

## 방향성결합기의 소형화를 위한 가유전체 기판구조의 응용

임종식<sup>\*</sup>, 구자경<sup>1</sup>, 이 준<sup>1</sup>, 이재훈<sup>1</sup>, 안 달<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>순천향대학교 전기통신공학과

## An Application of Artificial Dielectric Substrate for Design of Size-reduced Directional Couplers

Jongsik Lim<sup>\*</sup>, Jakyung Koo<sup>1</sup>, Jun Lee<sup>1</sup>, Jaehoon Lee<sup>1</sup> and Dal Ahn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Elec. and Comm. Eng, Soonchunhyang University

**요 약** 본 논문에서는 가유전체 기판구조의 증가하는 유효 유전율 효과를 이용하여 방향성결합기를 소형화하여 설계하는 것에 대하여 기술한다. 방향성결합기는 RF 신호의 크기를 간접적으로 측정하거나 신호전력을 결합하는데 널리 사용되는 회로이다. 가유전체 기판구조는 다수의 도금된 비어홀에 의하여 표준형 기판보다 유효 유전율이 증가하는 특성을 지니는데, 이 특성이 바로 회로 소형화에 이용된다. 한 예로써 2GHz대에서 15dB의 결합계수를 갖는 방향성결합기가 표준형 기판과 가유전체 기판구조에 대하여 각각 설계되고 그 크기가 비교된다. 표준형 회로와 비교할 때, 가유전체 기판구조로 소형화된 방향성결합기는 동일한 성능을 유지하면서도 1/3로 줄어든 회로의 크기를 갖는다. 또한 소형화된 방향성결합기를 제작하여 측정한 성능은 예측 결과와도 매우 유사함을 보여준다. 측정한 성능 결과는 2GHz대에서 -14.62dB의 결합도, -24.1dB의 정합도, -0.38dB의 삽입손실 특성을 보여준다.

**Abstract** This paper describes the design of size-reduced directional coupler using the artificial dielectric substrate and its increased effective permittivity. Directional couplers are widely used in measuring RF power indirectly and coupling signal power. Artificial dielectric substrates have higher effective dielectric constant than standard dielectric substrate due to the lots of metalized via-holes, and the increased effective permittivity results in size-reduction of circuits. As a design example, 15dB directional couplers are designed on the standard substrate and artificial dielectric substrate and their size are compared. The size of the directional coupler using the artificial dielectric substrate is only 1/3 of that designed using the standard substrate, while the performances are preserved. In addition, the measured performances of the size-reduced coupler are well agreed with the simulated ones. The measured coupling coefficient, matching, and insertion loss at 2GHz are -14.62dB, -24.1dB, and -0.38dB, respectively.

**Key Words** : Directional couplers, Artificial dielectric substrate, ADS, Microstrip

### 1. 서론

무선통신 시스템용 초고주파 회로를 설계하기 위한 기본적인 기판이나 전송선로 구조는 유전상수(비유전율)가  $\epsilon_r$ 인 유전체 층을 사이에 두고 양쪽의 금속층을 갖는 마이크로스트립(microstrip) 선로 구조를 기본으로 하고 있다. 어떤 기판이 주어지면 그 기판 위에서 설계되는 모든 전송선로 및 회로소자는 그 기판의 유전체가 갖는 비유

전율 및 표준적인 유효유전율이 모두 적용된다. 따라서 주어진 기판에 대하여 어떤 특정한 주파수에서의 크기는 예측 가능하며, 이 크기는 표준적이다.

