

루우프형 센서를 이용한 자장측정계

李福熙*, 吉暲碩*, 朴東化**

Magnetic Field Measuring System by using Loop-type Sensor

Bok-Hee Lee, Gyung-Suk Kil, Dong-Hwa Park

요 약

본 논문은 전력설비와 뇌방전에 의하여 발생하는 시변자장을 측정할 수 있는 능동성 자장측정계에 대하여 기술하였다. 자장측정계는 루우프형 센서, 차동증폭기로 동작되는 능동성 적분기로 이루어졌다. 시변자장측정계와 교정장치의 이론적 원리 및 설계방법에 대하여 제시하였으며, 교정실험으로부터 주파수대역 270 Hz ~ 2.3 MHz, 응답감도 128 mV/ μ T를 얻었고, 교정실험계에서 자장센서범위의 자계의 세기는 ± 3 %이내로 균일하였다. 적용실험으로는 대전류발생장치에 의하여 모의 뇌임펄스전류와 진동성 임펄스전류를 발생시켜서 인가전류와 검출자장의 파형을 비교하였으며, 이의 결과는 거의 일치하였고, 편차는 0.5 %이내이었다.

Abstract

This paper deals with the active magnetic field measuring system which can measure the time-varying magnetic fields generated by power installations and lightning discharges. The magnetic field measuring system consists of the loop-type magnetic field sensor and the active integrator operated by a differential amplifier. The theoretical principle and design rule of the time-varying magnetic field measuring device and the calibration apparatus are introduced.

From the calibration experiments, the frequency bandwidth of the full measuring system ranges from 270 Hz to about 2.3 MHz and the response sensitivity for magnetic field strength is 128 mV/ μ T, respectively, and the calculated B-field values in the center of the loop-type sensor versus the the applied current made with a region of ± 3 %error. The actual survey experiments by using lightning impulse current and oscillating impulse current were performed, the results of comparison between the input current waveforms and the magnetic field waveforms are a good agreement with each others and their deviations are less than 0.5 %.

1. 서 론

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

** 시립 인천대학교 공과대학 전기공학과
(Dept. of Electrical Engineering, College of Engineering, The University of Incheon)

<접수일자 : 1995년 3월 2일>

최근 산업사회시스템의 고도정보화에 따라 일렉트로닉스를 사용한 계측이나 제어시스템이 전력설비와 전력계통의 운용에도 이용되고 있다. 이들 약전류 전자 기기, 컴퓨터, 제어 및 보호장치는 미약한 신호에 의하여 동작하므로 외부로부터 불필요한 전자에너지가 침입하면 정확한 신호에 동작하지 못하고 고장 또는 오동작을 유발시키므로 전력설비운용의 신뢰도를 저하시키는 원인이 된다. 따라서 이들 기기의 신뢰성 확보가

중요한 과제로 되어 있으며, 선진기술국에서는 상당한 수준의 연구가 진행되어 왔다.

한편, 전자과장해에 관한 연구는 1970년대에 들어서면서 고성능 전자부품과 디지털 측정기기의 출현으로 괄목할 만큼 발전되었으며, 광대역 전자부품의 등장으로 전자장 변화의 고정도 측정과 특성의 해명도 이루어지게 되었다. 측정대상에 따라 전력설비로부터 유도 또는 방사되는 전자장에는 1 Hz이하로 서서히 변화하는 전자장으로부터 방송통신의 UHF에 이르는 초고주파의 전자장 성분으로 광범위하게 달라지게 되므로 이들의 측정도 주파수범위에 따라 분리하여 관측되는 전자장 측정장치가 개발되어 사용되었다. 또한 데이터의 기록에 있어서도 자기테이프에 의한 아날로그 기록방식이 주로 사용되어 왔으나 최근에는 디지털기록방식이 주로 채용되고 있다.^{[1]-[3]}

본 연구에서는 전력설비주변에서 발생하는 전자장 현상과 뇌방전시에 발생하는자장의 변화를 관측할 목적으로 루우프형 자장센서를 포함한 측정계의 주파수대역이 270 Hz ~ 2.3 MHz인 자장측정계를 설계·제작하고, 이 측정계의 응답특성과 감도를 파악하기 위하여 사각도체를 이용한 고정실험계의 구성과 특성, 뇌임펄스전류와 진동성 임펄스전류에 의한 적용실험을 수행하여 정확도를 평가하고, 그 결과에 대하여 분석하였다.

