

# 개선된 전력 분배율을 갖는 태극형 방향성 결합기에 관한 연구 (A Study on the Taegeuk shaped Directional Coupler with Improved Power Split Ratio)

양 규 식\* · 오 양 현\*\* · 이 종 악\*\*

## 要 約

본 논문에서는 태극 모양의 새로운 방향성 결합기를 고안하여 높은 전력 분배율을 실현할 수 있음을 실험을 통하여 입증하였다.

제안된 태극형 방향성 결합기는 하이브리드 링형 방향성 결합기의  $3\lambda/4$  부분을 적극적으로 활용하기 위하여 태극 모양의 구조를 취했으며, 우수 기수 모드 해석법을 이용하여 완전정합과 분리 조건을 만족하는 각 지로의 어드미턴스를 구하였다.

그 결과 마이크로 스트립 라인으로 제작 가능한 저항의 범위 내에서 이미 발표된 연구 결과<sup>(1), (2)</sup>와 같은 크기의 회로 면적내에서도 훨씬 높은 전력 분배율(최대 28 dB)을 실현할 수 있음을 알았으며, CGP-502 기판을 이용하여 중심 주파수 10 GHz에서 0, 8, 16 dB 전력 분배율을 갖는 태극형 방향성 결합기를 설계 제작하고 실험을 하여 이론의 타당성을 확인하였다.

## ABSTRACT

This paper propose a new taegeuk shaped directional coupler and verify the possibility of high power division rate in those directional coupler through the experiments.

We took the taegeuk shaped structure in those proposed directional coupler to utilize a  $3\lambda/4$  section of hybrid ring directional coupler actively, and calculated the branch admittances, which satisfied the condition of perfect matching and isolation in the center frequency, by even odd mode analyzing methodes.

On the result, we knew that it can be realized a much higher power division rate than reported result<sup>(1), (2)</sup> in same circuit area within the producible resistance limit in the microstrip line, made the taegeuk shaped directional couplers with 0, 8, 16 dB power split ratio in the 10 GHz frequency using CGP-502 plate, and confirmed the validity of theory through the experiments.

## I. 서 론

---

正會員, 韓國 海洋大學 電子通信工學科  
(Dept. of Electronic communication Eng., Korea Maritime Univ.)

\*正會員, 建國大學校 電子工學科  
(Detp. of electronic Eng., Konkuk Univ.)

마이크로 스트립 라인을 이용한 방향성결합기의 대표적인 예는 1/4파장 평행선형 결합기, 1/4파장 브랜치라인형 결합기 및 하이브리드 링형 방향성 결합기 등이 있는데 통산 등전력 분배기(3dB 방향성 결합기)에 많이 이용되고 있다.<sup>(1), (3)</sup>

이들 방향성 결합기를 임의의 전력 분배기로 이용하기 위해서는 평행선로의 간격을 조정하거나 각 지로의 임피던스를 조절해야 하는데, 이때 선로의 간격이 너무 좁거나 임피던스가 너무 클 때는 제작상 정밀도의 제한을 받게 되며, 임피던스가 너무 작을 때는 선로의 폭이 넓어져서 트랜스버스 모드의 영향을 받게되므로 역시 제작의 한계가 있게 된다.

따라서 마이크로 스트립 라인으로 제작 가능한 선로의 폭은 임피던스 값으로 환산할 때, 사용 기판의 재료와 주파수에 따라서 차이가 있지만, 대개 20-125Ω 정도로 제한되고 있다.<sup>(4), (5)</sup>

그러나 A.K.Agrawal 등은 마이크로 스트립 라인으로 제작 가능한 임피던스의 상한을 150Ω으로 규정하고, 그 범위내에서 하이브리드 링형 방향성 결합기의 지로 임피던스를 적당히 조절하면 최대 13dB까지의 전력 분배율을 실현할 수 있다고 발표한 바 있다.<sup>(2)</sup>

이에 저자들은 하이브리드 링형 방향성 결합기를 2중으로 조합한 태극무늬 모양의 새로운 형태의 방향성 결합기(이하 태극형 방향성 결합기라 부름)를 고안하여 설계 중심 주파수에서 최대 28dB의 전력 분배율을 실현할 수 있음을 우수 기수 모드 해석법을 이용하여 해석하고 실험을 통하여 이론의 타당성을 입증하였다.

