

이동통신 기지국용 삼중대역 멀티플렉서

서수덕^{1,2}, 조학래¹, 양두영^{2*}
¹이너트론 연구소, ²제주대학교 통신공학과

Triple-band Multiplexer for a Low Power Portable Base Station

Soo-Duk Seo^{1,2}, Hak-Rea Cho¹, Doo-Yeong Yang^{2*}

¹Innertron R&D Laboratory

²Dept. of Telecommunication Engineering, Jeju National University

요약 본 논문에서는 마이크로스트립 전송선로를 이용하여 소출력 이동통신 기지국용 삼중대역 멀티플렉서를 설계하고 제작하였다. 이 멀티플렉서는 셀룰러, WCDMA, 그리고 LTE를 포함하는 3개의 이동통신 주파수대역에서 이용 가능하도록 설계하였으며, 통과대역에서는 0.8 dB 삽입손실과 1.5 이하의 정재파비 그리고 차단대역에서는 15dB 이상의 대역저지 특성을 가지도록 설계하였다. 제작된 삼중대역 멀티플렉서 시료로부터 얻어진 신뢰성 테스트의 결과, 모든 시료의 제반 특성이 통과대역 824~894 MHz, 1920~2170 MHz, 2500~2690 MHz에서 최대 삽입손실 0.71dB, 정재파비 1.38, 저지대역 감쇄 15 dB 이상을 보임으로써 우수한 성능과 설계 규격에서 정한 규정을 매우 잘 충족하고 있다.

Abstract In this paper, a triple-band multiplexer using a microstrip transmission line was designed and fabricated to make use of a low power portable base station. This multiplexer was used in the triple-band including the cellular, WCDMA and LTE mobile frequency band, and designed to have an insertion loss of 0.8 dB, low SWR of 1.5 in the passband and a band rejection of 15 dB in the stopband. From the measured results obtained by a confidence test for the fabricated multiplexer samples, the maximum insertion loss and SWR of the fabricated multiplexer samples in all passbands of 824-894MHz, 1920-2170 MHz and 2500-2600 MHz were below 0.71 dB and 1.38, and the attenuations in the stopbands were better than 15 dB. Therefore, the triple-band multiplexer has good performance and satisfies the design specifications.

Key Words : Triple-band multiplexer, low power portable base station, cellular, WCDMA, LTE

1. 서론

근래에 들어 4G LTE (Long Term Evolution) 방식의 이동통신 기술이 성공적으로 활성화됨에 따라 스마트기기 사용자들 간의 데이터 전송량이 기하급수적으로 증가하게 되었고, 더불어 다중대역(multiband)을 이용하는 이동통신 수요자들이 데이터를 고속으로 처리하기 위한 광대역 통신망이 필요하게 되었다. 따라서 다수의 RRH (Remote Radio Head) 기지국이 셀 영역을 관할하는 기존의 이동통신망 형태에서 작은 셀영역(small cell)을 갖

는 초소형 기지국과 인터넷 회선을 이용하는 펄토셀(femtocell) 기지국들의 수요가 폭발적으로 증가할 것으로 예상되고 있다. 현재는 5 Watt급 이하의 소형 기지국에 세라믹 모노블록(monoblock) 필터를 이용하여 송수신 신호를 처리하고 있으나 이는 인접주파수 감쇄 성능이 떨어져 다중대역 결합이 불가능하다. 이러한 대안으로 소수의 집적모듈을 연구하는 관련 분야에서 소형이면서도 낮은 전력에 사용할 수 있는 LTCC(Low Temperature Cofired Ceramic) 적층기판 듀플렉서를 지속적으로 연구하고 있는 실정이다. 따라서 마이크로스트

본 논문은 2014 제주대학교 학술진흥연구지원사업으로 연구되었음.

*Corresponding Author : Doo-Yeong Yang(Jeju Nat'l Univ.)

Tel: +82-64-754-3636 email: yeongyd@jejunu.ac.kr

Received July 28, 2014

Revised August 25, 2014

Accepted December 11, 2014

립 선로를 이용한 멀티플렉서는 이와 같은 이동통신 주파수 대역별 LTCC 듀플렉서들과 여러 종류의 필터를 하나의 기판에 집적하는 집적모듈로도 사용 가능할 것이며, 다목적 용도로 사용되는 다중대역 소출력 기지국을 위한 표준화 제품으로서도 필요하게 될 것이다.

