

# 비가역소자의 설계와 PIMD 특성에 영향을 미치는 요소에 관한 연구

정승우<sup>1</sup>, 임광택<sup>2</sup>

## A Study on the element affecting in design and characteristics of PIMD for non-reciprocal element

Seung-Woo Jung<sup>1</sup> and Kwang-Taeg Lim<sup>2</sup>

**요 약** 본 논문에서는 비가역소자를 구조 시뮬레이터를 이용하여 설계하고 제작하여 특성을 비교하고, PIMD 특성에 영향을 미치는 조건을 확보하여 조건의 변화에 따른 PIMD 특성의 변화 값을 확인하였다. 중심주파수가 2.6GHz에 대하여 설계하여 그에 따른 특성을 살펴본 결과 중심주파수 2,650MHz, 밴드 폭 100MHz를 가지며 아이솔레이션 20dB 이상, 반사손실은 20dB 이상, 삽입손실이 0.2dB 이하 값을 나타내었다. 비가역소자의 IMD는 되도록 동질의 물질을 사용하고, 내부 구성품 간 유격이 없을 때 우수한 값을 보였으며, 압력이 높아질수록 좋아지는 경향을 보였으나, 일정 압력 이상의 가할 경우 내부의 자석이나 페라이트의 파손 등을 가져와 주파수 특성의 저하와 함께 IMD 특성이 급격히 증가하였다.

**Abstract** This paper compared simulation characteristics on the design of center strip by structure simulator with manufacture of 2.6GHz non-reciprocal element. Secures condition that affect in PIMD and confirmed change value of PIMD by change of condition. Implemented non-reciprocal element shows more than 20dB isolation characteristic at center frequency(2,650MHz) and has 0.2dB insertion loss in overall 100MHz operating bandwidth. Return losses of input and output port are measured below -20dB. IMD of non-reciprocal element exhibited superior value when there were no gaps between internal components and when materials having identical substances were used, and it showed an improving tendency when the pressure was increased higher, however, in case of applying pressure higher than a certain level, it results in damages, etc. of the magnet inside and ferrite as well, so then the characteristics of IMD was rapidly increased along with decrease of frequency characteristics.

**Key Words** : YIG ferrite, isolation, insertion loss, return loss, PIMD

### 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 고주파화 되고 있다.

이 논문은 2007년 호원대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

<sup>1</sup>(주)웨이브파츠 기술개발부

<sup>2</sup>호원대학교 컴퓨터게임학부

\*교신저자: 임광택(ktlim@howon.ac.kr)

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

본 연구에서는 최근 고주파화 되어 가고 있는 시스템에 적용 가능한 비가역소자의 개발을 위하여 시뮬레이션에 의한 주파수 특성과 제작된 비가역소자의 특성을 비교함과 동시에 온도 범위 내에서 온도 안정화를 이루기 위하여 안정화 회로를 구현[9]하고 -30 ~ 80°C 범위내에서 특성을 유지할 수 있도록 설계하였다. 또한, 단순화된 PIMD 테스트 방법을 제시하고 그에 따른 기존 테스트

방법과의 비교를 통하여 제시된 방법의 신뢰성 및 효율성을 확인하고, 비가역소자 개발에 있어 우수한 PIMD 특성을 갖는 PIMD 향상 방법을 제시하였다.

