

K-PCS와 W-CDMA 듀얼밴드용 유전체 듀플렉서와 밴드패스 필터의 설계 및 제작

최우성^{1,a}, 양성현², 김철주³, 문옥식⁴

¹ 원광대학교 전기정보통신공학부

² 광운대학교 전자공학과

³ 전북대학교 화학과

⁴ (주)유일씨엔티 개발팀

Design and Fabrication of Dielectric Duplexer and Bandpass Filters for K-PCS and W-CDMA Dualband

U-Sung Choi^{1,a}, Sung-Hyun Yang², Cheol-Ju Kim³, and Ok-Sik Moon⁴

¹ Department of Electrical, Information and Communication Engineering, Wonkwang University, Iksan 570-749, Korea

² Department of Electronics, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

³ Department of Chemistry, Chonbuk University, Jeonju 561-756, Korea

⁴ R&D Team, Yooilnt Co. Ltd., Ansan 426-808, Korea

(Received October 9, 2012; Revised November 5, 2012; Accepted November 7, 2012)

Abstract: The K-PCS and W-CDMA dual band dielectric duplexer and bandpass filters have been designed and fabricated. The dual band duplexer consists of the separate monoblock K-PCS and W-CDMA duplexers using common antenna port. The coupling capacitance and I/O impedance matching have been designed to minimize the cross interference between the bands. Isolations of crosspoint between Tx and Rx in K-PCS and W-CDMA dualband were about 47 dB and 100 dB, respectively. On the other hand, isolations of Tx and Rx in K-PCS and W-CDMA were about 66 dB and 65 dB, respectively. The difference between 47 dB and 100 dB originated from the different center frequencies in Tx and Rx of K-PCS and W-CDMA bands. The coupling capacitance of the bandwidth, I/O capacitance of I/O matching and impedance matching, and various capacitances were important role to fabricate the dielectric duplexer and bandpass filters.

Keywords: K-PCS, W-CDMA, Isolation, Capacitance

1. 서론

통상적인 대역여파기는 L (인덕터)과 C (커패시터)의 조합으로 이루어진다. 이때 사용되는 인덕터는 에어코일이나 세라믹코어에 에어코일을 병렬로 연결한 제품을 많이 사용한다. 커패시터는 칩 커패시터를 주로 사용한다. 여기서 대역여파기를 구현하기 위해서는 L과C의 직렬이나 병렬로 연결하여 공진회로를 구

a. Corresponding author; uschoi@wku.ac.kr

성하고, 회로의 공진주파수를 이용하여 필터를 설계하는 방식을 채택하고 있다. 수백 MHz 이상의 공진주파수를 얻기 위해서는 일반 에어코일이나 칩 커패시터로는 구현이 되지 않는 아주 작은 용량의 인덕터나 커패시터가 필요하게 된다. 이에 대한 보완점으로 세라믹 소자를 이용한 L/C 병렬공진 회로가 채택되고, 수백 MHz 이상의 고주파 공진주파수를 얻을 수 있다 [1-6].

이처럼 세라믹 소자를 이용하여 아주 작은 인덕턴스값과 커패시턴스값을 내포한 병렬공진회로의 세라믹 공진기 (resonator)를 이용한 필터가 구현 가능하다. 이처럼 세라믹 소자를 이용하면 고주파의 병렬공진 주파수를 얻고, 이러한 병렬 공진주파수를 이용하여 대역여파기를 구현하는 것을 세라믹 대역여파기 (필터)라 한다 [7,8].

세라믹 필터의 장점으로는 일반적 인덕터나 커패시터스로는 구현 불가능한 수백 MHz 이상의 중심주파수에 대역을 형성하는 필터를 설계, 제작할 수 있고, 세라믹 공진기를 이용하기 때문에 필터 구현하는데 있어서 회로구성이 간단하여 소형의 필터를 설계 및 제작할 수 있다. 필터응답 특성의 미세한 튜닝 시 저주파 L과 C필터에 비하여 튜닝기술의 난이도가 적고, 보다 정밀한 미세튜닝이 가능하다. 또한, L과 C필터는 각 공진회로 소자 및 기타 소자들의 연결이 개별로 분리되어, 제조 공수가 많이 필요하다. 반면에 세라믹 필터는 공진회로 및 기타 연결 용량들이 일체형으로 형성되어 있어 제조공수가 훨씬 적게 필요하고, L과 C필터에 비하여 공진기 자체 회로가 일체형으로 움직이므로, 회로 설계 시 보다 간단한 회로로서 필터 구현이 가능하다 [9-11].

