

비방사 마이크로 스트립 선로를 이용한 밀리미터 대역의 세라믹 필터 개발

종신회원 신 천 우**, 학생회원 김 태 헌*

Development of Ceramic Filter Using Non Radiative Microstrip Line In Millimeter-Wave

Cheon-woo Shin ** *Lifelong Member*, Tae-Heon Kim * *Student Member*

요 약

본 논문은 S-라인(비방사 마이크로 스트립)을 이용하여 무선 가입자 회선(WLL) 및 지역 다지점 분배 서비스(LMDS) 등 광대역 무선 가입자 망으로의 기술 적용을 위한 밀리미터 대역의 중심주파수 37GHz에서 세라믹을 이용한 대역 통과 필터에 관한 것이다. 아래 위가 도체로 덮인 유전체 기판 위의 선로 사이에 세라믹 공진기를 삽입시켜, 구조적 공진 특성을 이용함으로써 필터 특성을 얻어내는 방법으로 제작하였다. 이러한 필터 구조와 특성을 근거로 한 시뮬레이션을 하여, 1단 세라믹 공진기의 공진주파수를 찾는 공식과 4단 세라믹 공진기의 대역을 구하는 공식을 일반화 하였다. 또한, 4단 세라믹 공진기의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제작된 실험 구조물을 Network Analyzer를 사용하여 실험을 실시하였으며, 시뮬레이션 결과의 대역은 36.58GHz-37.650GHz, 리플과 손실은 -1dB 이내, Cutoff 특성은 S(2,1)그래프의 대역 좌우로 -35dB 밑으로 1GHz이내인 것에 대하여 실험 결과의 대역은 36.6GHz-37.65GHz, 손실은 -1dB이내, 리플은 -3dB이내, Cutoff 특성은 S(2,1)그래프의 대역 좌우로 -30dB 밑으로 1GHz 이내인 특성을 나타내었다.

Key Words : Ceramic Filter, Non Radiative Microstrip Line, Band Pass Filter, Filter Equation

ABSTRACT

This paper is about band pass filter, using Ceramics in the condition of center frequency 37GHz at milli-wave. The band pass filter is applied to Broadband Convergence Network, representing WLL(Wireless Local Loop) and LMDS(Local Multi-point Distribution Service). Sticking ceramic between strip line on a dielectric material substrate with which conductor's covers upper and basal surface, One will house the exterior by using structural resonance. In this Non Radiative Microstrip Line Filter structure, based upon simulations, generalized the two formulas finding resonant frequency of 1step ceramic resonator and bandwidth of 4step ceramic resonator. Also, As a result of experiment, using Network Analyzer, about created a experiment of structure based on the simulation result of 4-step ceramic resonator, It showed good characteristic of targeted bandwidth, comparing simulated result of 36.58GHz ~37.650GHz with experimented result of 36.6GHz~37.65GHz.

※ 이 논문은 2005학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

* 경성대학교 조교주파 연구실 (ttamf@hanmail.net), ** 경성대학교 멀티미디어 통신공학과 (cwshin@star.ks.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-12-539, 접수일자 : 2006년 12월 21일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 5일

I. 서론

1.1 밀리미터파 대역에서의 필터의 필요성

최근 대용량 무선 통신의 요구가 높아지고 밀리미터파 영역(30-300GHz)에서의 소형경량 무선기기의 개발이 이루어지고 있으며, 이 주파수대에서의 전송선로 및 직접 회로의 연구가 진행되고 있다. 이러한 밀리미터파 대역에서 사용가능한 무선통신용 수신기에 있어서, 같은 모듈 내의 송신단의 신호가 수신단에 간섭을 초래하게 되는데, 이를 최소화하기 위해 송신단이나 수신단에 대역 통과 필터를 구성하여 송·수신단의 주파수간섭을 줄이기 위하여 인접 주파수에서의 스킨트 특성이 우수한 필터개발이 필요하다.

종래의 필터에 관한 기술들 중에 도파관 방식 세라믹 필터의 경우는 Q가 높고 우수한 필터 특성을 얻을 수 있으나, 도파관 내부에 세라믹을 가공하여 정밀하게 배치해야 하는 관계로 제조에 어려움이 많아 가격상승의 요인이 되고 특성 조절이 매우 어렵다.^[1] 또한, 집중 정수형인 마이크로 스트립 등의 프린트 선로들을 이용한 필터는 접지판위 PCB상에 세라믹 공진기가 위치함으로 GND Plate와의 거리가 너무 가까워서 손실이 많아지고, Q가 낮아짐으로 전반적으로 손실이 커져 필터의 특성이 나빠진다.^[2] 게다가, 높은 주파수 영역에서 유전 손실이 크고, 방사 손실이 큰 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위하여 분포정수형 비방사 마이크로 스트립 선로를 연구하게 되었다.^{[1][2]}

우선 비방사 마이크로 스트립 선로는 얇은 유전체 기판위에 마이크로 스트립 라인을 배치하고 일정한 간격을 띄워 그라운드 판을 배치하는 구조에 아래 위로 도체를 덮음으로써 구조물의 내부가 도파관처럼 전자계가 차단되어 전자파의 손실을 방지 할 수 있다. 기본모드인 유사 TEM 모드를 사용하며, MMIC회로와 연결 중, TEM과의 접속 손실이 적어 타회로와 연결 시 삽입손실이 매우 적어 유용하다. 또한, 직접회로 제작 시, 전송특성이 1GHz~100GHz에서 광대역이며 전송 손실이 매우 적고, 반사 손실은 1GHz~100GHz의 전 대역에서 -40DB이하이고 그 특성이 그림1, 그림2와 같이 매우 우수하다.