2. 이 론

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

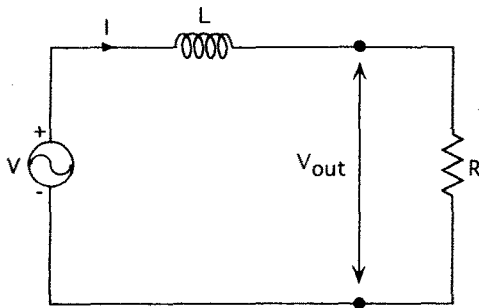


그림 1. 루우프형 자장센서의 전기적 등가회로
Fig. 1. Electrical equivalent circuit of loop-type magnetic field sensor

$$\int_L E \cdot dl = - \int_A \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dA = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

여기서 E 는 전기장의 세기, B 는 자속밀도, dl 은 루우프의 線素, dA 는 루우프의 면적소, Φ 는 루우프를 관통하는 자속이다. 루우프형 자장센서를 신호전송용 케이블의 특성임피던스와 동일한 저항과 직렬로 연결된 집중인덕턴스로 나타내어 모델화시킨 전기적 등가회로를 그림 1에 나타내었다.

여기서 L 은 루우프의 자기인덕턴스이고, R 은 루우프의 저항과 관측장치의 입력임피던스와의 합이다. 미지의 자장중에서 루우프를 관통하는 자속수를 Φ [Wb]라고 하면, 페러데이의 전자유도법칙에 의하여 유도전압 V 는

$$V = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

가 된다.

자장센서의 감지면적에 대하여 자속밀도 B [Wb/m²]가 균일하다고 가정할 때 그림 1의 회로방정식은 키르히호프의 제 2법칙에 의하여

$$V = L \frac{dI}{dt} + RI \quad (3)$$

의 관계가 성립한다.

루우프형 자장센서의 응답특성을 구하기 위하여 계단함수인 자속밀도

$$B = \begin{cases} B_0 & t \geq 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases}$$

를 입력시킨 경우의 응답전압은

$$V_{out} = -AB \exp(-\frac{R}{L} t) \quad (4)$$

로 되며, 시정수는

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (5)$$

이다. 출력신호는 시정수(L/R)로 감소되기 때문에 실제의 입력자장을 실신호로 출력시키기 위해서는 적분기가 필요하다.

3. 실험계의 구성과 방법

3.1 자장측정계의 제작

루우프형 자장센서의 직경을 작게 하면 센서자체의 인덕턴스가 작아지기 때문에 고주파 응답특성은 좋아지나 감지전압 즉, 감지신호 레벨이 저하되어 정확한 측정이 곤란하고, 잡음원에 의한 오차를 함유할 수가 있다. 뇌방전시 발생하는 자장파형의 자속밀도(B)는 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ T정도이므로 센서 한변의 길이를 0.5 m로 제작하면 충분히 감지될 수 있다. 전자장은 자장 뿐만 아니라 전장도 동시에 발생하기 때문에 전장에 의한 영향을 줄이는 방법은 루우프를 차폐시키는 것이다. 전장에 의하여 차폐선에 유기된 기전력을 서로 상쇄시키기 위하여 차폐선의 중앙부분을 절단하였다.^[5] 센서재료로는 검출된 dB/dt의 신호를 왜곡없이 차동적분기의 입력으로 전송하기 위하여 특성임피던스가 50 Ω인 동축케이블(RG-58A/U)를 사용하였으며,^[6] 출력단자는 센서의 감지전압을 차동적분기로 입력시키기 위하여 BNC커넥터로 연결하였다.

센서에 의하여 감지된 신호는 증폭과 동시에 적분시킬 수 있는 능동성 적분회로를 구성하였다. 미지의 시변성 자장이 자장센서에 의하여 감지되어 출력되기까지의 전체 측정시스템을 그림 2에 나타내었으며, 사용된 부품과 특성은 다음과 같다. 또한 접속부는 모두 BNC커넥터를 사용하여 임피던스정합이 잘 이루어지도록 하였으며, 증폭기는 금속제 외함에 내장시켜 피측정 자장에 기인되는 전자유도장해 즉, 전자잡음이 극소화 되도록 제작하였다.

