

가전기기에서 발생하는 극저주파 과도자계에 예측기법 연구

論文

51B-11-3

Study on Prediction Method for ELF Transient Magnetic Field from Home Appliances

朱 琬 魯* · 梁 光 鎬** · 明 聖 鎬** · 閔 錫 源***

(Mun-No Ju · Kwang-Ho Yang · Sung-Ho Myung · Suk-Won Min)

Abstract With biological effects by ELF (Extremely Low Frequency) magnetic field generated from power system, the transient magnetic field from electric appliances is a major issue presently. Because the transient magnetic field induces higher current than the power frequency field inside living bodies, transient magnetic field exposure has been much focused. In this paper, it is shown that transient magnetic field from electric home appliances can be characterized as magnetic dipole moment. In this method, the dipole moment vector is assumed by allowing an uncertainty of 6dB in the estimated field. A parameter M that represents biological interaction was applied also. The proposed method was applied to 7 types of appliances (hair drier, heater, VDT, etc.) and their equivalent magnetic dipole moment and harmonic components were estimated. As the results, the useful data for quantifying magnetic field distribution around electric appliances were obtained.

Key Words : Electric Appliance, Harmonic, Transient Magnetic Field, Dipole Moment Vector and Biological Interaction

1. 서 론

일반 생활환경에서 극저주파 자계를 발생시키는 송전선로와 가전기기(사무 및 공장기기 포함)의 자계특성에 관한 정량적 이해는 자계의 생물학적 영향과 관련하여 큰 관심의 대상이 되고 있다. 송전선로에서 발생하는 자계는 무한 직선도체와 측정점 간의 거리에 지수승으로 반비례하는 몇 개의 이론식과 모멘트의 조합으로 단순하게 표현하여 계산할 수 있기 때문에 이에 대한 연구는 많이 수행되어져 왔다.[1] 그러나 가전기기에서 발생하는 자계는 가전기기의 형태, 크기, 조작회로 등과 같은 특성의 다양성으로 인하여 간단한 모의로 정형화하기가 용이하지 않다. 또한 주파수가 높은 자계가 생체 내에서 더 높은 전류를 유도시키기 때문에 최근에 고조파 성분이 포함된 過度磁界(transient magnetic field)를 발생시키는 가전기기들의 자계 발생량에 대한 관심이 증가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 高調波 성분이 포함된 가전기기의 자계를 간단히 정량화 하여, 기기마다 자계 발생의 대표값을 표현할 수 있도록 가전기기의 자계 발생원을 磁氣 雙極子 모멘트로 등가화하여 기기의 자계특성을 분석하였다. 또한 주파수에 따른 생체영향을 평가하기 위하여 고조파 성분을 고려한 매개변수를 적용하여 고조파에 의한 영향도 평가하였다.

2. 예측기법

가전기기에서 발생하는 자계에 관한 많은 연구가 국외에서도 수행되어 왔지만, 지금까지의 자계 크기는 기기에서 발생하는 자계의 방향과 거리가 다르게 측정되어 기기의 대표값으로 정하기에 적합하지 못하고 상호 비교하기도 어려운 단점이 있다.[2,3,4,5] 또한 많은 종류의 가전기기로부터 발생하는 자계분포 측정결과를 기초로 등가자계 쌍극자 크기와 위치를 추정하는 연구도 수행되었지만, 이는 쌍극자가 자계 측정이 행해진 위치의 측상에 존재하고 측에 평행한 방향의 성분만을 갖는 것으로 가정하였기 때문에 측 이외의 위치에서 발생하는 자계에 의해 오차가 발생한다.[6] 역행렬을 푸는 방법으로 3차원 등가 다이폴 모멘트를 벡터로 표현한 예측방법에 관한 방법도 연구되었지만, 3차원의 위치, 크기와 위상의 9가지 미지수를 수치적으로 풀어야 하기 때문에 크기와 위상을 포함한 완벽한 실측이 요구되어 실제에 적용하기에는 적합하지 않다.[7] 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해 미지수를 줄일 수 있는 측정방법을 이용하여 피측정기기의 쌍극자 모멘트의 크기를 간단히 등가화함으로써 정량화할 수 있는 방법을 적용하였다.

