

# Backed Conductor의 Center-Elimination을 통한 향상된 방향성을 갖는 CPW 방향성 결합기의 설계

## CPW Directional Couplers with Enhanced Directivity Via Center-Elimination of Backed Conductor

박정훈 · 이창언\* · 최경민\* · 신철재\*

Jeong-Hoon Park · Chang-On Lee\* · Kyung-Min Choi\* · Chull-Chai Shin\*

### 요 약

본 논문에서는 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW(Coplanar waveguide) 방향성 결합기에서, 방향성의 향상을 위해 backed conductor의 가운데 부분을 적절한 길이로 제거하는 보상구조를 제안하였다. backed conductor의 가운데 부분이 적절한 길이를 가지고 제거될 경우, 결합기의 가운데 부분에서 기 모드의 유효유전율이 크게 감소하여 전기적 길이가 달라지므로, 우 모드와 기 모드의 위상속도가 동일하게 인식된다. 따라서 결합기의 방향성은 향상이 되며, 이때 제거된 backed conductor의 적절한 길이는 결합기의 기 모드와 우 모드의 관계로부터 구하여질 수 있다. 이 보상 구조가 효과적임을 보이기 위해 1 GHz의 중심주파수를 가지는 보통의 결합도를 갖는 CPW 방향성 결합기를 설계하였으며, 기존의 구조에 비해 모의실험과 측정에서 각각 36 dB, 20 dB 이상 개선된 우수한 방향성특성과 함께 우수한 정합특성을 가짐을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we demonstrate that the directivity of the CPW(Coplanar Waveguide) directional coupler with finite-extent backed conductor is enhanced by eliminating center region of backed conductor appropriately. If the backed conductor is removed at center region of couplers, the couplers have two backed conductors. If effective odd mode dielectric constant is decreased at center region, the electrical length for odd mode is changed and phase velocity is same at the directional couplers. Hence, directivity is improved. The eliminated length is solved by an odd and even mode analysis. The designed moderate CPW directional coupler with the proposed compensation structure has excellent directivity and matching characteristic at center frequency in simulation and measurement.

Key words : CPW, Couper, Directivity, Compensation, Finite-extent Backed Conductor

### I. 서 론

CPW(Coplanar Waveguide)구조는 접지 면이 신호선과 같은 평면상에 존재하므로 단락회로의 구현이 용이할 뿐만 아니라, solid-state device의 실장이 용이하므로, 많은 관심을 받고 있는 구조이다. 방향성 결합기는 전력분배기나 위상변환기, balanced 증폭기

나 Mixer 등의 설계에 있어 필수적인 소자이다. 따라서 CPW 구조에서 방향성 결합기의 설계는 다양한 형태로 연구되고 있다<sup>[1]~[5]</sup>. 이러한 결합기의 이상적인 형태는 적절한 결합도(Coupling)를 가지면서 동시에 높은 방향성(Directivity)과 좋은 정합(Matching) 특성을 나타내는 것이다<sup>[6]</sup>.

1970년대 C. P. Wen에 의해서 CPW 구조에서의

시립인천전문대학 정보통신과(Department of Information Communications, Incheon City College)

