

工學碩士 學位請求論文

감온페라이트를 이용한
복합발열체의 온도특성



2008年 2月

釜慶大學校 大學院

電氣工學科

姜 亨 炅

工學碩士 學位請求論文

감온페라이트를 이용한
복합발열체의 온도특성

指導教授 金 榮 學

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2008年 2月

釜慶大學校 大學院

電 氣 工 學 科

姜 亨 旻

姜亨炅의 工學碩士 學位論文을
認准함.

2007年 12月



主 審 工學博士 金 仁 東 (印)

委 員 工學博士 張 允 碩 (印)

委 員 工學博士 金 榮 學 (印)

목 차

목차	I
표 목차	III
그림 목차	IV
Abstract	V
제 1 장 서 론	1
제 2 장 자속밀도와 온도의 관계식	4
제 3 장 실험 방법	11
3-1 자성체 조성 분석	11
3-2 큐리온도 측정 방법	12
3-3 발열체의 발열특성 측정 방법	14
제 4 장 실험 결과	18
4-1 감온페라이트의 조성분석 결과	18
4-2 비투자율 측정 결과	19
4-3 온도에 따른 자속밀도	20
4-4 온도에 따른 B,H 변화	21
4-5 온도에 따른 계산치, 측정치	25

4-6 자계와 온도 관계	27
4-7 시간에 따른 온도 측정결과	28
제 5 장 결 론	29
참고문헌	30



표 목차

표 2-1 using parameters	23
표 4-1 compositional analysis results	24



그림 목차

Fig. 2-1 Flux density through ferrite	7
Fig. 2-2 Dependence of B on temperature	10
Fig. 3-1 Scanning Electron Microscope	12
Fig. 3-2 temperature sensitive ferrite Qurite temperture measurement system	13
Fig. 3-3 Experimental configuration	14
Fig. 3-4 E ferrite	15
Fig. 4-1 Dependence of μ_r on temperature	17
Fig. 4-2 Dependence of B on temperature	18
Fig. 4-3 Dependence of Flux density, magnetic field on temperature	19
Fig. 4-4 Temperature of heat conductor according to Flux density of temperature sensitive ferrite	20
Fig. 4-5 Temperature of heat conductor according to Magnetic field of temperature sensitive ferrite	21
Fig. 4-6 change of temperture with time varying	23

Temperature quality of the complex heat conductor which uses
the temperature sensitive ferrite

Hyung kyung KANG

Department of Electrical Engineering

Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract - This study examined a complex heat conductor made of a Ni-Zn temperature sensitive ferrite with 10mm length and 3mm diameter and a metallic tube with 11mm length, 5mm external diameter, and 1.4mm thickness, and it also investigated the magnetic flux density that passes through an external magnetic field and temperature sensitive ferrite, and the temperature of complex heat conductor. The temperature sensitive ferrite used was a magnetic substance with very low permeability and 4 or so specific permeability at room temperature, and its permeability got sharply reduced around 50°C. This complex heat conductor reached 50°C when the magnetic flux density of a temperature sensitive ferrite was 0.05T and the external magnetic field was 5kA/m, and in the more magnetic flux density than that, its temperature rise got controlled by the influence of the Curie temperature of temperature sensitive ferrite. In the magnetic flux density of 0.05T, this pyrogen reached at 50°C within 30 seconds, and the temperature remained with a maximum difference of less than 2°C as time went by.

Key words : a temperature sensitive ferrite, Curie temperature,
heat conductor, temperature control

제 1 장 서 론

현재 암치료는 외관적 수술법, 방사선치료법, 항암화학법과 같은 3가지 방법이 주로 사용되고 있다. 이와 함께 보조요법으로 사용되는 온열치료(Hyperthermia)는 일부 종합병원에서 방사선치료와 항암화학요법과 함께 사용하여 좋은 결과를 얻고있다. 이 온열치료는 42 ℃~45 ℃의 열을 암조직에 가열하여 암을 치료하는 방법으로 전신온열치료보다는 국소온열법을 주로 사용된다. 마이크로파, 초음파, 고주파 등을 사용하여 환부에만 가온하는 방법으로 국소온열요법은 환자가 느끼는 신체적인 부담이 적고 안전하게 사용할 수 있는 방법이다.

우리 몸은 외부로부터 열을 받으면 인체내부의 장기를 보호하기 위해 발열 냉각시스템이 작동하게 된다. 이런 현상은 혈관이 확장돼 혈류를 보통 때보다 많이 통과시키게 되면 이 과정에서 땀이 나고 우리 몸은 정상체온을 유지한다. 그러나 종양조직은 정상조직에 비하여 열감수성이 높아 열에 의한 정상조직보다 혈관확장 기능이 떨어지기 때문에 쉽게 손상을 입고 죽게 된다. 온열치료는 방사선의 효과와 일부 항암제를 이용하는 치료효과를 높이는 작용이 있기 때문에 보조치료로써 많이 사용되고 있다.

온열요법에 의한 치료방법으로는 온수환류, 적외선, 초음파, R.F 유도가열, 초단파마이크로웨이브, 매식형 가열방법 등이 있으며 매식형 가열방법에는 금속전극의 매식, 마이크로웨이브 안테나의 매식, 발열체(thermal seed)의 매식등 여러 가지 방법이 있다. 몇몇 방법 등은 현재 우리나라에서도 임상적으로 응용하고 있다.

이러한 방법 중 외부에서 국부가열이 가능한 방법으로는 초음파, 마이크로웨이브, R.F유도가열법등이 이용되고 있으나 모두 45℃ 이상의 높은 온도 구역이 나타날 수 있어 열이 정상세포와 종양세포 모두를 손상시킬 수 있다. 바로 이러한 이유 때문에 정상세포의 손상을 줄이고 효과적으로 암세포를 손상시킬 수 있는 온열치료의 온도 범위가 매우 좁다.

유도자기장을 이용한 온열요법은 1957년 Gilchrist가 위장간의 전이성 암을 파괴하기 위하여 림프절 내부에 자성물질을 삽입하여 자기이력현상을 이용하여 열을 상승시켰음이 처음으로 보고되었다. 그는 또한 자기장은 정상성숙세포나 태아세포 모두 명확한 항반효과가 없음을 발표하였다. 최근에는 매식형 발열체에 대하여 아침입성 기술이 부각되고 있다. 즉, 발열체를 생체조직에 이식하여 자기장에 위치하게 되면 발열체가 발열하는 방법이다. 이 방법은 전자기장 집속법과는 달리 전기적인 접속 없이도 발열재료 표면에 발생된 유도과전류에 의하여 가열이 가능하게 된다. 또한 매식형 발열체를 가열하기 위해서는 비교적 낮은 강도의 자기장이 요구되므로 생체조직에 큰 영향이 없게 된다.

일반적으로 자성재료는 큐리온도(Curie Temperature)를 가지며 이 온도에 이르게 되면 자성을 잃게 된다. 이러한 성질을 이용하여 페라이트와 같은 자성재료는 그 조성을 변화시킴에 의해 큐리온도를 제어할 수 있다. 이러한 방법을 사용하게 되면 온도를 보다 일정하고 균일하게 유지가 가능하다.