이러한 비방사 마이크로 스트립 선로를 이용한 구조적 공진을 접목 시킨 세라믹 필터는 방사 손실을 최대한 줄여, 저손실의 필터의 구현이 가능하다는 것을 예상할 수 있을 뿐만 아니라, 결과적으로 1단에서 4단 이상의 복수개의 세라믹공진기를 배치

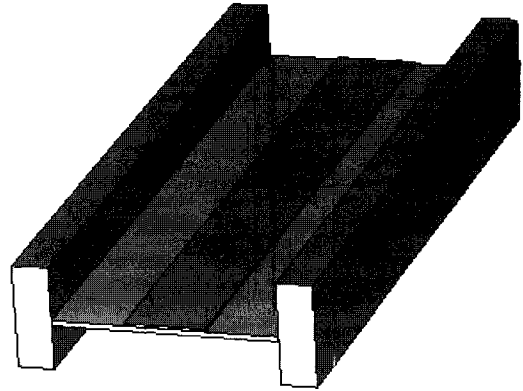


그림 1. 비방사 마이크로스트립 선로 구조와 전송선로의 전·자계 형태
Fig. 1. The structure of Non Radiative Microstrip Line & figured E-field on transmission line

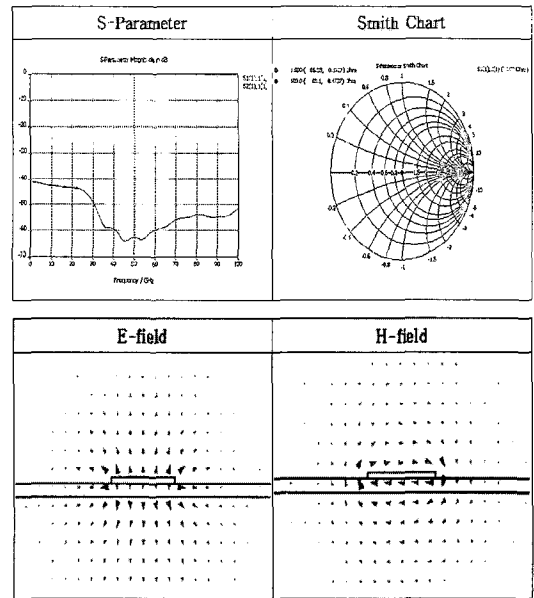


그림 2. S-Parameter 특성과 스미트 차트
Fig. 2. Character of S-parameter & Smith Chart

하여 손실이 -1dB이내이며, 스킨트 특성이 1GHz이내의 염가의 광대역 특성을 가진 대역 통과 필터를 구현 할 수 있다.^[3]

따라서, 본 논문에서는 밀리미터 대역에서 종래 기술들의 단점을 보완하고, 제작이 쉬운 중심 주파수 37.2GHz의 대역 36.58GHz~37.65GHz, -1dB이내의 손실과 리플 특성, 좌·우대역의 -35dB 밑으로 1GHz이내의 Cutoff 특성을 갖는 비방사 마이크로 스트립 선로를 이용한 세라믹 필터를 제시하고자 한다.

II. 본론

2.1 이론적 배경 및 시뮬레이션

2.1.1. 1단 세라믹 공진기

비방사 마이크로 스트립 선로를 이용한 대역 통과 필터의 구조는 고유전율을 갖는 원형 유전체 세라믹을 이용하여, 파장에 따른 구조적 공진 특성을 이용하는 Chebyshev형 필터이다. 또한 신호의 전기적 파장을 줄여줌으로써 완벽한 필터를 구현 가능하게 한다. 비방사 마이크로 스트립 선로를 이용한 원형 세라믹 공진기의 구조는 마이크로 스트립 선로 사이에 세라믹 공진기를 두는 방식으로 그림3과 같다.