그런데 마이크로스트립 기판구조에 있어서 그림 1에 보인 것처럼 의도적으로 유전체 층을 분리하여, 윗층 유전체의 상면 금속층(metal layer)에 마이크로스트립 전송선로를 구현하고 아래층 유전체의 하면 금속층에 접지면을 형성한 후, 여기에 다시 아래층 유전체를 관통하는 다

\*교신저자 : 임종식(jslim@sch.ac.kr)

접수일 11년 04월 28일

수정일 11년 06월 15일

게재확정일 11년 07월 07일

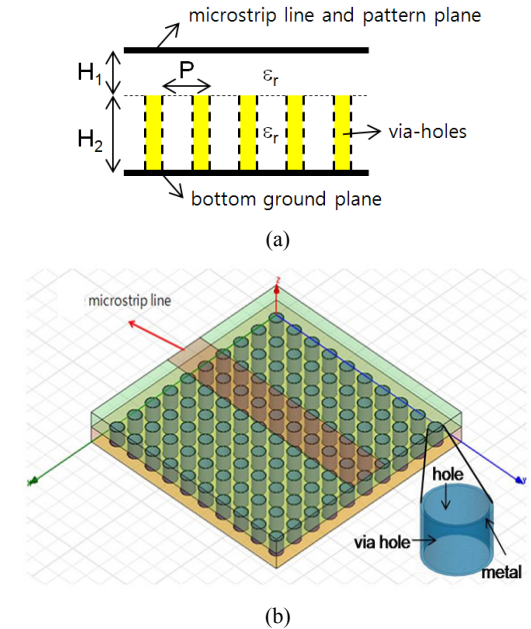
수의 비어홀을 주기적으로 인가하여, 결과적으로 유효유전율이 크게 증가한 전송선로 구조가 발표된 적이 있다 [1-6]. 이러한 구조는 설계자가 의도적으로 변형을 가한 결과이므로 가유전체 기판(Artificial Dielectric Substrate, ADS) 또는 기판적층형 가유전체(Substrate Integrated Artificial Dielectric, SIAD) 구조라고 한다. 이 구조에서는 서로 맞닿는 두 개의 유전체 층에서 고유의 전기적 특성이 합성되어 하나의 새로운 유전체로서의 특성이 도출되는데 대표적으로 유효유전율(effective permittivity,  $\epsilon_{eff}$ )이 증가하게 된다. 유효유전율이 증가하면, 마치 비유전율( $\epsilon_r$ )이 큰 어떤 새로운 기판이 주어진 것과 동일한 상황이 되므로, 이를 회로의 소형화 설계에 유용하게 이용할 수 있다.

어느 특정한 비유전율을 갖는 유전체 기판이 주어진 상황에서 비유전율을 변형할 수 있는 가유전체 기판구조의 개념은 오래 전에 제시되었으나, 연구 초창기에는 설계에 필요한 전자기적 계산량이 엄청나게 커서 설계기술이 미흡했고, 또한 이를 실험적으로 정밀하게 제작하여 측정하기에는 기술적인 한계가 있었기 때문에, 그 응용분야가 매우 제한적이어서 잘 알려지지 않았다[1-4]. 그러나 최근에 평면형 구조에서 적용할 수 있는 가유전체 기판구조가 제안되었고, 마이크로스트립 구조를 기본으로 하는 적층형 회로를 구성하는 방법들이 제안되었다[5,6]. 또한 가유전체 기판구조에 대하여 비어홀의 배열에 따라 변화하는 특성 임피던스를 계산하는 연구결과가 발표되어 가유전체 기판구조의 회로 응용 연구에 많은 도움을 주고 있다[7].

한편, 무선으로 이루어지는 각종 통신, 방송 및 데이터 서비스 시스템에 있어서 방향성결합기(directional coupler)는 고출력 무선신호의 측정 및 모니터링(monitring), 주파수 혼합기와 같은 회로에서의 특정 신호의 결합, 그리고 여러 시스템에서 불필요한 반사에 의한 역방향 진행 신호의 검출 등의 용도로 널리 사용되고 있다. 최근 들어서 무선통신용 각종 시스템이나 장비들에 있어서 소형화, 경량화의 요구사항이 더욱 가중되고 있으므로, 이에 발맞추기 위하여 시스템을 구성하는 개별 무선회로들의 소형화 설계에도 여전히 무시할 수 없는 요구사항이 되고 있다.