감온 페라이트는 큐리온도 부근에서 자성이 급격하게 변화하는 특성을 가져 주로 온도계측 및 일정온도 제어에 많이 응용되고 있

다. 예로써 항자력의 급격한 변화를 이용하는 자기증폭기[1], 자속의 급격한 변화를 이용하는 리드스위치[2, 3], 원격온도계측[4, 5] 등이 있다. 또한 감온 페라이트의 큐리온도는 암 치료법 중의 하나인 하이퍼스미어(Hyperthermia)에도 이용되고 있다. 이것은 소프트 히팅(soft heating)법[6-9]으로 알려진 것으로 상온 부근의 비교적 낮은 큐리온도를 가지며, 손실이 큰 감온 자성체를 발열체로서 사용하는 것이다. 이 자성체는 고주파 자계 중에 설치되어 자성체에서 발생하는 열을 발열원으로 이용하는 저온 비접촉 가열 방식이다. 특히 감온 페라이트는 조성 조절에 의해 비교적 저온의 큐리온도 조절이 용이하여 여기에 금속링을 부착시키면 감온 페라이트를 통과하는 시변자속에 의해 부착된 금속링을 가열시킬 수 있다.

본 논문에서는 금속튜브가 감온 페라이트 전면을 감싸는 복합발열체에 대한 온도제어특성에 대해 검토하였다.

제 2 장 자속밀도와 온도의 관계식

자속밀도와 온도의 관계식은 식(1) - 식(9)과 같이 유도되었다

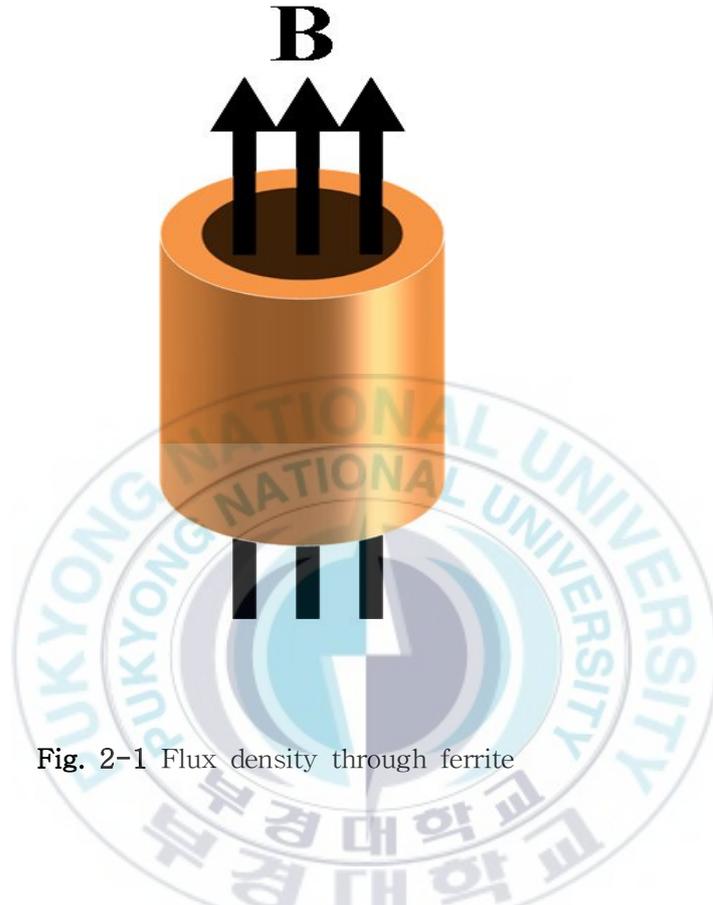


Fig. 2-1 Flux density through ferrite

Fig. 2-1와 같이 자속은 감은 페라이트 만을 통과하는 것을 가정하였고 외부 인가자계에 의한 온도상승은 계산에서 고려하지 않았다.

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2-1)$$

식(2-1)은 Maxwell 방정식의 Faraday 법칙이며 감은 페라이트를 통과하는 시변자속밀도 B에 의해 주위에 전기 E가 발생하는 것을 나타낸다.

원통좌표에서 자계는 균일한 분포를 가지며, 균일하게 분포하는 자계는 z 축에 관하여 원통대칭을 이루기 때문에 유도된 전기 역시 z 축에 관하여 원통대칭을 나타내므로 Φ 값과는 무관하다. B가 z 와 무관하므로 유도된 전기도 z와 무관하다. 따라서 유도된 전기는 식(2-2)이다.

$$E = - \frac{wr_i^2 B_0}{2r} \cos \omega t \quad (2-2)$$

식(2-2)을 실효값으로 계산을 하면 다음 식 (2-3)이다

$$E = - \frac{wr_i^2 B_0}{\sqrt{2} r} \cos \omega t \quad (2-3)$$

이 전계에 의해 금속 발열체 내부에는 유도전류가 발생하여 발열체 내부에는 식(2-4)와 같은 전력 p 가 발생된다.

$$p = \sigma_{cu} E^2 \quad (2-4)$$

식(2-5)은 p 에 대한 시간 평균전력 P_{ave} 를 나타낸 것이며

$$\begin{aligned} P_{ave} &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt \quad (2-5) \\ &= \frac{\sigma_{cu} \omega^2 r_i^4 B_0^2}{4r^2} [W] \end{aligned}$$

식(2-6)은 P_{ave} 를 발열체 체적에 대해 적분한 것으로 발열체에 공급되는 전력 P 를 나타낸 것이다.

$$P = \int P_{ave} dv \quad (2-6)$$

이 전력에 의해 발열체에는 열이 발생하게 되며 식(2-7)와 같이 온도가 상승하게 된다.

$$\Delta T = RP \quad (2-7)$$

이 식에서 R은 열저항으로 식(2-8)과 같이 발열체의 형태에 따른 기하학적 열저항 R_G 와 열저항을 ρ_H 로 표현할 수 있다.

$$R = \rho_H R_G = \frac{\rho_H}{2\pi l} \ln \frac{r_0}{r_i} \quad (2-8)$$

발열체에 공급되는 전력은 발열체 내부반경에서 외부반경으로 전달되는 것으로 하였다. 이것은 인가 주파수의 파장에 비해 발열체의 두께가 매우 작아 집중정수 회로방식으로 고려하여도 타당할 것으로 생각된다.

식(9)은 식(1)-식(8)로부터 유도된 자속밀도와 온도의 관계식을 나타낸 것이다.

$$\Delta T = \frac{\rho_H \sigma_{cu} \omega^2 r_i^4 B_0^2}{2\pi \cdot 4} \left(\ln \frac{r_0}{r_i} \right)^2 \quad (2-9)$$

이 식에서 온도는 자속밀도 B의 자승에 비례하여 증가하게 된다. 여기서 σ_{cu} 는 구리 전기전도도, ρ_H 는 열저항율, ω 는 각주파수, r_i , r_o 는 구리튜브의 내경 및 외경이다.