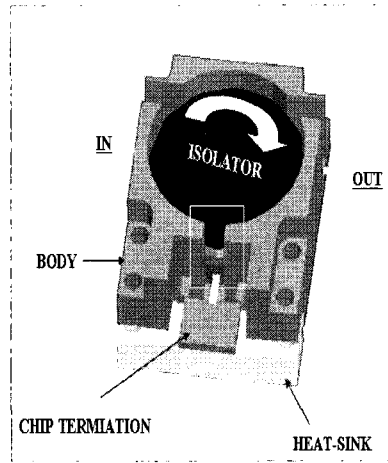
## 2. 실험방법

### 2.1 비가역소자 설계

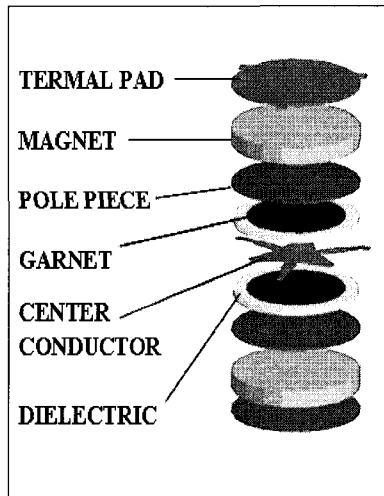
2.6GHz 대역의 비가역소자의 개발을 위하여 표 1과 같은 주파수 특성을 만족하도록 설계를 실시하였다. 일반적으로 유전체가 없는 형태의 페라이트를 사용할 경우 입출력 단자의 크기가 커지게 되고 그에 따라 case의 그림 1(a)의 입출력 부근의 형태가 커지게 되어 외부의 온도변화나 습도 등에 크게 영향을 받게 된다. 이에 따라 입출력 단자의 폭을 줄이기 위하여 페라이트 외부 유전체가 감싸고 있는 형태의 assembly 디스크 타입의 페라이트를 이용하였다.

그림 1에서는 비가역소자의 기본구조를 나타내고 있다. 그림 1(a)는 비가역소자의 외형을 보여주고 있는 것이며, 그림 1(b)는 내부를 구성하고 있는 형태를 보여준다. 비가역소자의 내부를 구성하는 것은 크게 비가역특성을 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 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 설계하였다. 시뮬레이션은 YIG 페라이트에 정자계가 작용하는 것으로 가정하였으며, 사용되는 페라이트와 유전체의 물성은 표 1과 같다.



(a) 외형



(b) 내부 구성

그림 1. 비가역소자 기본구조

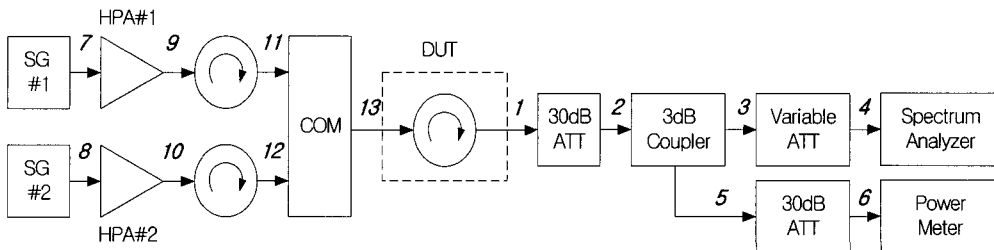


그림 2. PIMD 측정지그

표 1. 페라이트와 유전체 특성

Characteristics	Unit	Ferrite Material	Dielectric material
type	-	YIG Ferrite	(Mg, Ca)TiO <sub>3</sub>
4π Ms	Gauss	1600	
ΔH	Oe	≤ 6	
ε	-	14.6	30
tanδ	ε''/ε'	≤ 2 x 10 <sup>-4</sup>	≤ 3 x 10 <sup>-4</sup>
Tc	°C	220	

### 2.2 PIMD 테스트 set-up

PIMD 테스트를 위한 장비의 set-up은 그림 2와 같이 단순화하여 특성을 측정하였다. 이때, Power Amp. 는 선형특성이 우수한 제품을 사용하고 앰프내부에 보호소자용으로 비가역소자를 최종단에 2개를 사용하였다.