자기 쌍극자 모멘트 m 주변의 자계분포는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$B = -\frac{\mu_0}{4\pi} \text{grad} \frac{m \cdot R}{R^3} \quad (1)$$

여기서 B 는 자속밀도 벡터, R 은 측정 지점의 위치벡터, μ_0 는 공기의 투자율이다. 식 (1)에서 자기쌍극자가 선형적으로

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 電力研究團 先任研究員

** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 責任研究員 · 工博

*** 正 會 員 : 順天鄉大學校 情報技術工學部 副教授 · 工博

接受日字 : 2002年 5月 27日

最終完了 : 2002年 9月 6日

분극된 것으로 가정하면 식 (2)와 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 B_x &= -\frac{\mu_0}{4\pi} [m_x \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\}^{-3/2} \\
 &\quad - 3(x-x_0)\{m_x(x-x_0) + m_y(y-y_0) + m_z(z-z_0)\} \\
 &\quad \times \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\}^{-5/2}] \\
 B_y &= -\frac{\mu_0}{4\pi} [m_y \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\}^{-3/2} \\
 &\quad - 3(y-y_0)\{m_x(x-x_0) + m_y(y-y_0) + m_z(z-z_0)\} \\
 &\quad \times \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\}^{-5/2}] \quad (2) \\
 B_z &= -\frac{\mu_0}{4\pi} [m_z \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\}^{-3/2} \\
 &\quad - 3(z-z_0)\{m_x(x-x_0) + m_y(y-y_0) + m_z(z-z_0)\} \\
 &\quad \times \{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2\}^{-5/2}]
 \end{aligned}$$

여기서 (x_0, y_0, z_0) 는 모멘트의 중심위치, (m_x, m_y, m_z) 는 자기 쌍극자 모멘트 벡터의 x, y, z 성분이다. 구의 중심과 모멘트 중심이 일치할 때 구 표면상의 자계크기는 식 (3)과 같이 표현할 수 있으며, 표면의 위치에 따라 상수 k는 1~2 사이의 값을 갖게 된다.

$$|B| = k \times \frac{\mu_0 |m|}{4\pi R^3} \quad (1 \leq k \leq 2) \quad (3)$$

식 (3)에서 k가 1~2 이하의 값(6dB 오차)을 갖는다고 추정 자계크기의 오차범위를 고려하면, 자기 쌍극자 모멘트 주변 자계분포는 구형으로 가정할 수 있으며, 식 (1)의 쌍극자 모멘트 벡터를 스칼라 값으로 취급할 수 있다. 이와 같이 미지수를 4개(모멘트의 중심위치 x_0, y_0, z_0 와 스칼라 값으로 취급한 모멘트의 크기)로 줄이고, 가전기기 내부의 쌍극자 모멘트의 위치를 확인할 수 있는 방법을 적용하여 모멘트의 크기를 구할 수 있다.

3 실험 방법

3.1 자기 쌍극자 모멘트 중심 추정

등가 쌍극자 모멘트의 중심점을 추정하기 위해 그림 1과 같이 임의로 피측정기기 주변에 좌표를 설정한다. 가전기기를 직교 좌표축에 위치시키고, 3축의 자계를 측정할 수 있는 측정기 2대를 각각 x축의 $-x_m$ 과 $+x_m$ 에 놓고 x축을 따라 피측정기기를 움직여서 두 측정기의 자계값 B_R 이 동일하게 되는 위치를 찾는다. 이 위치가 쌍극자 모멘트의 x축 중심점이다. x축의 쌍극자 모멘트 중심점을 유지하면서 측정기 2대를 y축의 $+y_m$ 과 $-y_m$ 에 위치시키고 y축의 중심점도 x축의 중심점을 찾는 방법과 동일하게 찾는다. z축의 쌍극자 중심점은 z축과 평행한 임의의 선을 따라 B_R 값이 최대가 되는 점이다. 이와 같이 얻은 자기 쌍극자 모멘트 중심 위치에 피측정기기를 고정시키고 몇 차례의 측정을 통해 얻은 실측치를 식 (3)을 변형한 식 (4)에 적용하면 피측정기기의 자기 쌍극자 모멘트의 크기를 구할 수 있다. 이 때 본 논문에서 k 값은 평균값 1.39를 적용하였다.