이에 본 논문에서는 무선통신용 시스템이나 장비 등에 널리 사용되는 방향성결합기를 소형화하여 설계해 보고자 가유전체 기판구조를 적용한 연구 결과에 대하여 제시한다. 본 연구에서는 이를 위하여 먼저 선행연구들에서 언급된 가유전체 기판의 구성 및 특징, 그리고 무선통신용 방향성결합기에 대하여 개략한다. 이어서 표준형 기판과 가유전체 기판에서 방향성결합기를 설계하여 그 결과

를 비교하고, 이어서 실제로 제작 및 측정한 결과를 제시한다. 이로써 표준형 마이크로스트립 선로구조를 이용한 경우와 비교할 때 동일한 주파수에서 유사한 성능을 유지하면서도 소형화된 방향성결합기가 설계될 수 있음을 보이고자 한다.



[그림 1] 가유전체 기판에서의 마이크로스트립 전송선로의 구조 (a)단면도 (b)3차원적 모습

[Fig. 1] Microstrip line structure with the artificial dielectric substrate (a)side view (b)3-dimensional view

## 2. 적층형 가유전체 기판구조

그림 1은 가유전체 기판에서의 마이크로스트립 전송선로 구조에 대한 단면도와 3차원적인 그림을 보인 것이다. 두 유전체 층의 두께를 각각  $H_1$ ,  $H_2$ 라 하고, 두 유전체 층의 비유전율을  $\epsilon_r$ 라 하자. 원칙적으로 두 유전체의 비유전율이 서로 달라도 되지만 보통 같게 하는 것이 편리하다. 두께  $H_1$ 은 보통  $H_2$ 보다 얇은데, 그 이유는 비어홀에 의한 추가적인 등가 커패시턴스 및 이로 인한 유효유전율의 증가가 마이크로스트립 선로에 잘 영향을 미치지 않도록 하기 위함이다. 윗층 유전체의 윗면에는 마이크로스트립 전송선로나 회로 패턴이 구현되고, 아래층 유전체의 아랫면은 금속층이 넓게 분포하여 접지면을 이룬다. 두 유전체 층이 맞닿는 면의 금속층은 제거되므로 마치 두께가 " $H_1+H_2$ "인 하나의 유전체가 존재하는 것처럼 보인다.

가유전체 기판구조에서는 다수의 비어홀이 그림 1에 보인 것처럼 주기적으로 구현되며, 비어홀 내부에는 금속 벽이 원통형으로 존재하는 구조를 취하는데, 이런 구조를 가져야만 비어홀 내부에 축적되는 개별 커패시턴스가 전체 전송선로의 단위 길이당 등가 커패시턴스의 증가에 쉽게 기여하기 때문이다. 따라서 단위 길이당 등가 커패시턴스의 증가는 곧 유효유전율의 증가로 이어지므로, 결국에는 최초로 주어진 비유전율보다 더 증가한 새로운 값의 유효 유전율을 갖게 하는 이유가 된다.

이러한 적층형 가유전체 기판구조의 전송선로에서는 다수의 비어홀에 의한 유효유전율의 증가뿐만 아니라, 단위 길이당 전류의 분산효과로 인한 유효 인덕턴스의 증가 및 이로 인한 유효투자율(effective permeability,  $\mu_{eff}$ )이 증가하는 현상도 함께 얻을 수 있다. 따라서 유효유전율과 유효투자율이 함께 증가하여 결과적으로  $\eta_{eff} = \sqrt{\epsilon_{eff}\mu_{eff}}$ 로 표현되는 유효굴절률이 증가하게 된다. 이때의 전송선로에서 관내 파장은  $\lambda_g = \lambda_0/\eta_{eff}$ 이므로, 표준형 전송선로와 비교할 때  $(\lambda_0/\eta_{eff}) < (\lambda_0/\eta_{standard})$ 의 관계로 인하여 길이가 더 짧아지게 된다. 또한 유효 특성 임피던스는  $Z_{0,eff} = \sqrt{\mu_{eff}/\epsilon_{eff}}$ 으로 표현되는데, 이 때 유효유전율의 증가가 더 두드러지므로, 표준형 전송선로의 경우보다 더 낮아지는 경향이 있다. 실제로 유효투자율의 변화가 상대적으로 경미하므로 이를 무시하더라도, 유효유전율의 증가현상만으로도 회로의 소형화를 얻을 수 있다.