## II. 태극형 방향성 결합기의 해석

태극형 방향성 결합기를 하이브리드 링형 방향성 결합기의 3λ/4 부분을 적극적으로 활용한 변형된 브랜치라인형 방향성 결합기로서 외형상의 특징을 살려서 태극형 방향성 결합기라 칭하였으며 그림 1과 같은 구조를 갖는다.

제안된 태극형 방향성 결합기는 그림에서와 같이 AA'를 축으로 대칭 구조를 이루고 있으므로 우수 모드(Even mode)와 기수 모드(Odd mode) 해석<sup>(4)</sup>을 통하여 설계 중심 주파수에서 완전 정합과 분리를 만족 시키면서 임의의 분배율을 실현할 수 있는 지로의 어드미턴스 값을 구하였다.

중속 접속된 전송선로의 해석은 전송 행렬을 이용하는 것이 편리하며 계산된 최종 전송 행렬의 파라미터로부터 산란 행렬의 파라미터를 구할 수 있다.

편의상 전송 행렬을 [F]로 표시하기로 하고 우수 모드와 기수 모드의 표시는 첨자 e(Even mode)임을

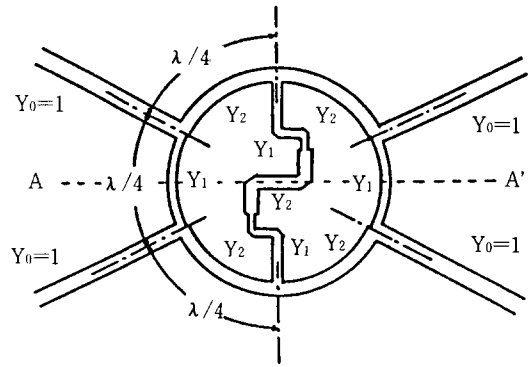


그림 1. 태극형 방향성 결합기의 구조

Fig. 1. The structure of taekuk shaped directional coupler.

의미)와 o(Odd mode)임을 의미)로 표시하기로 하면 중심 주파수에서의 전송 행렬식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$[F]_e = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j y_1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & J/y_2 \\ j y_2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j y_1^2/y_2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & J/y_2 \\ j y_2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j y_1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -(1+y_1^3/y_2^3) & j y_1^2/y_2^3 \\ -j(2y_1+y_1^4/y_2^3) & -(1+y_1^3/y_2^3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[F]_o = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j y_1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & J/y_2 \\ j y_2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j y_1^2/y_2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & J/y_2 \\ j y_2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -j y_1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -(1+y_1^3/y_2^3) & -j y_1^2/y_2^3 \\ j(2y_1+y_1^4/y_2^3) & -(1+y_1^3/y_2^3) \end{bmatrix} \quad (2)$$

위의 식에서 [F]<sub>e</sub> =  $\begin{bmatrix} A & jB \\ jC & A \end{bmatrix}$  라 하면, [F]<sub>o</sub> =  $\begin{bmatrix} A & -jB \\ -jC & A \end{bmatrix}$  로 표시할 수 있으며 각각의 경우 전압 반사계수 Γ와 투과계수 T는 다음과 같이 구할 수 있다.<sup>(6)</sup>

$$\Gamma_e = \frac{j(B-C)}{2A+j(B+C)} \quad (3)$$

$$T_e = \frac{2}{2A+j(B+C)} \quad (4)$$

$$\Gamma_o = \frac{-j(B-C)}{2A-j(B+C)} \quad (5)$$

$$T_o = \frac{2}{2A-j(B+C)} \quad (6)$$

따라서 입력 전압의 크기를 1이라 할 때 각 단자에서의 출력 전압을 b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub>, b<sub>4</sub>라 하면 그 값들은 다음과 같이 구해진다.

$$b_1 = \frac{\Gamma_e + \Gamma_o}{2} = \frac{B^2 - C^2}{4A^2 + (B+C)^2} \quad (7)$$

$$b_2 = \frac{\Gamma_e - \Gamma_o}{2} = \frac{j2A(B-C)}{4A^2 + (B+C)^2} \quad (8)$$

$$b_3 = \frac{T_e + T_o}{2} = \frac{4A}{4A^2 + (B+C)^2} \quad (9)$$

$$b_4 = \frac{T_e - T_o}{2} = \frac{-j2(B+C)}{4A^2 + (B+C)^2} \quad (10)$$

이때 입력 단자에서의 완전 정합( $b_1=0$ )을 위해서는  $B=C$  혹은  $B=-C$ 의 조건이 성립되어야 하는데,  $C$ 값 자체가 음수이므로  $B=C$ 는 성립될 수 없고  $B=-C$ 의 조건이 가능할 뿐이다.

