

캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종보고서

과제명	3D 프린터를 이용한 저궤도 위성용 도파관 필터 설계				
과제기간	2018. 10.01. ~ 11. 30.		과제비	254,000 원	
팀명	MiEMI		과제유형	<input checked="" type="checkbox"/> 일반 <input type="checkbox"/> 현장 실습 연계	
지도교수	소속	정보통신공학과		성명	강승택
참여학생	구분	성명	학년	학번	소속학과
	팀장	이창형	박사과정	201621093	정보통신공학과
	팀원	노경훈	4	201301574	정보통신공학과
		서예준	4	201401574	정보통신공학과
참여기업	기업명	(주) 심플렉스	담당자	성명	박서준
				연락처	010-3908-7083

본 보고서를 공학교육혁신센터 캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종보고서로 제출합니다.

【붙임 : 최종 결과보고서 1부】

2018년 11월 28일

대표학생 : 이창형 

인천대학교 공학교육혁신센터장 귀하

캡스톤디자인 산학연계팀 과제 최종 결과보고서

I. 과제 개발의 목적 및 필요성

1. 목적 및 필요성

가. 정지케도 위성탑재용 캐비티 필터 설계 및 제작

- L 밴드 대역 통과 필터의 등가회로 및 토폴로지 설계
- 단일 공진기의 설계
- Cross coupling을 활용한 4차 공진기 설계 및 제작

나. 3D 프린팅 기법을 활용한 정지케도 위성탑재용 캐비티 필터 제작

- 제작품의 원료 선정
- 3D 프린터를 활용한 캐비티 필터의 제작
- 기계적 밀링공정을 사용한 제작품과 3D 프린터를 활용한 제작품의 비교 및 연구

2. 활용성 및 기대효과

가. 연구개발과제의 중요성

○ 사회적 중요성

국내의 위성통신산업이 비약적인 발전을 이루면서 위성체의 핵심적인 역할을 하는 중계기 및 RF 부품들에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 탑재체 기술은 케도별로 다양하며, 관련분야도 물리, 전자, 기계, 항공과 천문·우주 등 전체 이·공학 분야를 포괄하고 있으며, 이러한 위성 탑재체 제조 산업은 오늘날 첨단 산업의 집합체라 할 수 있다. 이러한 위성 탑재체 제조 산업이 더욱더 발전하기 위해서는 국가연구기관만이 아니라 많은 기업체와 교육기관의 융합 연구가 필요하다.

○ 문화적 중요성

문화적 부흥은 어떠한 한 분야에만 국한된 것이 아니라 다방면의 걸쳐 그 영향을 끼친다. 현재는 다른 국가의 소식은 물론 전혀 다른 문화를 간접적으로 체험하고 공감할 수 있다. 따라서 이러한 방대한 데이터를 송, 수신하는 것은 다양한 문화적 융합과 그 기반을 지탱할 수 있는 기술이 요구된다. 이러한 기술에는 위성 통신과 다양한 무선 통신의 발전이 요구되기 때문에 혁신적이고 지속적인 연구가 요구된다.

○ 경제적 중요성

새로운 기술들이 등장하면서 융합 기술의 필요성이 요구되기 때문에, 다양한 분야의 지식을

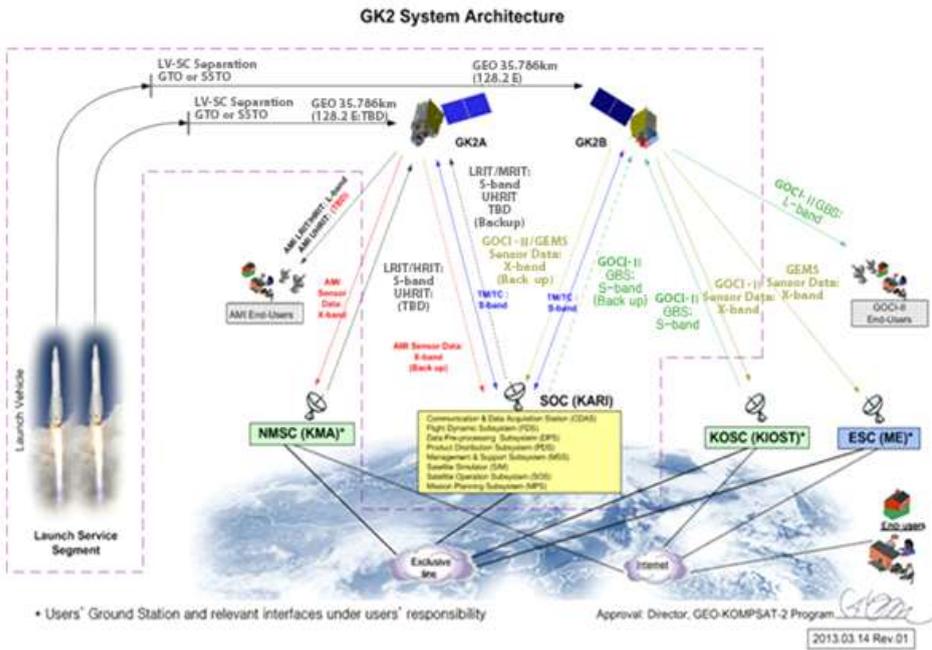
겸비한 엔지니어와 숙련가들이 필요하다. 본 연구는 기존 위성 통신 기술과 3D 프린터라는 새로운 기술의 융합으로서, 사회적 및 문화적인 방면이 아니라 경제적으로도 중요하다. 위성 부품으로 사용되기 위해서는 발사시 충격과 진동을 견디고 우주 환경에서의 신호 송수신시 발생하는 고출력의 전력을 견디기에 적합한 구조가 요구된다. 이러한 부품을 제작할 시 많은 비용이 들어가지만 3D 프린팅 기술로 공정 과정시 들어가는 비용을 절약할 수 있다. 낮은 접근 비용으로 인하여 많은 기업체와 교육기관에서도 활발한 연구가 진행될 수 있음을 예상할 수 있다.

II. 과제내용 및 제작과정

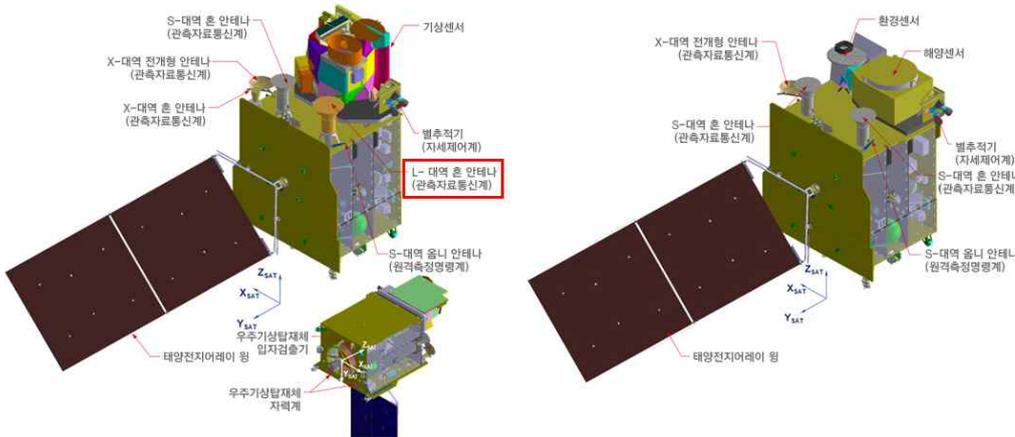
1. 과제내용

A. L-Band 대역통과 필터 설계

그림 1-1 과 1-2에서 보이는 바와 같이 차세대 기상관측위성인 정지궤도 복합위성 천리안 2A에서 고해상도의 기상현상 연속 감시 및 기상요소 산출 분석등에 활용 가능한 L 대역의 1.69 GHz를 중심주파수로 갖는 캐비티 대역통과 필터를 설계하고 시뮬레이션 결과를 살펴본다.



<그림 1-1> 정지궤도복합위성 시스템 구성도



<그림 1-2> 정지궤도복합위성2A·2B 형상도

1. 대역통과 필터 요구사항 분석

대역통과 필터를 설계하기 위해 LC 공진 특성을 활용하여 필터를 설계한다. 삽입손실과 반사손

실, 주변대역 감쇠 특성을 고려하여 필터 차수를 결정하게 된다. 삽입손실(Insertion loss)은 입력신호 대비 출력신호의 전달을 의미하며 0 dB일 경우 입력신호가 전부 출력신호로 전달됨을 의미하고 -3 dB일 경우 입력신호 대비 출력신호가 절반만 출력됨을 의미한다. 반사손실(Return loss)은 입력신호가 반사되는 정도를 의미하며 그 값이 낮을수록 신호의 전달이 잘 됨을 의미한다. 감쇠(Attenuation) 특성은 주파수간의 간섭에 대한 특성값으로 그 값이 낮을수록 주파수간의 간섭이 적어 통신이 원활하게 될 수 있음을 의미한다.

