# 극저주파 디지털 자계 측정기의 설계 및 구현

임재유*, 황정환**, 김원호* 종신회원

# Design and Implementation of ELF Digital Magnetic Fields Meter

Jae-Yoo Im*, Jung-Hwan Hwang**, Won-Ho Kim* *Lifelong Member*

**요 약**

본 논문은 극저주파 자계 세기를 무선 모니터링하기 위한 디지털 자계측정기의 설계 및 구현에 대해 기술한다. 우리 실생활에 극저주파대역의 자기장이 노출되어 있어 인체에 자기장이 얼마나 영향을 미치는가에 대한 연구의 필요성이 있으며 그에 따른 측정장비의 수요가 증가하고 있다. 본 논문에서는 3-축 코일형 자계센서를 사용하였으며, 자계의 측정 범위는 0.03~10uT, 주파수 범위는 40~180Hz이다. 자계 세기의 측정과 주파수 특성을 보상하는 등화기능은 DSP 기반의 디지털 방식으로 설계하였으며, 측정 값은 와이파이 통신을 이용하여 PC 모니터링 할 수 있도록 설계 및 구현하였고 측정오차는 6% 이내로 실용성을 확인하였다.

**Key Words :** ELF(Extremely low frequency), Magnetic field exposure, Magnetic field meter, Magnetic field measurement, Magnetic Telemeter

**ABSTRACT**

In this paper, we present that design and implementation of digital extreme-low-frequency (ELF) magnetic meter including wireless monitoring feature. In our lifetime, it is necessary to study how much magnetic field effects to human body. In this paper, we use 3-axis coil-type magnetic sensor, magnetic measurement range is 0.03~10uT and frequency range is 40~180Hz. As magnetic sensor characteristic, frequency loss is occurred that compensated using digital equalize based on DSP processor. Measurement value can be monitored on PC through Wifi communication and measurement error is observed within 6%.

## I. 서 론

현대 산업의 발달로 전기의 수요는 지속적으로 증가하고 있음에 따라 도심으로 전기를 공급하기 위하여 고전압으로 송전함으로써 극저주파 대역의 자기장이 우리 실생활에 노출되어 있다.

2007년에 발표된 세계보건 기구(World Health Organization)에서도 전자파에 의한 인체 위해성 여부에 대하여 단정적이지 못하며[1] 우리나라에서도 전자파 인체권고 기준 설정을 위한 연구를 수행하고 있지만 자기장의 노출이 인체 유해성과 관련한 결과를 보여주지 못하고 있는 실정이다. 국내의 자계 기준은 WHO의 공식 승인 기구인 ICNIRP 기준을 따르고 있으며 표 1과 같다[2].

**표 1. 일반인과 직업인에 대한 전자파강도기준(25~800Hz)**

| | 일반인 | 직업인 |
|---|---|---|
| 25~800Hz | 5000/f uT | 25000/f uT |
| 60Hz | 83.33 uT | 416.67 uT |

하지만 유럽과 북미의 일반 가정에서 측정되는 상용주파수 자기장의 평균치는 전자파강도 기준에 훨씬 못 미치는 수준인 각각 0.07uT와 0.11uT 정도로 이러한 작은 크기의 전자파의 경우에도 잠재적 장기 노출에 의한 인체 영향이 있을 수 있기 때문에 무시할 수 없는 수준이다[3]. 이미 유럽 몇몇 국가에서는 TV나 냉장고 등 여러 기기에도 자기장 관련 규정을 마련해 놓고 있다. 우리나라의 경우에는 인구 밀집도가 높은 편이기 때문에 일반 가정에서 유럽과 북미 보다 다소 높은 0.22uT의 자기장에 노출되고 있고[4][5][6] 전철의 경우 2.14uT의 높은 수치를 기록하는 구간도 있으며 전자제품의

*공주대학교 전기전자제어공학부, 교신저자 : 김원호 (whkim@kongju.ac.kr)
**한국전자통신연구원 전파환경연구실
접수일자 : 2015년 8월 10일, 수정완료일자 : 2015년 9월 17일, 최종게재확정일자 : 2015년 9월 22일

경우에도 전자레인지, 헤어드라이기, 진공청소기, TV, 전기장판 등이 1uT 이상의 높은 수치의 자기장을 발생시키고 있다[7]. 하지만 현행 규정상에는 크게 못 미치는 상태이기 때문에 최근에는 국내에서도 체계적인 전자계 노출에 대한 연구를 시도하고 있으며[8][9] 이에 따른 전자기기들의 자기장 크기를 제한하거나 사용 지침이 필요하다.

