

## YIG 페라이트를 이용한 아이솔레이터의 온도안정화 연구

### Study of Temperature Stabilization for Isolator using YIG Ferrite

전동석, 이홍열, 김동영, 한진우, 이상석.

(Dong-Suk Jun, Hong-Yeol Lee, Dong-Young Kim, Jin-Woo Hahn, and Sang-Seok Lee)

#### Abstract

This paper describes on the design structure and development of temperature stable strip-line junction isolator operating in above resonance mode. Temperature characteristics of isolator depend on magnet, YIG(Yttium Iron Garnet) ferrite, and conductor etc. These require temperature stability and possible methods of compensation for the temperature dependent effects. In this paper, the analysis and measurement of the temperature characteristics were carried out for the material isolator prototype. The bandwidth of isolator was expended and the frequency shift at center was reduced in the temperature range of  $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ .

**Key Words** : Temperature stabilization, Isolator, YIG ferrite, Magnet

#### 1. 서론

최근까지 아이솔레이터 설계자 및 제작자의 관심분야는 온도안정화, 저삽입손실, 최대전력, 크기 등이다. 그 중 온도안정화는 부품의 신뢰성에 관계되고, 그 방법으로는 heat pipe를 이용하는 방법, 반도체를 이용하는 방법도 있지만, 가격 및 신뢰성 등의 복합적인 문제가 있다. 따라서 많은 설계자나 제작자는 수동구조의 방식이며, 저 가격 및 고 신뢰성의 온도안정화 방법을 연구 중에 있다. 온도안정화 방법 중 한 방법은 온도계수가 큰 재료를 사용한 병렬 자기회로 구조이다. 병렬자기회로 구조는 온도가 낮아지면 자석에서 YIG 페라이트에 공급되는 자계 세기를 투자율이 큰 Ni-Fe합금을 통하여 자기회로가 구성되고, 이로 인하여 YIG 페라이트에 공급되는 자계 세기를 줄이는 역할을 하

며, 온도가 상승하면 자기회로를 구성하고있는 Ni-Fe 합금의 투자율이 감소하여 자석의 자계세기가 페라이트에 그대로 인가되어 온도에 대한 안정화를 꾀하는 방법이다.

K. Bertsch는 자석의 중심에 Ni-Fe 합금을 삽입하는 링형 자기회로를 구성하고, 또한 상,하측의 전체 자기회로를 구성하여 온도안정화를 이루었다[1]. A.G. Scuchinsky는 UHF(Ultra High Frequency) 대역 스트립라인형 분포 서큘레이터를 정렬 자기회로, 기하학적으로 교차되는 공진기 구조로 구성하고 서큘레이터 동작을 above 공진모드를 사용하여 온도안정화를 이루었다.[2] S.H. Kim은 NdFeB 정사각형 영구자석 사이에 Ni-Fe합금을 삽입하여 자기회로를 구성하여 온도보상을 이루었다[3]. J. Hellszajn는 자계세기와 포화자화의 온도에 따른 품질계수 특성곡선에서 자계세기/포화자화 비율이 약 0.7이 되는 품질계수를 추출하고 그 결과를 설계에 적용하여 온도 안정화를 이루었다[4].

따라서 본문에서는 페라이트 영구자석 및 YIG 페라이트에 대한 온도특성과 자기회로의 유무에 따른 아이솔레이터 온도특성을 고찰하여 온도안정화를 연구하고자 한다.

한국전자통신연구원 유전체RF소자팀

(대전시 유성구 가정동 사서함 161)

Fax : 042-860-6183

E-mail : dsjun@etri.re.kr

2002년 9월 30일 접수, 2002년 11월 11일 1차 심사완료,

2002년 11월 28일 최종 심사완료

## 2. 실험 방법

실험장치는 영구자석과 YIG 페라이트를 측정하기 위해서 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 사용하여 측정하였다. 아이솔레이터의 아이솔레이션 특성은 Vector Network analyzer(HP-8720C)와 Electrometer(Keithley 617) T-type 열전쌍, 항온습기 그리고 PC 및 측정기기 제어 프로그램으로 구성되어 측정하였다.