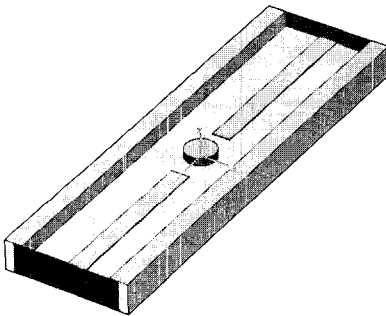


그림 3. 1단 세라믹 공진기 구조
Fig. 3. structure of 1step resonator

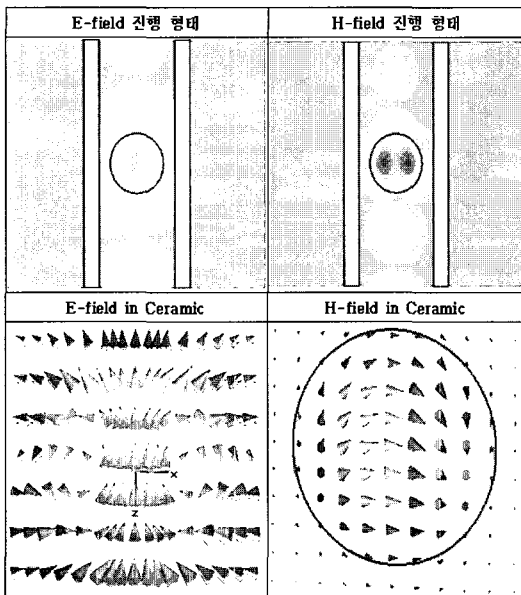


그림 4. 공진기외부와내부의E-Field와 H-Field
Fig. 4. Inner & outer resonator of E-Field & H-Field

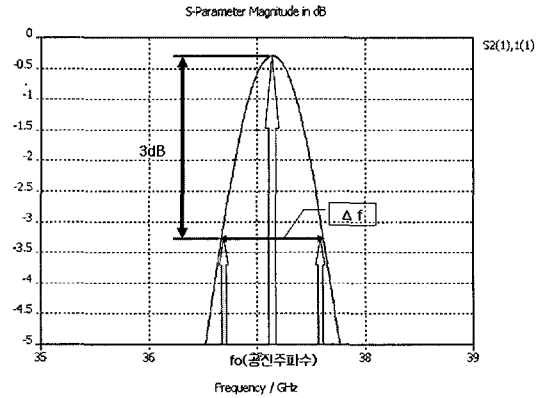


그림 5. 1단 세라믹 공진기의 S(2,1)
Fig. 5. 1Step ceramic resonator of S(2,1)

1단 세라믹 공진기의 세라믹은 비유전율이 21.3 이고, 내부의 모드는 TE₁₁₆모드로 다음 그림은 공진기 외부에서의 전자기파가 공진되는 형태와 내부의 전자계 모습을 그림4와 같이 나타내었다.

1단 공진기를 제작 할 때, 우선적으로 고려해야 될 것은 공진기의 두께와 직경이다. 이 두 가지 파라미터로 인하여, 공진주파수가 구해진다. 그리고 스킨트 특성은 공진기와 선로간의 간격으로 인해 Q 값 그림5, 식1이 고려되어 진다.

$$Q = \frac{f_o}{\Delta f(3dB)} \quad [식1]$$

구체적으로 세라믹의 두께와 직경을 변화시킴으로써 원하는 공진 주파수를 구할 수 있고, 실제 파라미터의 특성에서 세라믹 두께 그림6는 두꺼워 질수록 공진 되는 주파수는 그림7와 같이 낮아지고 세라믹 직경 그림8은 세라믹디스크의 직경이 양 옆의 도체의 손실을 받지 않을 때, 직경이 커질수록 공진되는 주파수는 그림9와 같이 낮아져, 세라믹 공

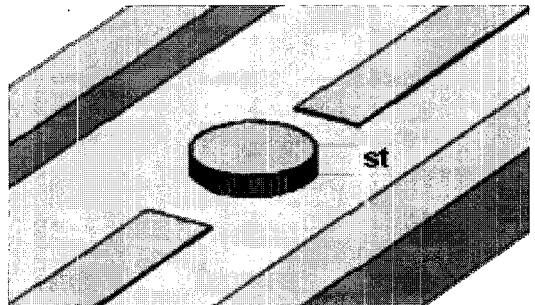


그림 6. 세라믹 두께의 구조적 위치
Fig. 6. Ceramic's thickness of structural position

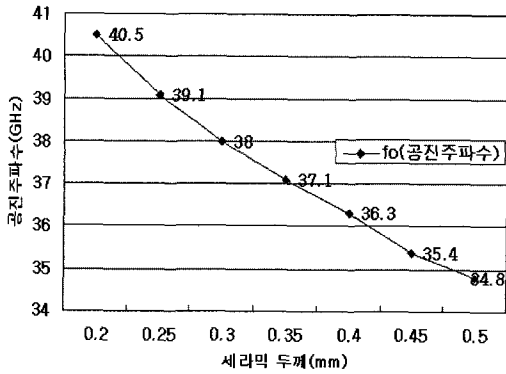


그림 7. 세라믹두께의 변화에 따른 공진주파수변화
Fig. 7. Derivation of resonance frequency by changing ceramic's thickness

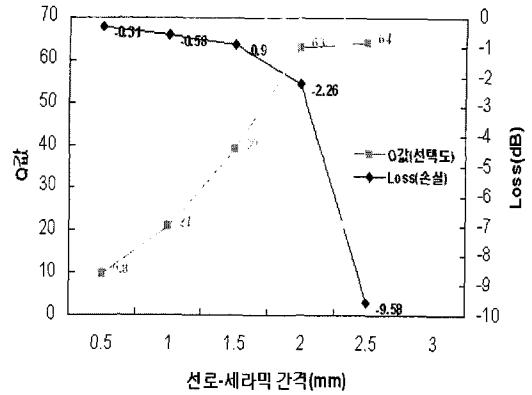


그림 10. 세라믹디스크와 스트립 라인 갭의 구조적 위치
Fig. 10. ceramic-transmission line's gap of structural position

