

## 한 개의 저항을 사용한 비균등 Gysel 전력 분배기

# Unequal Gysel Power Divider Using External One Resistor

윤영철<sup>1\*</sup> · 심석현<sup>2</sup> · 김영<sup>2</sup>

가톨릭관동대학교 전자통신공학부<sup>1\*</sup>, 금오공과대학교 전자공학과<sup>2</sup>

Young-Chul Yoon<sup>1\*</sup> · Seok-Hyun Sim<sup>2</sup> · Young Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronic Engineering, Catholic Kwandong University, Gangwon-do 730-701, Korea

<sup>2</sup>School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do 210-701, Korea

### [요 약]

본 논문은 비균등 Gysel 전력 분배기에서 사용되는 두 개의 외부저항을 ABCD 파라미터 해석을 통하여 한 개의 저항으로 변환하는 식을 유도하고, 구현한 내용이다. 기존의 비균등 Gysel 전력 분배기는 두 개의 외부 저항을 이론적인 값으로 구현하기 어렵기 때문에 출력포트 사이의 격리도 및 반사 손실을 얻기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 새롭게 설계한 비균등 Gysel 전력분배기는 전송선로와 한 개의 저항을 사용하여 기존 전력 분배기와 동일한 전기적 특성을 얻었다. 이러한 설계방법의 타당성을 보기위해 중심 주파수 1 GHz에서 4:1 비균등 Gysel 전력분배기를 제작하였고, 이것의 특성이 시뮬레이션과 동일함을 확인하였다.

### [Abstract]

In this paper, we derived the design equation and implemented the unequal Gysel power divider that is one external resistors using the ABCD parameters analysis. Conventional unequal Gysel divider is difficult to obtain the characteristics of isolation and return loss at between output ports because it can't select a theoretical value of external resistor. To solve those problems, we design the new unequal Gysel power divider with transmission lines and one external resistor that has the characteristics of conventional unequal Gysel divider. To validate this design method, we simulated and measured an 4: 1 unequal Gysel power divider at the center frequency 1 GHz. The measured performances agreed well with the simulation results.

**Key word** : ABCD parameter analysis, Gysel power divider, One external resistor, Unequal power divider.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2015.19.3.224>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 4 May 2015; Revised 1 June 2015

Accepted (Publication) 9 June 2015 (30 June 2015)

\*Corresponding Author; Young Kim

Tel: +82-54-478-7506

E-mail: [youngk@kumoh.ac.kr](mailto:youngk@kumoh.ac.kr)

## 1. 서론

전력 분배기와 결합기는 전력증폭기, 배열안테나 등 RF 시스템을 구현하는데 있어서 핵심적인 소자이다. 사용되는 전력 크기에 따라서 전력분배기는 두 가지 종류로 분류되는데, 낮은 전력에서는 Wilkinson 전력분배기[1], 높은 전력에서는 Gysel 전력분배기[2]가 사용이 된다. 여기서 높은 전력에 사용하는 Gysel 전력분배기의 주요한 장점은 출력 포트 사이의 격리도를 확보하기 위한 저항을 외부에 연결하기 때문에 구현하기가 쉬우며, 그리고 출력포트에서 불균형을 모니터링 능력이 있다 [1], [2]. 이에 따라서 높은 전력을 필요로 하는 초고주파 회로에 널리 사용되고 있다.

수동소자인 전력분배기를 이용한 분야를 보면 도허티 전력 증폭기를 임의의 임피던스로 종단할 때 사용하는 전력분배기 [3], 특정한 임피던스를 종단시키는 Gysel 전력분배기[4],[5], 그리고 다중 대역의 Gysel 전력분배기[6]등에서 다양하게 활용되고 있다.

균등 Gysel 전력 분배기는 외부 저항 값이  $Z_0$  으로 결정이 된다. 그러나 비균등 전력 분배기는 이론적인 외부 저항 값이 각각  $kZ_0, Z_0/k$  로 결정되는데, 이 저항 값들은 구현 가능한 값을 선택하는데 있어서 제한되기에 각 포트의 반사손실과 출력 포트간의 격리도를 확보하는데 문제가 발생된다[7].

비대칭 Gysel 분배기는 임의의 임피던스로 종단된 Gysel 전력분배기를 비대칭 회로 이용하는 구조를 제안하여 Gysel 분배기의 장점인 전력 핸들링 능력뿐만 아니라 넓은 대역폭의 특성을 갖고 있고 [8], 기존 구조의 균등 Gysel 전력분배기를 ABCD 파라미터 해석을 통하여 한 개의 외부저항만으로 분배기를 구현[9]하는 등 다양한 형태의 분배기가 연구되고 있다.