한편  $B=-C$ 의 조건이 성립되면 4번 단자에서의 출력 역시 0이 되어 출력 단자에서의 완전 분리 조건도 아울러 만족하게 된다.

즉 완전 정합 및 완전 분리 조건을 만족하게 되며 그 결과는 다음과 같다.

$$\frac{y_1^2}{y_2^3} = 2y_1 + \frac{y_1^4}{y_2^3} \quad (11)$$

(11)의 관계를 (8), (9)식에 대입하면 출력 단자에서의 전압 분배율은 다음과 같다.

$$P = \frac{|b_2|}{|b_3|} = \frac{y_1^2}{y_2^3} \quad (12)$$

따라서 위의 두가지 조건을 만족하는  $y_1, y_2$ 를 구해보면 표 1과 같다.

표 1. 전력 분배율에 따른 각 지로의 정규화 어드미턴스 값  
Table 1. The normalized admittance values of branch line upon power division ratio.

지로 어드미턴스 전력 분배율	$Y_1$	$Y_2$
0 (dB)	0.414	0.555
3	0.517	0.574
6	0.617	0.576
9	0.706	0.561
12	0.780	0.535
15	0.838	0.500
18	0.882	0.461
21	0.915	0.421
24	0.939	0.382
27	0.956	0.344
30	0.969	0.310

참고 문헌(2)와 비교된 마이크로 스트립 라인으로 실현 가능한 전력 분배비와 각 지로의 임피던스 관계를 살펴보면 표 2와 같다.

표 2. 참고 문헌(2)과 비교된 각 지로의 임피던스 값  
Table 2. Impedance values of each branch compared with reference

분배기종류 전력 분배율	재래의 하이브리드 링		변형된 하이브리드 링		제안된 방향성결합기	
	$Z_1$	$Z_2$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_1$	$Z_2$
0 (dB)	70.7	70.7	70.7	70.7	120.8	90.1
3	86.5	61.3	77.3	61.1	96.7	87.1
6	111.6	55.9	89.8	55.6	81.0	86.8
9	149.5	53.1	109.9	52.7	70.8	89.1
12	205.2	51.6	139.4	51.2	64.1	93.5
13			151.9	50.9	62.4	95.5
15					59.7	100.0
21					54.6	118.8
27					52.3	145.3
28					52.0	150.4

### III. 태극형 방향성 결합기의 설계

본 연구의 실험적 증명을 위하여 CGP-502 마이

크로과대용 양면 기판을 사용하여 0, 8, 16dB의 전력 분배율을 갖는 방향성 결합기를 설계하여 제작하였다.

설계에 사용된 각종 파라미터의 계산은 분산을 고려하여 Kirschning 등의 식<sup>(8)</sup>을 이용하였으며, 사용 기관의 제원과 설계를 위해 계산된 선로 변수는 표 3과 같으며 설계 중심 주파수 10 GHz를 기준으로 제작된 모습은 그림 2와 같다.

표 3. 전력 분배율에 따른 방향성 결합기의 설계 값  
Table 3. Directional coupler's designed values depending on power division rate

전력 분배율(dB)	선폭 $W_1$ (mm)	선폭 $W_2$ (mm)	$\epsilon_{1eff}$	$\epsilon_{2eff}$
0	0.269	0.573	2.009	2.122
8	0.930	0.586	2.214	2.126
16	1.372	0.365	2.293	2.050

\* 기관 제원  $\epsilon_r$ : 2.60, h: 0.6mm, t: 0.018mm,  $\tan\delta$ : 0.002

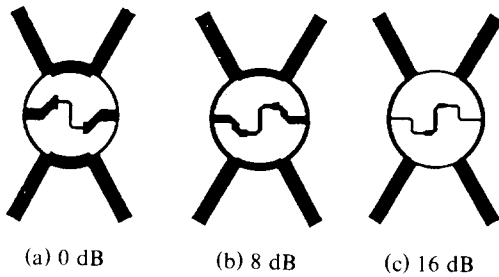


그림 2. 전력 분배율에 따른 태극형 방향성 결합기의 모습 (실물 2배)

Fig. 2. Features of Taeguik shaped directional coupler upon power division rate. (double of actual size)

#### IV. 실험 및 고찰

설계 주파수는 10 GHz를 기준하였으며 각각의 방향성 결합기를 회로망 분석기를 통하여 분석 실험하였다.

