

# YIG Ferrite를 이용한 Gap Filler용 아이솔레이터 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of Gap Filler Isolator by using the YIG Ferrite

정승우<sup>1,a</sup>, 최우성<sup>1</sup>  
(Seung-Woo Jung<sup>1,a</sup> and U-Sung Choi<sup>1</sup>)

### Abstract

In this paper, developed isolator for gap filler is analyzed and designed using the simulation tool. Using the designed parameters, isolator is fabricated and tested in gap filler band. Temperature characteristics of isolator depend on magnet, YIG ferrite, and conductor etc. These require temperature stability and possible method of compensation for the temperature dependent effects. The temperature stabilization tries to use Ni-alloy. Developed isolator that compare with room temperature and high temperature characteristics has change fewer than 20 MHz. Implemented isolator shows more than 20 dB isolation characteristic at center frequency(2,650 MHz) and has 0.2 dB insertion loss in overall 100 MHz operating bandwidth. Return losses of input and output port are measured below -20 dB.

**Key Words** : YIG ferrite, Isolator, Isolation, Insertion loss, Return loss

### 1. 서론

국내 이동통신의 급격한 확산으로 서비스의 질적 저하를 막고 고품질의 서비스를 제공하기 위해 기지국과 중계기 등 신호를 전달 할 수 있는 매개체가 많이 필요하다. 또한, 보다 나은 서비스를 제공하기 위하여 기존 서비스와 차별화가 필요하고 그에 따라 점차 사용하는 주파수대역이 고주파화되고 있다.

시스템의 구성 부품 중 시스템의 안정화 및 핵심부품 보호 등의 목적으로 아이솔레이터가 이동통신 시스템을 안전하게 보호하기 위해서는 사용대역폭 내에서 높은 아이솔레이션 특성을 가져야 하고, 허용 온도 범위 내에서 특성을 유지하여야 한다.

아이솔레이터는 원형 디스크 공진기를 사용하여

H. Bosma 등에 의해 높은 전력에서 견딜 수 있으며 비교적 간단한 구조를 갖는 분포형 아이솔레이터[1-5]에 대한 연구 개발이 이루어지고 있다. 또한 비가역성 페라이트 고리형 공진기는 Dmitriyev 등에 의해 제시되었다[6-8].

본 연구에서는 최근 DMB 송수신 시스템인 gap filler용 아이솔레이터의 개발을 위하여 시뮬레이션에 의한 주파수 특성과 제작된 아이솔레이터의 특성을 비교함과 동시에 온도 범위 내에서 온도 안정화를 이루기 위하여 안정화 회로를 구현[9-11]하고 -30 ~ 80 °C 범위내에서 특성을 유지할 수 있는 아이솔레이터를 연구 개발하고자 한다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 아이솔레이터 설계

gap filler 용 아이솔레이터의 개발을 위하여 표 1과 같은 주파수 특성을 갖을 수 있도록 설계를 실시하였다. 일반적으로 유전체가 없는 형태의 페라이트를 사용할 경우 입출력 단자의 크기가 커지게 되고 그에 따라 case의 그림 1(a)의 입출력 부근의 형태가 커지게 되어 외부의 온도변화나 습도 등에

1. 원광대학교 전기전자및정보통신공학부

(전북 익산시 신용동 344-2)