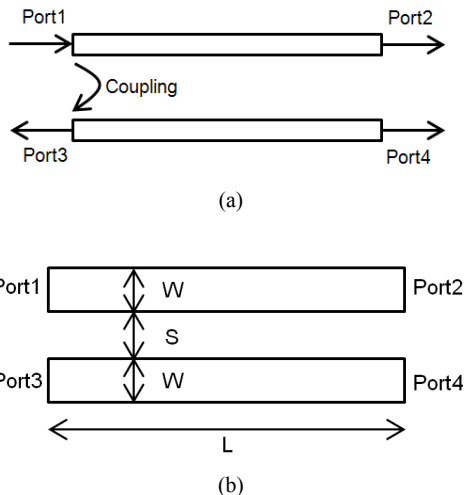
한 예로서 비유전율이 2.2이고  $H_1$ ,  $H_2$ 가 각각 5mils, 31mils인 유전체 기판을 이용하여 50Ω의 특성 임피던스를 갖는 마이크로스트립 전송선로를 설계하는 경우를 살펴보자. 표준형 마이크로스트립 기판의 경우에 50Ω 선폭은 2.77mm이며, 2GHz에서 1파장( $\lambda_g$ )은 109.5mm이다. 그러나 비어홀의 지름을 0.8mm로 하고 피치 등간격(P)을 1.3mm로 한 가유전체 기판구조에서 50Ω 마이크로스트립 선로의 선폭은 1.28mm이고, 2GHz에서 1파장( $\lambda_g$ )은 83.8mm이다. 표준형 기판에서 1.28mm의 선폭은 80Ω에 해당하는 선로의 선폭이다. 비교 결과, 가유전체 기판의 전송선로에서 선폭과 길이가 각각 54%, 23%만큼 크게 감소했는데, 이로부터 가유전체 기판을 무선통신용 회로에 응용할 때 회로의 크기가 대폭 감소할 수 있음을 예상할 수 있다.

### 3. 방향성결합기 회로의 구조

본 장에서는 무선통신 분야에서 널리 사용되는 방향성

결합기에 대하여 간략히 개괄하고자 한다. 그림 2(a)는 방향성결합기의 구조를 보여주는 개략도이다[8]. 단자1로 입사된 신호전력은 단자2(through port 또는 direct port)로 직접 전송되는데, 이 때 삽입손실(insertion loss)은 S21(dB) 값으로 나타난다. 방향성결합기의 본래적인 역할이라 할 수 있는 신호의 결합(coupling)은 단자1로 입사한 전력에 대하여 단자3에서 발생한다. 결합도 또는 결합계수(coupling coefficient)는 원하는 소량의 신호전력이 단자3(coupling port)에 나타나는 정도를 의미하는데 S31(dB) 값으로 나타난다. 한편 단자4는 입력단자에 입사된 신호전력이 전달이 되지 않는 격리단자(isolation port)를 의미하며 S41(dB)로 나타난다. 이상적으로 단자4에는 어떤 신호도 나타나서는 안되는데, 실제로는 미약한 신호가 누설(leakage)되어 단자4에 나타난다.

방향성결합기를 마이크로스트립 구조로 구현할 때는 그림 2(b)와 같은 구조를 취하게 된다. 어떤 주어진 기판(두께가 H이고 비유전율이  $\epsilon_r$ )에 대하여 선폭이 W이고 간격이 S인 두 개의 나란한 마이크로스트립 선로가 방향성결합기를 구성한다. L은 설계하고자 하는 주파수에서 90도의 전기적 길이를 갖는 길이를 의미한다. 한편 W와 S는 주어진 기판 정보, 그리고 설계하고자 하는 결합계수에 따라 결정된다[9-11]. 그러나 본 논문의 목적은 방향성결합기에 관한 자세한 이론을 설명하는 것이 아니라, 방향성결합기를 가유전체 기판구조로 소형화할 수 있음을 보이고자 하는 것이므로, 방향성결합기에 대한 이론적 개략은 여기서 마치고자 한다.



