

RF소자의 최적설계를 위한 인터페이스 개발

박현수*, 변진규*, 이항범*
 송실대학교 전기공학과*

Development of User Interface for Optimal Design of RF Device

Hyun-Soo Park*, Jin-Kyu Byun*, Hyang-Beom Lee*
 Department of Electrical Engineering, SoongSil University*

Abstract - 본 논문에서는 T형 분기 도파관 내 Septum의 최적설계를 위하여 상용 전자파해석 소프트웨어의 API(Application Program Interface) 기능을 활용하는 VBA(Visual Basic Application) 기반 설계 인터페이스를 개발 하였다. 최적설계의 설계 변수는 도파관 내에서 Septum의 위치와 크기로 하였고, 목적 함수는 도파관의 반사계수(S_{11})를 가장 작게 하면서 T형 분기 도파관에서 출력되는 에너지를 2:1로 분배하도록 설정하였다. 목적함수는 본 논문에서 정한 함수이며 설계 목표에 따라 인터페이스 내에서 변경이 가능하다. 설계 인터페이스는 마이크로 소프트웨어의 엑셀을 이용하였고 인터페이스 내에서는 사용자가 원하는 T형 분기 도파관의 크기 설계가 가능하며, 입력 port의 입력 모드를 설정하고, 해석 주파수를 선택하여 사용자가 정한 목적 함수에 맞는 최적화된 Septum의 크기와 도파관 내에서의 위치를 찾을 수 있게 하였다. 또한 사용자가 원하는 위치에서의 E Field, H Field, 전류 밀도를 크기 또는 복소수 형태의 수치 데이터로 획득할 수 있도록 설계하였다.

1. 서 론

마이크로파 기술은 첨단산업분야에서 그 응용의 잠재적 적용범위가 매우 넓기 때문에 선진 외국에서는 이미 이 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며, 민간 기업 뿐 아니라 범국가적인 차원에서 조직적인 연구가 이루어지고 있다. 더욱이 첨단 정보시대인 오늘날 팽창하고 있는 지식과 정보활용 등을 볼 때 마이크로파가 갖는 광대역성과 고속성에 그 성능을 기대하지 않을 수 없으며 마이크로파 기술은 정보통신에 중요한 매체로서 그 역할이 훌륭히 수행될 것이다.[1]

마이크로파 에너지를 전송하는 선로에는 여러 가지 종류가 있으나 가장 대표적인 것이 도파관이다. 도파관의 성능은 전자파 에너지를 입력 단에서 출력단까지 최소한 손실을 갖고 전송하는 능력으로 평가될 수 있다. 본 논문에서는 마이크로파 에너지를 분리하거나 합치는 경우 사용되는 T형 분기 도파관내의 Septum의 최적설계를 위한 인터페이스를 3차원 유한요소 프로그램인 HFSS를 통하여 제안한다. 최적설계의 목적 함수는 T형 분기 도파관의 반사계수를 최소로 하면서 입력된 에너지를 2개의 출력 포트에서 2:1로 분배 하도록 설정하고, 이 목적함수를 최소화 시키는 Septum의 위치와 크기를 찾는다.

전자기 수치해석의 지배방정식은 맥스웰 방정식을 사용한다. 맥스웰 방정식은 모든 거시적인 전자기적 현상을 표현할 수 있는 방정식으로 이루어져있다. 맥스웰 방정식에 경계조건을 대입하여 문제에 적용하면 그 문제를 해석할 수 있게 된다. 시변계에서 적용되는 맥스웰 방정식 중 가우스 법칙과 암페어 법칙을 표현 하면 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다.

$$\nabla \cdot D = \rho \tag{1}$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \tag{2}$$

