

# 극저주파 자기 세기를 원격 측정하는 장치

## Telemetry System of Extremely Low Frequency Magnetic Field Intensity

유호상 · 왕종욱 · 서근미 · 김윤명

Ho-Sang Yoo · Jong-Uk Wang, Geun-Mee Seo · Yoon-Myoung Gimm

### 요 약

본 논문에서는 극저주파 자기 세기를 원격으로 측정하기 위한 장치를 설계하고 제작하였다. 자기 측정기는 자계를 등방적으로 측정하기 위하여 3축 자기 센서를 사용하였으며, 측정 대역내 주파수에서 주파수 특성을 보상하기 위하여 등화기를 사용하였다. 3축 자기 센서의 출력 신호를 시간적으로 다중화 시켜, 3축간 균일한 이득 및 주파수 특성을 얻었다. 자기 측정 레벨 범위는 0.01~10.0 uT이며, 측정 주파수 대역은 40~180 Hz이 되도록 설계하였다. 제어 시스템은 무선으로 자기 측정기에 접근하며, 최대 접근 거리는 1.0 km이다. 제작된 장치의 측정 레벨 오차는 5 % 이내이다. 제작된 장치는 고전압 송전선이 지나는 골프 연습장에 설치되었다.

### Abstract

In this paper, we designed and implemented the system for telemetrying ELF(Extremely Low Frequency) magnetic field intensity. The magnetic field measurement system used a 3-axis magnetic field sensor to measure the magnetic field with isotropy and the equalizer to compensate the frequency characteristic in band. By multiplexing three output signals of the magnetic field sensor in time domain, we got the uniform gain and frequency characteristic among three axes. This system was designed that the magnetic field measurement level range was 0.01~10.0 uT and the measurement frequency band was 40~180 Hz. The control system would access to the magnetic field measurement system with RF and the maximum access distance was 1.0 km. We confirmed that the measurement level error of the fabricated system was within 5 %. The fabricated system was installed to a golf practice range where a high voltage power transmission line was crossed.

Key words : Magnetic Field, Telemeter, ELF(Extremely Low Frequency), Isotropic, Exposure

### I. 서 론

현대의 전기·전자 산업 발전은 가정과 산업의 전기 수요를 매우 광범위하게 만들고 있다. 발전소에서 전기 수요처까지 경제적으로 전기를 공급하기 위하여 고전압으로 송전하고 있으며, 가정에서도 편리함 때문에 다양한 전기·전자 제품을 사용하고 있다. 송전선과 다양한 전기·전자 제품에서

는 다양한 주파수 대역의 전자계 방출을 야기하고 있으며, 이러한 전자계 발생원은 우리 생활과 밀접하게 관계되어 있어서 일반 대중은 무작위로 노출되고 있다. 극저주파 전자계는 인체에 유도되어 영향을 주게 되는데, 전계에 의해 유도된 전류는 인체의 중심 근방에서는 거의 흐르지 않는다. 그러나 자계에 의한 전류는 인체의 중심에서도 흐른다. 전계의 경우는 머리, 발목 등과 같은 사소한 위치에서만

단국대학교 전자컴퓨터공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Dankook University)

· 논문 번호 : 20070316-036

· 수정완료일자 : 2007년 5월 17일

전류 밀도가 높아지나, 수직 자계에서는 흉부, 복부에서, 수평 자계에서는 횡복부 부근의 전류 밀도가 커진다. 인체에 전류가 유도되면 신경·근육 등이 자극을 받는다. 전류의 자극 작용은 주파수가 높아질수록 작아지며, 열작용은 주파수에 따라 크게 변하지 않는다. 수 10 kHz 이하의 주파수에서는 자극 작용이 크고, 그 이상의 주파수에서는 열작용이 크다. 이와 같이 생활 속의 전자계 노출이 인체에 영향을 주면서 전자계 노출에 따른 위해성 여부를 평가하고자 하는 시도가 진행되고 있으며, 일부 역학 연구와 시험실 연구는 전자파 노출이 건강상에 만성적인 영향을 기여할 수 있음을 시사하는 결과들도 보고되고 있다. 해외의 연구기관에서는 전자계에 대한 연구를 체계적으로 진행하고 있으며, 1997년 WHO(World Health Organization)의 공식 승인 기구인 ICNIRP(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)은 0~300 GHz에 대한 EMF (Electro Magnetic Field) 지침(guideline)을 제정하였다. 표 1은 25~800 Hz 대역에서 자계에 대한 ICNIRP 기준이다<sup>[1]</sup>.

