

논문 96-5-2-05

멀티턴 루우프형 센서를 이용한 3차원 ELF 자장측정계

이복희, 이정기, 길경석, 안창환, 박동화*

The three dimensional measuring system for ELF magnetic fields with the multiturn loop-type sensors

Bok-Hee Lee, Jeong-Gee Lee, Gyung-Suk Kil, Chang-Hwan Ahn, Dong-Hwa Park*

요약

본 논문에서는 전기기기 및 전력설비의 운전·조작중에 발생하는 극저주파 영역(ELF)의 자장을 측정 및 분석할 수 있는 장치로써 멀티턴 루우프형 센서를 이용한 3차원 자장측정계에 대해 기술한다. 저주파특성의 개선과 왜곡없는 공간자장성분의 측정 등 우수한 성능을 얻기 위해서, 자장측정계를 멀티턴 루우프형 센서와 증폭기, 능동성 적분기로 구성하여 3차원적으로 설계·제작하였다.

교정실험을 통하여 측정계의 고유응답특성을 산출한 결과, 주파수대역은 x, y, z 축 각각 8[Hz]에서 53[kHz] 정도이고, 응답감도는 9.54, 9.21, 10.89[mV/ μ T]이다. 진동성 임펄스전류발생기를 이용한 적용실험으로써 측정계의 신뢰성을 확인하였고, 소형 전동기의 기동시에 발생하는 자장과 측정거리에 따른 정상운전중의 자장특성을 측정·분석한 결과 자장의 세기는 각각 최대 15.8, 8.61[μ T]이며, 거리가 증가할수록 급격한 감소를 보였다.

Abstract

With the three dimensional magnetic field measuring system dealt with in this paper, accurate measurements and analyses of extremely low frequency(ELF) magnetic fields caused by starting and/or operating electric devices and power installations can be conducted.

To obtain high performance for lower frequency and spatial components without any distortion, the measuring system is designed as three dimensionally including the multiturn loop-type magnetic field sensors, differential amplifiers and active integrators.

As the results of calibration experiments, the frequency response characteristics of the measuring system range from 8[Hz] to about 53[kHz] for each direction of x, y, z axes, and the response sensitivities are 9.54, 9.21, 10.89[mV/ μ T], respectively.

The actual survey experiments by using an oscillating impulse current generator confirm a reliability of the proposed measuring system. Also, through the other experiments by using small-sized induction motors, the magnetic field intensities when starting and steady-state operating mark 15.8, 8.61[μ T] as maximum value, respectively. And those intensities decrease steeply according as the measuring distance increases.

인하대학교 공과대학 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, College of
Engineering, Inha University)

* 시립인천대학교 공과대학 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, College of
Engineering, The University of Incheon)
<접수일자 : 1996년 2월 7일>

1. 서론

최근 정보화 시대가 진행되고 산업사회가 발전함에 따라서 정보·통신기기 등 전자기기의 이용증대와 함께 일반 가전기기의 생활적용폭이 더욱 넓어지는 추세

이며, 양질의 전력에 대한 안정적 공급의 필요성이 한층 높아져 가고 있다. 또한, 전기기기의 신뢰도 및 안전성 확보에 관한 연구로써 전자장환경의 평가가 중요시되고 있으며, 특히 고주파 영역뿐만 아니라, 최근에는 극저주파 영역(Extremely Low Frequency(ELF) : 3[Hz] ~ 3[kHz])에서의 문제도 심각히 대두되었다. 특히, 극저주파 영역의 자장은 인체를 통과하며, 에너지 전달에 의한 위해의 가능성을 내포하고 있다.^{[1]-[3]}