$$|m| = \frac{4\pi R^3 |B|}{k \mu_0} \quad (4)$$

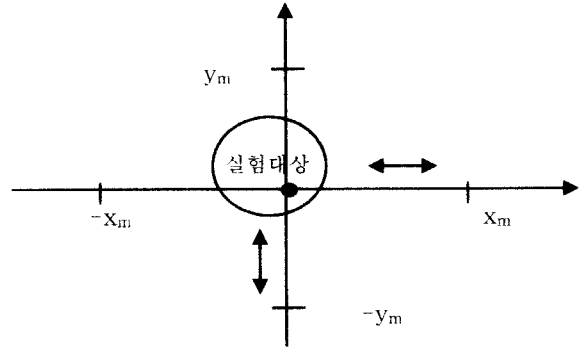


그림 1 등가 자기 쌍극자 모멘트의 중심위치를 추정하기 위한 좌표

Fig. 1 Coordinates for estimating the zero position of equivalent magnetic dipole moment

3.2 고조파 성분

생체의 자계 노출량 조사에 관한 연구와 주파수에 따른 자계 노출량 제한치에 관한 Guideline은 현재 많이 발표되어져 있다.[8] 또한 최근에는 주파수 성분이 생체에 미치는 영향에 관한 관심이 모아지면서 가전기기에서 발생하는 고조파 성분의 특성이 자계특성 평가에 포함되게 되었다.

고조파 성분을 포함하고 있는 자속밀도 B 는 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$B = B_f \sqrt{1 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 + \dots} \quad (5)$$

여기서 B_f 는 자속밀도 B 의 기본파 성분의 실효값이며, α_i ($i = 2, 3, 4, \dots$)는 기본파에 대한 i 번째 고조파 성분의 크기 비율이다. 식 (5)는 등가 자기 쌍극자 모멘트에도 적용하여 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m = m_f \sqrt{1 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \alpha_4^2 + \dots} \quad (6)$$

여기서 m 은 모든 고조파를 포함한 자기 쌍극자 모멘트의 합성값이며, m_f 는 자기 쌍극자 모멘트의 기본파 성분의 실효값이다. 이러한 고조파를 포함한 자속밀도 B 와 고조파 성분의 크기 비율은 자계 파형을 측정할 수 있는 계측기로 측정하여 각 고조파성분을 분석한다.

또한 고조파를 포함한 자계성분에 대한 생체의 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 식 (7)에 주파수성분과 기본파에 대한 각 고조파 성분의 비율을 고려한 매개변수 M 을 적용하였다.[9]

$$\begin{aligned}
 M &= \sum_i f_0 \times m_f \alpha_i \\
 &= f_0 m_f (1 + 2\alpha_2 + 3\alpha_3 + 4\alpha_4 + \dots)
 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 f_0 는 상용주파수의 기본주파수이다. M 은 주파수에 비례하여 생물체 내부에 유도되는 전류가 증가한다는 것을 기초로 자기 쌍극자 모멘트와 생체간의 상호작용을 정량적으

로 나타내는 Parameter이며, 이는 자계 규제치를 정하기 위한 기준으로 이용될 수도 있다.

3.3 계측장비 및 피측정기기

3.3.1 자계 계측기

자기 쌍극자 모멘트의 중심위치와 가전기기에서 발생하는 고조파 성분을 측정하기 위해 본 논문에서 이용한 계측기는 Model EMDEX-II와 EMDEX Wavecoder(Enertech, USA)이다. EMDEX-II는 3개 축의 자계값을 합성한 resultant level을 나타낸다. 따라서 EMDEX-II로 자기 쌍극자 모멘트 중심 위치를 조사한다.

EMDEX Wavecoder는 측정 주파수 대역이 40Hz ~3kHz로 50고조파 성분까지 측정이 가능하며, 가전기기에서 발생하는 자계를 EMDEX-II와 동일하게 3개 축의 자계값 측정이 가능하며 또한 파형분석도 가능하다. 측정된 파형을 FFT(Fast Fourier Transformation)하여 각 고조파 성분의 크기를 알 수 있다. 그림 2는 이러한 계측기들을 이용하여 electric pot의 고조파 자계를 측정하는 장면이다.

3.3.2 피측정기기

피측정기기의 자기 쌍극자 모멘트 중심위치의 추정과 임의 지점의 자계를 측정하기 위하여 그림 3과 같은 측정용 실험대를 제작하였다. 실험대는 피측정기기가 각 축별로 이동이 용이하고, 피측정기기와 측정기 간의 거리를 쉽게 알 수 있도록 제작하였다. 피측정기기는 일반 생활환경에서 자주 이용되는 가전기기로서 아래와 같이 1차적으로 7가지를 선정하여 조사하였다.