자계가 우리 인체에 미치는 영향을 연구하고 그에 맞는 의료기기나 자기장을 발생시키는 여러 제품들에 대한 규정을 마련하기 위해서는 자기장을 효율적으로 측정하는 장치가 필요하다. 실생활에서 자기장의 세기를 측정하기 위한 기존의 극저주파 자계 측정기는 주로 아날로그 방식이면서 고비용이기 때문에 수요를 따라가지 못하고 있는 실정이다. 또한 저장 메모리가 제한되어 있기 때문에 데이터를 누적시켜 분석하기에는 적합하지 못하다. [10]의 경우에는 아날로그 회로로 필터 및 등화기를 구성하였기 때문에 회로가 복잡하다. 이러한 문제점들을 개선한 저가의 디지털 소형 자계 측정기의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 방식으로 우리 실생활에 노출되어 있는 자기장을 측정할 수 있으며 메모리의 한계를 개선하고자 WIFI통신을 하여 PC로 모니터링 할수 있는 기능을 구성함으로써 데이터의 누적 및 분석이 용이한 소형 자계 측정기를 설계 및 구현하였다.

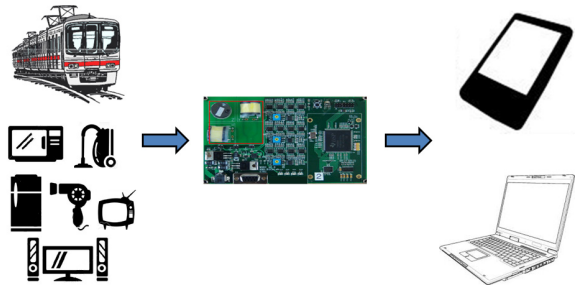

그림 1. 자계 측정기의 활용 개념도

# Ⅱ. 디지털 자계 측정기의 설계

## 1. 요구 규격

디지털 자계 측정기의 설계 요구 규격은 표 2와 같다.

표 2. 장치의 설계 요구 규격

| 항목 | 규격 |
|---|---|
| 주파수 범위 [Hz] | 40~180 |
| 자계 측정 범위 [uT] | 0.03~10 at 60Hz |
| 측정 방향 | X,Y,Z 3축 |
| 측정 주기 | 가변 설정 |
| 무선통신 방식 | WIFI |
| AD변환기 양자화 비트 | 12 bit |

## 2. 디지털 자계측정기의 하드웨어 기능 블록도

그림 2은 설계된 자계 측정기의 전체 기능 구성도이다. 자계 측정기의 하드웨어는 자계센서, 아날로그 필터, 증폭회로, 디지털신호처리기(DSP), 와이파이 송신 모뎀, GUI 모니터로 구성된다.

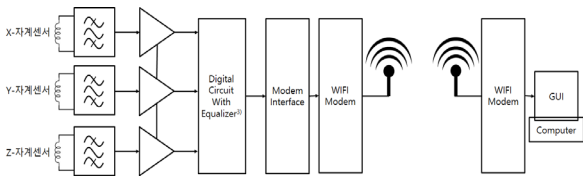


그림 2. 자계 측정기의 하드웨어 기능 구성도

X,Y,Z축 자계 센서를 이용하며 각각의 센서는 직교되어 있다. 그림 3은 주파수에 따른 자계센서의 유도기전력 출력 특성을 보여주고 있다.