a. Corresponding Author : jung9467@empal.com

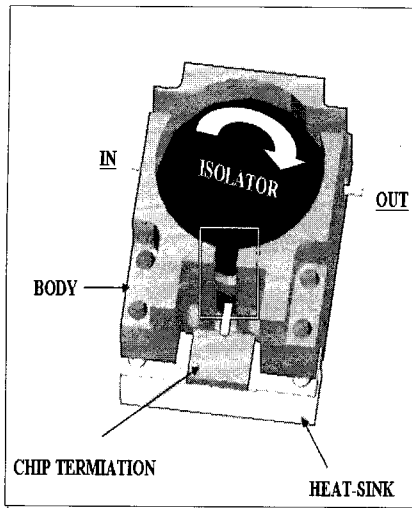
접수일자 : 2004. 8. 16

1차 심사 : 2004. 10. 20

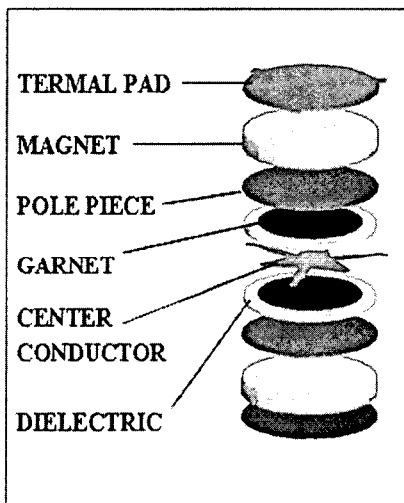
2차 심사 : 2005. 5. 25

3차 심사 : 2005. 6. 13

심사완료 : 2005. 6. 24



(a)



(b)

그림 1. 아이솔레이터 기본구조 (a)외형, (b) 내부 구성.

Fig. 1. Fundamental structure of isolator.

크게 영향을 받게 된다. 이러한 영향을 최소화 시키는 방법으로 케이스 외부와 이어지는 입출력 단자쪽의 폭을 줄이기 위하여 페라이트 외부를 유전체가 감싸고 있는 형태의 assembly 디스크 타입의 페라이트를 이용하였다.

그림 1에서는 아이솔레이터의 기본구조를 나타내고 있다. 그림 1(a)는 아이솔레이터의 외형을 보

표 1. 페라이트와 유전체 특성.

Table 1. Characteristics of ferrite and dielectric material.

Characteristics	Unit	Ferrite Material	Dielectric material
type	-	YIG Ferrite	(Mg, Ca)TiO <sub>3</sub>
$4\pi M_s$	Gauss	1600	
$\Delta H$	Oe	$\leq 6$	
$\epsilon$	-	14.6	30
$\tan\delta$	$\epsilon''/\epsilon'$	$\leq 2 \times 10^{-4}$	$\leq 3 \times 10^{-4}$
Tc	°C	220	

여주고 있는 것이며, 그림 1(b)는 내부를 구성하고 있는 형태를 보여준다.

아이솔레이터의 내부를 구성하는 것은 크게 비가역특성 갖는 YIG 페라이트, 페라이트에 자력을 인가하는 Sr-ferrite나 SmCo와 같은 magnet, 공진기 및 특성을 갖을 수 있도록 조절되는 strip line, 자계를 모아주고 균일하게 인가될 수 있도록 하는 금속으로 된 pole piece, 온도 특성을 조절하기 위한 thermal pad로 구성된다.

그림 1(b)를 구성하는 내부 중심 도체의 설계를 Ansoft 사의 HFSS를 이용하여 설계하였다. 시뮬레이션은 YIG 페라이트에 정자계가 작용하는 것으로 가정하였으며, 사용되어진 페라이트와 유전체의 물성은 표 1과 같다.

아이솔레이터의 시뮬레이션을 위하여 그림 2와 같은 등가회로 모델을 고려하여 gap filler 용 아이솔레이터의 주파수 특성을 만족하도록 최적의 특성 값을 갖는 strip line을 설계하였다.

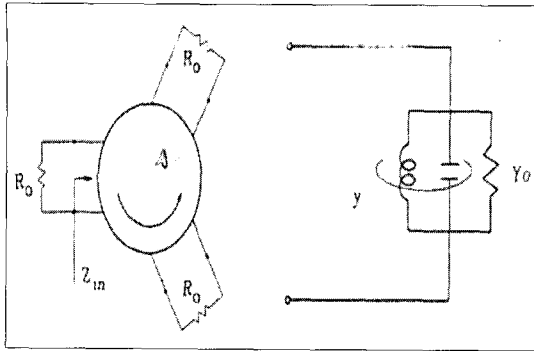
시뮬레이션 상에서 입력과 출력 port를 설정하기 위하여 perfect conductor를 이용한 외부 Jig를 활용하였으며, 이때, 아이솔레이터의 특성을 갖도록 3-port는 50 Ω으로 matching된 termination과 연결하여 특성을 살펴보았다.

