

# Offset Microstrip을 이용한 Coplanar Waveguide-to-Microstrip Right-Angled 전이의 특성 개선

## Improved Coplanar Waveguide-to-Microstrip Right-Angled Transition using an Offset Microstrip Section

이 맹 열 · 이 해 영

Maeng-Youl Lee · Hai-Young Lee

### 요 약

본 논문에서는 CPW(Coplanar waveguide)-to-microstrip right-angled 전이 구조에 대해서 해석하였다. 일반적으로 비대칭적인 CPW-to-microstrip 전이 구조는 불연속점에서 발생한 slot 모드로 인해 심각한 공진이 발생한다. 공진 발생을 억제하기 위해서 일반적으로 많이 사용하는 air-bridge는 공진 발생을 근본적으로 제거시키지 못하고, 단지 공진 주파수만 이동시킨다. 따라서, 본 논문에서는 공진 발생을 제거하기 위해 offset microstrip을 사용하는 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 불연속점에서 대칭을 유지함으로써 공진 발생 원인을 근본적으로 제거한 구조로 회로의 직접도가 높은 다층 기판에서 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

### Abstract

We analyzed and measured a CPW(coplanar waveguide)-to-microstrip right-angled transition. Asymmetric CPW-to-microstrip transitions show significant resonances by the slot mode generation at the discontinuities. The air-bridge just shifting the resonance frequency can not fundamentally suppress the occurrence of the slot mode. So, we proposed the structure using offset microstrip section to eliminate the resonance. The proposed structure may be useful for the application of multi-layered structure.

Key words : coplanar waveguide, microstrip, transition, discontinuity, resonance, slot mode, air-bridge

### I. 서 론

CPW는 microstrip에 비해 분산 효과가 작고, via-hole 없이 수동 소자의 연결이 용이하다<sup>[1]</sup>. 또한, 신호선 폭과 slot 폭의 비를 변화하여 특성 임피던스를 조절함으로써 집적도를 높이기 위해 얇은 기판을 사용할 필요가 없다<sup>[2]</sup>. 이러한 장점들로 인해 CPW는 동일평면 HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuits)와 MMIC (Microwave and millimeter-wave

Monolithic Integrated Circuits)등의 많은 응용회로에 이용되고 있다<sup>[3],[4]</sup>. 그러나 회로가 점점 복잡해지고, 집적됨에 따라 나타나는 여러 가지 CPW 전이 형태 중에 CPW bend와 T-junction과 같은 CPW 전이 구조는 불연속점에서의 비대칭성으로 인해 slot 모드가 발생한다<sup>[2]-[5]</sup>. 따라서 비대칭적인 CPW 전이 구조에 대한 해석은 집적 회로 설계에서 중요한 의미를 갖는다.

그림 1(a)에서와 같이 CPW 불연속점이 신호선을

「본 연구는 BK(Brain Korea) 21의 지원을 받아 수행되었습니다.  
 아주대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Ajou University)  
 · 논문 번호 : 20011217-176  
 · 수정완료일자 : 2002년 4월 22일

따라 대칭적인 구조일 때, CPW 양쪽 slot에서 진행하는 전자장은 CPW 모드로 서로의 영향 없이 전파한다. 따라서, CPW-to-microstrip 전이 구조와 같이 비대칭적인 전이 구조에서는 slot 모드가 발생되지 않지만, 그림 1(b)와 같은 CPW bend는 불연속점에서의 비대칭성으로 인해 slot 모드가 발생하게 된다. 왜냐하면, 불연속점에서는 CPW 전송선 양쪽 slot의 길이가 다르기 때문에 발생하는 전자장의 위상차로 인해 CPW 모드로 전달되는 에너지의 일부가 slot 모드로 변하기 때문이다<sup>[6],[7]</sup>.