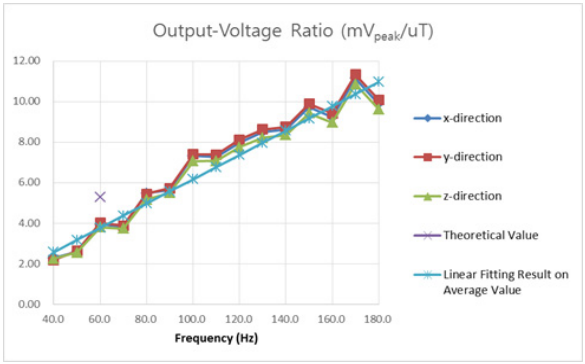


그림 3. 주파수별 자계센서의 유도기전력 특성

자기장에 의한 유도 기전력은 60Hz에서 4.1mV/uT의 비율로 선형적이며 주파수에 따라 다르게 나타나는 특성이 있다.

AD변환기에 센서의 신호를 입력하기에 앞서 잡음을 제거하기 위해 요구 규격에 맞는 주파수 범위, 40Hz~180Hz 범위에 걸쳐 0dB에 가깝게 나타나는 8차 Butterworth 능동 필터를 설계하였다. 필터의 회로도는 그림 4와 같으며 그 필터의 특성은 그림 5를 통해 알 수 있다.

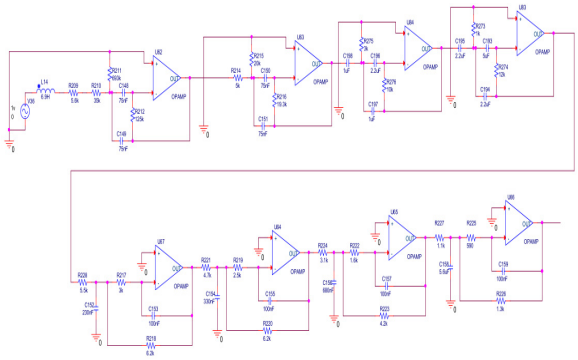

그림 4. 자계 센서의 대역 통과 필터 회로도

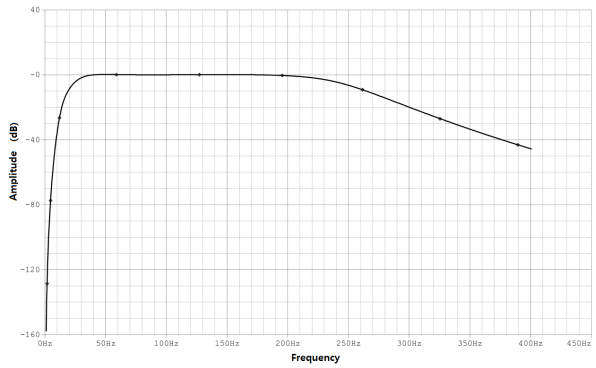


그림 5. 자계 센서의 대역 통과 필터 주파수 응답

필터를 통과한 40~180Hz 대역에서의 목표 측정치 값들은 2.1uV~11.1mV의 아주 작은 신호이기 때문에 50dB의 증폭(약 316배)을 통하여 0.67mV~3.50V의 범위를 가지고 적당한 스케일링을 통해 AD변환기로 입력된다. AD변환기는 12비트의 양자화 비트와 0~3V의 입력 범위를 가지고 있어서 약 0.7mV의 분해 능력을 가진다. 따라서 허용 오차 범위 안에서 0.01uT의 단위로 측정이 가능하다. ADC의 샘플링 주파수는 2048Hz로 총 2048개의 샘플을 얻는다.

## 3. DSP 알고리즘의 설계

자계 측정기의 DSP 알고리즘 동작 흐름도는 그림 6와 같다.