국내의 연구는 과거 체계적으로 수행되지 못하고 단편적인 노출 실태 조사나 방출 현황 조사에 그치면서 점증하는 위해성 논란의 우려를 효과적으로 대응하지 못하였지만, 최근에는 국내에서도 국책 사업 등이 시행되면서 체계적인 전자계 노출에 대한 연구를 시도하고 있다. 국내의 극저주파 자계 기준은 산업자원부와 정보통신부가 제정하였으며, 국내 자계 기준은 표 1을 따르고 있다. 국내의 60 Hz 송전 선로 자계 강도 기준은 산업자원부(Ministry of Commerce, Industry & Energy) 고시 제2004-19호이며<sup>[2]</sup>, 60 Hz 송전 선로 이외의 전자파 강도 기준은 정보통신부(Ministry of Information and Communication) 고시 제2001-

88호이다<sup>[3]</sup>.

전자계 연구를 효율적으로 하기 위해서는 전자계를 효율적으로 측정하는 것과 일반인들의 전자계 대한 이해를 돕는 것이 매우 중요하다. 지금까지는 극저주파 전자계 측정기는 휴대용 측정기를 주류를 이루고 있다. 기존의 휴대용 극저주파 전자계 측정기는 고가이고 저장 메모리가 제한되어 있기 때문에, 특정 지역에서 오랜 시간동안 측정 데이터를 저장(store)하거나 일반인들이 운용하기에는 어려움이 있다. 이러한 문제점을 보완하고자 본 논문에서 제안하는 장치의 구성도는 그림 1과 같다. 일반인들이 쉽게 접근하여 자계 측정 및 전자계 정보를 얻을 수 있도록 제어 시스템을 개발하였으며, 제어 시스템은 다수 개의 자계 측정기를 제어할 수 있도록 하였다. 무선 모뎀(RF MODEM)은 고유의 ID(identification)를 갖고 있기 때문에 제어 시스템은 다수 개의 자계 측정기를 운용할 수 있다. 제어 시스템은 자계 측정기를 호출하여 얻어진 자계값을 LED 패널에 전시(display)하거나 제어 시스템의 GUI(Graphic User Interface)로 요청된 사용자의 요구 사항을 처리한다. 표 2는 장치의 설계 규격이다.

표 1. ICNIRP 기준  
Table 1. ICNIRP guideline.

일반인 자계 (uT)	직업인 자계 (uT)	비 고
5/f	25/f	0.025~0.800 kHz, f in kHz
83.3	416.7	@ 60 Hz

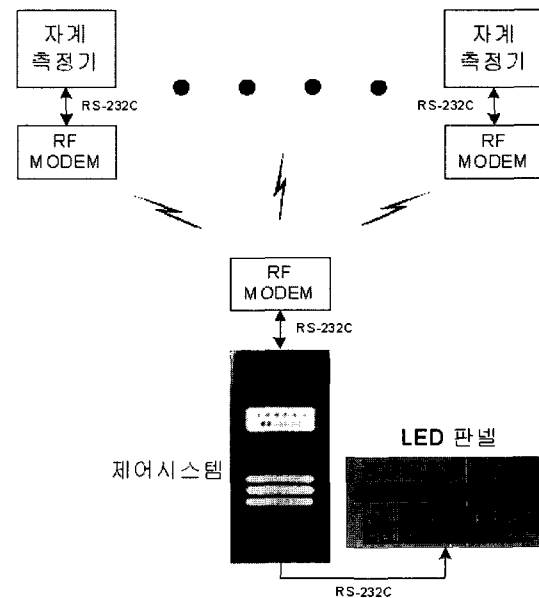


그림 1. 장치의 블록도  
Fig. 1. System block diagram.

표 2. 장치 설계 규격  
Table 2. System design specification.

항 목	규 격
주파수 대역	40~180 Hz
측정 범위	0.01~10.0 uT @ 60 Hz
측정 오차	5 % 이내
측정 방향	3-축, 등방성
측정 방법	True RMS
무선 통신 주파수	424 MHz
무선 통신 속도	9,600 bps
무선 통신 출력	Max. 10 dBm

## II. 장치 설계

### 2-1 자기 측정기

자기 측정기의 블록도는 그림 2와 같다. 등방성 자기 측정을 위하여 X축, Y축, Z축 자기 센서를 사용하고 있으며, 각각의 자기 센서는 공간적으로 직교되어 있다. 자기 센서는 교류 자계에 의해서 유도 기전력이 발생되며, 교류 유도 기전력의 크기  $V$ 는 식 (1)의 Faraday 법칙으로 구할 수 있다<sup>[4]</sup>. 자기 센서에서 유도된 기전력을 A/D 변환하기 위한 자기 측정기의 레벨 예산(budget)은 표 3과 같으며, 기준 주파수는 60 Hz이다.

$$|V| = \omega N S B \quad (1)$$

$\omega$  : 각 주파수[radian/sec]

$N$  : 권선수

$S$  : 코어의 단면적[m<sup>2</sup>]

$B$  : 코어를 관통하는 자속밀도[Wbm<sup>-2</sup>]

표 2에서 자기 센서의 자기 측정 범위는 60 Hz에

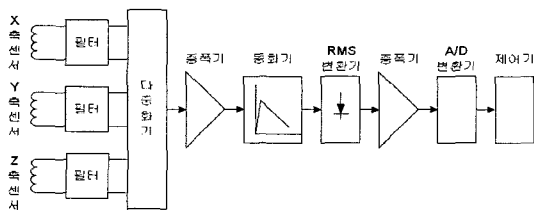


그림 2. 자기 측정기의 블록도  
Fig. 2. Block diagram of the magnetic field measurement system.