Shunt stub, bend, T-junction 등의 비대칭적인 CPW 전이 구조에서 발생하는 이러한 slot 모드는 특정 주파수 대역에서 신호의 전송을 방해하고 방사 손실로 나타나기 때문에 이를 억제하기 위해 일반적으로 air-bridge를 많이 사용하고 있다<sup>[2]~[5]</sup>. 그러나 본 논문에서 해석한 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조와 같은 비대칭적인 전이 구조에

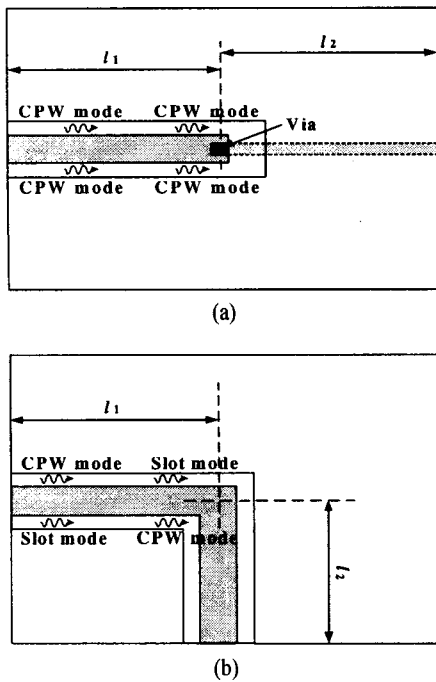


그림 1. CPW 전이 구조. (a) 대칭적인 전이 구조, (b) 비대칭적인 전이 구조  
 Fig. 1. CPW transition structure. (a) Symmetric transition structure, (b) Asymmetric transition structure.

사용되는 air-bridge는 단지 공진 주파수만 이동시킬 뿐, slot 모드를 근본적으로 제거할 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조의 특성을 1 GHz에서 8 GHz 범위에서 해석, 측정함으로써 이러한 전이 형태의 구조적인 문제점을 제시하였다. 또한 slot 모드에 의한 공진 발생을 제거하기 위해 offset microstrip을 사용한 새로운 구조를 제안하였다.

## II. 구조 및 해석 방법

### 2-1 일반적인 CPW-to-Microstrip Right-Angled 전이 구조

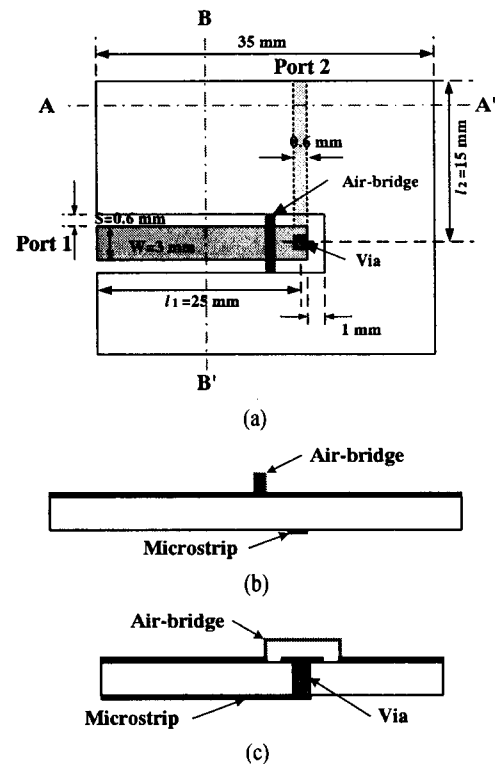


그림 2. 일반적인 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조. (a) 정면도, (b) A-A' 단면도, (c) B-B' 단면도  
 Fig. 2. Conventional CPW-to-microstrip right-angled transition structure. (a) Top view, (b) A-A' cross-sectional view, (c) B-B' cross-sectional view.

그림 2는 일반적인 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조를 나타내고 있다. 점선으로 표시된 microstrip은 기판 아래 면에 위치해 있고, microstrip의 접지 평면은 CPW 접지 평면을 공통으로 사용하는 구조이다. 제작된 구조는 두께 0.635 mm,  $\tan\delta=0.0035$ ,  $\epsilon_r = 10$  인 CER-10 기판을 이용하여 제작하였다. 50  $\Omega$  특성 임피던스를 구현하기 위해서 CPW 신호선 폭은 3 mm, slot 간격은 0.6 mm, microstrip 신호선 폭은 0.6 mm로 설계하였다.