- * 센서 및 측정계의 부품과 특성
 - 센서 한변의 길이 : 500 mm (RG-58 A/U)
 - 센서의 자체인덕턴스 : 0.73 μH
 - 증폭 및 적분기 : 연산증폭기 (LH 0032)
적분저항 (Rs=470 Ω)
적분 콘덴서 (C1=5 nF)
 - 데이터기록장치 : 12 bit 자동기록장치 (Nicolet Pro 30)

연산증폭기(LH0032)의 Slew rate는 500 V/μs, 대역폭은 DC ~ 70 MHz, 입력임피던스는 10^{12} Ω이다. 차동적분기 앞단에 60 Hz필터를 삽입함으로써 주변의 상용주파수에 의한 60 Hz의 노이즈성분을 제거시켰다. 또한 과도신호가 들어왔을 때 연산증폭기를 보호하기

위한 다이오드, 동상신호제거를 최적화시켜 주는 20 k Ω의 Potentiometer를 자장측정계에 적용하였다.

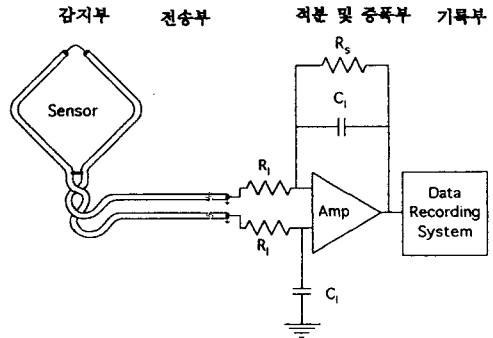


그림 2. 자장측정계의 개략도

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

3.2 교정실험 방법

제작된 자장측정계의 기본특성 즉, 센서를 포함한 전체 측정계의 응답도와 주파수대역 등을 파악하기 위해서는 단위계단 응답특성의 측정이 필요하다. 자장센서의 교정은 일반적으로 미리 알려진 크기와 방향의 균등자장을 자장센서에 도입하여 행하여진다.

균등자장을 발생시키기 위하여, 기하학적으로 구조가 간단한 사각도체를 사용하였다. 따라서 사각도체 (1.5 m x 1.5 m)에 변류기를 관통시켜 입력전류를 측정하고 센서를 포함한 측정계의 출력전압을 측정하는 방법으로 센서의 응답특성을 파악할 수 있는 교정실험계를 구성하였다. 그림 3은 본 실험에서 적용한 자장측정계의 교정회로를 나타내었다.

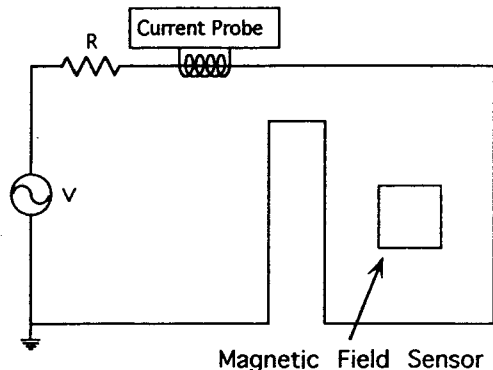


그림 3. 자장측정계의 교정회로

Fig. 3. Calibration circuit of magnetic field measuring system

가로, 세로가 1.5 m x 1.5 m인 사각도체를 이용한 교정계를 구성하였으며, 그림 4에 사각도체의 직교좌표계를 나타내었다.