이러한 특성 등을 활용하여 2세대와 3세대 통신을 동시에 만족할 수 있는 통신시스템이 필요함에 따라 본 연구에서는 K-PCS와 W-CDMA 듀얼밴드용 유전체 듀플렉서와 밴드패스 필터를 설계 및 제작하였다. 또한, 유전체 세라믹 표면에 전기장에 의해서 형성, 제어 되는 다양한 캐패시턴스가 주파수 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 설계 및 제작

세라믹공진기는 일정량의 유전율 (Er)을 가진 자체 공진 방식인 TEM mode 방식과 coaxial 구조로서 내

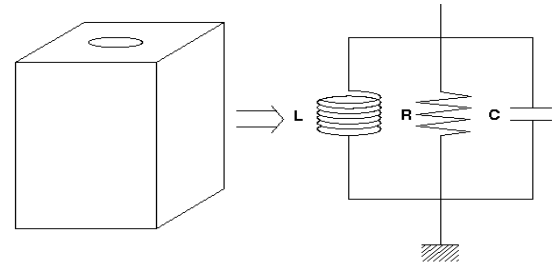


Fig. 1. The inner circuit of ceramic resonator.

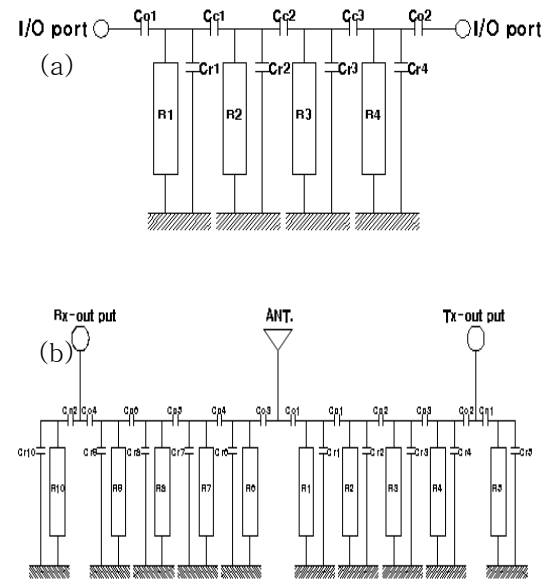


Fig. 2. The circuit of ceramic mono-block BPF and duplexer. (a) The circuit of ceramic mono-block BPF, (b) the circuit of ceramic mono-block duplexer.

부 원통형의 관통구조를 가지고 전체 외곽은 전기 전도도가 우수한 은 (Ag)으로 도포되어 있는 구조로 되어 있다.

그림 1에서는 세라믹 공진기의 내부 회로도도 나타내었다. 공진기 자체 내부 회로도 R/L/C 병렬구조로 해석된다. 저항성분 R은 세라믹 소체 자체의 Q값 (quality factor)과 밀접한 관계가 있으며, 이는 대역형성 시 삽입손실 및 기타 S₂₁ 특성에 중요한 변수이다. 인덕턴스 성분 L은 세라믹소체 내부의 관통홀의 반경 및 원통의 길이에 의해서 형성되며 공진 주파수

형성에 중요한 변수이다. 커패시턴스 성분 C는 세라믹 소체 내부의 세라믹 재료의 유전율과 밀접한 관계가 있으며 이 또한 공진 주파수 형성에 중요한 변수이다.