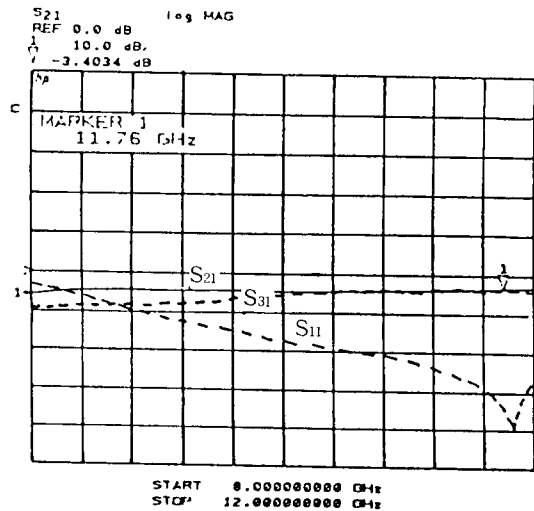
마이크로 스트립 라인의 제작 가능한 최대 저항값을 Agrawal 등은 150Ω으로 규정하고 있으나 본 실험에서는 110Ω 범위내에서 3가지 전력 분배율을 갖는 방향성 결합기를 제작 실험하여 확대 적용하였다.

물론 정교한 전력 조절을 필요로 한 경우 20dB 이상의 분배율이 필요한 경우도 있겠지만 통상 20dB

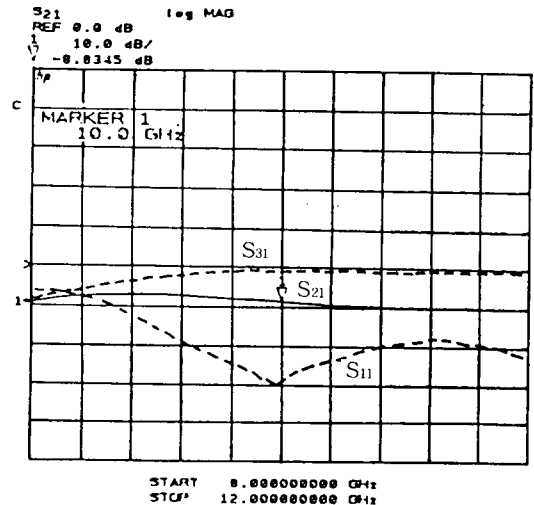
이하의 전력의 영향을 무시하는 경우가 많으므로 본 실험에서도 16dB 분배율까지만 실험을 하였다.

제한된 전력 분배기의 중앙의 지로는 바깥쪽 반원 부분과 같은 길이로서, 이를 작은 반원의 조합 형태로 만들 경우 태극 무늬 형태가 되는데, 전력 분배율에 따라서 지로의 폭이 상당한 차이를 나타내는 경우, 인접한 선로와 상당부분 겹치게 되고, 실제로 제작하여 특성을 측정해본 결과 이론적인 예상치와 현저하게 다른 값이 측정되었다.

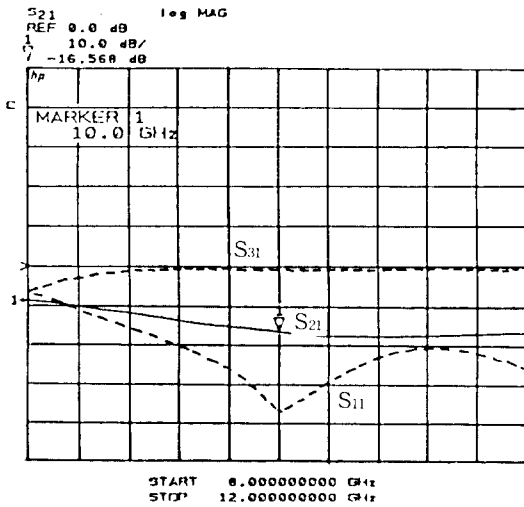
이는 인접 선로와의 상호 결합 현상 때문으로 사료된다.