사용되는 각 부품은 측정하고자 하는 비가역소자의 PIMD 값보다 최소 20dBc 이상 좋은 특성을 유지하여야 하며 1부터 13까지 사용되는 케이블은 어댑터를 최소화 하고 케이블이 휘어지지 않는 상태로 연결되어야 한다. 측정방법은 먼저 Power Meter를 Calibration하고 SG #1을 Amplitude : 0dBm, 주파수는 측정하고자하는 DUT의 중심 주파수, 신호 종류는 CW(Continuous Wave)로 하여 Power meter와 연결한 후 Power Meter에서 읽는 값이 0dBm이 되도록 SG#1의 Amplitude를 조정한다. 케이블 1~7까지 연결한 후 Power Meter에서 읽는 값이 0dBm이 되도록 offset값을 조정한다. 동일한 방법으로 SG #2를 측정 한 후에 SG#1(Agilent E4437B), SG#2(Agilent E4437B)는 off상태로 설정하고, HPA전원도 인가되지 않은 상태에서 DUT를 제외한 모든 부품을 연결한 후 SG#1은 ON, SG#2는 OFF인 상태에서 Power Meter(Agilent E4419B)에서 읽는 값이 DUT(Device Under Test)에 입력되는 정격 레벨( 46dBm:40W )이 되도록 SG#1의 Amplitude를 조절한다. 동일한 방법으로 SG#1은 OFF, SG#2는 ON인 상태에서 Power Meter에서 읽는 값이 DUT(Device Under Test)에 입력되는 정격 레벨( 46dBm:40W )이 되도록 SG#2의 Amplitude를 조절한다. SG#1, SG#2를 모두 On한 후 Spectrum Analyzer에서 측정 한 IMD가 측정하려는 DUT에서 요구되는 IMD보다 최소 15dB이상이 되는지 확인한다. 그림 1과 같이 모두 연결한 상태에서 Spectrum Analyzer를 이용하여 Variable Attenuator의 값을 적절히 조정하여 DUT의 PIMD를 측정한다.

이러한 방법을 통하여 DUT 측정전의 PIMD 측정 jig의 IM이 105dBc 를 보였으며, 이 측정 시스템을 이용하여 90dBc 까지의 IM 측정은 가능한 것으로 판단된다.

### 2.3 제작 및 분석

#### 2.3.1 2.6GHz 대역 비가역소자 제작

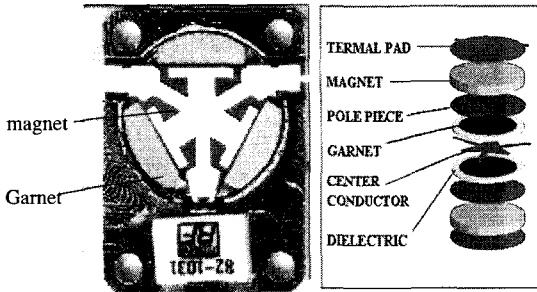
설계한 것과 같이 2.6GHz 대역의 비가역소자를 제작하여 특성을 분석하였다. 사용한 가넷 페라이트는 시물레이션에서 이용한 유전체가 감싸고 있는 assembly 형태를 가진 디스크 타입을 이용하였고 사용된 재료의 물성은 표 1과 같이 시물레이션에서 사용된 특성과 동일하다. 중심 공진기는 애칭한 후 6μm 이상 은도금을 하여 sample을 제작하였다. 아이솔레이터의 제작시 자성체와 유전체 그리고, 금속을 적층하고 적층시 손실의 최소화를 위하여 접촉이 되는 부위는 모두 은도금을 실시하였다. 온도 안정화를 위하여 Ni 32% 함유된 Ni-Alloy 0.127mm 3장을 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 공진주파수는 n차 모드에 의해 고주파화 되므로 Sr-ferrite를 착자시키면서 고주파로 이동시킬 수 있고, piece는 shunt 역할을 하며 자계를 모아주어 착자를 시키는 것과 유사한 효과를 얻을 수 있다. 다만, piece의 경우 인가되는 자계에 의한 최대값을 얻고자 하는 목적으로 공기중으로 유출되는 자계값을 모으는 역할을 하게 된다. sealant와 유전체 bar는 공기에 비해 유전율 값이 크게 되어 각 port단에 사용할 경우 캐패시턴스 값을 크게 할 수 있다[5].