## 2.2 제작 및 분석

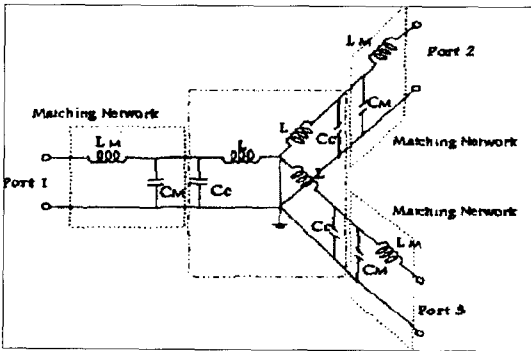
### 2.2.1 제작 구조

그림 1의 (a)와 같이 열전달 특성을 좋게 하기 위하여 design된 아이솔레이터의 case를 제작하였으며, 일반적으로 사용되는 제품의 특성을 개선하기 위하여 고려한 것으로 각기 다른 열전달 특성을 갖는 금속을 이용하여 사용하였다.

YIG 페라이트는 시뮬레이션에서 이용한 유전체가 감싸고 있는 assembly 형태를 가진 디스크 타



(a)



(b)

그림 2. 아이솔레이터 등가회로 모델. (a) 1단자 등가회로, (b) 3단자 등가회로.

Fig. 2. Isolator equivalent circuit model.

입을 이용하였다. 사용된 페라이트와 유전체의 특성은 표 2와 같으며, 시뮬레이션에서 사용된 특성과 동일하다. 설계에 의해 결정된 strip은 Be-Cu 금속을 애칭한 후 6 μm 이상 온도금을 하여 sample을 제작하였다. 아이솔레이터의 제작시 자성체와 유전체 그리고, 금속을 적층하고 적층시 손실의 최소화를 위하여 접촉이 되는 부위는 모두 온도금을 실시하였다.

온도 안정화를 위하여 Ni 32 % 함유된 Ni-Alloy를 이용하였으며, 주파수대역의 tuning은 그림 1(b)에서 보인 magnet은 Sr-ferrite를 YIG 페라이트의 하부에 위치시키고 상부에는 SmCo를 위치시켜 Sr-ferrite를 착/탈자를 시키면서 실시하였으며, piece와 sealant와 유전체 bar를 이용하여 미세 tuning을 실시하였다.

이러한 방법은 자계의 세기가 강해질수록 공진 주파수는 n차 모드에 의해 고주파로 되므로 Sr-ferrite를 착자시키면서 고주파로 이동시킬 수 있고, piece는 shunt 역할을 하며 자계를 모아주어

표 2. 제작 sample 표기.

Table 2. Notation of experimental samples.

sample Name	g1	g2	g3
The number of Ni-alloy	0	2	3

착자를 시키는 것과 유사한 효과를 얻을 수 있다. 다만, piece의 경우 인가되는 자계에 의한 최대값을 갖을 수 있는 역할을 하게 된다. sealant와 유전체 bar는 공기에 비해 유전율 값이 크게 되어 각 port단에 사용할 경우 캐패시턴스 값을 크게 할 수 있다[5].

표 2는 제작한 샘플을 보여주고 있는 것으로 상온에서 중심주파수는 2.65 GHz로 동일하나 온도 보상용 회로를 구현하기 위해 앞선 내부구조에서 상단의 thermal pad 부분의 Ni-alloy 수량을 변화시킨 것이다.

### 2.2.2 주파수 특성 분석

그림 3과 같이 PC와 Network Analyzer를 이용하여 상온 및 고온에서의 아이솔레이터의 주파수 특성을 측정하였다. 상온에서의 측정은 측정 DUT를 일반 환경내에서 측정하고 이때 Network analyzer를 이용한 특성값은 PC를 통하여 획득하였다. 온도변화에 의한 특성값은 2 m길이를 가지는 cable을 이용하여 항온항습 chamber 내에서 온도를 변화시키며 제작된 아이솔레이터의 삽입손실과 반사손실, 그리고, 아이솔레이션 등의 주파수

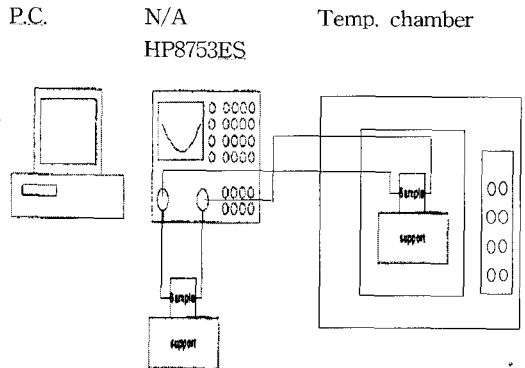


그림 3. 아이솔레이터 측정 시스템.

