

HFSS를 이용한 고주파 유전체 디바이스 설계

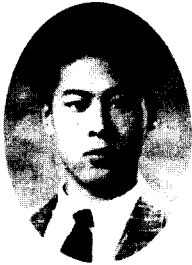


1. 서론

최근 이동 통신의 폭발적인 수요 증가와 더불어 소형화에 대한 요구가 커짐에 따라, 이동 통신의 송수신 시스템에 사용되는 수동 및 능동 소자의 저가화 및 소형화에 대한 필요성이 대두되고 있다. 그러나, 이와 같은 소자는 대부분 설계자의 실제 경험에 의존하여 설계되어 지므로, 설계의 이론적 배경 또는 Computer Aided Design (CAD) 기술에 대한 이해가 부족한 것이 현실이다. 특히 이동 통신 송수신 시스템 설계의 경우, 많은 회로 설계 해석 및 시뮬레이션 tool이 개발되어 이용되고 있어 그 유용성이 입증되고 있는 반면, 3차원 전자기파의 해석이 필요한 고주파용 부품 설계에 대한 해석 및 시뮬레이션이 가능한 소프트웨어 tool은 최근 들어 개발되기 시작하였다. 이러한 고주파 구조 시뮬레이터는 대부분 높은 정확성을 갖는 유한 요소법 (FEM)에 기초하여 제작되며, 사용자가 유한 요소법에 완전한 이해가 없더라도 사용 가능하게 되어 있다.

본 논문에서는 구조 내에서 3차원 전자기파의 해석이 가능한 HP 85180A High-Frequency Structure Simulator (HFSS)를 이용하여 이동 통신 송수신 시스템의 핵심 부품이라고 할 수 있는 일체형 유전체 대역 통과 필

터를 설계하여 고주파 구조 시뮬레이터를 이용한 설계 기술의 타당성을 기술하고자 한다. 일반적으로 고주파 송수신 시스템에 사용되는 필터는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 그 중 하나는 마이크로 스트립, 스트립 라인, 코플라나 필터 등의 2차원 형태의 필터로서, 이 필터들은 소형화가 가능하고 호환성이 뛰어나다는 장점이 있으나, 낮은 무부하 품질 계수를 갖기 때문에 주로 광대역 필터에 주로 사용된다. 1990년대에 들어 능동 소자 [1] 또는 초전도 기술을 이용하여, 낮은 품질 계수를 보상하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 다른 하나는 공동, 도파관, 유전체 공진기 필터 등의 3차원 형태의 필터이다. 이 필터들은 높은 무부하 품질 계수와 온도 안정성을 가지므로, 넓은 주파수 대역에서 협대역 필터로 응용될 수 있다. 그러나, 이와 같은 형태의 필터는 부피가 크고, 주변 회로와의 호환이 어려운 단점이 있다. 최근에 각광받고 있는 일체형 유전체 필터는 하나의 블록 내에 복수개의 홀이 존재하고 입출력 단자 및 결합용 단자가 블록 내에 존재하는 3차원 형태의 필터로서, 이는 기존의 동축형 유전체 필터의 개량된 형태라고 할 수 있으며, 소형화가 가능하고, 우수한 품질 계수를 갖는다 [2].



김종운
연세대학교 전기공학과
박사과정



윤석진
한국과학기술연구원
선임연구원



김현재
한국과학기술연구원
책임연구원

2. HFSS를 이용한 고주파 모델 시뮬레이션

HFSS는 FEM을 기초로 삼각(이차원의 경우) 또는 사면체(삼차원의 경우)의 mesh로 구조를 분할하여 각 mesh의 node에서 Maxwell 방정식의 해를 반복적으로 계산하여 고주파 수동 소자를 전자기적으로 해석하는 소프트웨어이며, 등질(homogeneous and linear)의 매질뿐만 아니라 비등질(anisotropic and lossy)의 매질에서의 전자기적 해석이 가능하다. HFSS는 크게 modeling, solving, post processing 과정으로 나뉘어 진다. Modeling 과정에서는 설계된 3차원 기하학적 구조를 그리고 model을 구성하고 있는 대상의 재료 특성을 정의하며, 입출력 port 및 경계 조건 등의 설정을 한다. Solving 과정에서는 구조에 관련된 S-parameter 계산을 위한 조건 및 범위를 결정한다. 이 과정에서 사용자는 구조의 mesh 수와 mode 수, 해석하고자 하는 주파수 대역, 정확도 등을 정의할 수 있다. 끝으로 post processing 과정에서는 solving 과정에서 계산된 S-parameter와 전파 상수, 구조의 임피던스 등을 그래프와 수치상으로 확인할 수 있다. 이와 같이 계산된 수치는 HP 85150B Microwave Design System (MDS) 등의 회로 시뮬레이터에서 읽어 들여 전체적인 시스템 해석에 이용할 수도 있다. 또한 이 과정에서는 해석된 구조 내의 전계, 자계, 에너지 밀도 등의 해를 여러 가지 형태의 그래프 또는 수치로 분석 가능하다.