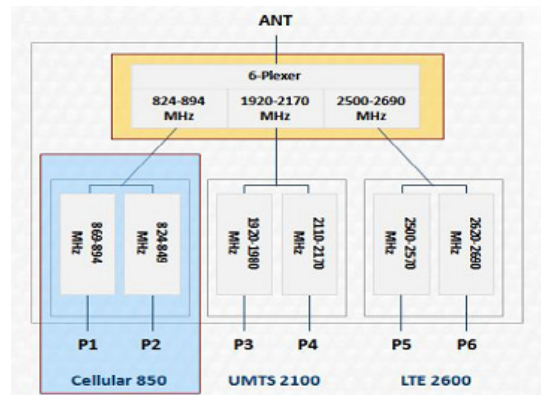
일반적으로 멀티플렉서는 특정한 채널로 들어오는 원치 않는 신호들을 억제하기 위한 필터링 기능을 갖는 여러 개의 공진기 또는 부분 대역 필터들로 복합 구성되어 있다. 기존의 연구 문헌에 보고된 마이크로스트립 선로를 이용한 멀티플렉서 구성 형태들은 매니폴드(manifold) [1], 개방루프(open-loop) [2-4], 계단임피던스(steped-impedance) [5,6], 다중모드(multi-mode) [7, 8] 방법 등이 있다. 이러한 형태로 고안된 멀티플렉서들은 여러 포트들이 동시에 결합되는 접합부에 부가적인 매칭 회로 또는 정합부를 연결하여 다중대역 정합기능을 부여하고, 포트간 격리도를 높이도록 설계하여야 한다 [9-12]. 그러나 마이크로스트립 선로로 구성된 멀티플렉서는 부분적으로 포트 정합이 가능하다고 할지라도, 다중대역을 모두 만족시키는 정합회로를 구성하기가 매우 힘들고 통과대역이 협소해지며 삽입손실이 커지는 단점이 있다.

본 논문의 삼중대역 멀티플렉서(multiplexer)는 안테나와 대역필터 사이에 놓여서 이동통신에 사용 중인 세 개의 주파수 대역을 통합하거나 분리하는 다중화기로서 안테나로부터 입력된 신호를 850 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz 대역의 신호로 각각 분리하거나 또는 각각의 대역 필터로부터 입력된 신호를 통합하여 안테나로 공급하는 역할을 한다. 멀티플렉서를 구성하는 방법은 3개의 이동통신 주파수 대역별로 필터를 만들고, 분기/합성회로를 통하여 모든 주파수대역을 분리하거나 통합함으로써 삽입손실을 줄이고 포트간의 분리도를 높이도록 설계한다. 특히, 포트 분리도를 높이기 위하여 이동통신 주파수 대역을 크게 셀룰러 대역과 2 GHz 이상의 IMT International Mobile Telecommunications) 대역으로 나누어 구성하고, 다시 IMT 대역은 2100 MHz의 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)와 2600 MHz의 LTE 대역으로 나누어 각 대역에서 전송되는 송수신 신호를 분리하는 듀플렉서(duplexer) 간에 간섭이 발생하지 않도록 설계한다. 이 경우, 포트 간에 정합회로가 필요 없도록 병렬 분기 방법을 이용하고, 이웃하는 포트 간에는 간섭을 줄일 수 있도록 할당 주파수 이격 거리

가 먼 주파수 대역 포트를 인접 거리에 배치한다.

2. 삼중대역 통과 멀티플렉서 설계

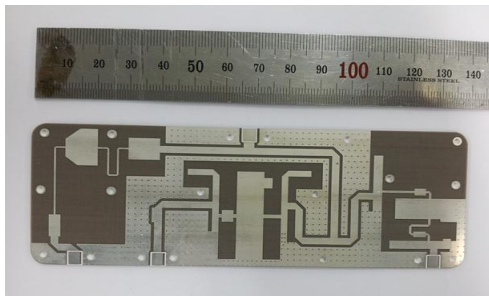
Fig. 1은 4포트 구조를 갖는 트라이플렉서(Triplexer) 또는 삼중대역 멀티플렉서의 구성도이다. 상위 포트인 ANT 포트는 3개의 송신대역필터(P1: 869~894 MHz, P4: 2110~2170 MHz, P6: 2620~2690 MHz)로부터 들어온 신호가 다중화 되어 안테나로 공급하는 역할을 하거나, 또는 반대로 안테나로부터 들어온 신호를 3개의 수신대역필터(P2: 824~849 MHz, P3: 1920~1980 MHz, P5: 2500~2570 MHz)로 신호를 분류하는 단자이다. 하단의 6개의 포트들은 좌측에서 우측으로 각각 850 MHz 셀룰러 이동통신대역(P1, P2), 2100 MHz UMTS/WCDMA (Universal Mobile Telecommunications System) 이동통신대역(P3, P4), 2600 MHz LTE 대역(P5, P6)으로 송수신 신호가 분리하거나 합성되는 포트를 나타낸다.