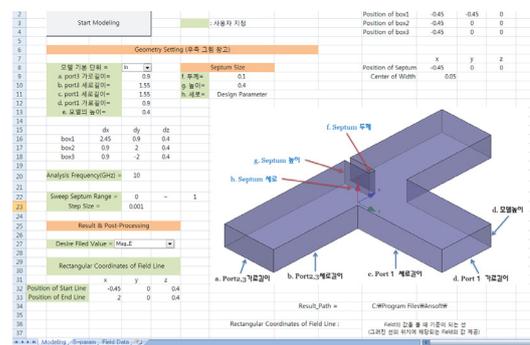
변위전류의 발산은 전하의 축적으로 나타나는데, 자유전하는 10^{-6} sec 이내에 소멸된다. 따라서 10^5 Hz 이하의 주파수에서는 변위전류의 변화율을 무시할 수 있으며 이는 모델 해석의 계산량을 감소시킬 수 있다. 하지만 마이크로파를 이용한 전자기 문제 해석 시 사용되는 주파수는 10^9 Hz 정도가 되어 변위전류 변화율을 무시할 수 없다. 이는 10^5 Hz 이하의 전자기 문제 해석 보다 수식이 복잡하게 되며 계산량의 증가로 이어진다. 이러한 마이크로파를 이용한 전자기 문제의 해결을 위해서 사용자가 Solver를 구현하여 해석 하는 방법은 상당히 어려운 방법이며 상용 소프트웨어를 사용하는 방법이 대안이 될 수 있다.

본 논문에서는 마이크로파의 해석 프로그램으로 범용 소프트웨어인 3차원 유한요소 해석 프로그램 HFSS를 최적설계 프로그램으로 사용하였으며 T형 분기 도파관의 모델링 초기 설정과 결과 데이터의 저장을 위해 엑셀 프로그램을 사용하여 인터페이스를 설계하였다.

2. 본 론

2.1 인터페이스

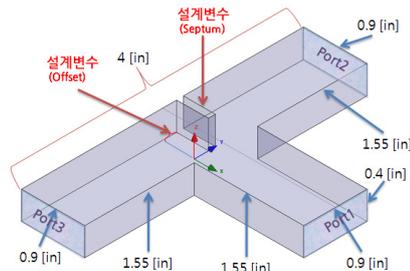
<그림 1>에서는 제안된 최적설계 인터페이스를 나타내었다.



<그림 1> T형 분기 도파관 최적설계 인터페이스

엑셀을 이용한 최적설계 인터페이스에서는 사용자가 원하는 T형 분기 도파관의 크기를 설계하며 해석 주파수를 결정한다. 또한 E Field, H Field 그리고 전류 밀도의 크기 또는 복소수 형태의 수치 데이터를 저장하기 위한 좌표를 설정하여 원하는 데이터의 위치를 설정한다. 기본적으로 S11, S21, S31의 S-parameter 데이터가 'S-param Sheet'에 저장되며, 인터페이스 내의 'Desire Field Value'에서 선택한 Field 값을 수치 데이터 형태로 'Field Data Sheet'에 저장한다. 인터페이스 내 좌측 상단의 'Start Modeling'을 클릭하면 엑셀의 데이터를 바탕으로 HFSS에서 모델링을 시작하고 'Analysis Frequency(GHz)'에 입력된 주파수로 수치 해석을 시작한다. 수치해석은 설계 변수인 septum의 위치를 'Sweep Septum Range'와 'Step Size'에 입력된 값으로 step별로 이동 시키고 또 다른 설계 변수인 Septum 길이를 step값 0.01[in]로 최초 0.001[in]부터 Port2와 Port3의 가로길이까지 변화 시키면서 수치해석을 진행 한다. 해석 결과는 Septum의 step별 위치 데이터와 Septum의 step별 길이 데이터를 도파관의 반사계수인 S_{11} -parameter 데이터와 출력 에너지를 2:1로 분배하기 위한 목적함수($power31 - 2 \times power21$)의 결과 데이터를 Matrix형태로 HFSS 내에 저장한다. 이 데이터들을 이용하여 S_{11} -parameter 데이터와 함수 $power31 - 2 \times power21$ 의 최소가 되는 Septum의 위치와 크기를 HFSS의 Optimization Solver를 이용하여 찾게 된다.

