

감온 페라이트를 이용한 비접촉 온도측정시스템의 감도특성

신광호*

경성대학교 멀티미디어공학과
부산시 남구 대연3동 110-1, 608-736

김영학

부경대학교 전기공학과
부산시 남구 용당동 산100, 608-739

(2003년 9월 8일 받음, 2004년 1월 30일 최종수정본 받음)

비접촉 온도측정 시스템을 구현하기 위하여 감온페라이트를 이용하여 제작한 인덕턴스소자와 캐패시터를 접속하여 LC공진형 센서를 구성하고, 비접촉 온도계측성능에 대하여 조사하였고, 송수신기 사이의 거리에 대한 측정감도에 대하여 검토하였다. 감온 페라이트가 가지는 투자율의 온도의존성에 의해서 제작한 센서의 인덕턴스와 공진주파수가 변화함을 알 수 있었고, 공진주파수의 변화를 비접촉으로 검출함으로써 비접촉으로 온도를 검출할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 비접촉 측정 감도는 송·수신기사이 거리의 6승에 비례하는 감소하는 것을 알 수 있었다.

주제어 : 비접촉 계측, 온도, 감온 페라이트, 공진주파수

I. 서 론

인체 내와 같이 격리된 공간의 내부나 움직이고 있는 물체 내에서의 국부적인 온도를 측정하고자 할 때에는 측정된 데이터를 유선으로 외부에 송신하기가 용이하지 않기 때문에 비접촉으로 온도에 대한 정보를 송신하는 방법이 요구된다. 또한, 이런 목적을 위한 센서는 가능한 한 소형이어야 하며 장시간 구동될 수 있어야 하므로, 배터리와 같은 전원을 탑재하지 않고 외부로부터 에너지를 비접촉으로 공급하여 구동하는 것이 바람직하다. 근거리에서 비접촉으로 에너지를 공급하는 방법으로는 광을 이용하는 방법, 초음파를 이용하는 방법, 전자파를 이용하는 방법, 그리고 교류의 자계를 이용하는 방법 등이 있으나, 이 중 큰 에너지를 비교적 간단한 방법으로 전송할 수 있고, 차폐물의 유무나 외부환경에 비교적 구애를 적게 받으면서 에너지를 전송할 수 있는 교류 자계를 이용하는 방법이 가장 유용하다고 할 수 있다[1, 2]. 한편, 온도를 측정할 수 있는 센서소자 중 하나로서, 측정하고자 하는 온도영역에서의 온도변화에 대하여 자기적 특성이 민감하게 변화하는 페라이트소자, 즉 감온페라이트의 이용이 제안되어 왔다[3, 4]. 감온 페라이트를 이용한 온도계측방법은 온도변화에 대한 감온 페라이트의 보자력, 포화자속밀도, 투자율 등의 변화를 검출하는 것이다. 이러한 변화를 통하여 비접촉으로 온도를 계측하기 위해서는, 감온 페라이트에 의해 발생하는 자속, 즉 온도의 변화에 따라 민감하게 변화하는 자속을 근거리로 이

격되어 있는 검출코일을 이용하여 검출하는 방법[5]과 비교적 먼 거리에서 온도를 측정하기 위해서는 센서소자에 전지와 발진자를 부착시켜 발진주파수의 변화를 비접촉으로 송·수신하여 온도를 측정하는 방법[6] 등이 제안되어 왔다. 최근 본 연구그룹에 의해서, 좁은 온도영역에서 투자율이 급격하게 변화하는 감온 페라이트를 이용하여, 특정온도의 상승여부를 감시하기 위한 비접촉 온도계측시스템이 제안되었다[7, 8]. 이 계측시스템은 송·수신기와 감온페라이트를 이용한 인덕터소자를 캐패시터소자와 연결시켜 특정주파수에서 공진을 일으킬 수 있는 센서소자로 구성되며, 온도의 변화에 따르는 인덕턴스변화(감온페라이트의 투자율의 온도의존성에 의함)를 통하여 센서소자의 공진주파수가 변화하는 것을 송·수신기를 이용하여 비접촉으로 검출하는 것이다. 그러나 이러한 센서를 실제로 응용하기 위해서는 송·수신기 사이의 거리 따른 감도특성을 명확히 하여 적용이 가능한 응용을 찾는 것이 필요하다. 본 논문에서는 LC공진형 감온페라이트센서를 이용한 비접촉 온도계측시스템에 있어서 온도검출방법을 설명하고, 송·수신기와 센서의 위치에 따른 출력감도의 변화에 대하여 검토한 결과에 대하여 보고한다.