- (1) Hair Dryer
- (2) Electric Pot
- (3) 컴퓨터용 17" 일반 Monitor
- (4) 컴퓨터용 17" 평면 Monitor

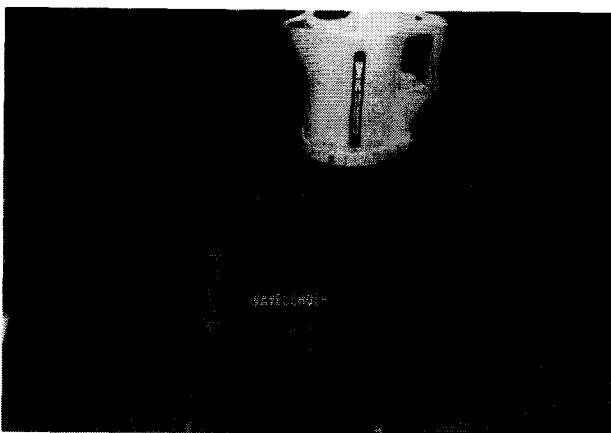


그림 2 자계 측정기
Fig. 2 Magnetic field meters

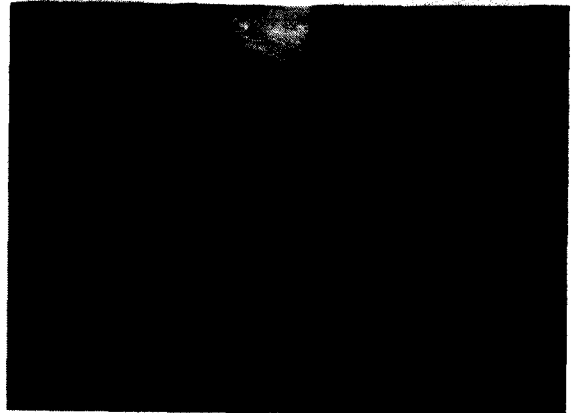


그림 3 자계 측정용 실험대
Fig. 3 Testing bench for measuring magnetic field

- (5) 전기히터(원형관을 열원으로 하는 제품)
- (6) Beam Projector
- (7) Over Head Projector

4. 실험결과

그림 4, 5는 피측정기기의 주변자계를 측정된 값으로 실선은 평균 실측치를 이용하여 식 (3)으로부터 추정된 자계값이고, 점선은 6dB의 오차($1 \leq k \leq 2$)를 고려한 범위를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 7개의 가전기기에 대한 실험결과를 얻었으나, 대표적인 측정의 예만 나타내었다.

4.1 추정 자계 오차

Hair dryer와 electric pot는 기기의 구조상 앞 뒤 구분을 하지 않고 나타내었으며, 다른 기기들은 대부분 빛이 발생하는 부분을 전면으로 하여 측정을 수행하였다.

그림 4에 나타난 electric pot의 측정결과와 같이 electric pot, hair dryer, 모니터, 전기히터의 경우는 측정값이 거의 모두 오차범위 안에 분포하였다. 따라서 이러한 가전기기의 자계 발생원을 등가 쌍극자 모멘트를 적용하여 자계 발생량을 평가하는 방법은 타당하다는 것을 검증할 수 있었다.

그러나 그림 5에 나타난 beam projector의 경우와 같이 over head projector와 beam projector의 경우는 대부분의 측정값이 오차범위 밖에 분포하고 있다. 이는 beam projector와 over head projector와 같은 기기는 상기 기기와는 달리 자계 발생원을 하나의 등가 쌍극자로 모의하는 것이 적합하지 않아 오차가 크게 나타난 것으로 판단된다. Over head projector는 기기의 구조가 간단하여 자계 발생원 중심과 등가 자기 쌍극자 모멘트의 크기를 결정하는데 어려움이 없을 것으로 예상되었으나, 기기 내부에서 이용되고 있는 할로겐 램프의 방전특성 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 보인다. 따라서 over head projector와 beam projector와 같은 기기는 식 (3)과 같은 방법을 적용하여 자계특성을 해석할 수 없으며, 기기 내부에 존재하는 다수의 발생원을 모의할 수 있는 새로운 방법이 요구된다.