또한, CPW와 microstrip의 신호선의 길이는 각각 25 mm, 15 mm로 설계하였으며, 각각의 전송선로 끝은 측정을 위하여 SMA 커넥터로 연결하였다.

### 2-2 제안된 CPW-to-Microstrip Right-Angled 전이 구조

Offset microstrip을 이용한 제안된 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조는 그림 3에 나타내었다. 일반적인 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조와의 비교를 위해 동일한 기판에 동일한 크기의 신호선 폭으로 설계하였고, 불연속점에서 CPW 전이의 대칭성을 유지하기 위해서 길이가 D mm인 Offset microstrip을 사용하였다.

### 2-3 해석 방법

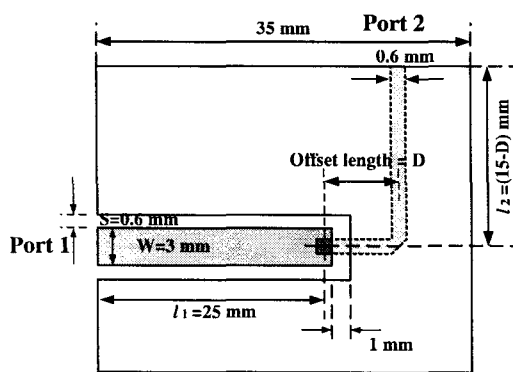


그림 3. 제안된 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조

Fig. 3. Proposed CPW-to-microstrip right-angled transition structure.

CPW 전이 구조는 유한 요소법(Finite Element Method)을 사용하는 상용 시뮬레이션 툴을 사용하여 해석하였다. 해석의 정확성을 높이기 위해 전체 산란계수 크기의 변화율이 2 %이내에 수렴하도록 유한 요소 mesh생성을 반복 수행하였으며, 입력단과 출력단을 제외한 경계면에서의 방사효과를 고려하기 위해 기판 두께의 약 5배 이상 떨어진 지점에 흡수 경계 조건(ABC: Absorbing Boundary Condition)을 적용하여 실제 현상과 근접한 경계조건이 되도록 설정하였다.

### III. 해석 및 측정 결과

그림 4는 일반적인 CPW-to-microstrip 전이 구조에서 air-bridge가 없을 때의 해석 및 측정결과이다. 유한 요소법을 이용한 해석 결과는 측정 결과와 비교할 때 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

이 결과에서 나타나는 3.1 GHz와 6.1 GHz의 공진 현상은 CPW 전송선로의 유효 유전율을 사용하여 계산하였을 때, 각각 CPW 전송선 길이의 반 파장과 한 파장에 해당하는 주파수임을 확인할 수 있다. 이와 같은 공진이 발생하는 원인은 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조의 비대칭성으로 인해 CPW 양쪽 slot에 진행되는 전자장의 위상차가 발생하여 CPW 모드로 전파하는 에너지 일부가 slot

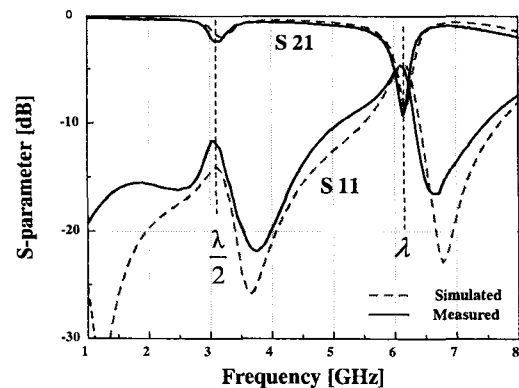


그림 4. 일반적인 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조의 산란계수

Fig. 4. S-parameter of conventional CPW-to-microstrip right-angled transition.

