

군 지연 특성을 개선한 5G 이동통신 중계기용 캐비티 필터의 설계

유수형^{1*} · 진덕호²

The Design of Cavity Filter to enhance the Group Delay characteristics for 5G Mobile Communication Repeater

Soo-Hyung Yoo^{1*} · Duck-Ho Jin²

^{1*}Ph.D. student, Course of Information and Communications, Tech University of Korea, Cheonan, 31253 Korea

²Researcher, IMS Co. Ltd., Pyeongtaek, 17700 Korea

요약

이동통신 중계기에 사용하는 SAW(Surface Acoustic Wave) 방식의 대역통과필터를 대체할 수 있는 5G 이동통신 중계기용 군 지연 특성이 개선된 크로스 커플링 등화기 구조를 결합한 캐비티 대역통과필터를 설계하고 이를 구현하였다. 3D EM 시뮬레이션 툴(HFSS)을 이용하여 공진 주파수, 공진기 간 결합 계수와 공진기 사이 외부 품질 계수를 계산하였고, 이를 바탕으로 메탈 캐비티 구조로 주파수대역 3500MHz~3600MHz, 대역폭 97.85MHz로 대역 양쪽 가장자리 주파수(edge)단에서 20dB 이상의 감쇄 특성을 가지도록 12차 대역 통과 필터를 제작하였다. 설계 제작한 대역통과필터는 5G 이동통신 표준에 요구하는 군 지연 시간 조건과 인-밴드, 아웃-밴드 주파수 응답을 만족하였다.

ABSTRACT

In this paper, we designed and implemented a cavity bandpass filter combined with a cross-coupling equalizer structure to enhance Group delay for 5G mobile network repeater, which can replace the SAW (Surface Acoustic Wave) type bandwidth filter used in the existing mobile communication system. Using the 3D EM simulation tool (HFSS), the resonance frequency, the coupling coefficient between resonators, and external quality coefficient between resonators were calculated. Based on this, a 12th bandpass filter was constructed to have attenuation characteristics of more than 20dB at the edge end of both sides of the band with a metal cavity structure with a frequency band of 3500MHz to 3600MHz and bandwidth of 97.85MHz. The designed bandpass filter satisfies the group delay time requirement for the 5G mobile communication standard and the in-band and out-band frequency responses.

키워드 : 5G 이동통신 네트워크, 캐비티 필터, SAW 필터, 크로스 커플링, 군 지연

Keywords : 5G Mobile Network, Cavity filter, SAW filter, cross-coupling, Group delay

Received 19 May 2022, Revised 9 June 2022, Accepted 17 June 2022

* Corresponding Author Soo-Hyung Yoo(E-mail:samboec@tukorea.ac.kr, Tel:+82-31-495-4700)

Ph.D. student, Course of Information and Communications, Tech University of Korea, Cheonan, 31253 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2022.26.7.1032>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 4차 산업혁명 시대로 전환과 함께 이를 지원하는 핵심 인프라인 5G 이동통신 네트워크 및 서비스에 대한 전 세계적인 관심과 기대가 높아짐에 따라 많은 연구가 이루어지고 있다. [1] 최신 단말기 성능의 향상, 데이터 집약적인 멀티미디어 콘텐츠의 증가 등으로 무선 인터넷 기반의 데이터 교통량이 더욱 증가하였고, 이동통신 서비스의 초고속 대용량 전송에 대한 사용자들이 요구가 급속히 증가하고 있다.[2][3]