그림 2(a)에서는 세라믹 BPF 회로도를 나타내었다. 두 포트 중 어느 한 포트를 입력이나 출력포트로 사용할 수 있다. BPF는 듀플렉서와 달리 구조 상 Low-pass 필터를 대칭 이동하여 만드는 방식을 채택하기 때문에 커플링 용량과 기타 용량이 좌우 대칭이다. 커플링 커패시턴스 (coupling capacitance)인 $C_{c1} \sim C_{c3}$ 경우 듀플렉서에서는 커플링 용량이 전체가 다르게 형성되나, BPF에서는 대칭구조를 갖는다. 회로도에서의 C_{c1} 과 C_{c3} 은 용량이 동일하다. C_{c2} 는 C_{c1} 와 C_{c3} 보다 적은 용량의 구조를 갖는다. I/O 커패시턴스 (I/O capacitance)인 $C_{o1} \sim C_{o2}$ 경우 듀플렉서의 I/O 커패시턴스 용량이 서로 다른 용량을 가지고 있지만, BPF에서는 동일한 용량이 필요하다. 공진주파수 제어 커패시턴스인 $C_{r1} \sim C_{r4}$ 경우 듀플렉서의 공진기 주파수 제어 커패시턴스는 서로 다른 용량이 필요하나 BPF에서는 좌우대칭 구조를 갖는다. 회로도에서의 C_{r1} 과 C_{r4} 는 동일하고, C_{r2} 과 C_{r3} 는 동일한 구조를 갖는다.

그림 2(b)에서는 세라믹 듀플렉서 회로도를 나타내었다. 회로도는 서로 다른 두 개 이상의 통과대역 (Tx, Rx)의 공통 신호 입력단자인 안테나 포트, 공통 입력단자 (ANT)에 신호가 입력되어 얻을 수 있는 송신단 응답 특성 출력단자인 송신단 (Tx) 출력포트, 공통 입력단자 (ANT)에 신호가 입력되어 얻을 수 있는 수신단 응답 특성 출력단자인 수신단 (Rx) 출력포트로 이루어져 있다. 여파기의 형성 시 대역폭을 좌우하는 커플링 커패시턴스와 입출력 매칭과 임피던스 매칭의 중요한 변수인 I/O 커패시턴스, 공진주파수 제어 커패시턴스, 너치 공진주파수 제어 커패시턴스 등으로 구분할 수 있다. 이들 모든 커패시턴스는 세라믹 소체표면에 존재하는 표면 전기장 (E field)에 의해 형성, 제어할 수 있다. 커플링 커패시턴스 (coupling capacitance): $C_{c1} \sim C_{c6}$, I/O 커패시턴스 (I/O capacitance): $C_{o1} \sim C_{o4}$, 공진주파수 제어 커패시턴스: $C_{r1} \sim C_{r10}$, 너치공진주파수 제어 커패시턴스: $C_{n1} \sim C_{n2}$ 로 각각 나타낼 수 있다.

사용한 유전체의 유전율과 유전손실은 K- PCS 경우 37과 0.0001이며, W-CDMA의 경우는 22와 0.0001이다. 유전체 모노블록 필터의 공진기의 길이, inner 직경, 필터의 사이즈는 구현하기 위한 필터 특성에 따라 달라지게 때문에 정해진 유전체에 형성할 패턴 설계를 기반으로 결정하였다. 실제 제작한 K-PCS와

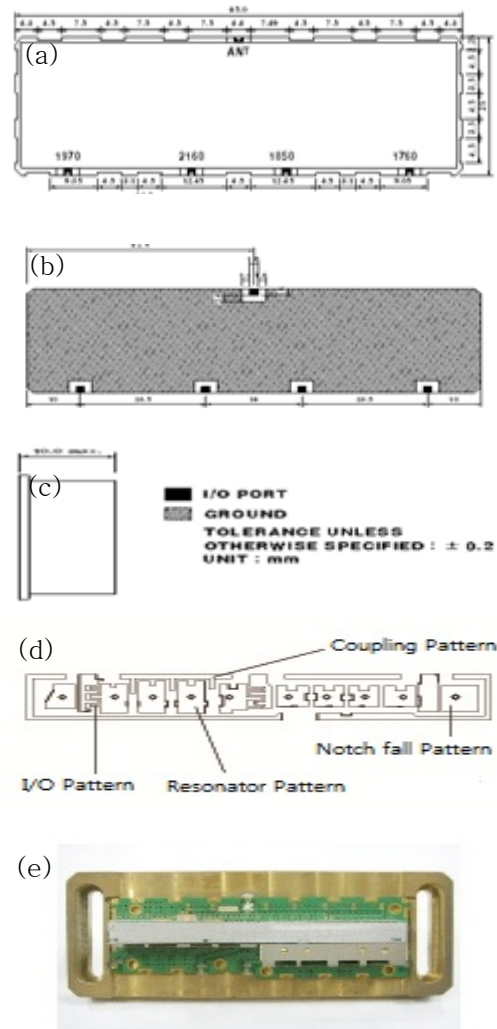


Fig. 3. Four channel multiplexer with common Port of ANT, (a) top view, (b) bottom view, (c) side view, (d) top pattern of W-CDMA duplexer, (e) fabricated four channel multiplexer.

