
이동통신 중계기용 아이솔레이터의 설계 및 제작

정승우* · 정윤환* · 박노준* · 강영진* · 최우성*

Design and Fabrication of Isolator for Mobile Repeater

Seung-Woo Jung* · Yun-Hwan Jeong* · Noh-Joon Park* · Young-Jin Kang* · U-Sung Choi*

이 논문은 2006년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨

요 약

본 논문에서는 온도보상 자기회로를 갖는 집중정수형 아이솔레이터를 설계하고 전자계 시뮬레이션을 통한 최적 파라미터를 이용하여 각각 K-PCS, GSM1900, W-CDMA, WiBro 대역의 이동통신 중계기용 아이솔레이터를 제작하였으며 IMD 특성을 평가하였다. 결과로서 K-PCS 대역의 경우에 Insertion loss와 Return loss는 각각 0.2 dB 이하, 25 dB 이상, Isolation 23 dB에서 대역폭은 30 MHz이었고 GSM1900의 경우에는 각각 0.25 dB, 23 dB, Isolation 30 dB에서 대역폭은 60 MHz이었으며 W-CDMA의 경우에는 각각 0.15 dB, 25 dB, Isolation 24.8 dB에서 대역폭은 60 MHz이었다. 또한 WiBro 대역의 경우에는 각각 0.25 dB, 23 dB 이상, Isolation 22.1 dB에서 대역폭은 100 MHz이었고 IMD 측정결과는 76.4 dBc~80.1 dBc이었으며 기존의 제품에 비하여 우수한 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

The lumped element isolators with temperature compensation magnetic circuits were designed in this paper. Isolators for mobile repeater at each band of K-PCS, GSM1900, W-CDMA, WiBro were fabricated by using optimum parameters of EM simulation. From the results of this study, first of all, insertion loss at K-PCS band was below 0.2 dB and return loss was over 25 dB. The bandwidth in isolation 23 dB was found 30 MHz. Secondly, the figures of both losses at GSM1900 were 0.25 dB and 23 dB, respectively. The measured bandwidth in isolation 30 dB was 60 MHz. Thirdly, the losses at W-CDMA band were 0.15 dB and 25 dB. The bandwidth in isolation 24.8dB was found 60 Mhz. Finally, the figures of both losses at Wibro band were 0.25 dB and 23 dB, respectively. The measured bandwidth in isolation 22.1dB was 100 Mhz. In addition, the results of measured IMD were shown from 76.4 dBc to 80.1 dBc.

키워드

Isolator, Mobile Repeater, Ferrite, Isolation, Temperature Compensation

I. 서 론

아이솔레이터와 서큘레이터는 무선 통신 시스템의 RF front-end를 구성하는 부품의 하나로 수동소자이면서, 비가역 전달특성을 갖는다. 이러한 비가역 특성을 이

용하여 RF 회로간의 간섭을 줄여주거나 핵심부품의 보호 또는 임피던스 정합용으로 널리 사용되고 있다. 서큘레이터는 일반적으로 단자 수에는 제한이 없으나 3개의 단자로 이루어져 있는 것이 대부분이고 이상적인 3-단자 서큘레이터는 각 단자에서 반사가 없고 서큘레이션

방향으로는 삽입손실이 없으며, 역방향으로 전달되는 신호에 대해서는 큰 감쇠 특성을 갖는다[1-3].

아이솔레이터는 이러한 3-단자 서큘레이터의 1단자를 50Ω으로 termination시켜 2-단자만을 사용하고 한쪽 방향으로만 신호를 전달하는 특성을 갖는다. 이러한 용도의 서큘레이터나 아이솔레이터는 RF 시스템에서 송신단의 역방향으로 들어오는 전력을 제거, 불필요한 혼변조를 막아서 통신변조성능을 강화시키며, power AMP 출력단의 특성이 떨어지는 output VSWR을 보정해줌으로써 소자파괴를 막고, duplexer와 antenna 같은 뒷단 외부 소자에 대한 민감도를 떨어뜨려서 PA동작을 안정화시키는 역할을 하게 된다[2].