5G 이동통신 네트워크가 사용되는 3.5GHz 주파수 대역의 전파 특성은 기존 이동통신 네트워크의 주파수 대역보다 높아서 전파 손실이 더욱 커지고 전파의 회절 현상이 상대적으로 적어서 음영 지역을 많이 발생시킨다. 빌딩, 터널, 지하 공간 등 전파가 닿기 어려운 공간에서 이동통신 네트워크 서비스를 충족하기 위해서 5G 기지국을 추가 설치하거나, 5G 기지국 신호를 중계기 이용하여 증폭·확산시켜 통신 커버리지를 넓히는 5G 이동통신 중계 장치가 사용하고 있다.[2][3] 기존 LTE 대역의 중계기는 기지국의 RF 신호를 다시 IF로 변환하여 대역통과 주파수 응답이 우수한 SAW 필터를 적용하여 상향/하향 링크의 분리도(Isolation)를 양호하게 구현하여 사용하고 있다. 하지만 5G 이동통신중계기에 기존에 많이 사용된 SAW 필터를 바로 적용할 경우 군 지연 특성이 길어서 5G 이동통신 표준에서 요구하는 군지연 시간에 충족하지 못해서 문제점을 발생하게 된다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 군 지연 시간이 긴 SAW 구조의 대역통과필터를 적용하지 않고 5G 주파수 대역을 직접 지원하는 캐비티 형태의 대역통과 필터를 설계하여 군 지연 특성을 개선한다. 제안하는 캐비티 필터는 이중 모드 캐비티 형태로 중심 주파수 3550MHz, 대역폭 98.3MHz로 대역 양쪽 가장자리 주파수(edge)단에서 20dB 이상 감쇄 특성을 가지도록 12차의 캐비티 대역통과 필터를 제작한다. 제안한 캐비티 필터의 통과 대역 이외의 주파수 응답이 SAW 필터 대비 다소 부족하여 캐비티 구조의 등화기를 결합하여 대역통과필터의 주파수 응답 특성을 개선한다.

II. 연구 배경

초기 이동통신 네트워크에서 기지국의 신호가 도달되지 않는 전파의 음영 지역에 서비스를 제공하기 위하여 고가의 기지국을 추가 설치하는 것보다 저렴한 기지국의 RF 신호를 받아서 음영 지역에 직접 증폭해서 전달해 주는 RF 중계기를 많이 사용하였다.

RF 중계기는 상향 링크 주파수 신호를 IF 주파수로 바꾸어 증폭하고 동시에 하향 링크 주파수 신호를 증폭하는 2개의 RF 증폭기가 내부에 배치되어 있고, 근접한 상향/하향 두 신호가 RF 증폭기에서 서로 영향을 미치지 않게 하기 위하여 주파수 응답이 우수한 RF 대역통과필터를 RF 증폭기 앞뒤에 설치해서 상향 링크 주파수와 하향 링크 주파수 신호를 분리하여 증폭하게 된다.

한편, 대역통과필터의 주파수 응답 특성이 매우 우수한 소형의 음파를 이용하는 SAW 필터가 이동통신 중계기용으로 주목받고, 이를 이용한 중계기가 2세대 이동통신 네트워크에 등장하였다. SAW 필터를 이용하는 중계기는 SAW 필터의 동작 주파수가 이동통신 주파수 대역보다 낮아서 기지국 신호를 직접 받아서 증폭하는 RF 중계기와 다르게 기지국 RF 신호를 SAW 필터의 동작 주파수 대역(IF)으로 낮추는 방법을 통해서 SAW 필터를 대역통과필터로 사용하고 이 IF 신호를 증폭하고 다시 기지국 RF 신호로 높여서 전달하는 헤테로다인 구조이다.

한편, 이동통신 신호는 확산 방식에 의하여 스펙트럼이 넓은 광대역 스펙트럼 신호이므로 대역통과필터의 주파수 위상 지연이 협대역 주파수 응답과 달리 대역 내의 개별 주파수 별로 각각 다른 위상 지연을 갖게 되므로 시간 영역에서는 군 지연이라는 시간 지연 응답을 갖는다.

하지만 5세대 이동통신 서비스는 3.5GHz 대역의 주파수가 할당되고 고속 데이터 서비스를 위하여 데이터 프레임의 슬롯 시간이 짧아져서 최대 시스템 지연 시간 요구가 더욱 짧아짐에 따라서 기존의 중계기에 적용한 SAW 필터의 군 지연 시간이 충족되지 못하여 5세대 이동통신 중계기의 대역통과필터는 SAW 필터의 사용이 어렵게 되었다.