II. 온도측정방법

그림 1(a)는 LC공진형 센서와 비접촉 송·수신기를 이용하여 온도를 계측하는 방법을 설명하기 위한 개략도를 나타낸 것이다. 제작한 시스템은 교류자계를 발생시킴으로써 센서소자에 비접촉으로 에너지를 공급할 수 있는 송신기와, 온도

*Tel: (051)620-4353, E-mail: khshin@star.ks.ac.kr

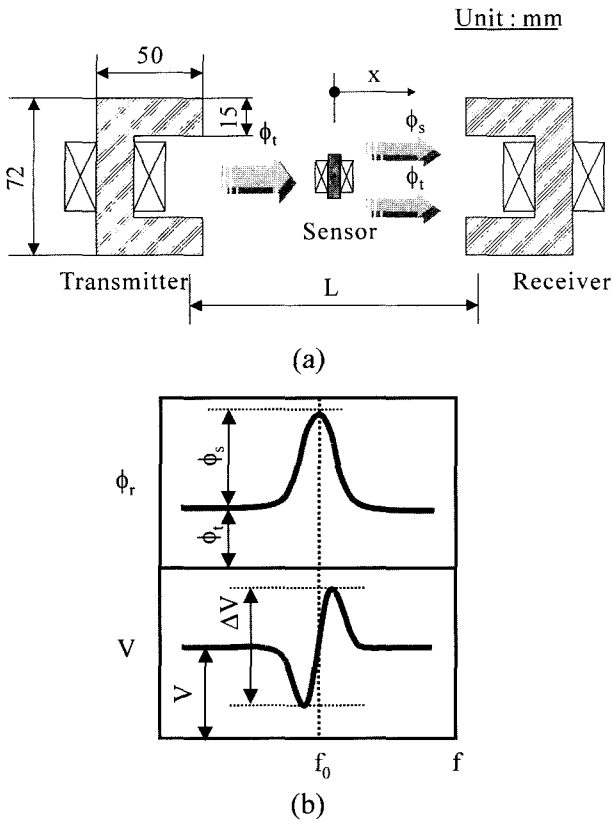


Fig. 1. Schematic view of wireless temperature sensing system using temperature sensitive ferrite (a), and conceptional view of magnetic flux generated from transmitter and sensor (b).

의 변화에 따른 공진주파수의 변화를 나타내는 LC공진형 센서와, 그리고 센서소자에서 발생하는 신호를 검출할 수 있는 수신기로 구성된다.

송신기는 주파수를 가변할 수 있는 신호발생기(function generator)와 전력증폭기(power amplifier), 그리고 신호발생기와 전력증폭기에서 발생된 교류전류를 단면의 직경이 15 mm 인 ㄷ자형 NiZn 페라이트(크기는 그림 1참조)에 100턴의 권선을 감아서 제작한 전자석으로 구성된다. 교류전류를 전자석에 인가하면 전자석의 자극(Magnetic poles)로부터 주파수와 크기가 제어된 교류자계가 발생하고, 이 때 발생한 교류자계는 센서소자에 인가된다. LC공진형 센서는 온도에 따라 인덕턴스가 변화하는 인덕터소자 L와 온도에 의한 변화가, 감온페라이트의 투자율변화에 비하여, 무시할 수 있는 정전용량을 가진 캐패시터 C로 구성되며, L은 감온페라이트에 권선을 감아서 제작된다. 센서소자의 인덕턴스는 권선수와 감온페라이트의 크기와 모양에 의해서 조절될 수 있다. 그림 1(a)에서, 송신용 페라이트 자심의 권선에 임의의 주파수 대역의 교류전류를 주파수에 따라 순차적으로 변화시키면서 통전시키면 자심으로부터 교류자속 ϕ_t 가 발생된다. LC공진 센서의 감온페라이트는 교류자속 ϕ_t 에 의해 여자되고, 여자된 감온페라