실험조건으로 YIG 페라이트는 자계 (3000G)를 인가하였을 때, 온도(30~80°C)에 따른 온도특성을 측정하였고, 영구자석은 자계를 인가하지 않고, 온도변화(30~80°C)에 따른 온도특성을 측정하였다. 아이솔레이터 특성은 온도변화(-20~80°C)에 대해 온도보상구조 유무에 따른 온도특성을 측정하였다.

그림 1은 아이솔레이터 단면도이다. 아이솔레이터 구성은 상.하측 대칭으로 이루어져 있다. 페라이트 자석, 온도보상용 Ni-Fe 합금, YIG 페라이트 그리고 도체로 구성되어 있다. 외각에는 철판으로

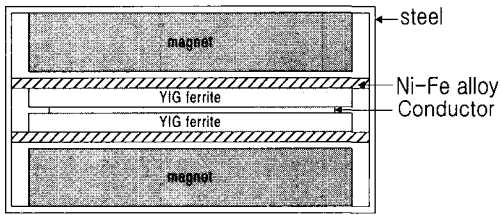


그림 1. 아이솔레이터 단면도.  
Fig. 1. Cross section of Isolator.

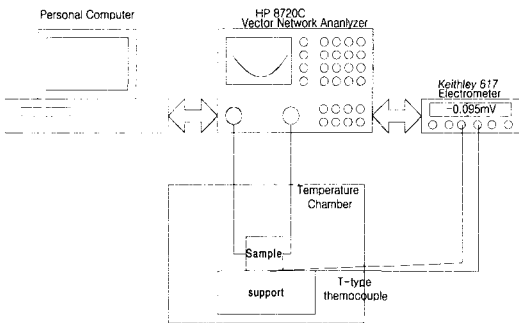


그림 2. 아이솔레이터 온도특성 측정시스템 구성.  
Fig. 2. Constitution for temperature characteristics measurement system of Isolator.

자기회로를 구성하여 자기차폐를 시켰다. 그림 2는 아이솔레이터의 온도특성을 측정하는 시스템의 구성을 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 3 에서와 같이 페라이트 영구자석의 온도 변화에 대하여 측정하였다. 온도 30 ~ 80°C 사이에서 영구자석 자계세기를 나타내었고, 온도변화율은 -3.766 G/°C 로 온도증가에 따라 자계세기가 감소하는 것을 알 수 있었다. 각 온도구간에서의 온도 변화율은 30~40°C, -2.136 G/°C; 40~50°C -3.49 G/°C; 50~60°C -3.648 G/°C; 60~70°C -3.648 G/°C 그리고 70~80°C -3.46 G/°C 결과를 얻을 수 있었다.

그림 4는 YIG 페라이트의 온도변화에 따른 포화자화를 측정한 결과이다. 30~80°C 사이의 온도범위에서의 YIG의 포화자화 결과를 나타내었고, 온도 변화율은 -3.766 G/°C 로 포화자화 값은 온도증가에 따라 감소하는 것을 알 수 있었다. 온도구간마다 온도변화율은 30~40°C, -0.528 G/°C; 40~50°C -1.6 G/°C; 50~60°C -2.6 G/°C; 60~70°C, -4.12 G/°C 결과를 얻을 수 있었다. 그림 3의 페라이트 자석, 그림 4의 YIG 페라이트의 온도 변화를 볼 때, YIG 페라이트의 포화자화와 인가되는 페라이트 자석의 자계세기는 온도의 반비례 관계를 가진다.

그림 5 는 온도보상용 병렬 자기회로 구조가 없

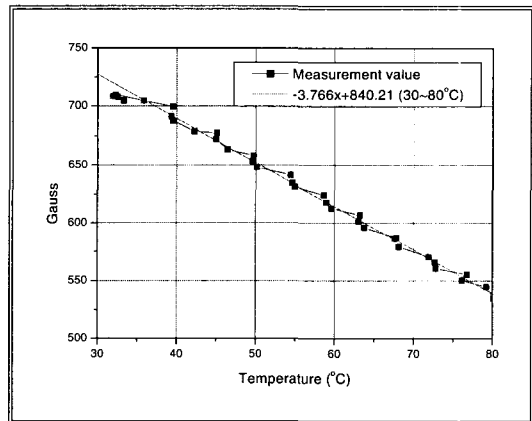


그림 3. 페라이트 영구자석 온도특성.  
Fig. 3. Temperature characteristics of permanent magnetic ferrite.

