

# T자형 슬롯을 갖는 CPW 방향성 결합기

정회원 박정훈, 이창언\*, 학생회원 최경민\*, 종신회원 신철재\*

## CPW Directional Couplers with T-Shaped Slots

Jeong hoon Park, Chang on Lee\*, Kyung min Choi\*, Chull chai Shin\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 뒷면도체를 부동도체로 갖는 CPW 방향성 결합기에서 방향성 향상을 위한 뒷면도체의 변형에 관하여 논하였다. 이때 뒷면도체는 dumbbell 모양의 일반화된 구조와 그 변형구조로 가운데 부분이 완전히 제거된 경우도 가지며, 결합도의 감소를 막기 위한 보완구조로 접지면에서 T자형으로 확장된 슬롯을 함께 사용하였다. T자형 슬롯을 갖고 뒷면도체의 변형을 통한 방향성의 개선방법은 결합도의 큰 감소 없이 방향성 개선을 이룰 수 있다. 1 GHz에서 설계된 T자형 슬롯과 뒷면도체를 갖는 CPW 방향성 결합기는 full-wave analysis를 사용한 EM solver의 계산 결과 및 측정 결과를 통하여 큰 결합특성의 감소 없이 높은 방향성 특성을 가짐을 확인하였다.

Key Words : CPW, directional couplers, Directivity, Modified finite-extent backed conductor, T-shaped slot.

### ABSTRACT

In this paper, compensation structures are proposed in the CPW directional couplers with finite-extent backed conductor for tight coupling. The proposed structures are realized T-shaped expanded slots and modified finite-extent backed conductor in CPW coupled structure. The T-shaped expanded slots was used to avoid reduced coupling and modified finite extent backed conductor of dumbbell shape was used to enhance directivity and matching. The designed CPW directional couplers at 1 GHz has good directivity without reducing coupling in simulation by EM solver based on full-wave analysis and measurements.

### 1. 서론

CPW(coplanar waveguide) 방향성 결합기는 CPW 구조로 구현되는 전력분배기나 위상변조기, 평형 혼합기 및 증폭기 등에서 중요한 소자로 사용되는 핵심 소자이다. 1970년대 Wen에 의해 제안되었던 CPW 구조에서의 방향성 결합기<sup>[1]</sup>는 두 신호선을 인접하는데 한계가 있어 높은 결합도의 구현이 힘들었다. 이러한 결합도 향상의 문제를 해결하기 위하여 단일 기판의 양면에 신호를 인가하여 두 신호선이 기판을 사이에 두고 겹치도록 설계한 broadside-

coupled CPW방향성 결합기<sup>[2]</sup>나 다층기판을 이용한 multimetal-level 구조<sup>[3,4]</sup>는 결합도의 뛰어난 향상에도 불구하고 제작상 어려움이 존재했었다<sup>[5,6]</sup>. 최근 Liao와 Chen에 의해 CPW 뒷면에 유한 너비로 확장된 뒷면도체를 부동도체로 사용하여 쉽게 높은 결합도를 얻을 수 있는 구조가 제안되었다<sup>[5]</sup>. 하지만 이러한 구조는 방향성 결합기의 두 모드인 기 모드(odd mode)와 우 모드(even mode)의 위상속도 차이가 커지므로 방향성 특성이 나빠지는 단점이 있었다<sup>[6]</sup>. 이상적 방향성 결합기는 원하는 결합도(coupling)를 가지면서 우수한 결합특성과 방향성

(시립)인천전문대학 정보통신과(Department of Information Communications, Incheon city college)

\* 아주대학교 전자공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

논문번호 : KICS2004-07-109, 접수일자 : 2005년 7월 21일

특성을 가져야 하기 때문에, 뒷면도체의 가운데 일부를 제거함으로써 각 모드의 실제 전기적 길이를 동일하게 함으로써 두 모드간의 위상속도 차이를 줄여 방향성을 개선하는 구조가 최근에 제안되었다<sup>6)</sup>. 하지만 뒷면도체의 제거는 결합기의 결합특성을 악화시키게 된다. 따라서 결합특성의 악화를 막기 위해 더 넓은 폭의 뒷면도체를 사용해야 하는 문제점이 발생한다. 그런데 사용되는 뒷면도체의 너비는 한계가 있기 때문에(뒷면도체의 너비는 결합도의 향상을 위해 두 신호선의 선평과 두 신호선의 사이 간격의 합 이하로 규정되어야 한다<sup>6)</sup>) 뒷면도체의 큰 제거 없이 방향성을 효과적으로 개선할 필요가 대두된다.