그러므로, 전기설비로부터 발생되는 상용주파수를 포함한 극저주파 영역의 자장에 대한 평가와 그에 대한 적절한 대책을 세우기 위해서는 무엇보다도 우선 발생원으로부터 유도 또는 방사되는 자장의 정확한 계측이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 사무용 기기, 컴퓨터, 가정용 전자기기 및 전기설비의 운전·조작중에 발생하는 시변성 공간자장의 특성을 파악하기 위하여 자장을 직접 계측할 수 있는 측정계로써 저주파 특성과 응답감도가 우수한 멀티턴 루우프형 센서를 x, y, z축에 대해 3차원적으로 설계 및 제작하였다. 교정실험을 통하여 주파수대역과 응답감도 등 측정계의 고유 응답특성을 산출하였으며, 적용실험으로 진동성 임펄스 전류발생장치에서 발생하는 자장의 파형으로 측정계의 신뢰성을 확인하였고, 소형 유도전동기의 기동시와 운전중에 발생하는 자장을 측정하고 분석하므로써 본 연구에서 구성한 자장측정계의 성능을 평가하고, 응용성에 대하여 검토하였다.^[4]

2. 측정원리

루우프형 자장센서의 원리는 식 (1)의 맥스웰 전자방정식을 기초로 한다.

$$\int_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_A \frac{\partial \vec{B}(t)}{\partial t} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

여기서 E 는 전장의 세기 [V/m], $B(t)$ 는 자속밀도 [T], dl 은 루우프의 선소, dA 는 루우프의 면적소이며, 루우프형 센서의 동작원리와 전기적 등가회로를 그림 1에 나타내었고, 이 때 R_s , L_s 은 루우프형 센서자체의 저항과 인덕턴스이고, R 은 증폭·적분회로의 입력임피던스이다.

식 (1)의 좌변은 센서의 감지면적 A [m²]를 포함하는 곡선을 따라 선적분을 취한 것이고, $B(t)$ 가 A 영역에서 균일한 자장분포를 가진다면, 전체 E 의 폐회로 l 에

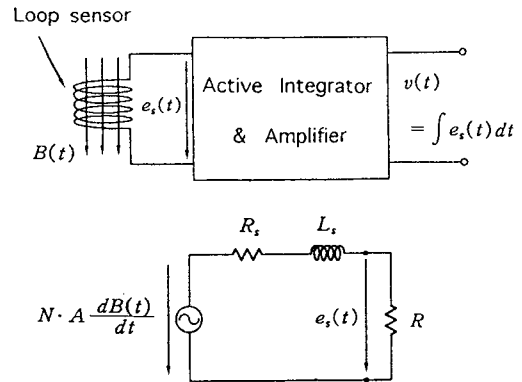


그림 1. 루우프형 자장센서의 동작원리와 전기적 등가회로

Fig. 1. Operational principle and electrical equivalent circuit of a loop-type magnetic field sensor

대한 선적분의 값은 루우프에서 발생하는 유도기전력이 되고, 이 때 센서도체에 흐르는 전류 I 는 미지의 자장중에서 루우프를 관통하는 전체 자속쇄교수 $\Phi(t) = B(t)A$ [Wb]의 시간적 변화율에 의하여 흐르게 된다. 멀티턴 루우프형 센서의 경우, 유도기전력이 매턴마다 발생되므로, 루우프의 턴수를 N 이라 하면 입사 자장에 의해 유도되는 루우프의 기전력 $e_s(t)$ 는^{[5],[6]}

$$e_s(t) = \frac{R}{R_s + R + sL_s} \cdot N \cdot A \cdot \frac{dB(t)}{dt} \quad (2)$$

가 되고, 루우프형 센서와 인가자장사이의 전달함수는 식 (2)로부터 유도하여 라플라스변환을 하면 D 를 루우프형 센서의 직경이라고 할 때, 다음의 식과 같이 표현된다.^[7]

$$T(s) = \frac{I}{B} = \left(\frac{\pi ND^2}{4L_s} \right) \frac{s}{s + R_s/L_s} \quad (3)$$

식 (3)으로부터, 시정수 $\tau = L_s/R_s (= 0.4[\text{ms}])$ 로서 센서의 응답특성이 주어지며, 출력신호는 시정수로 감쇠되기 때문에 실제 저주파의 입력자장을 검출하기 위해서는 적분기가 필요하다. 즉, 센서자체의 전기적 특성은 식 (3)에서 $R_s/2\pi L_s$ 의 저역측 차단주파수를 가지는 고역필터의 전달함수로 되므로 상용주파수를 포함한 ELF의 자장측정은 불가능하다. 그러므로, 적분기를 적용하여 시정수를 길게 하므로써 상용주파수를 포함