2.1. RF(Radio Frequency) 중계기 시스템의 문제

기존 중계기 시스템 지연 영향은 IF (Intermediated Frequency) 신호 처리부 및 IF 필터에서 대부분을 차지한다. 그림 1에서 아날로그 신호와 디지털 신호 처리하

계 될 때 IF 신호 처리부에서 시스템 지연이 대부분 발생하게 된다.

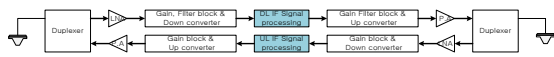


Fig. 1 RF repeater block diagram

RF 대역통과필터의 크기가 크고 무게가 무거워 중계기 시스템에 실장 할 때 이 대역통과필터의 크기로 인한 조립성이 좋지 않고 장비 설계에서 공간에 대한 제약이 크게 된다.

2.2. SAW(Surface Acoustic Wave) 필터 특성

이동통신 중계기 내의 대역통과필터의 역할은 인-밴드(In-Band)내의 신호는 유지하고 차단주파수 (Cutoff frequency) 밖의 아웃-밴드(Out-Band) 신호는 제거한다. 그림 2와 같이 소형 크기의 주파수 응답 특성이 우수한 아날로그 SAW 필터를 대역통과필터로 사용하여 아웃-밴드 신호를 제거하게 되는데, SAW 필터는 아웃-밴드 대역의 신호를 40~50dB 이상 감쇄시키는 우수한 감쇄 특성으로 인하여 이동통신 중계기 많이 적용되고 있다.

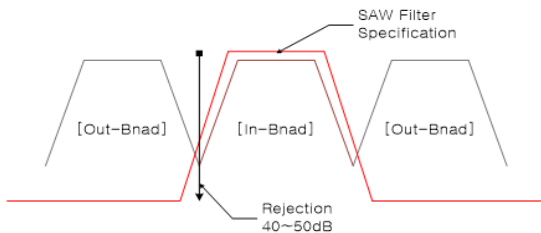


Fig. 2 SAW filter structure

OFDM을 이용한 4G 이동통신 표준에서는 CP (4.69us), 5G 이동통신 표준에서는 SCS(Subcarrier Spacing frequency)에 따라 SCS30KHz (CP 2.34us), SCS60KHz (CP 1.17us), SCS120KHz (CP 0.57us), SCS240KHz (CP 0.29us) 등의 CP 시간 구간이 결정된다. 만약에 중계기의 시스템 지연 시간이 위 시간보다 크게 될 경우는 5G 시스템에 기존의 중계기를 바로 적용하기가 어렵다.[4]

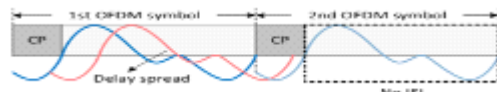


Fig. 3 OFDM Symbol Interference

그림 3에서 CP로 인하여 시스템 지연 시간이 CP 이 내에 있어야만 무선 프레임의 송수신이 문제없이 수행된다. 통상적으로 SAW 필터를 이용한 기존의 이동통신 중계기는 시스템 지연 시간이 1.5us ~ 4.5us정도로 알려져 있어 바로 5G 이동통신 네트워크에 직접 사용할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서는 5G 주파수를 지원하는 캐비티 구조의 대역통과필터를 설계하고 군 지연 특성을 개선하기 위하여 크로스 커플링 구조의 등화기를 추가한 대역통과필터를 제안한다.

III. 군 지연 특성을 개선한 캐비티 대역통과필터의 설계

5G 이동통신 서비스에 할당된 주파수 대역은 기존의 대역보다 높은 3.5GHz 대역으로 파장이 더욱 짧아져서 RF 대역통과필터의 소형화 및 경량화가 가능하다. 또한, 등가적으로 크로스 커플링 구조의 입력 출력 필터를 응용하게 되면 기존의 IF SAW 대역통과필터의 주파수 대역통과 특성을 기대할 수 있고, 상향/하향 링크 신호의 충분한 분리가 만족되어 SAW 필터를 적용하지 않은 RF 대역통과필터를 5G 이동통신 중계기에 적용할 수 있다.