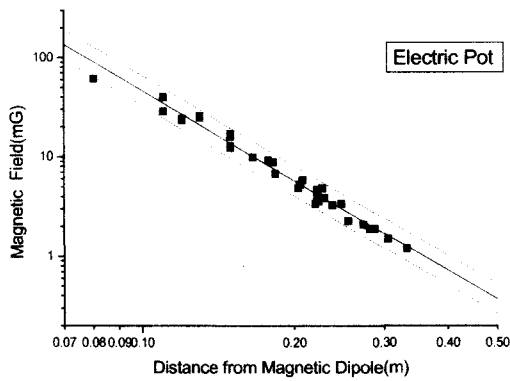


그림 4 Electric pot의 자계 분포
Fig. 4 Magnetic field distribution of an electric pot

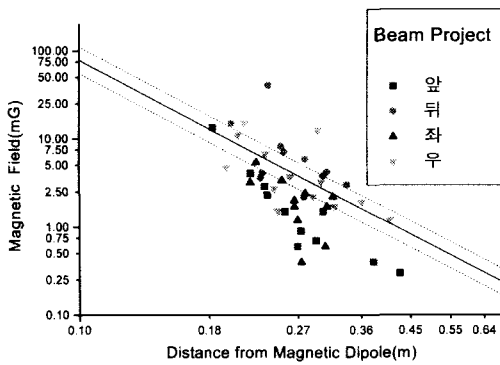
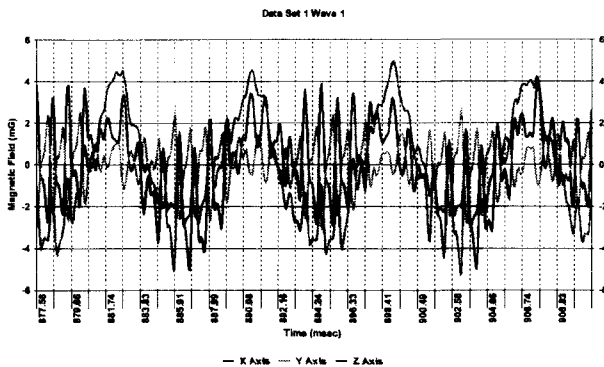


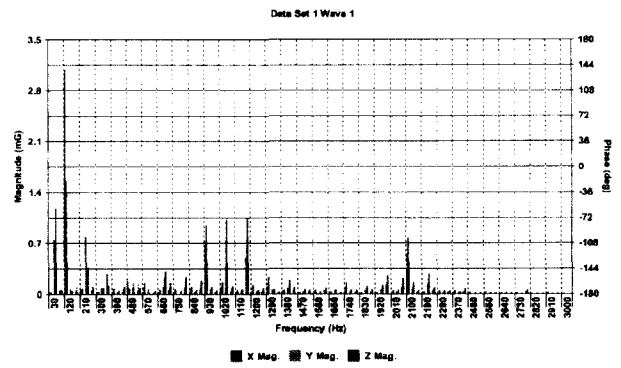
그림 5 Beam projector의 자계 분포
Fig. 5 Magnetic field distribution of a beam projector

4.2 고조파 측정결과

파측정기의 고조파 성분을 파악하기 위해 그림 6(a)와 같이 파형을 측정하고 그림 6(b)의 FFT 파형을 나타냈다. 측정결과 고조파 성분이 다수 포함된 기기로는 hair dryer, 모니터, beam projector로 조사되었다. Hair dryer, beam projector와 같은 기기는 그림 6과 같이 파형이 심하게 왜곡되고, 모니터의 경우는 그림 7과 같이 파형이 완전히 변형된 형태로 측정되었다.

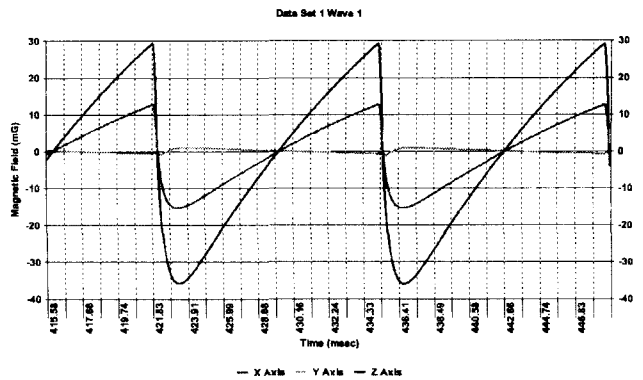


(a) 자계 파형 (Magnetic field waveform)