Table I 은 온도를 계산하기 위해 이 식에서 이용된 제 정수를 나타낸 것이다.

f[kHz]	r _i [mm]	r _o [mm]	l[mm]	ρ _H [m°C/W]	σ _{cu} [mhos/m]
5	3.6	5	11	0.0105	5.8×10 ⁷

Table 2- I using parameters

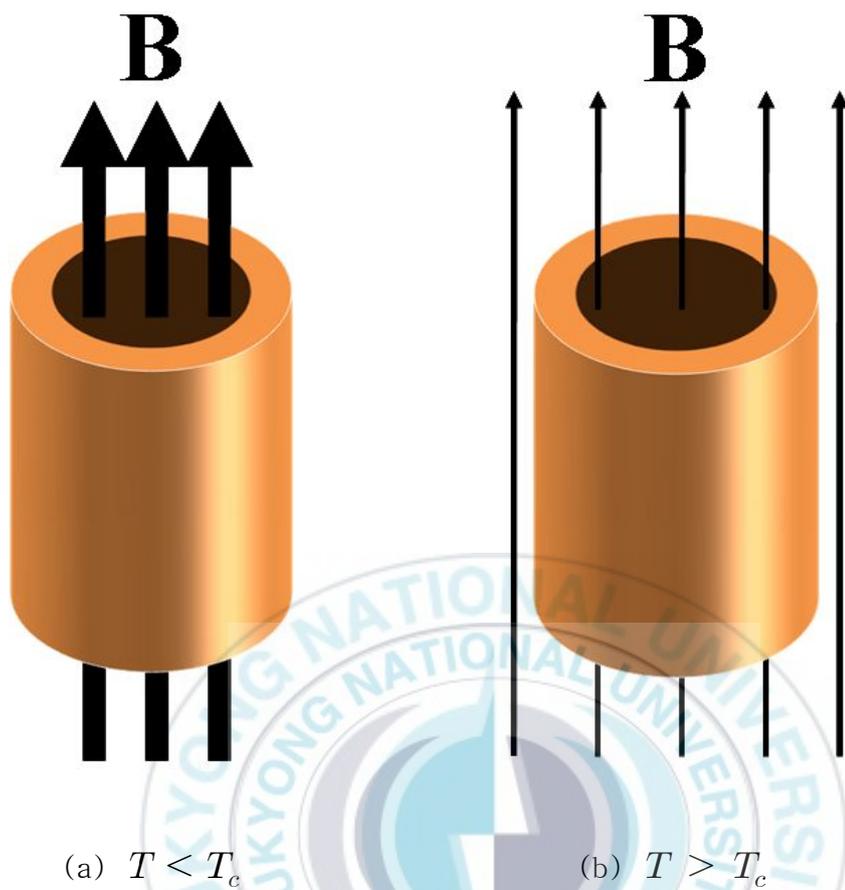


Fig. 2-2 Dependence of B on temperature

그림 2-2은 발열체에 자속을 인가했을 때를 나타낸 것으로 감온페라이트를 이용한 발열체에 자속을 인가하면 온도가 서서히 올라가고 큐리온도에 이르게 되면 강자성체는 상자성체로 천이되어 자성을 잃어버리게 된다. 이러한 성질을 이용하여 큐리온도가 온열요법 온도영역인 41.8℃에 해당하는 자성재료를 이용하여 발열체로 사용한다면 자성체의 온도가 큐리온도에 접근할수록 자성체는 그 자성을 상실하게 되어 유도자기장에 의한 열 발생이 줄어들게 된다. [11-16] 그 결과로 발열체는 자연 냉각되고 자성체는 서서히 자성을 회복하게 된다. 자성이 회복되면 자성체는 유도자기장에 의하여 온도가 다시 상승하게 되고 또 다시 큐리온도에서 자성을 잃어버려 냉각되게 된다. 이와 같은 과정이 반복되면 발열체는 큐리온도 부근에서 재료고유의 특정한 온도를 유지하게 되어 발열체의 온도가 자동적으로 조절된다.[14]

제 3 장 실험 방법

3-1 자성체 조성분석

감온페라이트의 조성은 Zn 농도에 따라서 큐리온도가 결정이 된다. 본 실험에서 사용되어진 감온페라이트는 길이 10mm, 직경 3mm인 페라이트를 분석하기 위해 주사전자 현미경 Scanning Electron Microscope를 사용하여(제작사 및 모델명: HITACH, S-2400)을 사용하여 페라이트 조성 분석을 하였다



Fig. 3-1 Scanning Electron Microscope

3-2 큐리온도 측정방법

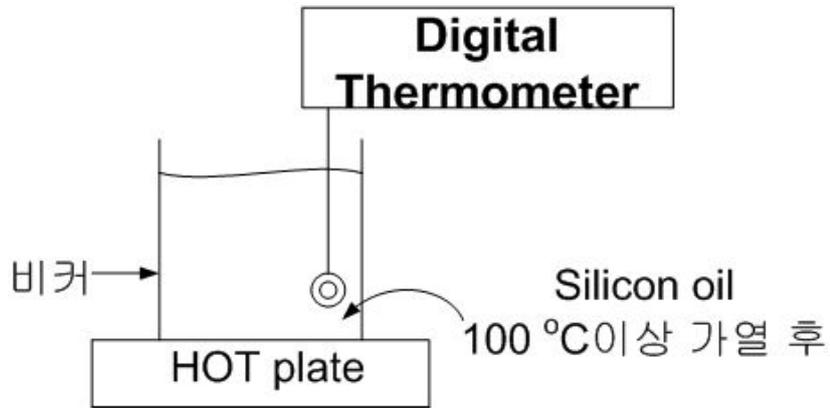
감온페라이트를 길이 15mm, 내경 3mm, 외경 5mm인 유리석영관에 넣고 석영관 주위에 직경 0.5mm인 동선을 18턴 감은 후 LCR Meter(GS-4311B)에 연결하였다. 그리고 비커에 silicon oil (KF-96, 100CS)을 50ml 채운 후 Hot plate stirrer를 이용하여 100℃ 이상 가열 후 silicon oil에 제작된 감온페라이트를 넣고 약 100℃에서 25℃까지 자연냉각하면서 측정 온도변화에 따른 감온페라이트의 L값을 측정하였다.

측정된 인덕턴스로 부터 비투자율을 계산하였다.

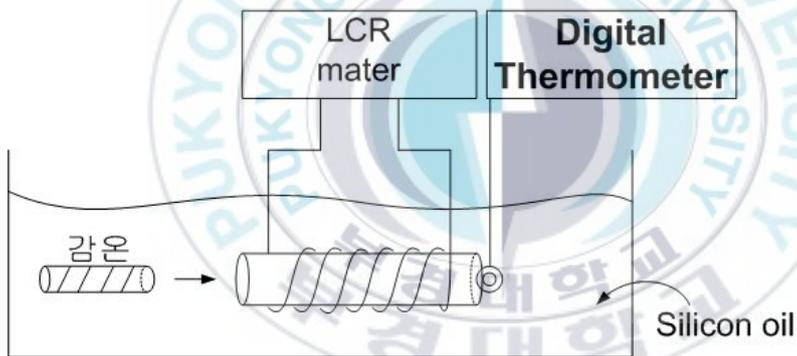
인덕턴스 $L = \frac{\mu_0 \mu_r S N^2}{l}$ 이다.

$$\mu_r = \frac{lL}{\mu_0 S N^2} \quad [A/m] \quad (3-1)$$

여기서 S는 단면적, l은 길이, N은 코일의 턴수, μ_r 는 비투자율이다. 온도에 대하여 길이, 코일의 턴수, 단면적은 변하지 않으므로 투자율 μ 가 변함으로 인덕턴스 L이 변함을 알 수 있다.