하는 저주파 영역의 자장을 신호의 감쇠 및 왜곡없이 실신호로 출력할 수 있도록 신호처리회로를 구성할 필요가 있다. 또한, 센서직경과 턴수를 작게 하면 자체 인덕턴스가 작아지므로 고주파특성이 우수해지지만, 감지전압이 저하되어 미약한 자장의 정확한 측정이 곤란하고 잡음원에 의한 오차를 많이 함유하게 되므로, 측정대상에 적합하도록 루우프형 센서의 직경과 턴수를 설계해야 한다.

3. 측정계의 구성

본 연구에서 구성하고자 하는 자장측정계는 2절에서 기술한 바와 같이 상용주파수 정도의 자장을 아무런 감쇠없이 측정하기 위하여 비교적 큰 감쇠시정수를 필요로 하므로, 에나멜 동선을 이용한 멀티턴 루우프형 센서와 증폭기, 능동성 적분기로 구성하였으며, 이의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 루우프형 센서는 3차원 결함이 가능하도록 x, y, z 축 각각 직경 28.5, 27, 29[cm]의 알루미늄 테이프로 차폐한 PVC 튜브에 에나멜동선을 삽입하여 서로 동심축으로 수직교차시켰고, 또한 전장에 의하여 차폐선에 유기된 기전력이 서로 상쇄되도록 차폐선의 중앙부분을 절단하였다.

이 때, 측정대상의 물리적인 변화량을 감지하는 센서로서 요구되는 주파수-출력특성의 선형성이 필수적인 고려요소이므로, 이의 검토를 위해서 루우프형 센서에 2.51[μ T]의 일정한 자장을 입력시킨 경우 루우프형 센서자체의 권수에 따른 주파수 응답특성을 측정하여 그림 3에 나타내었다. 권수가 30회인 경우 센서의 응답감도는 양호하지만 10[kHz] 이상의 주파수 영역에서는 포화되는 특성을 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 센서응답의 선형성과 감도를 고려하여 루우프형 센서의 권수를 16회로 결정하여 제작하였다.

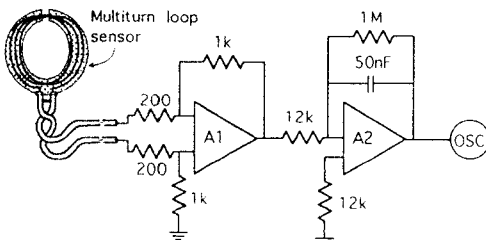


그림 2. 자장측정계의 개략도

Fig. 2. Schematic diagram of the magnetic field measuring system

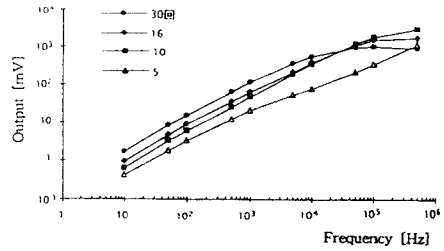


그림 3. 권수에 따른 루우프형 자장센서의 응답특성
Fig. 3. Response characteristics of the loop-type magnetic field sensor according to number of turns

센서에서 증폭기까지의 전송부는 특성임피던스가 50[Ω]인 동축케이블(RG-58A/U)을 사용하여 임피던스 정합을 이루고, 전송선을 서로 꼬아 전송선 사이에 루우프가 형성되어 잡음전압이 유도되는 것을 방지하였으며, 동축케이블을 알루미늄 테이프로 2중 차폐하여 측정계에 대한 외부입사전장의 영향을 최소화하였다. 이 때 센서자체의 인덕턴스는 0.203[mH], 센서의 저항은 0.436[Ω]이고, 측정대상에 따라 또는 운반의 편리를 위하여 높낮이를 조절할 수 있도록 센서의 지지부를 제작하였다. 그림 4는 멀티턴 루우프형 센서를 이용한 3차원 자장측정계의 실물사진이다.