서큘레이터는 페라이트와 같은 비가역 전파특성을 이용하며 그 내부는 직류 자계를 인가하는 자석, 페라이트 공진기와 이 공진기를 결합시키는 단자들로 이루어진다. 초기의 서큘레이터는 자이레이터나 Faraday rotator를 이용하였으며, junction형 서큘레이터가 등장한 것은 1950년대 말이다. 서큘레이터는 사용되는 공진기의 형태에 따라 집중정수형과 분포소자형으로 나뉘며 분포소자형 공진기의 크기는 동작 주파수에 반비례하므로 상대적으로 낮은 UHF 영역 이하에서는 공진기가 커지는 문제를 안고 있다[1-3].

본 연구에서는 이동통신 중계기에서 사용가능한 집중정수형 아이솔레이터를 구현하기 위하여 전자계 시뮬레이션을 통한 최적의 파라미터를 추출하고 각각 K-PCS, GSM1900, W-CDMA 및 WiBro 대역의 이동통신 중계기용 아이솔레이터를 제작한 후 시험하였다[4-8].

II. Isolator 설계 및 제작

그림 1에서는 아이솔레이터 내부를 구성하고 있는 형태를 보여준다. 그림에서 센터 컨덕터로 사용된 junction stripline은 신호 입력단, 출력단 및 격리단을 가지며 컨덕터의 상측과 하측에는 제 1 공진 가닛 페라이트(garnet ferrite)와 제 2 공진 가닛 페라이트가 위치한다. 또한 가닛 페라이트에 외부 자계를 인가하기 위한 마그넷이 존재하며 외부 자계의 자속을 균일하게 하기 위한 폴피스와, 온도 보상회로 구현을 위한 패드가 놓인다[5-7].

페라이트와 유전체는 assembly type을 이루는 디스크 형태로 되어 있으며, 내부 구조 및 size는 주파수 대역별

로 simulation을 실시하였다.

외부 자계 인가를 위한 magnet으로는 고자력을 인가할 수 있는 SmCo ferrite를 선택하였다. 그러나 이것은 온도 변화에 따른 특성 값의 확보가 어려운 단점을 가지고 있는데, 본 연구에서는 Ni-Alloy 패드를 사용한 온도 보상 회로를 적용하여 온도 변화에 따른 특성 값을 확보하였다. 반면에 Sr-Ferrite는 착/탈자가 용이하고 주파수 특성의 확보가 용이하며 비교적 자력의 값이 작아 상/하에서 동시에 자력 인가가 가능하다.

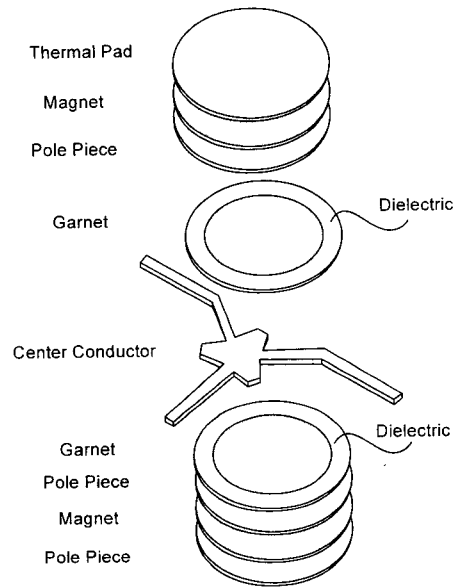


그림 1. 아이솔레이터 내부 구조
Fig. 1. Configuration of implemented isolator

Garnet의 선정에는 다음과 같은 사항을 고려하였다.

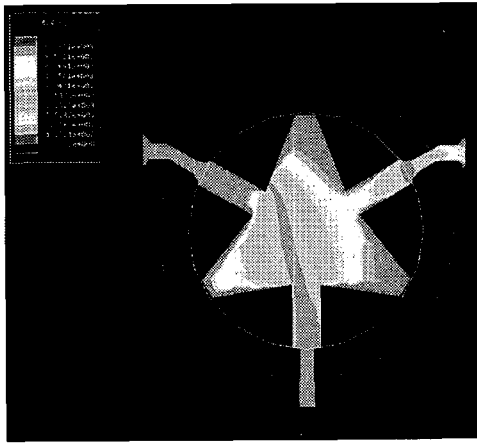
첫째, 아이솔레이터의 특성평가 파라미터 중에서 가장 중요하다고 볼 수 있는 삽입손실 특성의 향상을 위해서 ΔH 값이 작은 calcium vanadium doped YIG ferrite를 고려하였다.