(a) heating of silicon oil

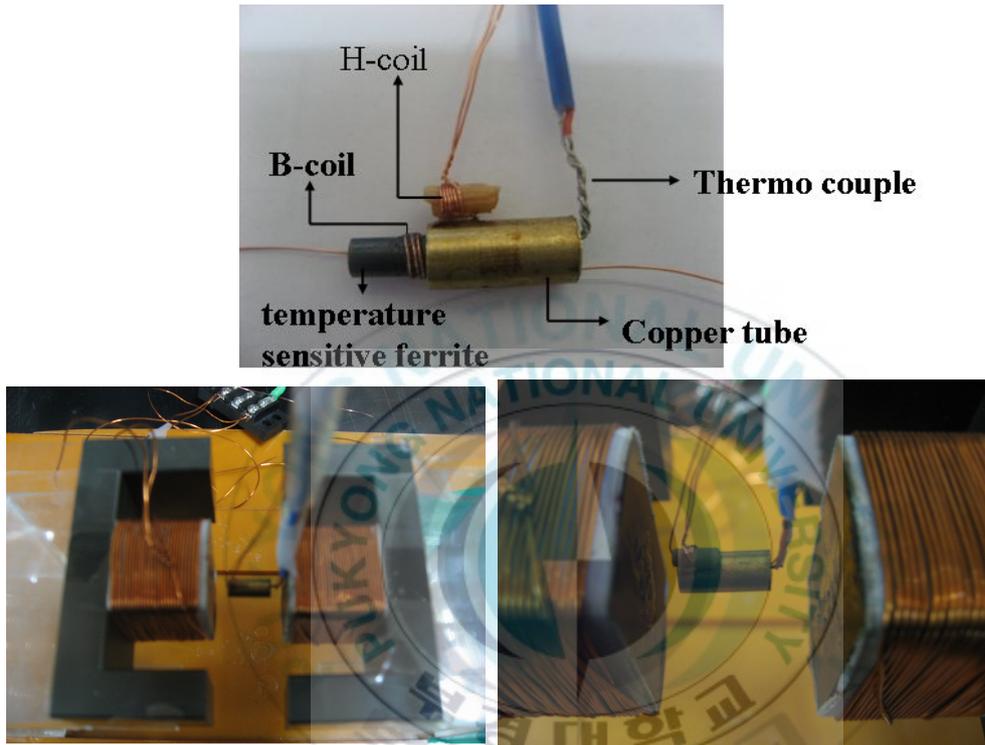


(b) temperature sensitive ferrite measurement of impedance

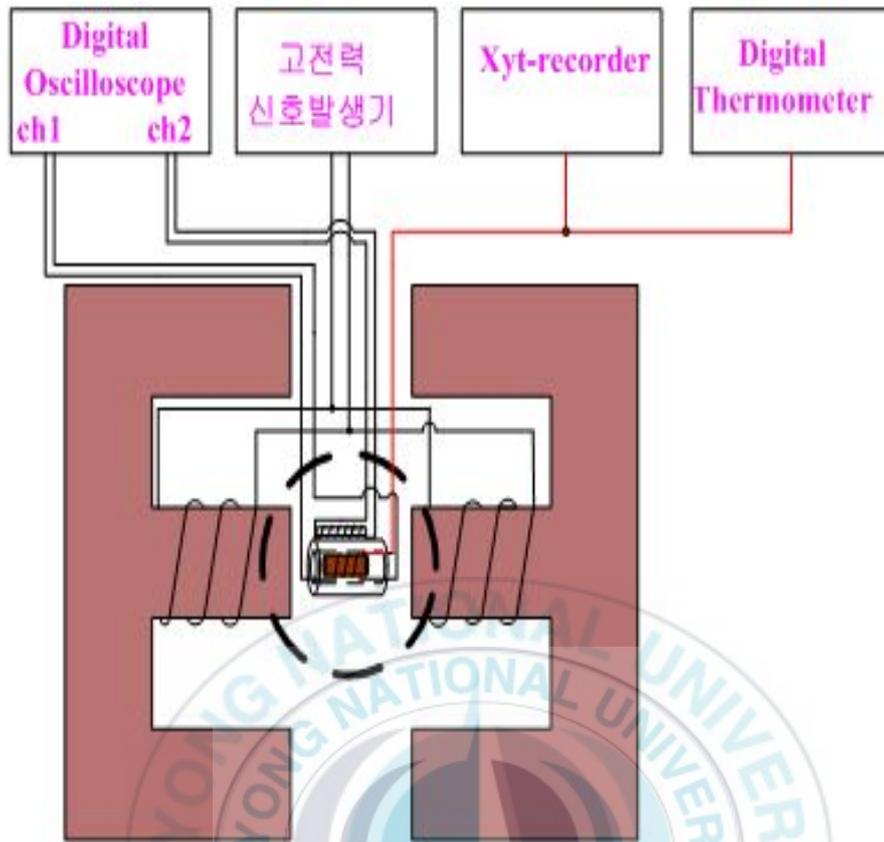
Fig. 3-2 temperature sensitive ferrite temperature measurement system

3-3 발열체의 발열특성 측정방법

Fig. 3-3은 온도와 자속밀도, 자계를 측정하기 위한 실험 구성도를 나타낸 것이다.



(a) photograph of ferrite



(b) diagram of Experiment

Fig. 3-3 Experimental configuration

발열체의 길이는 11 mm, 외경 5 mm, 두께 1.4 mm인 구리튜브를 사용하였다.

Fig. 3-3(a)에서와 같이 인가되는 자계를 측정하기 위해 발열체의 근접한 위치에 H-coil(지름 0.2 mm, 6턴)을 고정하였다. 온도측정은 디지털온도계(DTM-305), 자속밀도와 자계 측정은 오실로스코프, 시간에 대한 온도측정을 위해 XYt 레코드(PM8271), 교류자기장을 발생시키기 위해 고전력 신호발생기(BP4610)를 사용하였다. 동작주파수는 5kHz로 하였고 인가전류는 최대 30A까지 인가하였다. Fig. 3-3(b)와 같이 외부자계를 인가하기 위해 E자형 페라이트(A 70.5 ± 1.0 , B 48.0 , C 21.65 ± 0.35 , D 31.6 ± 0.4 , E 22.25 ± 0.35 , F 32.95 ± 0.25 mm, 지름 0.5mm, 28턴, 병렬연결) 가운데에 감은 페라이트가 삽입된 발열체를 두었다. 감은 페라이트에 동작자속밀도를 측정하기 B-coil(지름 0.2mm, 3턴)을 감았고 온도를 측정하기 위해 발열체와 감은 페라이트 사이의 작은 공간에 열전대를 끼워 넣었다.

온도에 대한 자속밀도 측정은 가열된 실리콘 오일 속에 감은 페라이트만 넣어 약 70℃에서 자연냉각하면서 실온까지 측정하였다. 이 때 감은 페라이트의 시작 자속밀도는 0.17[T]와 0.2[T]로 하였다. 감은 페라이트와 발열체를 사용하여 측정하였다.

본 실험에서 실내 온도를 20℃를 유지하였다. 자속밀도 증가에 따른 발열체의 온도는 외부자계를 0에서부터 시작하여 약 16 kA/m 까지 인가하여 측정하였다.