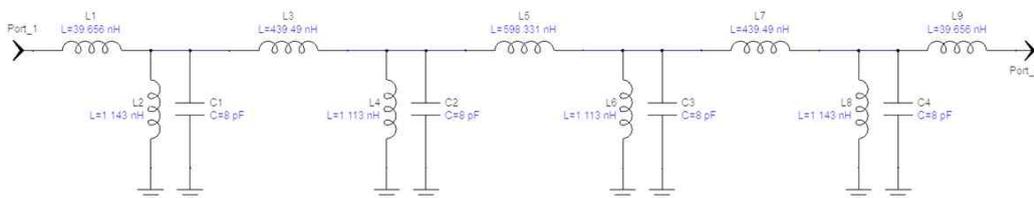
제안된 필터의 요구사항은 <표 1-1>과 같다.

<표 1-1> 제안된 필터의 요구사항

Parameter	Quantity
Center frequency (f_0)	1.69 GHz
Bandwidth	6.4 MHz
Insertion loss & Return loss	$ S_{21} > -1 \text{ dB}$ & $ S_{11} < -20 \text{ dB}$
Attenuation at $16 \text{ MHz} \pm f_0$	$ S_{21} < -35 \text{ dB}$

표 1-1에서 보이는 바와 같이 설계하는 L-Band의 대역통과 필터는 중심주파수를 1.69 GHz에서 가지며 대역폭은 6.4 MHz를 가지는 것을 목표로 한다. 삽입손실은 1 dB 미만의 값을 목표로 하며, 대역 내 반사손실은 최소 20 dB를 목표로 한다. 저지 대역의 감쇠 특성은 35 dB 미만을 목표로 한다.

2. 1.69 GHz 대역통과 필터 설계



<그림 2-1> 1.69 GHz 대역통과 필터의 등가회로 모델링

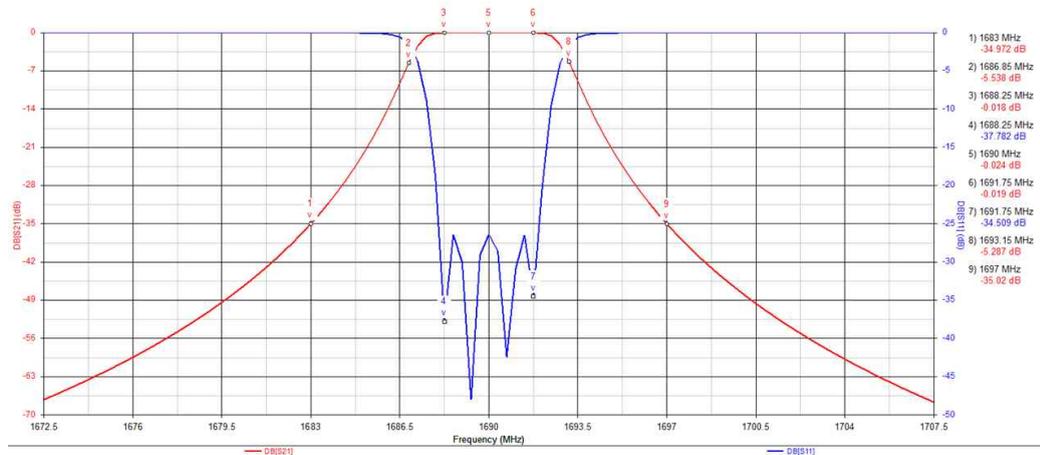
공진기 길이와 폭 등에 의해 공진기의 등가회로는 병렬 구조로서 “L”과 “C”의 구성으로 표현될 수 있다. 공진기의 길이는 병렬 연결된 “L”에 의해 영향을 받으며 공진기의 형상 및 구현방식에 따라 “C”가 영향을 받게 된다. 필터의 시뮬레이션은 “C” 값을 고정한 후 “L” 값을 변화시키며 진행하며 제품의 길이를 설계 시에 확정하고 “C” 값은 필터의 제작 이후, 튜닝 스크류를 통해 미세 조정한다.

1.69 GHz 대역통과 필터의 설계는 Keysight 社의 Genesys 시뮬레이션 툴을 통해 설계하였다. 설계된 필터의 회로도는 <그림 2-1>과 같으며, 차수는 4차로 구성하였다. 각 회로에 대한 파라미터 값은 <표 2-1>에 나타내었다.

<표 2-1> 1.69 GHz 대역통과 필터 사양

Item	L_n (nH)
n = 1	39.656
n = 2	1.143
n = 3	439.49
n = 4	1.113
n = 5	598.331
n = 6	1.113
n = 7	439.49
n = 8	1.143
n = 9	39.656

설계된 1.69 GHz 대역통과 필터의 파라미터는 입출력단의 직렬 인덕턴스 성분의 경우 40 내외의 값을 보이며, 입출력단을 제외한 직렬 인덕턴스 성분의 값은 초단의 경우 450 내외의 값을 갖고 중간단의 경우 600 내외의 값을 갖는다. 병렬 공진 인덕턴스 성분의 경우 1 내외의 값을 갖는다.



<그림 2-2> 1.69 GHz 대역통과 필터 시뮬레이션 결과

<그림 2-2>는 <그림 2-1>에서 구성된 1.69 GHz 대역통과 필터의 설계 시뮬레이션 결과로 통과 대역인 1687.09 MHz ~ 1692.88 MHz 대역에서의 손실은 필터 설계시 목표했던 1 dB 미만의 값을 가짐을 확인할 수 있으며 대역내 반사손실 또한 목표 20dB 미만인 35 dB 미만의 값을 갖는다. 통과 대역 외 감쇠특성은 1683 MHz ~ 1697 MHz 외의 구간에서 35 dB 미만을 갖는 것을 확인할 수 있다.

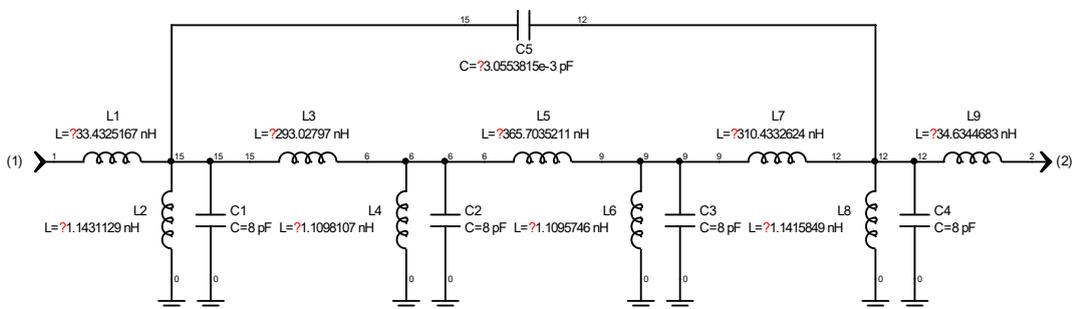
<그림 2-2>에서의 주파수 특성은 아래의 <표 2-2>에서 자세하게 확인할 수 있다.

<표 2-2> 1.69 GHz 대역통과 필터 주파수 특성

Frequency (MHz)	●dB(S21)	■dB(S11)
f = 1683	-34.972	-
f = 1686.85	- 5.538	-
f = 1688.25	- 0.018	-37.782
f = 1690	- 0.024	-
f = 1691.75	- 0.019	-34.509
f = 1693.15	- 5.287	-
f = 1697	-35.02	-

3. 노치 구조를 적용한 1.69 GHz 대역통과 필터 설계

<그림 3-1>는 1.69 GHz 대역통과 필터의 감쇠 특성을 개선하기 위해 노치(Notch) 구조를 적용한 등가회로 모델링이다. 노치 구조는 다수의 공진기를 사용할 때 활용될 수 있는 구조¹⁾로 <그림 3-1>에서는 첫 번째 공진기와 네 번째 공진기간 신호를 커플링시켜 통과 대역 근처에 감쇠 특성에 영향을 주는 공진을 형성한다.



<그림 3-1> 노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터의 등가회로 모델링

1) 고문봉, (2018), “이동통신 기지국 RF필터 소형화를 위한 세라믹 공진기설계에 관한 연구”, 한성대학교 박사학위 논문.

노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터는 앞서 설계한 1.69 GHz 대역통과 필터와 동일한 4차 구조로 설계하였으며, 한 개의 노치 구조를 적용한다. <그림 3-1>에서 구성된 회로에 대한 각 파라미터 값은 <표 3-1>에 나타내었다.