2.2 해석 모델



<그림 2> 해석에 사용된 간략화된 T형 분기 도파관

<그림 1>은 해석에 사용된 T형 분기 도파관의 모델이다. 마이크로

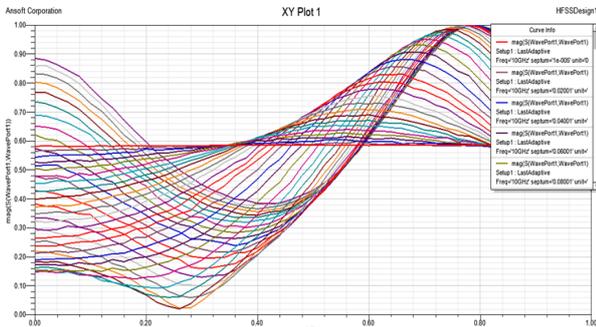
파의 진행은 Port1(- \hat{a}_x)에서 입사하여 Port2(- \hat{a}_y)와 Port3(\hat{a}_y) 방향으로 출력 되게 된다. 입사하는 파의 반사계수를 조절하기 위해서 \hat{a}_y 방향에 Septum을 설치하였다. 해석에 사용된 T형 분기 도파관의 크기는 4[in]×4[in]×0.4[in]이고 Septum의 두께는 0.1[in]로 설계 하였다. 입력은 port1으로 E Field가 진행 방향에 수직이고 도파관의 크기가 H Field의 반주기 길이와 같은 TE10모드로 설정하였다.

2.3 최적화 해석 결과

해석 시 사용된 설계 변수는 위치 설계변수(Offset)과 크기 설계변수(Septum)이다. 위치 설계변수는 0부터 1까지 0.02간격으로 51개의 데이터를 가지며 크기 설계변수는 0.00001부터 0.80001까지 0.02간격으로 41개의 데이터를 갖는다. 이 두 개의 Matrix 데이터를 이용하여 만들 수 있는 조합은 2091가지가 된다.

<그림 3>은 Septum의 위치 설계변수와 크기 설계변수를 Step별로 해석한 그래프이다. 그래프에서 x축은 Septum의 위치 설계변수를 나타내며 y축은 도파관 반사계수의 정규화된 크기 값을 나타낸다. 그래프의 색의 구분은 Septum의 크기 설계변수를 나타낸다.

Step별 수치해석 결과 <표 1>과 같은 결과가 나왔다.

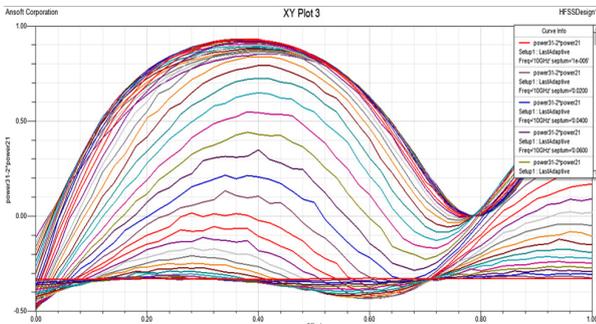


<그림 3> Offset & Septum에 따른 S₁₁의 크기 변화 그래프

<표 1> Offset & Septum의 변화에 따른 S₁₁의 크기 값

Iteration	Offset	septum	Cost
1	0	0.00001	0.58237
2	0	0.02001	0.53326
⋮	⋮	⋮	⋮
2091	1	0.80001	0.61254
2092	0.268044	0.448178	0.012691
2093	0.264729	0.4506	0.010732
2094	0.261414	0.448178	0.001712

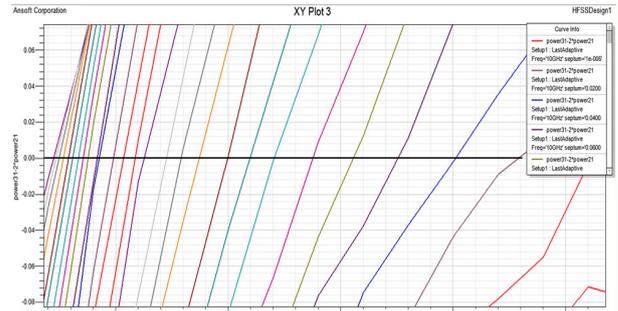
HFSS의 Optimal Solver를 이용하여 도파관의 반사계수가 가장 작은 설계변수는 Septum의 위치가 0.261414[in], Septum의 크기가 0.448178의 경우로 해석 되었다. Step별 수치해석은 경우 중 2091번의 Iteration이 진행되고 수치해석이 종료되지만 HFSS의 Optimal Solver의 경우 <그림 3>의 결과를 사용하기 때문에 Step값 사이에 있는 목적함수에 가장 부합되는 설계변수의 값을 찾을 수 있다.