W-CDMA 듀플렉서는 얼고자 하였던 주파수 특성을 구현하기 위하여 유전율이 다른 유전체를 사용한 관계로 크기는 각각 다르지만 10 pole 일체형 세라믹 공진기를 사용하였다.

그림 3에서는 다양한 방향에서의 4채널 멀티플렉서의 형태를 나타내었다. 그림 3(a)와 3(b)에서는 윗면과 바닥면에서 안테나 단자, CDMA 주파수 대역의 2단자, W-CDMA 주파수 대역의 2단자를 나타내며, 3(c)는 옆면을 보여주고 있다. 일체형 필터에 구현하는 패턴의 형태와 방법은 필터의 특성에 따라 조금씩

다르지만 본 논문의 경우 K-PCS와 W-CDMA 듀플렉서의 경우 크기는 다르지만 10-pole을 사용하였고, 회로구현은 유사하기 때문에 본 논문에 W-CDMA 듀플렉서 패턴과 제작한 멀티플렉서를 그림 3(d)와 3(e)에 각각 나타내었다. 그림 3(d)의 패턴은 Tx와 Rx 밴드로 나뉘어져 있는 듀플렉서 패턴이며, 각 밴드는 4폴이 통과대역에 참여하며, 1폴은 감쇠극값의 설계에 용이한 너치폴로 사용하였다. 이러한 패턴은 대역폭을 결정하는 커플링 커패시턴스와 입출력 매칭과 임피던스 매칭의 중요한 변수인 I/O 커패시턴스, 공진 주파수 제어 커패시턴스, 너치 공진주파수 제어 커패시턴스 등을 고려하여 구현하였다. 특히, 각각의 측정값들은 모노블록 유전체 필터의 다음과 같은 다양한 답 패턴과 밀접한 관계가 있는 값들이다. 홀 연결공진 패턴은 홀과 패턴으로 연결된 부위으로써 주파수에만 영향이 있으므로 중심 주파수 이동이나 반사손실, 삽입손실 등 기타 S_{21} 에 영향을 미치나 주로 반사손실과 중심 주파수 이동에 많은 영향이 있다. 커플링 패턴은 주로 대역의 넓고 좁음의 영향에 있다. 패턴과 패턴 사이의 거리에 따른 영향에 의해 통과대역의 변화에 영향을 주는 부분이다. I/O 패턴은 통과대역의 리플과 반사손실에 많은 영향을 미치는 패턴부분이다. 이 용량의 변화에 따라 제품 구현의 반사손실값과 삽입손실, 리플 등의 구조적인 형성에 중요한 역할을 하는 부분이다. 제품의 특성 구현을 위해 각 공진기 폴에 연결된 패턴과 그라운드에 연결되어서 커플링을 컨트롤하는 커플링 용량 부분 등을 튜닝하여 중심 주파수 이동 및 삽입손실, 반사손실 등을 적정값 대로 튜닝하였다.

K-PCS와 W-CDMA 각각의 안테나단의 임피던스 차이에 의해서 발생하는 위상 차를 각각의 안테나단에서 공통 안테나까지의 스트립 라인의 굵기, 넓이, 길이 등을 고려하여 해결하였다. 특히, 본 연구에서는 Tx와 Rx의 아이솔레이션을 확보하기 위하여 너치회로와 최대한의 그라운드를 확보하는 방법을 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 주파수 특성

그림 4에서는 제작한 K-PCS 듀플렉서의 수신단과 송신단의 응답 특성을 나타내었다. Rx 통과대역은 1.75 GHz부터 1.77 GHz이며, 중심주파수는 1.76 GHz