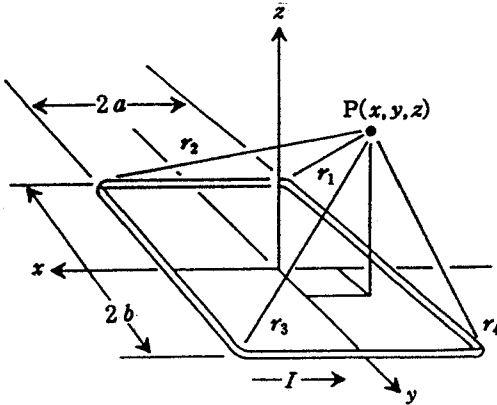


그림 4. 사각도체의 직교좌표계

Fig. 4. Rectangular coordinate of square conductor

사각도체의 변의 길이가 $2a \times 2b$ 일 때 자속밀도의 z -성분은 다음 식으로 구해진다.^[7]

$$B_z = \frac{\mu_0}{4\pi} I \sum_{a=1}^4 \left\{ \frac{(-1)^a d_a}{r_a [r_a + (-1)^{a+1} C_a]} - \frac{C_a}{r_a (r_a + d_a)} \right\} \quad (7)$$

여기서 I 는 전류이고, μ_0 는 진공의 투자율이다.

$$C_1 = -C_4 = a+x, \quad r_1 = \sqrt{(a+x)^2 + (b+y)^2 + z^2}$$

$$C_2 = -C_3 = a-x, \quad r_2 = \sqrt{(a-x)^2 + (b+y)^2 + z^2}$$

$$d_1 = d_2 = b+y, \quad r_3 = \sqrt{(a-x)^2 + (b-y)^2 + z^2}$$

$$d_3 = d_4 = b-y, \quad r_4 = \sqrt{(a+x)^2 + (b-y)^2 + z^2}$$

따라서 사각도체 중심의 자속밀도는

$$B_z(0,0,0) = \mu_0 I \frac{\sqrt{2}}{\pi a} \quad (8)$$

이 된다.

사각도체에 전류를 흘렸을 때 도체내부에 형성되

는 자장의 세기는 균일하지 않으므로 자장센서가 놓인 위치에서의 자장의 세기와 균일도를 평가함이 필요하다. 따라서 식 (7)을 적용하여 센서 치수에 상당하는 부분에 대하여 자장의 세기를 산출하였다.

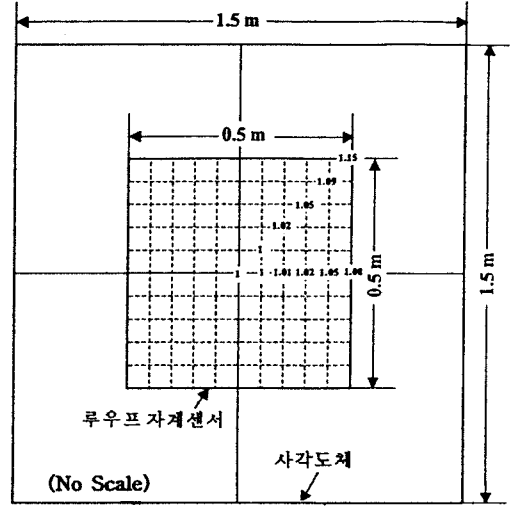


그림 5. 사각도체중심에서 거리에 따른 자장의 세기(H)의 퍼센트오차

Fig. 5. Percentage error of H from the center for position in the square conductor

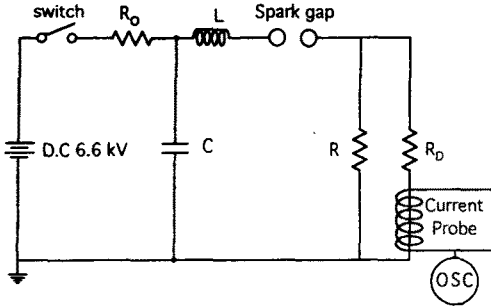
그림 5는 사각도체 중심의 자장의 세기를 1로 하였을 때 루우프형 자장센서의 범위에서 거리에 따른 자장의 세기를 나타내었으며, 이것으로부터 센서에 입력되는 평균자속밀도를 산출할 수가 있다.

3.3 적용실험 방법

제작된 자장측정계를 이용하여 대전류 발생장치에 의하여 임펄스전류와 진동성 과도전류가 흐를 때 발생하는 자장파형을 본 논문에서 제안한 자장측정계로 측정된 자장파형과 분류기와의 조합에 의한 전류프로브(Tek. A6302)로 측정된 전류파형을 비교, 분석하였다. 그림 6은 본 연구에 사용된 대전류 발생장치의 회로를 나타낸 것이다.