Fig. 3. Constitution for characteristics measurement system of isolator.

특성을 측정하여 시뮬레이션 결과와 특성을 비교하였다. 이때, 사용된 cable에 의한 특성의 변화를 제거하고자 cable 온도의 변화에 따른 아이솔레이터 특성의 변화를 먼저 실시하여 그 특성과 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 설계 특성 분석

그림 4와 5는 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 주

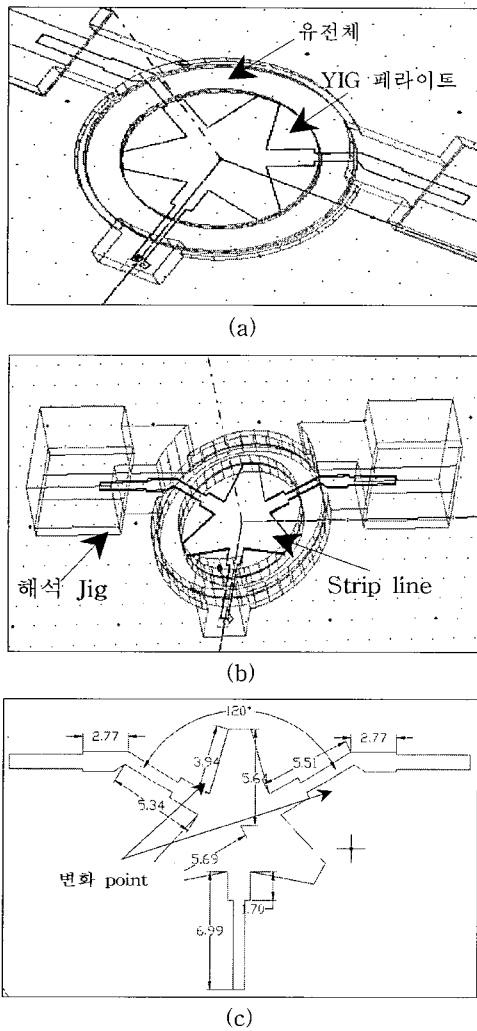


그림 4. 중심도체 시뮬레이션 형상. (a) 중심주파수 2.6GHz, (b) 2.65GHz (c) 중심도체 치수.  
Fig. 4. Image of strip line for simulation by HFSS.

파수 특성을 만족하도록 설계된 strip line의 구조와 그에 따른 주파수 특성 곡선을 보여주고 있다.

특성을 살펴보면 그림 4(a)는 중심주파수가 2.6 GHz를 갖으며 관심 주파수 대역인 2.6~2.7 GHz에서 반사계수가 20 dB 이상이고 삽입손실은 0.2 dB 이하인 밴드폭이 400 MHz를 갖는 특성을 보였다. (a)의 형상에서 그림 4(c)에 나타낸 변화 point의 길이를 0.25 mm 줄여 설계한 (b)는 중심주파수가 2.65 GHz로 50 MHz 정도 shift되었고, 공진주파수가 2.65 GHz로 일치하고 있다.