표 3. 60 Hz에서 자기 측정기의 레벨 예산  
Table 3. Level budget of the magnetic field measurement system at 60 Hz.

항 목	이 득	출력 레벨 @ B=0.01 uT	출력 레벨 @ B=10.0 uT
자기 센서 유도 기전력		4.1 uV <sub>peak</sub>	4.1 mV <sub>peak</sub>
필터	×0.9	3.7 uV <sub>peak</sub>	3.7 mV <sub>peak</sub>
다중 화기	×1	3.7 uV <sub>peak</sub>	3.7 mV <sub>peak</sub>
증폭기	×12	44.2 uV <sub>peak</sub>	44.2 mV <sub>peak</sub>
등화기	×16	707 uV <sub>peak</sub>	707 mV <sub>peak</sub>
RMS 변환기	÷√2	0.5 mV <sub>rms</sub>	0.5 V <sub>rms</sub>
증폭기	×2	1.0 mV <sub>rms</sub>	1.0 V <sub>rms</sub>

서 0.01~10.0 uT이다. A/D 변환기의 기준 전압은 2.5 V이며, 12비트 변환을 수행한다. 표 3에서 자기 측정기의 시스템 전압 이득이 270배(48.6 dB)이므로 식 (1)의 자속 밀도가 0.01 uT일 때, 표 4와 같이 설계된 자기 센서의 유도 기전력은 4.1 uV<sub>peak</sub>가 된다. 여기서, 페라이트 코어를 관통하는 자속밀도는 진공(vacuum)에 비하여 약 3.5~4배 된다<sup>[5]</sup>.

그림 3은 주어진 자계에서 코어 주변 자속 밀도 벡터의 나타내는 시뮬레이션 결과이다. 사용된 시뮬레이션은 Ansoft사 제품인 Maxwell이다.

그림 4와 같이 3축 자기 센서의 유도 기전력은 필터를 통과하여 시간적으로 다중화(multiplex)된다.

다중화된 신호는 비반전 증폭기에 의하여 신호의 증폭이 이루어진다. 증폭된 신호는 등화기(equalizer)에 입력되어 주파수에 따른 보정이 이루어진다. 등화기의 목적은, 자기 센서의 유도 기전력이 주파수에 일정하지 않고 주파수에 비례하여 커지기 때문이다.

표 4. 자기 센서 설계 규격  
Table 4. Design specification of a magnetic field sensor.

항목	규격
코어 형상	drum core
코어 재질	ferrite
코어 비투자율	750 at 0.1 MHz to 1.5 MHz
사이즈(size)	11×8×3.5 mm(길이×외경×내경)
권선 수(N)	4150 turn

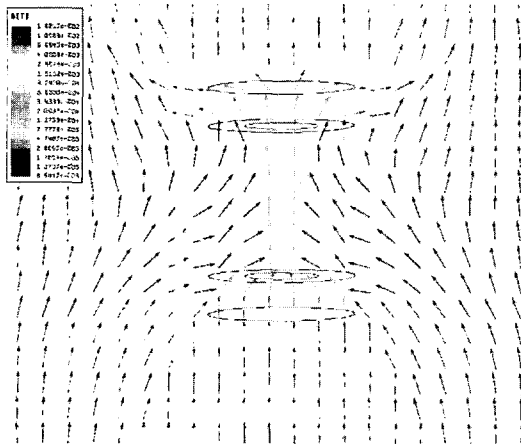


그림 3. 코어 주변 자계 벡터  
Fig. 3. Nearby magnetic field vector of the magnetic sensor.

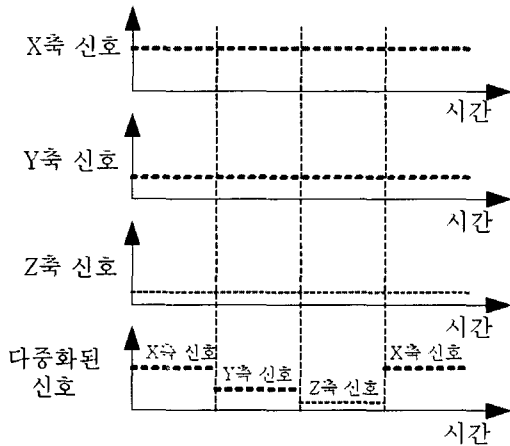


그림 4. 3축 자계 센싱 신호의 시분할 다중화  
Fig. 4. Time division multiplex of 3 axis magnetic field sensing signals.