대전류 발생장치의 기본회로는 R-L-C 직렬회로이며, 이에 대한 전압방정식을 세우면

$$e(t) = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t idt \quad (9)$$



RD : 분류저항
R0 : 충전저항

그림 6. 대전류발생장치의 기본회로
Fig. 6. Basic circuit of large current generator

이다. 초기조건 $t = 0$ 일 때 $i = 0$ 를 넣어 식 (9)를 풀면^[8],

(i) $R > 2\sqrt{L/C}$ 일 때

$$i = \frac{E}{R} \frac{\alpha}{\beta} [e^{-(\alpha-\beta)t} - e^{-(\alpha+\beta)t}]$$

(ii) $R = 2\sqrt{L/C}$ 일 때

$$i = \frac{E}{R} 2\alpha t e^{-\alpha t}$$

(iii) $R < 2\sqrt{L/C}$ 일 때

$$i = \frac{E}{R} \frac{2\alpha}{\omega} e^{-\alpha t} \sin \omega t$$

가 된다. 여기서

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \beta = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}},$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

이다. (i)의 전류파형은 급상승 후 서서히 감쇠되는 형태이며, (iii)은 진동성분을 포함하는 과도전류를 발생시키게 되며, 본 연구에서는 (i), (ii)의 조건의 회로를 구성하고 실측실험에 적용하였다.

표 1에 대전류 발생장치에 의하여 발생하는 임펄스전류와 진동성 과도전류에 대한 회로의 소자 값을 나타내었다.

표 1 대전류 발생장치 회로의 소자 값
Table 1 Element values of the large current generator

구 분	R	C	L	Oscillation Frequency
임펄스전류	15 [Ω]	20 [μ F]	18 [μ H]	7/22.5 [μ s]
진동성과도전류 1	0.5 [Ω]	10 [μ F]	5.6 [μ H]	1.3 [kHz]
진동성과도전류 2	1.4 [Ω]	0.2 [μ F]	0.1 [μ H]	500 [kHz]

4. 실험결과 및 고찰

4.1 교정실험 결과

본 절에서는 루우프형 자장센서와 능동성 적분기를 이용하여 제작된 자장측정계의 교정실험 결과를 기술하였다. 계측장치로서의 기본특성인 주파수대역과 응답감도를 파악하기 위하여 사각도체에 정현파 전류 및 계단파 전류를 인가시켜 입력전류의 파형에 대한 자장측정계의 출력파형을 측정하고 검토하였다.

측정계의 교정실험법으로는 사각도체에 계단파 전류 즉, 계단파 전류에 의하여 대기중에 발생하는 계단파 자장을 자장센서에 인가시켜 출력파형의 감쇠시정수와 상승시간으로부터 주파수대역을 결정할 수 있으나 교정용 코일의 인덕턴스의 영향이 포함되어 있기 때문에 상승시간이 대단히 완만해져 계단파 전류 또는 계단파 자속의 입력이 불가능하다.

또한, 계단파 입력에 대한 출력파형의 감쇠시정수와 상승시간을 적용하여 주파수대역을 결정하는 것은 그 주파수대역내에서 비선형적인 요소와 공진현상이 나타나지 않는 경우에 한하여 적용되므로 본 연구의 교정실험에서는 정현파 자속의 입력에 대한 응답특성을 측정하였다.

본 연구에서 검출용으로 사용한 루우프형 자장센서는 입력신호의 미분량으로 미지의 신호를 감지하므로 센서 자체만의 출력은 주파수의 증가와 더불어 검출전압은 증가하지만 적분기의 출력은 주파수의 증가에 따라 적분기간이 짧아지므로 낮아지게 된다. 따라서 본 연구에서는 루우프형 자장센서, 차동증폭기, 능동성 적분기로 이루어지는 측정계를 구성하여 출력신호는 입력된 실신호로 출력되도록 하였다.

4.1.1 주파수대역의 결정

사각도체로 이루어진 교정장치에 정현파 전류를 입력시켜 자장측정계의 출력전압을 규격화시켜 그림 7에 나타내었으며, 따라서 주파수대역은 270 Hz ~ 2.3 MHz(-3 dB)가 산출되었다. 따라서 시제작한 자장측정계는 전력설비주변의 고조파성분 자장과 뇌방전에 의하여 발생하는 자장파형과 시변성 자장의 정확한 측정이 가능함을 알 수 있다.