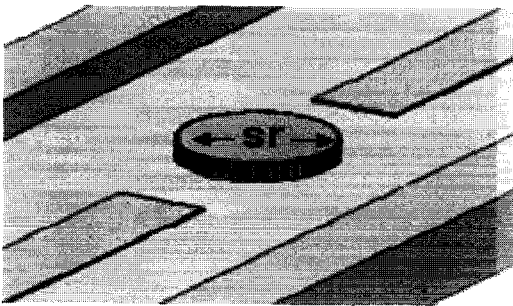


그림 8. 세라믹 직경의 구조적 위치
Fig. 8. Ceramic's diameter of structural position

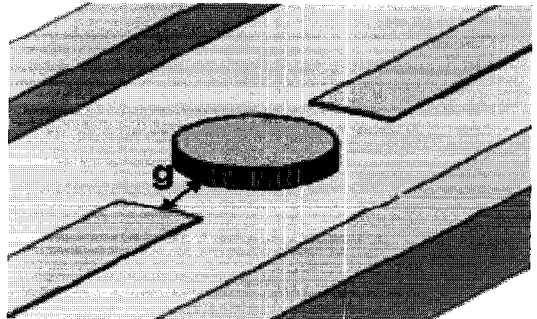


그림 11. 세라믹 디스크와 선로사이의 간격 변화에 따른 Q 값과 손실 변화
Fig. 11. Derivation of Q & loss by changing ceramic-transmission line's gap

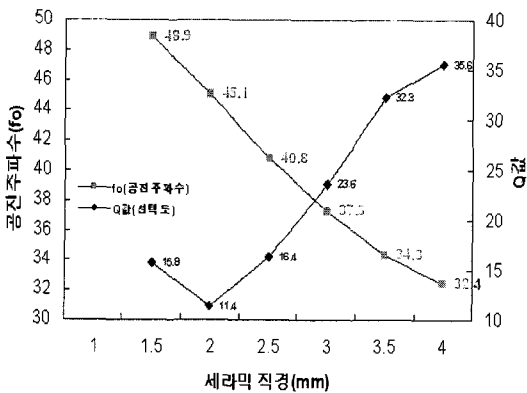


그림 9. 세라믹 직경의 변화에 따른 공진주파수와 Q값 변화
Fig. 9. Derivation of resonance frequency & Q by changing ceramic's diameter

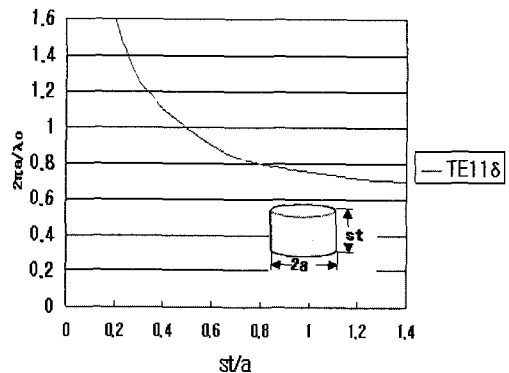


그림 12. 원형세라믹의 직경과 두께, 파장에 의한 내부 모드 의 해석 그래프
Fig. 12. Analysis graph of inner mode of Circular ceramic by varying radius, thickness, and wavelength

진기의 체적에 따라서 공진 주파수가 결정된다.

세라믹 공진기의 Q값(선택도)은 세라믹공진기와 선로 사이의 간격 그림10에 의해서 결정된다, Q값은 높아지면서 일정한 수준이 되면 정상 상태를 이루며 간격이 커질수록 Q가 커지고 손실이 커지는 것을 그림 11에서 알 수 있다.

공진 주파수를 결정하기 위하여 이론적 해석 방법과 실험적 방법을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 두 가지 방법으로 검토 비교하였다. 원형 세라믹 내부

표 1. 모드해석에 의한 결과 및 오차
Table 1. Analyzed mode of results & errors

세라믹 두께 (mm)	공진 주파수 (GHz)	$2\pi f_0 \lambda_0$	st (세라믹두께) / a (x축)	모드 해석적 결과에 의한 두께(mm)	오차(%)
0.5	36,543	1.325	0.3	0.525	4
0.46	37,352	1.37	0.27	0.47	2
0.42	38,196	1.4	0.25	0.437	2
0.38	39,207	1.437	1.23	0.4	5
0.34	40,32	1.478	0.21	0.36	5
0.3	41,602	1.525	0.18	0.31	3

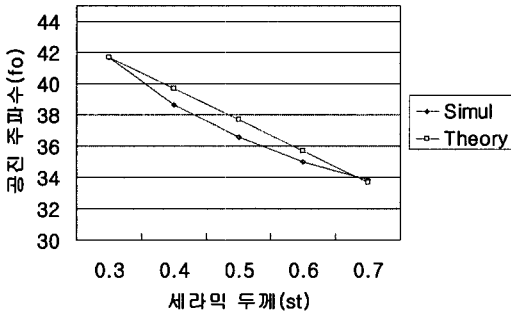


그림 13. 시뮬레이션 결과 값과 식[2]의 비교
Fig. 13. Compare simulated results with Eq.2's results