둘째, junction의 크기 감소를 위해서 페라이트에 유전체가 둘러싸고 있는 형태인 assembly type을 선정하였으며 이때 사용한 유전체의 재질은 magnesium calcium titanate이며 유전율은 30으로 하였다.

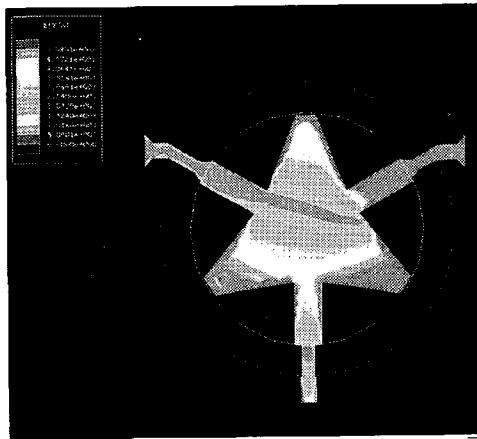
셋째, IMD특성 향상을 위하여 Sr-ferrite에 silver paste dipping 공정을 추가하였다.

설계에 적용된 pole piece는 등가회로 상에서 shunt 역

할을 하며 ferrite에 공급되는 외부자계를 끌고루 분포시키는 자력 조정 역할을 하는데 0.1t, 0.25t, 0.5t로 두께가 커질수록 자력이 강해져 고주파로 중심주파수가 이동한다. 본 연구에서는 SUS436 재질을 사용하였다.



(a) 포트 1 - 포트 2 (순방향)
(a) Port 1 - Port 2 (Forward)



(b) 포트 2 - 포트 3 (역방향)
(b) Port 2 - Port 3 (Reverse)

그림 2. 스트립라인의 필드 분포
Fig. 2. Field distribution on junction stripline

아이솔레이터를 구성하는 junction stripline의 설계는 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 설계하였으며 port 1에서 port2로 향하는 forward 방향과 port2에서 port3으로 향하는 reverse 방향에서 계산된 전계분포를 각각 그림 2에 나타내었다.

그림 3과 그림 4는 각각 GSM1900과 W-CDMA 대역 아이솔레이터의 시뮬레이션 결과이다. 먼저 GSM1900의 경우를 살펴보면, 중심주파수 1950MHz에서 각각 0.18dB와 26.4dB의 insertion loss와 return loss를 보였고 isolation은 20.3dB이었으며 대역폭은 80MHz이었다. W-CDMA 대역의 시뮬레이션에서는 중심주파수 2150MHz에서 각각 0.15dB와 30.7dB의 insertion loss와 return loss를 보였고 isolation은 20.8dB이었으며 대역폭은 100MHz이었다.

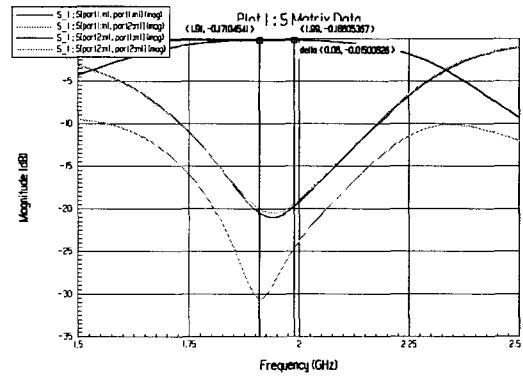


그림 3. GSM1900용 아이솔레이터의 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Simulation result of isolator for GSM1900

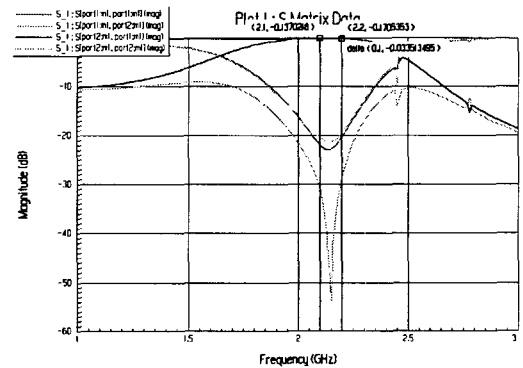


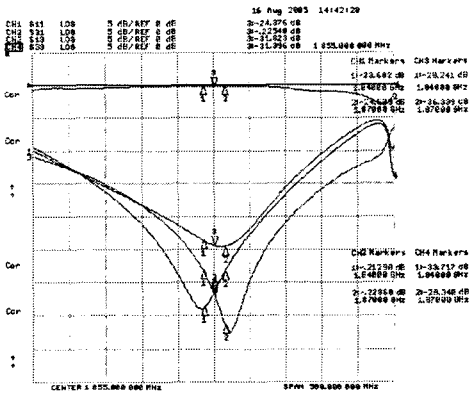
그림 4. W-CDMA용 아이솔레이터의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation result of isolator for W-CDMA