오실로스코프에서 측정 한 dB 를 다음식을 이용하여 B 와 H를 구할수 있다.

$$V_p = \sqrt{2} (10^{\frac{dB}{20}}) \quad (3-2)$$

$$B = \frac{V_p}{N \times 2\pi f \times S} \quad (3-3)$$

$$H = \frac{V_p}{N \times 2\pi f \times \mu_0 \times S} \quad (3-4)$$

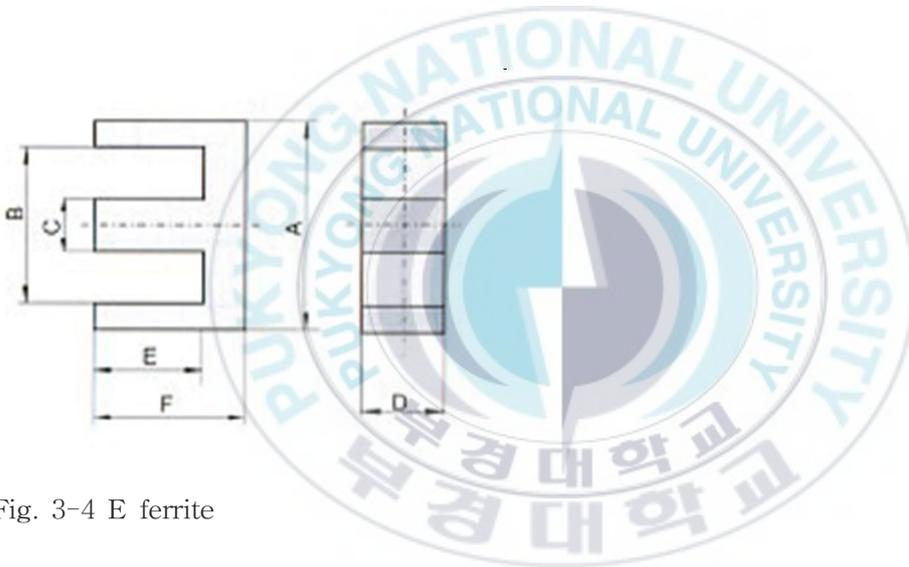


Fig. 3-4 E ferrite

제 4 장 실험 결과

4-1 감온페라이트 조성분석 결과

아래 표는 조성분석한 결과이다.

Element	Line	Weight%	K-Ratio	Cnts/s	Atomic%
O	Ka	20.90	0.0966	97.17	48.69
Si	Ka	1.07	0.0048	11.91	1.42
Fe	Ka	50.95	0.5017	428.37	34.00
Ni	Ka	6.23	.0570	35.39	3.96
Cu	Ka	2.83	.0245	12.74	1.66
Zn	Ka	18.01	.1559	66.38	10.27
total		99.9%			

표 4-1 compositional analysis results

조성분석결과 Ni 6.23 % Zn 18.01 %임을 확인하였다.

감온페라이트는 조성을 변화시킴으로 큐리온도를 조절 할 수 있다.

4-2 비투자율 측정결과

Fig. 4-1는 감온 페라이트의 온도에 대한 비투자율 변화를 나타낸 것이다. 실험에 이용된 감온 페라이트의 비투자율은 실온에서 4로 매우 낮고 40 °C 이상에서부터 급격히 감소하여 60 °C 이상에서는 거의 1을 나타내었다.

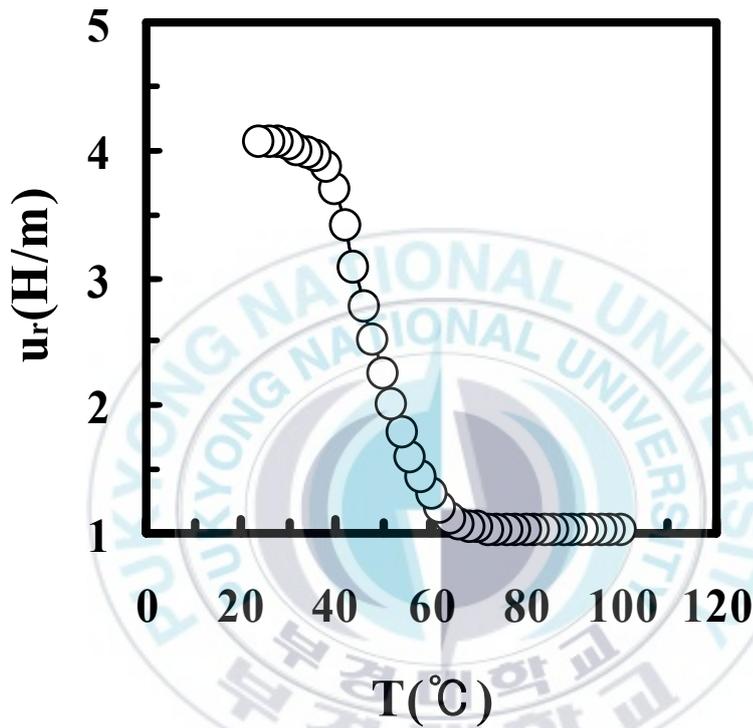


Fig. 4-1 Dependence of μ_r on temperature

4-3 온도에 따른 자속밀도

Fig. 4-2는 온도에 대한 자속밀도 변화를 나타낸 것이다. 자속밀도의 온도에 대한 변화는 비투자율의 온도변화와 같이 40 °C 이상의 온도에서 급격히 감소하였다. 60 °C 이상에서는 시작자속밀도가 0.17 T의 경우에는 0.06 T, 0.2 T에서는 0.07 T로 감소하였다. 이것은 감온 페라이트에서 발생하는 자속밀도가 아닌 외부인 가자계에 의한 것이다.

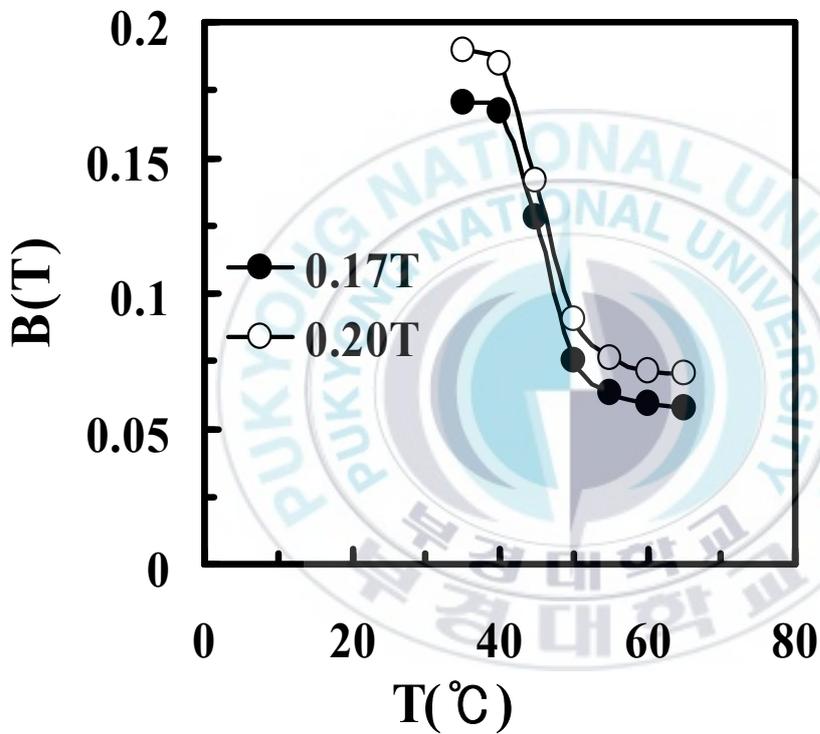
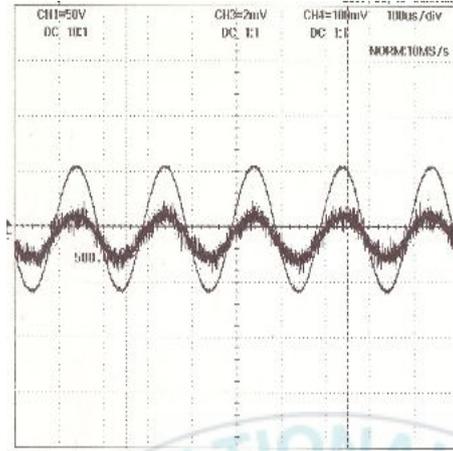