그림 4. 자장측정계의 사진

Fig. 4. Photograph of the magnetic field measuring system

루우프형 센서에 감지된 신호는 자속의 변화에 대한 시도함수로 나타나며, ELF 자장의 검출신호는 미약하기 때문에 센서에 의하여 감지된 신호를 1차 증폭시킨 후 다시 적분과 동시에 증폭시키는 능동성 적분회로를 적용하여 저역특성을 개선시켰다. 신호원의 기준전위가 대지전위와 다른 경우, 대지전위차나 외부노이즈 등에 의해 동상잡음전압이 커지므로 이를 상쇄시키기 위해 차동증폭방식을 채택했으며, 증폭 및 적분용으로 사용한 연산증폭기는 저역특성이 우수하고 소비전력이 150[mW]로 비교적 적은 LF356을 사용하였다.

4. 실험장치 및 방법

4.1 교정실험계 및 방법

제작된 멀티턴 루우프형 센서를 이용한 자장측정계의 고유응답특성 즉, 센서를 포함한 측정계의 응답감도와 주파수대역 등의 기본성능을 파악하기 위해서는 교정실험의 수행이 필요하다. 자장센서의 교정은 일반적으로 일정한 크기와 방향의 균등자장을 센서에 인가하여 행해진다.^{[8],[9]}

균등자장을 발생시키는데 기하학적으로 구조가 간단한 사각도체를 사용하였다. 따라서 사각도체 (1.5 [m] × 1.5 [m])에 변류기를 관통시켜 입력전류를 측정하고 자장센서의 감지전압 즉, 출력전압을 측정하는 방법으로 센서의 응답특성을 파악할 수 있는 교정실험계를 구성하였으며, 이를 그림 5에 나타내었다.

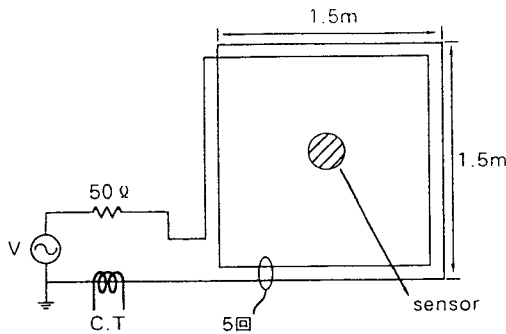


그림 5. 자장측정계의 교정회로
Fig. 5. Schematic diagram of calibration circuit for the magnetic field measuring system

사각도체에 전류를 흘렸을 때 도체에 의한 면적내에 형성되는 자장의 세기는 균일하지 않으므로, 센서가 놓

인 위치에서의 자장의 세기와 균일도를 평가함이 필요하다. 그림 6과 같이, 교정용 사각도체의 중심에 위치한 루우프형 센서 크기내에서의 자장의 균일도는 센서의 중심을 기준으로 최대편차 2.6[%]이내로서 교정실험의 수행에 타당하다.^{[8],[9]} 또한, 응답감도의 산출시에 입력자장의 세기는 평균치를 취하므로써 오차범위를 0.5[%]이내로 하였다.

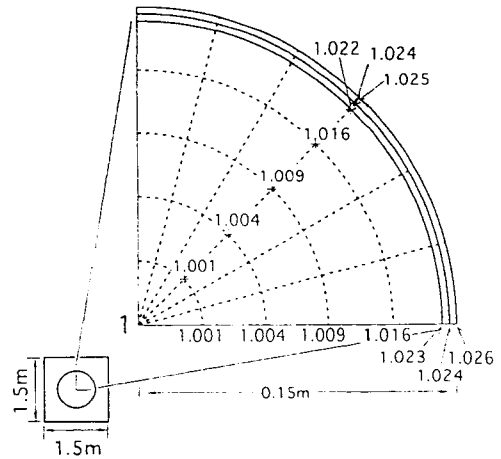


그림 6. 사각도체의 중심으로부터 위치에 따른 자장의 세기(H) 변화
Fig. 6. Percentage variation of H from the center for positions in the square conductor