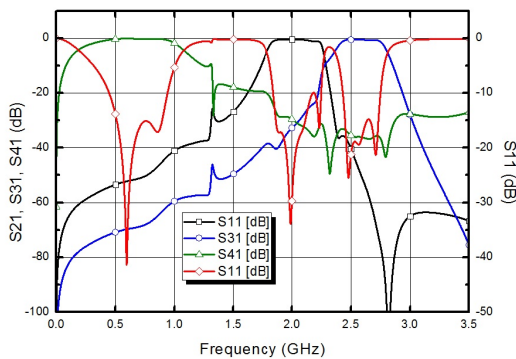
[Fig. 1] Block diagram of triple-band multiplexer

Fig. 1의 하단 좌측 포트는 셀룰러 이동통신 주파수 대역인 824~894 MHz의 주파수대역 신호를 0.8 dB 이내의 삽입손실로 보내고 받을 수 있어야 한다. 여기서 P1은 송신주파수 대역인 869~894 MHz 신호를 처리하는 단자이고, P2는 수신주파수 대역인 824~849 MHz 신호를 처리하는 단자이다. 그리고 하단 중심 포트 P3와 P4는 2500~2690 MHz 대역의 LTE 이동통신 대역신호를 송수신하게 되며, 우측 포트 P5와 P6는 1920~2170 MHz 대역의 WCDMA 이동통신대역 신호를 송수신 처리하는 역할을 한다.

삼중대역 멀티플렉서는 셀룰러, WCDMA, 그리고 LTE를 포함하는 3개의 이동통신 주파수대역에서 삽입 손실 0.8 dB 이내로 손실 없이 신호를 전송하여야 하고, 차단대역에서는 15 dB 이상의 대역저지 특성을 가져야 한다. Fig. 2는 삼중대역의 신호를 송수신하기 위하여 설계한 멀티플렉서를 마이크로스트립 기판에 에칭과정을 통하여 제작한 패턴이다. 멀티플렉서의 하단 포트의 구성 형태는 맨 좌측에 셀룰러 이동통신을 수행함에 있어서 송수신 주파수 대역을 분리하고 합성하는 LTCC 듀플렉서와 연결되는 포트가 배치되어 있다. 그와 인접한 바로 우측에는 삼중대역 중에 가장 주파수 대역이 크게 이격된 LTE 이동통신을 담당하는 듀플렉서와 연결되는 포트가 구성되어 있으며, 맨 우측에는 WCDMA 신호를 처리하는 듀플렉서 포트를 배치하여 3개 이동통신 대역간의 주파수 간섭이 최소화 되도록 설계하였다.



[Fig. 2] Fabricated pattern of triple-band multiplexer



[Fig. 3] Simulation characteristics of triple-band multiplexer

Fig. 3은 이론적인 분석과 고주파 회로설계 시뮬레이션 툴인 ADS (Advanced Design Software)를 사용하여 삼중대역 멀티플렉서 회로를 최적화하고 시뮬레이션한 결과를 나타낸 그림이다. 회로 시뮬레이션 결과, 3개

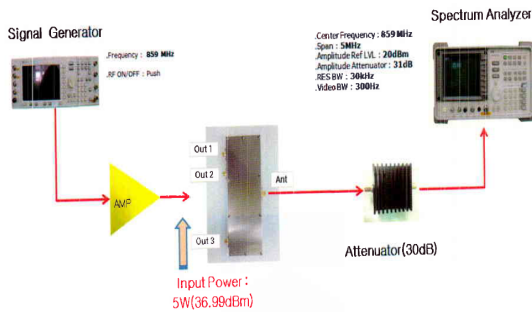
(Cellular, WCDMA, LTE)의 모든 이동통신 주파수 대역에서 차단주파수대역의 스킨트특성은 최소 18 dB 이하로 감쇄되어 15 dB 이상의 설계 규정을 만족하고 있으며, 통과대역에서도 0.5 dB의 이내의 삽입손실과 1.5 이하의 정재파비를 나타내어 설계규정 값을 만족하고 있다. 이동통신 3대역의 대역통과 제반 특성을 서비스 대역별로 살펴보면, 셀룰러 이동통신 서비스를 담당하는 824~894 MHz의 주파수대역에서는 0.3 dB의 삽입손실과 1.35의 정재파비, 1920~2170 MHz 대역의 WCDMA 이동통신 서비스 대역은 0.6 dB 삽입손실과 1.38의 정재파비, 2500~2690 MHz 대역의 LTE 이동통신 서비스 대역에서는 0.6 dB의 삽입 손실과 1.4의 정재파비를 가지며, 저지대역 특성은 18 dB를 보여 15 dB 이상의 양호한 대역저지 특성을 만족한다.