캐비티 구조의 대역통과필터에 입출력 커플링을 통하여 아웃-밴드 스킵트 응답을 개선하게 되면 중간 신호 처리부 (IF SAW filter, Gain Amplifier, Attenuator, PLL, Mixer, Up/Down Converter, 중간 주파수 filter, LO filter 등) 과정이 없어 그만큼 회로가 간단해지고 동일 이상의 성능을 낼 수 있다.

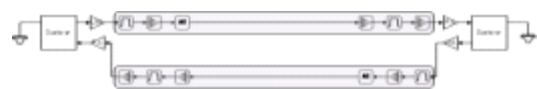


Fig. 4 RF repeater block diagram using group delay filter

Table. 1 Comparison of performance of 5G group delay cavity filter and IF SAW filter using cross-coupling equalizer

	Cavity Filter	IF SAW	etc.
Frequency Range	3550MHz (RF 대역)	307.2MHz (IF 대역)	
BW	98.28MHz	98.4MHz	
1dB Bandwidth	98.28MHz	97.85MHz	

		Cavity Filter	IF SAW	etc.
3dB Bandwidth		98.31MHz	99MHz	
Insertion Loss (Max.)		-3.0dB	-33dB	
Ripple at Bandwidth		2dB	2dB	@BW: 98.0MHz
Return Loss	In/Out	20 dB	15dB	
Group Delay Absolute (Max.)		100nsec	1.3usec	
Attenuation	FC±100MHz	≥65dB	-	
	15dB Bandwidth	106MHz	-	

표 1에서 보는 바와 같이, 기존 RF 중계기 기술과의 블록도 차이는 중간 신호처리(IF SAW filter, Gain Amplifier, Attenuator, PLL, Mixer, Up/Down Converter, 중간 주파수 filter, LO filter 등) 과정이 없어 회로가 간단해지고 동일 이상의 성능을 낼 수 있다.

또한, 중계 시스템에서는 기존 시스템에 대비 5G 신호를 Down/up 없이 사용하므로 Gain, Attenuator 등의 간단한 회로만 사용하므로 소비 전력 20% 절감, 사이즈 15% 개선되므로 종래의 시스템 성능 이상의 성능을 낼 수 있다.

3.1. 대역통과필터 설계

제안하는 대역통과 필터는 캐비티 공진기 설계, 캐비티 공진기 결합, 크로스 커플링 등화기 구조 결합회로로 구성된다. 대역통과 필터의 결합 행렬을 구현하기에

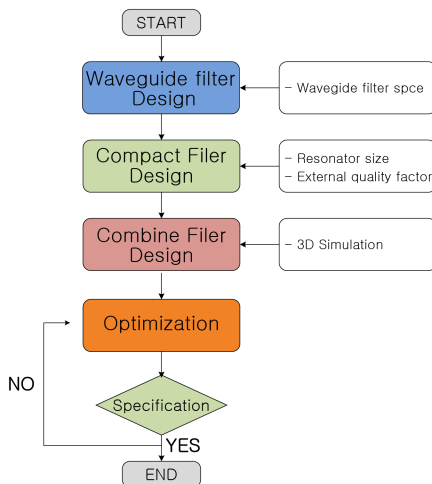


Fig. 5 Bandpass Filter Design Flowchart

앞서 EM 시뮬레이션 툴(HFSS)을 이용하여 설계 파라미터를 데이터화 하는 것이 필요하다. 시뮬레이션을 통하여 생성된 데이터로부터 캐비티 공진기 크기, 캐비티 공진기 결합 슬롯의 길이, 크로스 커플링 등화기 구조를 설계하여, 대역통과필터에 대해 EM 시뮬레이션을 수행한다. 제안한 대역통과필터 설계 순서를 요약하면 그림 5와 같다.