이트 자심으로부터 자속 ϕ_s 가 발생하게 된다. 수신용 자심에는 송신용 자심에서 발생한 자속 ϕ_t 와 센서로부터의 발생한 자속 ϕ_s 가 함께 도달된다. 이 때 ϕ_s 는 센서의 LC 공진주파수 $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ 에서 최대 자속이 발생하고, 수신용 자심에서의 센서의 출력에 대한 주파수특성을 검출할 수 있다. f_0 는 감온페라이트의 온도에 따르는 특성변화, 즉 온도에 의존하게 되므로 비접촉으로 온도를 검출할 수 있다. 그림 1(b)는 LC공진형 센서의 주파수에 대한 자속변화와 이 자속변화에 의해 수신용 자심에서 나타나는 전압을 설명하기 위한 신호들의 개략도를 나타낸 것이다. 수신용 자심에서 유도되는 전압은 송신용 자심의 자속에 의해 유기되는 전압 V_0 와, LC 공진형 센서에서 발생한 자속에 의해 유기되는 전압 ΔV 과의 합으로 나타난다. 따라서, 수신용 자심에서 유기되는 전압은 LC 공진형 센서의 공진주파수에서 최대치를 가지는 주파수특성을 나타낸다. 이 때 LC 공진형 센서의 감도는 ΔV 에 의해서 결정된다. 따라서, 근거리 비접촉 온도측정시스템은 감온페라이트의 투자율이 온도에 민감하게 의존하는 특성을 이용하는 것으로, 투자율의 온도의존성은 LC 공진형 센서에서 L의 온도의존성으로 나타나며, 결국 이에 따르는 공진주파수의 변화를 수신기에서 비접촉으로 검출하는 방법을 이용한다[8].

Table I은 본 실험에서 사용한 LC 공진형 센서들의 전기적 특성을 나타낸 것이다.

#1은 온도에 따른 감온페라이트의 온도특성에 의존하는 공진주파수의 변화를 검토하기 위하여 이용하였고, 권선수는 800회이며 C는 권선에 존재하는 부유용량(stray capacitance)을 이용하였다. #2~#5는 거리에 따른 센서의 감도 측정실험에 이용되었다. 이 표에서 L은 링형 감온 페라이트 갯수를 바꿈으로써 조정하였고, 고정캐패시턴스와 권선수는 2 nF, 300회로 고정하였다. 이때, 권선에 의해서 발생하는 부유용량은 고정 캐패시터의 용량값에 비하여 충분히 작으므로 무시할 수 있다. 그림 2(a)와 그림 2(b)는 각각 Table I에서 나타낸 시료 #1의 사진과 크기와 모양을 설명하기 위한 개략도를 나타낸 것이며 온도센서로 이용되는 링형 MnZn계열의 감온 페라이트와 L을 크게 하기위해 사용된 봉형 NiZn 페라이트를 나타낸 것이다. 봉형 페라이트는 온도에 대하여 민감한 특성을 나타내지 않으므로 센서의 감도를 높이는 것에는 기여하지 않지만, 센서의 L을 높게하여 공진주파수를 조정하여 측정을 용

Table I. Samples used in this experiment

Sample No.	C [pF]	L [mH]	f_0 [kHz]
#1	55.3	18.6	157
#2	2000	0.507	158
#3	2000	0.816	125
#4	2000	1.05	112
#5	2000	3.21	65.7