<표 3-1> 노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터 사양

Item	L_n (nH)
n = 1	33.42325167
n = 2	1.1431129
n = 3	293.02797
n = 4	1.1098107
n = 5	365.7035211
n = 6	1.1095746
n = 7	310.4332624
n = 8	1.1415849
n = 9	34.6344683

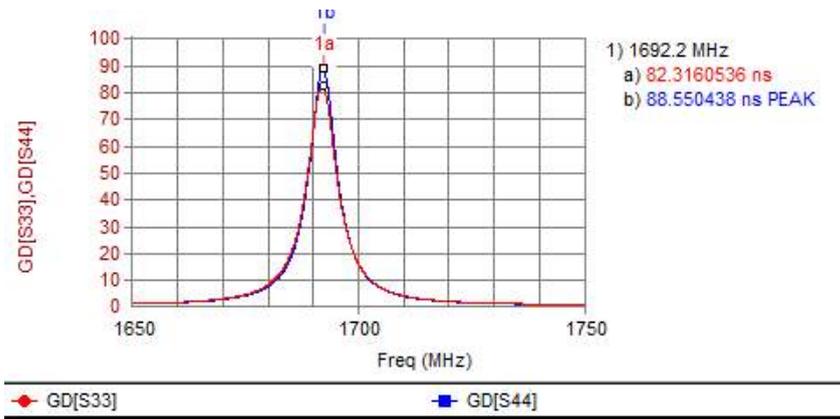
노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터의 파라미터는 입출력단의 직렬 인덕턴스 성분의 경우 30 내외의 값을 보이며, 입출력단을 제외한 직렬 인덕턴스 성분의 값은 초단의 경우 300 내외의 값을 갖고 중간단의 경우 400 내외의 값을 갖는다. 병렬 공진 인덕턴스 성분의 경우 1 내외의 값을 갖는다.



<그림 3-2> 대칭성을 가지는 균지연을 만들기 위한 외부 Q

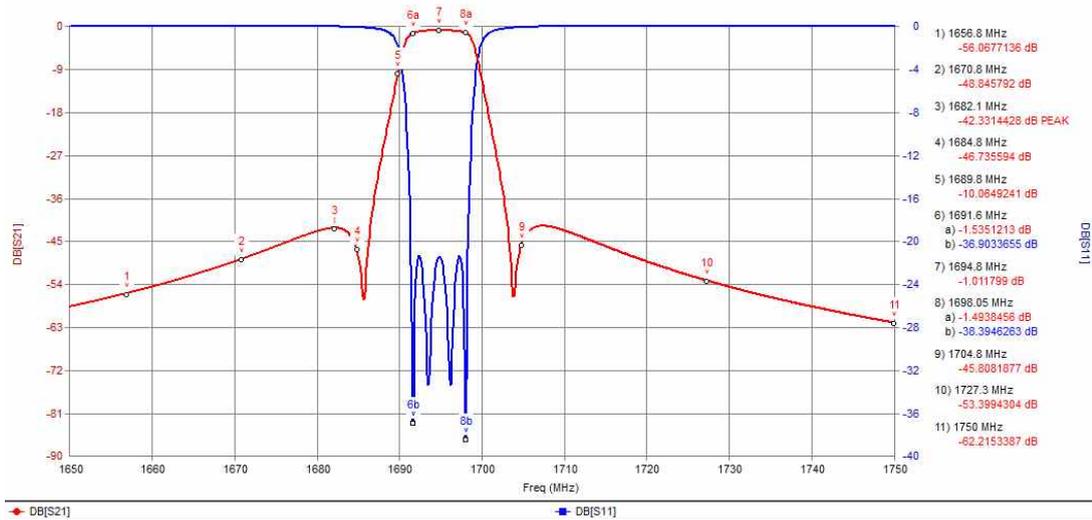
전체 등가회로 중 일부를 그린 <그림 3-2>은 노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터의 균지연 특성을 대칭성을 띄게 만드는 외부 Q 값이 적용된 등가회로이다.²⁾

2) 이홍재, (2006), “대칭적 특성을 갖는 공동형 L-Band 대역통과 여파기에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문.



<그림 3-3> 시뮬레이터를 통해 확인한 균지연의 대칭성

<그림 3-3>을 통해, 제작된 등가회로가 균지연 특성에 있어 원하는 대칭성을 가짐을 확인할 수 있다



<그림 3-4> 노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터 시뮬레이션 결과

<그림 3-4>은 <그림 2-1>에서 노치 구조를 추가하여 구성한 1.69 GHz 대역통과 필터의 설계 시뮬레이션 결과로 통과 대역인 1691.6 MHz ~ 1698.05 MHz 대역에서의 손실은 1 dB에 가까우며 대역내 반사손실은 45 dB 미만의 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 또한, 통과 대역 외 감쇠 특성은 40 dB 미만으로 <그림 2-2>의 시뮬레이션 결과보다 더 나은 감쇠 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다.

<그림 3-4>에서의 주파수 특성은 아래의 <표 3-2>에서 자세하게 확인할 수 있다.

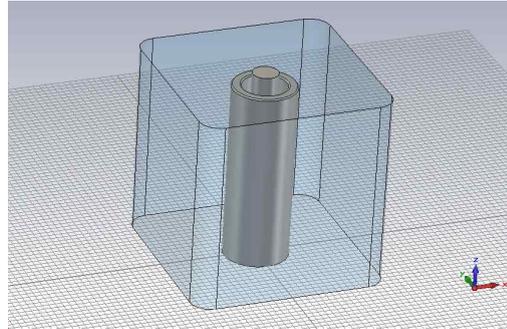
<표 3-2> 노치 구조가 적용된 1.69 GHz 대역통과 필터 주파수 특성

Frequency (MHz)	●dB(S21)	■dB(S11)
f = 1656.8	-56.0677136	-
f = 1670.8	-48.845792	-
f = 1682.1	-42.3314428	-
f = 1684.8	-46.735594	-
f = 1689.8	-10.0649241	-
f = 1691.6	- 1.5351213	-36.9033655
f = 1694.8	- 1.011799	-
f = 1698.05	- 1.4938456	-38.3946263
f = 1704.8	-45.8081877	-
f = 1727.3	-53.3994304	-
f = 1750	-62.2153387	-

B. L-Band 대역통과필터 EM 설계

1. 단일 차수 캐비티 필터

L-Band 4차 대역통과필터를 설계하기 위해 먼저 <그림 3-9>에서 보이는 바와 같이 단일 차수 캐비티 필터를 설계하고 이를 아이겐 모드로 확인하였다.



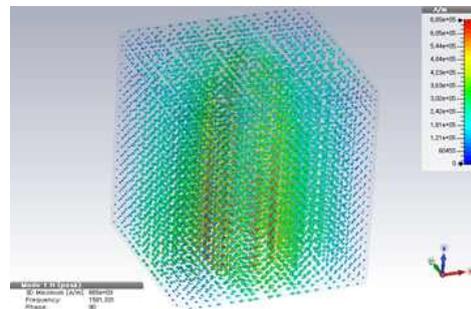
<그림 4-1> CST 시뮬레이터를 통한 단일 차수 캐비티 필터 설계

이때 얻은 데이터 값을 <표 4-1>에 나타냈으며 공진주파수는 실제 제작될 캐비티 필터가 측정 나사에 의해 주파수가 측정되는 것을 감안하여 제작될 필터의 중심주파수보다 약 100 MHz 상향하는 주파수가 되도록 설계하였다.

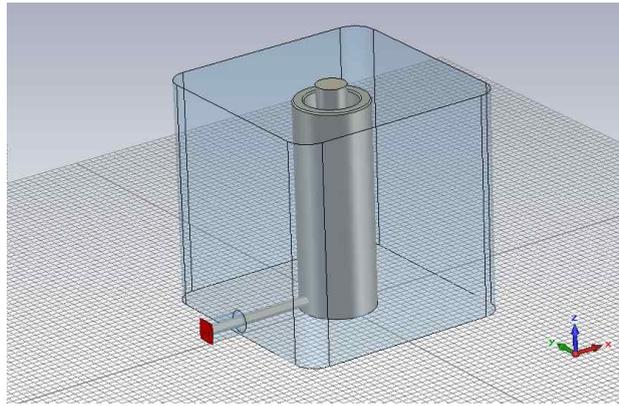
<표 4-1> 단일 차수 캐비티 필터의 아이겐-모드 해석결과

Material/Solid	Conductivity	Mue	Loss/W	Loss/%	Q
Cond. Enclosure	5.8000e+007	1	1.0092e+006	44.9	9.8448e+003
PEC	5.8000e+007	1	1.2370e+006	55.1	8.0323e+003
Sum			2.2462e+006		4.4233e+003

<그림 4-2>은 설계된 EM 구조가 중심주파수에서 보이는 H-field 해석이다.