#### 2.3.2 PIMD 측정을 위한 소자 제작 및 특성 분석

비가역소자의 PIMD 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 사용되어지는 garnet ferrite 의 형태 및 도금 조건에 따른 특성의 변화와 가해지는 압력차, 내부에 사용되어지는 부품의 거칠기 등을 변화하며 IMD 특성을 확인한다. 그림 3은 PIMD 측정을 위한 비가역소자의 제작을 위한 기본 구조이다. 그림 3 (a)는 가장 많이 사용되어지는 triangle type의 ferrite를 이용하는 구조이며 (b)는 disk type의 형상이다.

각 조건에 따른 IMD 특성을 확인하기에 앞서 기존 IMD 테스트를 실시하고 있는 측정 jig와의 비교 분석을 먼저 실시하였다.



(a) triangle type (b) Disk type  
그림 3. 비가역소자 기본구조

1) 상부 lid 조립압의 변화에 따른 IMD 특성

그림 3(b)와 같이 내부구조를 모두 조립한 상태에서 상부 lid의 압력을 토크드라이브를 이용하여 조절하며 IMD 특성을 확인하였다. 이때 나사선이 들어가 있는 screw type과 편치를 이용하는 seaming type으로 분류하여 확인하였고, 이때 케이스로 사용되는 재질은 sus436으로 동일하게 하여 온도금을 실시하였다. 또한, data의 신뢰성을 확보하기 위하여 각 주파수 대역별로 5개씩 테스트하여 평균값을 얻어 변화에 따른 특성의 변화를 확인하였다.

2) 조립 방법에 따른 IMD 특성

조립 방법에 따른 IMD 특성을 확인하기 위하여 triangle type의 비가역소자를 동일한 조건내에서 특성을 확인하였다. 이때 자력의 인가는 그림 1 (a)와 같이 3면에 magnet을 위치하여 자력을 인가하는 경우와 동일한 조건에서 상부에 magnet을 위치하여 자력을 인가하는 경우로 분류하여 확인하였다. 이때, 주파수 특성은 최대한 유사한 특성을 갖을 수 있도록 제작하여 IMD 특성을 확인하였다.

3) 도금 조건에 따른 IMD 특성

내부에 사용되어지는 재료중 비선형특성을 보이는 garnet ferrite의 한쪽면을 온도금한 경우와 도금이 없는 경우의 IMD 특성을 확인하고, 도금의 거칠기 등의 상태에 따른 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 2.6GHz 대역 비가역소자