제작된 아이솔레이터의 특성 측정은 Network Analyzer 8753E를 이용하였으며 삽입손실과 반사손실 그리고 아이솔레이션 등의 특성을 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

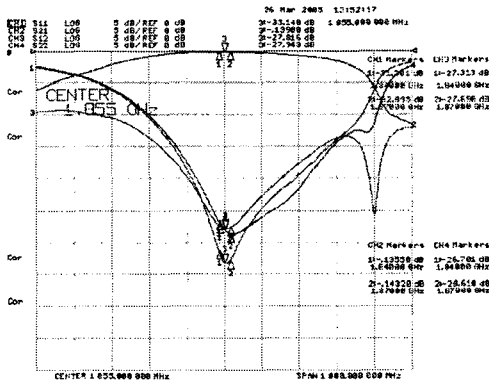
상온 테스트는 +25°C를 기준으로 측정하였으며 항온 항습 chamber 테스트의 경우에는 -30°C~+95°C의 온도 변화에 따른 주파수 특성을 비교 측정하였다.

그림 5는 제작된 K-PCS 대역 isolator의 온도에 따른 주파수 특성곡선이며 반사손실과 isolation은 각각 30dB 이상이고 삽입손실은 0.2dB 이내의 결과를 보였다.

측정한 결과 25°C 상온에서의 특성은 밴드 폭 30MHz 범위 내에서 삽입손실 0.15dB 이하이고, 반사손실은 각 port 별로 25dB 이상의 값을 보였다. 아이솔레이션은 23dB 이상의 값을 보였다.



(a) 상온(25°C) 주파수 특성
(a) Characteristics at room temperature



(b) 고온(85°C) 주파수 특성
(b) Characteristics at high temperature

그림 5. K-PCS용 아이솔레이터의 측정 결과
Fig. 5. The measured results of isolator for K-PCS

고온에서 측정한 결과는 온도가 올라감에 따라 점차 반사손실과 아이솔레이션의 공진위치가 변화를 일으키기 시작하였고, 85°C 에서 10시간 방치한 후 특성은 그림 5의 (b)와 같이 약 10MHz 고주파로 shift 하였다. 삽입손실은 0.18dB로 다소 떨어졌으나 0.25dB 이내를 만족

하고 있으며 반사손실과 아이솔레이션 또한 25dB 이상의 값을 유지하였다.

시뮬레이션 결과와 비교하였을 때 반사손실은 10dB 정도 차이를 보이고 있으며, 아이솔레이션은 시뮬레이션 결과와 비교하여 55%의 값을 보였다. 이러한 원인으로는 설계시 외부에서 가해지는 자계의 조건에 대한 오차와 sample 제작에 있어 strip의 위치가 시뮬레이션에서의 위치와 차이가 발생함에 기인한 것으로 판단된다. 다만, 그 특성에 있어서는 연구 개발하고자 하였던 결과를 만족하였다.

25°C 상온에서의 측정결과를 살펴보면 측정 span 30MHz에서 삽입손실이 0.21dB에서 0.22dB의 값을 보였고 반사손실은 Port 1의 경우에 23.6dB에서 24.6dB를 보였으며, Port 2의 경우에는 중심주파수에서 33.7dB에서 28.3dB이었고 중심주파수에서는 31.3dB이었다. Port 1의 삽입손실은 유전체 bar를 이용하여 튜닝이 가능하였으며 아이솔레이션 특성은 측정 주파수 span 내에서 28.2dB부터 36.3dB까지의 값을 보였고 중심주파수에서는 31.8dB이었다.

그림 6은 제작된 GSM1900 대역 isolator의 주파수 특성곡선이며 중심주파수에서의 반사손실과 isolation은 각각 23dB 이상이고 삽입손실은 0.25dB 이내로 측정되었다.