사용된 등화기는 저주파 대역과 고주파 대역에서 감쇄 비율을 다르게 할 수 있는 RIAA(Recording Industry Association of America) 등화기 회로를 사용한다<sup>[6]</sup>. Ansoft사 제품인 Designer를 사용한 등화기 회로 시뮬레이션 응답은 그림 5와 같다.

그림 2의 등화기 출력신호는 RMS(Root Mean Square) 변환기에 입력된다. RMS 변환기는 교류 신호를 RMS 값으로 변환해 주는 기능을 수행한다. RMS 변환기 출력 신호는 증폭기에 입력되어 신호 증폭이 이루어진 후에 A/D(Analog to Digital) 변환기

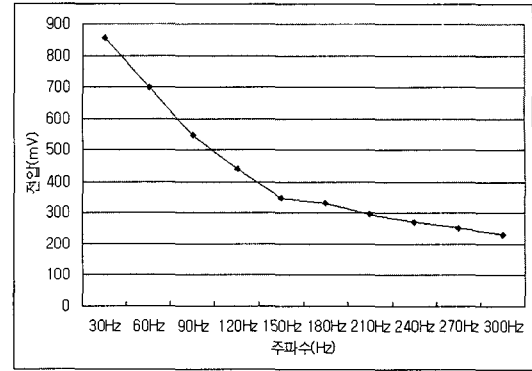


그림 5. RIAA 등화기의 시뮬레이션 응답  
Fig. 5. Simulation response of RIAA equalizer.

에서 입력되어 디지털로 변환된다. 디지털로 변환된 신호는 시간적으로 분리된 X축, Y축, Z축 자계 신호로 구성되어 있다. 임의의 공간에서 3차원 교류 자계 벡터 B의 일반식은 각 축간의 위상차를 고려하고 단일 주파수를 가정한 경우, 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\vec{B}(t) = \sqrt{2}B_x \sin(\omega t) \vec{x} + \sqrt{2}B_y \sin(\omega t + \alpha) \vec{y} + \sqrt{2}B_z \sin(\omega t + \beta) \vec{z} \quad (2)$$

$B_x, B_y, B_z$  : 직교 3축의 각 축 자계 성분의 실효치[Wbm<sup>-2</sup>]

$\vec{x}, \vec{y}, \vec{z}$  : 각 축 방향의 단위 벡터

$\alpha, \beta$  : x축-y축 및 x축-z축 간의 위상차[radian]

$\omega$  : 角 주파수[radian/sec]

자계 B의 실효치는 B의 내적의 1주기에 대한 평균으로서, 식 (2)를 실효치로 변환하면 식 (3)과 같이 계산된다. 식 (3)에서 자계 B의 실효치는 각 축간의 위상차에 의하지 않고 각 축 성분의 실효치에 의해서만 결정된다는 것을 나타내고 있다<sup>[7]</sup>.

$$B_{rms} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (3)$$

$B_x, B_y, B_z$  : 직교 3축의 각 축 자계 성분의 실효치[Wbm<sup>-2</sup>]

그림 2의 제어기는, 디지털로 변환된 X축, Y축, Z축의 RMS 자계값을 식 (3)에 이용하여 전체 자계 세기의 실효치(Brms)를 등방적으로 구한다.

### 2-2 무선 모뎀

무선 모뎀은 특정 소출력 신호를<sup>[8]</sup> RS-232C 시리얼 통신을 이용하여 무선으로 데이터를 송수신한다. 각각의 무선 모뎀은 그룹 ID와 개별 ID를 이용하여 무선 구간에서 구별된다. 표 5는 무선 모뎀의 규격이다.

### 2-3 제어 시스템 및 LED 패널(Pannel)

제어 시스템은 컴퓨터와 터치 스크린으로 구성되며, 사용자는 터치 스크린의 GUI(Graphic User Interface)로 시스템에 접근(access)한다. 제어 시스템은 일정 시간마다 자계 측정기를 호출하여 수신된 자계값을 LED 패널에 전시한다. 또한, GUI를 통해서 측정 자계값을 포함한 다양한 정보의 제공이 가능하다<sup>[9]</sup>. 그림 6은 GUI 화면 메뉴 구성이다.

표 5. 무선 모뎀의 규격  
Table 5. Specification of RF MODEM.

항목	규격
주파수 범위	424.700~424.950 MHz
발진 방식	PLL 방식
채널 수	21 채널
무선 변조 방식	BPSK
채널 간격	12.5 kHz
RF 출력	10 mW
그룹 ID 사이즈	1 바이트(0x00~0xFF)
개별 ID 사이즈	1 바이트(0x00~0xFE)

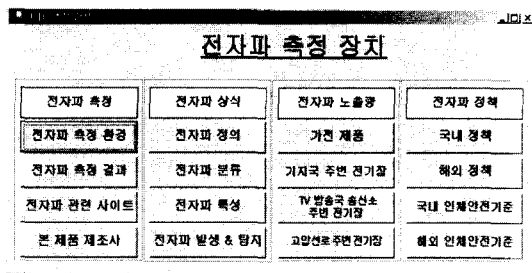


그림 6. 그래픽 사용자 인터페이스 화면 메뉴 구성  
Fig. 6. Screen menu configuration of graphic user interface.