3.1.1 설계특성

그림 4와 5는 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 주파수 특

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

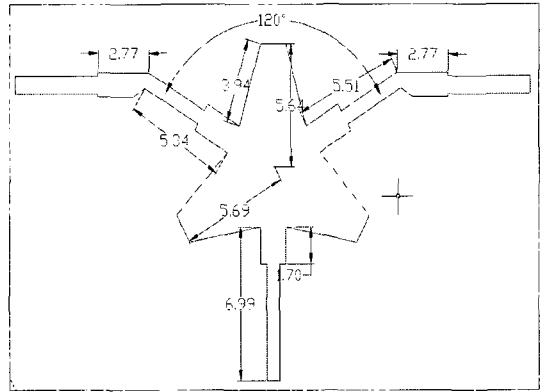


그림 4. 중심도체 시뮬레이션 형상

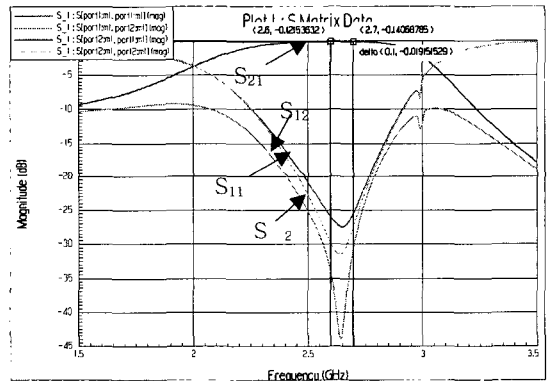


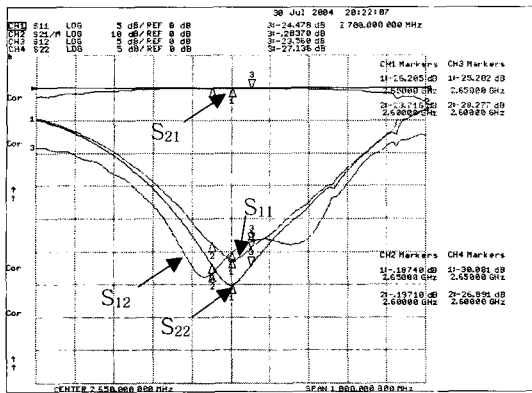
그림 5. 시뮬레이션 주파수 특성 곡선

특성을 살펴보면 중심주파수 2.65GHz, 주파수 밴드 폭은 270MHz이고, 삽입손실은 0.15dB 이하 반사손실 23dB 이상을 보였다. 아이솔레이션 특성은 필요로 하는 주파수 대역 내에서 30dB 이상의 값을 보여주었다.

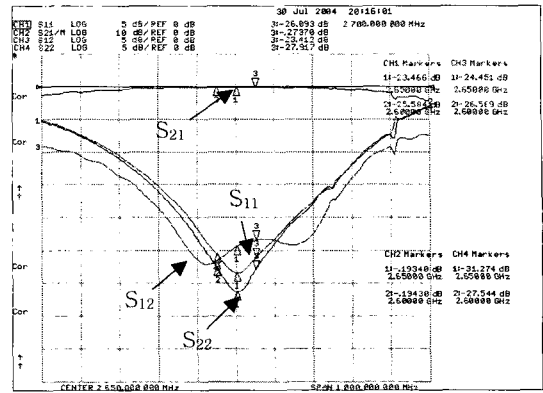
3.1.2 제작 및 측정

시뮬레이션 결과를 토대로 strip line을 금속 에칭하여 적층구조를 가지도록 제작하였다.

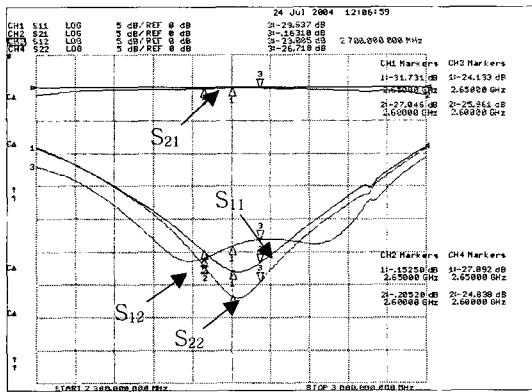
그림 6은 제작된 소자의 측정 결과이다. 상온과 저온과 고온에서 온도 test를 실시하여 온도 특성을 동시에 살펴해보았다. 중심 주파수는 고온에서의 테스트 결과는 저주파로 3MHz 정도 shift 한 것을 확인할 수 있었다. 주파수 특성은 cable고온 특성과 비교하여 큰 변화를 보이고 있지 않으며, 이러한 결과로써 온도에 안정화되고 주파수 특성을 만족함을 확인하였다.



