

결함접지구조와 집중소자를 지닌 초고주파 전송선로의 전기적 특성 연구

임종식^{1*}, 배주석¹, 최관순¹, 안달¹

A Study on the Characteristics of Microwave Transmission Lines Having Defected Ground Structures and Lumped Elements

Jong-Sik Lim^{1*}, Ju-Seok Bae¹, Kwan-Sun Choi¹ and Dal Ahn¹

요약 본 논문은 집중소자가 결합된 결함접지구조를 갖는 초고주파 전송선로의 전기적 특성에 관하여 기술하고 있다. 주기구조의 일종인 결함접지구조를 전송선로에 삽입하면, 등가의 부가적인 인덕턴스와 캐패시턴스에 의하여 표준형 전송선로에는 없던 저역통과, 대역차단 또는 대역통과 특성이 발생하며, 전송선로의 전기적 길이가 늘어나는 지연파 특성이 나타난다. 여기에 다시 저항, 캐패시터, 인덕터와 같은 집중소자가 결합되면 공진주파수의 변화를 포함한 다양한 전송특성의 변화가 발생한다. 본 논문에는 결합되는 집중소자들의 값에 따른 DGS 전송선로의 특성 변화를 예측하고 실험적으로 검증하였다.

Abstract In this paper, the transfer characteristics of high frequency transmission line having defected ground structure (DGS) and lumped elements are described. When a DGS, which is a kind of periodic structure, is inserted into a transmission line, its equivalent inductance and capacitance elements are added to the characteristics of the standard transmission line. This generates resonance, 3dB cut-off frequency, low-pass, band rejection, and band pass characteristics, and causes a slow-wave and enlarged electrical length of the transmission line. In addition, if the DGS is combined by a lumped element such as resistor, capacitor, and inductor, the resonant and cut-off frequencies moves up or down and other changes occur in the transmission characteristics. The variation of the transmission characteristics is described with the qualitative prediction and measured data.

Key Words : 결함접지구조, DGS, defected ground structure, 전송선로, transmission line

1. 머리말

일반적으로 전송선로는 이론적으로 무한대의 대역폭을 가지는 전대역 통과특성을 갖는다. 그러나 실제 구현된 전송선로에서는 저항과 등가적인 인덕턴스 및 캐패시턴스 성분의 존재로 인하여 매우 높은 초고주파 주파수 대역에서는 감쇄가 심하고 고차모드가 발생하므로 사용 가능한 주파수대역에 제한이 있게 된다. 그런데 초고주파용 전송선로에 일부러 접지면의 주기 구조(periodic structure)나 또는 다른 형태의 결함 접지 구조(defected

ground structure, DGS)를 인가하게 되면 비교적 낮은 주파수 영역 내에서 어느 특정 주파수 대역 이상에서 차단 특성이 발생하거나 또는 전기적 길이가 보다 길어지는 지연파 특성(slow wave) 특성이 나타나게 된다[1~3].

최근에 초고주파용 마이크로스트립(microstrip) 또는 CPW(coplanar waveguide) 전송선로에 DGS를 인가하여 새로운 전송선로의 특성을 얻어내고, 이를 무선회로에 적용하는 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다[4~10]. 본 논문에서는 전송선로에 DGS를 삽입하는 것에 더하여 DGS에 집중소자(lumped elements)들을 결합하여 전송선로의 전기적 특성이 어떻게 변화하는지를 고찰하고자 한다. 이를 바탕으로 다양한 무선회로 설계에 응용할 수 있는 가능성에 대하여도 살펴보고자 한다.

본 연구과제는 2005학년도 순천향대학교 산업기술연구소 학술연구구성비 일반연구 과제로 지원 받아 수행되었음.

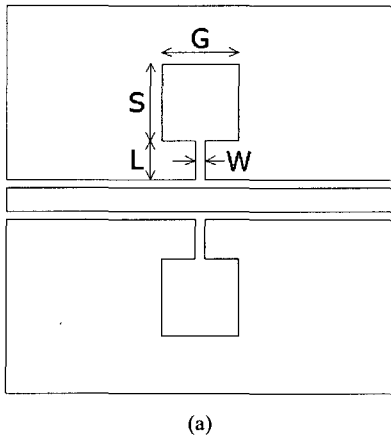
¹순천향대학교 정보기술공학부

*교신저자: 임종식(jslim@sch.ac.kr)