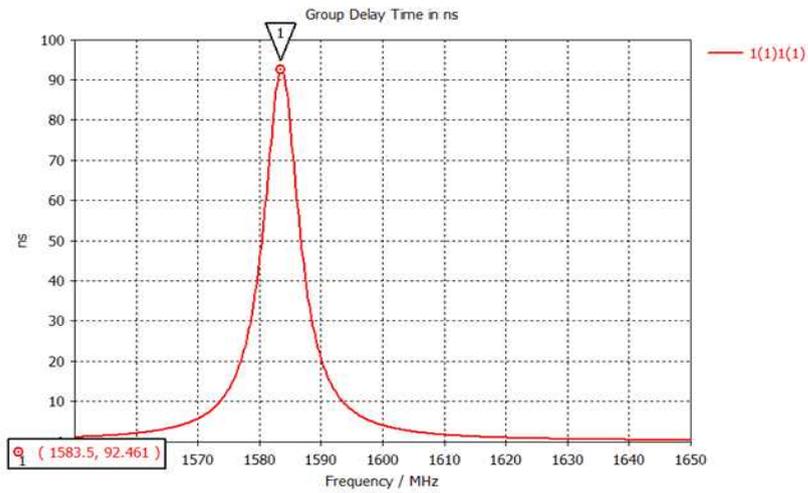


<그림 4-2> 설계된 EM 구조가 1581 MHz에서 가지는 H-field 해석



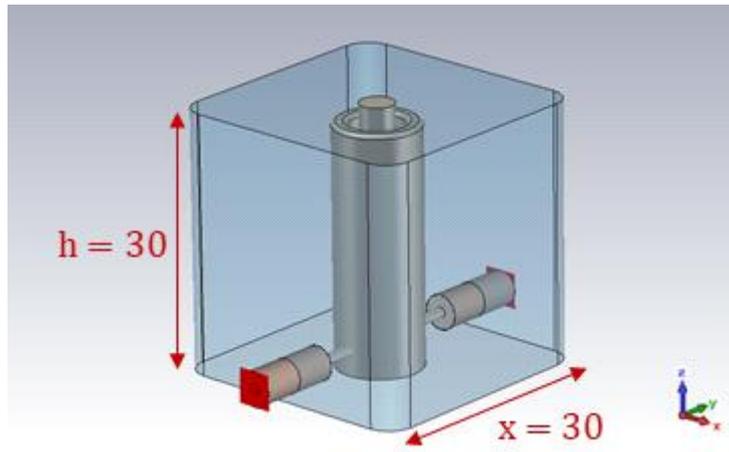
<그림 4-3> 설계된 동축 공동 공진기의 아이겐 모드 해석

설계한 동축 공동 공진기가 원하는 균지연 특성을 중심주파수에서 갖는지 확인하기 위해 EM 시뮬레이션 설계를 <그림 4-3>와 같이 진행하였다.



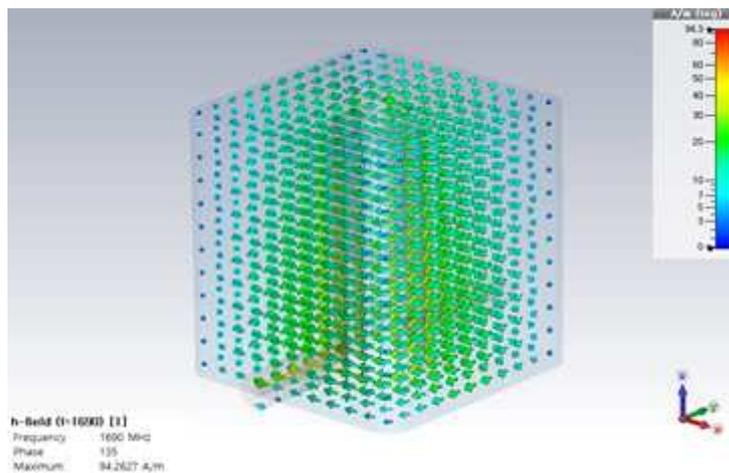
<그림 4-4> 설계된 EM 구조의 균지연 특성

설계한 동축 공동 공진기가 원하는 균지연 특성을 가지는 것을 <그림 4-4>를 통해 확인하였다.



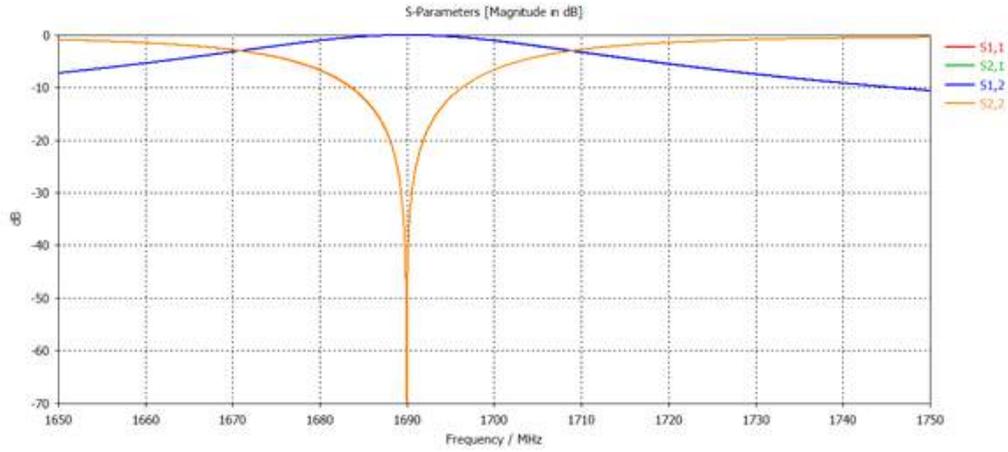
<그림 4-5> 1.69 GHz를 공진주파수로 갖는 단일 차수 캐비티 필터

<그림 4-5>은 1.69 GHz를 공진주파수로 갖는 단일 차수 구조의 캐비티 필터의 EM 시뮬레이션 화면이다. 설계된 단일 차수 캐비티 필터 모형에서 입출력단의 커플링 위치를 수정해 External Q를 조절하고 커플링 동축 공진기에 섭동을 추가함으로써 원하는 공진주파수인 1.69 GHz에서 최적의 Q를 얻기 위한 튜닝 과정을 진행한다.



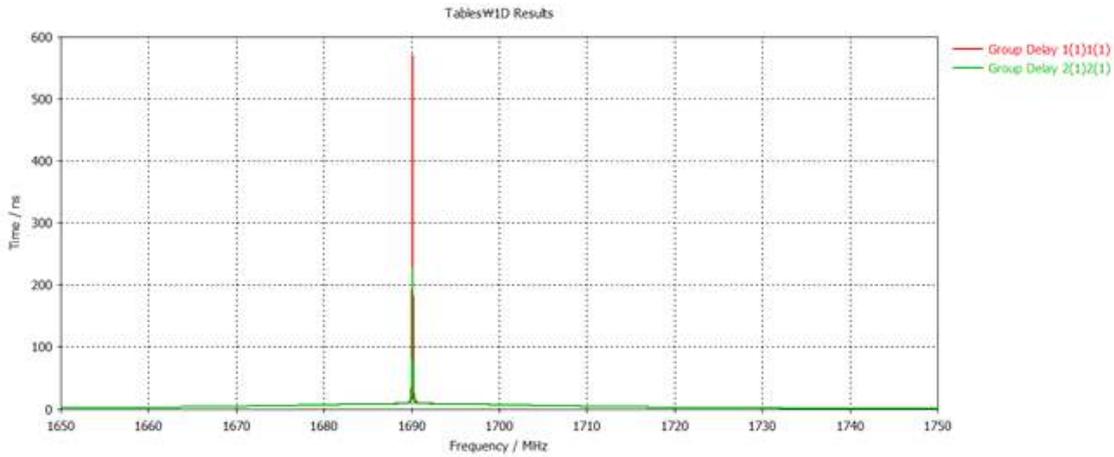
<그림 4-6> 설계된 단일 차수 캐비티 필터의 H-field 모습

<그림 4-6>은 설계된 단일 차수 대역통과 필터의 자계분포 모습이다. $0^\circ \sim 360^\circ$ 의 위상변화에서 설계된 동축 공동 공진기의 자계분포를 알 수 있다.



<그림 4-7> 1.69 GHz에서 공진주파수를 갖는 단일 차수 대역통과 필터의 주파수 응답

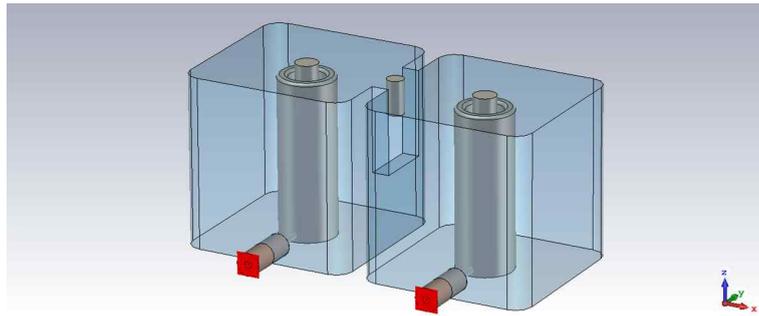
<그림 4-7>은 설계된 단일 차수 대역통과 필터의 주파수 응답 곡선으로 1.69 GHz에서 중심주파수를 갖지만, 대역 외 감쇠특성이 요구사항을 만족하지 못하고 대역폭 또한 좁은 것을 알 수 있다.