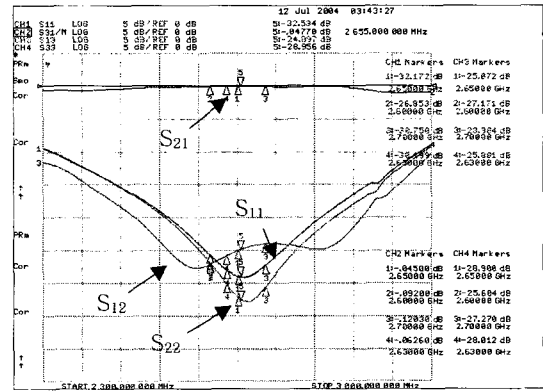
(a) 상온 (25 °C)



(b) Cable과 아이슬레이터 저온(-30°C)



(c) cable 고온(85 °C)인 아이슬레이터



(d) cable과 아이슬레이터 고온(85°C)

그림 6. 아이슬레이터 주파수 특성 곡선

저온에서는 주파수 특성이 향상되었으며 중심주파수가 5MHz 고주파로 이동됨을 확인할 수 있었다. 이는 앞선 연구자들의 결과와 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 100MHz 범위내에서 삽입손실 0.2 dB 이하이고, 반사손실은 각 port별로 25dB 이상의 값을 보였다. 아이슬레이션은 23dB 이상의 값을 보였으며, 시뮬레이션 결과와 비교하였을때 반사손실 10dB 정도 차이를 보이고 있으며, 아이슬레이션은 시뮬레이션 결과와 비교하여 55%의 값을 보였다. 이러한 원인으로서는 실제 설계시 외부에서 가해지는 자계의 조건을 정자계를 기준으로 한것에 대한 오차와 sample 제작에 있어 strip의 위치가 시뮬레이션에서의 위치와 차이가 발생함에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.2 PIMD 특성 결과

기존 비가역소자의 IMD를 측정하고 있는 방법과의 제안한 방법과의 특성 값을 확인 하였다. IMD 측정장비 중 800MHz 대역의 s사의 경우는 100dBc 이하의 측정 data는 얻을 수 없었으며, a사와 b사에서의 측정data와 제안한 방식의 측정 data는 큰 차이를 보이지 않아 제안한 방식에서의 측정은 가능한 것으로 판단된다.

표 2. 측정 set에 따른 비가역소자의 PIMD

	800MHz	1.8 GHz	2.1 GHz
제안 set	83 dBc	82 dBc	84 dBc
A사 set	82 dBc	83 dBc	85 dBc
B사 set	81 dBc	83 dBc	82 dBc
S 사 계측기	-	-	-

### 3.2.1 Lid 압의 변화에 따른 PIMD 변화

800MHz, 1.8GHz, 2GHz 각주파수 대역의 비가역소자에 대한 lid압에 따른 IMD 값을 그림 7에 보였다.

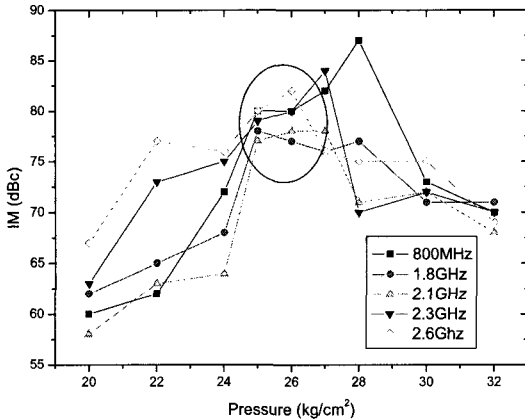


그림 7. LID 압에 따른 IMD 특성

각 주파수 대역 별로 측정 오차를 최소화하기 위하여 샘플을 5종씩 동일한 조건으로 제작하여 평균 data를 얻었다.

특성을 살펴보면 압이 증가할수록 IMD 특성이 점차 증가하는 경향을 보이고 이러한 특성은 주파수 대역에 따라 동일한 경향을 보인다. 그러나, 일정 압 이상 올라가게 되면 급격히 IMD 특성이 떨어진다. 다만, 800MHz 대역으로 갈수록 떨어지는 압이 증가하고 있다. 이러한 원인은 사용하고 있는 garnet 페라이트의 깨짐에 의한 것으로 주파수대역이 낮아질수록 사용하는 garnet 페라이트의 크기와 두께가 커지게 되어 견딜 수 있는 압의 크기가 올라가게 되고, 페라이트가 깨짐으로 인하여 IMD 특성이 급격히 하락하는 것으로 판단되고, 주파수가 올라감에 따라 신호의 왜곡이 심해져 특성값이 더 크게 하락하는 것으로 사료된다.