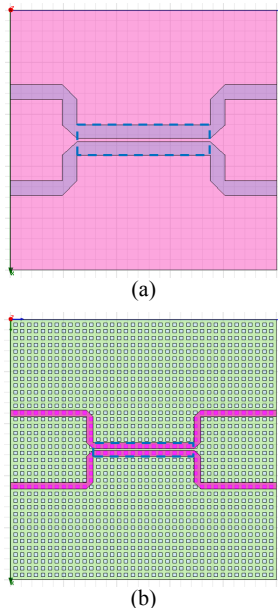
[그림 2] 방향성결합기의 구조 (a)schematic 회로 (b)마이크로스트립 회로

[Fig. 2] Structure of directional couplers (a)schematic circuit (b)microstrip line circuit

### 4. 방향성결합기의 소형화 설계 및 제작

이제 가유전체 전송선로 구조를 이용하여 방향성결합기를 소형화하여 설계한 결과에 대하여 기술하고자 한다. 먼저 소형화하기 이전에 표준형 마이크로스트립 전송선로 구조를 이용하여 2GHz 대역의 15dB 방향성결합기를 설계하였다. 널리 알려진 수식에 의하여 계산하면, 15dB 결합기는 0.178의 결합계수(C)를 가져야 한다[8]. 단자 임피던스를 50Ω으로 취하면 잘 알려진 수식에 의하여 결합선로의 우/기모드 임피던스(even/odd mode impedance, Z<sub>oe</sub>, Z<sub>oo</sub>)를 각각 구할 수 있는데, 계산 결과 각각 59.85 Ω, 41.77Ω을 얻을 수 있다. 이 데이터를 이용하여 표준형 기판으로 2GHz에서 15dB 방향성결합기를 설계할 수 있다.

그림 3(a)는 50x50mm<sup>2</sup>의 크기를 갖는 표준형 마이크로스트립 기판에 설계한 15dB 방향성결합기의 레이아웃(layout)을 보여주고 있다. 설계 결과 W=2.6mm, S=0.6mm, L=27.6mm의 치수를 얻었다. 50Ω 피딩(feeding) 선로의 폭은 2.77mm인데, 네 단자에 연결되는 피딩 선로를 제외한 순수한 결합기 부분이 차지하는 면적은, 그림 3(a)의 점선 사각형으로 표시한 바와 같이 27.6x5.8mm<sup>2</sup>(=160.08mm<sup>2</sup>)이다.

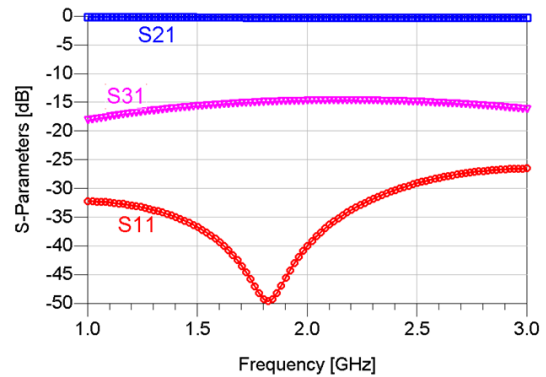


[그림 3] 50x50mm<sup>2</sup>의 기판에 설계된 방향성결합기의 레이아웃 (a)표준형 마이크로스트립 회로 (b)가유전체 기판으로 소형화한 회로

[Fig. 3] Layout of the directional couplers on the 50x50mm<sup>2</sup> substrate (a)circuit with the normal microstrip line (b)size-reduced circuit with the artificial dielectric substrate

이제 그림 3(a)의 회로를 가유전체 기판구조를 적용하여 소형화한 결과에 대하여 기술해 보기로 하자. 전술하였듯이 본 연구에서는 비유전율이 2.2이고 H<sub>1</sub>, H<sub>2</sub>가 각각 5mils, 31mils인 유전체 기판을 이용하여 가유전체 기판 구조를 설계한다. 또한 비어홀의 지름과 피치 간격이 각각 0.8mm, 1.3mm인 가유전체 기판구조가 사용된다.