### 2-4 자계 발생 장치

자계 발생 장치는 자계 측정기의 특성을 시험하기 위한 장치로서, 사용자의 요구에 따라 자계의 주파수와 크기를 가변할 수 있는 자계 발생 장치이다<sup>[10]</sup>. 자계 발생 장치의 구성은 그림 7과 같으며, 설계 규격은 표 6과 같다.

자계의 주파수를 변경하는 경우에는 함수 발생기(function generator)의 주파수를 조정하며, 자계 크기를 변경하는 경우에는 함수 발생기와 오디오 증폭기(audio amplifier)의 레벨을 조정한다. 자계 발생 코일

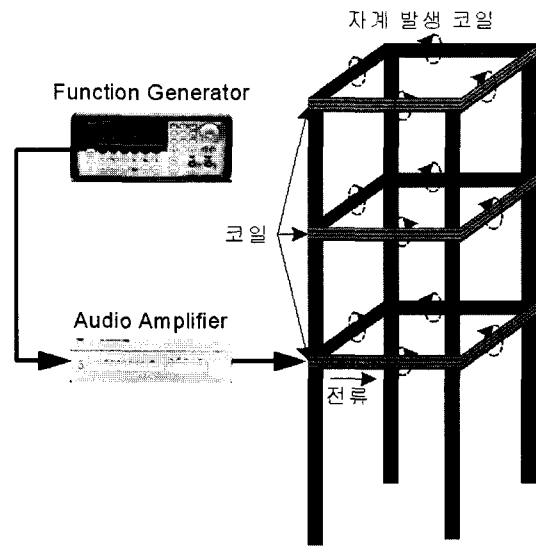


그림 7. 저주파 자계 발생 장치  
Fig. 7. Low frequency magnetic field generating system.

표 6. 저주파 자계 발생 장치의 규격  
Table 6. Specification of the low frequency magnetic field generating system.

항목	규격
주파수 대역	20~500 Hz
자계 발생 세기	0.01~50.0 uT
사각 코일 사이즈	400x400 mm
사각 코일간 간격	400 mm
사각 코일 수	3개
사각 코일 권선 수	20-17-20 turns

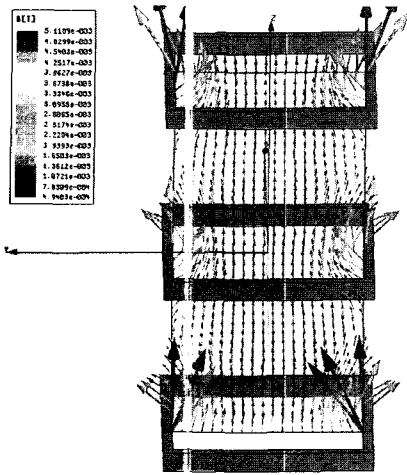


그림 8. 자계 발생 코일의 자속 밀도 벡터  
Fig. 8. Magnetic flux density vector of the magnetic generation coil.

에서 자속 밀도  $B$ 는 비오-사바르 법칙(Biot-Savart's law)으로 구할 수 있다. 그림 8은 자계 발생 코일의 상단과 하단 중심 자계가 10.0  $\mu\text{T}$ 일 때의 자속 밀도  $B$  벡터의 시뮬레이션 결과이다. 자계 발생 코일의 중심에서는  $Z$ 축 방향 성분만 존재한다는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션은 Ansoft사 제품인 Maxwell을 사용하였다.

### III. 장치 제작

#### 3-1 자계 측정기 제작

제작된 자계 측정기의 회로 유니트는 그림 9와 같다. 그림 9의 왼쪽 부분은 아날로그 회로이며, 오른쪽 부분이 디지털 회로이다. 자계 센서는 3개로 구성되어 있으며, 공간적으로 상호 직교하고 있다.

표 4에서 정의된 센서의 설계 규격을 기준으로 하여 제작된 자계는 그림 9의 자계 센서이며, 페라이트 드럼(drum) 코어에 0.03 mm 동선을 4150번 회전시켰다. HP 4262A LCR meter로 측정한 결과는 표 7과 같다.

그림 10은 자계 주파수를 가변시켜, 제작된 자계 센서의 유도 기전력 시험 결과이다. 자계 센서의 유도 기전력은 주파수에 따라 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다.