본 논문에서는 이러한 방향성 개선을 위한 구조로 뒷면도체의 변형을 통한 보상구조에 T자형 슬롯을 사용하여 뒷면도체의 큰 제거 없이 방향성을 개선하는 방법을 제안하였다. 접지면에 T자형으로 확장된 슬롯은 인덕턴스를 부가하게 되는데, CPW 결합구조에서 우 모드에 의한 인덕턴스 부가 효과가 기 모드에 의한 인덕턴스 부가 효과보다 우월하기 때문에, 우 모드의 위상속도를 더 느리게 하는 효과가 있다. 따라서 더 느린 기 모드의 위상속도와의 차이가 줄어 방향성이 향상되게 하는 효과가 있다. 아울러 이러한 우 모드에서 더 효과적으로 동작하는 T자형 슬롯 구조에 의해 우 모드 임피던스와 기 모드 임피던스의 차이를 크게 함으로써 결합특성이 높아지게 하는 결과도 기대할 수 있다. 하지만 이러한 T자형 슬롯은 정합특성의 개선효과가 미미하며 방향성 특성을 크게 개선시키지 못하는 단점이 있다. 반면 뒷면도체의 가운데 부분을 제거하는 방법은 뒷면도체의 너비가 결합구조에서 두 선평과 그 사이 간격의 합 ( $2W+d$ )의 값보다 작을 경우에 뒷면도체의 제거는 기 모드 유효 유전율을 크게 감소시켜 기 모드의 위상속도를 빠르게 함으로써 두 위상속도의 차이를 줄여 방향성 특성을 좋게 한다. 또한 이 경우에는 우수한 정합특성과 우수한 방향성 특성을 얻을 수 있다<sup>6)</sup>. 본 논문에서 제안된 변형된 뒷면도체는 뒷면도체의 가운데 부분을 완전히 제거하는 방법<sup>6)</sup>이 아니라, 그림 1에서와 같이 일부만 제거된 형태인 dumbbell 형태의 구조로 일반화 하였으며 가운데 부분이 완전히 제거된 형태는 dumbbell 형태의 일부로 규정하였다. 그런데 기존의 뒷면도체의 가운데 부분을 제거하는 구조만 사용할 경우 심각한 결합도의 감소가 나타나기 때문에 이 논문에서는 이러한 결합도의 감소를 막을 방법으로 T

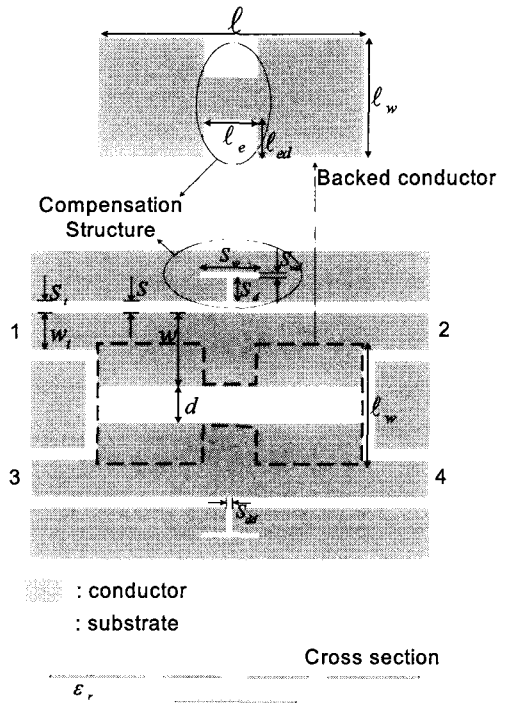


그림 1. 변형된 뒷면도체와 T자형 슬롯을 갖는 방향성이 향상된 CPW 방향성 결합기의 구조와 구조변수  
 Fig 1. Configuration of the proposed CPW directional coupler with modified finite-extent backed conductor and T-type slots, and its geometrical parameters.

자형 슬롯을 보완구조로 뒷면도체의 변형구조와 동시에 사용할 경우 두 구조의 장점이 각 구조의 단점을 보완하여 결합도의 감소 없이 방향성을 개선하였다. 1 GHz에서 설계된 T자형 슬롯과 변화된 뒷면도체를 갖는 방향성 결합기는 큰 결합도의 감소 없이 최적치에서 50 dB이상의 높은 방향성을 가짐을 MoM(method of moments)방식의 full-wave analysis를 사용한 2.5D EM(electromagnetic) solver를 사용한 계산 결과와 측정을 통하여 확인하였다.

## II. CPW 결합구조에서 방향성 향상을 위한 보상구조

마이크로스트립 구조나 CPW 구조처럼 전송선로의 위와 아래가 다른 매질로 구성되어 있는 경우의 결합구조에서는 기 모드와 우 모드 간에는 위상속도의 차이가 발생한다<sup>6)</sup>. 이와 같은 위상 속도의 차이는 신호선간의 결합구조로 구현된 방향성 결합기에서의 방향성 특성을 악화시키는 요인이 된다. 따라서 두 위상속도의 차이를 줄이는 보상구조를 필

요로 한다. 그림 1은 본 논문에서 제안되는 보상구조인 T 자형 슬롯과 변화된 뒷면도체를 갖는 CPW 방향성 결합기이다. 이때 그림에 표시된 1은 입력단 자이고 2는 전송, 3은 결합, 4는 격리 단자를 나타낸 것이다.