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

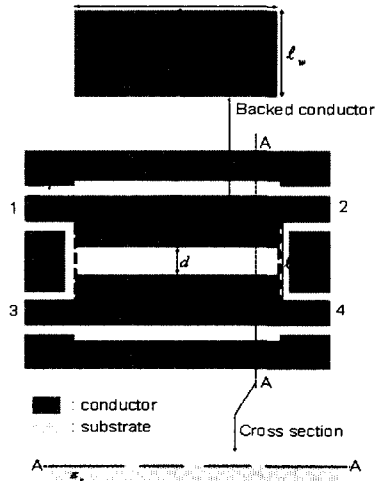
· 논문 번호 : 20031014-137

· 수정완료일자 : 2003년 12월 10일

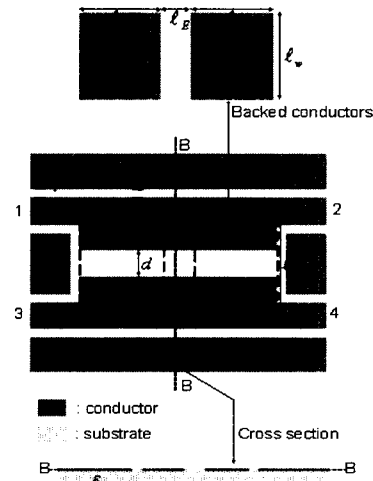
edge-coupled 방향성 결합기가 제안되었으나<sup>[1]</sup>, 두 신호선을 인접시켜 얻을 수 있는 결합도의 값에는 제작의 어려움 때문에 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 유한 너비의 뒷면 도체 (finite-extent backed conductor)를 부동 도체(floating conductor)로 이용하여 결합도 값을 높이는 방법이 제안되었다<sup>[2]</sup>.

하지만 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 방향성 결합기는 높은 결합도에도 불구하고 우 모드 (even mode)와 기 모드(odd mode) 위상속도의 차이가 커서, 방향성 특성이 좋지 못하다. 따라서 이러한 구조에서는 방향성을 좋게 하기 위해서 구조의 변화가 필요하다. 방향성 결합기에서 방향성 특성이 나쁜

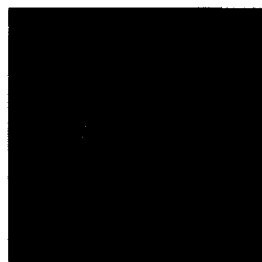
것은 기 모드와 우 모드의 위상속도가 다르기 때문이며, 이것은 주로 평면 전송 구조인 Microstrip이나 CPW 구조의 전송선의 위와 아래가 다른 물질이기 때문에 나타나는 현상이다. 일반적으로 마이크로스트립 방향성 결합기에서는 방향성의 향상을 위하여, 집중소자를 이용하여 기 모드의 속도를 조절하거나<sup>[6],[7]</sup>, 유전체를 신호선 위에 덮어 다층으로 만들거나, wiggly line을 이용하는 방법 등을 사용한다<sup>[7]</sup>. 마이크로스트립 구조에서는 우 모드의 실효 유전율이 기 모드의 실효유전율보다 크기 때문에, 집중소자(Lumped elements)를 사용하여 기 모드의 값을 보정함으로써 높은 방향성을 쉽게 얻을 수 있다. 하지만 CPW 구조에서는 일반적으로 기 모드의 실효 유전



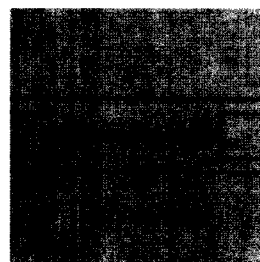
(a) 일반적인 구조(Liao와 Chen에 의해 제안되었던 구조)  
(a) The conventional(Liao and Chen's) design



(b) 제안된 구조  
(b) the proposed design and a photograph of fabricated coupler



(c) 제작된 결합기의 아랫면 사진  
(c) the bottom



(d) 제작된 결합기의 윗면 사진  
(d) the above

그림 1. Finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 방향성 결합기 구조  
Fig. 1. The CPW directional coupler with finite-extent backed conductor(s).

율이 우 모드 값보다 크기 때문에 다른 방법이 요구되어진다.