일반적으로 이전의 고주파 수동 소자의 설계는 고주파에서 소자내의 전자기적 거동을 전반적

으로 이해하여 설계하기 어렵기 때문에 소자를 설계한 후, 설계된 구조를 제작하고, 그 특성을 측정하는 과정을 반복하여 이루어졌으며, 이를 "cut and try" 과정이라고 부른다. HFSS를 이용할 경우, 컴퓨터에서 모델링하고 분석함으로써 이 "cut and try" 과정을 대치하게 되어 있어, 시간과 비용의 절감 효과를 가져오게 된다. HFSS는 일반적으로 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째, 재료와 포트 수의 한계가 없어 제한 없이 기하학적 구조를 다룰 수 있으며, 둘째, 사용자가 정의

한 정확도에 따라 S-parameter를 계산하며, 손실을 갖는 재료의 해석이 가능하고, 다양한 형태로 설계된 구조 내에서 해석된 전자기과의 거동을 확인할 수 있다.

3. HFSS를 이용한 900 MHz대 대역 통과 필터의 설계

본 논문에서는 HFSS를 이용하여 구조 설계 과정 중 가장 큰 설계 변수가 되는 필터의 길이, 입출력 용량성 결합용 전극의 크기 및 공진홀간의 용량성 결합용

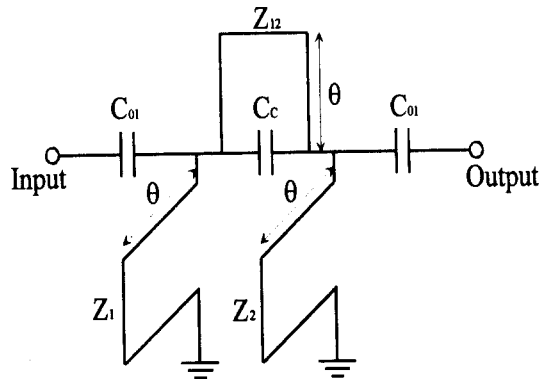


그림 1. CT-1용 2-pole 일체형 유전체 대역 통과 필터의 등가 회로

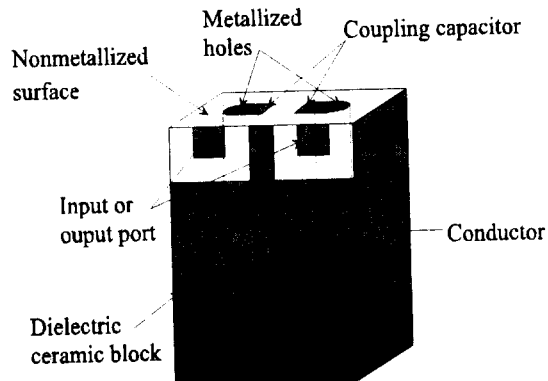


그림 2. 설계된 CT-1용 2-pole 일체형 유전체 대역 통과 필터의 구조

전극의 간격 등을 설계된 등가 회로의 시뮬레이션 결과와 비교하여 각 구조의 크기를 변화에 따라 반복 해석하여 필터의 설계를 완성하였다.

설계하고자 하는 중심주파수가 914.5 MHz인 CT-1용 2-pole 체비세프형 일체형 유전체 대역 통과 필터는 두개의 $\lambda/4$ TEM 모드 동축형 유전체 공진기를 횡배열하여 일체화시킨 구조로서 [3], 그림 1과 같이 설계된 필터의 등가회로[4]를 기초로 그림 2와 같이 필터의 구조를 설계하였는데, $\lambda/4$ TEM 모드 공진이 발생하도록 전극으로 도포된 공진홀이 블록내에 존재하며, 개방단에 해당하는 한 측면을 제외한 모든 블록의 측면은 전극으로 둘러싸여 있다. 또한 표면 실장이 가능하도록 필터의 한 측면에 도체 일부분이 제거된 형태로 두개의 포트단을 구성하여 내부 통과와 용량성 결합을 이루도록 하였다. 이 두 포트단은 형태의 대칭성을 갖게 하기 위해 같은 크기로 설계되어 있고 외부 단자와의 결합에 알맞은 캐패시턴스 값을 갖도록 그 크기를 결정하였다. 표면실장형의 구현을 위한 한 쪽 측면에 입출력 포트단이 구성되어 있다. 개방단에 해당하는 한 측면에는 공진홀간의 알맞은 결합을 구현하기 위한 결합용 캐패시터로서 한 쌍의 전극 패드를 구성하였다.