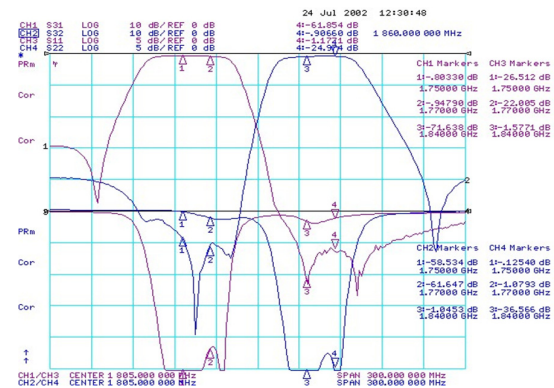


Fig. 4. Response characteristics of K-PCS duplexer.

를 나타내고 있다. 삽입손실은 1.75 GHz에서 -0.8033 dB, 1.77 GHz에서 -0.9479 dB로 볼 수 있고, 대역 내 최대 삽입 손실값은 -0.9479dB, 대역내리플은 0.1446 dB가 된다. 감쇠는 상대대역 (Tx)중 1.84 GHz에서 -71.638 dB, 1.86 GHz에서 -61.854 dB이고, 최저 감쇠량은 -61.854 dB가 된다. 반사손실은 1.75 GHz에서 -26.512 dB, 1.77 GHz에서 -22.005 dB로 최저 반사손실은 -22.005 dB로 볼 수 있다.

Tx 통과대역은 1.84 GHz부터 1.86 GHz이며, 중심주파수는 1.85 GHz를 나타내고 있다. 삽입손실은 1.84 GHz에서 -1.0453 dB, 1.86 GHz에서 -0.9066 dB로 볼 수 있고, 대역 내 최대 삽입 손실값은 -1.0453 dB, 대역내리플은 0.1387 dB가 된다. 감쇠는 상대대역 (Rx) 중 1.75 GHz에서 -58.534 dB, 1.77 GHz에서 -61.647 dB이고, 최저 감쇠량은 -58.534 dB가 된다. 반사손실은 1.84 GHz에서 -36.566 dB, 1.86 GHz에서 -24.974 dB, 최저 반사손실은 -24.974 dB로 볼 수 있다. 아이솔레이션 (isolation)은 Tx와 Rx 교차구역에서 47 dB 이상, 각 Tx와 Rx 구역에서는 66 dB 값을 나타낸다.

그림 5에서는 제작한 W-CDMA 듀플렉서의 수신단과 송신단의 응답 특성을 나타내었다. Rx 통과대역은 1.96 GHz부터 1.98 GHz이며, 중심주파수는 1.97 GHz를 나타내고 있다. 삽입손실은 1.96 GHz에서 -0.9749 dB, 1.98 GHz에서 -1.0869 dB로 볼 수 있고, 대역 내 최대 삽입손실값은 -1.0869 dB, 대역내리플은 0.112 dB가 된다. 감쇠는 상대대역 (Tx) 중 2.15 GHz에서 -70.699 dB, 2.17 GHz에서 -67.605 dB이고, 최저 감쇠량은 -67.605 dB가 된다. 반사손실은 1.96 GHz에서 -20.161 dB, 1.98 GHz에서 -30.970 dB로 최저 반사손실은 -20.161 dB로 볼 수 있다.

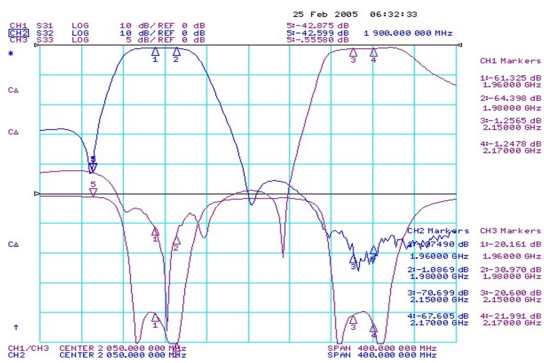


Fig. 5. Response characteristics of W-CDMA duplexer.