4.2 적용실험방법

4.2.1 진동성 임펄스전류에 의한 자장의 측정

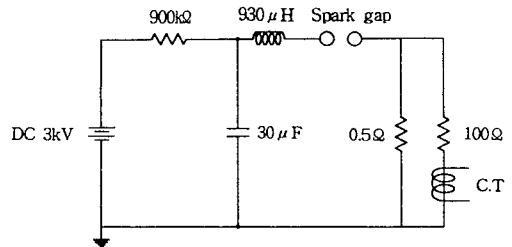


그림 7. 진동성 임펄스전류발생장치의 회로
Fig. 7. Circuit of oscillating impulse current generator

제작된 자장측정계의 성능평가를 위한 적용실험으로써, 진동성 임펄스전류발생장치를 이용하여 진동성 임펄스전류가 흐를 때 발생하는 자장의 파형을 본 연구

에서 제작한 자장측정계로 측정된 결과와 분류기와의 조합에 의한 변류기(Tek. A6302)로 측정된 전류의 파형을 비교·분석하였다. 본 연구에 사용된 진동성 임펄스전류발생기의 회로구성과 소자값을 그림 7에 나타내었다.

4.2.2 전동기에서 발생하는 자장의 측정

생활수준의 향상으로 전기에너지의 사용이 증가함에 따라서 이에 수반하여 상용주파수를 포함하는 저주파 영역의 자장을 분석할 필요가 있으므로, 일반 전기기기를 대상으로 적용실험을 수행하였다. 전동기의 가동시에 발생하는 자장을 측정하기 위해 소형 핸드드릴(단상, 220[V], 2.5[A], 110[W], 2500[rpm])을 이용하여 센서의 중심으로부터 15[cm] 거리에서 측정하였다. 또한, 소형 드릴링머신의 저압농형유도전동기(단상, 4극, 100[V], 200[W])의 무부하 정상운전중에 발생하는 자장을 대상으로 하여 측정거리에 따라 변화하는 특성을 얻기 위해서 기기를 그림 8과 같이 배치시키고 실험을 수행하였다. 3차원 루우프형 센서의 측방향을 그림과 같이 하여, 거리 d 에 대한 자장의 세기의 변화를 측정하였다.

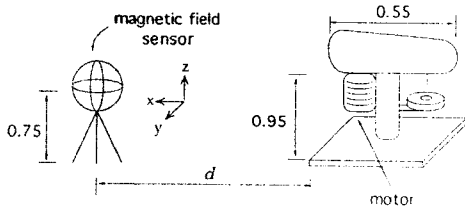


그림 8. 측정기기의 배치도
Fig. 8. Configuration of experimental setup

5. 실험결과 및 고찰

5.1 교정실험결과

본 연구에서 구성한 교정실험계의 타당성을 검토한 앞절의 그림 6은 사각도체 중심의 자장의 세기를 1로 하였을 때 위치이동에 따른 자장의 세기변화의 비를 나타낸 것이며, 이것으로부터 센서에 입력되는 평균자속밀도를 산출할 수 있다. 루우프형 센서를 자장의 세기가 균일한 사각도체의 중앙에 위치시키고, 이 때의 자장의 세기를 평균하여 산출한 본 측정계의 단위자속밀도에 대한 응답전압 즉, 응답감도는 x, y, z 축의 센

서 각각 9.54, 9.21, 10.89[mV/ μ T]로 거의 일정하였는데, 이들 값이 약간의 차이를 보이는 이유는 기하학적 구성상 센서의 직경에 따라서 교정용 사각도체의 입력 전류를 일정히 했을 때 평균입력자속밀도와 센서출력 전압이 달라지기 때문이다.