### 2.1 뒷면도체의 변형

CPW 결합구조에서 뒷면도체는 부동도체의 역할을 하면서 결합도를 높이기 위하여 사용되었다<sup>[5]</sup>. 하지만 이러한 뒷면도체의 사용은 결합기에서 두 모드간의 위상속도 차이를 크게 함으로써 방향성 특성을 악화시키는 원인이 된다<sup>[6]</sup>. 그런데 뒷면도체는 변형을 통하여 각 모드가 실제 반응하는 전기적 길이를 동일하게 함으로써 두 모드간의 위상 속도 차이를 줄여 방향성 특성이 개선될 수 있다<sup>[6]</sup>. 일반적으로 뒷면도체의 너비가 두 전송선의 선포폭과 결합 영역에서 두 전송선의 사이 간격의 합인  $2W+d$  보다 작은 경우 뒷면도체의 변화에 따라 기 모드 유효유전율의 변화가 크게 나타나기 때문에 기 모드의 다중 반사등에 의한 전기적 길이가 크게 달라지므로 두 모드간의 전기적 길이가 유사해지며 이로 인해 결합기에서의 방향성 특성이 개선될 수 있다<sup>[6]</sup>. 따라서 뒷면도체의 모양에 변화를 주어 방향성 특성이 개선될 수 있다. 이때 두 모드간의 위상 속도의 차이를 줄이기 위해 뒷면도체의 가운데 부분을 완전히 제거할 필요는 없다. 게다가 참고문헌 [6]에서처럼 뒷면도체의 가운데 부분을 완전히 제거할 경우 뒷면도체의 감소로 인하여 결합도의 큰 감소가 필연적이므로 이를 고려하여 뒷면도체의 너비를 고려해야 한다. 따라서 뒷면도체의 형태를 그림 1에서와 같은 모양으로 일반화한 형태인 dumbbell 모양을 방향성 특성의 개선을 위한 보상 구조로 적용할 수 있다. 이때 뒷면도체의 가운데 부분을 완전히 제거한 형태<sup>[6]</sup>는 dumbbell 구조의 가운데 부분의 너비가 0인 특수한 경우로 볼 수 있다.

그림 2는 1 GHz에서 그림 1에 나타난 변형된 모양의 뒷면도체를 갖는 경우 결합기 특성을 보여준 것이다. 그림 2(a)에서 확인된바와 같이, 뒷면도체의 가운데 부분이 어느 값 이상일 경우 격리특성이 거의 유사하기 때문에 반드시 뒷면도체를 완전히 제거할 필요는 없다. 뒷면도체의 가운데 부분이 제거된 영역의 길이는 각 모드에 대한 전기적 길이에 주요한 영향을 주므로 두 모드가 동일한 전기적 길이를 인식하기 위해서는 최적의 값이 존재한다. 이는 그림 2(b)에서 잘 나타난다. 이러한 뒷면도체의

변형은 두 모드간의 위상 속도차이를 크게 감소시키는 구조이긴 하지만 결합도를 감소시키는 단점이 있어 이를 보완해 줄 방안이 요구되어진다. 참고문헌 [6]에서는 뒷면 도체의 너비를 9 mm로 하여 6 dB 결합을 근사하게 이루었으나 보상구조로 뒷면 도체의 가운데 부분을 완전히 제거할 경우 결합특성이 -7.5 dB이하로 떨어진다.

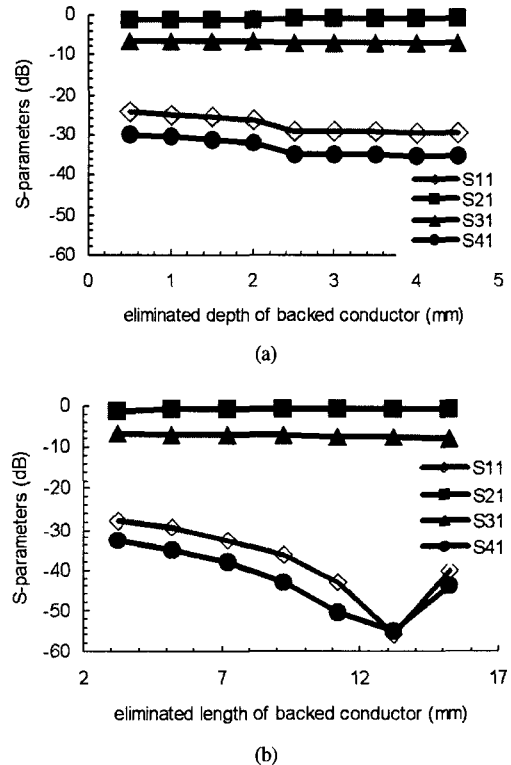


그림 2. T자형 슬롯을 갖지 않고 오직 뒷면도체의 변형에 대한 1 GHz에서의 결합기 특성 ( $w_t=4.0$  mm,  $s_t=s=0.4$  mm,  $w=10.0$  mm,  $d=2.0$  mm,  $s_{dd}=0.0$  mm,  $s_w=0.0$  mm,  $s_{ud}=0.0$  mm,  $s_d=0.0$  mm,  $\ell_w=9.0$  mm) (a) 제거된 깊이에 따른 특성( $\ell_{ed}$ , where  $\ell_e=6.0$  mm) (b) 제거된 너비에 따른 특성( $\ell_e$ , where  $\ell_{ed}=4.5$  mm)  
 Fig 2. The computed results about variable parameters of backed conductor in the proposed couplers without T-type slot ( $w_t=4.0$  mm,  $s_t=s=0.4$  mm,  $w=10.0$  mm,  $d=2.0$  mm,  $s_{dd}=0.0$  mm,  $s_w=0.0$  mm,  $s_{ud}=0.0$  mm,  $s_d=0.0$  mm,  $\ell_w=9.0$  mm) (a) effect of eliminated depth ( $\ell_{ed}$ , where  $\ell_e=6.0$  mm) (b) effect of eliminated length ( $\ell_e$ , where  $\ell_{ed}=4.5$  mm).