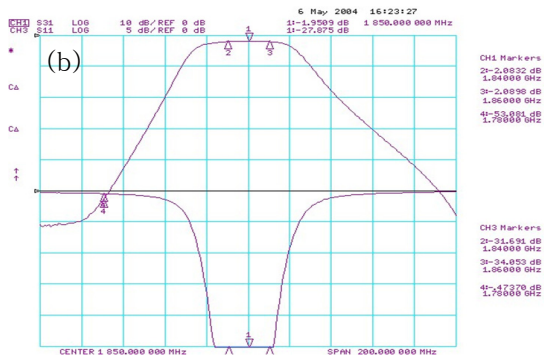
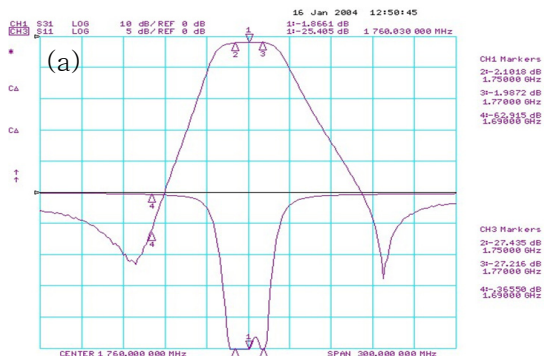


Fig. 6. Response characteristics of K-PCS Rx and Tx band. (a) Response characteristics of K-PCS Rx band, (b) response characteristics of K-PCS Tx band.

Tx 통과대역은 2.15 GHz부터 2.17 GHz이며, 중심 주파수는 2.16 GHz를 나타내고 있다. 삽입손실은 2.15 GHz에서 -1.2565 dB, 2.17 GHz에서 -1.2478 dB로 볼 수 있고, 대역 내 최대 삽입 손실값은 -1.2565 dB, 대역 내 리플은 0.0078 dB가 된다. 감쇠는 상대 대역 (Rx) 중 1.96 GHz에서 -61.325 dB, 1.98 GHz에서

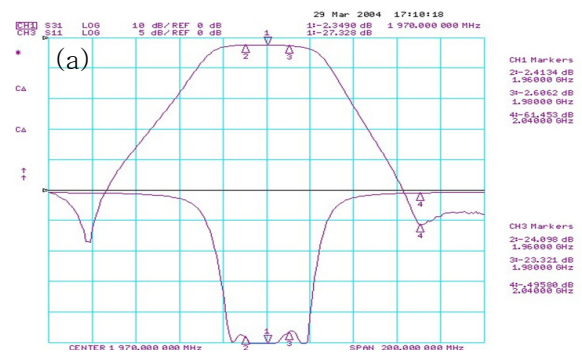


Fig. 7. Response characteristics of W-CDMA Rx and Tx band. (a) Response characteristics of W-CDMA Rx band, (b) response characteristics of W-CDMA Tx band.

-64.398 dB이고 최저 감쇠량은 -61.325 dB가 된다. 반사손실은 2.15 GHz에서 -20.600 dB, 2.17 GHz에서 -21.991 dB, 최저 반사손실은 -20.600 dB로 볼 수 있다. 아이솔레이션 (isolation)값은 Tx와 Rx 교차 구역에서 100 dB 이상, 각 Tx와 Rx 구역에서는 65 dB 값을 나타낸다.

그림 6(a)에서는 제작한 K-PCS Rx 대역에서 필터의 응답 특성을 나타내었다. 통과대역은 1.75 GHz부터 1.77 GHz이고, 중심주파수는 1.76 GHz를 나타내고 있다. 삽입손실은 중심주파수 1.76 GHz에서 -1.8661 dB로 볼 수 있고, 대역 내 리플은 0.2357 dB가 된다. 감쇠는 1.69 GHz에서 -62.915 dB이다. 반사손실은 중심주파수 1.76 GHz에서 -25.405 dB를 보였다.

그림 6(b)에서는 제작한 K-PCS Tx대역에서 필터의 응답 특성을 나타내었다. 통과대역은 1.84 GHz부터 1.86 GHz이고, 중심주파수는 1.85 GHz를 나타내고 있다. 삽입손실은 중심주파수 1.85 GHz에서-1.9509 dB로 볼 수 있고, 대역 내 리플은 0.1389 dB가 된다. 감쇠는

1.78 GHz에서 -53.081 dB이다. 반사손실은 중심주파수 1.85 GHz에서 -27.875 dB를 보였다.

그림 7(a)에서는 제작한 W-CDMA Rx대역에서 필터의 응답 특성을 나타내었다. 통과대역은 1.96 GHz부터 1.98 GHz이고, 중심주파수는 1.97 GHz를 나타내고 있다.