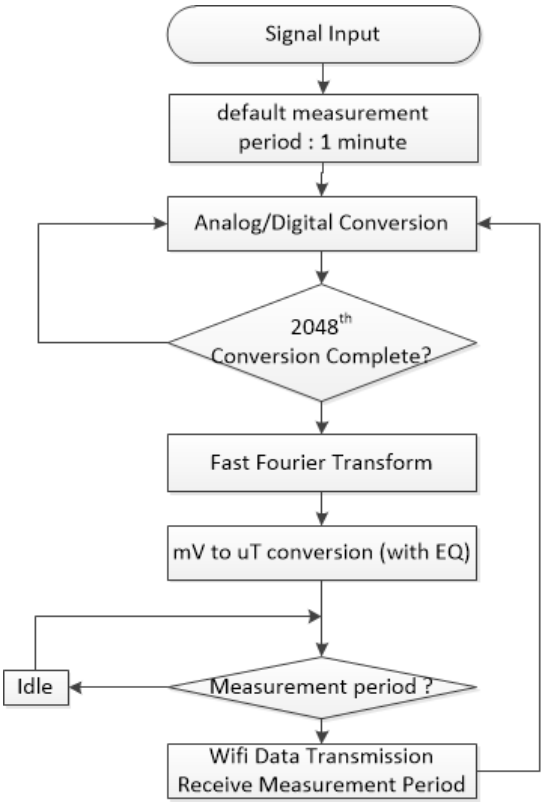


그림 6. 자계 측정 보드의 알고리즘 블록도

40~180Hz 범위의 증폭된 센서 신호를 2048Hz의 샘플링 주파수로 2048개 샘플수를 획득하였고 FFT (Fast Fourier Transform)을 이용하여 주파수 응답을 알아낸 후 피크치의 값을 갖는 주파수를 획득, 그 크기정보를 얻어내고 mV/uT 환산과 등화기능을 수행한다. 최종적으로 자계 세기의 값을 얻어내고 Wifi로 데이터를 전송하는 기능을 수행하여 이를 반복한다. 데이터를 전송하는 기능과 별개로 프로세서를 원격 컨트롤 하기위한 수신 알고리즘은 그림 7과 같다.

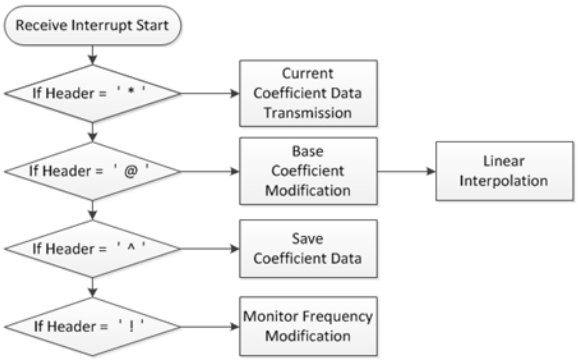


그림 7. 자계 측정 보드의 알고리즘 블록도

수신 받는 데이터의 헤더에 따라 기능이 결정되며 그 기능은 다음과 같다.

a. 현재 계수 데이터 전송 - 원격 시스템에서 계수 정보를 요청받아 전송한다.
b. 계수 데이터 수정 및 선형적 보간 - 원격 시스템에서 계수 정보 수정을 통해 미세 조정을 수행하고 10Hz 단위의 Base Frequency를 기반으로 선형 보간을 수행한다.
c. 계수 데이터 저장 - 원격 시스템에서 계수정보 저장을 명령하여 현재 수정된 데이터들을 측정기 내부에 저장하는 기능을 수행한다.
d. 관심 주파수 설정 - 여러 주파수의 자기장이 존재할 수 있기 때문에 특정주파수만을 모니터링 할 수 있는 기능이 있으며 그 주파수를 설정한다.

## 4. 무선 모니터 설계

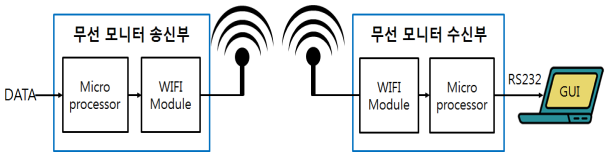


그림 8. 무선 모니터의 기능 블록도

그림 8과 같이 자계측정기에서 전송하는 데이터를 가공하여 일반 사용자 가 요구하는 데이터를 출력하는 기능을 PC 환경의 프로그램을 이용하여 구성하였으며 그 주요 기능은 다음과 같다.

a. 3채널 자계세기 및 피크신호의 주파수 디스플레이
b. Equalizer 기능을 위한 계수 설정 기능
c. 측정의 시작 및 종료설정, 측정주기 설정
d. 데이터 MAX 홀딩 기능
e. 목적하는 특정 주파수의 크기를 모니터링 할 수 있는 기능

3채널 자계세기 및 피크신호의 주파수는 자계센서 보드에서 출력하는 데이터를 측정 주기에 따라 평균값을 출력하게 되고 자계센서의 주파수 별 유도기전력 특성에 따라 계수 설정을 통한 미세 조절이 가능하며 데이터의 MAX 홀딩 기능을 이용함에 따라 시간에 따라 변화하는 자계세기의 최대 크기를 측정할 수 있는 기능을 사용자에게 제공하고 있다. 또한 목적하는 특정 주파수의 크기를 모니터링 함으로써 서로 다른 대역의 자기장의 크기를 측정할 수 있는 기능도 포함한다.