<그림 4> Offset & Septum에 따른 (Power31-2*power21)의 크기 변화 그래프

<그림 4>는 T형 분기 도파관의 port3에서 출력되는 에너지와 port2에서 출력되는 에너지의 비율이 2:1로 되는 목적함수의 Septum의 크기와 위치별 그래프이다. 최적설계의 목표는 $power_{31} - 2 \times power_{21} = 0$ 이

되는 Septum의 위치와 크기를 찾는 것이며 이를 위해 <그림 4>의 관심 부분을 확대한 그래프를 <그림 5>에 나타냈다. Step별 수치해석 결과는 <표 2>와 같다.



<그림 5> 그림 4의 관심 영역을 확대한 그래프

<표 2> Offset & Septum에 따른 (Power31-2*power21)의 크기 값

Iteration	Offset	septum	Cost
1	0	0.00001	-0.33135
2	0	0.02001	-0.34131
⋮	⋮	⋮	⋮
2091	1	0.80001	0.63828
2092	0.268120	0.44691	0.000924
2093	0.624519	0.62319	0.000517
2094	0.681201	0.68691	0.000567
⋮	⋮	⋮	⋮
2134	0.91862	0.71345	0.000492

<표 2>의 결과 목적함수 $power_{31} - 2 \times power_{21} = 0$ 에 맞는 결과는 여러 경우가 있다. Iteration 2091번 이후의 결과는 설계 시 설정된 오차 범위 0.001이하의 결과로 나타난 데이터이며 이 데이터의 대부분은 입력된 에너지가 port2, 3 중 어떤 port로도 출력되지 못 하였기 때문에 발생 되었다.

<표 2>의 결과 데이터와 <표 1>의 결과 데이터를 통해 T형 분기 도파관의 반사계수를 최소한으로 줄이고 port3에서 출력되는 에너지와 port2에서 출력되는 에너지에 대한 비율이 2:1로 되는 Septum의 크기는 0.4475(오차율 ±0.00063)[in]이며, 위치는 0.2648(오차율 ±0.0034)[in] 이다.

3. 결 론

본 논문에서는 범용 소프트웨어인 3D 유한요소 프로그램 HFSS와 상용 전자파해석 소프트웨어의 API(Application Program Interface) 기능을 활용하는 VBA(Visual Basic Application) 기반 설계 인터페이스를 개발 하였다. Septum의 크기와 도파관 내의 위치를 설계변수로 하고 도파관의 반사파를 최소로 하며 출력 에너지를 2:1의 비율로 분리하는 함수를 목적함수로 설정 하였을 때 Septum의 크기 설계 변수는 0.4475(오차율 ±0.00063)[in]이며, 위치 설계변수는 T형 분기 도파관의 중심에서 0.2648(오차율 ±0.0034)[in]의 위치에 해당하는 지점이 최적설계 인터페이스를 이용하여 설계되었다.

본 논문에서 진행된 최적설계 방법은 HFSS의 Optimal Solver를 이용하여 Step별로 해석하는 방법을 택하였다. 이러한 방법의 경우 설계변수가 많아지면 수치해석 시간이 길어진다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하는 방법으로 민감도를 이용한 최적설계 기법이 이미 많은 논문을 통해 소개되었고 연구되고 있다. 민감도의 해석 방법 중 연속체 민감도 해석에서는 E Field 또는 H Field의 데이터를 필요로 한다. 본 논문에서 설계된 최적설계 인터페이스에서는 사용자가 필요한 Field 데이터를 결과 데이터로 얻을 수 있기 때문에 T형 분기 도파관의 Septum의 최적설계 뿐만 아니라 차후 연속체적 민감도 해석에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 통신시스템연구조합, "Waveguide 및 Filter 제조기술 개발", 과학기술처 1차년도 연차보고서, 1993
- [2] Hong-bae Lee, "Shape Optimization of H-Plane Waveguide Tee Junction Using Edge Finite Element Method", IEEE Transactions on magnetics VOL.31, NO.3, MAY (1995)
- [3] Jiro Hirokawa, Kimio Sakurai, Makoto Ando and Naohisa Goto, "An analysis of a waveguide T junction with an inductive post", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, VOL.39, NO.3, MARCH (1991)