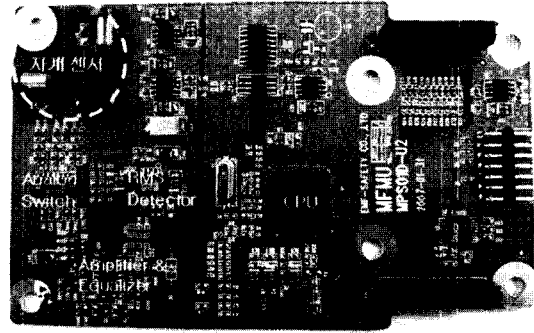


그림 9. 자계 측정기 회로 유니트  
Fig. 9. Circuit unit of the magnetic field measurement system.

표 7. 제작된 자계 센서의 측정 결과  
Table 7. Test result of a fabricated magnetic field sensor.

항목	규격
Inductance	6.83 H
ESR	1.5 kohm
측정 주파수	120 Hz
측정기	HP 4262A

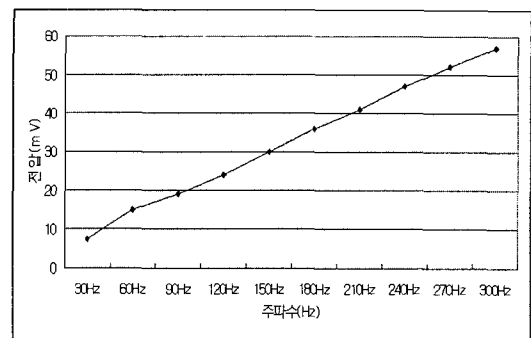


그림 10. 제작된 자계 센서의 주파수 응답  
Fig. 10. Frequency response of a fabricated magnetic field sensor.

그림 11은 구현된 등화기 회로의 주파수 특성이 다. 구현된 RIAA 등화기 회로는 20 Hz에서 최대 이득을 갖고 있으며, 20 Hz 미만에서는 이득이 감소하는 특성을 갖고 있다.

#### 3-2 무선 모델 제작

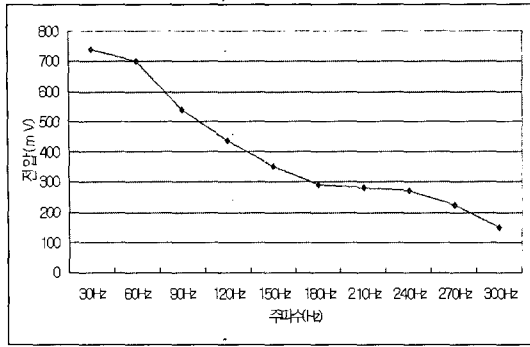


그림 11. 구현된 등화기의 주파수 응답  
Fig. 11. Frequency response of the implemented equalizer.



그림 12. 무선 통신 모뎀 회로 유니트  
Fig. 12. Circuit unit of RF communication MODEM.

그림 12는 제작된 무선 통신 모뎀 회로 유니트이다. 무선 통신 회로 유니트는 장치와 유선으로 RS-232C로 데이터를 송수신하며, 무선 주파수는 424 MHz 대역을 사용하고 FSK 변조 방식으로 송수신을 한다<sup>[8]</sup>.

### 3-3 제어 시스템 및 LED 패널 제작

주장치에서 사용된 무선 통신 모뎀은 원격 장치에서 사용된 것과 동일한 것을 사용한다. 측정된 자계를 표시하기 위한 LED 전광판은 그림 13과 같으며, 컴퓨터와 터치 스크린을 장착한 제어 시스템은 그림 14와 같다.



그림 13. LED 전광판  
Fig. 13. LED display panel.

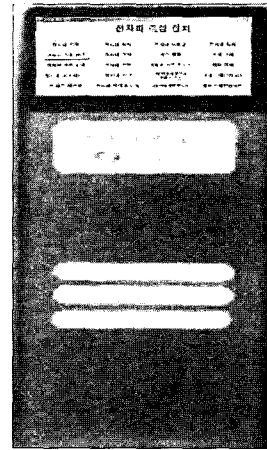


그림 14. 제어 시스템  
Fig. 14. Control system.

## IV. 시스템 시험

제작된 장치는 그림 4의 자계 발생 장치 환경에서 자계 신호에 대한 주파수 대역과 수신 레벨을 시험하였다. 상단에 제작된 자계 측정기를 설치하고 하단에 Wandel & Goltermann社 제품인 EFA-300A을 기준용으로 설치한다. 함수 발생기(function generator)를 조정하여 자계 주파수를 가변시키고, 오디오 증폭기(audio amplifier)의 이득을 조정하여 자계 세기를 조정한다. 표 8은 자계 발생 장치에서 60 Hz 자계를 발생시켜 세기를 가변시키면서 측정한 값이며,

표 8. 제작된 장치의 자계 세기 측정  
Table 8. Magnetic field measurement of the fabricated system.

