

1D DGS에 대한 전송이론적 모델링 및 응용

신윤미*, 이지면, 이범선
 경희대학교 전자공학과

Modeling and Application of 1D DGS Using Transmission Line Theory

Yoonmi Shin, Jeemyun Lee and Bomson Lee

Department of Radio Engineering, Kyunghee University

E-mail address: rfshin@khu.ac.kr, surface75@hanmail.net, bomson@khu.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 단일 DGS의 전송특성을 ABCD 파라미터로 모델링하여 연속한 N개의 DGS 분석 및 설계를 용이 하게 하였다. 모델링된 식의 검증에 위해 연속된 N개의 주기적 DGS에서 전송특성을 이론, 회로 시뮬레이션, EM 시뮬레이션을 비교하였다. 또한 응용 예로서, 능동안테나의 불요 고조파가 방사하는 것을 저지하기 위한 DGS를 설계 및 시뮬레이션하여 제시된 방법론의 타당성을 검증하였다.

I. 서론

DGS(Defected ground structure)는 특정 주파수 대역의 전파(propagation)를 저지시킬 수 있는 전송선 접지면의 특정구조이다[1],[3]. DGS는 평면회로(마이크로스트립라인이나 CPW (coplaner waveguide))에 적용되면서 낮은 손실을 가지며 구조를 최소화하기 위한 방향으로 연구되어 왔고, 근래에는 그라운드면 상에 일정한 식각을 이용하는 방법의 연구가 진행중이다[4],[5]. 기존의 연구들은 일정한 식각구조를 LC 병렬 등가회로로 변환하여 분석하는 방향으로 수행되어왔고 최근 방사손실에 대해서 방사저항을 고려함으로써 좀더 근접한 등가회로로 분석되었다[1],[6]. 본 논문에서는 단일 식각구조를 ABCD 파라미터로 모델링하여 연속한 N개의 DGS에 대해 이론적 분석을 하고, 이의 결과를 필드와 회로 시뮬레이션 결과와 함께 비교한다.

또, 능동안테나에서는 전력증폭기 출력단에서 발생하는 고조파들이 안테나로 방사하는데 이를 DGS(N=2)를 이용하여 제거하는 방법을 제시한다 [7]. 참고문헌[7]에서는 여러 개의 원형 DGS구조를 적용하였으나 본 논문에서는 기존의 논문에서보다 좀더 적은 수인 2개의 DGS를 급전선에 부분

적용하여 안테나의 고조파를 저지하는 것을 시뮬레이션을 통해 확인한다.

II. 단일 DGS의 전송이론적 분석

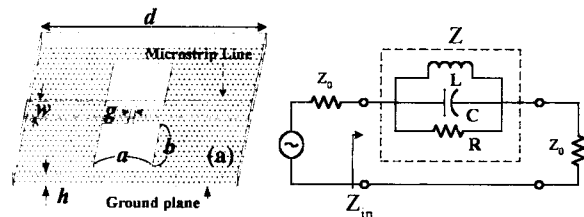


그림 1. 평면회로에 적용된 단일 DGS와 등가회로

그림1은 DGS와 등가회로를 보여주고 있다. DGS는 특성 임피던스가 Z_0 인 마이크로스트립라인의 접지면에 식각되었다. 여기서 DGS를 EM 시뮬레이션을 통해 회로요소로 치환하면 식각된 접지면상의 gap으로 인한 capacitance(C), 식각된 개구면을 관통하는 추가적인 쇄교자속으로 인한 inductance(L) [1], 식각된 구조에서 누설되는 전력을 고려한 방사저항(R)로서 그림1과 같이 직렬로 연결된 병렬 RLC회로 형태로 등가화 될 수 있다.

