상용 CAD 프로그램을 이용한 도파관 필터의 손실계산

이종경 0, 이석곤, 안병철
충북대학교 대학원 전파공학과
전화 043-261-3194, 팩스 043-271-4647

Simulation of Losses in Waveguide Filter using A Commercial CAD Software

Jong-Kyung Lee, Seok-Gon Lee, Bierng-Chearl Ahn
Dept. of Radio Engineering, Chungbuk National University
Phone 043-261-3194, Fax 043-271-4647
megabomb95@hotmail.com, booksil-suk@hanmail.net, bician@chungbuk.ac.kr

요 약

본 논문에서는 유한요소법에 기초한 상용프로그램을 이용하여 도파관 필터를 시뮬레이션을 할 경우 도체에 의한 손실을 포함시키는 방법을 제시하였다. 우선 균일한 도파관의 도체에 의한 감쇠의 시뮬레이션 결과를 이론치와 비교하였다. 다음으로 도파관 대역통과 필터의 통과대역 감쇠의 측정결과와 시뮬레이션의 결과를 비교하여 시뮬레이션의 정확도를 검증하였다.

Ⅰ. 서 론

도파관 대역통과 필터 설계시 보통 도체의 전도도가 무한히 크다고 가정한다[1]-[2]. 이 결과 실제로 제작된 필터의 경우 통과 주파수 대역에서의 삽입손실이 계산치와 다르게 된다. 본 논문에서는 널리 사용되는 도파관 구조물 해석 소프트웨어인 HFSS®에서 도체에 의한 손실을 고려함으로써 실제 제작될 도파관 필터의 통과대역 삽입손실을 정확하게 예측할 수 있음을 보였다. 균일한 텅 빈 도파관의 감쇠를 계산하여 HFSS®에 의한 결과와 비교하여 정확도를 확인한 후 두개의 대역 통과 필터의 삽입손실결과를 확인하였다.

Ⅱ. 본 론

그림 1은 간단한 구형도파관의 경우 HFSS®에서의 도체손실 계산모델을 보인 것이다. 완전도체의 경우 그림 1(a)처럼 두께가 없는 면을 사용하지만 불완전 도체의 경우 그림 1(b)와 같이 모든면은 두께 t를 가진다.

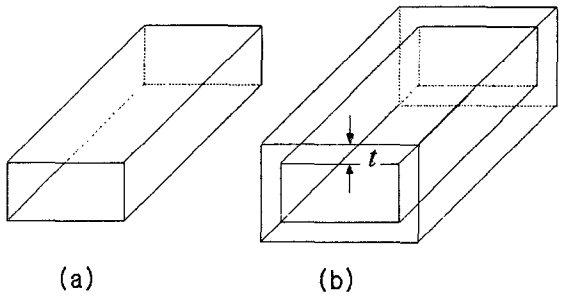

그림 1. HFSS®에서의 (a)완전도체 도파관 모델 및 (b)불완전도체의 모델

두께 t는 주파수 최소값에서의 skin depth보다 훨씬 크게 한다. 즉,

$$t \geq 10\delta_s = \frac{10}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \qquad (1)$$

그림 2는 WR-62(내부단면 15.8×7.9 mm)의 경우 10-15 GHz 대역에서의 투과계수의 계산 결과이다. 도파관 길이로 20 cm를 사용하였고 HFSS®에서 수렴조건은 $\Delta S \leq 0.001$로 하였다. 그림 2로부터 HFSS®에 의한 손실계산 결과는 이론치와 매우 잘 일치함을 알 수 있다. 구형 도파관의 TE_{10} 모드의 감쇠는 다음식을 이용하여 계산하였다[3].

$$\alpha_c = \frac{R_s}{a^3 b \beta k \eta}(2b\pi^2 + a^3 k^2) \ \text{[Np/m]} \qquad (2a)$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}}, \quad k = \omega\sqrt{\mu\varepsilon} \qquad (2b)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}, \quad \beta = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} \qquad (2d)$$