표 2에 제안한 캐비티 필터 크로스 커플링 등화기 대역통과필터의 설계 목표 항목을 정리하였다.[5][6]

Table. 2 Cross Coupler Filter Design Specifications

Parameter	Frequency Range	Requirement
Insertion loss	f = 3500 MHz	3 dB
	f = 3600 MHz	3 dB
Ripple	3500.86MHz to 3599.14MHz	2dB
Return Loss	3500.86MHz to 3599.14MHz	20dB
Delay	3500.86MHz to 3599.14MHz	150ns
Rejection	f < 3497 MHz	20dB
	f > 3603MHz	20dB

표 2의 설계 목표에서 통과 대역 내 20dB의 반사손실은 무손실 조건에서 리플 2dB 이하를 의미한다. 캐비티 필터의 단수를 결정하기 위하여 다음 식 (1)을 이용하여 계산한다.[7]

$$N > \frac{Rejection(dB) + Rtnloss(dB) + 6}{20 \log_{10} (S + \sqrt{S^2 - 1})} \quad (1)$$

설계 목표 사양으로부터 Rejection = 40dB, Return Loss(Rtnloss) = 20dB, S=100을 식 (1)에 대입하면 $N \geq 11.62$ 이 되어 원하는 사양을 만족하기 위해 10단 이상으로 대역통과필터가 구성되는 식은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$S = \frac{Stopband Frequency}{Passband Frequency} \quad (2)$$

여기서, Rejection = Stopband Insertion Loss, Rtnloss = Passband Return Loss를 의미한다.

이로부터 리플 2dB를 갖는 12단 필터의 프로토타입 파라미터를 추출하면 표 3과 같다.

Table. 3 Lowpass prototype filter coefficients(LAr= 2.0dB, N=12)

	Value
g0	0.94
g1	1.475
g2	1.936
g3	1.731
g4	2.049
g5	1.771
g6	2.062
g7	1.771
g8	2.015
g9	1.663
g10	1.717
g11	0.812
g12	1.163

표 3의 저역통과 타입 g-parameter을 대역통과 필터로 변환하기 위해 식 (3) ~ (5)를 이용하여 공진기간 결합 계수와 입출력을 표 4와 같이 변환한다.

$$K_{01} = \frac{BW}{\sqrt{g_1 \cdot g_2}} \quad (3)$$

$$K_{12} = \frac{BW}{\sqrt{g_2 \cdot g_3}} \quad (4)$$

$$Q_{EX} = \frac{g_0 \cdot g_1}{BW} \quad (5)$$

Table. 4 Bandpass Filter Design Parameters

	Coupling coefficient
K12	0.0230
k23	0.0158
k34	0.0194
k45	0.0119
k56	0.0135
k67	0.0077
k78	0.0107
k89	0.0125
k91	0.0091
k98	0.745

대역통과 필터는 표 4에서 얻은 파라미터값과 자기 결합을 통해 구현할 수 있다. 입력과 출력포트와 결합되

는 필터 공진기 인덕턴스 값을 나타내며, 식 (4) 필터 공진기와 공진기간 인버터 인덕턴스값을 의미한다.

3.2. 등화기 구조

이동통신 증계기 내 대역통과필터의 광대역 주파수 이득은 평탄하도록 설계해야 한다. 하지만, 캐비티 구조의 대역필터는 주파수 이득 응답을 관찰하면 리플이 나타나서 등화기(Equalizer)를 이용하여 리플 성분을 평탄하게 해야 될 필요가 있다.

일반적으로 등화기 전단에 있는 수신기의 주파수 이득 응답에 따라 그 특성이 달라지며 대부분의 선형 이득 등화기는 원하는 인-밴드 내에서 최소 손실이 되도록 하고, 아웃-밴드에서는 원하는 억압 특성을 가지며, 전체적으로 선형 응답을 갖도록 설계해야 한다. 그림 6은 일반적인 선형 주파수 이득 등화기의 구조이며, 그림 7은 선형 주파수 이득 등화기의 등가 회로가 된다.