등가회로의 파라미터는 다음과 같이 구한다. Low pass filter prototype의 직렬 L이 임피던스와 주파수 scaling을 거쳐 Bandstop filter의 병렬 LC로 변환되는데 여기에서 두 회로의 등가임과 EM시물레이션의 S₂₁의 3dB 차단주파수를 이용하여 LC값을 결정하며(식(1)) [1], 방사저항(R)은 결정된 LC값과 EM 시물레이션에서 적절히 샘플링한 S₁₁(ω)(보통 ω = ω₀ 이용)을 이용하여 결정한다(식(2)) [2] [3].

$$C = \frac{\omega_c}{2Z_0(\omega_0^2 - \omega_c^2)}, \quad L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^2 C} \quad (1)$$

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(\omega)|^2} - \left(2Z_0\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)\right)^2 - 1}} \quad (2)$$

여기서 ω₀는 저지대역의 중심 각주파수이고 ω_c는 S₂₁의 3dB 각주파수를 나타낸다.

그림2는 단일 DGS구조를 양쪽의 전송선 길이를 고려하여 등가회로로 나타낸 것으로, d/2(electrical length k₀d/2) 길이의 전송선 부분, 직렬로 연결되는 병렬 RLC, 다른 d/2(electrical length k₀d/2) 길이의 전송선으로 구성된다. 각 section의 전송 파라미터를 결합하여 단일 DGS의 ABCD 파라미터를 구하면 식(3)과 같다[2].

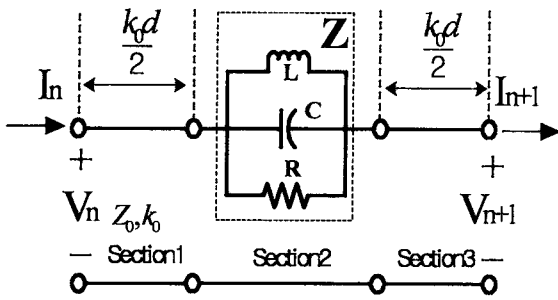


그림 2. 단일 DGS의 등가회로

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} V_n \\ I_n \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos \frac{k_0 d}{2} & jZ_0 \sin \frac{k_0 d}{2} \\ jY_0 \sin \frac{k_0 d}{2} & \cos \frac{k_0 d}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{k_0 d}{2} & jZ_0 \sin \frac{k_0 d}{2} \\ jY_0 \sin \frac{k_0 d}{2} & \cos \frac{k_0 d}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \cos kd + \frac{jZ}{2Z_0} \sin kd & \frac{Z}{2} \cos kd + jZ_0 \sin kd + \frac{Z}{2} \\ -\frac{Z}{2Z_0} \cos kd + \frac{j}{Z_0} \sin kd - \frac{Z}{2Z_0} & \cos kd + \frac{jZ}{2Z_0} \sin kd \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n+1} \\ I_{n+1} \end{bmatrix} \\ \therefore \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos kd + \frac{jZ}{2Z_0} \sin kd & \frac{Z}{2} \cos kd + jZ_0 \sin kd + \frac{Z}{2} \\ -\frac{Z}{2Z_0} \cos kd + \frac{j}{Z_0} \sin kd - \frac{Z}{2Z_0} & \cos kd + \frac{jZ}{2Z_0} \sin kd \end{bmatrix} \quad (3) \end{aligned}$$

단일 DGS의 전송특성은 식(3)의 ABCD 파라미터로 표현되고 이를 이용하여 S 파라미터로 변환하면 주파수에 대한 단일 DGS의 특성을 알 수 있다.

그림3은 식(3)의 검증용 위하여 그림1구조에서 기판의 유전율은 10, 높이가 1.5748mm, w=1.46mm, g=0.2mm, a=b= 4.6mm, d=7.5mm로 가정하고(이후의 모든 시물레이션에서도 이를 이용) 이론, 회로 시물레이션(Serenade Ver. 8.5) 및 필드 시물레이션(HFSS Ver. 7.0)을 통해 S₁₁과 S₂₁을 비교한 것이다.