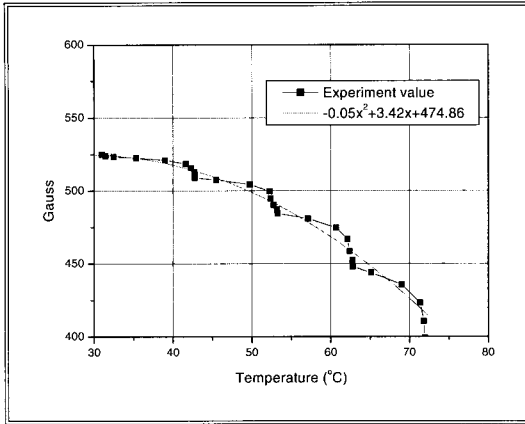


그림 4. YIG 페라이트의 온도변화.  
Fig. 4. Temperature characteristics of YIG ferrite.

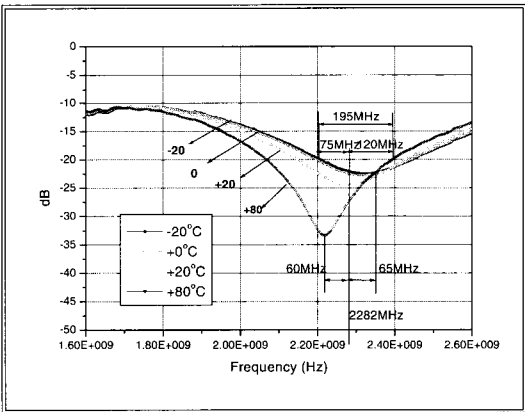


그림 5. 온도보상이 없는 아이솔레이터 온도특성.  
Fig. 5. Temperature characteristics without thermo-stabilization Isolator.

는 아이솔레이터의 온도특성을 측정된 결과를 나타내었다. 측정은 -20°C, 0°C, 30°C, 80°C에서 측정한 결과이며, 상온(30°C)에서의 측정값을 기준으로 하여 상측으로 60MHz, 하측으로 65MHz 주파수 편이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 대역폭은 아이솔레이션 -20dB를 기준으로 할 때 195MHz의 결과를 얻을 수 있었다.

그림 6은 자기회로의 구성에 의해 온도 보상된 구조로 측정된 아이솔레이터의 온도특성을 나타내었다. 측정은 -20°C, 0°C, 30°C, 80°C에서 측정된 결과로 그림 5에서와 같은 조건으로 측정하였다.

상온(30°C)에서 측정값을 기준으로 하여 상측으로

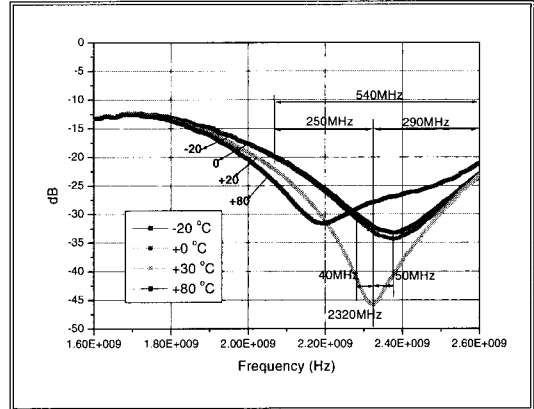


그림 6. 온도 보상된 아이솔레이터의 온도특성.  
Fig. 6. Temperature characteristics of thermo-stabilized Isolator.

로 40MHz, 하측으로 50MHz 주파수 편이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 대역폭은 아이솔레이션 -20dB를 기준으로 할 때 540MHz의 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과는 온도보상용 병렬자기회로 구조가 투자율이 큰 Ni-Fe 합금을 통하여 자기회로를 구성하므로, 온도보상용 병렬 자기회로 구조가 없는 것 보다 자계세기를 더 크게 인가되는 역할을 하는 것을 알 수 있었다.

그림 5와 그림 6을 비교하여 볼 때, 온도보상용 병렬 자기회로 구조를 설치한 후 주파수 편이가 35MHz 줄어들었고, 대역폭은 355MHz가 더 넓어지는 것을 알 수 있었다.