EFA-300 측정치	제작된 장치의 측정치	오차
0.05 uT	0.05 uT	0.0 uT
0.10 uT	0.10 uT	0.0 uT
0.50 uT	0.49 uT	0.01 uT
1.00 uT	1.01 uT	0.01 uT
2.50 uT	2.52 uT	0.02 uT
5.00 uT	5.05 uT	0.05 uT
7.50 uT	7.56 uT	0.06 uT
10.00 uT	10.15 uT	0.15 uT

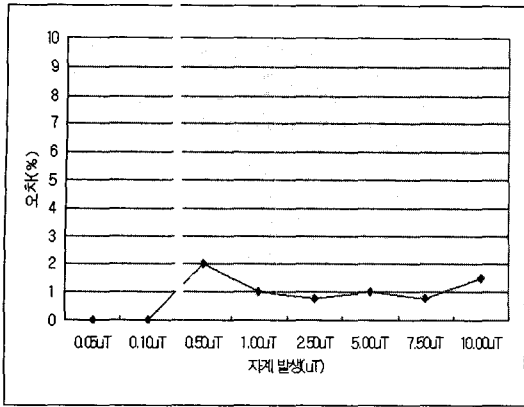


그림 15. 제작된 장치의 자계 측정 오차  
Fig. 15. Measurement error of the fabricated magnetic field measurement system.

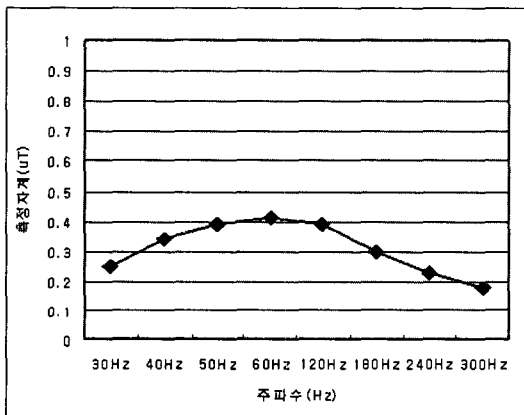


그림 16. 제작된 장치의 주파수 응답  
Fig. 16. Frequency response of the fabricated magnetic field measurement system.

그림 15는 표 8의 측정 오차를 백분율로 환산한 것이다. 표 8의 최대 측정 오차가 2 %이므로 EFA-300A의 3 % 측정 오차를 고려하면, 제안 장치의 실제 측정 오차는 5 % 이내이다.

그림 16는 자계 발생 장치의 자계 세기가 0.4 uT에서 자계 주파수를 가변시켜 제작한 자계 측정기의 주파수 특성을 시험한 것이다. 그림 16에서 장치의 3 dB 대역폭은 40~180 Hz이다.

### V. 현장 시험

자계 발생 장치에서 시험 완료된 장치는 경기도

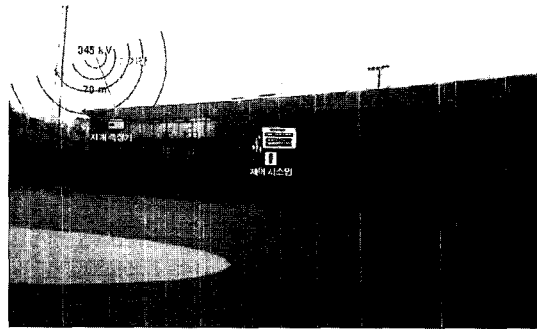


그림 17. 제작된 원격 자계 측정 시스템의 설치 환경  
Fig. 17. Installation environment of the fabricated remote magnetic field measurement system.

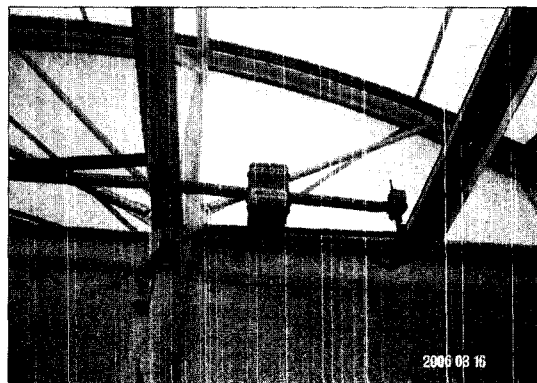


그림 18. 설치된 자계 측정기와 무선 모뎀  
Fig. 18. Installed magnetic field measurement system and RF MODEM.

용인시의 골프 연습장 인근을 지나는 345 kV 고전압 송전선의 자계 세기를 측정하기 위하여 설치되었다. 그림 17은 골프 연습장의 전경으로 인근에 345 kV 송전선을 볼 수 있다. 제어 시스템과 LED 패널은 2층에 설치하였으며, 자계 측정기는 3층 좌측에 설치하였다.

그림 18은 골프 연습장의 3층에 설치된 자계 측정기와 무선모뎀이다.

그림 19는 골프 연습장의 3층에 설치된 제어 시스템, LED 패널 및 RF MODEM이다. LED 패널에는 실시간으로 측정되는 자계 측정값, 측정 시간 및 국내 규격을 전시하고 있다. 골프 연습장 3층의 자계 측정치는 약 1.1 mG(0.11 uT)로 측정되었다.