그림 3(b)는 가유전체 기판구조에 설계된 15dB 방향성결합기의 레이아웃을 보여주고 있다. 측정 및 비교의 편의를 위해 50x50mm<sup>2</sup>의 크기를 갖는 정사각형 기판에 구현하였다. 설계 결과는 W=1.17mm, S=0.27mm, L=21.3mm의 치수를 보여준다. 또한 50Ω 피딩(feeding) 선로의 폭은 1.28mm인데, 피딩 선로를 제외한 순수한 결합기 부분이 차지하는 면적은, 그림 3(b)의 점선 사각형으로 표시한 바와 같이 21.3x2.61mm<sup>2</sup>(=55.59mm<sup>2</sup>)이다. 가유전체 기판구조를 이용하여 설계한 방향성결합기를 표준형 기판에 설계한 것과 비교해 보면, 50Ω 연결선로를 제외한 순수한 결합기 부분의 면적의 경우에 거의 1/3 수준으로 줄어들었음을 알 수 있다. 이와 같이 회로가 소형화된 이유는 상기 2장에서 설명했듯이 가유전체 기판 구조에서는 유효유전율이 증가한 효과가 있기 때문이다.

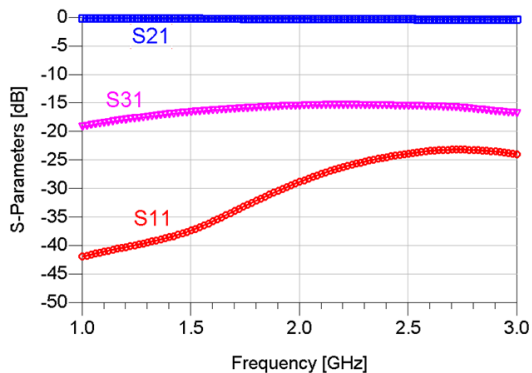


[그림 4] 표준형 방향성결합기의 설계 특성  
[Fig. 4] Simulated characteristics of the normal directional coupler

그림 4는 그림 3(a)에 보인 표준형 방향성결합기의 설계 특성을 보여주고 있다. 중심주파수 2GHz에서 -15dB의 결합도(S31)를 보여주고 있다. 회로의 성능을 분석하기 위하여 HFSS 및 ADS Momentum으로 전자기적 시뮬레이션(electromagnetic (EM) simulation)을 수행하였다.

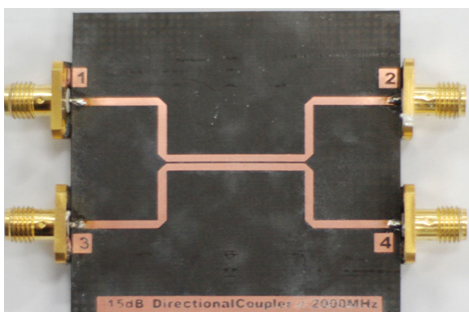
그림 5는 그림 3(b)에 보인, 가유전체 기판구조로 소형화하여 설계한, 방향성결합기의 설계 특성을 보여주고 있다. 마찬가지로 2GHz에서 -15dB의 결합도(S31)를 보여주고 있으며, 여전히 -25dB 이하의 우수한 입력 반사계수

를 보여주고 있다. 그림 5를 그림 4와 비교할 때 마치 S11에 큰 변화가 있는 것처럼 보이나, 이는 다수의 비어홀에 의한 미미한 차이이며, 여전히 S11이 -30dB 근처이므로 무시할 만한 차이라 할 수 있다.