### 3.2.2 조립 방법에 따른 PIMD 변화

비가역소자의 조립 방법에 따른 PIMD를 측정하였다. 먼저 triangle type의 경우는 3면에 magnet(SmCo:YXG24)을 위치한 경우와 동일한 조건에서 magnet을 상부로 올린 경우 그 값이 6dBc 정도 차이를 보였다. 이는 3면에서 자력을 인가하는 경우는 magnet과 garnet 페라이트와의 유격이 발생하게 되는 원인으로 사료된다. 이의 확인을 위하여 자력이 기존보다 강한 물질(YXG30)로 size를 조금 줄여 동일한 조건의 자력을 인가할 수 있도록 한 후 페라이트와 유격을 좀더 넓은 상태에서 테스트한 결과 기존보다 약 1.4dBc 적게 나온 것을 확인할 수 있었다.

또한, 디스크 type으로 조립한 후 PIMD를 측정한 결과는 Triangle type에서 상부에 magnet을 위치한 조립방법과 큰 차이를 보이지 않았다.

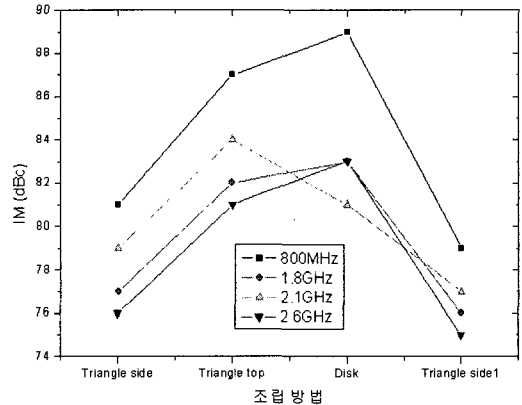


그림 8. 조립방법에 따른 IMD 특성

이러한 결과로 미루어 비가역소자의 내부구조를 이루고 있는 페라이트, magnet, piece등이 유격을 가지지 않고 밀착될 수 있는 구조를 가져야 PIMD 특성을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.2.3 도금 조건에 따른 PIMD 변화

도금 조건에 따른 PIMD 변화를 그림 9에 보여주고 있다. 그림에서 보면 페라이트의 한쪽면을 도금한 것과 도금을 하지 않은 것의 결과를 보면 약 4dBc 정도의 차이를 보여주고 있다. 이는 앞선 연구자들이 언급한 동일물질이 아닌 이종물질과의 결합으로 인한 손실에 기인한 것으로 사료된다. 또한, 도금의 상태가 균일한 연마를 한 것과 연마를 하지 않은 것과의 차이도 1dBc 이하이나 미세하게 차이를 보이고 있다. 연마를 하지 않은 상태의 페라이트와 piece 간의 미세한 간격의 차이로 인한 결과라 생각된다.