Finite-extent backed conductor가 CPW 방향성 결합기에서 부동도체로 사용될 경우, backed conductor는 부동도체의 역할을 하여, 높은 결합도의 구현이 가능하여진다. 이러한 구조에서 backed conductor의 너비는 결합도를 결정하는 주요한 변수가 된다. 그림 1(a)의 구조에서 backed conductor의 너비에 따라 1 GHz에서 결합도의 변화특성을 그림 2에서 보였다. 여기서  $S_{11}$ 은 정합,  $S_{21}$ 은 전송,  $S_{31}$ 은 결합,  $S_{41}$ 은 격리 특성을 나타낸다. 또한 그림 1에 나타난 각 포트로부터, 1은 입력을, 2는 전송을, 3은 결합을, 4는 격리를 나타낸다. 참고문헌 [2]에 의하면, 결합도는 backed conductor의 너비( $l_w$ )가  $2w+d$ 까지 증가하다가 그 이후로는 감소하게 된다. 여기서  $w$ 와  $d$ 는 CPW 결합기에서 신호선의 폭과 신호선 사이의 간격을 말하며, 그림 1(a)에 이러한 변수들을 나타내었다. 이러한 사실은 그림 2에서도 확인할 수 있다. 이렇게 결합도가 증가하다가 감소하는 이유는 각 모드의 유효유전율이 변화하는 특성 때문이다. 즉, backed conductor의 너비가  $2w+d$ 까지는 주로 기 모드의 유효유전율이 크게 증가하고, 우 모드의 유효유전율이 조금 감소하는 경향이 있어, 두 모드간의 임피던스 차이가 점점 커지기 때문에 결합도는 점점 증가하게 된다. 반면에, backed conductor의 너비가  $2w+d$ 보다 커지게 되면 기 모드 유효유전율은 거의 일정한 반면, 우 모드 유효유전율은 크게 증가하여, 두 모드의 임피던스 차이가 급격히 감소하므로, 결합도는 감소하게 된다. 따라서 이러한 backed conductor를 사용한 구조에 대하여서, backed conductor의 너비는 주로  $2w+d$ 보다 작은 영역에서 논의가 되어야 한다. 그런데, 전술한 바와 같이 각 모드의 유효유전율의 차이는 각 모드의 위상속도 차이를 발생시켜, 방향성 특성을 좋지 못하게 하기 때문에, backed conductor를 사용한 CPW 결합기는 높은 결합도의 구현에도 불구하고, 마이크로파 시스템에서의 비효율성을 야기할 소지가 있다.

본 논문에서는 C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안된 한 개의 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 방향성 결합기<sup>[2]</sup>에서 backed conductor의 가운데 부분을 제거하여 두 개의 backed conductor를 가

지는 구조를 방향성 향상을 위한 보상 구조로 제안하였다. 이처럼 backed conductor의 가운데 부분이 제거된 보상구조의 경우 보상 전 구조에 비해 제거된 영역에서 기 모드의 유효유전율이 크게 감소하고 우 모드의 경우 조금 상승하며, 이러한 불연속면으로 인하여 두 모드간의 전기적 길이가 변화하게 되는데, 적절히 backed conductor의 가운데 영역을 제거해 줄 경우, 결합기 전체 구조에서 두 모드의 위상속도가 동일하게 인식하게 된다. 따라서 이러한 구조를 적절히 사용할 경우 결합기의 방향성은 향상된다.

이러한 사실을 확인하기 위하여, 1 GHz를 중심주파수로 하는 보통의 결합도를 갖는 CPW 방향성 결합기에 적절하게 backed conductor의 가운데 부분을 제거한 후, C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안되었던 기존의 구조와 비교하여 방향성이 크게 향상되었음을 III절에서 보였다.

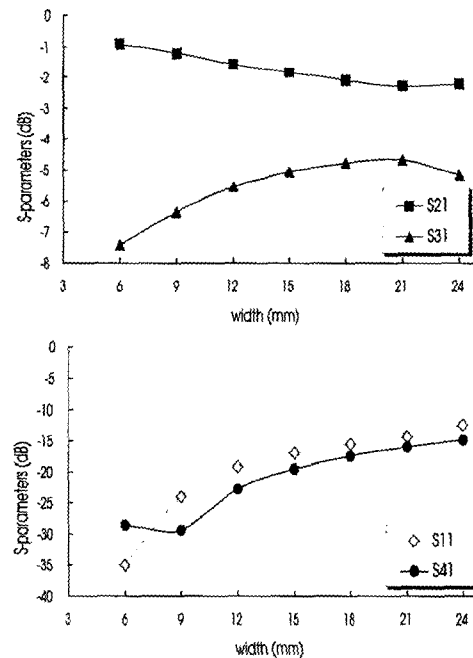


그림 2. 1 GHz에서 일반적인 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 방향성 결합기의 backed conductor의 너비( $l_w$ )에 따른 S-parameter 특성(단  $s=0.4$  mm,  $l=47.2$  mm,  $w=10$  mm,  $d=2$  mm,  $\epsilon_r=4.4$ )

Fig. 2. The computed results about width of backed conductor of the CPW directional couplers with finite-extent backed conductor(s= $0.4$  mm,  $l=47.2$  mm,  $w=10$  mm,  $d=2$  mm,  $\epsilon_r=4.4$ ).