의 유전율에 따른 모드 해석에 의한 것과 실험적 결과에 의한 것이다

첫 번째는 비방사 마이크로 스트립 선로의 시뮬레이션의 결과로 보여진 원형 세라믹 내부는 TE11 모드로 직경과 두께 그리고 파장의 비에 의해서 LOG함수처럼 그래프가 그림12와 같이 그려진다. 이 그래프를 통하여 X-축의 직경과 두께의 비율이 극단적일 경우 실제 제작에 어려움이 크다는 것을 알 수 있다. 또한,Y-축은 원형 세라믹 디스크 내부의 TE116모드의 해석 범위내로 파장이 직경보다 작아져야 한다는 사실도 알 수 있었다. 이러한 모드 해석적 방법을 통해 얻어낸 공진주파수에 대한 오차는 표1과 같이 대략 4%이내 이다.^[4]

두 번째로 기존의 마이크로 스트립 라인에서의 Kajfez가 소개한 공진주파수를 구하는 공식을 응용하였다.^[5] 이와 유사하게 비방사 마이크로 스트립 선로의 구조에서도 실험적 결과를 통해 얻을 수 있는 공진 주파수는 원형세라믹의 세라믹의 두께(st), 직경(sr) 그리고 유전율(ϵ_r)을 고려하여 식을 만들 수 있다.

비방사 마이크로 스트립 선로에서 1단 세라믹 공진기의 공진주파수에 관하여, 기존의 것을 응용한

공식은 대략 3%이내의 오차 범위를 가지며 식2와 같다. 시뮬레이션결과와 유도한 식에 의한 결과 차이를 그림13에 나타내었다.

$$f_0 \approx \frac{158.82}{\frac{sr}{2} \sqrt{\epsilon_r}} [-sr \times 0.29(st - 0.3) + 2.119]$$

(sr : 세라믹직경, st : 세라믹두께, ϵ_r : 유전율) [식2]

2.1.2. 2단 세라믹 공진기

2단 세라믹 공진기의 구조에서는 세라믹 공진기 간의 결합계수에 의한 공진주파수 대역을 찾는 것이다. 1단 공진기에서의 공진 주파수에 관한 파라메타를 결정 한 후, 세라믹디스크 사이의 간격을 조절함으로써 대역과 결합계수(K) 그림15, 식3를 구할 수 있다. 2단 세라믹 공진기의 구조는 그림14와 같다.

2단 세라믹 공진기에서는 세라믹 디스크 사이의 간격 그림16이 커질수록 결합계수는 작아지게 되며, 대역이 좁아지는 특성을 가진다. 즉, 세라믹 디스크 사이의 간격이 커질수록 S(2,1)의 두 개의 공진 되는 포인트는 그림17과 같이 가까워지게 된다. 또한, 손실은 결합계수가 '0'으로 되었을 때, 가장 저손실이며 결합계수가 '0'으로 되었던 간격보다 더 커지면 손실은 다시 커진다. 이 결과를 이용하여 복수개의 세라믹을 배치함으로써 대역 통과 필터를 만들 수 있다.

$$K \approx 2 \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1}$$

[식3]

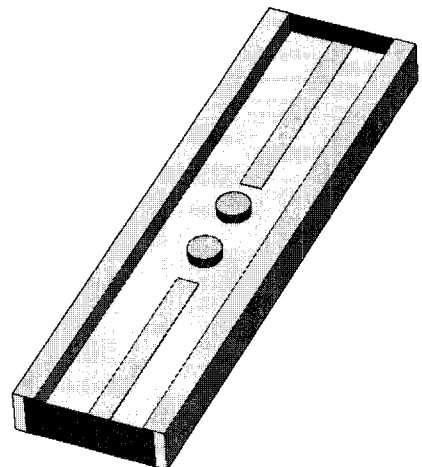


그림 14. 2단 세라믹 공진기
Fig. 14. 2Step ceramic resonator

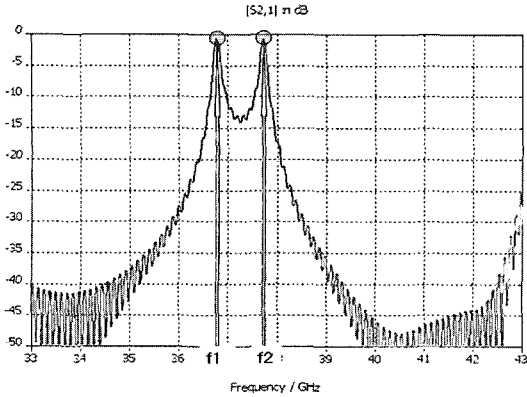


그림 15. 2단 세라믹 공진기의 S(2,1)
Fig. 15. 2Step ceramic resonator of S(2,1)