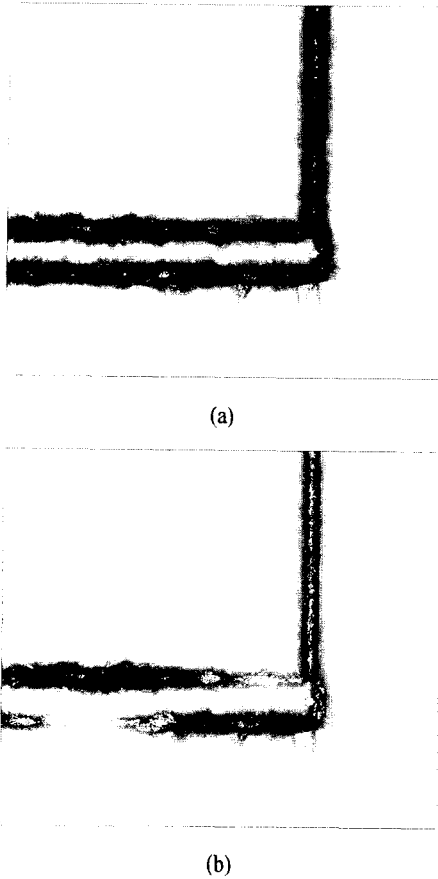


그림 5. 주파수가 (a) 1 GHz (b) 3.1 GHz 일 때, 기판의 전계 분포  
 Fig. 5. Electric field distribution in the substrate at (a) 1 GHz, (b) 3.1 GHz.

모드로 변하기 때문이다<sup>[6]</sup>.

그림 5는 주파수가 1 GHz와 3.1 GHz일 때, CPW-to-microstrip 전이 구조의 전계 분포를 나타낸 것이다. 1 GHz에서는 입사한 신호가 CPW 모드로 신호가 잘 전송되지만, 3.1 GHz에서는 입사한 신호의 일부가 slot 모드로 변하여 공진이 발생하기 때문에 CPW 양쪽 slot의 전계 분포가 달라지게 된다.

Slot 모드에 의한 공진을 억제하기 위해서 일반적으로 air-bridge를 많이 사용한다.<sup>[2]-[5]</sup>

그림 6은 그림 2(a)와 같이 air-bridge를 불연속점 근처에 연결하였을 때의 결과이다. Air-bridge가 있을 때와 없을 때의 산란 계수를 비교해보면, CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조에서 air-bridge

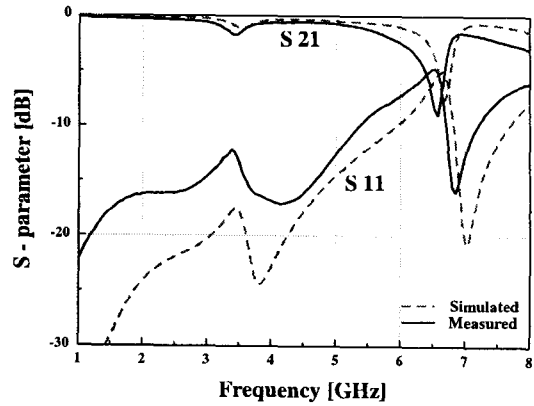


그림 6. 일반적인 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조에서 air-bridge의 효과  
 Fig. 6. Air-bridge effect of the conventional CPW-to-microstrip right-angled transition.

는 단지 공진 주파수만 이동시킬 뿐, slot 모드 발생을 근본적으로 억제할 수 없음을 확인할 수 있다. 여기에서 공진 주파수의 이동 정도는 air-bridge의 위치에 따라 달라진다<sup>[6]</sup>.

따라서, 이러한 slot 모드에 의한 공진 현상을 근본적으로 억제하기 위해서는 불연속점에서 대칭성을 유지할 수 있는 새로운 구조가 필요하다. 본 논문에서는 CPW 전이 구조의 대칭성을 유지하기 위해서 offset microstrip을 이용하였다. 그림 3의 offset microstrip 길이  $D$ 에 따른 측정 결과를 그림 7에 나타내었다. 제안된 CPW-to-microstrip 전이 구조는 offset microstrip의 길이가 길수록 전송 특성이 향상되어 길이가 2 mm 이상이 되면 8 GHz 까지 1.5 dB 내의 삽입 손실을 가지며, 전 대역에 걸쳐 공진 현상을 억제 할 수 있음을 알 수 있다.