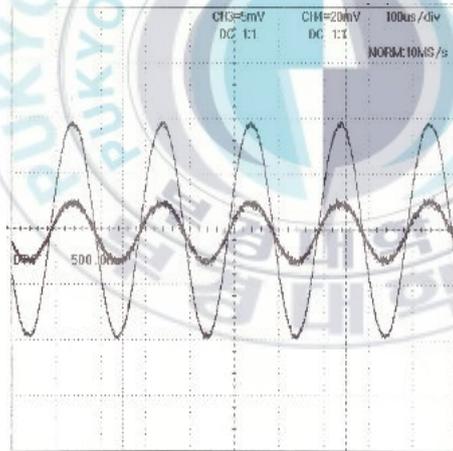
Fig. 4-2 Dependence of B on temperature

4-4 온도에 따른 B,H 변화

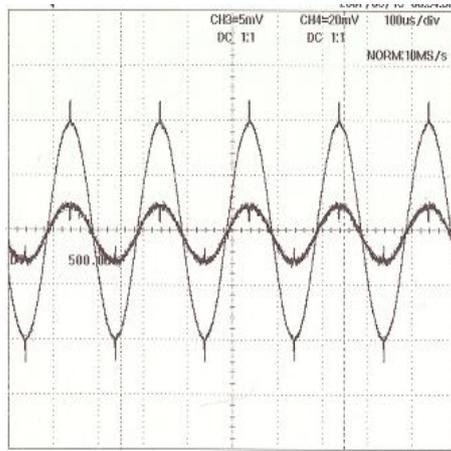
다음 파형은 0.17[T]에서의 각 온도에 따른 B와 H 파형이다



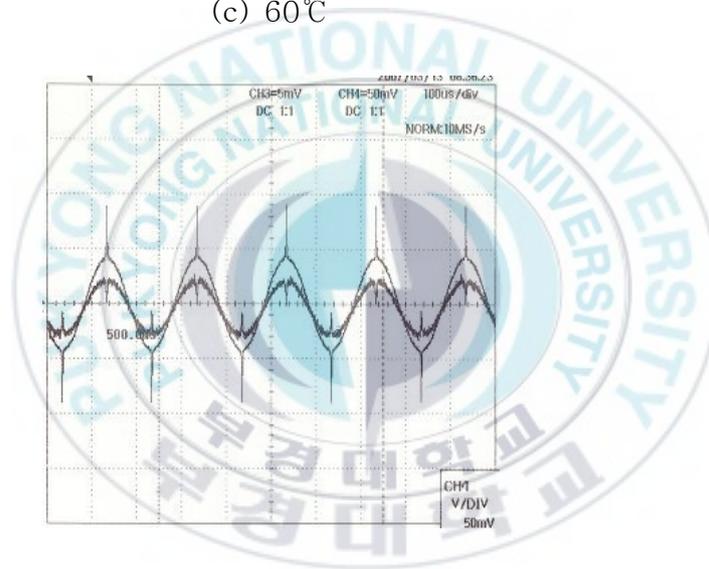
(a) 전원



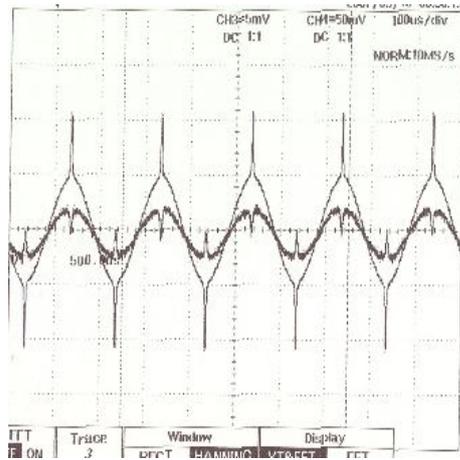
(b) 65°C



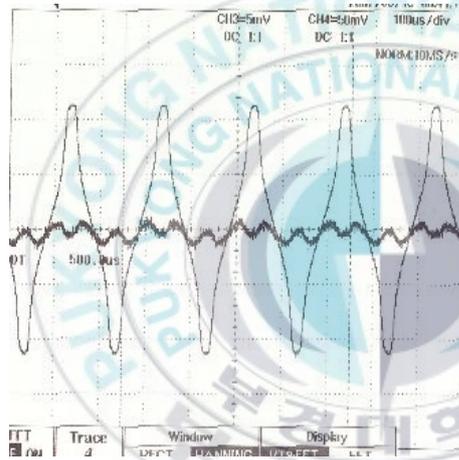
(c) 60°C



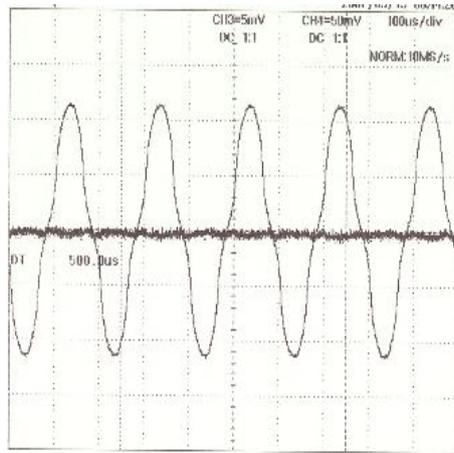
(d) 55°C



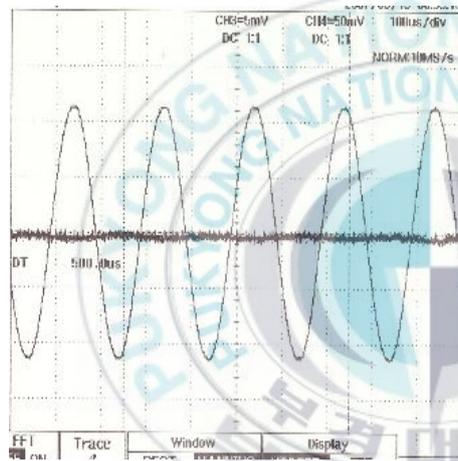
(e) 50°C



(f) 45°C



(g) 40°C



(h) 35°C

Fig. 4-3 Dependence of Flux density, magnetic field on temperature

4-5 온도에 따른 계산치, 측정치

Fig. 4-4는 자속밀도에 대한 발열체 온도의 계산치와 측정치를 나타낸 것이다.