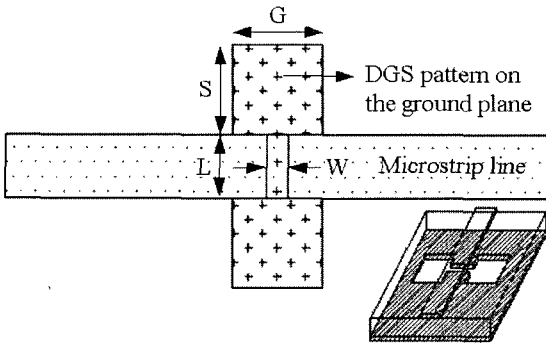
2. DGS 전송선로의 전기적 특성과 등가 모델

2.1 전기적 특성과 등가모델

그림 1은 대표적인 초고주파 전송선로인 CPW와 마이크로스트립 전송선로의 접지면에 아령형의 DGS가 결합된 그림을 보여주고 있다. CPW 선로에서는 신호선과 동평면에 있는 두 접지면에 DGS가 식각되고, 마이크로스트립 선로는 유전체 기판의 아랫면이 접지면이므로 DGS가 바닥면에 식각된다. 그림에 표시된 각 부분의 치수와 유전체 기판의 제원에 따라서 전기적 특성이 결정된다. 본 논문에서는 실제로 제작하여 측정한 데이터를 제시하기 위하여 예로써 유전율이 10.2이고 두께가 25mils인 기판으로 그림 1(a)에 보인 CPW 기판을 제작하여 보았다. 그림 1(b)의 마이크로스트립 전송선로에 대하여도 모든 설명이 동일함을 미리 밝힌다.



(a)



(b)

그림 1. DGS를 지나는 전송선로 (a) CPW 선로와 DGS (b) 마이크로스트립 선로와 DGS

그림 1(a)에서 $G=S=4\text{mm}$, $L=1\text{mm}$, 그리고 $W=0.5\text{mm}$ 의 치수를 취했을 때, 이 전송선로에 대하여 EM시뮬레이션(electromagnetic simulation)으로 예측한 전기적 성능이 그림 2에 S-파라미터로 제시되어 있다. 이 특성을 보면 4GHz 근처에서 공진 특성을 보이므로 DGS의 등가회로는 인덕터(L)-캐패시터(C)-저항(R)의 병렬 공진회로 이루어져 있음을 예측할 수 있다. 그런데 공진주파수에서 $S_{11}=0$ 이고 S_{21} 은 매우 작은 값을 가지므로 R은 무척 큰 값이어서 고려하지 않아도 좋다.

DGS에 의한 공진주파수(ω_0)와 3dB 차단주파수($\omega_{c,3dB}$)가 그림 2(a)에서처럼 얻어지면, 잘 알려진 L-C 병렬 공진회로의 특성을 통하여 DGS의 L-C 등가회로 소자값들을 구할 수 있다. 그림 3(a)는 DGS의 등가회로를 표현한 것이다. 이와 유사한 특성을 갖는 1-단 버터워스(butterworth) 원형(prototype) LPF(low pass filter) 회로를 그림 3(b)에 나타냈다[11]. $\omega_{c,3dB}$ 에서 두 회로의 리액턴스 값이 같아야 하므로 식 (1)~(3)을 이용하면 등가 L-C 값을 결정할 수 있다.

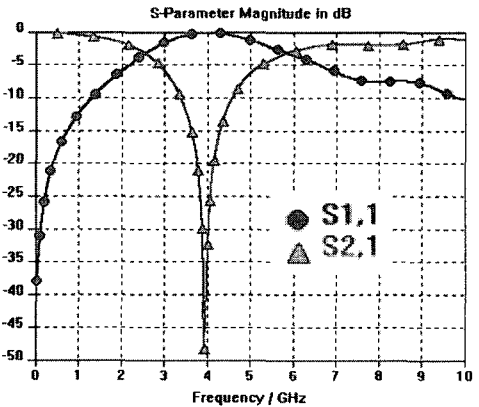


그림 2. 그림 1(a)의 전송선로의 EM 시뮬레이션에 의한 S-파라미터 특성

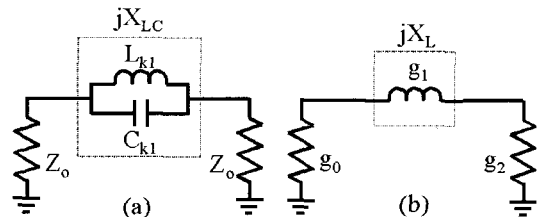


그림 3. (a) 단위 DGS를 지나는 마이크로스트립 선로의 등가회로 (b) 1단 버터워스 원형 LPF

$$X_{LC} = \frac{1}{\omega_0 C_{kl} \left(\frac{\omega_0}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_0} \right)} \quad (1)$$