3. 삼중대역 멀티플렉서 제작 및 측정

삼중대역 통과 멀티플렉서를 측정하고자 하는 벡터회로망분석기 (vector network analyzer)는 피측정 대상인 멀티플렉서로 입력되는 RF신호가 다중화기를 통과하였을 때 출력 단에 나타나는 전달신호를 크기와 위상 관점에서 정밀하게 분석하는 장치로써, 주파수 스펙트럼에 따른 통과대역, 저지대역 특성 및 시간지연(time delay) 현상들을 세밀히 분석할 수 있다. 스펙트럼분석기 (spectrum analyzer)는 단일 주파수뿐 아니라 많은 주파수를 포함하는 고조파(harmonic) 신호와 비선형소자 및 시스템에 의해서 생성되는 불요(spurious) 신호들에 대한 주파수 성분들을 스펙트럼별로 전력레벨을 표시하고 분석할 수 있는 장비이다. 신호발생기(signal generator)는 피측정 대상물 (device under test)인 멀티플렉서로 인가되는 신호를 만드는 장치로써 멀티플렉서 종류에 따라 측정에 필요한 주파수 대역의 연속적인 주기신호를 발생시켜 공급한다. 또한 고출력증폭기(high power amplifier)는 에너지의 크기 레벨에 따라 멀티플렉서에서 발생하는 잡음, 비선형 특성 그리고 절연과피 현상 등을 분석하기 위하여 사용된다.

Fig. 3의 시뮬레이션 결과를 토대로 도출된 삼중대역 멀티플렉서의 제원을 가지고, 로지스에서 만든 마이크로스트립 기판을 사용하여 감광, 에칭, 도금, 조립과정을 거쳐 광대역특성을 갖는 멀티플렉서를 제작한다. 이렇게

만들어진 제품에 알루미늄 판으로 외형가공을 한 다음, 동축 커넥터를 입력단과 출력 단에 연결하여 시제품을 생산하고 측정한다. 전력시험 측정은 신호발생기로부터 입력된 신호를 증폭기 AMP를 통하여 5 W 전력으로 증폭하여 멀티플렉서의 입력포트인 Out1에 인가하고 출력 포트인 안테나포트 Ant에서 나오는 전력레벨을 스펙트럼분석기를 이용하여 측정한다. 단, 고출력 에너지로부터 스펙트럼분석기를 보호하기 위하여 30 dB 감쇄기 (Attenuator)를 스펙트럼분석기 입력단에 설치한다.



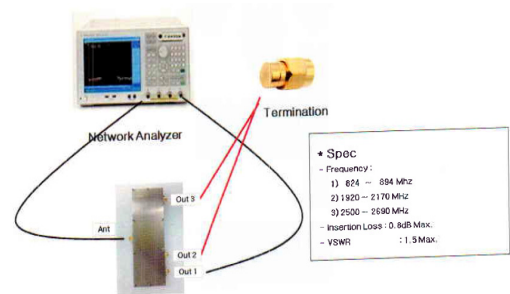
[Fig. 4] Power test configuration for triple-band multiplexer

RF 특성 시험은 멀티플렉서의 안테나 포트 Ant를 네트워크분석기 1번 포트와 연결하고, Out2와 Out3 포트는 터미네이션으로 중단시켜 포트 간을 분리한 다음, Out1 포트를 네트워크분석기의 2번에 연결하여 삽입손실과 정재파비 및 대역제거 특성을 측정한다. 또 다른 Out2와 Out3의 측정은 측정하고자 하는 포트 이외의 포트는 터미네이션으로 중단시키고 포트 간에 분리도를 개선시켜서 간섭을 방지한 후 결과 데이터를 얻는다.

온도 특성 시험은 앞에서 언급한 RF 특성 시험 방법을 이용하여 멀티플렉서의 안테나 포트를 네트워크분석기 1번 포트와 연결한 다음, 멀티플렉서의 출력포트를 네트워크분석기의 2번 포트에 연결하여 삽입손실과 정재파비 및 대역제거 특성을 측정한다. 단 측정대상이 아닌 포트들은 터미네이션으로 중단시켜 포트 간에 분리도를 개선시키고 간섭을 방지한다.