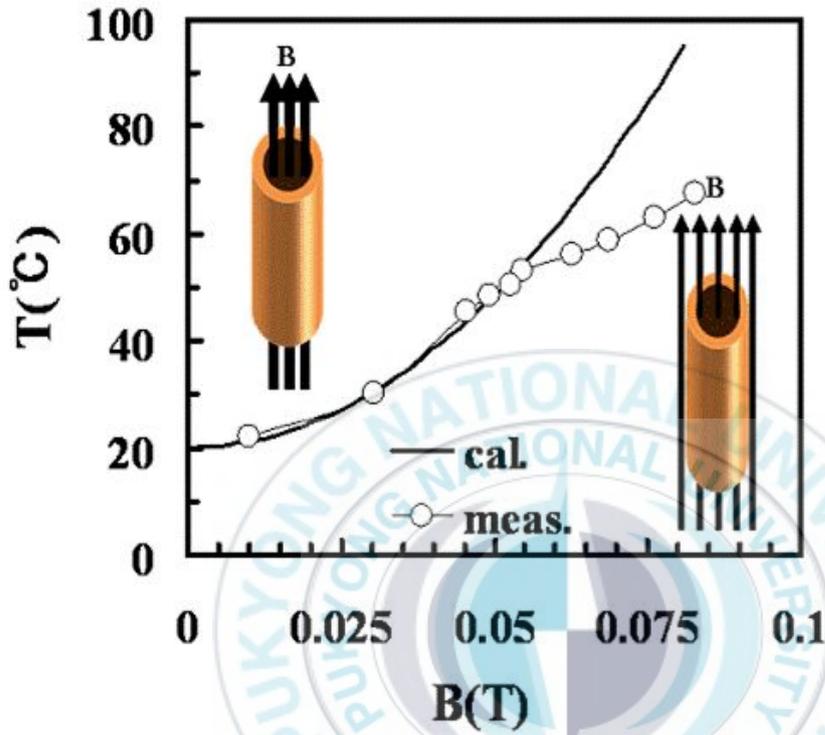


Fig. 4-4 Temperature of heat conductor according to Flux density of temperature sensitive ferrite

외부인가자계에 의해 감온 페라이트 내부에는 자속밀도가 발생하여 이로 인해 발열체의 온도가 증가하였다. 약 $B=0.05$ T까지는 온도의 측정치는 B^2 에 비례하여 50 °C까지 증가하고 계산치와 일치하였다. $B=0.05$ T 이상에서는 계산치는 B^2 에 비례해서 증가하는 반면 측정치는 단순 증가하였다. 이 실험결과는 50 °C 이하의 온도에서는 계산식에서 가정하고 있는 것과 같이 자속밀도가 감온 페라이트를 통과하지만, 이 이상의 온도에서는 감온 페라이트에 의한 자속밀도는 소멸하는 것으로 생각된다.



4-6 자계와 온도 관계

Fig. 4-5은 Fig. 4-4의 실험에서 인가된 자계와 온도 사이의 관계를 나타낸 것이다. 발열체의 온도가 약 50℃까지는 약 5kA/m의 자계가 인가되었고 인가자계의 증가와 함께 온도가 단순 증가하여 하였다.

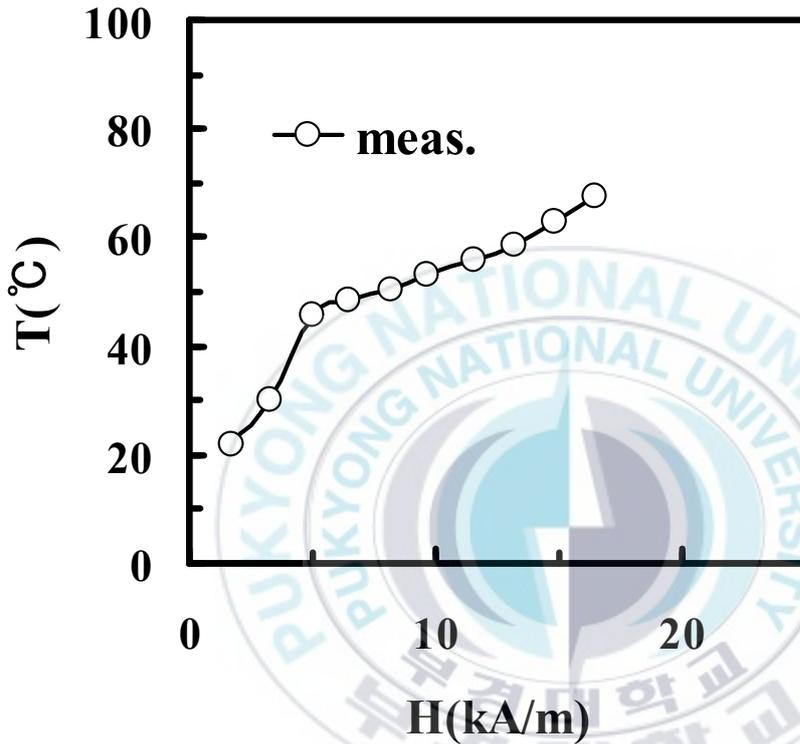


Fig. 4-5 Temperature of heat conductor according to Magnetic field of temperature sensitive ferrite

Fig. 4-4의 실험결과에서 보여지는 온도의 계산치와 측정치의 차이는 외부인가자계가 크게 관련되는 것으로 생각된다. 따라서 이것은 자성체의 투자율 개선에 의해 해결될 것으로 기대된다.

4-7 시간에 따른 온도 측정결과

Fig. 4-6 은 발열체의 온도를 시간에 대해 나타낸 것이다.

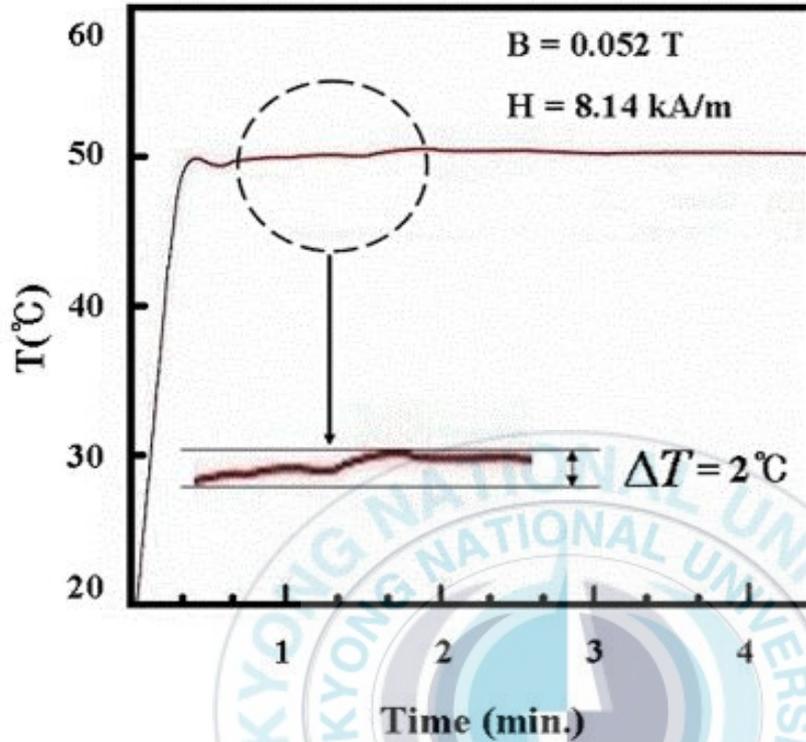


Fig. 4-6 change of temperature with time varying

이때 온도가 일정하게 유지하였을 때의 자속밀도는 0.052 T였다. 발열체의 온도는 약 20초에서 정상상태에 이르고 시간이 경과함에 따라 약 2 °C의 온도변화를 나타내어 감온 페라이트의 온도제어특성을 확인할 수 있다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 금속튜브가 감온 페라이트 전면을 감싸는 복합발열체에 대한 온도특성에 대해 검토하였다. 자성체는 40 ℃ 이상에서 투자율과 자속밀도가 급격히 변화하는 Ni-Zn 계열의 감온 페라이트를 이용하였다. 50 ℃ 이하의 온도에서는 온도의 계산치와 측정치가 잘 일치하여 감온 페라이트의 자속에 의해 금속튜브가 가열되고 있음을 알 수 있었다. 발열체의 온도를 약 59 ℃로 유지한 경우 시간에 대한 온도가 2 ℃ 이내로 변화하여 감온 페라이트의 온도제어특성을 확인할 수 있었다.