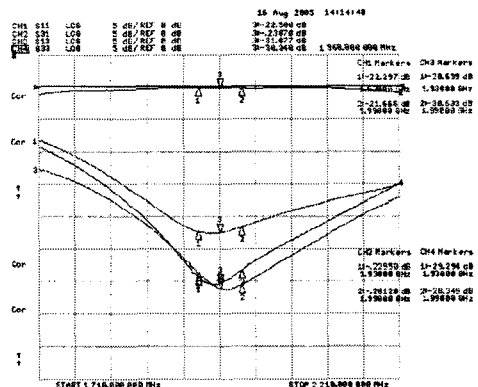


그림 6. GSM1900용 아이솔레이터의 측정 결과
Fig. 6. The measured results of isolator for GSM1900

측정한 결과 25°C 상온에서의 특성은 밴드 폭 60MHz에서 삽입손실이 0.21dB에서 0.22dB의 값을 보였고, 반사손실은 Port 1의 경우에 21.6 dB에서 22.9dB를 보였으며 Port 2의 경우에는 중심주파수에서 38.3 dB이었다. Port 1의 경우에는 유전율이 90이상인 유전체 bar를 통한 튜닝공정을 통하여 0.2dB 이내의 값을 구현하였다.

아이솔레이션 특성은 측정 주파수 span 내에서 30.6dB부터 38.6dB까지의 값을 보였으며 중심주파수에서는 31dB 이상으로서 22dB를 초과하는 우수한 특성을 확인하였다.

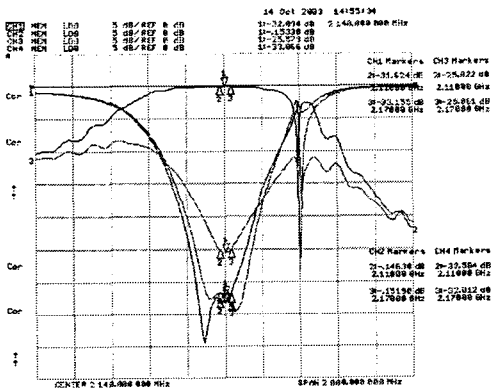
W-CDMA 대역은 주파수 범위가 2110~2170MHz으로 국내 IMT-2000 주파수 대역에 적용이 가능하다. 측정결과 그림7의 (a)와 같이 insertion loss는 0.15dB이하, Return loss는 25dB이상이었고 isolation은 최소값이 24.8dB이다.

측정한 결과 25°C 상온에서의 특성은 bandwidth 60MHz에서 삽입손실의 변화는 0.14dB에서 0.15dB의 값을 보였고, 반사손실은 Port 1의 경우에 31.6 dB에서 33.1dB를 보였으며 Port 2의 경우에는 중심주파수에서 33.1 dB이었다.

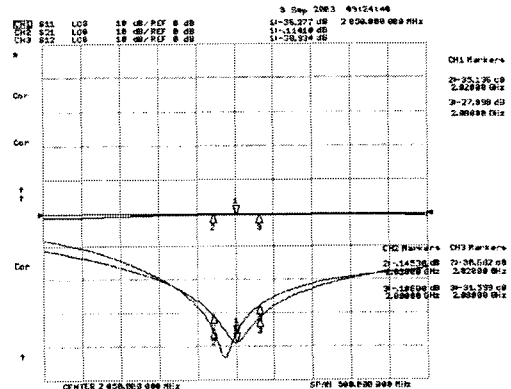
아이솔레이션 특성은 측정 span 내에서 25.1dB의 값을 보였고 중심주파수에서는 25.5dB 이상으로서 22dB를 만족하였다.

95 °C에서의 온도 특성은 그림 7의 (b)와 같다. 고온특성은 30MHz 고주파로 shift 하였으며, 온도특성에서도 특성을 만족하기 위해서는 특성을 만족하는 주파수 대역이 실제 60MHz 대역이 아닌 120MHz대역에서 설계스펙을 만족해야 함을 확인 하였다.