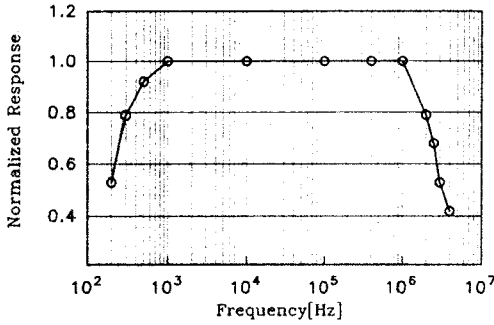
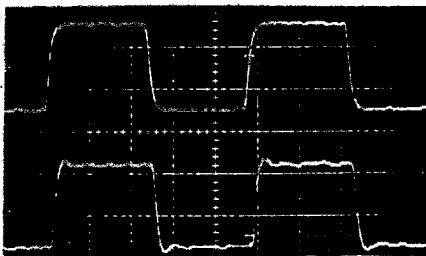


그림 7. 자장측정계의 주파수 응답특성
Fig. 7. Frequency response characteristics of the magnetic field measuring system

4.1.2 응답감도

4.1.1에서 기술한 바와 같이 주파수대역이 결정된 자장측정계로 미지의 자속 또는 자속밀도의 측정을 위하여는 감도교정이 필요하므로 주파수 대역내의 구형파와 입력에 대한 측정계의 응답특성을 측정하였으며, 이의 결과의 예를 그림 8에 나타내었다. 사각도체로 이루어진 교정장치에 입력전류 0.2 A를 흘려 주었을 때



위 : 입력파형 (0.078 μ T/div, 50 μ s/div)
아래 : 출력파형 (10.00 mV/div, 50 μ s/div)

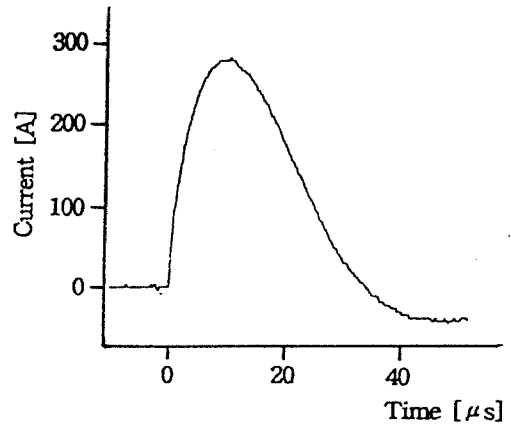
그림 8. 구형파 입력에 대한 자장측정계의 응답파형
Fig. 8. Response waveforms of the magnetic field measuring system to a square wave input

루우프형 자장센서 범위에서의 자장의 세기는 3.2절에서 기술한 바와 같이 3 %이내로 균일하였다. 이 때 자장의 세기를 평균하여 산출한 본 측정계의 자속밀도는 0.156 μ T이며, 이 때 측정계의 출력전압이 약 20 mV 이므로 단위자속밀도에 대한 응답전압 즉, 응답감도는 128 mV/ μ T이다.

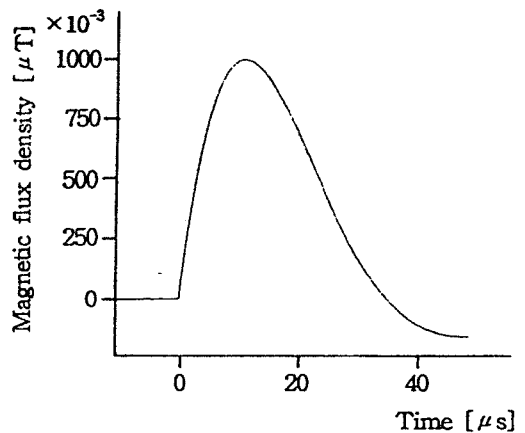
4.2 적용실험 결과

4.2.1 임펄스전류에 의한 자장파형

대전류 발생장치에 의하여 발생하는 7/22.5 μ s 임펄스 전류파형을 교정실험계에 인가하고 자장측정계를



(a) 임펄스전류파형



(b) 자장파형

그림 9. 임펄스전류파형과 자장측정계로 검출된 파형
Fig. 9. Impulse current waveform and magnetic field waveform measured by the magnetic field measuring system

5 m떨어진 곳에 설치하여 임펄스전류에 의하여 발생하는 자장을 측정하였다. 교정장치에 입력시켰을 때 전류파형 및 자장파형의 파두장, 파미장을 분석한 결과 각각 7 μ s, 22.5 μ s로 일치하였다. 이 때 전류는 전류프로브(A6302, Tek)로 측정하였다. 임펄스전류파형과 자장측정계로 측정한 자장파형의 예를 그림 9에 나타내었다.