## Ⅲ. 구현 및 시험

제작된 디지털 자계 측정기의 메인보드 사진은 그림 9와 같다. 그림 10과 같이 PCB의 크기는 150mm × 100mm이고, 왼쪽 상단은 코일형 자계센서, 왼쪽 하단은 전원부, 중간부분은 아날로그 회로, 우측부는 DSP회로, 뒷면에 와이파이 모듈이 배치되어 있다.

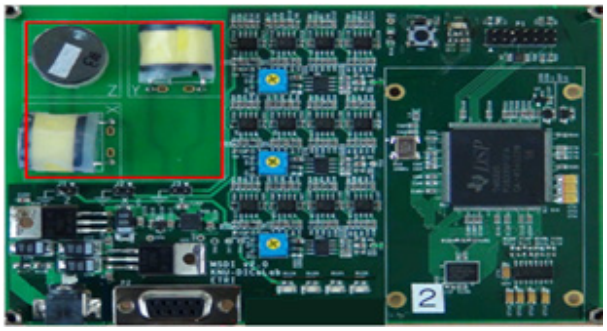

그림 9. 제작된 디지털 자계 측정기의 보드 사진

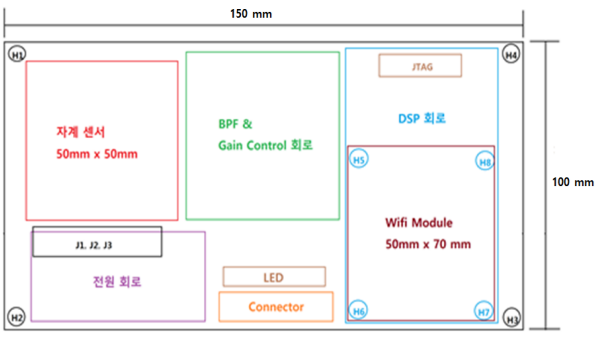


그림 10. 디지털 자계 측정기의 PCB 부품 배치도

디지털 자계 측정기 보드 기능과 성능이 설계 요구 규격을 만족하는지 검증하기 위해 3-축 자계 센서의 출력 신호를 신호 발생기 신호로 대치한 시험 결과는 표 3과 같다.

표 3. 디지털 자계측정기의 시험 결과 (주파수 : 60 Hz)

| 입력 신호 | 측정 자계세기 | 오차 |
|---|---|---|
| 24 mVpp (0.031 uT) | 0.0296 | 0.0014 |
| 44 mVpp (0.058 uT) | 0.0570 | 0.0010 |
| 60 mVpp (0.079 uT) | 0.0838 | 0.0048 |
| 380 mVpp (5.382 uT) | 5.3809 | 0.0011 |
| 712 mVpp (10.08 uT) | 9.9581 | 0.1219 |

입력신호는 자계 센서의 유도 기전력의 크기에 따라 그 전압을 대치하여 입력하였으며 측정 자계세기는 실체로 프로세서 내부에서 측정된 크기이다. X,Y,Z축의 입력 신호에 따른 해당 자계 세기가 오차 범위 6% 이내로 측정됨을 확인하였다. 측정된 자계 세기 값은 와이파이 통신을 통하여 컴퓨터 GUI로 송신되어 모니터링이 가능하였으며, 측정 주기는 GUI를 통하여 1초 단위로 가변 설정 가능하다.

자계센서 GUI의 화면은 그림 11,그림 12과 같다.