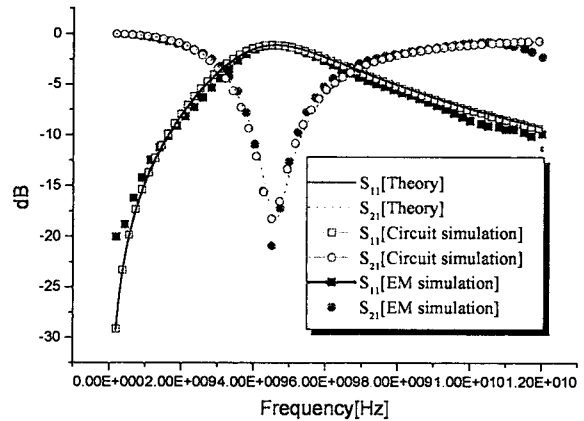


그림 3. 단일 DGS에 대한 S₁₁과 S₂₁

그림에서 보듯이 세 경우의 저지극 주파수가 4.53Ghz로 같고 그래프가 매우 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 이 그림에서 보듯이 상기의 RLC 파라미터 결정방법이 적합하다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 위의 단일 DGS 두 개를 직렬로 연결하고 (N=2) 이론과 EM시물레이션을 이용하여 S₁₁과 S₂₁을 본것으로서 두경우가 대체로 일치함을 알 수 있다.

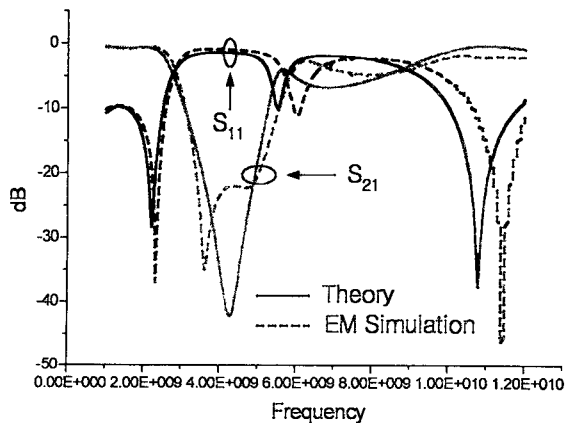
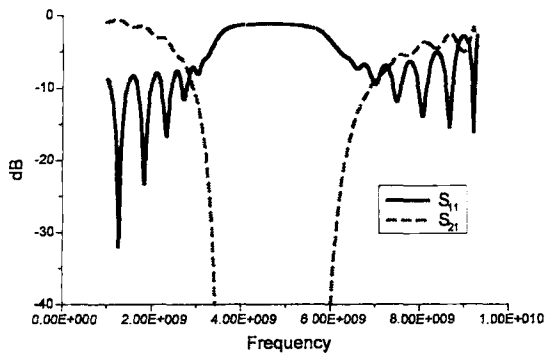
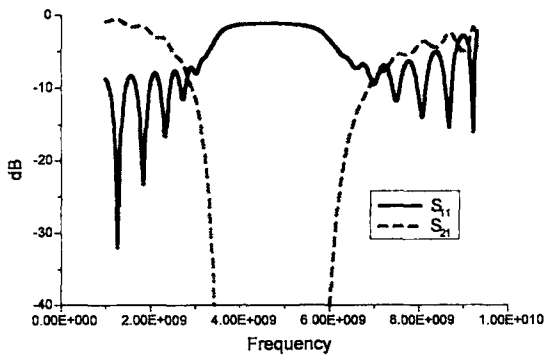