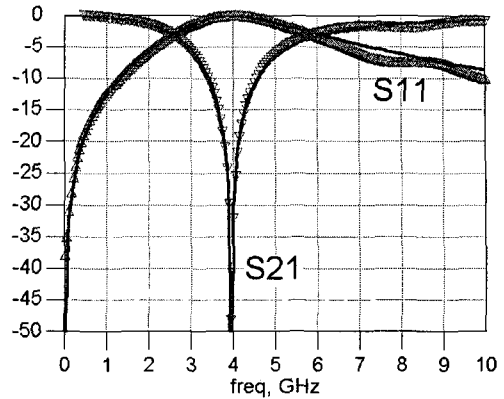
$$X_L = \omega' Z_0 g_1 \quad (2)$$

$$X_{LC} / \omega = \omega_{c,3dB} = X_L / \omega' = 1 \quad (3)$$

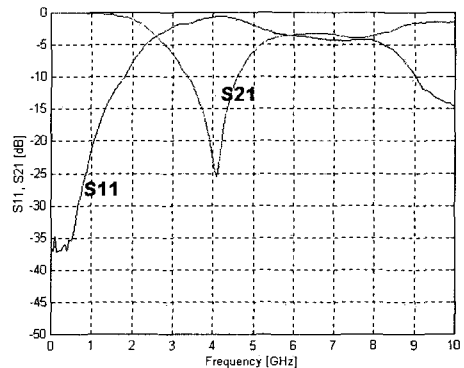
여기에서 $\omega'(=1)$, $g_1(=2)$, $Z_0(=50\Omega)$ 는 각각 정규화된 3dB 차단주파수, 1단 버터워스 원형 LPF의 소자값, 단자 임피던스이고, $\omega_c = \frac{1}{\sqrt{L_{kl}C_{kl}}}$ 이다. 그림 2에 보인 그림 1(a)의 특성에서 공진주파수가 3.95GHz이고 3dB 차단주파수가 2.6GHz이므로, 제시한 방법을 이용하여 구한 DGS의 등가 L-C 즉, L_{kl} - C_{kl} 쌍은 각각 3.4692nH-0.4680pF이다. 공진주파수에서 S21으로 구한 병렬 등가저항은 25K Ω 이상의 큰 값이어서 따로 표시하지 않았다.

그림 4(a)는 그림 2에 이미 보인 EM 시뮬레이션 결과와 그림 3(a)의 L-C 병렬 회로의 회로의 전기적 성능 시뮬레이션 결과가 매우 잘 일치함을 보여주고 있다. 따라서 등가회로 모델링 방법과 등가소자 값이 타당함을 보여준다. 이것은 단위 소자에 대한 정의가 가능하고 등가회로 모델링이 용이하다는 DGS의 장점을 보여주는 증거이기도 하다. 한편 그림 4(b)는 실제로 측정된 S-파라미터를 보여주고 있다. EM 시뮬레이션에 의하여 예측된 특성과 거의 유사한 특성을 보인다.

그림 2와 그림 4의 전기적 특성을 살펴보면 DGS에 의한 전기적 특성에 중요한 변화가 있음을 알 수 있다. DGS가 없는 단순한 표준형 전송선로는 이론적으로 광대역의 전송특성을 가지므로 전대역에서 S21은 0dB에 가까운 값을, S11은 실제로 -20dB 이하의 매우 낮은 값을 갖게 될 것이다. 그러나 DGS에 의하여 등가의 L-C 병렬 공진 회로 소자들이 부가됨으로써 공진특성이 생성되므로 공진주파수 주변에서는 차단 특성이 형성되는 일종의 대역저지 여파기 또는 저역대역 여파기의 특성을 얻을 수 있다. 그림 4의 경우에 약 4GHz를 중심으로 대역 저지 현상이 나타나며, 2GHz 이내에서 저역 통과 특성이 나타나고 있다.



(a)



(b)

그림 4. (a) EM 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 등가 L-C 회로의 S-파라미터 (b)측정된 S-파라미터

2.2 전파 지연 효과

DGS에 의하여 발생하는 또 하나의 중요한 현상으로 전기적 길이의 증가 및 전파지연 지수(slow-wave factor, SWF)의 증가를 들 수 있다. 이것은 동일한 물리적 길이에 대하여 전기적 길이가 증가한 정도를 보여주는 것으로, DGS를 삽입하여 전송선로의 길이를 크게 늘임으로써 역으로 회로의 크기를 대폭 줄이는 응용을 가능하게 해주는 아주 중요한 특성이다. β 와 κ_0 가 각각 유전율이 ϵ_{eff} 인 유전체와 공기의 전파상수일 때, SWF는 (5)와 같이 표현된다. 그런데 유전체와 공기에서의 파장을 각각 λ_g 와 λ_0 라고 하면 식 (6)의 관계가 성립하므로, 최종적으로 SWF는 (7)과 같이 표시된다. 여기에서 L 과 $S21p$ 는 각각 전송선로의 물리적 길이와 전기적 길이의 위상 값이다.

$$\beta = \kappa_0 \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (4)$$

$$SWR = \sqrt{\epsilon_{eff}} = \frac{\beta}{x_0} \quad (5)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (6)$$

$$\sqrt{\epsilon_{eff}} = \frac{\lambda_0 S_{21b, dgs, req}}{360L} \quad (7)$$

그림 5는 그림 1(b)의 전송선로에 대한 SWF와 같은 물리적 길이를 갖는 표준형 전송선로의 SWF를 비교한 그림이다. 그림에서 명확하게 알 수 있듯이 DGS의 삽입에 의하여 SWF가 2배 이상 증가하였다. 이 성질을 활용하면 동일한 전기적 길이가 필요하더라도 DGS를 삽입하면 물리적 길이가 훨씬 줄어들므로 회로의 크기를 줄일 수 있게 된다.