Slot 모드에 의해 발생하는 공진은 방사하는 경향이 있으므로<sup>[3]-[5]</sup> CPW 전이 구조에서 공진 발생 여부는 방사로 인한 에너지 손실을 계산하면 쉽게 판단할 수 있다. 그림 8은 그림 7의 산란계수로부터 방사 손실 에너지를 추출한 것이다. Offset microstrip의 길이가 0 mm와 1 mm일 때, 공진 현상이 나타나는 주파수 대역에서는 비교적 많은 양의 에너지가 방사 손실로 나타나지만, offset microstrip 길이를 2 mm 이상으로 설계하면 방사 손실 에너지를 크게 줄일 수 있다.

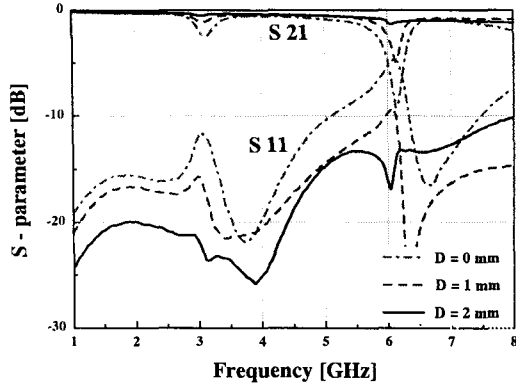


그림 7. Offset microstrip을 이용한 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조의 산란계수  
Fig. 7. S-parameter of the CPW-to-microstrip right-angled transition using offset microstrip.

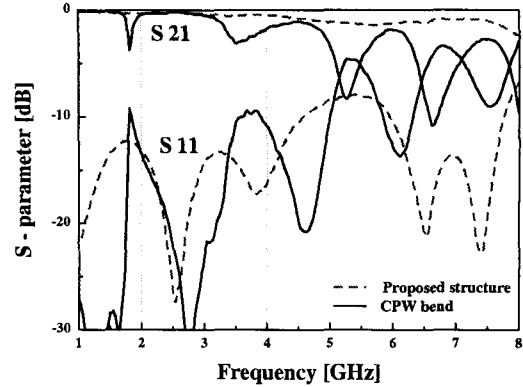


그림 9. CPW bend와 제안한 CPW-to-microstrip right-angled 전이를 이용한 CPW bend 구조의 산란 계수  
Fig. 9. S-parameter of the conventional CPW bend and CPW bend using proposed CPW-to-microstrip right-angled transition.

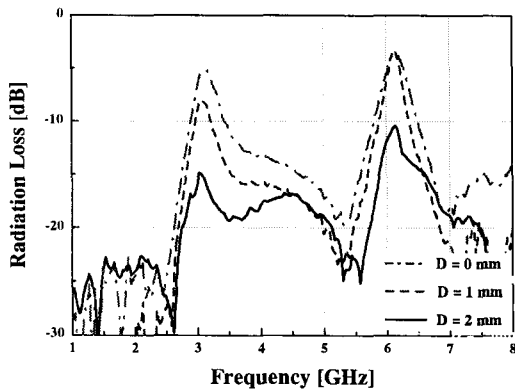


그림 8. Offset microstrip을 이용한 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조의 방사손실  
Fig. 8. Radiation loss of the CPW-to-microstrip right-angled transition using offset microstrip.