이러한 원인은 페라이트에 의해 둘러싸여 있던 부분의 길이를 줄임으로써 port단의 인덕턴스 값이 감소하고 그에 따라 주파수는 고주파로 shift 하여 두 개의 공진 peak가 나타난 (a)와는 달리 하나로 합쳐져 있는 (b)와 같은 결과를 보인 것으로 판단

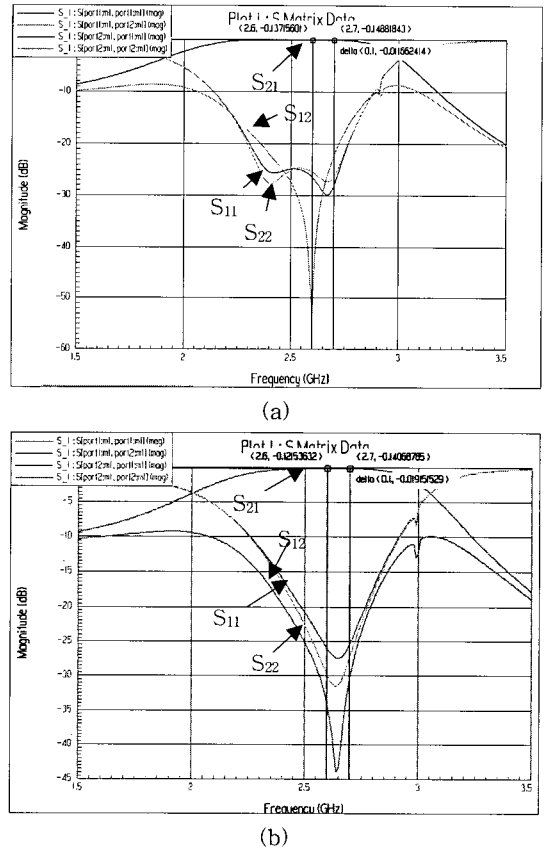


그림 5. 시뮬레이션 주파수 특성 곡선. (a) 중심주파수 2.6GHz, (b) 2.65 GHz.  
Fig. 5. Frequency characteristics of simulation by HFSS.

된다. 두 가지 결과 모두 관심 주파수 대역 내에서 우수한 주파수 특성을 보이고 있다. 다만, 반사손실 값과 아이솔레이션의 중심주파수가 각기 다르게 나타나고 있다. (b)의 주파수 밴드 폭은 270 MHz로 앞선 (a)에 비해 130 MHz 줄었으나 삽입손실은 0.15 dB 이하 반사손실 23 dB 이상을 보였다. 아이솔레이션 특성은 필요로 하는 주파수 대역 내에서 (a)는 25 dB 이상 (b)는 30 dB 이상의 값을 보여주었으며, 삽입손실 및 아이솔레이션 특성을 향상시킬 수 있었다.

3.2 측정

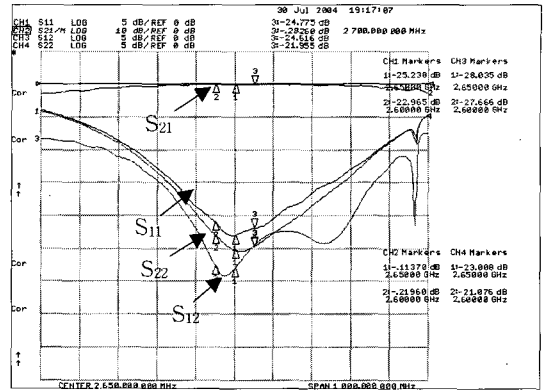
시뮬레이션 결과를 토대로 strip line을 금속 에칭하여 아이솔레이터를 제작하였다.

먼저, body case에 금속 pole piece 를 삽입하고 그 위에 Sr-ferrite를 넣은 후 YIG ferrite 2개를 넣었다. 에칭한 strip을 garnet ferrite 사이에 삽입한 후 자계를 가하기 위한 SmCo를 넣었다. SmCo는 21MOe 이상의 값을 갖고, 두께는 0.1 t로 압력에 의한 깨짐을 방지하기 위하여 Ni coating된 것을 사용하였다. 온도 안정화를 위하여 Ni-alloy를 표 2에서 명명한 바와 같이 삽입한 후 제품을 제작하여 측정하여 결과를 얻을 수 있었다. 그림 6은 표 2에서 명명한 g1의 주파수 특성을 특성을 보여주고 있는 것이다. 그림 6(b)의 온도 변화는 측정 cable의 온도만을 85 °C로 올린 후 측정한 결과이고 (c)는 제작한 아이솔레이터와 cable을 동시에 고온으로 올린 후 측정한 결과이다.