4.2.2 진동성 과도전류에 의한 자장파형

진동주파수가 1.3 kHz, 500 kHz인 감쇠 진동성 과도전류를 대전류발생장치에서 발생시켜 4.2.1에서와 마찬가지로 발생원으로부터 자장측정계를 5 m떨어진 곳에 설치하여 진동성 과도전류에 의한 자장을 측정하였다. 전류파형 및 자장파형의 진동주파수, 감쇠시정수, 상승시간을 측정한 결과를 표 2에 나타내었다. 그림 10은 1.3 kHz의 진동성 과도전류파형과 루우프형 자장측정계의 출력파형의 일례이며, 그림 11은 진동주파수가 500 kHz일 때의 전류파형과 자장파형을 나타내었는데, 주파수대역내의 범위가므로 파형의 왜곡 또는 감쇠는 나타나지 않았다. 따라서 자장측정계의 주파수대역내에서는 0.5 %이내의 오차로 검출될 수 있음을 확인할 수 있었다.

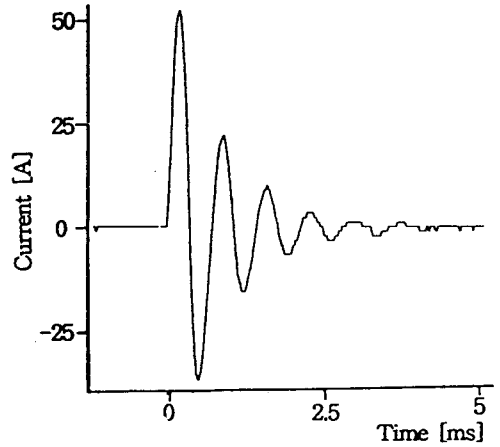
표 2. 전류와 자장파형의 진동주파수, 감쇠시정수, 상승시간

Table 2. Oscillation frequency, decay time constant and rise time of current and magnetic field waveforms

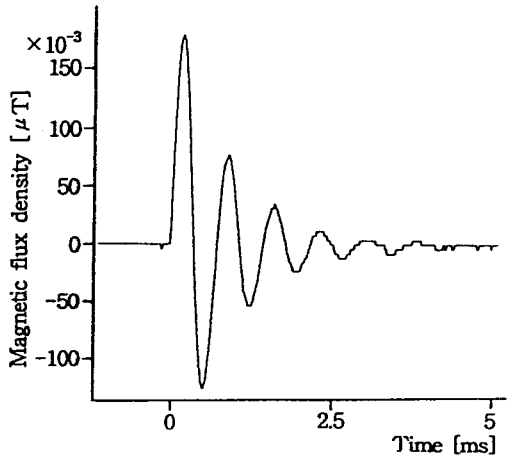
진동주파수	1.3 [kHz]	500 [kHz]
감쇠시정수	1 [ms]	5.5 [μ s]
상승시간	187 [μ s]	0.5 [μ s]

5. 결 론

본 연구에서는 전력설비의 고장 또는 운전조작, 뇌방전으로부터 발생하는 과도자장성분을 검출할 수 있는 자장측정계를 구성하여 교정실험과 적용실험을 통하여 측정장치의 성능을 평가한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