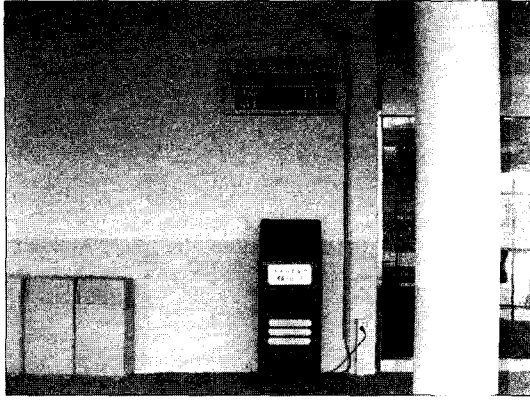


그림 19. 설치된 제어 시스템, LED 패널 및 RF MO-DEM  
 Fig. 19. Installed control system, LED panel & RF MO-DEM.

## VI. 결 론

본 논문에서 극저주파 자계의 세기를 원격으로 측정하여 표시하고, 사용자의 요구에 따라 전자파에 대한 정확한 지식을 제공하는 장치를 제작하였다. 또한, 제작된 장치의 핵심인 자기 측정기에 대한 자기 센서(sensor) 규격, 센서 근접 자기 분포 시뮬레이션 및 회로의 레벨 예산(level budget)을 제시하고 있다. 제작된 장치는 등방적으로 자계의 세기를 측정하기 위하여 3축 자기 센서를 사용하고 있으며, 측정 대역내 주파수 특성을 보상하기 위하여 등화기를 사용하였다. 또한, 원격 장치를 주장치를 무선으로 연결시켜 쉽게 설치하도록 하였으며, 다수의 원격 장치를 설치될 수 있도록 원격 장치에 ID(Identification)를 부여하였다.

제작된 극저주파 자기 세기를 측정하는 장치의

자기 측정 레벨 범위는 0.01~10.0 uT이며, 3 dB 주파수 대역은 40~180 Hz이다. 자기 세기의 측정 오차는 5%이며, 자기 측정기의 최대 이격거리는 1 km이다.

## 참 고 문 헌

- [1] ICNIRP, Guidelines, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields", 1997.
- [2] 산업자원부, "전기설비 기술기준", 고시 제2005-1호, 2005년.
- [3] 정보통신부, "전자파 인체 보호 기준", 고시 제2001-88호, 2001년.
- [4] 김윤명, 신철재, 홍의석, 이영철, 양승인, 옮김, 전자기학, 청문각, 1998년.
- [5] 구본철, 유재성, 김윤명, "고주파 자기 환경내(內)에서의 페라이트 코어의 자기 해석", 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, 국민대학교, pp. 549-552, 2007년 5월.
- [6] Bruce Carter, "An audio circuit collection, part 2", Analog Application Journal, Feb. 2001.
- [7] 단국대학교, "극 저주파 3축 자기 측정용 소형 프로브 개발", 산업자원부, 2004년.
- [8] 정보통신부, "신고하지 아니하고 개설할 수 있는 무선국용 무선기기", 고시 제2005-29호, 2005년.
- [9] 한국전자파학회 전자장과 생체관계 연구회, "www.emf.or.kr".
- [10] 김윤명, 김정호, "생체실험용 극저주파 자기장 발생장치의 설계", 한국전자파학회논문지, 14(8), pp. 871-877, 2003년 8월.

유 호 상



1991년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)  
1993년 1월~2002년 3월: 동원시스템즈 중앙연구소 책임연구원  
2002년 3월~2005년 9월: GT&T 기술연구소 수석연구원

2003년 3월~현재: 단국대학교 전자 및 컴퓨터공학과 박사과정  
[주 관심분야] 전자파환경, 마이크로파 회로설계, 무선통신시스템

서 근 미



2006년 8월: 단국대학교 전기전자컴퓨터공학부 (공학사)  
2006년 9월~현재: 단국대학교 전자 컴퓨터공학과 석사과정  
[주 관심분야] 전자파환경, EMI/EMC, 전자계의 인체 영향 측정

왕 중 욱



2005년 2월: 한국교육개발원 E-비즈니스학과 (경영학사)  
2006년 3월~현재: 단국대학교 전자 및 컴퓨터공학과 석사과정  
[주 관심분야] 전자파환경, 마이크로파 안테나, 무선통신시스템

김 윤 명



1975년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1977년 2월: 한국과학원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
1990년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
1977년 2월~1980년 2월: 금성정밀공업주식회사 (現 LIG 넥스원) 중앙연구소 연구원  
1980년 3월~현재: 단국대학교 전자 및 컴퓨터공학과 교수  
2000년 6월~현재: (주)EMF Safety 대표이사  
[주 관심분야] 전자파환경, EMI/EMC, 전자계의 인체 영향 측정