### 2.2 T자형 슬롯

그림 1에서 나타나 있는 CPW 구조상에서, 접지면에 T자형으로 확장된 슬롯은 CPW 구조에서 부가되는 인덕턴스 역할을 한다<sup>[7]</sup>. 이러한 인덕턴스가 부가되면 식 (1)과 같이 표현된 위상속도에 인덕턴스의 변화를 주게 되어 위상속도가 변화하게 되는

데, 결합구조에서 이러한 현상은 우 모드와 기 모드에서 서로 다른 인덕턴스 양으로 영향을 주게 된다. 이때 우 모드에 미치는 영향이 기 모드에 미치는 영향보다 더 크기 때문에 식 (2)에서  $L^{even}$  값을  $L^{odd}$  값보다 보다 더 큰 값으로 변화시켜 식 (2)와 같이 표현되는 두 모드간의 위상속도 차이를 줄이게 된다.

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\mu_{eff}\epsilon_{eff}}} = \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (1)$$

$$v_p^{even} = \frac{1}{\sqrt{\mu_{eff}^{even}\epsilon_{eff}^{even}}} = \frac{1}{\sqrt{L^{even}C^{even}}} \quad (2)$$

$$> v_p^{odd} = \frac{1}{\sqrt{\mu_{eff}^{odd}\epsilon_{eff}^{odd}}} = \frac{1}{\sqrt{L^{odd}C^{odd}}}$$

그림 3은 1 GHz에서 CPW 결합구조에서의 T 자형 슬롯의 변수에 따른 CPW 결합기의 특성을 보여준다. T자형 슬롯의 설계변수는 그림 1에 나타나 있다. 그림에서 확인되는 바와 같이, 접지 면에 T 자형 슬롯을 부가할 경우, 부가 되지 않은 경우(이 경우 방향성 특성 23 dB이고, 결합특성인  $S_{31}$ 은 6.35 dB, 전송특성인  $S_{21}$ 는 1.19 dB, 정합 특성인  $S_{11}$ 은 23.97 dB, 그리고 격리특성인  $S_{41}$ 은 29.34 dB이다.)에 비해서 높은 격리 특성과 결합특성을 갖는다. 또한 인덕턴스의 값에 영향을 많이 주는 슬롯의 길이에 대하여 일반적으로 그 길이가 길어질수록, 다시 말해서 T자형 슬롯의 변수  $S_w$ 와  $S_d$ 가 길어질수록 결합도는 약간 증가하고 격리특성은 낮아지므로 다음 식과 같이 표현되는 방향성(D) 특성은 명확하게 개선된다. 이러한 CPW 구조에서 접지 면에 인덕턴스의 부가구조는 CPW 결합구조에서의 결합도를 향상시키는 부가적인 장점도 있다.

$$D(\text{dB}) = 20 \log \left( \frac{S_{31}}{S_{41}} \right) S_{31}(\text{dB}) - S_{41}(\text{dB}) \quad (3)$$

### 2.3 뒷면도체의 변형과 함께 사용된 T자형 슬롯

CPW 방향성 결합기의 뒷면도체에서 가운데 부분을 제거함으로써 기 모드의 유효유전율을 변화시켜 방향성을 개선하는 것은 이미 알려진 바와 같이 결합도의 감소를 가져오게 된다. 또한 경우에 따라서 두 모드간의 전기적 길이를 동일하게 만들기 위해서 뒷면도체의 과도한 제거가 요구될 수 있다. 이러한 현상을 막기 위한 보완구조로 위에서 언급한 T자형 슬롯을 사용할 수 있다. T자형 슬롯을 사용할 경우 그림 3에서 확인되는 바와 같이 결합도와 방향성의 개선이 동시에 나타나지만, 방향성의 특성