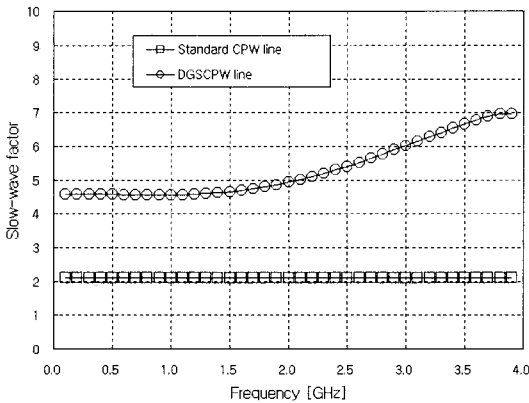


그림 5. 표준형 CPW 전송선로와 DGS를 삽입한 CPW 전송선로의 SWF 비교

3. 집중소자가 결합된 DGS에 의한 전송선로의 전기적 특성 변화

그림 1의 DGS를 지닌 전송선로에 집중소자를 결합한 모습을 그림 6에 나타내었다. DGS에 의한 등가의 인덕턴스는 정사각형 모양의 결합 면적 (defected area)에 기인하고, 등가의 캐패시턴스는 연결 슬롯(connecting slot)에 기인하는데, 연결 슬롯 위에 집중회로 소자를 병렬로 결합함으로써 그 특성에 변화를 주기 위해서 그림 6과 같이 집중소자의 결합 위치를 선택하였다. 집중 소자 1과 2는 같은 종류의 집중소자일 수도 있고 다를 수도 있으며, 또한 같은 종류라 하더라도 서로 값이 다를 수 있다. 그러

나 전송특성의 예측 가능성과 측정된 데이터를 비교하는데 있어서의 편리성을 위하여 본 연구에서는 같은 종류의 같은 값을 지니는 집중소자를 연결하였다.

한편 EM 시뮬레이터가 접지 도체면 위의 임의의 위치에 집중소자를 부착하였을 때의 3차원적인 구조와 집중소자의 구성 요소를 인식하지 못하므로 이에 대한 EM 시뮬레이션을 실행하기는 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 집중소자의 부착에 따른 전송선로 특성의 변화를 정성적으로 예측하고, 측정을 통하여 검증하는 방법을 취하였다.

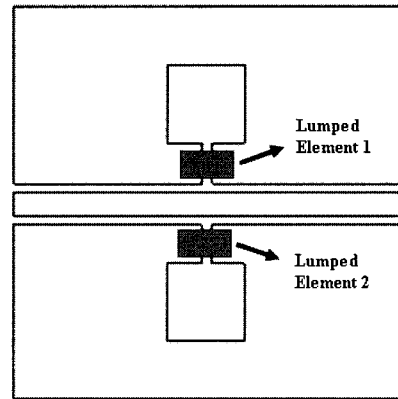


그림 6. 집중소자와 DGS를 갖는 CPW 전송선로

3.1 DGS와 저항의 결합

그림 6에 표시된 바와 같이 집중소자를 연결하기 이전에는 두 슬롯의 사이는 완전히 갈라져 있는 개방(open) 상태이다. 이것을 그림 7(a)를 이용해 설명하기 위하여, 집중소자들이 연결되는 위치를 편의상 노드(node) A,B라 하면, A-B 사이는 개방상태이다. 그러나 만약에 A-B 사이에 낮은 값의 집중소자형 저항이 연결되면, A-B 사이는 거의 단락(short)이 되어 slot에 의한 효과인 등가 캐패시턴스가 보이지 않게 된다. 그러면 등가적으로 그림 7(b)와 같은 CPW 전송선로가 된다. 그러므로 두 개의 사각형 결합(defects)은 CPW 전송선로와 격리된(isolated) 상태이므로 결합에 의한 등가 인덕턴스도 보이지 않게 된다. 따라서 그림 7(c)와 같이 부가된 소자가 없는 표준형 CPW 전송선로와 같게 된다. 저항값이 낮을수록 A-B가 단락에 가까우므로 그림 7(c)처럼 표준형 전송선로에 가까운 특성을 얻게 되고, 저항값이 클수록 A-B 사이가 개방에 가까우므로 그림 4(b)와 가까운 특성을 보이게 된다.