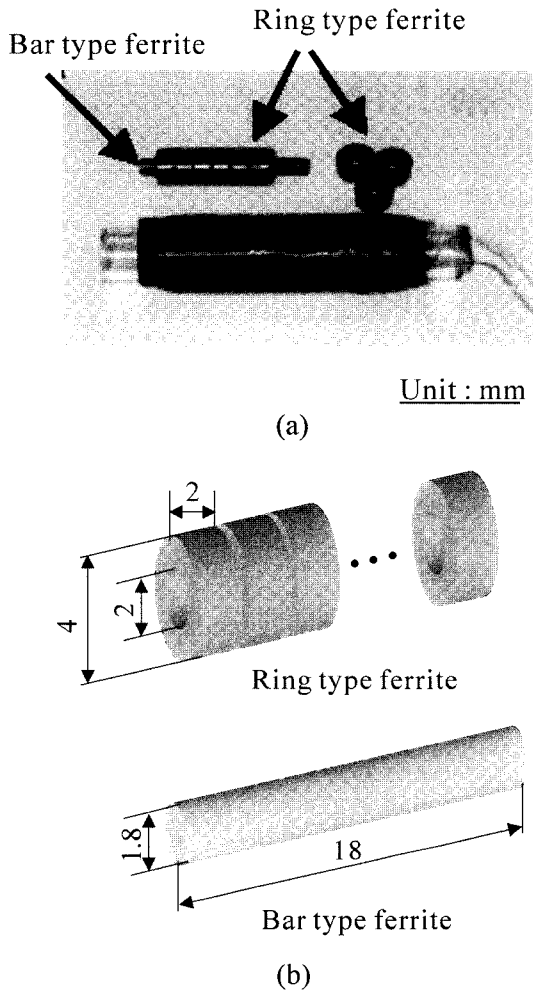


Fig. 2. Photograph(a), schematical view(b) of the ferrite.

이하에 하는 역할을 한다. LC공진형 센서는 링형 감온 페라이트와 봉형 페라이트를 직경 5 mm, 길이 40 mm의 석영관에 넣고, 석영관주위에 800회의 권선을 감아 제작하였다. 온도측정을 위하여, 90°C로 가열된 실리콘 오일 속에 센서를 넣고 자연 냉각시키면서 온도를 변화시켰다. 감온 페라이트의 투자율의 온도특성 및 주파수특성은 LCR 매터를 이용하여 측정하였다. 시편 #2~시편 #5를 제작하기 위해서도 같은 페라이트들과 석영관, 그리고 권선을 사용하였고, 다만 C를 크게하여 공진주파수를 낮추기 위해서 외부에 세라믹 캐피터(C = 2000 pF)를 설치하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 실온에서 측정한 링형 감온 페라이트의 주파수특성을 나타낸 것이다. 본 실험에서 비접촉 검출을 위하여 사용하고자 하는 주파수 영역은 200 kHz 이하이며, 이 주파수 대역에서의 투자율을 평가해 본 결과 200~150정도이었다. 측

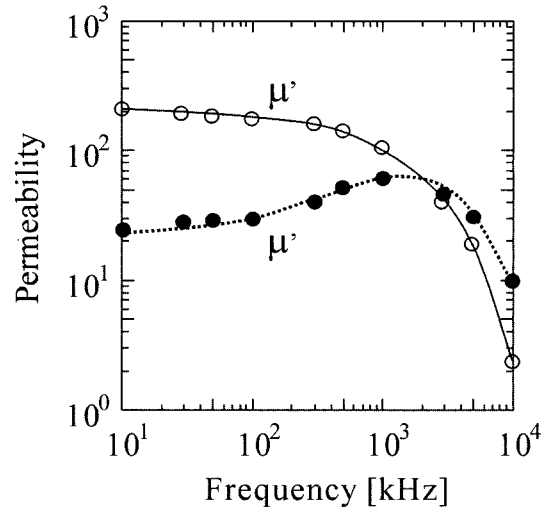


Fig. 3. Frequency dependence of permeability of a ring-typed temperature sensitive ferrite.