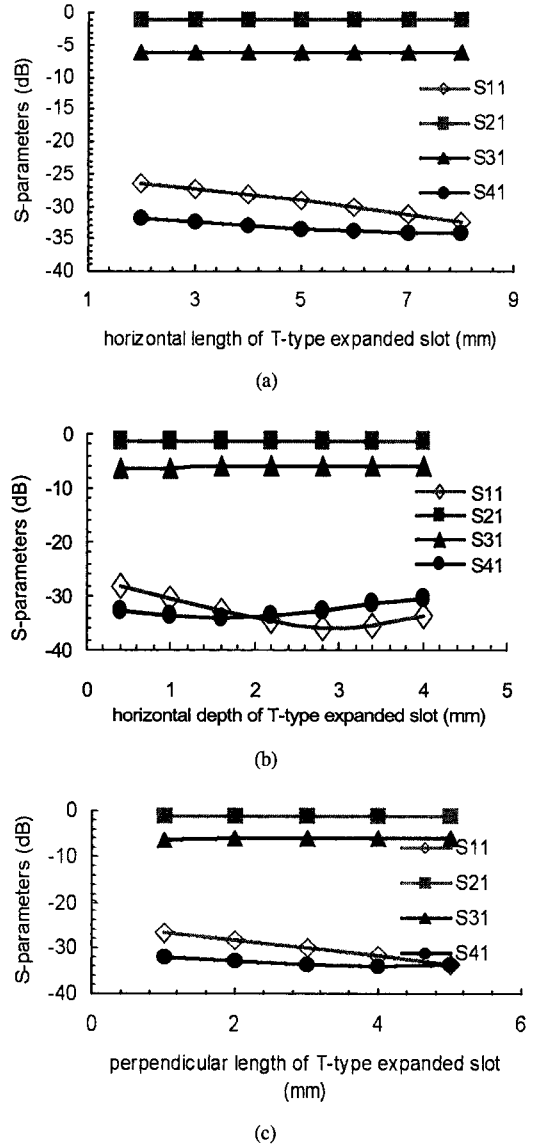


그림 3. T자형 슬롯을 갖는 제안된 방향성 결합기에서 T자형 슬롯의 변수의 변화에 따른 1 GHz에서의 특성( $w_t=4.0$  mm,  $s_t=s=0.4$  mm,  $w=10.0$  mm,  $d=2.0$  mm,  $s_{dd}=0.4$  mm,  $\ell_{cd}=0.0$  mm,  $\ell_e=0.0$  mm,  $\ell_w=9.0$  mm) (a) T자형 슬롯의 수평영역의 길이에 따른 특성( $s_w$ , where  $s_{wd}=0.4$  mm,  $s_d=2.0$  mm) (b) T자형 슬롯의 수평영역의 너비에 따른 특성( $s_{wd}$ , where  $s_w=4.0$  mm,  $s_d=2.0$  mm) (c) T자형 슬롯의 수평영역의 길이에 따른 특성( $s_d$ , where  $s_w=4.0$  mm,  $s_{wd}=0.4$  mm)

Fig. 3. The computed results about variable parameters of T-type expanded slot in the proposed couplers at 1 GHz ( $w_t=4.0$  mm,  $s_t=s=0.4$  mm,  $w=10.0$  mm,  $d=2.0$  mm,  $s_{dd}=0.4$  mm,  $\ell_{cd}=0.0$  mm,  $\ell_e=0.0$  mm,  $\ell_w=9.0$  mm) (a) effect of horizontal length ( $s_w$ , where  $s_{wd}=0.4$  mm,  $s_d=2.0$  mm) (b) effect of horizontal depth ( $s_{wd}$ , where  $s_w=4.0$  mm,  $s_d=2.0$  mm) (c) effect of perpendicular length ( $s_d$ , where  $s_w=4.0$  mm,  $s_{wd}=0.4$  mm).

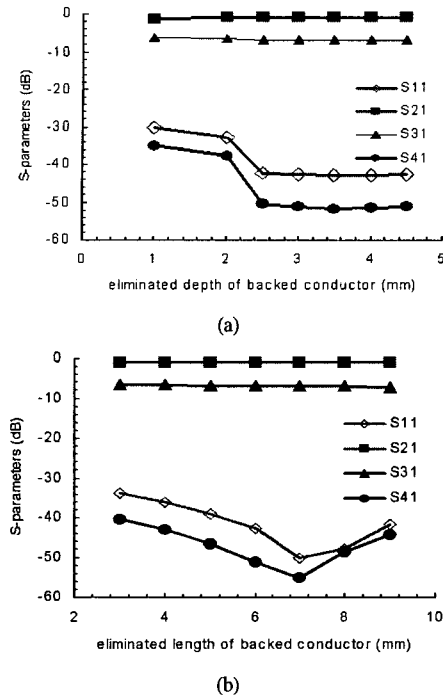


그림 4. T자형 슬롯을 갖는 제안된 구조에서 뒷면도체의 변형에 대한 특성 ( $w_t=4.0$  mm,  $s_t=s=0.4$  mm,  $w=10.0$  mm,  $d=2.0$  mm,  $s_{dd}=0.4$ mm,  $s_w=4.0$  mm,  $s_{wd}=0.4$  mm,  $s_d=2.0$  mm,  $l_w=9.0$  mm) (a) 제거된 깊이에 따른 특성( $l_{ed}$ , where  $l_e=6.0$  mm) (b) 제거된 너비에 따른 특성( $l_e$ , where  $l_{ed}=4.5$  mm)

Fig 4. The computed results about variable parameters of backed conductor in the proposed couplers with T-type slot ( $w_t=4.0$  mm,  $s_t=s=0.4$  mm,  $w=10.0$  mm,  $d=2.0$  mm,  $s_{dd}=0.4$ mm,  $s_w=4.0$  mm,  $s_{wd}=0.4$  mm,  $s_d=2.0$  mm,  $l_w=9.0$  mm) (a) effect of eliminated depth ( $l_{ed}$ , where  $l_e=6.0$  mm) (b) effect of eliminated length ( $l_e$ , where  $l_{ed}=4.5$  mm).

과 정합의 특성이 아주 우수하지는 못하다. 따라서 뒷면도체의 변형에 대한 보완구조로 활용하여, 뒷면도체와 함께 사용되어 뒷면도체의 과도한 제거 없이 높은 방향성 특성을 얻을 수 있도록 한다. 그림 4는 앞에서 논의된 보상구조인 T자형 슬롯을 가진 경우에 뒷면도체의 변수의 변화에 따른 특성을 나타낸 것이다. 이런 구조의 경우 T자형 슬롯에 의해 결합도의 보상이 어느 정도 가능하므로 뒷면도체의 변형 정도에 여유를 가질 수 있게 된다. 이러한 두 구조를 이용하여 높은 방향성 특성과 정합특성을 동시에 얻기 위해서는 우선 T자형 슬롯으로 방향성 결합기의 정합과 격리특성이 중심주파수 가까이 나타나도록 적당한 양의 보상이 이루어지도록 하고, 그리고 나서 뒷면도체의 가운데 부분을 일부 제거할 경우 뒷면도체의 작은 영역의 제거만으로도 좋은 효과를 얻을 수 있다. 그림 4(b)는 이러한 효과

를 잘 나타낸다. 즉 그림 2와 달리 정합과 결합의 최적 특성이 뒷면도체의 변수인  $l_e$ 가 7 mm 근처에서 최적인 값을 보인다. 이는 T자형 슬롯이 없는 경우에 13 mm 정도의  $l_e$ 를 가진 것에 비해 아주 작은 값으로, 뒷면도체를 조금 잘라내면서도 높은 방향성 효과를 얻을 수 있음을 보여준다.