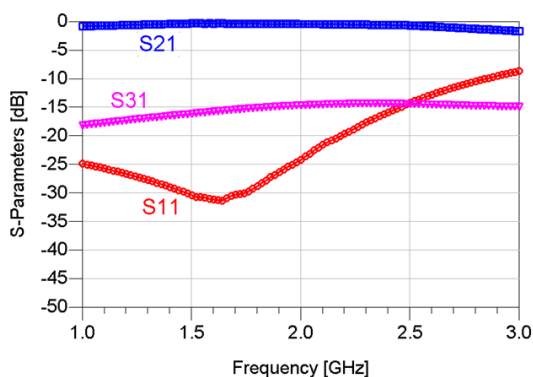


[그림 5] 가유전체 기판으로 소형화된 방향성결합기의 결합기의 설계 특성  
 [Fig. 5] Simulated characteristics of the size-reduced coupler with the artificial dielectric substrate

그림 6은 가유전체 기판으로 소형화된 방향성결합기를 직접 제작한 사진을 보여준다. 사진에는 아래층 기판에 구현된 비어홀이 보이지 않으나 실제로는 다수의 비어홀이 주기적으로 구현되어 있으며, 윗면 기판의 상면에는 그림 6에 보이는 대로 회로의 패턴이 구현되어 있다. 프로토타입(prototype) 회로 제작은 실험실 내 제작 공정(in-house fabrication)을 이용하였으므로 회로의 정밀도에 있어서 다소 불리하지만, 본 논문에서 제시하고자 하는 소형화 설계의 목적을 충분히 뒷받침할 만한 데이터 확보에는 문제가 없다.



[그림 6] 50x50mm<sup>2</sup> 크기의 기판에 구현된 가유전체 기판으로 소형화된 방향성결합기의 제작 사진  
 [Fig. 6] Photo of the fabricated size-reduced coupler with the artificial dielectric substrate realized on the 50x50mm<sup>2</sup> substrate



[그림 7] 가유전체 기판으로 소형화된 방향성결합기의 측정 특성  
 [Fig. 7] Measured characteristics of the size-reduced coupler with the artificial dielectric substrate

그림 7은 E5071B 벡터 회로망 분석기(vector network analyzer)를 이용하여 제작한 회로의 성능을 측정한 결과를 보여주고 있다. 측정 결과 -14.64dB의 결합도와 -24dB 이하의 정합도, 그리고 0.38dB의 삽입손실(insertion loss, S21) 특성을 보여주고 있다. 소형화된 방향성결합기는 목표로 하는 -15dB와 매우 유사한 결합도 성능을 보임을 알 수 있다. 표 1에는 EM 시뮬레이션한 표준형 결합기와 적층형 가유전체 기판으로 소형화된 결합기의 시뮬레이션 및 측정 성능이 정리되어 있다. 측정된 결합도 성능의 오차가 불과 0.1~0.2dB 이내일 정도로 우수한 결과를 보여준다.

[표 1] 방향성결합기의 시뮬레이션 및 측정 결과비교 (@2GHz)  
 [Table 1] Comparison of the simulated and measured characteristics of directional couplers (@2GHz)

	표준형 결합기 시뮬레이션	소형화된 결합기 시뮬레이션	소형화된 결합기 측정
S(1,1)[dB]	-39.5	-28.9	-24.1
S(2,1)[dB]	-0.14	-0.221	-0.384
S(3,1)[dB]	-14.992	-14.673	-14.642

## 5. 결론

본 논문에서는 적층형 가유전체 기판구조의 단위 길이 당 커패시턴스 증가에 따른 유효유전율의 증가현상 때문에 마이크로스트립 전송선로가 소형화되는 원리를 이용