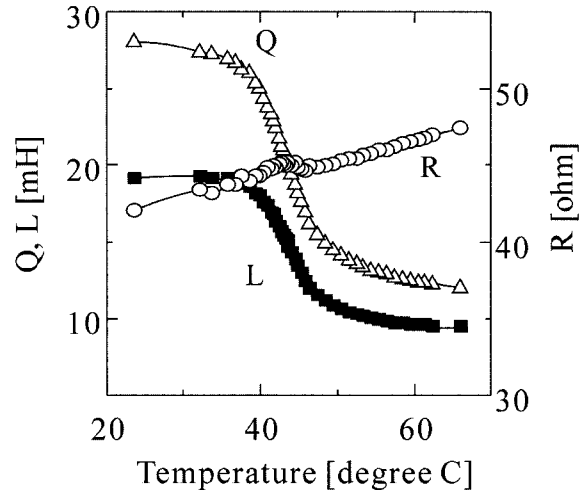


Fig. 4. Temperature dependence of R, L, and Q of sensor #1.

정하고자 하는 주파수대역에서 투자율이 크게 변화하지 않는 것은 온도계측을 위해서 필요한 조건이기도 하다. 그 이유는, 만약 측정주파수에 따라서 투자율이 극심하게 변화한다면 온도측정을 위해서 공진주파수를 측정하고자할 때 주파수에 의존하는 유기전압의 변화도 함께 고려하여야 하기 때문이다. 본 실험에서, 측정하고자 하는 온도범위에서, 온도의 변화에 자기적 특성이 민감하게 변화하지 않는 봉형 페라이트를 감온페라이트와 함께 사용한 것도 이와 같은 이유 때문이다. 링형의 감온페라이트만으로는 투자율이 주파수의 증가에 따라 극심하게 변화하지 않는 대역(~200 kHz)에서 공진을 시키기 위해서는 L을 크게 하기 위해서 권선수가 증가하여야 하거나 감온페라이트의 수가 증가하여야 한다. 이는 센서의 소형화를 위하여 바람직하지 않으므로, 온도변화에 둔감한 봉형의 페라이트를 사용하여 초기 L값을 크게 한 것이다.