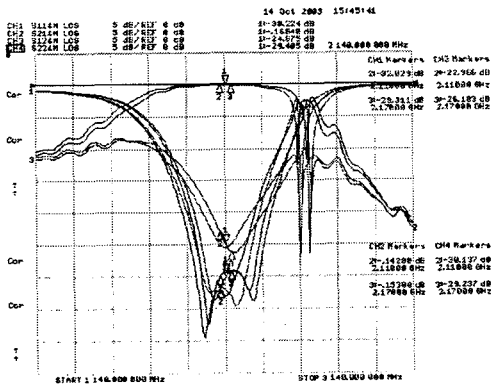
온도에 따른 주파수 변화 test는 먼저 25°C 상온에서 측정을 한 후 95°C 고온에서 3시간 방치한 후 특성을 확인하였다. 저온에서는 -30°C에서 3시간 방치 후 측정을 실시하였고, 이 때 온도보상용 회로가 없는 경우와 온도보상 자기회로를 추가한 후, 각각 테스트하여 온도보상에 따른 특성의 안정도를 확인하였다.



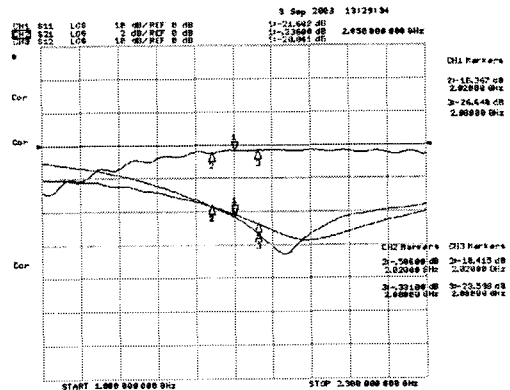
(a) 상온(25°C) 주파수 특성
(a) Characteristics at room temperature



(a) 상온(25°C) 특성곡선
(a) Characteristics at room temperature(25°C)

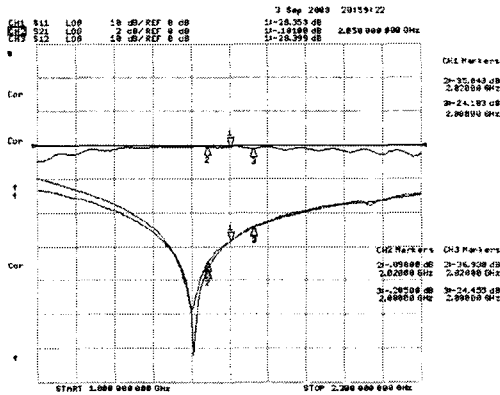


(b) 고온(85°C) 주파수 특성
(b) Characteristics at high temperature

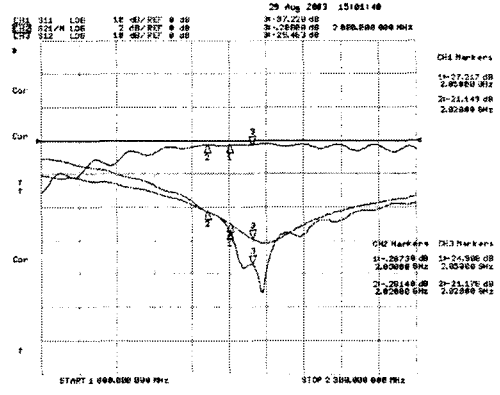


(b) 고온(95°C) 특성곡선
(b) Characteristics at high temperature(95°C)

그림 7. W-CDMA용 아이솔레이터의 측정 결과
Fig. 7. The measured results of isolator for W-CDMA



(c) 저온(-30°C) 특성곡선
(b) Characteristics at low temperature



(b) 고온(95°C) 특성곡선
(b) Characteristics at high temperature(95°C)

그림 8. 온도보상 회로가 없는 아이슬레이터의 특성
Fig. 8. Characteristics of Isolator without temperature compensation magnetic circuits

그림 9. 온도보상 회로가 있는 아이슬레이터의 특성
Fig. 9. Characteristics of Isolator with temperature compensation magnetic circuits

그림 8은 온도보상용 회로가 없는 아이슬레이터의 상온과 저온, 고온 특성곡선이다. 그림에서 보는바와 같이 Ni-alloy가 없는 경우 고온에서 고주파로 약 100MHz shift 함을 확인할 수 있다.

저온 특성곡선을 보면 고온과 반대로 50MHz 정도 저주파로 shift 하였으며, 마찬가지로 spec.을 벗어남을 확인할 수 있었다.

상온에서는 삽입손실이 0.15dB 이내, 반사손실과 아이슬레이션 등이 25dB 이상으로 매우 우수한 특성을 보이고는 있었으나, 온도 보상용 Ni-alloy가 없어 고온과 저온에서 150MHz 이상의 변화를 가져옴을 확인하였다.