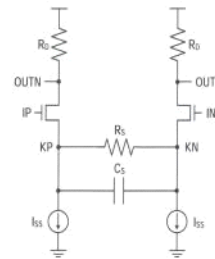


Fig. 6 The structure of the Equalizer

캐비티 대역통과필터의 아웃-밴드 스킵트 부분의 이득 기울기의 선형성 등을 확보하기 위하여 입출력 커플링으로 등가적인 궤환 회로를 구현하게 되며, 아웃-밴드 주파수 응답 기울기가 선형 기울기 특성을 확보하게 된다. 따라서 선형 주파수 이득 등화기는 공진기와 주 신호와 저항으로 결합하고, 저항의 값을 조절하게 되면 낮은 차수를 갖는 대역통과 필터와 같이 동작하게 된다.

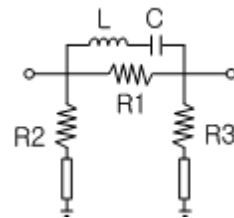


Fig. 7 The basic structure of gain equalizer

그림 7에서 입력되는 신호에 대해 주파수에 따라 사용되는 공진기의 형태는 달라지는데, 낮은 주파수의 경우에는 L(Inductor)와 C(Capacitor)를 이용하여 원하는 주파수 대역을 신호 억압(skirt) 특성을 가지도록 역 위상의 신호를 궤환시켜서 서로 결합 시에 상호 신호들을 보완하여 최종적으로 원하는 신호특성을 출력한다.

3.3 메탈(금속) 캐비티 공진기 물리적인 설계

제한하는 메탈 캐비티 공진기는 상호 캐피시턴스를 77 ohms으로 계산하여 설계한다.

$$Q_0 = \frac{\pi}{4} [radiam] \text{ or } l = \frac{\lambda}{8} \quad (6)$$

$$Y_0 = 0.02 [\Omega]$$

$$Y_{rj} = 0.014286 \sim 0.0135135 [\Omega]$$

$$Z_{rj} = 74 \sim 77 [\Omega]$$

Q0는 캐비티 공진기 선로의 전기적 길이를 Y0와 Yrj는 종단 어드미턴스와 공진기 선로와 같은 특성 어드미턴스를 결정 한다.

그림 8에서 보는 바와 같이, 캐비티 공진기의 a(길이) 12mm, b(높이) 4 mm, d(폭) 8 mm에 따라 변화하는 반파장을 나타내며 메탈 캐비티 공진기의 기본으로 이용 한다.



Fig. 8 Metal resonator structure

그림 9와 같은 메탈 캐비티 공진기를 구현하였고, 표 5에는 메탈 캐비티 공진기 대역 통과대역 필터에 사용되는 단일 캐비티 공진기 크기를 나타내었다.

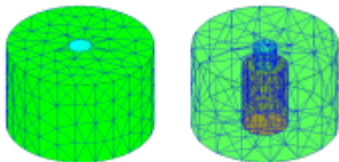


Fig. 9 Cavity and resonator mesh distribution diagram

Table. 5 Metal resonator size by simulation

항목	공진기 정보
f0 (공진점)	3555MHz
a (Lengh)	11.6
b (Hight)	4
d (Width)	8
Tuning Screw(Hight)	1

3.4 물리적인 결합 계수 결정

메인 캐비티 필터는 일반적인 저역통과 프로토타입을 이용한 결합 계수 관련한 아래 식 (7)~(9)을 통해 원 도우 사이즈를 결정한다.

$$K_{01} = \sqrt{\frac{R_A a_1 W}{g_0 g_1 w_1}} \quad (7)$$

$$K_{i,i+1} = \frac{W}{w_1} \sqrt{\frac{a_i a_{i+1}}{g_i g_{i+1}}} \quad (8)$$

$$K_{n,n+1} = \sqrt{\frac{R_B a_n W}{g_n g_{n+1} w_1}} \quad (9)$$

여기서, W: 비대역폭, gi: LPF prototype filter elements, wi: LPF prototype filter 차단주파수, a/b: slope parameter 를 의미한다.