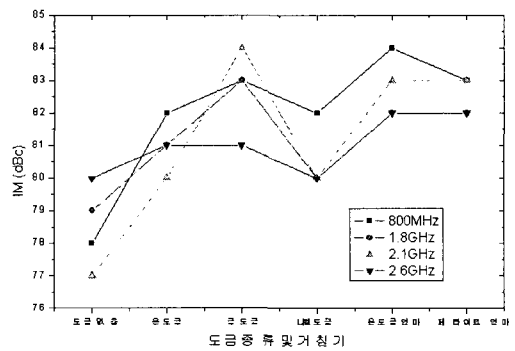


그림 9. 도금에 따른 IMD 특성

#### 4. 결론

비가역소자의 설계 및 제작과 PIMD 특성에 미치는 요소를 위하여 lid 압과 도금조건, 도금상태 및 조립 방법 등의 변경을 통하여 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) HFSS를 이용하여 아이솔레이터의 strip line을 설계하였다. 설계된 주파수 특성은 삽입손실 0.15dB 이하, 반사손실 25dB 이상, isolation 30dB 이상을 가지며 270MHz의 밴드 폭을 갖는다.
- 2) 제작된 2.6GHz 대역의 아이솔레이터의 주파수 특성은 삽입손실 0.2dB 이하 반사손실 20dB 이상, isolation 20dB 이상의 값을 가졌으며, simulation특성과 비교하면 삽입손실과 반사손실은 90% 이상 일치하였으며, 아이솔레이션 값은 55% 이상 일치함을 보였다.
- 3) lid 압이 증가할수록 PIMD값은 점차 증가하는 경향을 보이며, 주파수 대역별로 일정압 이상일 때 급격히 감소하는 경향을 보였다. 안정적인 PIMD 값을 얻기 위한 적절한 lid 압은 25~26kg/cm<sup>2</sup> 이다.
- 4) 조립방법에 의한 개선효과는 상부에서 자력을 인가하는 형상이 side에서 자력을 인가하는 방법에 비하여 약 6dBc 정도 우수한 특성을 보였다.
- 5) 도금종류 및 거칠기에 따른 측정결과 금도금, 은도금, 니켈도금 순으로 특성이 나았으며, 은도금이라 하더라도 연마를 통하여 금도금 수준의 PIMD를 특성을 확보할 수 있다

이상과 같은 결과에 의해 비가역소자의 설계를 통한 제작에 있어서 적절한 설계는 소자의 개발에 유용하게 사용됨을 확인하였고, PIMD는 내부 구조물의 밀착도 향상방법과 균일한 도금, 이종물질의 배제 등을 통하여 일정수준 이상 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 향후 비가역소자의 특성의 향상을 위한 연구를 진행함과 동시에 내부물질을 이루고 있는 piece, center conductor의 금속 종류에 따른 PIMD 특성의 개선 방법 등에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

[1] H. Bosma, "On stripline circulator at UHF", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-12. pp. 61-72, 1964.

[2] J. Helszajn, "Non-reciprocal microwave junction and circulators", Wiley, 1975.

[3] D. K. Linkhart, "Microwave circulator design", Artech House, 1989.

[4] J. Helszajn and R. D. Bars. "Synthesis of wide-band planar circulators using narrow coupling angles and undersized disk resonators", IEEE Trans. microwave Theory and Tech., Vol. MTT-39, p..1681-1687, 1991.

[5] S. W. Jung and U. S. Choi, "A study on the development and optimization design of isolator by using the 3D simulator", KEES Vol. 17, No.3, pp. 229 ~ 238, 2006.

[6] S. A. Ivanov, "Application of the planar model to the analysis and design of the Y-junction strip-line circulator", IEEE Trans. microwave Theory and Tech., Vol. MTT-43, p..1253-1263, 1995.

[7] J. Helszajn, "Mode charts of gyromagnetic planar ring resonator", Elect. Lett., Vol. 23, pp. 1290-1291, 1987.

[8] V. A. Dmitriyev and L. E. Davis, "Non-reciprocal devices using ferrite ring resonator", IEE Proce., Microwaves, Ant. and Prop., Vol. 139, pp. 257-263, 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, pp. 1381, 1997.

정 승 우 (Seung-Woo Jung)

[정회원]



- 2000년 2월 : 원광대학교 전자재료공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : 원광대학교 전자재료공학과 (공학박사)
- 2006년 1월 ~ 현재: (주)웨이브 파츠 수석연구원

<관심분야>

도파관필터설계, 시뮬레이션, 정보통신부품

임 광 택(Kwang-Taeg Lim)

[정회원]



- 1989년 3월 : 광운대학교 전자계산기공학과 (공학석사)
- 1993년 8월 : 광운대학교 전자계산기공학과 (공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 호원대학교 컴퓨터게임학부 교수

<관심분야>

문서정보처리, SGML/XML