<그림 4-8> 단일 차수 대역통과 필터의 군지연 특성

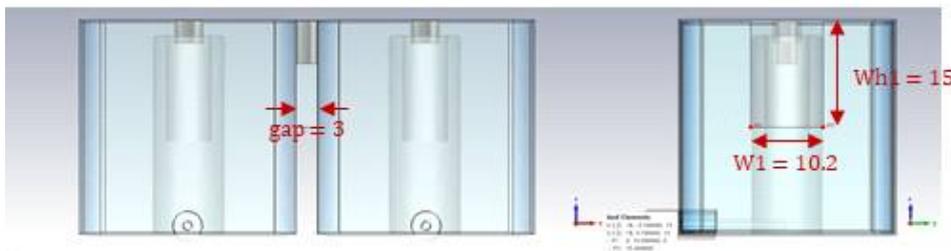
<그림 4-8>은 군지연 특성에 대한 응답곡선으로 1690 MHz에서 500 nS 이상의 군지연 값을 가진다.

2. 2차 공진 캐비티 필터



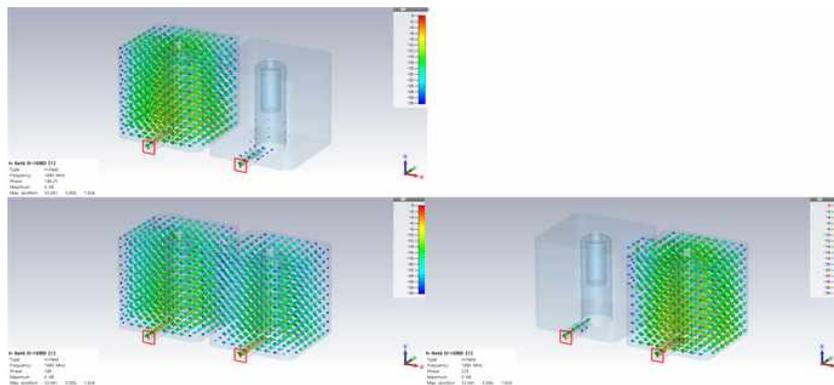
<그림 5-1> 1.69 GHz를 중심주파수로 갖는 2차 공진 캐비티 필터

<그림 5-1>은 1.69 GHz를 중심주파수로 갖는 2차 공진 구조의 캐비티 필터의 EM 시뮬레이션 화면이다. 단일 차수 캐비티 필터의 EM 설계에 <그림 5-2>에 보이는 바와 같이 개구(Window) 구조를 추가하여 공진기 구조에 유도성의 커플링을 나타내게 했다.

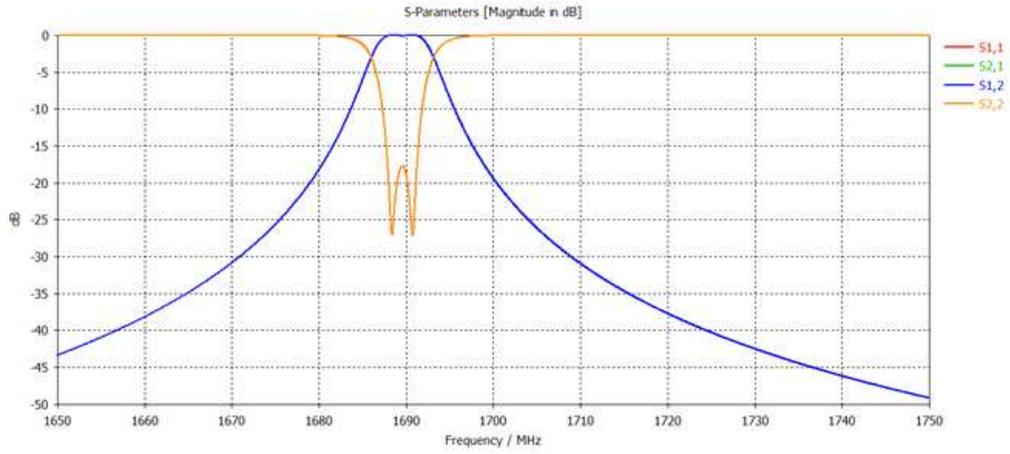


<그림 5-2> 윈도우 구조를 통한 2차 공진 모드의 구현

<그림 5-3>는 중심주파수에서 위상별 자계 분포의 모습을 나타냈다.



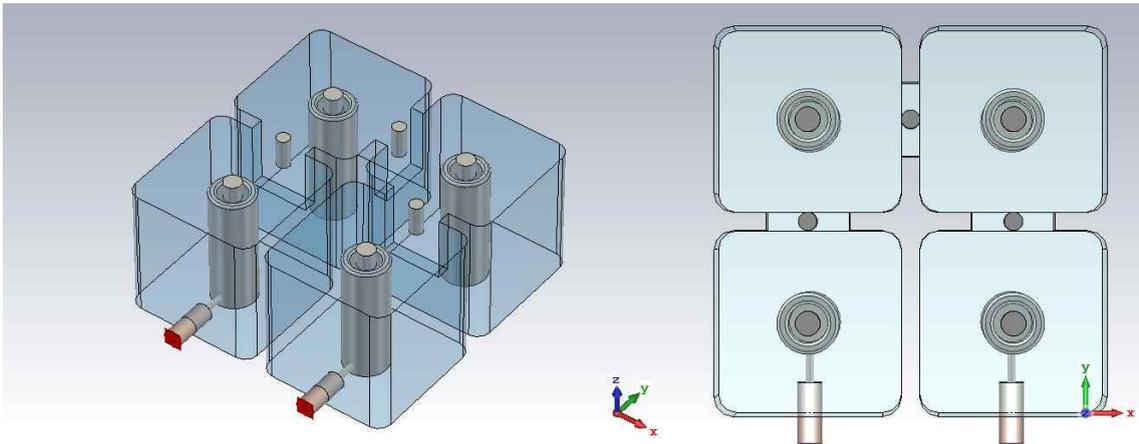
<그림 5-3> 설계된 2차 공진 대역통과 필터의 H-field



<그림 5-4> 2차 공진 대역통과 필터의 주파수 응답

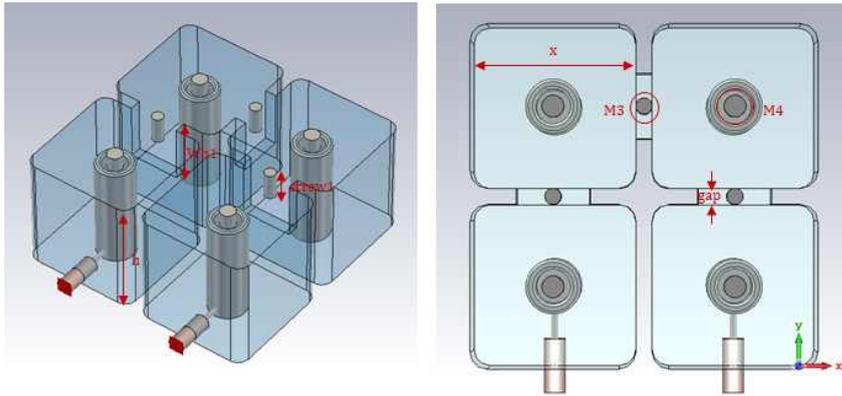
<그림 5-4>은 설계된 2차 공진 대역통과 필터의 주파수 응답 곡선이다. 목표한 중심주파수인 1.69 GHz에서 반사손실이 20 dB에 가까운 모양이지만 요구사항에 못 미치며, 단일 차수 필터와 마찬가지로 대역 외 감쇠특성이 요구사항을 만족하지 못하고 대역폭 또한 좁은 것을 알 수 있다.

3. 4차 공진 캐비티 필터

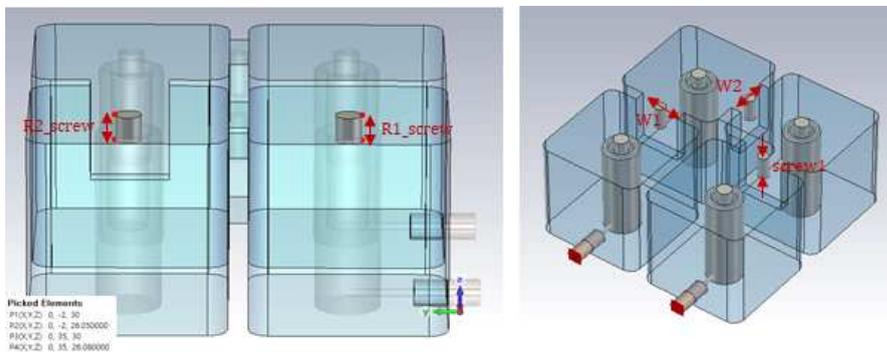


<그림 6-1> 4차 공진 캐비티 필터 EM 설계

<그림 6-1>은 설계된 4차 공진 캐비티 필터의 모습이다. 설계는 2차 공진 캐비티 필터와 동일한 방식으로 설계되었으며, 원하는 균지연 특성과 주파수 응답 특성을 나타내기 위해 각 섭동의 커플링 값과 윈도우의 커플링 값을 조절하였다.