참 고 문 헌

- [1] K. Yamasawa and K. Murakami, "A New Magnetic Amplifier Utilizing Temperature Dependence of Coercive Force," IEEE Trans. Magn. **12** pp. 801-803, 1977.
- [2] N. D. Miller, "The Temperature Sensing Reed Switch in Proc., 21st Annual National Relay Conf., 19, 1973.
- [3] U. Kato and M. Endo, "The Thermal Reed Switch," in Proc. 3rd Int. Relay Conf. 1974.
- [4] K. Seki, J. shida and K. Murakami, "A New Temperature Telemeter with Temperature-Sensitive Mangetics Cores, IEEE Trans. Magn. **14**, pp 969-971, 1978.
- [5] Y. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, K. I. Arai, M. Inoue, "Remote Temperature Sensing System" IEEE Trans. Magn. **36**, No. 5, pp3643-3645, 2000.
- [6] M. Jojo, A Murakami, F. Sato, H. Matsuki and T. Sato, "Consideration of Handy Excitation Coil for Inductive Hyperthermia by Simulation." J. Magn. Soc. Jpn. **25**, 147-1150, 2001.
- [7] A Murakami, F. Sato, H. Matsuki, T. Satoh and S. Yamada, "Consideration of Thermosensitive Magnetic material for Hyperthermia," J. Magn. Soc. Jpn. **25**

1143-1146, 2001.

- [8] M. Jojo, F. Sato, H. Matsuki, S. Yamada and T. Sato, "Hybrid Heater for High-Temperature Inductive Hyperthermia," J. Magn. Soc. Jpn. **26** pp589-592, 2002.
- [9] J. Shimizu, F. Sato, H. Matsuki, T. Sato, M. Sendoh, K. Ishiyama and K. I. Arai, "Effective area of Hyperthermia using Implanted Heater," J. Magn. Soc. Jpn. **27** 456-459, 2003.
- [10] Vaupel, P., Kallinowski, P. "Physiological effects of hyperthermia : Recent result" Cancer Res.104:71-109, 1987
- [11] K. Yamasawa and K. Murakami, "A new magnetic amplifier utilizing temperature dependence of coercive force", IEEE Trans. Magn. , 12 80 : 803, 1997
- [12] N.D. Miller, "The temperature sensing reed switch", Proc. 21 Annual National Relay Conf. NO 19, 1973
- [13] K. Seki, J. Shida and K. Murakami, "A new temperature telemeter with temperature-sensitive magnetic cores", IEEE Trans. Magn. , 14 NO. 5, 969 : 971, 1978
- [14] 김철구, 남균, "자성체의 이론과 응용", 청문각출판사
- [15] 진병문, "자기공학의 기초와 응용", 두양사출판사
- [16] 김영희, "자기 및 자성재료", 아이티씨출판사
- [17] Hyeon Seol Cho, Min Cheol Kim, Ho Nyeon Jung, Young Kon Kim, "The exothermic characteristics of the self regulating

thermo-seed for the hyperthermia", 1995

- [18] 김남현, 김덕원, 김원기, 윤형로, 이경중, 이운선, 의용공학입문, 신광출판사 283-287. 1992
- [19] 강대하, 김민수, 이덕출, 이준용, 한상옥, 황명환, 전기응용, 동일출판사 136-145. 1999
- [20] 엄기홍, 김영학, 이병도, 최재하, 신광호, 전중창, 이유기, 김용평, 유수엽, 전자기학Ⅱ 3판, 인터비전, 355-365, 394-400. 2001
- [21] Y. Kotsuka, M. Hiraoka, M. Kikuchi : Effect of living body and measurement of electromagnetic field, IEEJ Instrumentation technology investigation technical committee concerning effect of living body of high frequency electromagnetic field, p 215 (Corona publishing Co., LTD., Tokyo, 1995)
- [22] K. Murakami, H. Matsuki : Thermosensitivity magnetism applied engineering, p. 48 (Baifukan, Tokyo, 1993)
- [23] H. Matsuki : Bioelectromagnetic Engineering, p. 125 (Corona publishing Co., LTD., 1999)
- [24] M. Jojo, F. Sato. H. Matsuki, S. Yamada. and T. Sato : J. Magn. Soc. Jpn., 26, pp. 589-592 (2002)
- [25] M. sendoh, K. Ishiyama, and K. I. Arai : J. Magn. Soc. Jpn., 26, pp. 649-652 (2002)
- [26] N. Nakamura, H. Ikeda, K. Sakamoto, H. Kanai : BME JJME, 25, 114 (1987)

- [27] Y. Nikawa, M. Kikuchi, T. Terakawa, T. Yoshida, T. Matsuda
: Jpn. J. Hyperthermic Oncol., 4, 151 (1988)
- [28] A. Murakami, F. Sato, H. Matsuki, T. Sato, S. Yamada :
BMEJME, 38, (suppl. 2), 132 (2000)



감사의 글

감사하는 마음을 진 할 수 있도록 멀고도 험한 것처럼 느껴지던 시간들을 사랑으로 아끼고 배려해 주신 부모님, 가족들에게 진심으로 감사드립니다.

이 논문을 완성되기까지 아낌없는 학문의 지도 뿐만 아니라 항상 세심한 배려와 따뜻한 격려로 온정을 베풀어 주신 김영학 교수님께 머리 숙여 감사를 드립니다. 또한 논문을 심사하는 과정에서 많은 격려와 조언을 해주신 김인동 교수님과 장윤석 교수님께 감사하는 마음 전합니다. 그리고 많은 관심을 갖고 조언을 해주신 노의철 교수님, 실험하는데 장비를 아낌없이 빌려주신 황용연 교수님, 그리고 전기공학과 모든 교수님들에게 감사드립니다.

또한, 항상 곁에서 도와주고 격려해주신 전기 물성 실험실에서 기영 형, 수열, 태원, 태현, 재석을 비롯한 영규, 대권, 성대, 영호, 진수, 병호, 재현, 병철, 성환, 성훈에게 미안한 마음과 감사하는 마음 전하고, 대학원 생활을 하면서 많은 도움을 준 강경숙, 박정민, 정승환, 곽은정 조교님들에게 감사드립니다.

어린 시절부터 같이한 친구들 관협, 성욱, 현용, 대홍, 정현, 준석, 종수, 명수, 남석, 정연, 영근, 동희, 명신, 서연, 진숙, 효주, 이름을 다 말 할 수 없지만 친구들 모두 사랑한다. 그리고 논문 작업에 도움을 준 나희에게도 감사하고, 그리고 KERI에 조한구 박사님, 대훈 형, 유정에게 감사한 마음 전합니다.

이제 새로운 출발을 위해 한걸음 더 나아 갈수 있도록 도와주신 모든 분들에게 다시 한번 감사드립니다. 지금까지 힘든 생활에도 불고하고 헌신적인 사랑으로 보살펴 주신 부모님과 누나, 동생, 매형, 친지들에게 이 논문을 바칩니다.