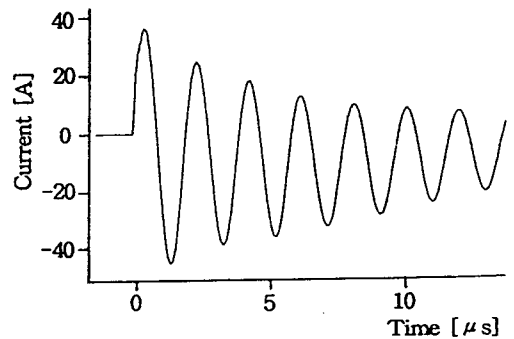


(a) 진동성 임펄스전류파형

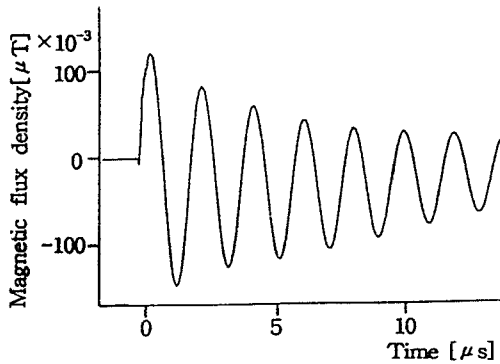


(b) 자장파형

그림 10. 진동성 임펄스전류파형과 자장파형(1.3 kHz)
Fig. 10. Oscillating transient current and magnetic field waveforms



(a) 진동성 임펄스전류파형



(b) 자장파형

그림 11. 진동성 임펄스전류파형과 자장파형(500 Hz)
Fig. 11. Oscillating transient current and magnetic field waveform

1. 능동성적분기의 차동증폭회로를 구성하여 동상 모드의 잡음을 제거함으로써 자장측정계의 신뢰도를 향상시켰다.
2. 교정실험을 하여 자장측정계의 기본성능을 측정 한 바 주파수대역 270 Hz ~ 2.3 MHz, 응답감도 128 mV/μT로 광대역의 미약한 자장도 측정이 가능함을 확인하였다.
3. 임펄스전류를 인가시켜 입력전류파형과 검출자장파형을 측정·분석한 바 파두장, 파미장이 7/22.5 μs로 거의 일치하였으며, 진동성 임펄스전류에 대하여도 진동주파수, 상승시간, 감쇠시정수가 모두 일치하는 결과를 얻어 주파수대역내의 자장성분을 파형의 왜곡 또는 감쇠없이 측정할 수 있는 우수성이 입증되었다.
4. 주파수대역내에서의 입력전류와 검출된 자장파형의 오차는 0.5 %이내이었으며, 고정도의 과도자장 측정장치가 개발되므로 전자환경의 영향평가와 자장

노이즈원 검출에 대한 연구에의 이용이 가능하다.

『본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음.』

References

- [1] M. A. Uman and E. P. Krider, "A Review of Natural Lightning : Experimental Data and Modeling", IEEE Trans., Vol.EMC-24, No.2, pp. 79-105, 1982.
- [2] C. D. Weidman and E. P. Krider, "The Radiation Field Wave Forms Produced by Intracloud Lightning Discharges Processes", J. Geophys. Res., Vol.84, No.C6, pp.3159-3164, 1979.
- [3] M. Ishii and J. Hojo, "Statistics on Fine Structure of Cloud-to-Ground Lightning Field Waveforms", J. Geophys. Res., Vol.94, No.D11, pp.267-274, 1989.
- [4] 副島光積, 堀内和夫, "電磁氣學", コロナ社, pp.248 - 250. 1960.
- [5] E. Philip Krider and R. Carl Noggle, "Broadband Antenna System for Lightning Magnetic Fields", J. Appl. Meteorol., Vol.14, pp.252-256, 1975.
- [6] 이 복 희, 외 3인 ; "시변자계측정용 센서의 실현", 센서학술대회 논문집, Vol.3, No.1, pp.105-109, 1992.
- [7] IEEE Standard Broads, "Electromagnetic compatibility", ANSI/IEEE Std.644-1987, pp.15-23, 1992.
- [8] Weber, E., "Electromagnetic Theory", New York, Dover, 1965, p.131.

著 者 紹 介

李 福 熙

「센서학회지 제4권 제1호」 논문 95-4-1-03, p. 20 참조.
현재 인하대학교 전기공학과 부교수.

吉 喞 碩

「센서학회지 제4권 제1호」 논문 95-4-1-03, p. 20 참조.
현재 인하대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



朴 東 化

1946년 4월 28일생. 1974년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사). 1980년~현재 시립 인천대학교 전기공학과 교수. 주관심분야 : 물리센서, 기능성재료