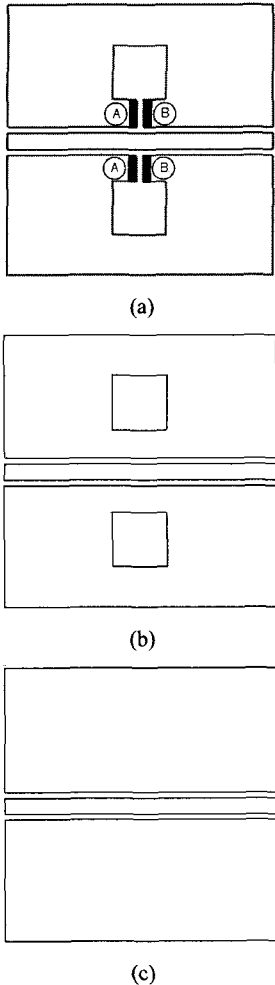


그림 7. (a) DGS 연결 슬롯에 정의한 노드
 (b) 연결 슬롯이 보이지 않을 때의 사각형 결함부
 분이 격리되어 있는 DGS 선로
 (c) 사각형 결함부분이 격리되어 있으므로 이를
 제거한 표준형 CPW 전송선로

그림 8은 그림 6의 집중소자로 저항을 연결했을 때 측정된 CPW 전송선로의 전달특성이다. DGS에 저항이 있을 경우에 상기에서 설명한 바와 같이, 낮은 저항일 경우에는 거의 표준형 전송선로에 가까운 전달특성(그림 8(a)), 저항값이 클 경우에는 그림 4(b)에 가까운 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 만약에 집중소자형 가변 저항을 연결하면, 저항값의 크기에 따라서 선택적으로 DGS의 효과를 보이게 또는 보이지 않게 조절할 수 있다는 중요한 사실을 그림 8의 측정 결과로부터 알 수 있다.

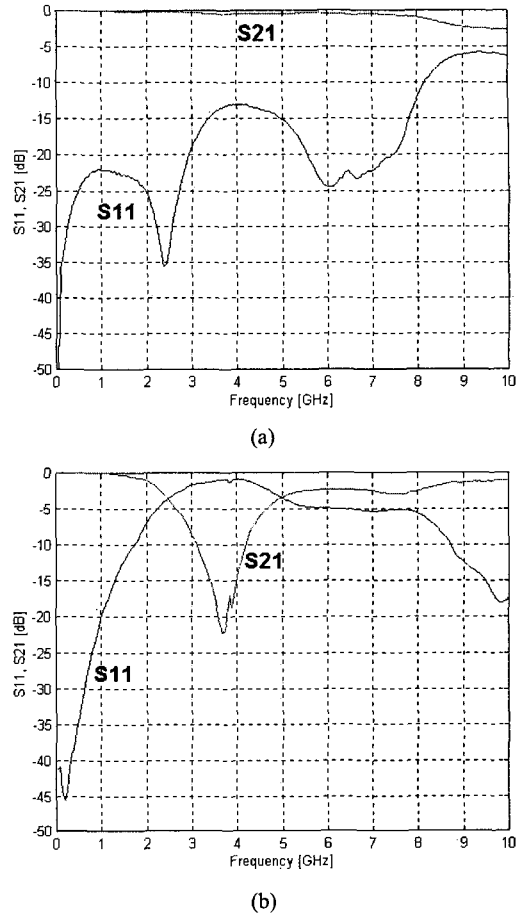
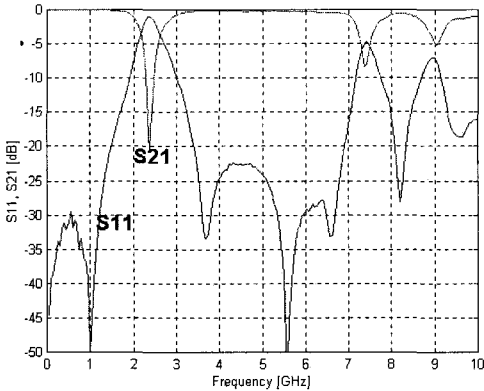