제작된 멀티플렉서의 온도 변화에 따른 신뢰성 테스트를 위하여 측정온도를 +25°C, -35°C, +65°C인 3단계로 나누어 측정하였다. 우선, +25°C에서 피측정대상인 제작된 멀티플렉서를 측정 장비에 연결한 후 30분 동안 가동시키고, 그 다음 30분 동안은 온도를 +25°C에서 -35°C로

낮추고 나서 1시간 동안 지속적으로 가동한 다음 -35°C에서의 측정값을 얻는다. 그리고 다시 -35°C에서 +25°C로 온도를 올리고 30분 동안 가동시킨 후에 다시 +65°C로 올려 1시간 동안 동작시키고 +65°C에서의 측정값을 얻는다. 그리고 나서 마지막으로 측정온도를 +65°C에서 +25°C로 내리고 30분 동안 동작시킨 다음 +25°C에서의 측정값을 얻는다. 온도를 올리고 내릴 때마다 달라지는 온도차이 때문에 발생하는 문제점을 미연에 방지하기 위하여 30분 동안 천이 가동시간을 갖는다.



[Fig. 5] RF test configuration for triple-band multiplexer

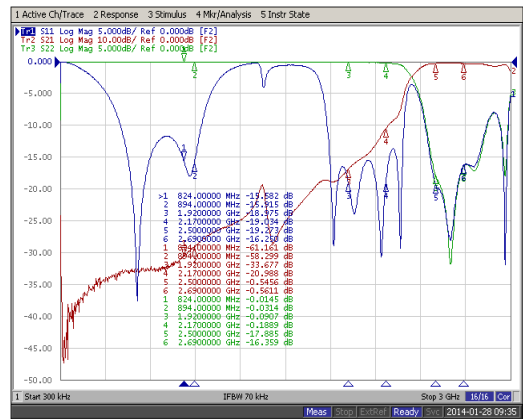
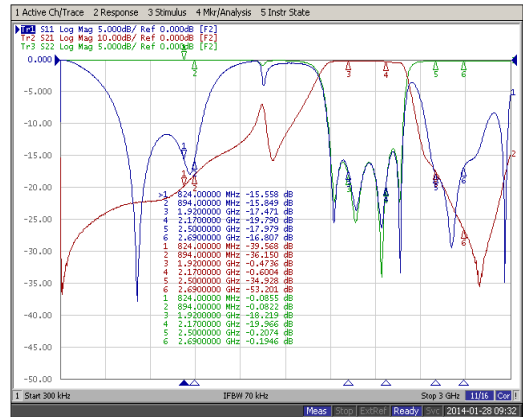
4. 삼중대역 멀티플렉서 분석 및 고찰

Fig. 6은 신뢰성 인증을 목적으로 삼중대역 멀티플렉서를 제작한 후, 벡터네트워크분석기를 사용하여 824~894 MHz, 1920~2170 MHz, 그리고 2500~2690 MHz의 삼중대역 주파수 범위에서 신호의 전달 특성과 반사특성을 측정하는 것이다. Fig. 6(a)는 제작한 시제품을 가지고, +25°C에서 측정된 삼중대역 멀티플렉서의 전달특성인 S_{21} [dB], S_{31} [dB], S_{41} [dB]과 반사특성인 S_{11} [dB], S_{22} [dB], S_{33} [dB], S_{44} [dB]의 특성 그래프이다. 측정된 필터의 삽입손실 특성인 S_{21} [dB]은 824~894 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.24 dB, S_{31} [dB]은 1920~2170 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.6 dB, S_{41} [dB]은 2500~2690 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.56 dB, 이외의 저지대역에서는 대역저지 특성이 -15.6 dB로 측정되어, 0.6 dB 이하인 양호한 삽입손실과 15 dB 이상의 우수한 대역제거 특성을 나타내었다. 그리고 입력정재파비와 출력정재파비 특성은 통과대역에서 1.36 이하로 측정되어, 1.5:1 이하로서 2:1 설계 규정을 만족하였다.

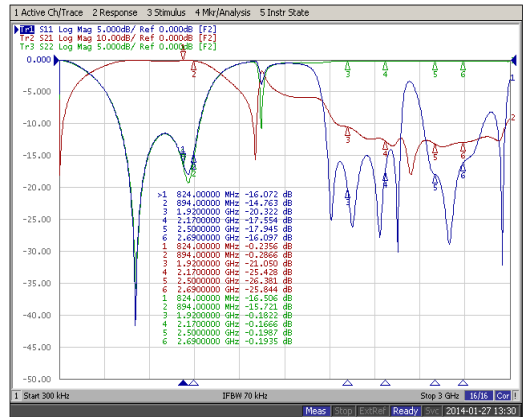
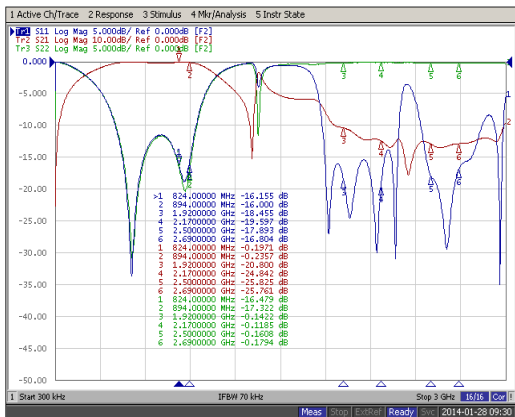
Fig. 6(b)는 제작한 시제품을 가지고, -35°C에서 측정