본 논문에서 설계하고자 하는 일체형 유전체 대역 통과 필터의 경우, 입출력단과 공진홀간의 결합 구조, 공진홀간의 결합을 위한 결합용 전극 패드의 간격 등은 구현하고자 하는 각 결합용 소자들의 상호 간섭 또는 이온값과의 오차 등에 의해 정량적으로 그 구조를 결정하기 어렵다. 따라서 HFSS를 이용하여 구조

시뮬레이션을 반복 실행함으로써 최적의 필터 구조를 설계한 후 직접 제작함으로써 HFSS의 신뢰성을 검토해 보고자 한다.

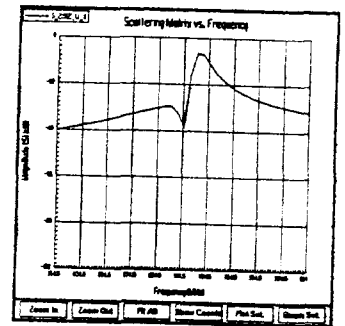
CT-1용 2-pole 일체형 유전체 대역 통과 필터의 구조 설계는 당 연구진에서 개발한 유전율 = 86, $Q \cdot f_0 = 8600$ 의 유전체를 이용하여 설계하고자, HFSS 사용시 유전체의 특성은 이와 같이 설정하였다.

또한 필터의 전극은 모두 완전 도체로 가정하여 시뮬레이션 하였다. 필터의 길이는 회로 설계 결과에 따라 $l = 8.77\text{mm}$ 로 하였고, 공진홀의 크기, 위치 및 블록의 크기는 우수한 무부하 Q값을 갖도록 표 1과 같이 결정하였다.

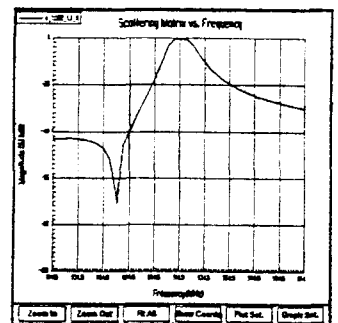
표 1. 설계된 일체형 유전체 필터의 사양

재료의 비유전율 (ϵ_r)	86
재료의 유전손실	0.00012
필터의 크기 ($1 \times w \times h$)	$6\text{mm} \times 3\text{mm} \times 8.77\text{mm}$
hole의 직경	1mm
port단의 크기	$1\text{mm} \times 1\text{mm}$

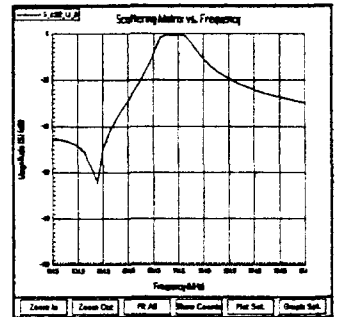
알맞은 공진홀 결합용 캐패시턴스의 구조를 결정하기 위해 전극의 간격의 변화에 따른 주파수 전달 특성을 해석해 본 결과 그림 3과 같은 구조 시뮬레이션 결과를 보였다. 본 대역 통과 필터의 구조상 공진홀 결합용 캐패시턴스의 값은 통과 대역내의 주파수 전달 특성을 결정하는 핵심 요소이다. 그림 3 (a)는 공진홀 결합용 전극이 없을 때의 HFSS 시뮬레이션에 의한 주파수 전달 특성의 결과이고 (b), (c), (d)는



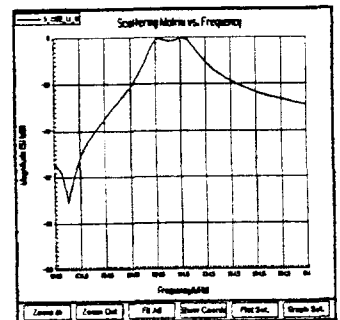
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. 공진홀 결합용 전극의 간격에 따른 HFSS 시뮬레이션 결과