그림 8. 집중소자형 저항을 DGS에 연결했을 때 측정된 전달 특성
 (a) 1Ω (b) 1MΩ

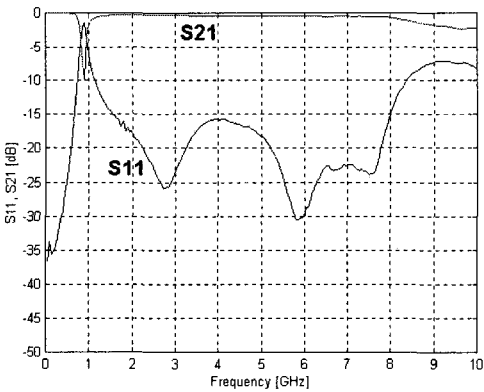
3.2 DGS와 캐패시터의 결합

상기했듯이 DGS에 의한 등가 회로는 L-C의 병렬 회로이다. 따라서 집중소자 위치에 캐패시터를 연결할 경우에, DGS에 의한 병렬 등가 L-C에 다시 새로운 C가 추가되는 꼴이므로 L의 변화는 크지 않은 상태에서 C가 증가하므로 공진기의 품질계수(Quality-factor, Q)가 커진다는 것을 예측할 수 있다. 또한 동시에 DGS에 의한 등가의 C에 다시 집중소자형 캐패시터가 추가되므로 전체적으로 C 값이 증가하므로 L-C에 의한 공진주파수가 매우 낮아질 것임을 예측할 수 있다. 그림 9(a)는 0.5pF의 캐패시터를 연결했을 때 측정된 전달특성으로, 그림 4(b)에 비하여 공진주파수가 낮아졌고, 동시에 Q가 훨씬 증가했음을 알 수 있다. Q의 증가를 단순히 비교하기 위하여 공진주파수와 주변의 3dB 대역 주파수 폭의 비율(FBW, fractional bandwidth)을 계산해 보면, 그림 4(b)에서는

$FBW=(5.7\text{GHz} - 2.6\text{GHz})/4.05\text{GHz}=76.5\%$ 이지만, 그림 9(a)에서는 $FBW=(2.6\text{GHz} - 2.2\text{GHz})/2.35\text{GHz} =17\%$ 밖에 되지 않는다. FBW가 작을수록 Q가 크다는 사실에 비추어 볼 때 DGS와, 여기에 결합된 캐패시터에 의하여 공진기의 Q가 크게 증가했음을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 9. 집중소자형 캐패시터를 DGS에 연결했을 때 측정 한 전달 특성
(a) 0.5pF (b) 4.7pF

한편 집중형 캐패시터 소자의 값을 더 증가시키면 Q가 더욱 좋아지면서 공진주파수도 크게 낮아지는데, 일단 공진주파수를 넘어서는 주파수에서는 캐패시터가 인덕턴스로 작용하므로 마치 외부에 집중형 인덕턴스를 연결한 것처럼 된다. 따라서 그림 9(b)에 보인 바와 같이 공진 주파수 이후에서는 비교적 작은 값의 인덕턴스를 연결한 것과 유사한 특성으로 측정되었다. 한편 그림 9(b)에 보인 공진주파수 이후의 전달특성은 다음에 보일 그림 10(a)의 특성 즉, 적은 값의 집중소자형 인덕턴스를 부착했을 경우의 전달특성과 유사하게 보이는데, 이것으로 봐서도 그림 9(b)의 전달특성이 타당함을 알 수 있다.

3.3 DGS와 인덕터의 결합

이제 DGS와 인덕터를 결합한 경우에 대하여 전송선로의 전달 특성에 대하여 알아보겠다. 본 연구에서는 집중소자형 인덕터의 값을 1.5nH와 5.6nH의 두 가지에 대하여 취하였다. 먼저 1.5nH의 경우에 대하여 살펴보기로 하자.

1.5nH의 인덕터 2개를 연결하면 그림 6처럼 연결하면 2 개의 집중소자형 인덕터와 DGS의 등가 인덕턴스가 병렬로 연결된 것과 같으므로 $1.5\text{nH}||1.5\text{nH}||3.469\text{nH}=0.617\text{nH}$ 가 된다. 집중소자형 인덕터에도 사실상 미지의 기생 캐패시턴스가 존재하지만 아직 그 값을 모르는 상태이므로 0이라 가정하면, 0.617nH는 DGS의 등가 캐패시턴스 0.468pF와 L-C 병렬공진기를 이룬다. 이것에 의한 이론적인 공진주파수(F_0)와 3dB 차단주파수(F_c)는 각각 9.367GHz와 7.819GHz이다. 그러나 그림 10(a)의 측정결과에 의하면 1.5nH의 인덕터 2개를 DGS 선로에 연결했을 때 공진주파수와 3dB 차단주파수는 각각 9.95GHz와 8.25GHz이다. 그리고 이것에 의한 등가 L-C는 각각 0.603nH-0.424pF이다. 표 1은 1.5nH의 인덕터를 2개 연결했을 때 등가회로 소자값들과 주파수 특성을 이론적인 값과 실제 측정값으로 정리한 것이다.

표 1에서 상하로 향하는 화살표는, 이론값의 경우에 등가L-C로부터 이론적인 F_c 와 F_0 를 계산했음(↓)을 의미하며, 또한 측정값의 경우에 그림 10(a)의 측정값으로부터 등가의 L-C를 구했음(↑)을 의미한다. 일반적으로 집중소자형 인덕터의 경우에 L값에 10~15%의 오차를 가지고 있음을 고려한다면, 그림 10(a)에 제시된 측정결과와 표 1을 통한 예측 결과는 잘 일치하고 있다고 할 수 있다.