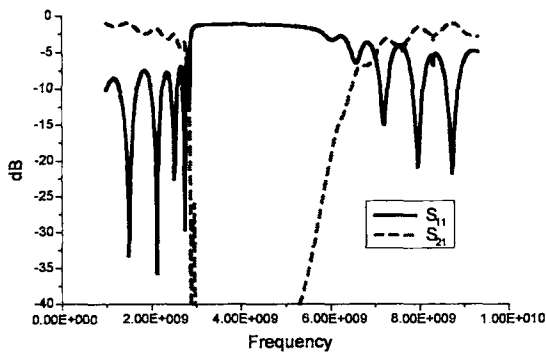
그림 4. N=2일 때의 S₁₁과 S₂₁



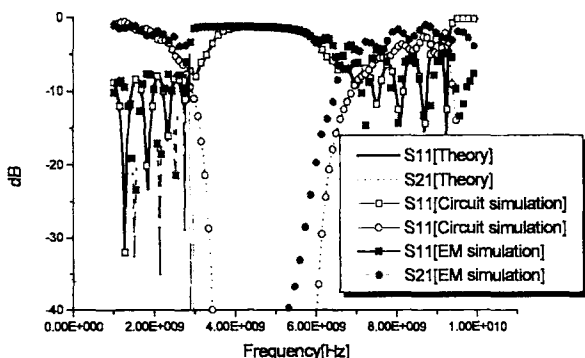
(a) Theory



(b) Circuit Simulation



(c) EM Simulation



(d) (a), (b), (c) folds

그림 5 N=10일 때의 S₁₁과 S₂₁

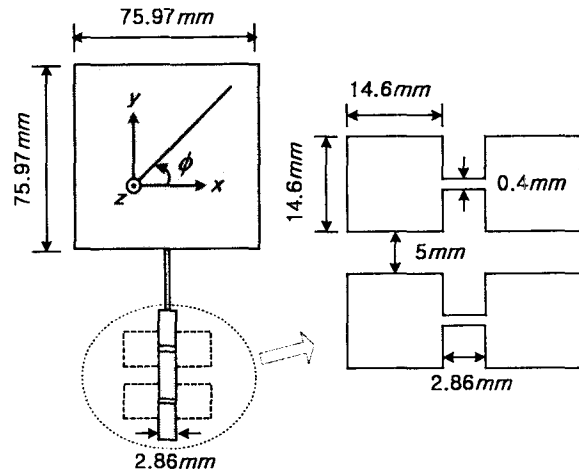
그림 5는 N=10 일 때 이론, EM 및 회로시뮬레

이션을 이용하여 S₁₁과 S₂₁을 본 것으로서 그 결과가 유사함을 알 수 있다. 여기서 이론에 의한 프로그래밍은 Matlab Ver. 6을 이용하였고, 회로 시뮬레이션은 Serenade Ver. 8.5, 그리고 EM 시뮬레이션은 HFSS Ver. 7.0을 이용하였다.

이러한 전송이론적 방법론을 통하면 저지주파수는 C와 L의 곱어, 저지대역폭은 C와 L의 비에, N은 차단특성에, d는 주파수 응답의 압축 및 확장에 관계함을 알 수 있고 이를 이용하면 주어진 저지대역 설계가 용이하다. 다음 장에서는 이러한 설계법을 이용하여 능동안테나의 고조파 방사를 억제할 수 있는 응용 예를 문헌[7]과 비교하여 제시한다.

III. 능동안테나의 고조파 방사업제

능동안테나에서는 전력증폭기 출력단에서 발생하는 고조파들이 안테나로 방사하는데 본 논문에서는 두 개의 DGS를 이용하여 제거하는 방법을 제시한다.



(a) DGS를 이용한 안테나 (b) DGS 상세도

그림 6. DGS를 이용한 안테나 구조

그림 6은 DGS를 이용한 MSA(Microstrip Antenna)를 나타내고있다. 그림 6(a)은 급전선 아래부분에 DGS가 있는 간단한 형태로 그림 6(b)에서는 DGS의 상세도를 나타내고 있다. 그림 6의 안테나는 기본 공진주파수가 900MHz에서 공진하며 크기는 75.94×75.94 [mm²]의 정사각형, 유전율 4.8에 기판두께는 1.6[mm]이다. 이 안테나는 1800MHz, 2700MHz에서도 공진하기 때문에 능동안테나로 사용 시 전력증폭기의 출력단에서 발생하는 제2, 3 고조파가 그대로 불요 방사되는 문제점이

생긴다.

그림 7은 이러한 방법론을 이용하여 제2, 3 고조파를 제거하기 위해 N=2인 DGS를 설계하여 그 부분에 대해서만 S_{11} 과 S_{21} 을 본 것이다. 900MHz 주파수 성분은 통과하고 1800MHz와 2700MHz 주파수 성분은 제거되도록 설계가 잘 되었음을 알 수 있다.