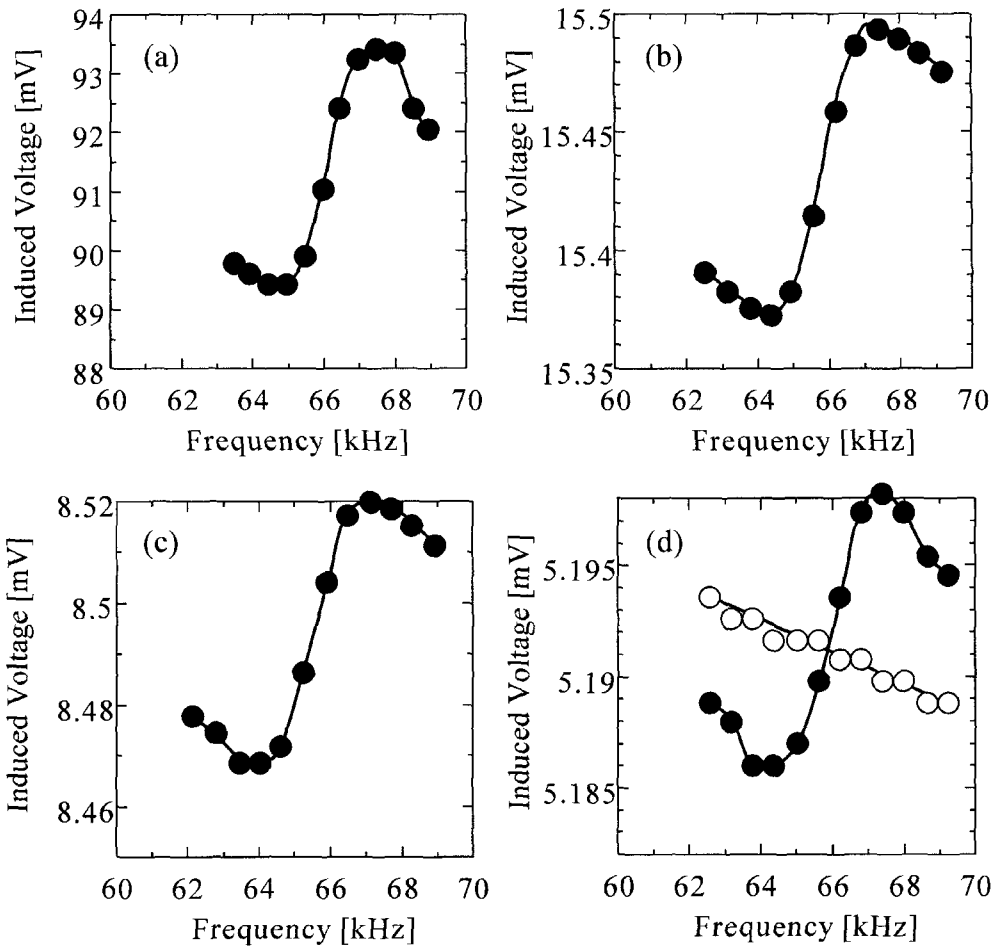


Fig. 5. Induced voltage depended on distance between transmitter and receiver; (a) 200 mm, (b) 400 mm, (c) 500 mm, and (d) 600 mm, sensor #5 was located at the central point between transmitter and receiver (●: with sensor, ○: without sensor).

그림 4는 온도계측을 위해 제작한 #5의 시료의 L, R(저항), 그리고 Q(품질계수)의 온도특성을 나타낸 것이다.

L은 35 °C 이하에서는 약 18 mH로 일정하였으나, 35 °C~50 °C의 온도영역에서는 18 mH~8 mH까지 급격히 감소하였다. R은 온도 상승에 따라 42 Ω에서 47 Ω까지 직선적으로 증가하였으며, 이는 권선 저항의 온도의존성이 주로 작용하여 나타난 것으로 판단된다. 전 온도영역에서 품질계수, $Q = \omega L/R$ 는 R이 선형적인 변화를 나타내므로 L의 온도의존성과 같은 경향을 나타내고 있고, 최대 28~12까지 감소였다.

그림 5(a), 그림 5(b), 그림 5(c), 그리고 그림 5(d)는 센서 #5를 송·수신용 자심의 중앙에 위치시키고, 두 자심 사이의 거리를 200 mm, 400 mm, 500 mm, 그리고 600 mm로 하였을 때 수신용 자심에서 측정된 유기전압을 나타낸 것이다.

이 때, 측정온도는 상온으로 일정하게 유지하였다. 송·수신용 자심의 거리가 멀어짐에 따라 유기전압은 작아지지만 센서의 공진에 의한 지속변화에 기인한 유기전압이 공진주파수 근방에서 변화는 것을 검출할 수 있다. 특히 그림 5(d)에서

양 송, 수신 자심 중앙에 센서가 없을 때의 수신자심에서의 유기전압(“○”로 표시)과 센서가 존재할 때의 유기전압 (“●” 표시)에는 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 5에서 측정거

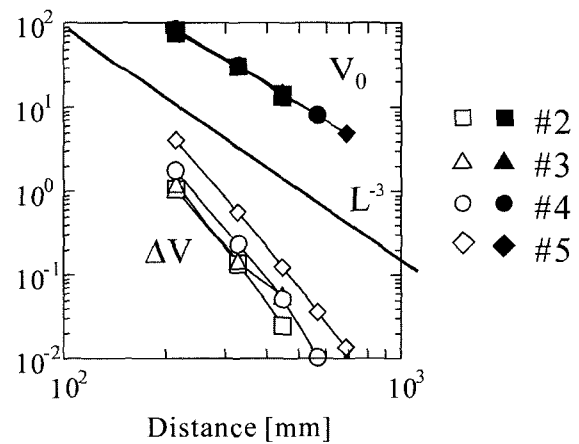


Fig. 6. V_0 and ΔV depended of distance between the transmitter and the receiver.

리에 따르는 유기전압의 감소함을 알 수가 있고, 이러한 경향은 그림 6에서 보다 명확하게 확인할 수 있다. 그림 6은 센서 #2~#5에 있어서, 송·수신 자심의 거리에 따르는 V_o 와 ΔV 를 나타낸 것이다.