삽입손실은 중심주파수 1.97 GHz에서 -2.3490 dB로 볼 수 있고, 대역 내 리플은 0.2572 dB가 된다. W-CDMA 시스템 구현에 주로 사용하는 로칼 주파수는 2.04 GHz이다. 이 주파수에서의 감쇠는 중요하며, 감쇠는 2.04 GHz에서 -61.453 dB이다. 반사손실은 중심주파수 1.97 GHz에서 -27.328 dB를 보였다.

그림 7(b)에서는 제작한 W-CDMA Tx대역에서 필터의 응답 특성을 나타내었다. 통과대역은 2.15 GHz부터 2.17 GHz이고, 중심주파수는 2.16 GHz를 나타내고 있다. 삽입손실은 중심주파수 2.16 GHz에서 -2.0191 dB로 볼 수 있고, 대역 내 리플은 0.3391 dB가 된다. 감쇠는 2.04 GHz에서 -55.504 dB이다. 반사손실은 중심주파수 2.16 GHz에서 -23.954 dB를 보였다.

이러한 결과들은 세라믹 소재의 표면 전기장에 의해서 형성, 제어되는 커패시턴스의 영향에 의해 좌우되는데 반사손실과 중심주파수 이동은 홀과 패턴으로 연결된 홀 연결공진 패턴, 주파수 대역폭에 영향을 미치는 커플링 패턴, 리플과 반사손실에 영향을 미치는 I/O 패턴 등을 참고하였다. 그리고 실제 미세튜닝을 통한 중심주파수 이동, 삽입손실, 반사손실 등을 적정값으로 맞추는 작업을 하였다. 위 결과에서 보여주듯이 밴드패스 필터는 듀플렉서와 달리 구조 상 LOW-PASS 필터를 대칭 이동하여 만드는 방식을 채택했기 때문에 커플링 용량과 기타 용량이 좌우 대칭이다.

4. 결론

K-PCS 듀플렉서인 경우에 아이솔레이션 (isolation)은 Tx와 Rx 교차구역에서 47 dB 이상, 각 Tx, Rx 구역에서는 66 dB값을 각각 보여준 반면에, W-CDMA 경우에는 아이솔레이션 (isolation) 값은 Tx와 Rx 교차 구역에서 100 dB 이상, 각 Tx, Rx 구역에서는 65 dB값을 보여주었다.

이러한 특성은 여파기의 대역폭을 좌우하는 커플링 커패시턴스와 입출력 매칭과 임피던스 매칭, 리플, 반사손실 등의 중요한 변수인 I/O 커패시턴스, 반사손실과 중심주파수 이동에 영향을 미치는 공진주파수 제어 커패시턴스, 아이솔레이션에 영향을 미치는 너치 공진주파수 제어 커패시턴스와 최대한의 그라운드를 확보하는 방법 등을 고려하여 구현하였다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨.

REFERENCES

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering, 3rd Ed.* (Wiley, New York, 2005)
- [2] S. Butterworth, *Wireless Eng.*, **7**, 536 (1930).
- [3] G. C. Temes and S. K. Mitra, *Modern Filter Theory and Design* (Wiley, New York, 1973)
- [4] G. Mattaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Artech House* (Norwood, 1980)
- [5] J. D. Rhodes, *Theory of Electrical Filters* (Wiley, New York, 1976)
- [6] U. S. Choi and S. H. Yang, *Journal of the Korean Institute of Information and Communication Engineering*, **15**, 1233 (2011).
- [7] R. E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering, 2nd Ed.* (McGraw-Hill, New York, 1992)
- [8] H. Matsumoto, H. Ogura, and T. Nishikawa, *IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, 249 (1994).
- [9] U. S. Choi and N. J. Park, *The Journal of the Korean Institute of Information and Communication Engineering*, **14**, 2397 (2010).
- [10] M. Sagawa, M. Makimoto, and S. Yamasita, *IEEE Trans. MTT*, **33**, 152 (1985).
- [11] M. C. Horton and R. J. Menzel, *IEEE Trans. MTT*, **13**, 316 (1965).