### III. 방향성이 개선된 CPW 방향성 결합기

앞 절에서 설명한 두 보상구조인 T자형 슬롯과 뒷면도체의 변형을 동시에 이용하여 방향성이 개선된 그림 1과 같은 CPW 방향성 결합기를 유전율이 4.4이고 높이가 1.6 mm인 FR4 기판에 설계하였다. 설계된 결합기는 Liao와 Chen에 의해 제안된 1 GHz의 중심 주파수를 갖는 방향성 결합기 구조<sup>[5]</sup>에 비해 방향성 특성이 개선됨을 보이기 위하여 CPW 방향성 결합기의 결합영역의 길이는 47.2 mm이고 신호선의 두께는 10.0 mm, 신호선사이의 너비는 2.0 mm로 하였고, 신호선과 접지면 사이의 슬롯 폭은 0.4 mm, 피드라인에서의 신호선 폭은 4.0 mm로 하였고 뒷면도체의 너비는 9.0 mm로 하였다. 그리고 제안된 보상구조인 사용된 슬롯의 변수와 뒷면도체의 변수는 표 1에 정리하였다. 여기에서 뒷면도체의 모양은 가운데 부분을 모두 제거한 모양을 사용했는데 이는 참고문헌 [6]에서의 결과와 비교하기 위해서이며 실제로 완전히 제거하지 않아도 된다.

표 1. 방향성 개선을 위한 보상구조의 설계 변수와 그 변수 값 (단위 : mm)

Table 1. Design parameters for enhanced directivity (unit: mm)

T자형 슬롯 변수	변수값	뒷면도체 변수	변수값
$s_{dd}$	0.4	$l_{ed}$ (그림 5)	4.5
$s_w$	4.2	$l_e$ (그림 5)	6.0
$s_{wd}$	0.4	$l_{ed}$ (그림 6)	3.5
$s_d$	2.0	$l_e$ (그림 6)	6.0

그림 5는 표 1에 정리된 변수 값을 사용하여 설계된 CPW 방향성 결합기의 특성을 Liao와 Chen에 의해 제안된 구조<sup>[5]</sup>와 비교하여 나타낸 것이다. 계산결과를 얻기 위해 무한 접지면을 가정하는 MoM 방식의 full-wave analysis를 사용한 2.5D EMSolver를 사용하였다. 제안된 보상 구조들을 갖는 CPW 방향성 결합기는 그림 5에서 보인 바와 같이 1.0GHz에서 -6.8 dB의 결합도를 가지면서 -44.4 dB의 정합

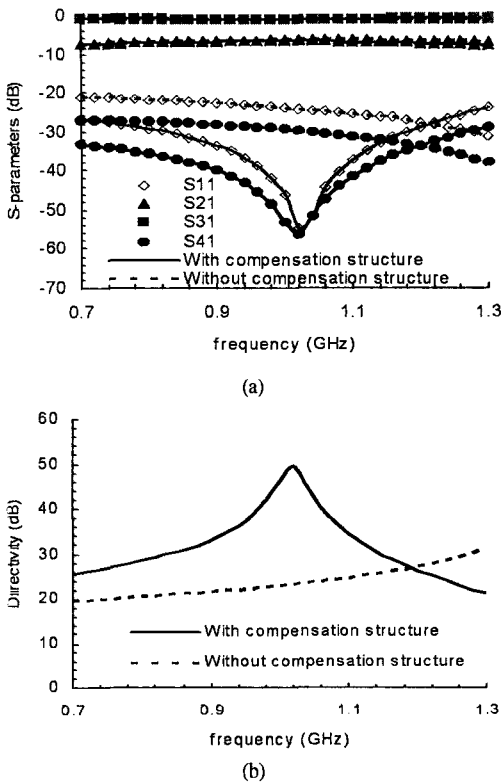


그림 5. 보상구조로 T자형 슬롯과 변형된 뒷면도체를 갖는 제안된 CPW 방향성 결합기의 계산된 특성 (참고문헌 [5]의 결합기의 특성과 비교) (a) S-parameters ( $S_{11}$ :정합특성,  $S_{21}$ :전파특성,  $S_{31}$ :결합특성,  $S_{41}$ :격리특성) (b) 방향성 특성  
 Fig 5. The computed results for the proposed CPW directional couplers with T-type slots and modified finite-extent backed conductor as compared with conventional one without compensation in reference [5] (a) S-parameters ( $S_{11}$ : matching,  $S_{21}$ :through,  $S_{31}$ :coupling,  $S_{41}$ :isolation) (b) directivity.