전극의 간격이 1, 0.8, 0.6mm일 때의 주파수 전달 특성이다. 이 때 모든 전극의 폭은 1mm이었다. 전극 간격이 1mm일 때 CT-1 설계 사양에 가장 부합된 결과를 나타내었고, 그 이하일 때는 over-coupling이 발생하였고, 전극 간격이 1mm 이상일 때는 결합량이 부족한 것으로 시뮬레이션 결과가 나타났다. 또한 전극 간격이 줄어 결합용 커패시턴스 값이 증가함에 따라 아래쪽 저지대역에 존재하는 감쇠극이 저주파대로 옮겨가는 경향을 보였다.

이와 같이 설계된 필터의 기하학적 구조를 실제 제작하여 측정된 필터의 주파수 전달 특성은 그림 4와 같다. 이는 network analyzer HP8720C를 이용하여 측정하였는데, 중심 주파수는 907.1MHz 였고, 삽입 손실은 2.286 dB를 나타내었다. 제작된 필터의 중심 주파수는 HFSS 시뮬레이션과 비교하였을 때 0.8%의 오차를 보였다. 또한 HFSS 시뮬레이션에서와 같이 통과 대역 아래쪽 저지 대역 내에 감쇠극이 존재하는 주파수 전달 특성을 보였다. 중심 주파수의 오차는 사용된 재료의 유전율을 86으로 고려하여 설계하였으나, 필터 제작시 유전체의 소결 조건에 따른 유전율의 편차에 의한 원인과 실제 필터 제작시 설계 치수와 일치하는 완벽한 형상을 구현한다는 것은 불가능하기 때문에 생긴 기하학적 구조의 편차에 의한 것으로 여겨진다. 또한 HFSS 시뮬레이션에 비해 삽입 손실이 크게 나타난 것은 시뮬레이션 상에서 전극에 의한 손실을 고려하지

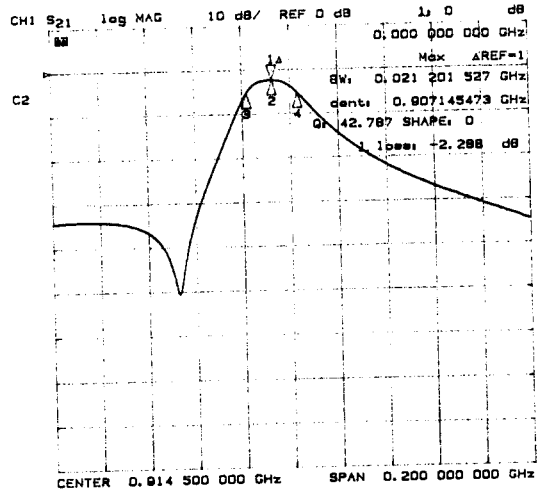


그림 4. 제작된 CT-1용 일체형 유전체 필터의 주파수 전달 특성

못한 결과 때문이나, 전반적으로 HFSS 시뮬레이션과 실제 제작한 필터의 측정 결과는 대부분 일치된 결과를 보였다.

4. 결 론

최근 그 유용성에 의해 주목 받고 있는 고주파 3차원 구조 전자기 해석 소프트웨어의 일종인 HFSS를 이용하여 고주파 송수신 시스템의 핵심 부품인 대역 통과 필터의 구조를 설계함으로써, 예전의 필터 설계시 사용하였던 "cut and try" 과정을 컴퓨터 시뮬레이션에서 흡수하여 시간과 비용을 절감하는 효과를 얻을 수 있다. HFSS를 사용하여 필터를 설계할 경우 구조내 전자기파의 전반적 해석이 가능하므로, 이론적 설계시 고려하기 어려운 상호 간섭 등의 문제를 분석함으로써 보다 정확한 설계가 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] A. Brucher, "Several Methodologies for Active Filter Design at Microwaves", Int. J. of RF and Microwave and Computer-Aided Engineering, V.7 N.3 pp.250-267 1997
- [2] Cheng-Chyi You, "Single-Block Ceramic Microwave Bandpass Filters", Microwave J. pp.24-35, 1994
- [3] E. G. Cristal "Coupled Circular Cylindrical Rods Between Parallel Ground Planes", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, MTT-12, pp. 428-439, 1964
- [4] G. L. Matthaei, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures, McGraw-Hill, 1964

< 이상돈 위원 >