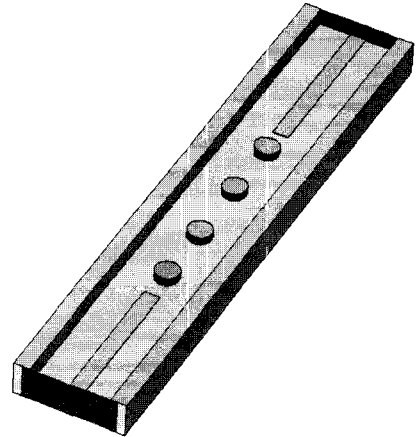


그림 18. 4단 세라믹 공진기
Fig. 18. 4step ceramic filter

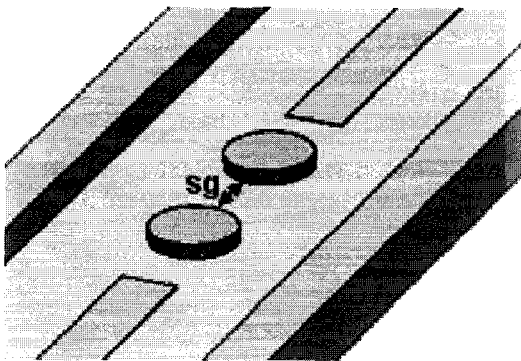


그림 16. 세라믹과 세라믹 사이의 구조적 위치
Fig. 16. Ceramic-ceramic gap of structural position

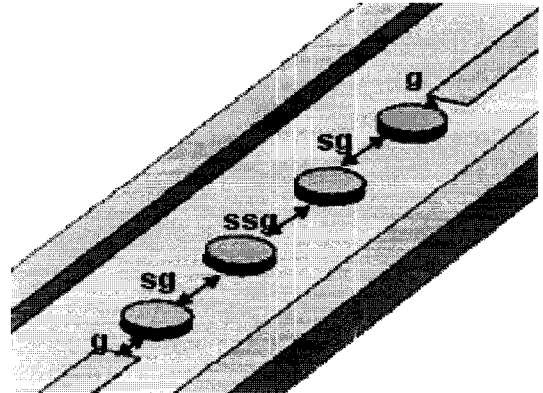


그림 19. 첫 번째와 세 번째 세라믹 사이 간격(sg)과 두 번째 세라믹 사이 간격(ssg)의 구조적 위치
Fig. 19. First and third ceramics gap(sg) and second ceramics gap of structural position

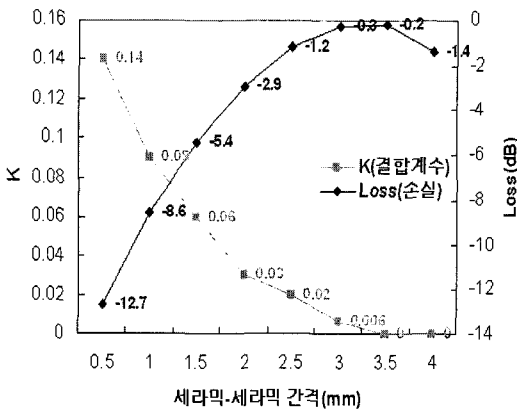


그림 17. 세라믹-세라믹 간격 변화에 따른 결합계수와 손실 변화
Fig. 17. Derivation of K(coupling coefficient) & loss by changing ceramic-ceramic gap

2.1.3. 4단 세라믹 공진기

4단 세라믹 공진기는 최종적으로 대역 통과 필터의 기능을 결정짓는 필터를 구현한다. 그 특성은 1단

세라믹 공진기와 2단 세라믹 공진기의 조합으로 이루어진다. 마이크로스트립 선로 사이에 4개의 세라믹 디스크를 배치한 구조로 그림18과 같다.

4단 세라믹 공진기를 구현하기 위해서는 세라믹 디스크의 수의 증가로 인한 Cut-off특성, 1단 세라믹 공진기에서의 세라믹공진기와 마이크로스트립 선로 사이의 간격으로 인한 Q값과 손실, 세라믹 디스크의 두께와 직경과 관련된 공진주파수 특성, 2단 세라믹 공진기에서 구해진 대역폭과 결합계수를 trade off하여 이루어진다.

4단 세라믹 공진기에서 원하는 대역을 얻기 위해서는 2단 세라믹 공진기에서의 대역폭과 결합계수 (K)가 큰 요인으로 작용 한다. 실험적 결과를 바탕으로 일반화 시킨 식을 먼저 보이면, 식4-1, 식4-2와 같다.

$$\text{if } sg = ssg$$

$$\text{Band Width} = sgB.W \times \sqrt{2} \quad [\text{식4-1}]$$

$$\text{if } sg \neq ssg$$

$$\text{Band Width} = ssgB.W + \frac{sgB.W}{2} \times e \quad [\text{식4-2}]$$

위의 식에서 e 는 자연 지수이며, sg 는 4단 공진기에서의 세라믹 디스크 간격인 첫 번째와 세 번째 간격을 말하며, ssg 는 두 번째인 가운데 간격을 말한다. 그리고 $sgB.W$ 는 2단 세라믹 공진기에서의 대역폭을 말하며, $ssgB.W$ 역시 2단 세라믹 공진기에서의 대역폭이다. 이렇듯 4단 세라믹 공진기에서는 경우에 따라 대역폭을 맞추기 위하여, sg 와 ssg , 를 다르게 두어야 한다. sg 와 ssg 가 같을 때의 시뮬레이션과 공식에 의한 오차는 표2와 같다.

