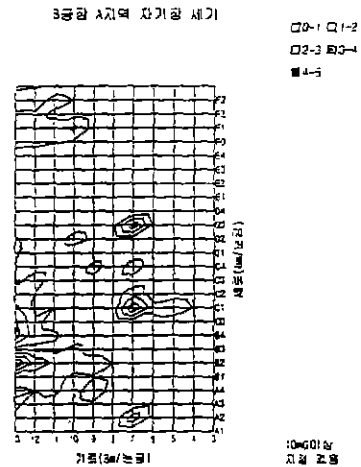
그림 3. A공장 C지역에서의 자기장의 세기  
Fig. 3. Strength of magnetic fields at C section of A plant



(b) A공장 C지역 자기장 세기의 등고선도와 그 자기장 발생원 배치도



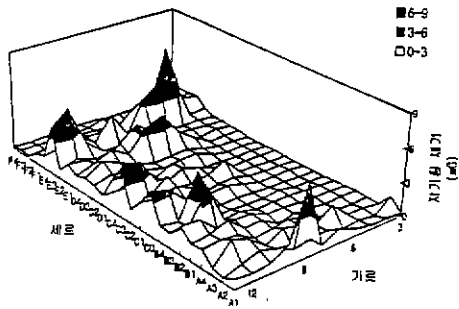
(a) B공장 A지역 자기장 세기의 3차원 그래프



(b) B공장 A지역 자기장 세기의 등고선도와 그 자기장 발생원 배치도

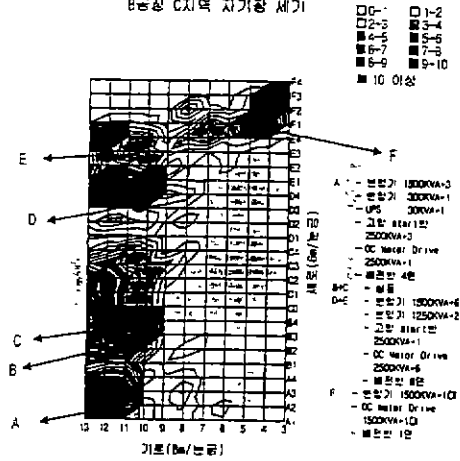
그림 4. B공장 A지역에서의 자기장의 세기  
Fig. 4. Strength of magnetic fields at A section of B plant

8공장 B지역 자기장 세기



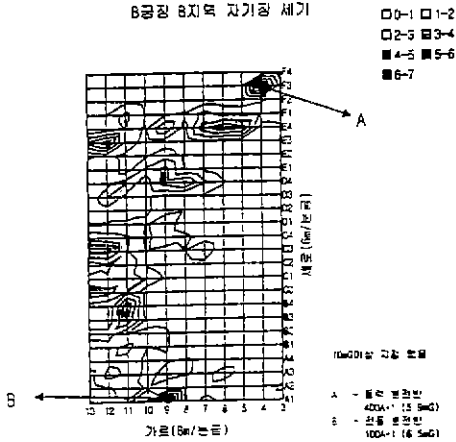
(a) 8공장 B지역 자기장 세기: 3차원 그래프

8공장 C지역 자기장 세기



(b) 8공장 C지역 자기장 세기의 등고선도 및 자기장 발생원 배치도

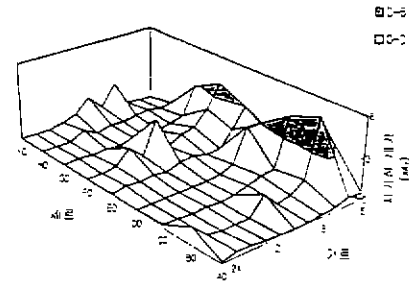
8공장 B지역 자기장 세기



(a) 8공장 B지역 자기장 세기의 등고선도 및 자기장 발생원 배치도

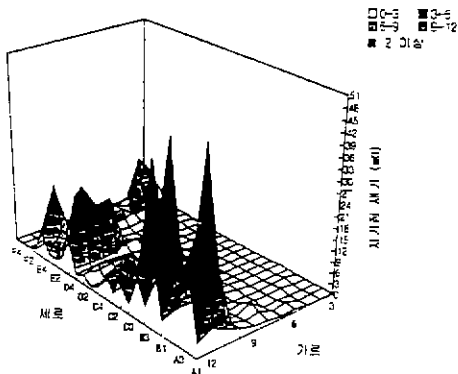
그림 5 B공장 B지역에서의 자기장 세기  
Fig. 5 Strength of magnetic fields at B sector of B plant

8공장 D지역 자기장 세기



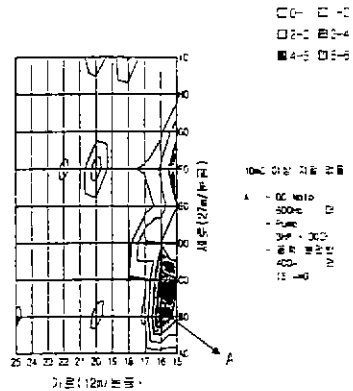
(a) 8공장 D지역 자기장 세기: 3차원 그래프

8공장 C지역 자기장 세기



(a) 8공장 C지역 자기장 세기: 3차원 그래프

8공장 D지역 자기장 세기



(b) 8공장 D지역 자기장 세기의 등고선도 및 자기장 발생원 배치도

그림 6 B공장 C지역에서의 자기장 세기

Fig. 6 Strength of magnetic fields at C sector of B plant

그림 7 B공장 D지역에서의 자기장 세기

Fig. 7 Strength of magnetic fields at D sector of B plant