$$\alpha_c[\text{dB/m}] = -20\log_{10} e^{-\alpha_c[\text{Np/m}]} \qquad (3)$$

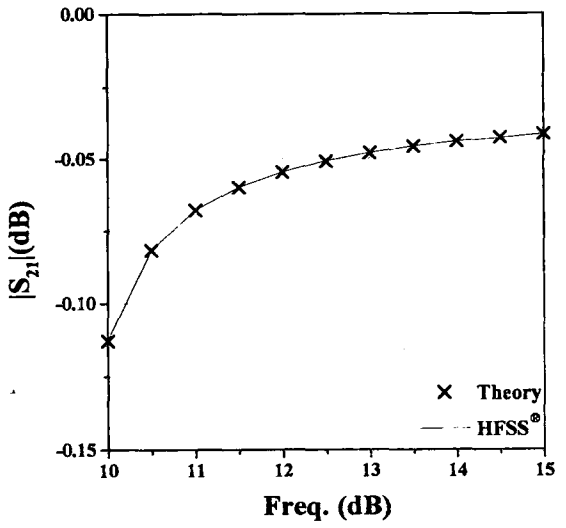

그림 2. WR-62 구형 도파관(길이 20 cm)의 감쇠 계산 결과

HFSS®은 유한요소법에 기초를 둔 범용프로그램이므로 위의 계산결과로부터 도파관 구조물 내부의 전자계가 정확히 계산된다면 구조의 형상에 관계없이 도체손실이 정확하게 계산된다는 것을 알 수 있다.

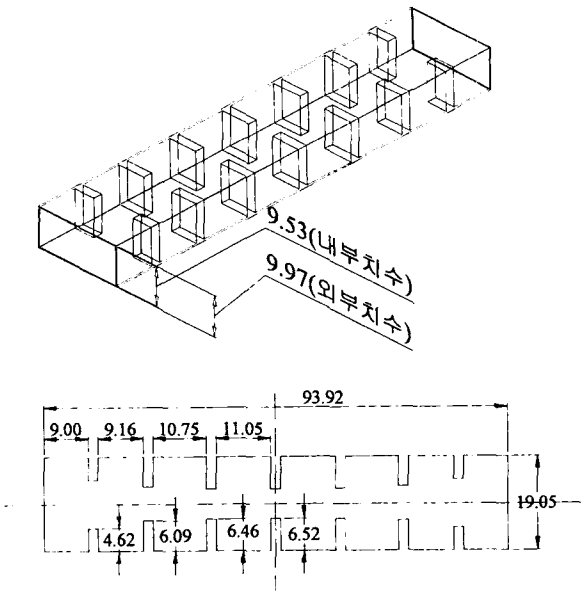

그림 3. 13-14.7 GHz 대역통과 필터.

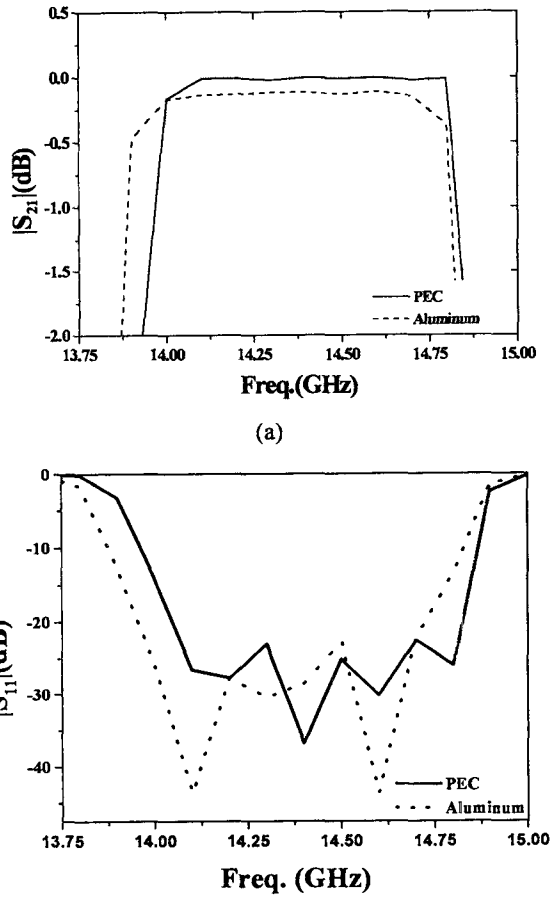

그림 4. 13.8-14.7 GHz 대역 통과 필터의 통과대역
(a) 투과계수 및 (b)반사계수

다음으로 도파관 필터에서의 도체손실을 계산하기 위해 그림 3과 같은 13.8-14.7 GHz 대역의 6단 대역통과 필터를 HFSS®를 이용하여 해석하였다. 그림 4는 그 결과를 보인것으로 완전도체의 경우 통과대역에서 삽입손실이 0.01 dB 로 매우 작으나 알루미늄의 경우 0.20 dB 로 증가됨을 알 수 있다. 그림 4(a)로부터 또한 알루미늄의 경우 완전도체의 경우보다 통과대역이 약간 아래로 이동함을 알 수 있다. 시뮬레이션시 알루미늄의 전도도는 3.82 $\times 10^7$ mho/m, 비유전율은 1.0, ΔS 는 0.002로 하였다.