그림 5와 그림 6에서 나타나듯이 온도가 상승하면 중심 주파수가 낮아진다. 주파수와 반비례 관계를 가지는 투자율은 YIG 페라이트의 포화자화에 비례 관계이고, 인가되는 페라이트 자석의 자계세기에 반비례 관계를 가진다[5]. 즉 온도가 상승할 때, 주파수와 반비례 관계를 가지는 자계세기 증가로 중심주파수가 낮아지는 것을 줄일 수 있다. 이 결과는 온도보상용 병렬 자기회로 구조가 온도상승에 따른 자계세기 감소를 억제하는 역할을 하는 것으로 판단된다.

아이솔레이터에 사용되는 공진기의 도체는 순동판을 사용하였다. 온도변화에 따른 열팽창계수는  $1.65 \times 10^{-6} \text{ m/}^\circ\text{C}$ 이고 온도 20°C를 기준으로 할 때, 80°C에서는  $195 \times 10^{-6} \text{ m/}^\circ\text{C}$ , -20°C에서는  $-130 \times 10^{-6} \text{ m/}^\circ\text{C}$  길이 차이가 난다. 계산하면, 상측 주파수 편이가 약 8MHz, 하측 주파수편이가 약 12MHz 정도임을 알 수 있었다.

그림 5에서는 상측으로 65MHz, 하측으로 60 MHz 정도의 주파수 편이가 나타남을 알 수 있다. 앞에서 언급하였듯이 공진기로 사용한 동판 보다 더 큰 주파수 편이가 나타난 것을 알 수 있다. 다시 말하자면, 순동판의 주파수 편이보다는 페라이트 자석의 자계세기가 주파수 편이에 더 많은 영향을 준다는 것을 의미한다.

그림 6 에서 주파수 편이가 상측 50MHz, 하측 40MHz 정도의 주파수 편이를 나타낸 것은 온도변화에 따른 자계세가 민감성을 줄이기 위하여 자기회로를 사용한 결과이고, 주파수 편이를 줄일 수 있었다는 결과로부터 온도의 안정화 보상이 되었다는 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

실험 결과에서 알 수 있듯이 페라이트, 자석 그리고 아이솔레이터 공진기 도체의 온도특성영향으로 아이솔레이터 주파수 편이가 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한 온도 안정화를 위해 자기회로를 구성함으로써 온도에 따른 영향을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있었다.

따라서 아이솔레이터 설계 및 제작 시에는 사용 온도 영역에서 페라이트 및 자석의 온도특성을 고려하여 설계하여야 한다는 것을 알 수 있었고, 자석과 YIG 페라이트 그리고 온도보상용 Ni-Fe 합금으로 형성된 자기회로 구성에 대하여 연구가 지속적으로 되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] K. Bertsche, J-F. Ostiguy, and W. B. Foster, "Temperature considerations in the design of a permanent magnet storage ring", IEEE Particle Accelerator Conference, Vol. 2, p. 1381, 1997.
- [2] A. G. Schuchinsky, "Thermostable strip-line lumped element circulator for UHF applications", IEEE MTT-S Digest, p. 625, 1998.
- [3] S. H. Kim and C. Doose, "Temperature compensation of NdFeB permanent magnets" IEEE Particle Accelerator Conference, Vol. 3, p. 3327, 1998.
- [4] J. Helszajn and B. Tsounis, "Temperature stability of quality factor of junction circulators", IEEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol. 142, No. 1, p. 67, 1995.
- [5] Hidehiko Katoh "Temperature stabilized 1.7GHz broad band lumped element circulator", IEEE MTT-23, No. 8, 1975.
- [6] 양계준, 박용관, "연자성재료의 기술 현황과 연구동향", 전기전자재료학회논문지, 9권, 1호, p. 76, 1996.
- [7] 송재성 "센서 기능박막 / BSO 와 YIG를 이용한 임펄스 전압, 전류 측정용 광센서 구현", 전기전자재료학회논문지, 13권, 8호, p. 689, 2000.
- [8] 김동영, 한진우, 전동석, 이상석 "YIG 소결시 나타나는 비정상입성장 현상과 그 억제", 전기전자재료학회논문지, 3권, 2호, p. 466, 2002.