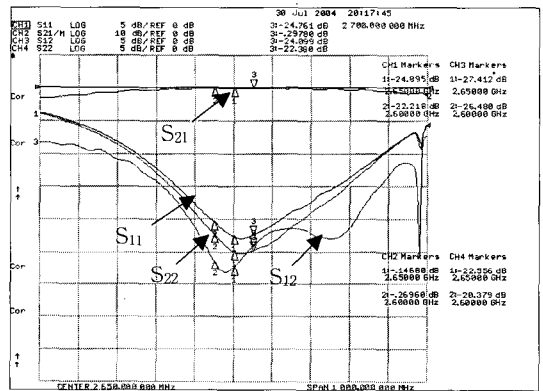
측정한 결과 상온에서 삽입손실은 0.18 dB로 0.25 dB 이하, return loss와 isolation은 23 dB로 20 dB 이상의 값을 가졌다. cable을 고온으로 하여 측정한 결과 삽입손실은 0.29 dB로 떨어진 것을 확인하였다. 이러한 결과는 모든 sample에서 발생하였으며, 이러한 결과를 통해 온도 test시 측정하는 sample 외에 사용되는 cable 및 connector등의 온도 특성을 확인 하여야 함을 확인하였다. 표 2에서 g1으로 명명한 샘플의 경우 고온 test 결과 중심주파수가 2,650 MHz에서 2,750 MHz로 100 MHz 정도 고주파로 shift함을 확인하였다.

그림 7은 표 2에서 명명한 g2의 주파수 특성을 보여주고 있는 것이다. 그림 7(a)는 상온에서의 주파수 특성 결과이며 (b)는 앞선 결과를 토대로 제작한 아이솔레이터와 cable을 동시에 고온으로 올린 후 측정한 결과이다.

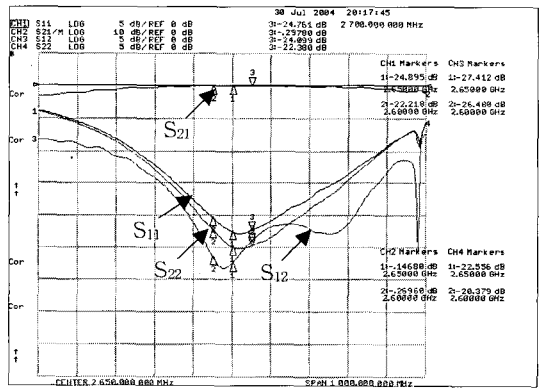
앞선 결과와 마찬가지로 고온에서 중심주파수가 고주파로 shift하고 있으나 온도 보상용 Ni-alloy의 영향으로 85 MHz 정도로 g1에 비해 15 MHz 정도 적게 shift하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. g1 아이솔레이터 주파수 특성 곡선 (Ni-Alloy : 0). (a) 상온(25 °C), (b) cable 고온(85 °C), (c) cable과 아이솔레이터 고온(85 °C).

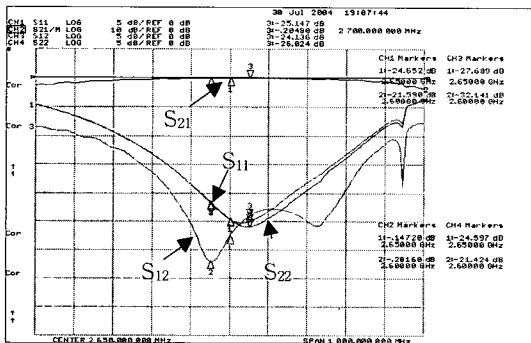
Fig. 6. Frequency characteristics of g1 isolator (Ni-Alloy : 0).

이와 같은 결과는 앞선 연구자들의 결과와 비슷하나, 그 변화의 정도는 차이가 있었다. 이는 사용되어진 페라이트의 특성의 변화 값과 Ni-alloy의 특성 값의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

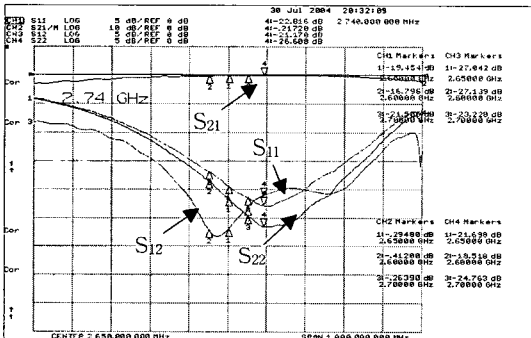
그림 8은 표 2에서 명명한 g3의 주파수 특성을 보여주고 있는 것이다.