## II. Finite-extent backed conductor의 가운데 부분이 제거된 CPW 결합구조

높은 결합도의 구현을 위해 제안된 finite-extent backed conductor를 가지는 C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안되었던 CPW 결합기는 방향성 특성이 좋지 못하기 때문에, 방향성의 개선을 위한 보상구조가 필요하다. 방향성 특성이 나쁘게 나타나는 것은 방향성 결합기에서의 기 모드와 우 모드의 위상속도 차이에 기인한다. 따라서 각 모드의 위상속도를 조절하여, 결합기에서 동일한 위상속도로 동작하게 한다면 결합기의 방향성은 이상적으로 향상된다. 일반적으로는 특정 모드에서 주로 동작하는 커패시턴스를 추가한다던지 혹은 특정 모드에서 전기적 길이가 더 길게 되거나 짧게 된다면 각 모드의 위상속도가 같아질 수 있게 된다. 첫 번째 예가 Microstrip 방향성 결합기에서의 집중 혹은 분산 소자인 커패시턴스를 추가하는 것이고, 두 번째는 wiggly 라인을 이용하는 것이 대표적인 예이다.

그림 1(b)는 본 본문에서 제안한 finite-extant backed conductor를 가지는 CPW 결합기 구조에서의 방향성 향상을 위한 보상 구조와 그 구조 변수를 나타낸다. 그림에서처럼 backed conductor의 가운데 부분이 제거될 경우, 이 부분에서 결합기의 기 모드 유효 유전율은 크게 감소하며, 우 모드의 유효 유전율은 조금 증가하게 되지만, 거의 유사한 값을 나타내게 된다. 따라서 결합기에서의 기 모드 커패시턴스가 크게 변화하게 되며, 이러한 보상구조로 인하여 기 모드의 전기적 길이가 크게 변화하게 된다. 따라서 어떤 특정 길이만큼 backed conductor의 가운데 부분을 제거해 주면, 결합기에서의 각 모드들의 위상속도는 동일해질 수 있다. 이러한 관계는 방향성이 개선되는 적절한 제거 길이가 존재함을 보임으로서 확인할 수도 있다.

제안된 구조로 보상구조가 되기 위해서는 기 모드와 우 모드의 위상속도가 동일하여야 하므로, 위상속도의 관계로부터 다음 식이 만족하여야 한다.

$$C_{0o}^{ET} = \frac{\epsilon_{reo}}{\epsilon_{ree}} C_{0o}^T \quad (1)$$

여기서  $\epsilon_{reo}$ 와  $\epsilon_{ree}$ 는 각각 기 모드와 우 모드의 유효

유전율을 나타낸다. 그리고  $C_{0o}^{ET}$ 와  $C_{0o}^T$ 는 각각 제안된 backed conductor의 제거 영역을 갖는 CPW 방향성 결합기 구조와 제거영역이 없이 일반적인 backed conductor를 가지는 기존 구조에서의 총 정전용량을 나타낸다. 이러한 총 정전용량은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{0o}^{ET} = 2C_{0o} \ell_n + C_{0o}^E \ell_E \quad (2-1)$$

$$C_{0o}^T = 2C_{0o} \ell_n + C_{0o} \ell_E \quad (2-2)$$

$C_{0o}$ 와  $C_{0o}^E$ 는 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 결합구조에서의 단위길이당 정전용량과 finite-extent backed conductor가 제거된 CPW 결합구조에서의 단위길이당 정전용량을 나타낸다. 그리고  $\ell_n$ 은 제안된 구조에서 finite-extent backed conductor를 가지는 부분의 길이이고,  $\ell_E$ 는 finite-extent backed conductor가 제거된 부분의 길이를 나타낸다.