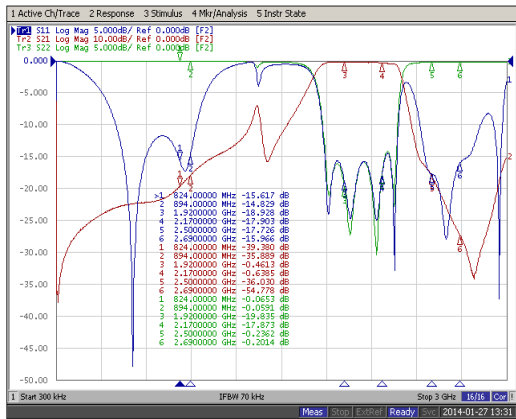
한 삼중대역 멀티플렉서의 전달특성과 반사특성의 특성 그래프이다. 측정된 필터의 삽입손실 특성인 S_{21} [dB]은 824M~894 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.29 dB, S_{31} [dB]은 1920~2170 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.64 dB, S_{41} [dB]은 2500~2690 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.567 dB, 이외의 저지대역에서는 대역저지 특성이 -15 dB로 측정되어, 0.65 dB 이하인 양호한 삽입손실과 15 dB 이상의 우수한 대역제거 특성을 나타내었다.

Fig. 6(c)는 제작한 시작품을 가지고, $+65^{\circ}\text{C}$ 에서 측정된 삼중대역 멀티플렉서의 전달특성과 반사특성을 측정된 특성 그래프이다. 측정된 필터의 삽입손실 특성인 S_{21} [dB]은 셀룰러 이동통신 통과대역 주파수 824~894 MHz에서 -0.27 dB, S_{31} [dB]은 WCDMA 이동통신 통과대역 주파수 1920~2170 MHz에서 -0.65 dB, S_{41} [dB]은 LTE 이동통신 통과대역 주파수 2500~2690 MHz에서 -0.63 dB, 이외의 저지대역에서는 대역저지 특성이 -15.7 dB로 측정되어, 0.65 dB 이하인 양호한 삽입손실과 15 dB 이상의 우수한 대역제거 특성을 나타내었다. 그리고 입력정재파비와 출력정재파비 특성은 통과대역에서 $1.35:1$ 이하로서 $1.5:1$ 의 설계 규정을 만족하였다. 특히, 온도가 -35°C 에서 $+65^{\circ}\text{C}$ 로 올라감에 따라 통과대역내의 삽입손실은 $0.01\sim 0.05$ dB 정도 커지고 저지대역내의 스퀘트 특성은 0.7 dB 정도 변화한다. 따라서 Fig. 6의 신호 전달과 반사손실에 대한 제반특성은 통과대역에서 최대 0.65 dB 삽입손실과 $1.5:1$ 이하의 정재파비 설계 규정을 만족하며, 저지대역에서 15 dB 이상의 대역제거 성능을 갖는다.