앞선 결과와 비교하여 중심주파수의 변화를 보이지 않고 있으며, 이러한 결과를 바탕으로 저온과 고온에서 온도 test를 실시하였다. 중심주파수는 앞선 결과와 반대로 고온에서의 테스트결과는 저주파로 3 MHz 정도 shift 한 것을 확인할 수 있었다. 주파수 특성은 cable고온 특성과 비교하여 큰 변화를 보이고 있지 않으며, 이러한 결과로써 온도에 안정화되고 주파수 특성을 만족함을 확인하였다.

저온에서의 결과는 모두 주파수 특성은 향상되었으며 중심주파수가 5 MHz 정도 고주파로 이동됨을 확인할 수 있었다. 이는 앞선 연구자들의 결



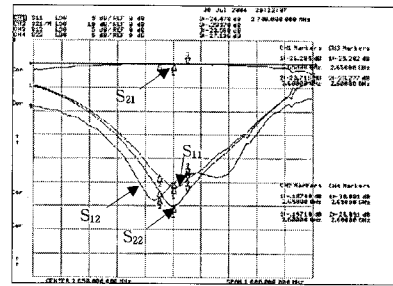
(a)



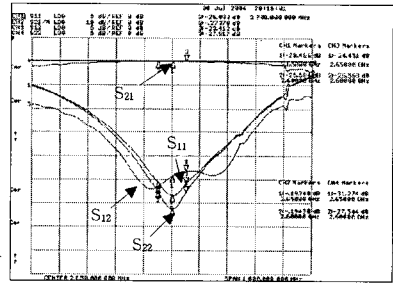
(b)

그림 7. 아이솔레이터 주파수 특성 곡선 (Ni-Alloy : 2). (a) 상온(25 °C) 특성 곡선, (b) cable과 아이솔레이터 고온(85 °C).

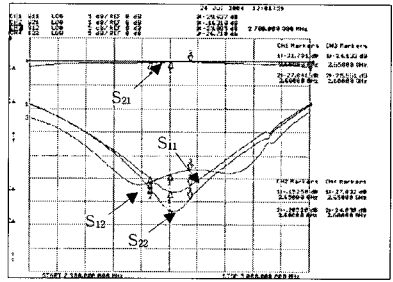
Fig. 7. Frequency characteristics of isolator (Ni- Alloy : 2).



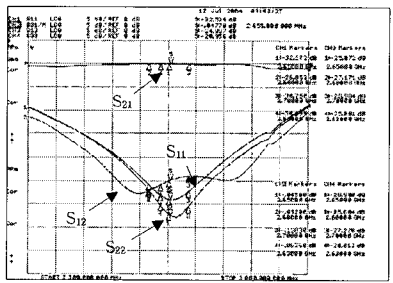
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. 아이솔레이터 주파수 특성 곡선(Ni-Alloy : 3). (a) 상온(25 °C), (b) cable과 아이솔레이터 저온(-30 °C), (c) cable 고온(85 °C)인 아이솔레이터, (d) cable과 아이솔레이터 고온(85 °C).

Fig. 8. Frequency characteristics of isolator(Ni-Alloy : 3).

과와 다소 다른 특성을 보이고 있는 것이다. 이는 사용 되어지는 내부 재료의 온도에 따른 변화에 비하여 사용되어진 Ni-alloy의 온도에 따른 영향이 큰 것으로 사료된다.