제안한 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조를 이용한 CPW bend와 일반적인 CPW bend의 특성을 그림 9에서 비교하였다. 제안한 구조의 CPW bend는 그림 3에서  $l_1$ 이 23 mm, offset microstrip의 길이가 2 mm, 길이가  $l_2$ 인 microstrip 부분은 그림 1(a)와 같은 전이를 이용하여 연결한 구조이고( $l_1=15$  mm,  $l_2=10$  mm), 일반적인 CPW bend는  $l_1$ 과  $l_2$ 가 25 mm인 그림 1(b)와 같은 구조이다. 그림 9와 같이 일반적인 CPW bend에서 나타나는 주기적

인 공진 현상은 제안된 CPW-to-microstrip right-angled 구조에서 offset microstrip 길이를 CPW 신호선 폭보다 크게 설계하면 효과적으로 억제할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서 해석한 CPW(Coplanar waveguide)-to-microstrip right-angled 전이 구조와 같은 비대칭적인 CPW 전이 구조에서는 CPW 모드로 진행되는 일부 에너지가 slot 모드 변환다. Slot 모드는 CPW 전송선 길이가 반파장의 배수가 되는 주파수마다 공진으로 인한 방사 손실로 나타나기 때문에 신호의 전송 특성이 저하된다.

동작 주파수에서 발생하는 공진 문제는 air-bridge를 사용하여 공진 주파수를 이동시킴으로써 해결할 수 있지만, 공진 발생을 억제하지는 못한다. 공진 발생을 근본적으로 제거하기 위해 본 논문에서는 offset microstrip을 사용하는 구조를 제안하였다. 제안된 구조는 불연속점에서 대칭성을 유지함으로써 slot 모드 발생 원인을 근본적으로 제거한 구조로 offset microstrip이 길이를 CPW 신호선 폭보다 크게 설계하면 공진 발생을 효과적으로 억제할 수 있

다. 따라서, 제안된 CPW-to-microstrip right-angled 전이 구조는 CPW bend 구조의 다층 기판 회로나 고집적 회로 설계에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] R. W. Jackson, "Consideration in the use of coplanar waveguide for millimeter wave integrated circuits", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, vol. 34, pp. 1450-1456, Dec. 1986.  
 [2] Ming-Dong Wu, Sheng-Ming Deng, Ruey-Beei Wu and Powen Hsu, "Full-wave characterization of the mode conversion in a coplanar waveguide right-angled bend", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, vol. 43, no. 11, pp. 2532-2538, Nov. 1996.  
 [3] N. H. Koster, S. Koblowski, R. Bertenburg, S. Heinen and I. Wolff, "Investigation of air bridges used for MMICs in CPW technique", *Proc. of 19th European Microwave Conference*, pp.

666-671, Sep. 1989.  
 [4] K. Nishikawa, K. Kamogawa, K. Inoue, K. Onodera, M. Hirano, T. Tokumitsu and I. Toyoda, "Millimeter-wave three-dimensional masterslice MMICs", *IEEE MTT-S Digest*, pp. 313-316, 1998.  
 [5] A. A. Omar and Y. L. Chow, "Coplanar waveguide with top and bottom shields in place of air-bridges", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, vol. 41, no. 9, pp. 1559-1563, Sep. 1993.  
 [6] D. Jaisson, "Coplanar waveguide bend with radial compensation", *Proc. IEE Microw. Antennas Propag.*, vol. 143, no. 5, pp. 447-450, Oct. 1996.  
 [7] Chung-Yi Lee, Yaozhong Liu, and Tatsuo Itoh, "The effect of the coupled slotline mode and air-bridges on CPW and NLC waveguide discontinuities", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech*, vol. 43, no. 12, pp. 2759-2765, Dec. 1995.

이 맹 열



1975년 4월 24일 생  
 2000년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)  
 2002년 2월: 아주대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 2002년 2월~현재: (주)기가레인 연구원

[주 관심분야] 접속선 해석 및 RFIC 설계

이 해 영



1957년 3월 7일 생  
 1980년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
 1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
 1982년~1986년: 국방부 연구 사무관

1989년 12월: The University of Texas at Austin (공학박사)

1990년~1992년: 금성 중앙연구소 기초 1실장 (책임연구원)

1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 초고속/고밀도 반도체 Package의 설계/측정. 초고주파소자 및 광전소자의 설계/측정. 초소형 안테나 해석/설계. 초전도체의 고속 전송 특성 모델링