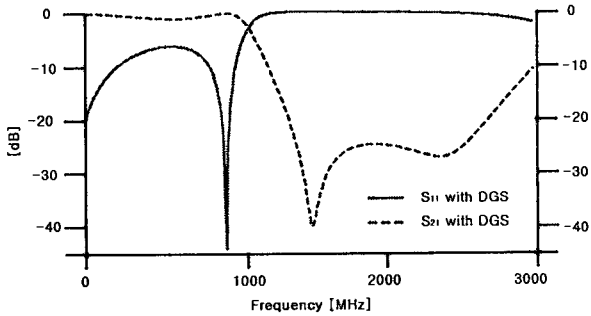


그림 7. 설계된 DGS(N=2)의 S_{11} 과 S_{21}

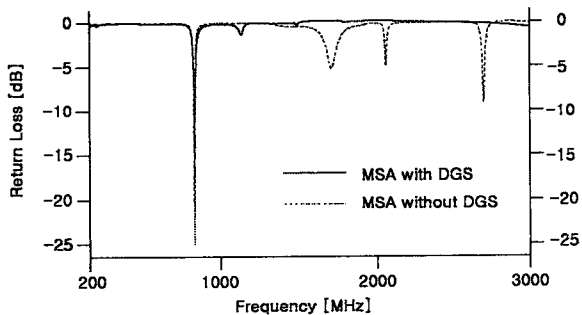
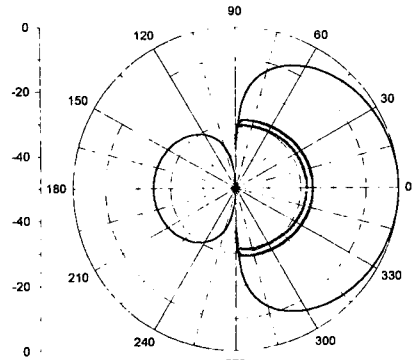


그림 8. DGS MSA와 DGS가 없는 MSA의 반사손실 비교

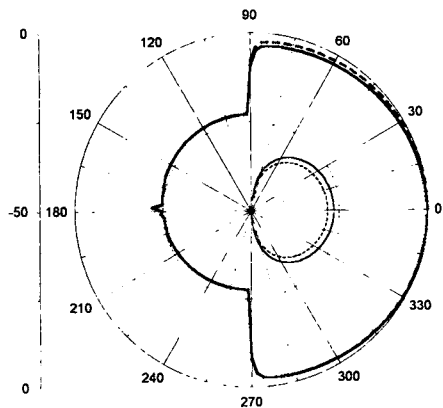
그림 8은 DGS가 없을 때와 있을 때의 안테나 반사손실을 본 것이다. 기본 주파수(900MHz) 성분은 두 경우에 있어서 차이가 없이 잘 방사하나 제2, 3 고조파는 DGS 사용 시 거의 저지됨을 알 수 있다.

그림 9에서는 DGS가 없는 안테나와 있는 안테나의 방사패턴을 비교하였다. 900MHz의 방사패턴은 두 경우에 있어 차이가 거의 없으나 1800MHz와 2700MHz에서의 방사는 DGS가 있을 경우 크게 억제됨을 알 수 있다. 그러나 1800MHz의 H-plane에서의 cross-pole은 조금 증가 하였다. 이는 개구면 DGS에 의한 영향으로 판단된다.

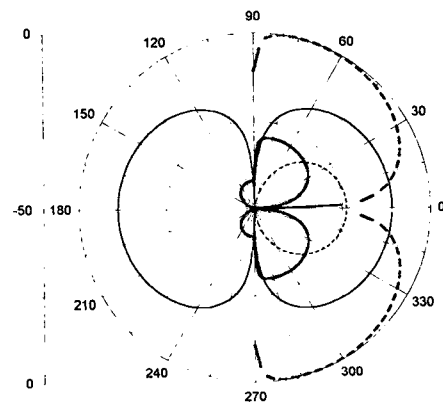
MSA with DGS E-Theta —, E-Phi —
MSA without DGS E-Theta - - -, E-Phi - - -