식 (1)과 (2)로부터 제안된 구조에서의  $\ell_E$ 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\ell_E = \frac{2\left(\frac{\epsilon_{ree}}{\epsilon_{reo}} - 1\right)C_{0o}}{C_{0o}^E - \frac{\epsilon_{ree}}{\epsilon_{reo}}C_{0o}} \ell_n = \frac{A}{A+2} \frac{\lambda_g}{4} \quad (3)$$

단,

$$A = \frac{2\left(\frac{\epsilon_{ree}}{\epsilon_{reo}} - 1\right)C_{0o}}{C_{0o}^E - \frac{\epsilon_{ree}}{\epsilon_{reo}}C_{0o}}$$

$$\frac{\lambda_g}{4} = 2\ell_n + \ell_E = \ell$$

식 (3)에서  $\ell_E$ 가 존재하기 위해서는 기 모드와 우 모드 유효유전율간의 차이가 적을수록 좋다. 또한 길이  $\ell_E$ 는 결합기의 정합특성까지 고려되어 설계되어야 한다. 그림 3은 backed conductor의 제거된 길이  $\ell_E$ 에 따른 1 GHz에서의 결합기의 특성을 보여준다. 여기서  $S_{11}$ 은 정합,  $S_{21}$ 은 전송,  $S_{31}$ 은 결합,  $S_{41}$ 은 격리특성을 나타낸다. 방향성(D)는 다음과 같은 식을 통해 구하여진다.

$$D(\text{dB}) = 20 \log_{10} \frac{S_{31}}{S_{41}} \quad (4)$$

그림에서 보이는 바와 같이 제안된 보상구조를

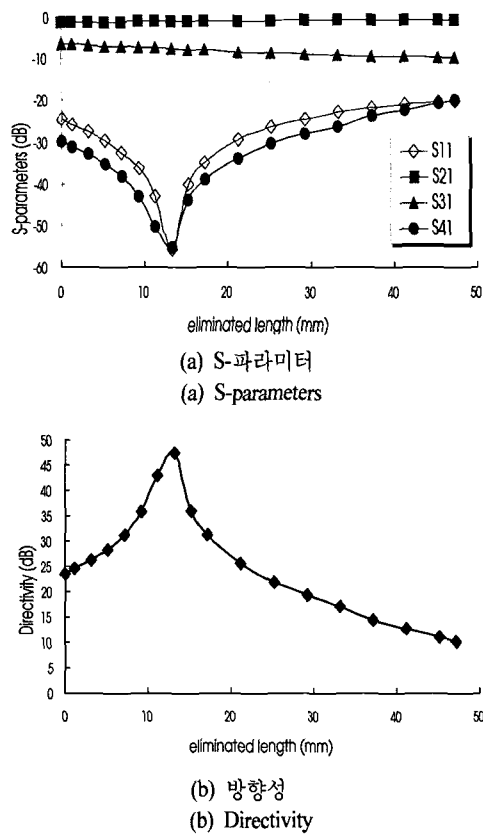


그림 3. 제안된 보상구조를 갖는 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 방향성 결합기에서 backed conductor의 가운데 부분의 제거된 길이에 따른 계산 결과(단  $s=0.4$  mm,  $w=10$  mm,  $d=2$  mm,  $\ell=47.2$  mm,  $\ell_w=9.0$  mm,  $\epsilon_r=4.4$ )

Fig. 3. The computed result for eliminated length of the proposed CPW directional coupler with finite-extent backed conductor(s)(단  $s=0.4$  mm,  $w=10$  mm,  $d=2$  mm,  $\ell=47.2$  mm,  $\ell_w=9.0$  mm,  $\epsilon_r=4.4$ ).

사용하여, 특정한 길이를 제거해 주면 방향성이 개선되며, 정합특성도 좋아짐을 볼 수 있다. 여기서  $\ell_E$ 가 0일 경우는 기존의 C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안된 finite-extent backed conductor가 한 개 있는 구조이며,  $\ell_E$ 가 47.2인 경우는 finite-extent backed conductor가 없는 일반적인 CPW 결합기 구조를 말한다.