특성과 -52.3 dB의 격리특성을 갖는다. 따라서 1 GHz에서의 방향성 특성은 45.5 dB로 보상구조가 없는 기존의 구조에서보다 30 dB이상 향상되었다. 또한 참고문헌 [6]에 나타난 바와 같이 뒷면도체의 제거를 통한 보상구조만 사용할 경우 결합특성이 대략 -7.5 dB로 나타나기 때문에 결합특성의 감소가 큰 단점이 있었는데, 본 논문에서 제안된 T자형 슬롯을 동시에 사용할 경우 보상구조가 없는 경우보다 0.4 dB이하의 감소를 갖게 되는데, 이는 큰 결합도의 감소 없이 보상구조의 구현이 가능함을 의미한다. (참고문헌 [6]에서의 방향성 특성은 50 dB로 큰 값을 가지지만, 그림 5에서 보는 바와 같이 제안된 구조 가지 보상 구조를 갖는 경우의 격리특성이 최적으로 나타나는 지점은 1.02 GHz으로 약간 위쪽으로 이동했는데 이 지점에서의 방향성 특성은 52.5 dB이다.) 따라서 T자형 슬롯과 동시에 사용된 뒷면도체

의 변형은 매우 유용한 보상구조이라 할 수 있다. 이때 뒷면도체는 참고문헌 [6]과 비교하기 위하여 완전히 제거하였을 뿐 실제적으로는 완전히 제거할 필요는 없다. 그림 6에서 이를 확인할 수 있다. 그림 6은 뒷면도체를 완전히 제거하지 않고 가운데 부분의 폭이 2 mm가 되도록 설계한, 즉  $\ell_{ed}$ 의 값이 3.5 mm가 되게 하여 설계한 결합기의 특성을 EM solver를 사용하여 계산한 결과이다. 이 경우 역시 우수한 방향성 특성과 정합특성을 갖는다. 그림 7은 그림 5에 나타난 구조변수를 갖도록 실제 제작하여 와이어 본딩이나 SMA 커넥터를 결합하기 전의 실물 사진이며, 측정시에는 coupled-slot 모드의 발생을

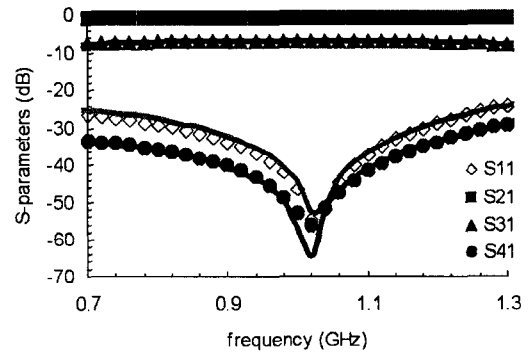


그림 6. 변형된 뒷면도체가 완전히 제거되지 않고 일부만 제거( $\ell_{ed}=3.5$  mm)된 경우에 제안된 CPW 방향성 결합기의 계산된 특성(실선)과 뒷면도체의 가운데 부분을 완전히 제거( $\ell_{ed}=4.5$  mm)한 경우의 특성(점)  
 Fig 6. The computed results for the proposed CPW directional couplers with modified finite-extent backed conductor of  $\ell_{ed}=3.5$  mm (solid line) as compared with them for CPW directional couplers with modified finite-extent backed conductor of  $\ell_{ed}=4.5$  mm (discrete points).

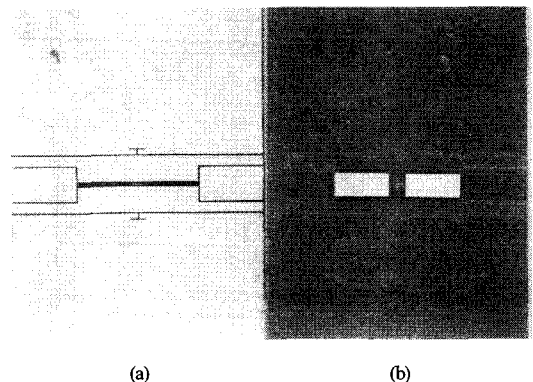


그림 7. 실제 제작된 사진(커넥터와 와이어 본딩을 하기 전 모습) (a) 윗면 (b) 아랫면  
 Fig 7. Photographs of the designed coupler before connecting the SMA connectors and wire bonding (a) top (b) bottom.

막기 위하여 와이어 본딩을 하였다. 또한 유한 접지면의 효과를 막기 위하여 접지면의 길이를 충분히 넓게 해 주었다. 그리고 제작된 결합기는 vector network analyzer로 측정하여 그 결과를 EM solver의 계산 결과와 비교하여 그림 8에 나타내었다. 실제 제작시에는 실험 결과에서 보이듯이 제안된 보상구조를 사용할 경우 1.05 GHz에서 방향성 특성이 50 dB 보다 큰 값을 가짐을 알 수 있다. 정합이나 격리현상이 약간 고주파쪽으로 이동한 현상에 대하여서는 참고문헌 [6]에 언급한 바와 같이 본당시 와이어에 의한 것이라 사료되며, 보다 정확한 공정에 의해서 제작 될시 이 문제는 해결될 수 있으리라 사료된다.

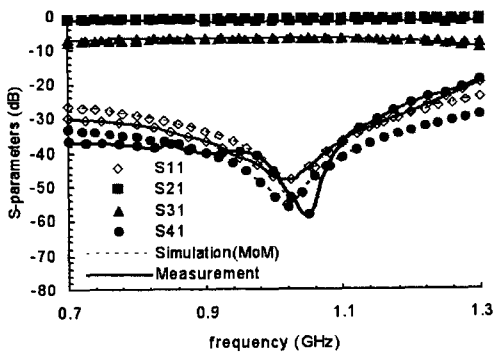


그림 8. 제안된 보상구조를 가지고 제작된 결합기의 측정결과  
Fig 8. Measured results of the designed CPW directional coupler with the proposed compensation structures as compared with simulated results.