<그림 6-2> 4차 공진 캐비티 필터 구조 파라미터



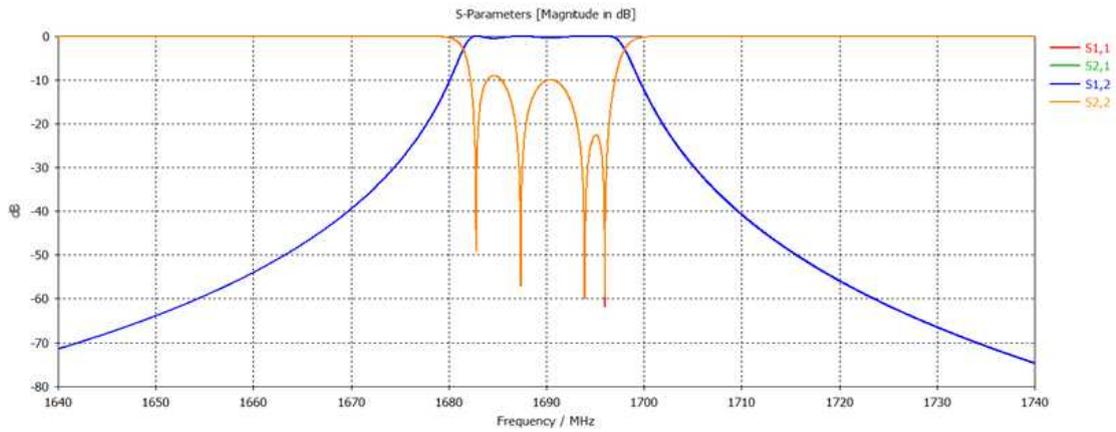
<그림 6-3> 유도성 결합소자 및 LC 튜닝 스크류의 파라미터

설계된 4차 공진 캐비티 필터의 세부 파라미터는 <그림 6-2>, <그림 6-3>과 <표 6-1>을 통해

정리하였다.

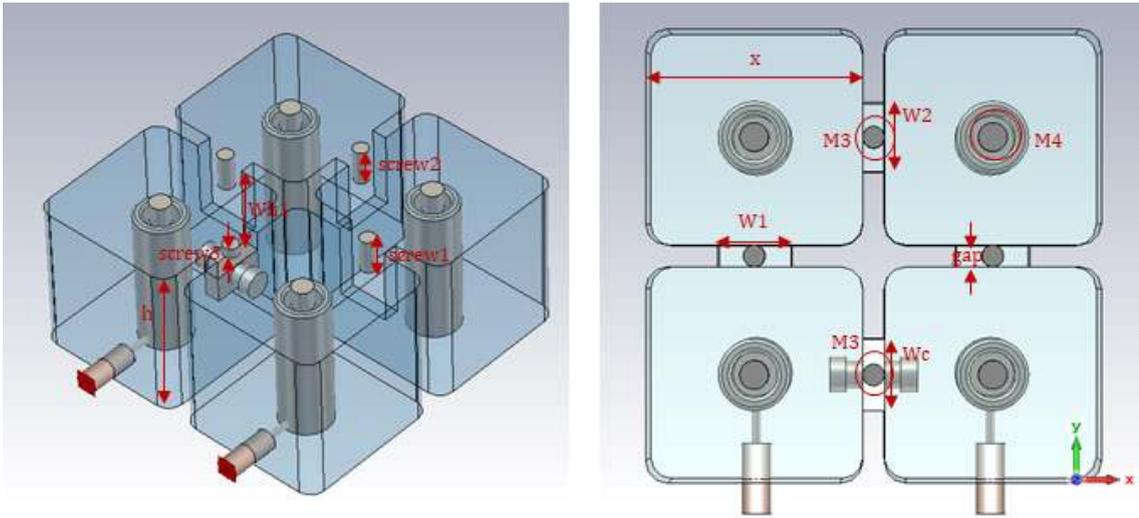
<표 6-1> 4차 공진 캐비티 필터 구조 파라미터

Parameters	Value(mm)
x	30
h	30
W1	13.3
W2	12
Wh1	15
R1_screw	3.95
R2_screw	3.92
screw1	7
gap	3
M3	3 ϕ
M4	4 ϕ



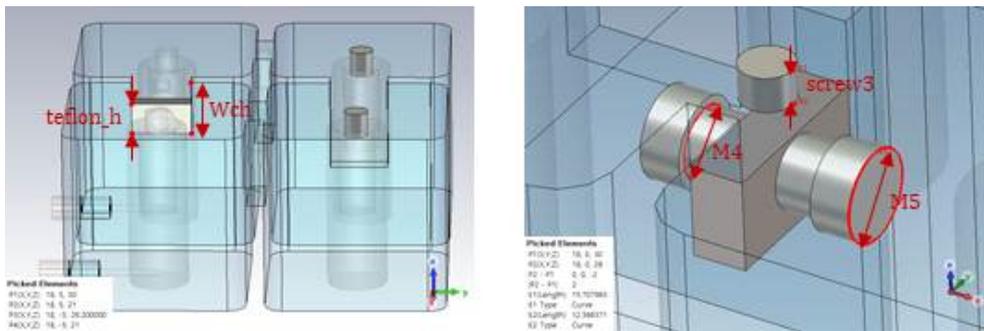
<그림 6-4> 유도성 결합소자를 이용한 4차 공진 특성의 대역통과 필터

<그림 6-4>는 설계된 4차 공진 대역통과 필터의 주파수 응답 곡선이다. 목표한 1.69 GHz를 중심주파수로 가지며 대역폭에서 반사손실이 10 dB 미만을 가지고 있으나 요구되는 필터의 응답특성을 만족하기에는 아직 부족한 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.



<그림 6-5> 유도성 및 용량성 결합소자를 혼합한 대역통과 필터 설계

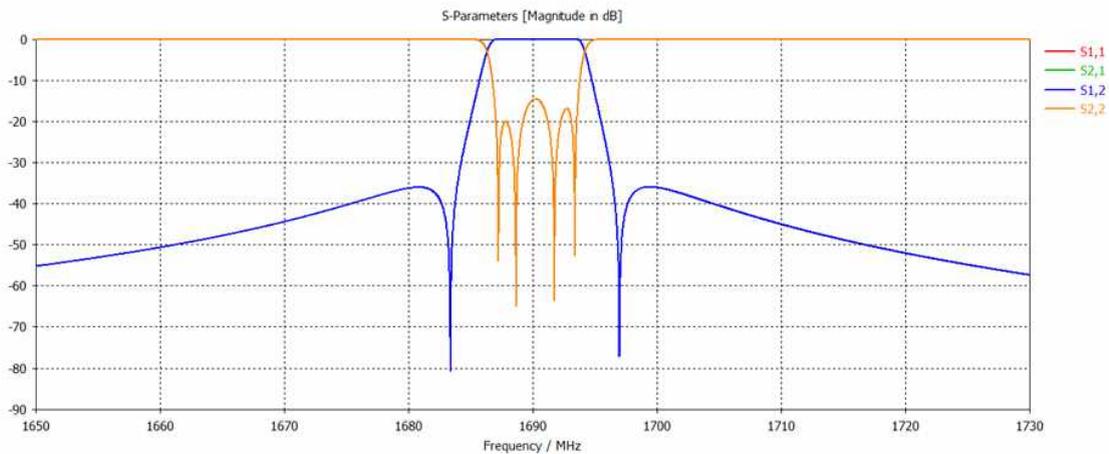
<그림 6-5>는 노치 구조를 활용한 등가회로를 통해 구성한 유도성 및 용량성 결합소자를 혼합한 대역통과 필터의 EM 설계이다. 노치 구조를 활용하여 설계된 4차 공진 캐비티 필터의 세부 파라미터는 <그림 6-5>, <그림 6-6>과 <표 6-2>을 통해 정리하였다.