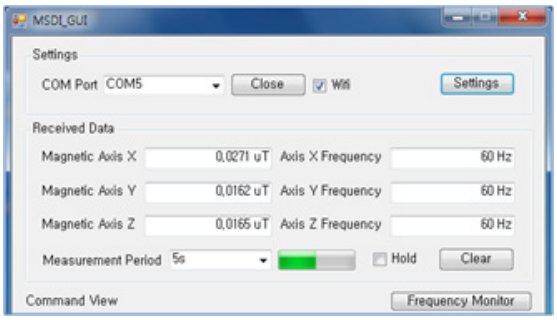


그림 11. 자계 측정 모니터의 GUI

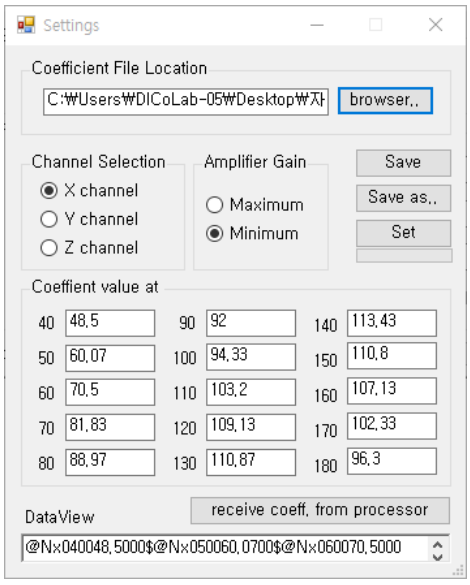


그림 12. 자계 측정 모니터의 계수 설정화면

## Ⅴ. 결론

본 논문에서 자계 센서의 출력을 디지털 신호 처리 기법으로 무선 모니터링이 가능한 ELF 디지털 자계 측정기를 설계 및 제작하였다. 40~180Hz의 주파수 범위에서 0.01uT단위로 0.03~10uT범위의 정밀 자계 측정이 가능하였다. 향후, 요구 기능과 성능을 만족시키면서 저전력, 저잡음, 소형화된 하드웨어 개발과 최적화된 정밀 측정 알고리즘 개발을 진행중이다.

## 참 고 문 헌


[1] WHO, “Extremely low frequency fields. Environmental Health Criteria (Geneva)”, 2007.

[2] 미래창조과학부 고시, “전자파인체보호기준”, 제 2013-118호, 29 Aug. 2013.

[3] 식품의약품안전청, 의료기기 본부, “전자파 노출 및 인체보호에 관한 가이드라인”, 2007.

[4] 김윤선, 김수연, 박지연, 최원욱, ″극저주파 영역에서의 전자파 노출에 관한 조사 연구″, 한국환경위생학회지, vol. 23, no. 1, pp. 55-61, 1997.

[5] 양광호, 주문노, 명성호, “한국인의 직업별 24시간 ELF 노출자계 현황”, 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, 14-16 July, 2010.

[6] 정준식, 김근영, 홍승철, 조용성, 김윤신, “개인 노출량 조사를 통한 한국인의 극저주파 자기장 노출 수준”, 한국환경보건학회지, vol. 38, no. 1, pp. 18-30, 2012.

[7] 장성기 외 7명, “국내 자기장 수준 실태조사”, 대기연구부 실내환경연구사업단, 2004.

[8] 이성수, 신현식, “변전소 주변 자계 실태조사 및 자계 특성의 이해증진 방안″, vol. 20, no. 6, June. 2009.

[9] 민석원, 송기현, “60Hz ELF 자계에 의한 인체내부 유도 전류밀도 해석”, Trans. KIEE. vol. 55, no. 2, Fub. 2006.

[10] 유호상, 왕종욱, 서근미, 김윤명, “극저주파 세기를 원격 측정하는 장치”, 한국전자파학회 논문지, vol. 18, no. 5, pp.553-562, 2007.


## 저자


**임 재 유**(Jae-Yoo Im)

・2014년 2월 : 공주대학교 전기전자제어공학부 학사졸업

・2014년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학과 석사과정

<관심분야> : 영상신호처리, 마이크로 프로세서 응용

**김 원 호**(Won-Ho Kim) **종신회원**

・1987년 2월 : 경북대 전자공학 석사

・1999년 2월 : 충남대 전자공학 박사

・1989년 2월 ~ 1999년 8월 : 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원

・1999년 8월 ~ 현재 : 공주대학교 전기전자제어공학부 교수

<관심분야> : 영상 및 통신 신호처리, 위성멀티미디어통신, 지능형 영상감시 및 비젼센서