입력신호의 주파수가 증가할수록 루우프형 센서자체의 출력은 증가하지만 적분기의 출력은 적분주기가 짧아지므로 감소하게 된다. 그러므로, 주파수에 대한 두 출력의 변화가 직선성을 가지는 범위에서 측정계의 주파수대역이 결정된다. 교정용 사각도체에 직각과 전류를 인가했을 때 출력되는 자장측정계의 단위계단 응답 특성, 즉 출력파형의 상승시간과 감쇠시간으로부터 주파수대역을 산출할 수 있으나^[10], 다권선 사각도체의 인덕턴스로 인해 상승시간이 빠른 직각과 전류의 입력이 불가능하다. 따라서, 정현파 입력에 대한 루우프형 센서 및 적분기의 출력변화와 측정계의 출력전압을 규격화시켜 산출한 자장측정계 전체의 주파수대역과의 관계를 그림 9에 비교하여 나타내었다. 주파수대역은 최대응답의 $1/\sqrt{2}$ 배의 값(-3 [dB])을 갖는 저역측 차단주파수가 8 [Hz]정도이고, 고역측 차단주파수는 x, y, z 각 센서자체의 인덕턴스 증감 등에 따라 약간의 차이를 보이지만 53 [kHz]정도이다. 루우프형 센서자체와 적분기 각각의 출력으로부터 이론적으로 산출한 고역측 차단주파수보다 자장측정계 전체의 측정값이 약간 낮게 나타났는데, 이것은 고주파 영역에서의 공진에 의한 오우버슈트된 값을 측정계의 주파수대역에서 제외했기 때문이다.

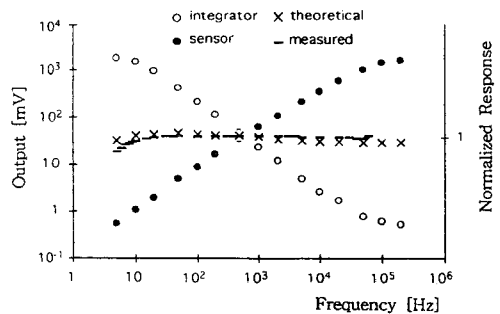
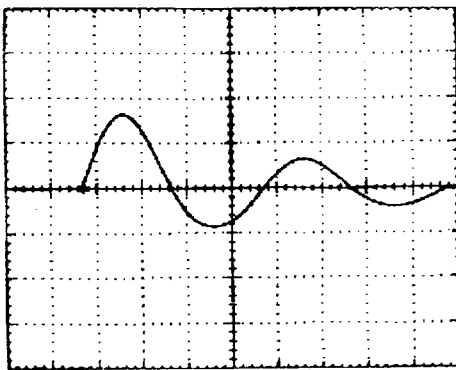


그림 9. 정현파 입력에 대한 루우프형 자장센서와 적분기의 응답특성 및 주파수대역과의 관계
Fig. 9. Response characteristics of the loop-type magnetic field sensor and the integrator to sinusoidal input and the correlation with frequency bandwidth

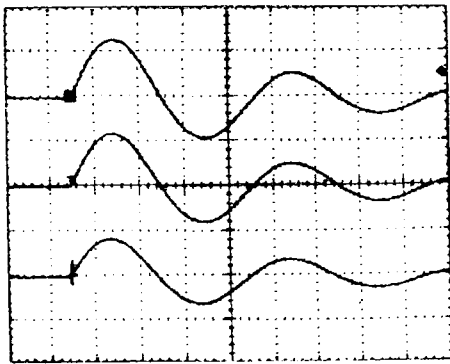
5.2 적용실험결과

5.2.1 진동성 임펄스전류에 의한 자장의 측정

멀티턴 루우프형 센서를 진동성 임펄스전류발생장치에서 15[cm], 50[cm], 1[m], 2[m], 3[m] 떨어진 위치에 각각 설치하고 측정하였는데, 주파수 949[Hz]인 진동성 임펄스전류파형을 가지는 전류가 흐를 때 발생하는 자장의 파형을 본 연구에서 제작한 자장측정계와 변류기



80[A/div], 250[μ s/div]
(a) 진동성 임펄스전류파형



上(x) : 10.5[μ T/div],
中(y) : 54.5[μ T/div],
下(z) : 9.2[μ T/div], 250[μ s/div]
(b) 자장파형