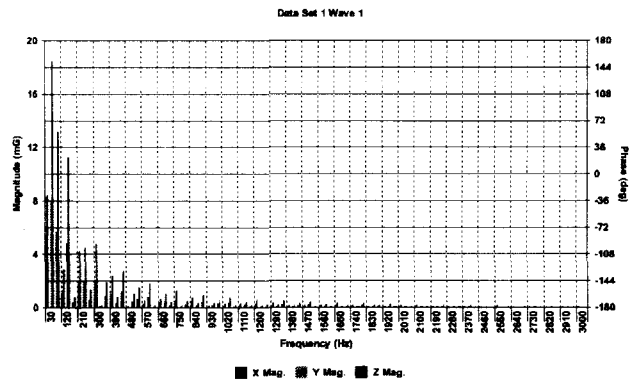


(b) FFT 파형 (FFT waveform)

그림 6 Hair dryer의 자계 파형
Fig. 6 Magnetic field waveform of a hair dryer



(a) 자계 파형 (Magnetic field waveform)



(b) FFT 파형 (FFT waveform)

그림 7 CRT 17"의 자계 파형
Fig. 7 Magnetic field waveform of a 17"-sized CRT

그림 6(a)와 7(a)의 측정파형은 서로 상이하게 보이지만, 두 파형 모두 기본파형에서 왜곡된 형태이기 때문에 FFT 분석결과에 의하면 그림 6(b), 7(b)와 같이 수 kHz까지 무시할 수 없는 성분이 존재하는 것을 알 수 있다.

기본파 성분이 대부분인 기기로는 전기히터, electric pot, over head projector로 조사되었다. 따라서 이 경우는 그림 8(a)의 자계파형에서 보듯이 파형의 왜곡이 거의 없는 정현파 형태를 보이며, FFT 분석결과도 그림 8(b)과 같이 60Hz 성

분만이 주로 나타난다. 이와 같이 주로 저항부하만으로 구성된 가전기기는 고조파 성분을 거의 포함하고 있지 않아서 파형의 왜곡이 거의 없지만, 전동기 및 복잡한 회로를 포함한 가전기기에는 고조파 성분이 다수 포함되어 기본 상용주파수와 다른 왜곡된 파형이 발생된다는 것을 알 수 있다.

표 1에는 등가 자기 쌍극자 모멘트 m 과 생체에 대한 고조파 영향을 평가하기 위한 매개변수 M 을 계산하기 위해 필요한 각 고조파 성분 비율을 측정된 데이터를 나타내었다. 표 1에 나타난 것처럼 고조파 성분이 많이 포함된 hair dryer, 모니터, beam projector와 같은 가전기기들은 기본파에 대한 i 번째 고조파 성분이 어느 정도의 크기를 나타내는 것을 알 수 있다.

4.3 종합평가

실험 대상 각 가전기기들의 평가결과를 표 2에서 종합하였다. 표 2에서 전류는 기기에 전원을 공급했을 때 전원선에 흐르는 전류를 측정된 값이고, m 은 그림 4, 5와 같은 그래프에 나타난 추정 자계값에서 얻어진 등가 자기 쌍극자 모멘트 값이다. m_f 는 상용주파수 성분의 등가 자기 쌍극자 모멘트 값으로써 표 1에 의해서 얻어진다.

일반적으로 전류가 많이 흐르는 기기일수록 자계를 많이 발생하여 생체에 악영향을 미친다고 알려져 있지만, 전류 및 자기 쌍극자 모멘트 m 값이 큰 기기라 해도 생체상관지표인

표 1 실험 대상기기별 추정 고조파 성분 비율

Table 1 Estimated fraction of each harmonic component of the examined electric appliances

실험대상 전기기기	i번째 고조파 성분의 비율 (a_i)													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Hair Dryer	1.49	0.06	0.40	0.03	0.12	0.05	0.10	0.09	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.13
Beam Projector	0.08	0.21	0.02	0.12	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01
CRT 17"	0.30	0.14	0.31	0.30	0.17	0.05	0.04	0.09	0.11	0.06	0.03	0.02	0.05	0.06
Heater (sheathed tube)	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Electric Pot	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CRT 17"(Flat)	0.40	0.24	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
Over Head Projector	0.01	0.13	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