### III. CPW 방향성 결합기 설계

II에서 밝힌 바와 같이 finite-extent backed con-

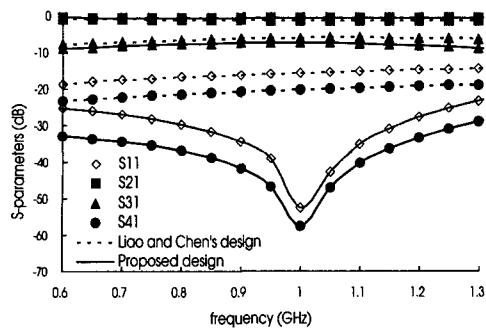
ductor의 가운데 부분을 적절하게 제거할 경우, 향상된 방향성을 갖는 결합기를 구현할 수 있다. 본 논문에서는 기존의 C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안된 finite-extent backed conductor가 한 개 있는 구조와 방향성을 비교하고자, 중심주파수가 1 GHz인 6 dB CPW 방향성 결합기를 설계하였다. 설계에는 두께가 1.6 mm인 FR-4 epoxy 기판( $\epsilon_r=4.4$ )이 사용되었다. 방향성 결합기의 기본구조는 참고논문 [2]의 동일하게 결합영역에서의 신호선의 두께  $w$ 는 10 mm, 신호선 사이의 간격  $d$ 는 2 mm로 설정하였다. 그리고 slot 폭  $s$ 의 값은 가능한 기 모드와 우 모드의 유효유전율 차이를 작게 하기 위해서  $s_r$ 와 같은 값인 0.4 mm로 설정하였다. 그리고 사용된 backed conductor의 너비는 9 mm를 사용하였으며, 보상 구조의 구현을 위해 제거된 길이  $\ell_E$ 는 최적화된 값이 13.2 mm이다. 이러한 설계 변수는 표 1에 자세히 정리하였다. 여기서 backed conductor의 너비를 9 mm로 사용한 것은 그림 2에서 보듯이 backed conductor의 너비가 9 mm일 경우 대략적으로 6 dB 결합기가 구현되기 때문이다. 물론 그림 3에서 보인 바와 같이 보상을 위해 가운데 부분이 제거되면, 결합도가 감소하는 문제가 발생할 수 있지만, 이 문제에 backed conductor의 너비를 넓게 하거나, slot 폭인  $s$  값을 증가시키면 해결될 수 있다.

제안된 구조를 이용하여 설계된 CPW 방향성 결합기는 MoM(Method of Moments)방법의 EM Solver를 이용하여 계산되었다. 설계된 구조의 계산 결과는 그림 4에 나타내었으며, 기존의 C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안된 finite-extent backed conductor가 한 개 있는 구조와 특성을 비교 분석하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 중심주파수인 1 GHz에서 제

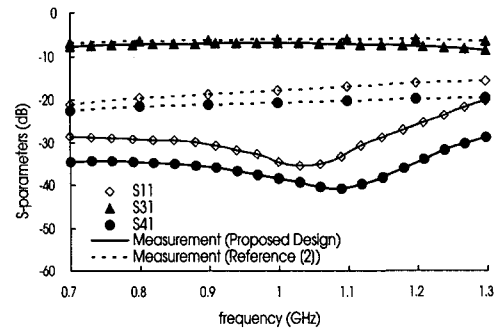
표 1. 향상된 방향성을 위한 보통의 결합도를 갖는 결합기의 설계 변수

Table 1. Design variable for moderate couplers for enhanced directivity.

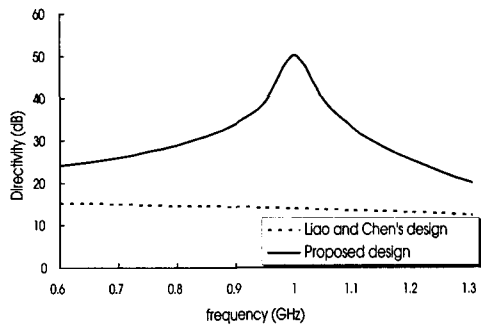
변수	값(mm)	변수	값(mm)
$w_t$	4.0	$s_r$	0.4
$w$	10.0	$s$	0.4
$d$	2.0	$\ell$	47.2
$\ell_w$	9.0	$\ell_E$	13.2