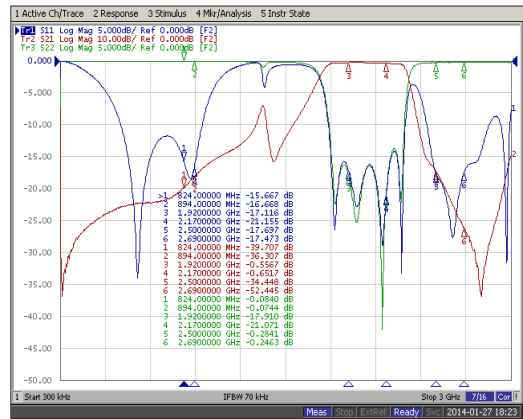


(a) Measurement results of S-parameters at 25°C

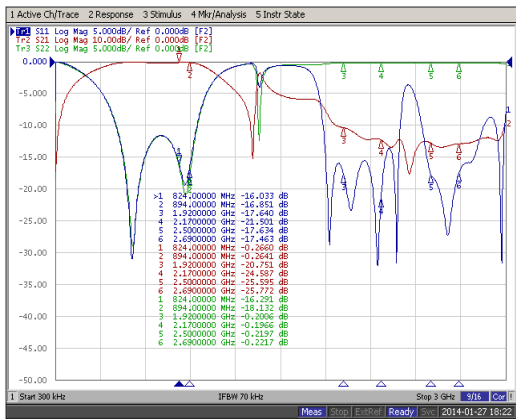
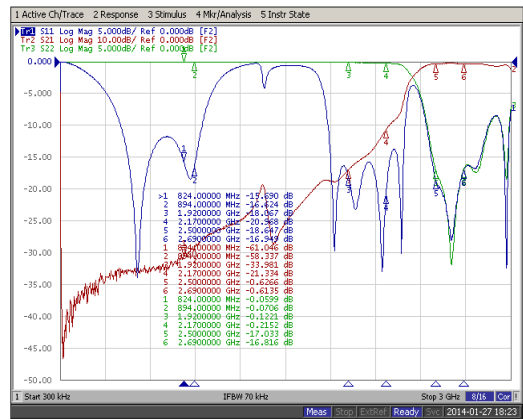
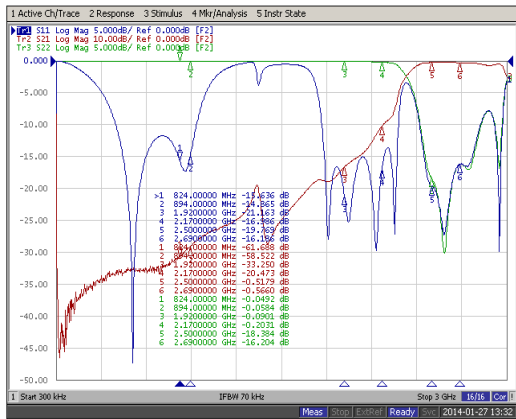




(b) Measurement results of S-parameters at -35°C



(c) Measurement results of S-parameters at 65°C



[Fig. 6] Measurement results for triple-band multiplexer

Table 1은 제작된 5종의 삼중대역 멀티플렉서 샘플시료로부터 얻어진 신뢰성 테스트의 결과를 종합하여 표시한 시험 성적서로서, 모든 시료의 제반 특성이 통과대역(P.B) 824~884 MHz, 1920~2170 MHz, 2500~2690 MHz 대역에서 최대 삽입손실(IL) 0.71 dB, 정재파비(SWR) 1.38, 저지대역 감쇄(B.R) 15 dB 이상과 5W 전력(PWR)에도 설계 규정에서 정한 모든 규격을 매우 잘 충족하고 있다.

[Table 1] Measurement specification for fabricated triple-band multiplexer samples

Multiplexer Test		smpl 1	smpl 2	smpl 3	smpl 4	smpl 5	
desc	unit spec						
P.B	MHz	2500 - 2690					
IL	dB	<0.8	0.6	0.6	0.63	0.61	0.62
SWR	-	>1.5	1.35	1.34	1.38	1.34	1.36

B.R	dB	>15	21	21	21	20	20
P.B	MHz	1920 - 2170					
LL	dB	<0.8	0.66	0.67	0.66	0.69	0.71
SWR	-	>1.5	1.1	1.33	1.32	1.33	1.38
B.R	dB	>15	35	35	35	35	34
P.B	MHz	824 - 894					
LL	dB	<0.8	0.28	0.28	0.27	0.28	0.29
SWR	-	>1.5	1.36	1.36	1.35	1.34	1.32
B.R	dB	>15	21	21	21	21	21
PWR	W	5	OK	OK	OK	OK	OK

5. 결론

삼중대역 멀티플렉서의 제반 성능을 파악하기 위하여 시뮬레이션 결과와 설계제원을 가지고, 시제품 샘플시료를 제작하고 측정하였다. 측정된 결과를 토대로 미비점들을 다시 보완하는 작업을 수행하였으며, 이렇게 얻어진 설계제원을 바탕으로 상용화가 가능한 완제품 멀티플렉서 시료 5개를 완성하였다. 5개의 시료 제품은 온도의 변화와 입력 전력의 범위에 따라서 안정적인 동작을 보장할 수 있는 지를 평가하였으며, 이에 따른 멀티플렉서의 상세 규격을 만족하는지 여부를 평가하였다.

측정 결과, 삼중대역 멀티플렉서 각각에 따른 5개의 시료들은 삽입손실, 정제파비, 저지대역 감쇄, 전력 테스트에서 모두 우수한 성능으로 파악되었다. 삽입손실 특성인 S_{21} [dB]은 824~894 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.29 dB, S_{31} [dB]은 1920~2170 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.71 dB, S_{41} [dB]은 2500~2690 MHz의 통과대역 주파수에서 -0.63 dB, 이외의 저지대역에서는 대역저지 특성이 -21 dB로 측정되어, 0.8 dB 이하인 양호한 삽입손실과 15 dB 이상의 우수한 대역제거 특성을 나타내었다. 그리고 입력정제파비와 출력정제파비 특성은 통과대역에서 1.38 이하로 측정되어 1.5:1의 설계 규정을 만족하였다.