표 2 실험 대상기기별 추정 등가 자기 쌍극자 모멘트

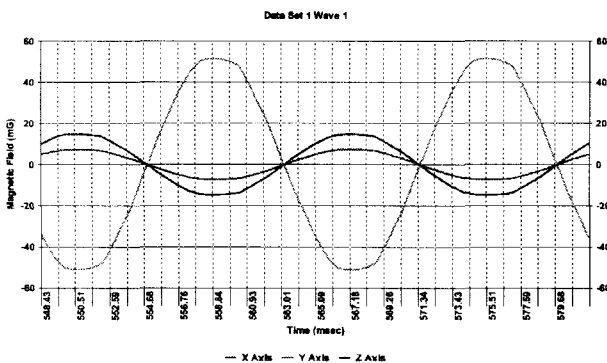
Table 2 Estimated equivalent dipole moments of examined electric appliances

실험대상 기기	전류 (A)	전력 (W)	Magnetic Dipole		
			m	m_f	M
Hair Dryer	4.3	941.7	0.01	0.0002	38.6
Beam Projector	1.3	292	추정 불가		
CRT 17"	0.45	101.25	0.094	0.028	252.3
Heater (sheathed tube)	3.8	843.6	0.172	0.002	21.9
Electric Pot	8.2	1820	0.033	0.0004	3.96
CRT 17"(Flat)	0.7	158.2	0.103	0.006	183.6
Over Head Projector	2.4	540	추정 불가		

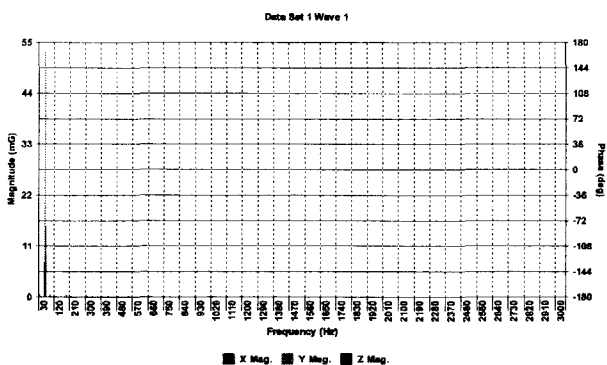
M 이 반드시 크지 않다는 것을 표 2에서 알 수 있다. 이는 기본파 성분의 자계만이 생체에 영향을 미치는 것이 아니기 때문이다. 즉, 자기 쌍극자 모멘트 m 이 작아도 발생 자계에 고조파 성분이 다량 포함되어 있는 전기기기가 생체 내부에 보다 큰 유도전류를 유발하여 건강에 좋지 않은 영향을 보다 많이 줄 수 있다는 것을 정량적으로 나타낸 것이다. 일례로써, hair dryer의 경우 사용전력이 일반 모니터에 비해 약 9배 높지만 일반 모니터가 hair dryer보다 많은 고조파 성분을 발생하기 때문에 자계의 생체상관지표 M 은 반대로 일반 모니터가 hair dryer에 비해 약 8배 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 자계의 생체 영향은 단순히 자계의 크기뿐만 아니라 고조파 성분의 함유율도 크게 관여되므로, 실효성 있는 자계의 안전규제치 설정을 위해서는 단순히 크기만을 규제해서는 안될 것이라고 판단된다.

5. 결론 및 향후계획

가전기기에서 발생하는 고조파 성분이 포함된 과도자계를 예측하기 위해 등가 자기 쌍극자 모멘트를 적용하고, 7종의 가전기기를 선택하여 과도자계를 조사하였다. 또한 주파수 성분을 고려한 자계의 생체상관지수 M 을 도입하여 과도자계의 생체영향의 정도를 평가하였다. 본 논문의 주요 결론과 향후 계획은 아래와 같다.