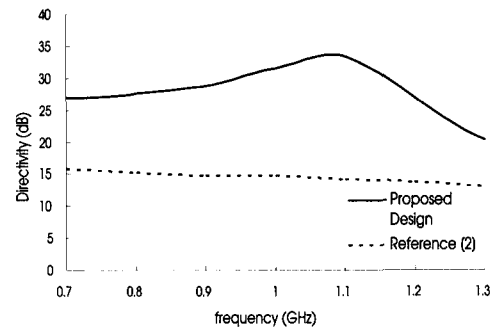
(a) S-파라미터  
(a) S-parameters



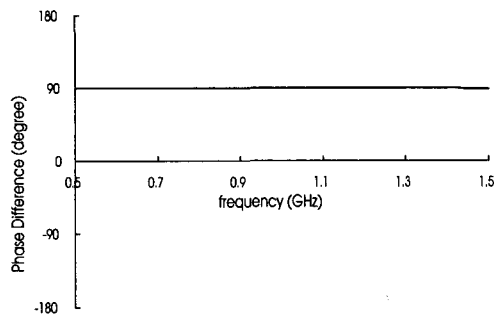
(a) S-파라미터  
(a) S-parameters



(b) 방향성  
(b) Directivity



(b) 방향성  
(b) Directivity



(c)  $S_{21}$ 과  $S_{31}$ 의 위상차  
(c) Phase differences between  $S_{21}$  and  $S_{31}$

그림 4. 제안된 보상구조를 갖는 구조와 일반적인 finite-extent backed conductor를 가지는 CPW 방향성 결합기의 계산된 결과

Fig. 4. The computed result of the conventional(Liao and Chen's) and the proposed CPW directional coupler with finite-extent backed conductor(s).

안된 구조의 방향성은 50 dB로 기존의 구조에 비하여 36 dB 이상 향상되었으며, 정합특성 역시 -55 dB 이하로 우수한 특성을 보여준다. 이 구조를 사용

그림 5. 측정 결과

Fig. 5. The measured results.

할 경우 기존의 구조에 비하여 결합도는 조금 감소하게 되는데, 이는 backed conductor의 제거로 인한 결과이다.  $S_{21}$ 과  $S_{31}$ 의 위상차는 그림 4(c)에 나타내었으며, 0.5 GHz에서 1.5 GHz까지  $90^\circ \pm 0.5^\circ$ 의 특성을 보인다. 따라서 제안된 보상구조를 사용할 경우, 기존의 구조에 비하여, 마이크로파 시스템에서 효율적 이리라 사료된다.

그림 5는 실제 제작되어 측정된 결과를 보여준다. 측정은 vector network analyzer를 이용하여 분석되었다. 측정된 결과는 참고논문 [2]에서 나타난 기존의 구조의 측정값과 비교되었다. MoM 방식의 계산 결과와 마찬가지로, 기존의 구조에 비해 우수한 방향성 특성을 보여주며, 정합 특성도 우수하다. 그림에 나타난 측정결과로 보았을 때, 1.1 GHz에서 기존의 구조에 비해 대략 20 dB 정도 개선의 효과가 있다. 측정값을 MoM 방식의 계산결과와 비교해 볼 때, 정합과 격리의 중심이 고주파 쪽으로 약간 이동하면