표 1. 1.5nH 인덕터를 연결했을 때 등가회로 값과 주파수 특성

	이론값	측정값
등가 L [nH]	0.617	0.603
등가 C [pF]	0.468	0.424
	↓	↑
3dB 차단주파수(F_c) [GHz]	7.819	8.25
공진주파수(F_0) [GHz]	9.367	9.95

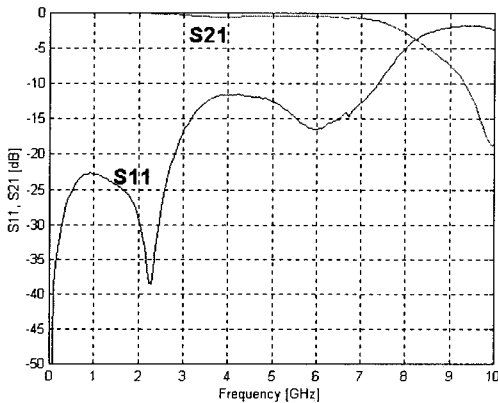
이제 DGS에 결합하는 인덕터의 값을 5.6nH로 변경해 보았다. 이에 대한 측정결과는 그림 10(b)에 제시되어 있다. 위의 1.5nH일 때와 같은 방법으로 정리하여 표 2와 같은 결과를 얻었다. 측정값의 인덕턴스 값이 이론값보다 더 크므로, 결국 실제 인덕턴스 값이 5.6nH보다 크다는 뜻이 된다. 또한 1.5nH보다는 큰 값의 인덕턴스를 지니는 집중소자를 사용하였으므로, 여기에 존재하는 기생 캐패시턴스 성분의 증가도 다소 크게 보인다. 큰 인덕턴스 구

현을 위한 코일의 길이와 감은 횟수의 증가에 따른 기생 캐패시턴스 증가라는 자연스러운 결과라 할 수 있다.

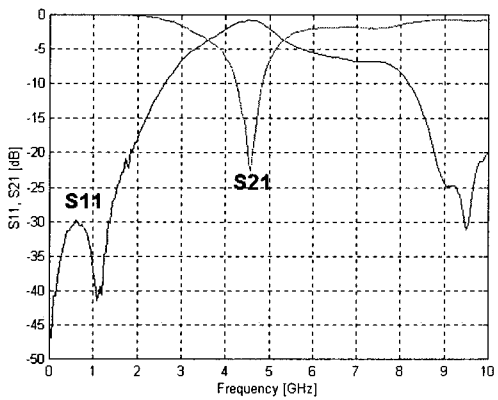
어떤 경우이든 DGS에 집중소자형 인덕터를 연결할 경우에, DGS의 등가회로 소자값과 연동되어 새로운 주파수 특성을 생성함을 그림 10을 통하여 이론적으로 그리고 실험적으로 검증할 수 있다.

표 2. 5.6nH 인덕터를 연결했을 때 등가회로값과 주파수 특성

	이론값	측정값
등가 L [nH]	1.549	1.713
등가 C [pF]	0.468	0.699
	↓	↑
3dB 차단주파수(F_c) [GHz]	4.45	3.6
공진주파수(F_0) [GHz]	5.91	4.6



(a)



(b)

그림 10. 집중소자형 인덕터를 DGS에 연결했을 때 측정 한 전달 특성

(a) 1.5nH (b) 5.6nH

4. 맺음말

본 논문에서는 표준형 마이크로파 전송선로에 DGS를 연결했을 때 주파수 특성의 변화와 모델링에 대하여 간단히 언급하고, 이 때의 특성과 결합하기 위하여 집중소자형 저항, 캐패시터, 인덕터를 연결하여 주파수에 따른 전달특성의 변화를 예측하고 실험적으로 검증하였다.

저항소자를 DGS에 연결하였을 경우 적은 저항값일 경우에는 표준형 전송선로와 유사한 전송 특성을 얻을 수 있으나, 큰 저항값을 연결했을 때는 DGS만 있는 것과 유사한 특성을 얻었다. 이로부터 집중소자의 연결 지점을 명시한 그림 7(a)의 회로망적인 노드 위치 지정도 타당함을 알 수 있다. 그리고 이 노드에 연결한 저항값에 따른 CPW 전송선로의 특성 변화도 예측과 측정의 경향이 같음을 알 수 있다.