그림 10. 진동성 임펄스전류와 자장측정계로 검출된 파형의 비교

Fig. 10. Comparison between waveforms of the oscillating impulse current and the magnetic field detected by the proposed measuring system

(Tek. A6302)로 측정하여 비교·분석한 결과, 두 파형의 감쇠시정수와 진동주파수가 거의 동일하였으며, 측정거리 15[cm]일 때의 전류파형과 x, y, z 각 축의 자장의 출력파형을 그림 10에 나타내었다. 그러므로, 본 자장측정계는 측정계의 주파수대역내에서 신뢰할 수 있는 성능을 갖고 있고 재현성이 우수함을 확인하였으며, 이로부터 실제 전기기기 등에 적용실험을 수행하여 측정대상의 자장성분 및 특성 등의 분석결과를 얻을 수 있었다.

5.2.2 전동기에서 발생하는 자장의 측정

(1)전동기의 기동시에 발생하는 자장의 측정

그림 11은 소형 핸드드릴(단상, 220[V], 2.5[A], 110[W], 2500[rpm])의 기동시에 발생되는 자장파형을 x축 센서로 측정된 것으로써 전원주파수 60[Hz]의 자장변화가 관측되었는데, 기동초기에는 전동기의 돌입전류로 인한 과도자장과 그 후 약 250[ms]의 과도기간을 거치면서 감소된 전류에 의한 정상성분의 자장만이 나타났다. 따라서 본 자장측정계는 시변성 과도자장의 파형도 정확하게 검출할 수 있는 성능을 가지고 있다.

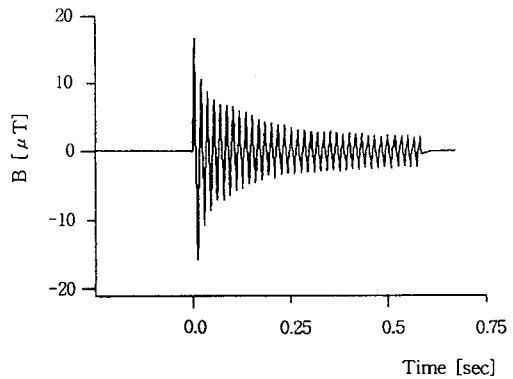


그림 11. 소형 핸드드릴의 기동시에 발생하는 자장의 파형

Fig. 11. Waveform of magnetic field caused by starting a small-sized electric hand drill

(2)전동기의 운전중에 발생하는 자장의 측정

전동기의 운전중에 발생하는 자장은 정상상태의 60[Hz]성분만이 나타났으며, 측정거리에 따른 자장의 세기의 변화를 고찰할 필요가 있다. 자장의 세기의 거

리의존성을 그림 12에 나타내었는데, 자장발생원으로부터 방사되는 자속의 방향과 루우프형 센서의 쇠교각도에 따라서 각 축의 출력은 현저히 달라지며, 또한 자장의 세기는 발생원과의 거리가 멀어질수록 급격히 감소하였는데, 측정거리 d 와 발생자장의 파장 λ 와의 관계는 $d \ll \lambda/2\pi$ 이므로 전동기로부터의 유도자장의 세기는 거의 d^2 에 역비례하여 감소하는 것으로 판단된다.

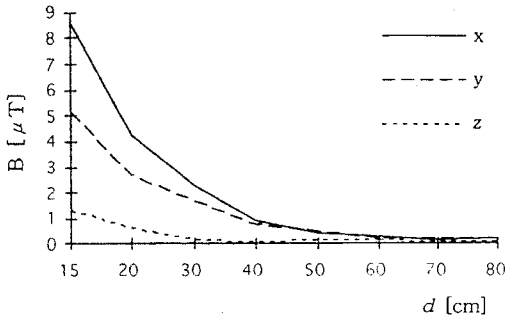


그림 12. 소형 유도전동기의 운전중에 발생하는 자장의 세기의 거리의존성

Fig. 12. Dependence of the magnetic field intensity caused by operating a small-sized induction motor on distance