그림 10에서 보는 바와 같이, 3차원 전자파 시뮬레이터를 통해 구현 가능한 캐비티 및 공진기들의 물리적 사이즈를 결정한다.

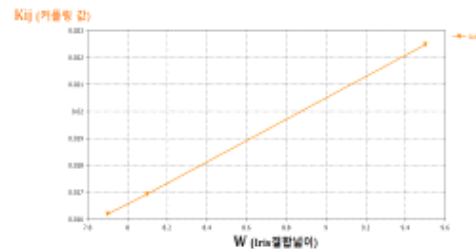
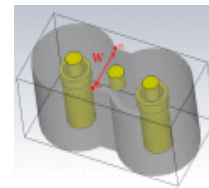


Fig. 10 Transmission response characteristics to change of slit (Iris)

그림 10은 슬릿 길이에 따른 공진기 간 결합구조와 주파수 응답을 보여 주고 있다. 그리고 포트와 공진기 사이 결합을 -50dB 정도로 작게 유지하여 공진기 간 결합 계수 계산 시 포트 영향을 무시하도록 한다.

IV. 제안한 캐비티 필터의 시험 결과

그림 11은 최종적으로 설계한 크로스 커플링 캐비티 필터의 제작 사진을 나타내었고, 제작한 대역통과 필터의 최종 크기는 192mm * 60mm * 35mm이다.

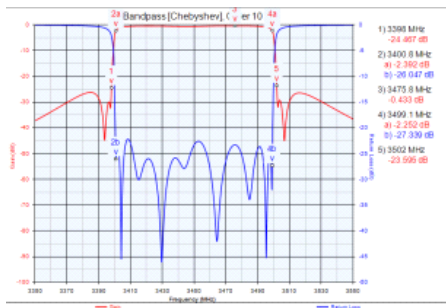


Fig. 11 Coss coupling cavity filter

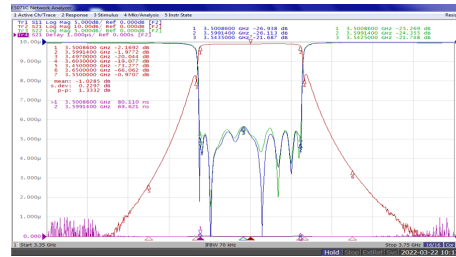
제작된 크로스 커플링 필터의 메탈 공진기 유전율은 20의 특성을 가지며, 그림 12와 같이 메탈 공진기 필터 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 나타내었다.

시험 결과 반사손실(Return Loss)은 20dB, 삽입 손실(Insertion Loss)는 1.3dB, 군 지연(Group Delay)은 최종 80ns로 측정되어 제작한 커플링 등화기 캐비티 필터는 최종 목표 설계 사양에 만족하였다.

제안한 5G 중계기에 적용하는 군 지연 특성을 개선한 캐비티 필터의 설계 목표 사양과 시뮬레이션 결과 및 제작한 캐비티 필터의 측정 결과를 표 6에 정리하였다.



[Simulation result]



[Measurement result]

Fig. 12 Metal resonator filter simulation results and measurement results

Table. 6 Measurement result of cavity filter

Parameter	Frequency Range	Requirement	시뮬레이션 값	측정 결과
Insertion loss	f = 3500.86MHz	3 dB	2.5 dB	2.1
	f = 3599.14MHz	3 dB	2.5 dB	1.9
Ripple	3500.86MHz to 3599.14MHz	2dB	1.5dB	1.3
Return Loss	3500.86MHz to 3599.14MHz	18dB	20dB	22
Delay	3500.86MHz to 3599.14MHz	100ns	72ns	80
Rejection	f < 3497 MHz	20dB	21dB	20
	f > 3603MHz	20dB	18dB	19

V. 결론

5G 이동통신의 표준은 기존의 표준에 정해진 최대 시스템 지연 시간보다 더욱 짧은 지연 시간이 요구되어 군 지연 시간이 비교적 긴 SAW 필터를 이용한 기존의 이동통신 중계기를 바로 사용할 수 없게 된다.