25 °C 상온에서의 특성은 밴드폭 100 Mhz 범위 내에서 삽입손실 0.2 dB 이하이고, 반사손실은 각 port별로 25 dB 이상의 값을 보였다. 아이솔레이션은 23 dB 이상의 값을 보였으며, 시뮬레이션 결과와 비교하였을때 반사손실 10 dB 정도 차이를 보이고 있으며, 아이솔레이션은 시뮬레이션 결과와 비교하여 55 %의 값을 보였다. 이러한 원인으로는 실제 설계시 외부에서 가해지는 자계의 조건을 정자계를 기준으로 한것에 대한 오차와 sample 제작에 있어 strip의 위치가 시뮬레이션에서의 위치와 차이가 발생함에 기인한 것으로 판단된다. 다만, 그 특성에 있어서는 연구 개발하고자 하였던 결과를 만족하였다.

#### 4. 결론

Gap filler용 아이솔레이터의 개발을 위하여 시뮬레이션에 의한 주파수 특성과 제작된 아이솔레이터의 특성을 비교함과 동시에 온도 범위 내에서 온도 안정화를 이루기 위하여 병렬 온도 안정화 회로를 구현하여 -30 ~ 80 °C 범위내에서 특성을 유지할 수 있는 아이솔레이터를 연구 개발하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

1. HFSS를 이용하여 아이솔레이터의 strip line을 설계하였다. 설계된 주파수 특성은 삽입손실 0.15 dB 이하, 반사손실 25 dB 이상, isolation 30 dB 이상을 가지며 270 MHz의 밴드 폭을 갖는다.
2. 제작된 2.6 GHz 대역의 아이솔레이터의 주파수 특성은 삽입손실 0.2 dB 이하 반사손실 20 dB 이상, isolation 20 dB 이상의 값을 가졌으며, simulation특성과 비교하면 삽입손실과 반사손실은 90 % 이상 일치하였으며, 아이솔레이션 값은 55 % 이상 일치함을 을 보였다.
3. -30 ~ 85 °C 온도구간에서 주파수특성을 만족하고 있으며, Ni-alloy를 3장 사용한 g3의 경우 온도에 따른 중심주파수 변화값이 5 MHz 이하로 안정화되었다.

이상과 같은 결과에 의해 gap filler용 아이솔레이터의 개발을 이룰 수 있었으며, 향후 simulation 시 고려해야 될 공정상의 변수에 관한 사항과 함께 Ni-alloy에 의한 온도에 따른 주파수 특성의 변화에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2004년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨.

#### 참고 문헌

- [1] H. Bosma, "On stripline circulator at UHF", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-12, No. 1, p. 61, 1964.
- [2] J. Helszajn, "Non-reciprocal microwave junction and circulators", Wiley, 1975.
- [3] C. E. Fay and R. L. Comstock, "Operation of the ferrite junction circulator", IEEE Trans. microwave Theory and Tech., Vol. MTT-13, No. 1, p. 15, 1965.
- [4] Y. S. Wu and F. J. Rosenbaum, "Wideband operation of microstrip circulator", IEEE Trans. microwave Theory and Tech., Vol. MTT-22, No. 1, p. 849, 1974.
- [5] D. K. Linkhart, "Microwave circulator design", Artech House, p. 36, 1989.
- [6] A. M. Khilla, "Ring and disk resonator CAD model", Microwave J., Vol. 27, No. 11, p. 91, 1984.
- [7] J. Helszajn, "Mode charts of gyromagnetic planar ring resonator", Elect. Lett., Vol. 23, No. 24, p. 1290, 1987.
- [8] V. A. Dmitriyev and L. E. Davis, "Non-reciprocal devices using ferrite ring resonator", IEE Proce., Microwaves, Ant. and Prop., Vol. 139, No. 3, p. 257, 1992.
- [9] K. Bertsche, J. F. Ostiguy, and W. B. Foster, "Temperature considerations in the design of permanent storage ring", IEEE Particle Accelerator Conference, Vol. 2, p. 1381, 1997.
- [10] S. H. Kim and C. Doose, "Temperature compensation of NdFeB permanent magnets", IEEE Particle Accelerator conference, Vol. 3, p. 3327, 1998.
- [11] 진동석, 이홍열, 김동영, 한진우, 이상석, "YIG 페라이트를 이용한 아이솔레이터의 온도 안정화 연구", 전기전자재료학회논문지, 15권, 12호, p. 1075, 2002.