(a) 0 dB 분배율의 전력 분배기



(b) 8 dB 분배율의 전력 분배기



(c) 16 dB 분배율의 전력 분배기

그림 3. 전력 분배율에 따른 전력 분배기의 측정된 주파수 특성

Fig. 3. Measured frequency characteristics of the power divider depending on power division rate

따라서 중앙의 지로를 반원의 조합이 아닌 구부린 형태를 취하고, 구부림으로 인하여 생긴 직각 밴드 부분에 대해서는 모서리를 잘라냄으로서 보상을 하였다.

그림 3은 벡터 회로망 분석기(HP-8510)를 이용하여 측정한 S 파라미터의 주파수 특성으로서, 그 상대적인 크기를 dB값으로 나타내어 플로터로 그린 것이다.

그 주파수 특성을 알아보기 위해 중심 주파수를 10 GHz로 하고 8 GHz에서 12 GHz까지의 S 파라미터의 값을 측정한 것인데, 8 dB 및 16 dB 분배율을 갖는 전력 분배기는 측정 결과가 이론적인 예상치와 잘 일치하고 있음이 그림 3의 (b), (c)에 잘 나타나 있으며 반사손실도 중심 주파수에서 최소치를 보이고 있으나, 0 dB 분배율의 경우는 실험 결과가 설계 주파수 보다 약 18% 높은 주파수로 이동하여 나타나 있음을 알 수 있다.

이는 설계시 고려되지 않았던 불연속 부분의 리액턴스의 영향으로 생각되며 이 부분에 대한 적절한 보상을 고려해 주면 이론적인 설계값과 잘 일치하리라 생각된다.

그러나 본 연구의 목적은 전력 분배율의 개선에 있었으므로, 0 dB보다는 8 dB, 혹은 16 dB와 같은 높

은 전력 분배율을 갖는 전력 분배기의 성능 실험에 관심을 두었을 뿐이며, 0 dB 분배율의 경우는 굳이 이 방법을 택할 필요가 없으리라 사료된다.

## V. 결 론

하이브리드 링형 방향성 결합기의 3λ/4 부분을 적극적으로 활용하여 태극형으로 새롭게 고안된 태극형 방향성 결합기는 전력 분배면에서 지금까지 발표된 결과<sup>(1),(2)</sup>보다 훨씬 높은 분배율을 같은 크기의 회로에서 실현할 수 있었음을 실험을 통하여 증명하였다.

중심 주파수에서 완전 정합 및 완전 분리가 가능하여 어레이 안테나의 전력 분배에 사용할 경우 복사 특성의 개선에 기여할 수 있으리라 생각되며 주선로의 신호 세력에 거의 영향을 미치지 않으면서 감시할 수 있는 측정시스템에도 효과적으로 응용될 수 있을 것이다.

## 參 考 文 獻

- (1) C. Y. Pon, "Hybrid-ring directional coupler for arbitrary power division", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-9 pp. 529-535, Nov. 1961.
- (2) A. K. Agrawal and G. F. Mikucki, "A Printed-circuit Hybrid-ring directional coupler for arbitrary power divisions", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-34 pp. 1401-1407, Dec. 1986.
- (3) M. Muraguchi, T. Yukitake, Y. Naito, "Optimum Design of 3-dB Branch-line couplers using Microstrip lines", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-31 pp. 674-678, Aug. 1983.
- (4) V. F. Fusco, "Microwave circuits Analysis and Computer-Aided design", *Prentice Hall international Ltd.(UK)*, pp. 70-75, 1987.
- (5) T. C. Edwards, "Foundations for microstrip circuit design", *John Willey & Sons.* USA, pp.203-204, 1981.

- (6) J. Reed and G. J. Wheeler, "A Method of Analysis of symmetrical four-port networks", *IEEE Trans. Microwave theory and Tech.* vol. MTT-4 pp. 246-252, oct. 1956.
- (7) Technical data sheet of CGP-502, 日本 中興化成 工業株式會社
- (8) R. H. Jansen, M. Kirschning, "Agreement and accurate mathematical model for the power current formulation of microstrip characteristic impedance," *Arch Elektronik u. Übertragungstechn.*, vol. 37, 1983.