<그림 6-6> 용량성 결합소자 및 LC 튜닝 스크류의 파라미터

<표 6-2> 노치 구조가 적용된 4차 공진 캐비티 필터 구조 파라미터

Parameters	Value(mm)
x	30
h	30
W1	10.2
W2	9.6
Wc	10
Wh1	15
Wch	9
R1_screw	4
R2_screw	4
screw1	6.9
screw2	7
screw3	2
gap	3
teflon_h	5.2
M3	3 ϕ
M4	4 ϕ
M5	5 ϕ



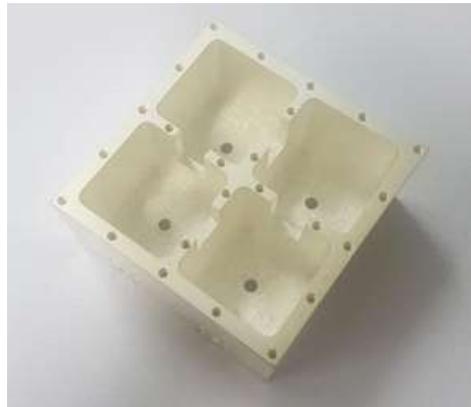
<그림 6-7> 노치 구조가 적용된 4차 공진 캐비티 필터의 응답곡선

<그림 6-7>는 노치 구조가 적용되어 설계된 유도성 및 용량성 결합소자를 혼합한 4차 공진 대역통과 필터의 주파수 응답 곡선이다. 목표한 1.69 GHz를 중심주파수로 가지며 대역폭에서 반사손실이 15 dB 미만을 가지고 있고 대부분의 대역에서 삽입손실과 반사손실이 요구되는 필터의 응답 특성을 만족한다. 대역 외 감쇠특성 또한 만족할 만한 주파수 응답특성을 가지는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

Ⅲ. 결과 및 측정결과

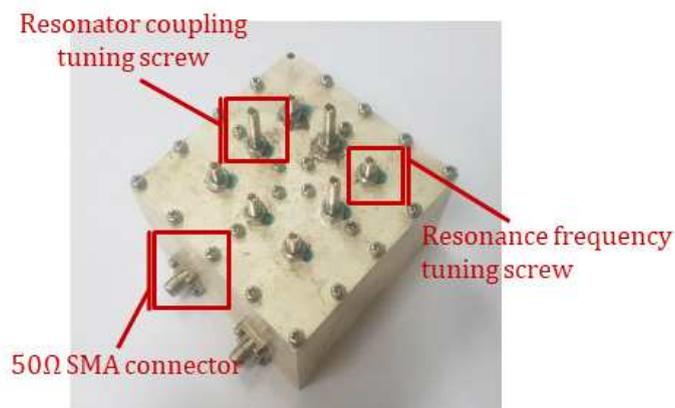
1. 제작된 금속 캐비티 필터

Keysight 社의 Genesys 시뮬레이션 툴과 CST MWS를 통해 얻어낸 시뮬레이션 결과를 토대로 보편적으로 도파관 필터를 만들 때 사용되는 금속 절삭공정중 하나인 밀링공법을 활용하여 금속 캐비티 필터를 제작하였다.

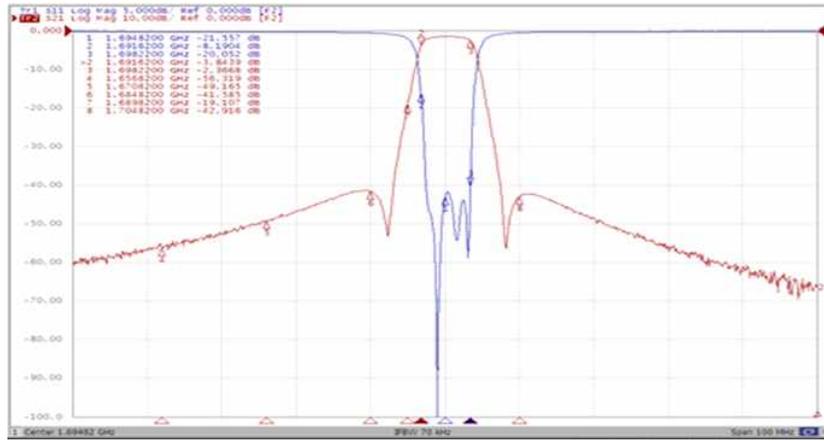


<그림 7-1> 밀링공정으로 만들어진 공진기

제작된 금속 캐비티가 하우징을 통해 공진기의 특성을 가지는 것을 측정결과로 살펴볼 수 있었으며, 원하는 필터의 성능을 얻어내기 위해 수동적 튜닝작업을 통해 원하는 LC 커플링을 얻었다.



<그림 7-2> 유도성 및 용량성 결합소자를 혼합한 캐비티 필터



<그림 7-3> 측정결과 확인한 대역통과 특성

<그림 7-3>은 금속 절삭공정을 통해 제작된 금속 캐비티 필터의 주파수 응답 곡선이다. 측정된 그래프는 1694.82 MHz에서부터 1698.22 MHz까지의 대역폭을 가지며 20 dB 미만의 반사손실을 가지고 대역 외 감쇠특성 또한 40 dB 미만의 특성을 가진다. 통과대역에서의 삽입손실 또한 3 dB 미만을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 기존의 금속 절삭공정을 통해 제작된 L-Band 대역 통과 도파관 필터는 목표한 요구사항을 만족하기에 충분하다고 판단 가능하다.

2. RP 공정을 통해 제작한 L-Band 도파관이면 절에서는 Makerbot 社의 Replicator Z18 3D Printer를 통해 금속 절삭공정으로 제작된 도파관 필터의 무게를 경량화하고자 한다.

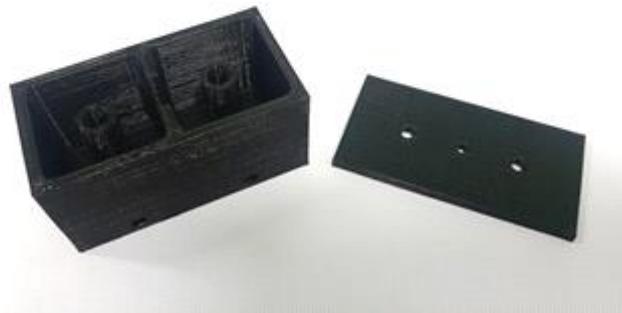
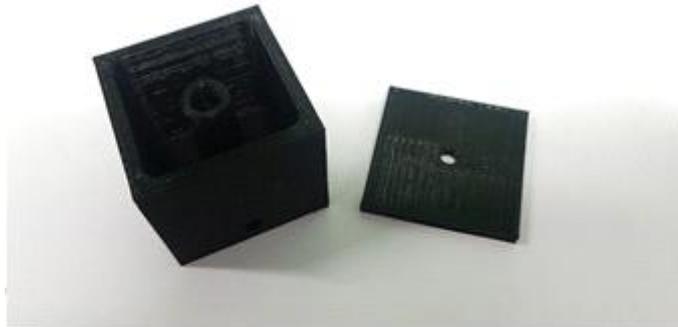


<그림 8-1> Makerbot Replicator Z18

해당 Replicator Z18 모델은 PLA(Polylactic Acid, $\epsilon=3.5$)를 원료로 하는 필라멘트를 270°의 온도로 녹여 적층가공(AM: Additive Manufacturing)을 통해 원하는 오브제를 출력한다. CST로 제작된 3D 모델링을 토대로 Makerbot의 3D 프린팅 프로그램에 모델을 추출하여 1.69 GHz에서 중심 주파수를 갖는 단일, 2차, 4차 공진기를 출력하였다.



<그림 8-2> 오브제의 원료가 되는 PLA 필라멘트

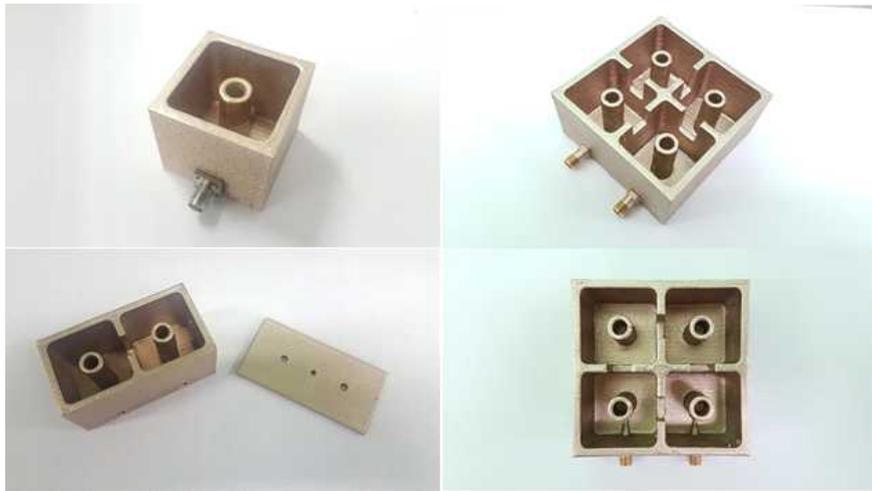


<그림 8-3> 3D 프린터를 통해 생성된 오브제

생성된 오브제에 MG Chemicals 社의 Super Shield Silver Coated Copper Conductive Coating 843-340G 은도금 구리 전도성 코팅제를 분사하여 전기전도성을 나타내었다. 사용된 금속 코팅제는 ABS 및 폴리카보네이트 등과 같은 소재에도 우수한 접착력을 보이며 코팅막 1.0 mill 당 $0.21\Omega/sq$ 의 높은 전도도를 가지며 도포가 완료된 오브제들은 디지털 멀티미터를 통해 전기전도성을 가짐을 확인하였다.