실험결과와의 일치도를 확인하기 위해 참고문헌 [4]의 93 GHz 대역 필터를 HFSS®를 이용하여 해석하였다. 참고문헌[4]의 필터는 WR-10 (a = 2.54 mm, b = 1.27 mm), 금속삽입물의 두께 t = 50 ㎛, L_1 = 0.602 mm, L_2 = 1.443 mm, L_3 = 1.818 mm, L_4 = 1.439 mm, L_5 = 2.020 mm, L_6 = 1.443 mm, L_7 = 1.820 mm, L_8 = 1.444 mm, L_9 = 0.604 mm 의 규격으로 제작되었다.

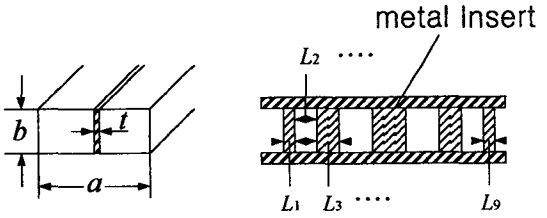

그림 5. 참고문헌 [4]의 설계도면

그림 6은 그 결과를 보인것이다. 시뮬레이션시 도파관 재질은 알루미늄으로 하고, 금속삽입물은 구리(σ =5.813 $\times 10^7$ mho/m, ε_r=1)로 하였다. 금속삽입물의 두께가 매우 얇은 관계로 HFSS®에서 ΔS를 기준으로 수렴을 얻기가 매우 곤란하여 통과대역 중심주파수에서의 삽입손실이 수렴한 값을 사용하였다. 그림 6으로부터 통과대역 중심 주파수에서 완전도체의 경우 삽입손실이 0.1 dB, 구리의 경우 1.4 dB, 참고문헌[4]의 측정값의 경우 1.5 dB (@93.95 GHz)로서 HFSS®에 의한 손실계산은 측정결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 6에서 통과대역 측정치는 계산치보다 약간 아래로 이동함을 알 수 있다.

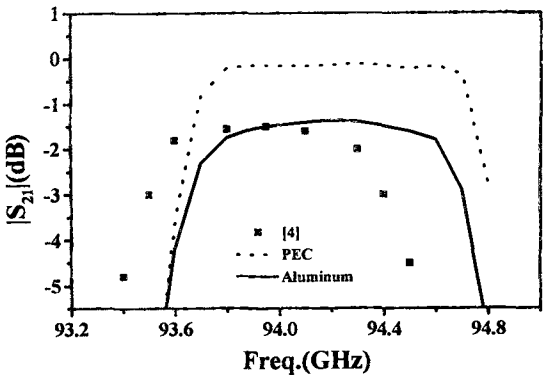

그림 6. 문헌측정값과 도체손실을 고려한 시뮬레이션 결과의 비교

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 널리 사용되는 상용 소프트웨어인 HFSS®에서 도체에 의한 손실을 고려함으로써 실제 제작될 도파관 필터의 통과대역 삽입손실을 정확하게 예측할 수 있음을 보였다.

균일한 텅 빈 도파관의 감쇠를 계산하여 HFSS®에 의한 결과와 비교하여 정확도를 확인하였다.

93 GHz 대역 도파관 필터의 통과대역 삽입손실 시뮬레이션 결과가 측정치와 잘 일치함을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] D. Budimir, *Generalized Filter Design by Computer Optimization*, Boston : Artech House, 1998.

[2] J. Uhen and J. Bornemann, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems : Theory and CAD* , Boston : Artech House, 1993.

[3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New york : John Wiley, 1997.

[4] R. Vahldieck, J. Bornemann, F. Arndt, and D. Grauerholz, "W-band low-insertion-loss E-plane filter", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* vol. MTT-32, No.1, Jan. 1984.