이 그림에서는 V_o 와 ΔV 의 거리에 대한 경향을 파악하기 위해 거리에 대해 3승으로 감소하는 1-3 선을 함께 나타내었다. 또한 1이 큰 시료일수록 측정거리가 길어졌으며, 그 이유는 센서의 1증가에 따르는 센서로부터 출력되는 자속의 증가하였기 때문이다. 그리고 모든 시료에 대하여 V_o 는 거리에 대해 거의 약 3승에 비례하여 감소하고, ΔV 는 약 6승에 비례하여 감소하는 경향을 나타내었다. ΔV 가 V_o 에 대해 두 배로 감쇠하는 이유는 감온 페라이트를 여자시키는 송신자속의 거리에 대한 감쇠율과 다시 센서로부터의 자속이 수신용 자심에 도달할 때 거리에 대한 감쇠율의 곱으로 나타나기 때문이다. 본 실험에서 V_o 의 거리에 대하여 3승에 비례하는 감쇠율은 송신용 자심에서의 자속발생이 자기쌍극자(magnetic dipole moment)로 간주하였을 때와 같은 경향이라는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

인체의 내부와 같은 고립된 공간에서의 국부적인 온도를 검출하기 위해 고안된 감온페라이트를 이용한 비접촉 온도계측 시스템에 있어서, LC공진형 센서와 송·수신기사이의 거리에 따른 출력감도에 대해 검토하였다. 그 결과 온도의 변화에 따라서 투자율의 민감한 변화를 나타내는 감온페라이트와

캐패시터를 이용한 LC공진형 센서의 공진주파수의 변화를 검출함으로써 비접촉으로 온도를 측정할 수 있음을 알 수 있었고, 이 때의 송·수신기 사이의 거리에 6승에 비례하여 출력 감도가 저하되는 것을 알 수가 있었다.

감사의 글

본 연구에 대해 조언을 하여주신 일본동북대학 전기통신연구소 荒井賢一교수님에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] K. Yamasawa and K. Murakami, IEEE Trans., Magn., **12**, 801(1977).
- [2] N. D. Miller, in Proc., 21st Annual National Relay Conf., 19(1973).
- [3] K. Seki, J. Shimada and K. Murakami, IEEE Trans. Magn., **14**, 969(1978).
- [4] R. C. Ebert and A. F. Hogrefe, Proc., IEEE Engineering in Medicine & Biology Society 10th Annual International Conf., 812(1998).
- [5] J. Murakami, H. Matsuki and S. Kikuchi, Journal of the magnetic society of Japan, **17**, 485(1993).
- [6] K. I. Arai, W. Sugawara, K. Ishiyama, T. Honda and M. Yamaguchi, IEEE Trans., Magn., **31**, 3758(1995).
- [7] Y. H. Kim, K. Ishiyama, M. Inoue, and K. I. Arai, Journal of the Magnetics Society of Japan, **24**, 887(2000).
- [8] Y. H. Kim, S. Hashi, K. Ishiyama, K. I. Arai, and M. Inoue, IEEE Trans., Magn., **36**, 3643(2000).

Sensitivity of non-contact Temperature Measurement Using Temperature Sensitive Ferrite

K. H. Shin*

*Division of Information and Science, Kyungsoong University
110-1 Daeyeon-Dong, Nam-Gu, Pusan608-739, Korea*

Y. H. Kim

*Department of Electrical Engineering, Pukyong National University
San 100 Yongdang-Dong, Nam-Gu, Pusan 608-739, Korea*

(Received 8 September 2003, in final form 30 January 2004)

To construct the non-contact temperature detection systems, LC resonance type sensors composed of temperature sensitive ferrite inductors and capacitors were used, and their wireless temperature detection performances were investigated. The temperature was wirelessly detectable using the fabricated LC resonance sensors with a transmitter and receiver, because their inductances and resonance frequencies were changed according to the temperature dependance of permeability of the ferrites. The sensitivity of the system was decreased with the distance l between transmitter and receiver as a ratio of the l^6 .

Key words : non-contact, measurement of temperature, temperature sensitive ferrite, resonance frequency