서, 특성이 약간 나빠진 것을 볼 수 있는데, 이러한 현상은 다음 몇 가지로 원인을 짚어볼 수 있다. 첫째로는 CPW 결합기 구조에서 coupled-slotline mode와 microstrip-line mode<sup>[2]</sup>가 흐르는 것을 막아주기 위해 wire-bonding을 하게 되는데, 이러한 wire-bonding에 기인한 것으로 볼 수 있다. 실제 사용된 MoM 방식의 EM solver의 계산 시에는 0.8 mm 높이의 완전도체를 사용한 air-bridge 형태로 계산이 되었으며, 제작에는 일반 wire가 사용되었을 뿐만 아니라, 높이도 0.8 mm로 구현하기 힘들었을 뿐만 아니라, wire-bonding의 위치도 일정하게 맞추기 힘들었기 때문이라 보인다. 두 번째 이유로 꼽을 수 있는 것은 MoM 방식의 EM solver의 계산에서는 무한 접지면의 조건하에 계산이 되었지만, 실제 제작 후 측정된 소자는 유한 접지면의 소자이라는 점이다. 실제 유한 접지면 계산 시에는 특성이 고주파 쪽으로 약간 이동한다는 점을 고려해 볼 때 두 번째 이유 역시 한 원인이 될 수 있다. 이러한 차이는 보다 정교한 wire-bonding 기술과 적절한 지그를 사용함으로써 극복할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 finite-extent backed conductor를 사용한 CPW 방향성 결합기에서 backed conductor의 가운데 부분을 제거하여 방향성을 개선하는 보상구조를 제안하였다. 이러한 보상구조는 기 모드의 유효 유전율이 backed conductor가 제거될 경우 크게 감소한다는 점을 이용하여, 기 모드의 전기적길이를 변화시켜 동일한 위상속도를 내도록 한 구조이다. 또한 제안된 구조에서 모드 분석으로부터 각 모드의 위상속도가 일치하는 적절한 길이를 구할 수 있음을 보였다. 또한 제안된 보상 구조를 사용할 경우 방향성이 개선됨을 보이기 위하여 1 GHz를 중심주파수로 하는 보상구조를 가지는 보통의 결합도를 갖는 CPW 방향성 결합기를 최적화하여 설계하였다. 설계된 결합기는 MoM 방식의 Em solver인 Ensemble을 이용하

여 계산한 결과, 기존의 C. -L. Liao와 C. H. Chen에 의해 제안된 구조와 비교하여 방향성이 36 dB 이상 개선되었다, 측정결과 역시 기존의 구조보다 20 dB 이상 개선됨을 확인하였다. 또한 제안된 보상 구조를 이용할 경우 방향성의 개선과 함께 정합특성도 좋아지므로, 이러한 보상구조를 이용한 CPW 방향성 결합기의 설계가 마이크로파 시스템에서 기존의 구조에 비해 보다 효율적으로 동작하리라 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] C. P. Wen, "Coplanar-waveguide directional couplers", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 18, pp. 318-322, Jun. 1970.
- [2] C. -L. Liao, C. H. Chen, "A novel coplanar-waveguide directional coupler with finite-extent backed conductor", *IEEE Tans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, no. 1, pp. 200-206, Jan. 2003.
- [3] K. -K. M. Cheng, "Analysis and synthesis of coplanar coupled lines on substrates of finite thicknesses", *IEEE Tans. Microwave Theory Tech.*, vol. 44, no. 4, pp. 636-639, Apr. 1996.
- [4] T. Kitazawa, R. Mittra, "Quasi-static characteristics of asymmetrical and coupled coplanar-type transmission lines", *IEEE Tans. Microwave Theory Tech.*, vol. 33, no. 9, pp. 771-778, Sep. 1985.
- [5] G. Ghione, C. U. Naldi, "Coplanar waveguide for MMIC applications: Effect of Upper Shielding, conductor backing, finite-extent ground planes, and line-to-line coupling", *IEEE Tans. Microwave Theory Tech.*, vol. 35, no. 3, pp. 260-267, Mar. 1987.
- [6] M. Dydyk, "Microstrip directional couplers with ideal performance via single-element compensation", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, no. 6, pp. 956-964, Jun. 1999.
- [7] R. Mongia, I. J. Bahl and P. Bhartia, *RF and microwave coupled-line circuits*, Artech House, 1999.

박 정 훈



1984년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년 8월: 아주대학교 전자공학과 박사과정 수료  
1984년~1987년: 삼성전기(주) 연구원

1987년~1992년: 한국전자통신연구원 연구원  
1992년~1994년: SK 텔레콤 연구원  
1993년~현재: 전기통신 기술사  
1994년 8월~현재: 시립 인천전문대학 정보통신과 교수  
[주 관심분야] 이동통신, 초고주파통신

최 경 민



1998년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과  
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 등

이 창 언



1998년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
2000년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)  
2000년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 박사과정  
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 능동 및 수동소자 개발 등

신 철 재



1964년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1968년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
1967년~1970년: 동양공업전문대 교수

1970년~1977년: 광운대학교 교수  
1986년~1987년: Florida University 객원교수  
1977년~현재: 아주대학교 전자공학과 교수  
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, 초고주파 통신부품 개발, 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC, 전파전파 등