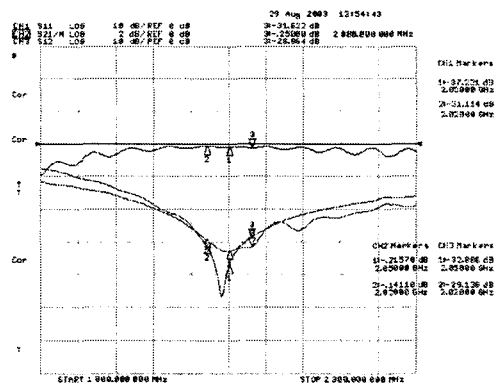
이러한 문제점을 개선하기 위해 32% Ni-alloy를 이용하여 junction을 중심으로 아래와 위쪽에 각기 변화를 주어가며 온도가 변함에 따라 변함이 가장 적은 최적의 조건을 확보하였으며, 그에 따른 특성곡선을 그림 9에 보였다.

이러한 결과로부터 최적화된 설계와 함께 온도에 따른 변화 특성을 확인하여야 하고, 사용되어지는 재료의 온도 특성 및 물성에 대한 이해가 선행되어야 함을 확인할 수 있었다.

그림 10은 제작된 WiBro 대역 Isolator의 주파수 특성곡선이며 중심주파수에서의 반사손실과 isolation은 각각 23dB 이상이고 삽입손실은 0.25dB 이내의 결과를 보였다.

측정한 결과 25°C 상온에서의 특성은 밴드 폭 100MHz에서 삽입손실이 0.25dB에서 0.12dB의 값을 보였고 중심주파수에서는 0.16dB이었으며, 반사손실은 Port 1의 경우에 24.1dB에서 25.5dB를 보였으며 중심주파수에서는 27.4dB이었다. Port 2의 경우에는 23.8dB에서 22.6dB를 보였으며 중심주파수에서 25.5dB이었다.

아이슬레이션 특성은 측정 span 내에서 19.7dB부터 23.4dB까지의 값을 보였고 중심주파수에서는 22.1dB이었는데 개발목표인 22dB를 만족하였고, 또한 조립공정에서 ferrite와 magnet 또는 microstip junction과의 정렬을 조정함에 따라 특성 값이 개선될 수 있음을 확인하였다.



(a) 상온(25°C) 특성곡선
(a) Characteristics at room temperature(25°C)

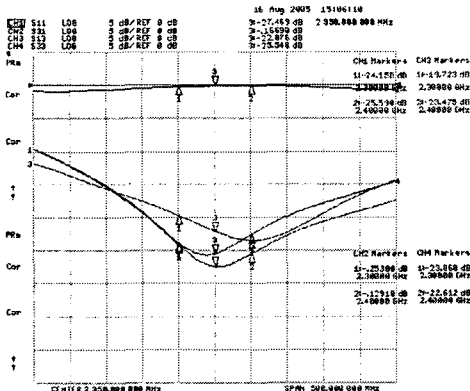


그림 10. WiBro용 아이솔레이터의 측정 결과
Fig. 10. The measured results of isolator for WiBro

III. IMD 구축 및 특성 평가

최근 RF passive device의 주요 평가항목이 되는 IMD 특성 평가를 위하여 그림 11과 같이 측정 시스템을 set up 하였다. 측정시스템의 구성은 power meter와 high power용 attenuator, power combiner와 측정 주파수 대역별 power AMP, 신호원을 인가하기 위한 signal generator, high power에서 사용이 가능한 cable 그리고 주파수 특성을 확인할 수 있는 spectrum analyzer로 나누어 볼 수 있다.

측정을 위해서는 먼저 signal generator가 off 되어있는지 확인하고 power meter의 입력 주파수를 설정한 후 calibration을 실시하였으며 spectrum analyzer의 주파수 입력 파라미터를 측정하고자 하는 아이솔레이터의 중심주파수에 맞도록 설정하였다.