집중소자형 캐패시터를 DGS에 연결했을 경우에는, 적은 C값일 때 예상대로 DGS에 의한 공진주파수 특성이 낮은 주파수 쪽으로 이동하는 현상을 보였다. C값을 증가했을 때는 공진주파수가 크게 낮아짐과 동시에 Q 값이 크게 높아졌으며, 공진주파수 바로 위에서부터는 캐패시터가 인덕터로 동작하므로 마치 인덕터를 연결했을 때와 같은 전송특성을 보임을 실험적으로 확인하였다.

한편 집중소자형 인덕터를 DGS에 연결했을 때는 최종적인 등가 L-C 값과 그에 따른 주파수 전달 특성에 있어서 예측값과 측정값이 유사한 경향을 보임을 확인하였다. 특히 DGS에 결합되는 인덕터의 값이 작은 경우에 더욱 정확성이 높았다. 인덕터의 값이 큰 경우에는 집중소자형 인덕터의 L 값에 존재하는 일반적 오차 범위와 인덕터가 갖는 기생 캐패시턴스 성분에 의한 주파수 특성의 오차가 존재하였다. 그러나 어떤 경우이든 DGS에 인덕터를 결합하여 주파수 특성을 변화시킬 수 있다는 사실을 검증하였다.

본 논문을 통하여 DGS와 결합한 집중소자를 갖는 초고주파 전송선로의 전달 특성이 집중소자의 종류와 값에 따라 변할 수 있음을 확인하였다. 본 논문의 연구결과는 초고주파 회로의 성능을 가변하거나 미세 조정할 필요가 있는 응용에서, 저항, 캐패시터, 인덕터를 활용하여 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] V. Radisic, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," *IEEE Microwave Guide Wave Letters*, vol. 8,

no. 2, pp. 69-71, Feb. 1998.

[2] T. Y. Yun and K. Chang, "Uniplanar One-Dimensional Photonic-Bandgap Structures and Resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 3, pp. 549-553, Mar. 2001.

[3] C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and J. B. Lim, "A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits," *IEEE Microwave Guide Wave Letters* vol. 10, no. 4, pp. 131-133, Apr. 2000.

[4] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A Design of the Low-Pass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.

[5] J. S. Lim, S. W. Lee, C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and S. Nam, "A 4:1 Unequal Wilkinson Power Divider," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 3, pp. 124-126, Mar. 2001.

[6] J. S. Lim, H. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and S. Nam, "A Power Amplifier with Efficiency Improved Using Defected Ground Structure," *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 11, no. 4, pp. 170-172, Apr. 2001.

[7] J. S. Lim, J. S. Park, Y. T. Lee, D. Ahn, and S. Nam, "Application of Defected Ground Structure in Reducing the Size of Amplifiers," *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 12, no. 7, pp. 261-263, Jul. 2002.

[8] Yong-Chae Jeong and Jong-Sik Lim, "A Novel Frequency Doubler Using Feedforward Technique and Defected Ground Structure," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 14, no. 12, pp. 557-559, Dec. 2004.

[9] Jong-Sik Lim, Chul-Soo Kim, Dal Ahn, Yong-Chae Jeong, and Sangwook Nam, "Design of Low-Pass Filters Using Defected Ground Structure," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 53, no. 8, pp. 2539-2545, Aug 2005.

[10] Yong-Chae Jeong, Si-Gyun Jeong, Jong-Sik Lim, and Chul-Dong Kim, "Amplifier Design Using A $\lambda/4$ High Impedance Bias Line With A Defected Ground Structure(DGS)," *Microwave Journal*, vol. 47, no. 4, pp. 80-92, Apr. 2004.

[11] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones. *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, Dedham, 1980.

임 종 식(Jong-Sik Lim)

[정회원]



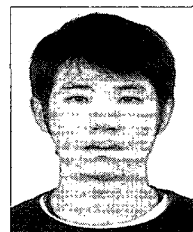
- 1991년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대학교 대학원 전기컴퓨터공학부(공학박사)
- 1993년 2월 ~ 1999년 3월 : 한국전자통신연구원 위성통신기술 연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원
- 2003년 3월 ~ 2003년 7월 : 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후 연구원
- 2003년 7월 ~ 2004년 9월: 특허청 특허심사관
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월: 한국전자통신연구원 디지털방송통신구단 전파기술연구그룹 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재: 순천향대학교 정보기술공학부 재직중

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용 등임.

배 주 석(Bae-Ju Seok)

[준회원]



- 2006년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 순천향 대학교 전기공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

고주파 수동소자 및 시스템 설계

최 관 순(Kwan-Sun Choi)

[정회원]



- 1994년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>

영상처리, 가상교육, 임베디드시스템, 웹기반 하드웨어제어

안 달(Dal Ahn)

[정회원]



- 1984년 2월: 서강대학교 전자공학과(공학사)
- 1986년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1990년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1990년 8월 ~ 1992년 2월: 한국 전자통신연구원 선임연구원
- 1992년 3월 ~ 현재: 순천향대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등임.