6. 결 론

본 연구에서는 전력설비와 전기기기의 운전·조작중에 발생하는 상용주파수를 포함한 저주파 영역의 자장 성분을 측정·평가할 수 있는 멀티턴 루우프형 센서를 이용한 3차원 자장측정계를 구성하고, 교정 및 적용실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 멀티턴 루우프형 센서의 동작 및 측정원리를 해석하였고, 제작된 자장측정계의 주파수대역은 x, y, z 축 각각 8[Hz]에서 53[kHz]정도이며, 응답감도는 각각 9.54, 9.21, 10.89[mV/μT]로서 상용주파수 이하의 미소한 자장의 변화도 측정할 수 있었다.

(2) 적용실험을 통하여 본 자장측정계의 신뢰성을 확인하였고, 소형전동기의 기동시에 발생하는 자장과 측정거리에 따른 정상운전중의 자장특성을 측정·분석한 결과 각각 최대 15.8[μT]와 8.61[μT]이며, 자장의 세기는 거리가 증가할수록 급격한 감소를 보였다.

(3) 응답의 선형성이 우수한 멀티턴 루우프형 센서를 이용하여 3차원 자장측정계를 실현하므로써, ELF 공간

자장의 변화를 왜곡 및 감쇠없이 측정하고 종합적으로 분석할 수 있으며, 정확도가 우수한 자장측정계를 전자장환경의 영향평가연구에 적용될 수 있도록 개발하였다.

※ 본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관(과제관리번호 : 94-중-06)으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] E. Zemman, S. Frei, et al., "Investigations of Exposition to Low Frequency Magnetic Fields", 9th ISH, 8347-1~4, 1995
- [2] R. P. Corcoran, "Extremely Low Frequency Exposure Limits Relative to Military Electrical/Electronic System Environments", IEEE Int. EMC Symposium, pp. 62~67, 1992
- [3] William F. Horton, Saul Goldberg, "Power Frequency Magnetic Fields and Public Health", CRC Press, pp. 5~23, 1995
- [4] 이복희, 이정기, 길경석, 안창환, "멀티턴 루우프 센서를 이용한 3차원 ELF 자장측정계", 한국센서학회, 추계센서기술학술대회 논문집, pp. 109~114, 1995
- [5] W. Kohler, "Measurement and Calculation of Low Frequency Electric and Magnetic Fields", 9th ISH, 8338-1~4, 1995
- [6] James P. Hauser, "A 20Hz to 200kHz Magnetic Flux Probe for EMI Surveys.", IEEE Trans. EMC., Vol.32, No.1, pp.67-69, 1990
- [7] S. A. Macintyre, "A Portable Low Noise Low Frequency Three-axis Search Coil Magnetometer.", IEEE Trans. Mag, vol., MAG-16, No.5, pp.761-763, 1980
- [8] "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines.", ANSI/IEEE Std. 644-1987, pp.17-21, 1992
- [9] 이복희, 길경석, 박동화, "루우프형 센서를 이용한 자장측정계", 한국센서학회지, Vol. 4, No. 2, pp. 14~21, 1995.5
- [10] 백용현, 이복희, 안창환, "전계측정용 센서의 개

발”, 대한전기학회 논문지, Vol. 40, No. 6, pp.
630~637, 1991.6

著 者 紹 介



이 복 희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 일본 동경대 생산기술연구소 객원연구원. 현재 인하대 공대 전기공학과 부교수.



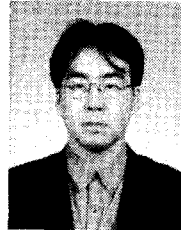
박 동 화 (朴東化)

1946년 4월 28일생. 1974년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 시립 인천대 공대 전기공학과 교수.



길 경 석 (吉暲碩)

1962년 6월 30일생. 1984년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 인하대 공대 전기공학과 강사.



이 정 기 (李廷基)

1972년 1월 31일생. 1994년 인천대 공대 전기공학과 졸업. 현재 인하대 대학원 전기공학과 석사과정.



안 창 환 (安昌煥)

1959년 11월 4일생. 1983년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.