#### IV. 결론

본 논문에서는 강한 결합도를 얻기 위해 제안되었던 유한너비의 뒷면도체를 갖는 CPW 방향성 결합기의 방향성 특성의 개선을 위한 보상구조를 제안하였다. 제안된 구조는 뒷면도체의 가운데 부분을 완전 제거하던 기존의 방법대신 뒷면도체의 모양을 dumbbell 모양으로 일반화 하였으며, 뒷면도체의 과도한 식각으로 인해 발생하는 과도한 결합도의 감소를 막기 위한 보완구조로 접지면에 T자 형태로 확장된 슬롯을 함께 사용하였다. 또한 이러한 각각의 보상구조에 대하여 그 구조를 이루는 변수의 변화에 대한 특성을 분석하고, 두 구조를 같이 사용하여 1 GHz의 중심주파수를 갖는 방향성 결합기를 설계하여, 모의실험과 측정을 통하여 제안된 보상구조가 매우 유용함을 확인하였다. 특히 뒷면도체의 가운데 부분의 제거를 통한 방향성 개선방법보다 두 구조를 동시에 사용함으로써 결합도의 감소도 막을

수 있음을 확인하였다. 계산 및 측정된 결합기는 1 GHz에서 -6.8 dB의 결합도를 가지면서 50 dB 이상의 최적의 방향성 특성을 가지며, 이는 보상구조가 없던 구조에 비해 30 dB이상의 방향성이 개선되었으며, 뒷면도체의 가운데 부분을 제거한 보상구조에 비해서는 비슷한 방향성 특성을 가지면서도 결합도의 감소를 막았다.

#### 참고 문헌

- [1] C. P. Wen, "Coplanar-Waveguide directional couplers," *IEEE Microwave Theory Tech.*, 18, pp. 318-322, June 1970.
- [2] F. Tefiku, E. Yamashita, and J. Funada, "Noveldirectional couplers using broadside-coupled coplanar waveguides for double-sided printed antennas," *IEEE Microwave Theory Tech.*, 44(2), pp. 275-282, February 1996.
- [3] S. Banda and H. Ogawa, "Multilayer MMIC directional couplers using thin dielectric layers," *IEEE Microwave Theory Tech.*, 43(6), pp. 1270-1275, June 1995.
- [4] T. Gokdemir, I. D. Robertson, Q. H. Wang, and A. A. Rezazadeh, "K/Ka-band coplanar waveguide directional couplers using a three-metal-level MMIC process," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, 6(2), pp. 76-78, February 1996.
- [5] C. -L. Liao and C. H. Chen, "A Novel Coplanar-Waveguide Directional Coupler with Finite-Extent Backed Conductor," *IEEE Microwave Theory Tech.*, 51(1), pp. 200-206, January 2003.
- [6] 박정훈, 이창언, 최경민, 신철재, "Backed Conductor의 Center-Elimination을 통한 향상된 방향성을 갖는 CPW 방향성 결합기의 설계", *한국전자과학회논문지*, 14(12), pp. 1321-1328, 2003년 12월
- [7] L. Zhu, "Guided-Wave Characteristics of Periodic Coplanar Waveguides with Inductive Loading-Unit-Length Transmission Parameters," *IEEE Microwave Theory Tech.*, 51(10), pp. 2133-2138, October 2003.

박 정 훈 (Jeong hoon Park)

정회원

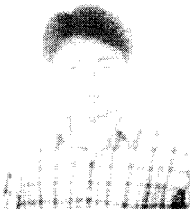


1984년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학사)  
1993년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학석사)  
2005년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학박사)  
1993년 7월 전기통신 기술사

1984년 5월~1987년 1월 삼성전기(주) 연구원  
1987년 2월~1992년 2월 한국전자통신연구원 연구원  
1992년 3월~1994년 8월 SK 텔레콤 연구원  
1994년 9월~현재 시립 인천전문대학 통신과 부교수

이 창 언 (Chang on Lee)

정회원



1998년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학사)  
2000년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학석사)  
2005년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학박사)  
2005년 3월~현재 LG정보통신

선임연구원

<관심분야> 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 능동  
및 수동소자 개발 등

최 경 민 (Kyung min Choi)

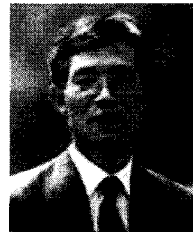
학생회원



2004년 2월 아주대학교 전자  
공학과(공학사)  
2004년 3월~현재 아주대학교  
전자공학과 석사과정  
<관심분야> 초고주파 회로 설  
계 등

신 철 재 (Chull chai Shin)

종신회원



1964년 2월 연세대학교 전자  
공학과(공학사)  
1968년 2월 연세대학교 전자  
공학과(공학석사)  
1983년 2월 연세대학교 전자  
공학과(공학박사)  
1967년~1970년 동양공업전문

대 교수

1970년~1977년 광운대학교 교수  
1986년~1987년 Florida University 객원교수  
1977년~현재 아주대학교 전자공학과 교수  
<관심분야> 초고주파 회로 설계 및 해석, 초고주  
파 통신부품 개발, 안테나 설계 및 해석, EMI/  
EMC, 전파전파 등