표 2. 4단 세라믹 공진기의 sg 와 ssg 가 같을 때 시뮬레이션 결과와 [식4-1]결과 비교
Table 2. Equal between sg and ssg , comparing simulation' results with equation's results

4단 필터의 $sg=ssg$ 간격이 모두 같을 때 (mm)	2단에서의 대역폭 (GHz)	4단 필터 시뮬레이션결과 (GHz)	4단 필터 이론결과 (GHz)	오차 (%)
0.7	1.14	2.37	2.4	1
0.8	0.909	1.96	1.93	1
0.9	0.762	1.64	1.61	2
1.0	0.639	1.39	1.36	2
1.1	0.56	1.177	1.18	2
1.2	0.447	0.98	0.95	3

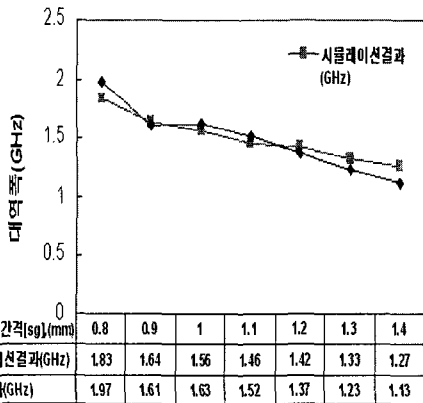


그림 20. $ssg=0.9$, $sg=0.8-1.4$ 까지 변화 시켰을 때 시뮬레이션 결과와 식4-2결과 비교
Fig. 20. Not equal between sg and ssg , comparing simulation's results with equation's results

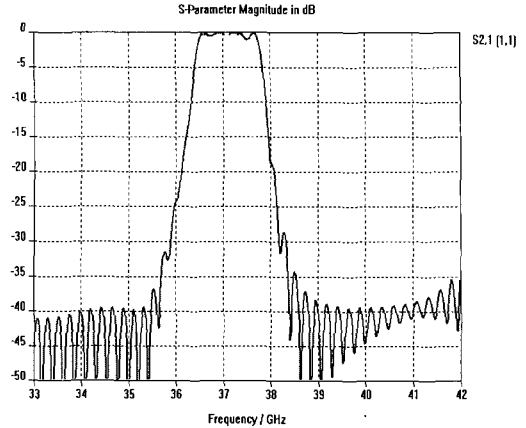


그림 21. 시뮬레이션 S(2,1) 결과
Fig. 21. Result of simulated result's S(2,1)

다음은 sg 와 ssg 의 간격이 다를 때, 시뮬레이션과 공식에 의한 오차는 다음과 같으며, 그에 관한 시뮬레이션 결과로 ssg 를 0.9mm로 고정시키고 sg 를 0.8-1.4까지 변화 시켰을 때의 결과가 그림20에 나타나 있다.

위 그래프의 특성은 sg 와 ssg 가 다를 때 각각의 결합계수를 비교 하면, 그 차이가 클수록 오차가 커지는 것을 알 수가 있다. 두 파라미터의 결합계수의 차이가 크지 않을 때의 오차는 대략 3%이하 이고, 결합계수의 차이가 크면 오차가 커진다.

위의 공식 식4-1과 식4-2를 이용하여 대역 통과 필터를 구현할 수 있다. 필터 제작을 위해 최종적인 시뮬레이션 구조의 각 파라미터는 지그의 높이를 2mm로 하였고, 선로 폭은 1mm, 세라믹 두께는 0.467mm, 세라믹 직경은 3.5mm 선로와 세라믹의 간격은 0.2mm, 세라믹과 세라믹 간격은 0.95mm, 가운데 세라믹과 세라믹 간격은 1.0mm으로 하였다.

실제 상용화된 필터 대역인 36.58GHz - 37.650 GHz에 대한 시뮬레이션 결과는 36.61GHz - 37.678 GHz이며, -1dB이내의 손실과 리플 특성과 대역 좌우로 -30dB 밑으로 1GHz 이내의 아주 우수한 특성을 보이며, 그림21과 같다.

2.2 실험 제작 및 결과

2.2.1 제작

시뮬레이션을 토대로 이루어진 결과로 직접 제작하여 실험하였다. 제작된 필터의 구조는 그림22와 같으며 가운데 네 개의 흰색 원이 세라믹 디스크 이다.