하여, 무선통신용 방향성결합기를 소형화하는 연구 결과를 기술하였다. 가유전체 기판구조는 다수의 비어홀에 의한 추가적인 커패시턴스 때문에 유전체 기판의 유효유전율이 증가하는 특성을 가지므로 이를 이용하면 무선통신용 초고주파 회로의 소형화가 가능하다. 한 예로 2GHz대에서 15dB의 결합도를 갖는 방향성결합기를 표준형 기판과 가유전체 기판으로 설계하여 비교한 결과, 가유전체 기판을 이용한 경우에 순수한 결합기 부분의 면적이 표준형의 1/3 정도로 감소함을 알 수 있었다. 또한 소형화된 결합기를 직접 제작 및 측정한 결과, 표준형에 비하여 뒤떨어지지 않는 성능을 보였다. 소형화된 방향성결합기의 측정된 결합도, 입력정합도, 삽입손실은 각각 -14.62dB, -24.1dB, -0.38dB로 시뮬레이션에 비하여 대등한 수준의 성능값을 가졌다. 본 논문에서 제안한 무선회로의 소형화 방법은 그 응용범위가 넓으므로 향후에도 지속적인 연구가 이루어질 예정이다.

### References

[1] W. E. Kock, "Metallic delay lenses," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, pp. 58-82, 1948.

[2] S. B. Cohn, "Analysis of the metal strip delay structure for microwaves lenses," *J. Appl. Phys.*, vol. 20, pp. 257 - 262, Mar. 1949.

[3] S. B. Cohn, "The electric and magnetic constants of metallic delay media containing obstacles of arbitrary shape and thickness," *J. Appl. Phys.*, vol. 22, pp. 628 - 634, May 1951.

[4] S. B. Cohn, "Microwave measurements on metallic delay media," *Proc. IRE*, vol. 41, pp. 1177 - 1183, Sep. 1953.

[5] Martin Coulombe, Hoang V. Nguyen, and Christophe Caloz, "Substrate Integrated Artificial Dielectric (SIAD) Structure for Miniaturized Microstrip Circuits", *IEEE. Ant. and Wireless Prop. Lett.*, vol. 6, pp. 575-579, 2007.

[6] I. Awai, H. Kubo, T. Iribe, D. Wakamiya, and A. Sanada, "An artificial dielectric material of huge permittivity with novel anisotropy and its application to a microwave BPF", *IEEE Int. Microwave Symposium*, Philadelphia, PA, Jun. 9-13, 2003, pp. 1085-1088.

[7] 구자경, 임종식, 안달, "기판적층형 가유전체를 이용한 소형화된 월킨슨 전력분배기 설계", *한국산학기술학회 논문지*, 10권, 7호, pp. 1542~1548, 2009년 7월.

[8] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3/e, Section

7.6, pp. 337-349.

[9] H. Howe, *Stripline Circuit Design*, Artech House, Dedham, Mass., 1974.

[10] K. C. Gupta, R. Garg, and I. J. Bahl, *Microstrip Lines and Slot Lines*, 2/e, Artech House, Dedham, Mass., 1996.

[11] L. Young, "The Analytical Equivalence of the TEM-Mode Directional Couplers and Transmission-Line Stepped Impedance Filters," *Proc. IEEE*, vol. 110, pp. 275-281, Feb. 1963.

### 임종식(Jongsik Lim)

[종신회원]



- 1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 2005년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 재직중

<관심분야>

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

### 구자경(Jakyung Koo)

[준회원]



- 2008년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2010년 2월 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 (공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : (주)브로던 재직중

<관심분야>

초고주파 무선 능동/수동 회로/부품 설계 분야 등

**이 준**(Jun Lee)

[준회원]



- 2010년 2월 : 순천향대 정보기술공학부 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 순천향대 대학원 전기통신시스템공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

초고주파 무선 능동/수동 회로/부품 설계 분야 등

**이 재훈**(Jaehoon Lee)

[준회원]



- 2010년 2월 : 순천향대 정보기술공학부 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 순천향대 대학원 전기통신시스템공학과 석사과정 재학중

<관심분야>

초고주파 무선 능동/수동 회로/부품 설계 분야 등

**안 달**(Dal Ahn)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1990년 8월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 8월 ~ 1992년 8월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1992년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 재직중

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등