(a) 자계 파형 (Magnetic field waveform)



(b) FFT 파형 (FFT waveform)

그림 8 전기히터의 자계 파형

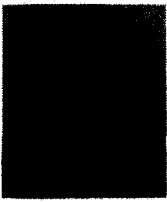
Fig. 8 Magnetic field waveform of an electric heater

- (1) 전기기기의 등가 자기 쌍극자 모멘트 중심점을 정하고 측정자계와 추정자계의 오차가 6dB 범위에 들 수 있도록 각 기기마다 자기 쌍극자 모멘트를 결정하였다.
- (2) 등가 자기 쌍극자 모멘트를 이용하여 계산한 값과 피측정 가전기기의 측정값은 대부분 오차범위 내에서 일치하여 모멘트를 적용하여 자계량을 평가하는 방법이 타당하다는 것을 검증하였다.
- (3) 전류 및 자기 쌍극자 모멘트가 큰 기기라 해도 생체에 영향을 주는 변수 M이 커지는 것이 아니라는 것을 각 기기의 M을 구함으로써 알 수 있었다.
- (4) 기본과 성분의 자계만이 인체에 영향을 미치는 것이 아니고, 전류 및 자기 쌍극자 모멘트가 작아도 고조파 성분이 많이 포함되어 있는 기기가 생체에 더욱 악영향을 줄 수 있다는 것을 정량적으로 확인했다.
- (5) 향후의 2차 조사에서는 더욱 다양한 가전기기, 사무기기 및 공장기기 등에 관한 평가를 수행하여 일반생활 환경에 서의 생체에 대한 전기기기의 자계 안전성 평가모델을 제시할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] W. T. Kaune, L. E. Zaffanella, "Analysis of magnetic fields produced far from electric power lines", IEEE Trans on Power Delivery, 7, 4, pp 2082-2091, 1992
- [2] M. A. Stuchly, D. W. Lecuyer, R. D. Mann, "Extremely low frequency electromagnetic emissions from video display terminals and other devices:", Healthy Physics 45, 3, pp 713-722, 1983
- [3] J. R. Gauger, "Household appliance magnetic field survey", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 104, 9, pp 2436-2444, 1989
- [4] M. Silva, N. Hummon, D. Rutter, C. Hooper, "Power frequency magnetic fields in the home", IEEE Trans. Power Delivery, 4,1, pp465-478, 1989
- [5] J. Randa, D. Gilliland, W. Gjertson, W. Lauber, M. Mcinerney, "Catalogue of electromagnetic environment measurement, 30-300Hz", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, 37, 1, pp26-33, 1995
- [6] D. L. Mader, S. B. Peralta, "Residential exposure to 60-Hz magnetic fields from appliances", Bioelectromagnetics, 13, pp287-301, 1992
- [7] L. E. Zaffanella, T. P. Sullivaner, "Magnetic field characterization of electrical appliances as point sources through in situ measurements", IEEE Trans. Power Delivery, 12, 1, pp443-450, 1997
- [8] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection(ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric magnetic and electromagnetic fields(up to 300GHz)", Health Physics, 74, 4, 494-522, 1998
- [9] Kenichi Yamazaki, Tadashi Kawamoto, "Estimation of Equivalent Magnetic Dipole Moment for Characterization of ELF Magnetic Fields Generated by Electric Appliances", KERI/KEPRI/CRIEPI Joint Workshop on electric & Magnetic Field Effects, 54-64, 2000

저 자 소 개



주 문 노(朱 玟 魯)

1968년 7월 7일생. 1994년 인하대 환경공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경·송전연구그룹 선임연구원. 2001년도 KERI 대상 수상.
Tel: 055-280-1324
E-mail: mnju@keri.re.kr



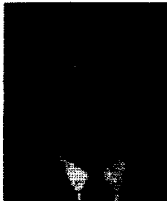
양 광 호(梁 光 鎬)

1957년 11월 16일생. 1981년 충북대 전기공학과 졸업. 1986년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1986년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경 송전연구그룹 책임연구원, Technical Leader (전력설비 환경친화 설계기술 분야). 1999년도 대한전기학회 및 2000년도 한국과학기술단체총연합회 우수논문상 수상, 2001년도 KERI 대상 수상. KIEE, IEEE 정회원. Tel: 055-280-1322, E-mail: khyang@keri.re.kr



명 성 호(明 聖 鎬)

1958년 3월 20일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1984년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기환경·송전연구그룹장, 책임연구원. 2001년도 KERI 대상 수상. KIEE, KEES 정회원.
Tel: 055-280-1304
E-mail: shmyung@keri.re.kr



민 석 원(閔 錫 源)

1958년 1월 3일생. 1981년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1984년~1991년 한전전력연구원 계통연구실 근무. 1996년~1997년 일본 교토대학 방문교수. 현재 순천향대학교 정보기술공학부 부교수.
Tel: 0418-530-1338
Email: swonmin@sch.ac.kr