<그림 8-4> MG Chemicals 843-340G



<그림 8-5> 3D 프린터와 금속 코팅제로 제작된 단일, 2차, 4차 공진기

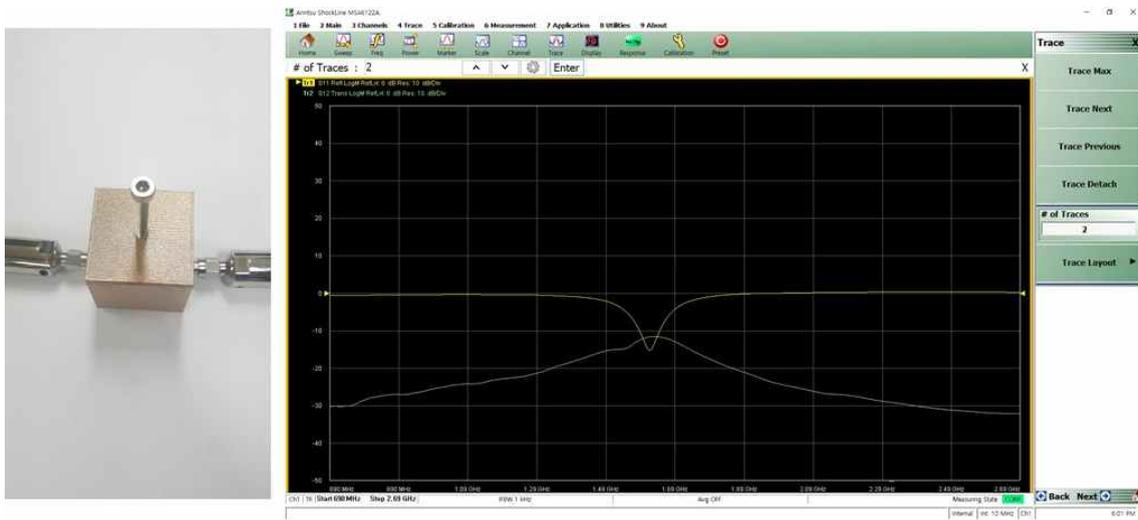


<그림 8-6> RP 공정으로 제작된 유도성 및 용량성 결합소자를 혼합한 대역통과 여파기의 내부



<그림 8-7> RP 공정으로 제작된 유도성 및 용량성 결합소자를 혼합한 대역통과 여파기의 외부

RP 공정으로 제작된 정지레도위성 신호 수신용 L-Band 도파관의 성능 측정을 Anritsu 社의 VNA(Vector Network Analyzer)를 이용하여 측정하였으나, 목표한 주파수 및 전체 주파수 대역에서 원하는 주파수 응답특성을 얻기 어려웠다. <그림 8-8>은 단일 공진 필터의 VNA 측정화면이다.



<그림 8-8> RP 공정으로 제작된 1.69 GHz 단일 공진기의 VNA 측정화면

VNA 측정 결과로 목표한 1.69 GHz에서 12 dB 미만의 반사손실을 갖음을 확인할 수 있었으나, S11과 S22의 그래프 모양이 대칭을 이루지 않았고 이로 인해 S12과 S21이 정확한 필터 응답 특성을 나타내지 못하였다.

IV. 결론

본 연구는 정지궤도위성 탑재체용 L-Band 대역통과 필터를 설계, 제작하였다. 설계된 대역통과 필터는 전달 및 군지연 특성의 대칭성을 나타내기에 용이하며 정지궤도위성에 탑재되어 위성 발사시 충격과 진동을 견디고 우주 환경에서의 신호 송수신시 발생하는 고출력의 전력을 견디기에 적합한 캐비티 형태로 구현되었으며 요구되는 필터 응답특성을 얻기 위해 4차 공진 형태로 제작되었다. 금속 절삭공정을 사용하여 제작된 L-Band 대역통과특성 캐비티 필터는 측정을 통해 1694.82 MHz에서부터 1698.22 MHz까지의 대역폭을 가지며 20 dB 미만의 반사손실을 가지고 대역 외 감쇠특성 또한 40 dB 미만의 특성을 가짐을 확인하였다. 통과대역에서의 삽입손실 또한 3 dB 미만을 만족하는 것을 측정을 통해 확인할 수 있었다.

금속 절삭공정으로 제작된 도파관 필터의 무게를 경량화하여 위성 발사시에 필요한 비용을 절감하기 위한 방법으로 본 논문에서는 RP 공정을 선택하였으며, MakerBot社의 Replicator Z18 3D Printer를 통해 PLA를 원료로 하여 공동의 모습을 구현하고 은도금 구리 전도성 코팅제인 MG Chemicals社의 843-340G를 3D 출력물에 도포하는 방식으로 출력물에 전기전도성을 나타내었다.

단일 차수, 2차, 4차 공진형 필터로 구현된 제작물은 어느 정도의 주파수 공진 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었지만 높은 Q 값을 가지지 못해 대역통과특성을 나타내기에는 부족한 것을 확인할 수 있었다.

높은 Q 값을 얻어내지 못한 이유로 첫째, 필라멘트 형태의 PLA를 270°에서 녹여내어 X, Y, Z의 3축 표현 적층기법으로 출력물을 제작하기 때문에 곡면의 표현이 매끄럽지 못했고 둘째, 프린터 출력의 한계로 표면이 금속 절삭공정만큼 매끄럽지 못했다. 본 논문에서 사용된 3D 프린터로 제작된 출력물의 표면이 출력기법에 따라 일정한 물결무늬를 띄고 있음을 관찰을 통해 알 수 있었다. 세 번째로, 도포되는 전도성 코팅제 또한 에어로졸 타입으로 사람의 손에 의해 도포되어 모든 면적에 일정한 두께를 나타내기 어려웠고 도포 즉시 마르지 않아 희석제를 따라 은 입자가 표면을 흘러내리는 어려움이 있었다.

마지막으로, 도금이 완료된 상태에서 SMA 커넥터와 동축 공동 공진기의 연결에서도 많은 문제가 있었다. SMA 커넥터 내심을 연장하여 동축 공동 공진기 중앙의 원하는 Q 값을 갖는 위치에 연결하기에 어려움이 많았으며 납땀시 인두기의 고열에 출력물이 녹아내렸다.

본 논문에서 실험하고 제작한 3D 프린팅 구현방식은 원하는 대역통과특성을 나타내기에는 어려웠지만, PLA 출력물과 은도금 도포제로 공진에 가까운 주파수 특성을 보일 수 있음을 확인했고, 높은 Q 값의 확보가 가능하다면 충분히 대역통과특성이 나타날 수 있음을 유추할 수 있었다. 또한, 본 논문이 가지는 위성 탑재체의 경량화 방안에 대해서는 지속적인 연구가 필요한 부분이라고 생각하며 좀 더 매끄러운 표면을 가지는 고성능의 3D 프린터와 스프레이 도포 방식이 아닌 전기도금 방식을 활용한 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

IDEA BOOM UP-LOAD



3D 프린터를 이용한 저궤도 위성용 도파관 필터 설계

서예준 [인천대학교]

👁 1 💬 0 👍 0



공개여부 : 비공개

카테고리 : 전자

등록일 : 2018-11-28

팀원 (공동개발자) : 이창형, 노경훈

출품작 : 2018년 -2학기 산학 캡스톤디자인 경진대회 (학생팀 & 멘토 모집)

👍 좋아요

✉ 연락하기



REFERENCES

- [1] 용상순, 유상범, 이상규(2015), 《인공위성 탑재체 기술 현황 및 전망》, 한국항공우주학회 학술 발표회 초록집, p.785-788.
- [2] 정진철, 염인복(2006), 《위성탑재체 RF 기술동향》, 한국전자통신연구원 전자통신동향분석 Vol.21 No.4 p.107-117.
- [3] 고문봉(2018), 《이동통신 기지국 RF필터 소형화를 위한 세라믹 공진기설계에 관한 연구》, 한성대학교 박사학위 논문.
- [4] 김태윤(2017), 《금속 3D 프린터로 제작·검증된 통신위성용 도파관》, 한국항공우주연구원 e-정책정보센터 정책/기술동향, 위성분야.
- [5] David. M. Pozar(1990), 《Microwave Engineering》, Wiley.
- [6] 송지훈(2017), 《캐비티형 주파수가변 대역통과필터 설계 및 구현》, 군산대학교 석사학위 논문.
- [7] 한국항공우주연구원(2018), 《정지궤도복합위성 개요》.
- [8] 이홍재(2008), 《대칭적 특성을 갖는 공동형 L-Band 대역통과 여파기에 관한 연구》, 연세대학교 석사학위 논문.