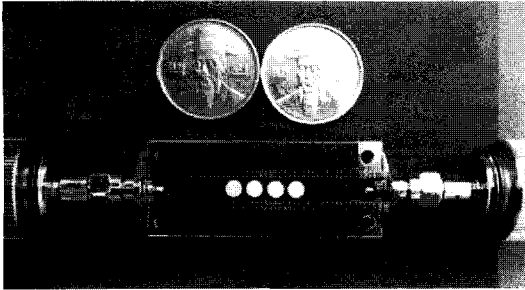


그림 22. 제작된 필터 내부 사진
Fig. 22. Produced filter in inside

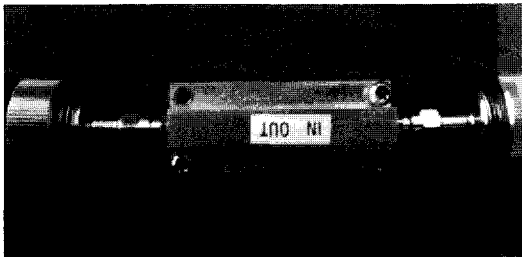


그림 23. 외부전자계 차단을 위해 Housing 한 형태
Fig. 23. Blocking outside's E-field & H-field by housing

프린트 기판위의 세라믹들의 간격은 시뮬레이션의 조건과 같고, 선로위에 세라믹 공진기 4개를 위치시켜, 상호 결합을 얻어 원하는 대역을 구하는 필터를 계획하여 Network Analyzer를 통하여 그림23과 같이 실험 하였다.

2.2.2 실험 결과

제작된 필터의 전송 특성을 Network Analyzer를 통해 측정해 보았다. 대역은 36.6GH-37.65GHz로 원하는 대역 (36.586GHz ~ 37.650GHz)의 약 0.02GHz의 차이로 시뮬레이션과 실험결과의 대역폭의 오차는 약2%이다. 그 결과는 그림24와 같다.

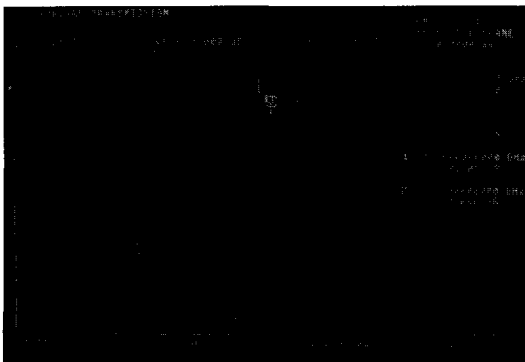


그림 24. Network Analyzer를 이용한 측정 결과
Fig. 24. Result of Measurement using Network Analyzer

Ⅲ.결 론

본 논문은 비방사 마이크로 스트립 선로를 이용한 세라믹 필터의 오차가 적은 1단 세라믹 공진기와 4단 세라믹 공진기의 공식을 일반화 시켰으며, 다음과 같이 제작하였다. 아래위부분이 도체로 덮인 유전체 기판위의 선로사이에 세라믹을 부착 시킨 후, 구조적 공진 특성을 이용 하였다. 제작된 필터의 결과를 시뮬레이션 결과인 손실 -1dB이내, Cut-off특성은 -35dB밀도로 1GHz, 차단 대역주파수 범위는 36.61GHz-37.678GHz, 통과 대역 약 1.06GHz가 되도록 하였지만, 실험 결과는 36.6GH- 37.65GHz의 대역, 약1.05GHz인 통과대역, -30dB 밀도로 1GHz의 Cut-off특성, 손실은 -1dB이내 그리고 약 -3dB의 리플로 시뮬레이션 결과와 약 -2dB의 차이가 있었다. .

이것은 제작 시 가공 오차에 의하여 DUT가 어긋남으로 인한 손실 발생과 지그와 기판을 고정 시킬 때의 기판의 밴딩(bending)효과에 의한 손실 때문이다. 또한, 세라믹을 기판에 고정시킬 때의 접착제 사용으로 일정하지 않은 유전을 때문이라 생각한다. 이러한 인위적인 문제점만 개선한다면, 밀리미터 대역에서의 광대역 무선가입자 망으로의 기술을 위한 저 손실, 광대역의 특성, 그리고 제작이 쉬운 새로운 형태의 필터의 이용이 가능 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 신천우 “[출원]10-2005-0058960 비방사 마이크로 스트립 선로”.
- [2] 신천우 “[출원]10-2005-0077635 그라운드 판을 가진 비방사 마이크로 스트립 선로”.
- [3] 신천우 “[출원]10-2006-0003545 세라믹공진기를 이용한 비방사 마이크로스트립선로용 광대역 필터”.
- [4] 小西良弘 “實用マイクロ波回路設計ガイド”
- [5] 陳年綱 “마이크로파 공학의 기초”.
- [6] David M.pozar “Microwave Engineering”.
- [7] GEORGE L. MATTHAEI, LEO YOUNG, E.M.T.JONES, “Microwave Filters, Impedance-Matching Networks & Coupling Structures”.

신 천 우 (Cheon-woo Shin)

종신회원



1996년 3월 일본오사카대학 기
초공학부 시스템공학과 박사
졸업

1999년 2월 동명정보대학교 부설
센서기술연구소 소장 역임

2005년 8월 엔알디테크(주) CTO
역임

1999년 3월~현재 경성대학교 멀티미디어 통신 공학과
교수

<관심분야> 초고주파통신시스템, RF회로설계, 멀티미
디어 시스템

김 태 현 (Tae-Heon Kim)

학생회원



2007년 멀티미디어통신공학과
졸업

<관심분야> 초고주파통신시스템,
RF 필터 설계