따라서 본 논문에서 SAW 필터의 장점인 대역통과 주파수 응답 특성을 구현하고 SAW 필터의 긴 지연 시간을 개선하는 것을 목표로 하여 5G 주파수 신호를 직접 처리하는 군 지연 시간 응답이 우수한 RF 캐비티 구조의 대역통과필터를 설계하고 크로스 커플링 등화기를 결합하여 아웃 밴드 스킨트 영역의 주파수 응답을 개선하는 메탈 캐비티 공진기 대역통과필터를 설계하고 구현하였다.

EM 시뮬레이션 툴의 최적화 기능을 통해 정션 결합의 홀 간격을 조절하여 대역통과필터 간섭을 제거하였

으며, 제안한 크로스 커플링 등화기로 공간 배치를 효율적으로 이용하고 있다. 특히 제안한 필터의 특성은 통과 대역이 3500MHz to 3600MHz이며, 삽입손실이 각각 2dB, 반사손실이 각각 22dB, 군 지연이 80ns 등으로 우수한 성능을 보였다.

제안한 메탈 캐비티 공진기는 크로스 등화기 구조로 설계되어 가공 제작이 용이해서 대량 생산이 가능하며, 5G 이동통신 서비스 분야에서 초 저지연을 요구하는 시스템의 구성을 위한 솔루션을 제공함과 동시에 실시간 기반의 링크를 구현하는 이동통신 시스템 및 IoT 관련 부품으로 적용될 것으로 기대한다.

References

- [1] R. -A. Pitaval, O. Tirkkonen, R. Wichman, K. Pajukoski, E. Lahetkangas, and E. Tiirola, "Full-duplex self-backhauling for small-cell 5G networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, no. 5, pp. 83-89, Oct. 2015.
- [2] S. Choi, Y. Song, and H. Kim "Analysis of service scenarios and issues based on 5G mobile communication low-latency technology," in *Proceedings of the Korea Contents Association Conference*, Busan, Korea, pp. 291-292, 2015.
- [3] GSA, "5G-Oriented Indoor Digitalization Solution White Paper," A GSA White Paper Input with Huawei, Nov. 2017.
- [4] 3GPP TS 38.211 5G; NR; *Physical Channels and Modulation*, 2018.
- [5] C. G. Montgomery, *Technique of Microwave Measurements*, MIT Radiation Laboratory Series., NY: McGraw-Hill, USA, p. 306, 1947.
- [6] A. D. Lapidus and C. Rossiter, "Cross-coupling in Microwave Bandpass Filters," *Microwave Journal*, vol. 47, no. 11, pp. 22-46, Nov. 2004.
- [7] L. Chen, *Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization*, NewYork: NY, USA, John Wiley & Sons, 2004.



유수형(Soo-Hyung Yoo)

2004년 2월 : 한국공학대학교 전자공학과 공학사
 2006년 8월 : 한양대학교 산업경영대학원 경영학석사
 2009년 2월 : 한국공학대학교 지.에대학원 정보통신 박사수료
 1986년~1990년 : 현대건설(주) 이라북부철도 종합통신망 업무
 1999년11월~현재 : (주)삼보전자통신 대표이사
 ※관심분야 : 무선중계시스템, 기술경영



진덕호(Duck-Ho Jin)

2004년2월 : 한국공학대학교 전자공학과 공학사
 2016년2월 : 한국공학대학교 산업기술경영대학원 전자공학과 공학 석사
 2022년2월 : 한국공학대학교 지.에대학원 정보통신 박사수료
 2003년~2016년 : ㈜기산텔레콤 연구소 책임연구원
 2022년3월~현재 : ㈜아이엠에스 연구소 연구 소장
 ※관심분야 : 무선통신, 밀리미터파 전송, 5G, 안테나