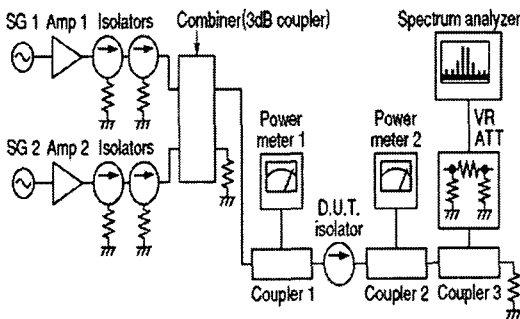


그림 11. IMD 측정 시스템 구성도
Fig. 11. Configuration for IMD measurement system

표 1. IMD 측정 결과
Table 1. IMD measurement results

주파수 대역	IMD 측정값	비고
CDMA	76.4dBc	40W 2-tone (CW)
W-CDMA	80.5 dBc	
K-PCS	78.8 dBc	
Gap-Filler	80.1 dBc	

설정이 완료된 후 amp.와 signal generator를 combiner 에 맞도록 주파수를 설정하여 각각의 signal generation의 amplitude 값을 정한 후 power meter를 이용하여 출력을 확인하였다. 출력 level을 원하는 값까지 확인한 후 제품을 측정하여 안정된 때까지 기다려 peak 값을 확인하였다.

표 1은 제작된 아이솔레이터의 IMD 측정값을 보여주고 있는 것이다. 측정시 40W 2-tone CW로 power를 인가하여 측정하였으며, 평균 75 dBc로 예상했던 값에 비하여 다소 떨어지기는 하나 active 소자의 inter-modulation 에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 온도보상 자기회로를 갖는 집중정수형 아이솔레이터를 설계하고 전자계 시뮬레이션을 통하여 최적의 junction 파라미터를 구하였으며 각각 K-PCS, GSM1900, W-CDMA, WiBro 대역의 이동통신 중계기용 아이솔레이터를 제작하고 IMD 특성을 평가하였다.

결과로서 K-PCS 대역의 경우에 insertion loss와 return loss는 각각 0.2dB 이하, 25dB 이상, isolation 23dB에서 대역폭은 30MHz이었고 GSM1900 대역의 경우에는 각각 0.25dB, 23dB, isolation 30dB에서 대역폭은 60MHz이었으며 W-CDMA의 경우에는 각각 0.15dB, 25dB, isolation 24.8dB에서 대역폭은 60MHz이었다.

또한 WiBro 대역의 경우에는 각각 0.25dB, 23dB 이상, isolation 22.1dB에서 대역폭은 100MHz이었고 IMD 측정 결과는 76.4dBc~80.1dBc로 측정되었다.

따라서 본 연구를 통하여 다양한 주파수대역에서 이동통신 중계기에 적용할 수 있는 아이솔레이터를 설계 및 제작하였으며 기존의 제품에 비하여 우수한 특성을 확인하였다. 향후 온도에 따른 주파수 특성의 향상과 더불어 광대역화에 관한 연구가 있어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

[1] Douglas K. Linkhart, *Microwave Circulator Design*, Artech House, 1989

[2] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, 1996

[3] H. Bosma, "On stripline Y-circulation at UHF," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.12, pp. 61~72, Jan. 1964

[4] Y. Konishi, "Lumped element Y circulator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.13, pp. 825~964, Nov. 1965

[5] J. Deutsch and B. Wieser, "Resonance Isolator and Y Circulator with Lumped Element at VHF," *IEEE Trans. Magnetics*, Vol.2, no.3, pp. 278~282, Sep. 1966

[6] J. Helszjn and M. McDermott, "The inductance of a Lumped Constant Circulator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.18, pp. 50~52, Jan. 1970

[7] R. H. Knerr, C. E. Barnes and F. Bosch, "A compact broadband thin-film lumped element L-band circulator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.18, pp. 1100~1108, Jan. 1970

[8] R. E. Neidert, "Losses in Y-Junction Stripline and Microstrip Feffite Circulator," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol.41, pp. 1081~1086, Jun. 1993

저자소개

정 윤 환(Yun-Hwan Jeong)



2007년 2월 원광대학교 전기전자공학과 졸업
2007년 3월~현재 원광대학교 전자재료공학과 재학중

※ 관심분야 : Microwave material, RF passive device

정 승 우(Seung-Woo Jung)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제11권 8호 참조

최 우 성(U-Sung Choi)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제11권 8호 참조

박 노 준(Noh-Joon Park)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제10권 2호 참조

강 영 진(Young-Jin Kang)

※ 한국해양정보통신학회 논문지 제8권 2호 참조