References

[1] M. Zewani, I. C. Hunter, "Design of Ring-Manifold Microwave Multiplexer", *Microwave Symposium Digest, 2006 IEEE MTT-S International*, pp. 689-692, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MWSYM.2006.249726>

[2] C. F. Chen, T. Y. Huang, T. M. Shen, R. B. Wu, "A

Miniaturized Microstrip Common Resonator Triplexer without Extra Matching Network", *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference, AMPC 2006*, pp. 1439-1442, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/APMC.2006.4429677>

[3] A. F. Tunc, C. Ulker, A. M. Mungan, O. Ceylan, H. B. Yagci, "Triplexer Design with Hairpin Structure", *19th Telecommunication Forum, TELFOR*, pp. 988-991, 2011.

[4] C. W. Tang, C. T. Tseng, "Design of a Packaged Microstrip Triplexer with Star-Junction Topology", *Proceedings of the 42nd European Microwave Conference, EuMA*, pp. 459-462, 2012.

[5] P. C. Arannibar, P. R. Postigo, A. G. Lamperez, D. S. Vargas "Compact Triplexer with Open Ring Resonators as Microstrip Trisection Bandpass Filters for Asymmetric Response", *Microwave and Optoelectronic Conference, 2013 SBMO/IEEE MTT-S International*, pp. 1-5, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IMOC.2013.6646512>

[6] H. W. Wu, S. H. Huang, Y. F. Chen, "Compact Microstrip Triplexer Based on Coupled Stepped Impedance Resonator", *Microwave Symposium Digest, 2013 IEEE MTT-S International*, pp. 1-3, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MWSYM.2013.6697516>

[7] C. F. Chen, T. M. Shen, T. Y. Huang, R. B. Wu, "Design of Multimode Net-Type Resonators and Their Applications to Filters and Multiplexers", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 4, pp. 848-856, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMTT.2011.2109392>

[8] J. Y. Wu, K. W. Hsu, W. H. Tu, "High-Isolation Microstrip Triplexer Using Multiple-Mode Resonators", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 22, no. 4, pp. 173-175, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LMWC.2012.2189101>

[9] G. L. Matthaei, S. M. Rohlifing, R. J. Force, "Design of HTS, Lumped-Element, Manifold-Type Microwave Multiplexer", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 44, no. 7, pp. 1313-1321, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/22.508236>

[10] M. Karlsson, A. Serban, J. Osth, Owais, S. Gong, "Frequency Triplexer for Ultra-Wideband Systems(6-9 GHz)", *IEEE Transactions on Circuit and Systems-I:Regular Papers*, vol. 60, no. 3, pp. 540-547, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSL.2012.2215743>

[11] P. H. Deng, M. I. Lai, S. K. Jeng, C. H. Chen, "Design of Matching Circuits for Microstrip Triplexers Based on Stepped-Impedance Resonator", *IEEE Transactions on*

Microwave Theory and Techniques, vol. 54, no. 12, pp. 4185-4192, 2006.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMTT.2006.886161>

- [12] S. Taravati, M. K. Amirhosseini, "Design Method for Matching Circuits of General Multiplexer", *IET Microwave Antennas and Propagation*, vol. 7, iss. 4, pp. 237-244, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-map.2012.0150>

서 수 덕(Soo-Duk Seo)

[정회원]



- 1996년 2월 : 제주대학교 통신공학과 (공학사)
- 1998년 2월 : 제주대학교 통신공학과 (공학석사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 제주대학교 통신공학과 박사과정
- 1998년 2월 ~ 2005년 7월 : 에이스테크놀러지 선임연구원
- 2007년 1월 ~ 현재 : (주)이너트론 연구소 소장

<관심분야>

무선통신시스템, 마이크로파회로 설계

조 학 래(Hak-Rae Cho)

[정회원]



- 1999년 2월 : 경남국대학교 재료공학과 (공학사)
- 2000년 3월 ~ 2000년 12월 : 에이스테크놀러지 대리
- 2001년 1월 ~ 2002년 2월 : 이노웨이브 이사
- 2002년 2월 ~ 현재 : (주)이너트론 대표이사

<관심분야>

무선중계기 및 기지국시스템, 정보경영

양 두 영(Doo-Yeong Yang)

[정회원]



- 1984년 2월 : 제주대학교 통신학과 (공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신학과 (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2002년 8월 : 유타주립대학교 연구교수
- 1992년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 통신공학과 교수

<관심분야>

RF회로 및 무선통신시스템 설계