(a) $\phi = 0^\circ$ (900MHz)



(b) $\phi = 90^\circ$ (900MHz)



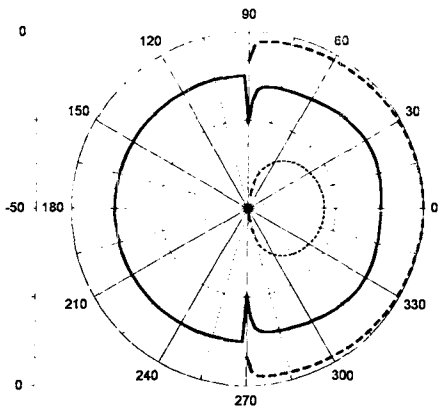
(c) $\phi = 0^\circ$ (1800MHz)

IV. 결론

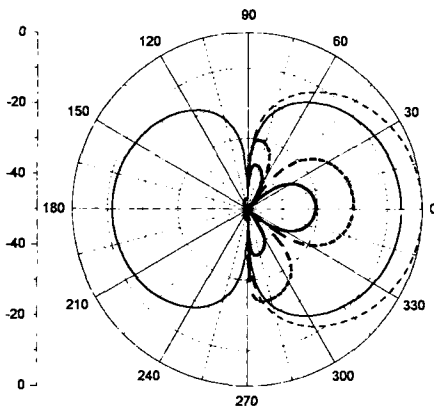
본 논문에서는 제시된 단일 DGS구조를 ABCD 파라미터로 모델링하여 단일구조 뿐 아니라 임의의 N개의 1D DGS에 대한 이론적 해석을 용이하게 하였다. 또 이러한 이론을 회로 시뮬레이션(Serenade), EM 시뮬레이션(HFSS)과 비교한 결과 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 이러한 이론적 방법론을 적용하여 (N=2) 기본 주파수가 900MHz인 능동안테나의 1800MHz, 2700MHz 대역 고조파들을 제거하였다. 이는 본 논문에서 제시한 단일 DGS의 기초적인 이론적 토대 위에 설계를 용이하게 한 것으로 다른 여러 응용에서도 분석(Analysis)이나 종합(Synthesis)에 사용될 수 있을 것으로 본다.

REFERENCE

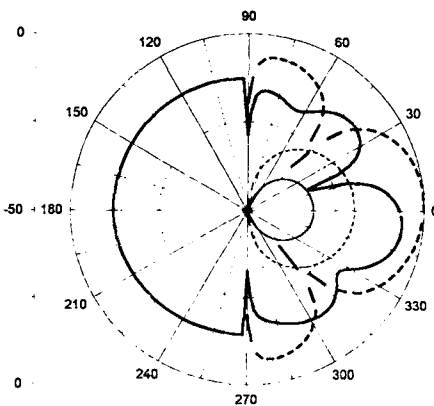
- [1] D. Ahn, Park, J.-S. Park, C.-S. Kim, J. Kim, Y. Qian, T. Itoh, " A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," IEEE MTT, Vol. 49, Jan. 2001
- [2] Robert E. Collin, *Fonudations for Microwave Engineering*, Second Edition, McGraw-Hill, N.Y., 1992
- [3] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Second Edition, JOHN WILEY & SONS, INC., 1998
- [4] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, T. Itoh, "Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, Vol. 8, Feb. 1998
- [5] T. Y. Yun, K. Chang, "Uniplanar One-Dimensional Photonic-Bandgap Structures and Resonators," IEEE MTT, Vol. 46, March, 2001
- [6] 이세연, 이상원, 정용식, 천창을, 한송엽, "Novel Photonic band-Gap Cell에 관한 연구," 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, Vol. 24, No. 1, May. 2001, pp.187-190
- [7] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi, "Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna," IEEE MGWL, Vol.9, No.1, Jan. 1999



(d) $\phi = 90^\circ$ (1800MHz)



(e) $\phi = 0^\circ$ (2700MHz)



(f) $\phi = 90^\circ$ (2700MHz)

그림 9. DGS가 없는 안테나와 DGS있는 안테나의 방사패턴 비교