본 논문에서는 비균등 Gysel 전력분배기의 두 개 외부저항  $kZ_0, Z_0/k$  를 한 개의 저항  $Z_0$ 로 변환하는 수식을 ABCD 파라미터 변환을 통하여 유도하였고 이것을 이용하여 중심주파수 1 GHz에서 4:1 비균등 Gysel 전력 분배기를 시뮬레이션 및 측정을 수행하였다.

## II. 본론

### 2-1 비균등 Gysel 전력분배기 (UGPD: unequal Gysel power divider)

그림 1은 일반적인 비균등 Gysel 전력분배기 등가회로이다. 각 포트에서 정합하기 위한 조건 그리고, 출력 포트의 입력임피던스를 정의하여 그림 1의 UGPD를 구성하는 전송선로에 해당하는 각각의 임피던스를 식 (1)과 (2)에 나타내었다[7].

$$Z_1 = Z_0 \sqrt{k(1+k^2)}, \quad Z_2 = Z_0 \sqrt{\frac{1+k^2}{k^3}} \quad (1)$$

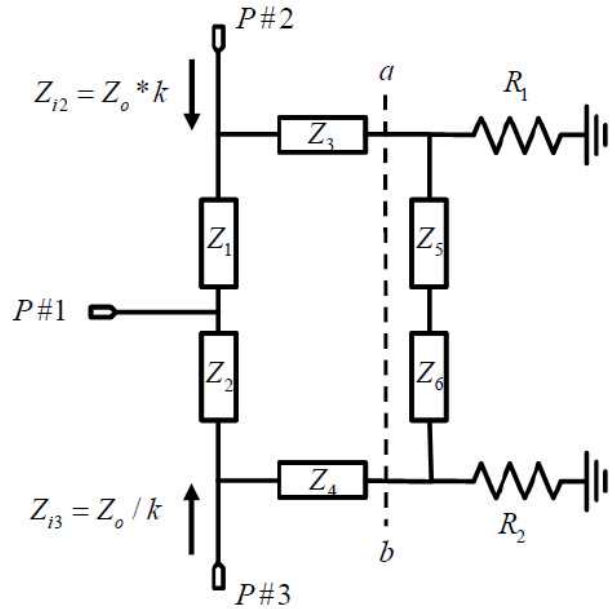


그림 1. 기존 비균등 Gysel 전력분배기 등가회로  
Fig. 1. Equivalent circuit of the conventional unequal Gysel power divider.

$$Z_{i2} = kZ_0 = R_1 = Z_3 = Z_5 \quad (2)$$

$$Z_{i3} = Z_0/k = R_2 = Z_4 = Z_6$$

여기서 특성 임피던스  $Z_0 = 50 \Omega$  은 각 포트의 특성 임피던스,  $k^2$  는 포트 2,3 사이의 전력비( $k^2 = P_3/P_2$ )를 나타내고  $Z_{i2}, Z_{i3}$  는 포트 2,3에서 보는 임피던스, 그리고 각 전송선로의 전기적 길이는  $\pi/2$ 이다.

그림 1에서 점선 ab의 오른쪽 구조, 즉 전송선로  $Z_5, Z_6$  양 끝에 연결된  $R_1, R_2$  저항으로 구성된  $\pi$ 형 네트워크는 Gysel 분배기의 격리도와 포트 사이의 접합을 가능하게 하는 것이다. 그러나 포트 사이의 전력비  $k^2$  값에 따라서  $R_1, R_2$  값이 변하기 때문에, 다양한 전력비를 만족하는 분배기를 설계하려고 할 때 이론적으로 계산된 정확한 저항 값이 없으므로 해서 포트사이의 격리도와 정합 특성을 만족시킬 수 없는 문제가 발생한다.

### 2-2 한 개의 저항을 사용한 UGPD

그림 2는 한 개의 저항을 사용한 새로운 형태의 UGPD이다. 이 UGPD는 기존의  $\pi$ 형 네트워크 구조를  $\lambda/2$  전송선로와 저항이 중앙에 연결된 T형 네트워크가 병렬로 연결된 구조이다. 이 구조를 해석하기 위한 우수/기수 모드 해석은 그림 2에서 cd 지점 오른쪽 네트워크에서의  $Z_{B1}, Z_{B2}$  임피던스 값이 다르기 때문에 적용하기가 어렵다.

여기에서는 ABCD 파라미터 해석을 통하여 그림 2의 구조를 해석하였다.

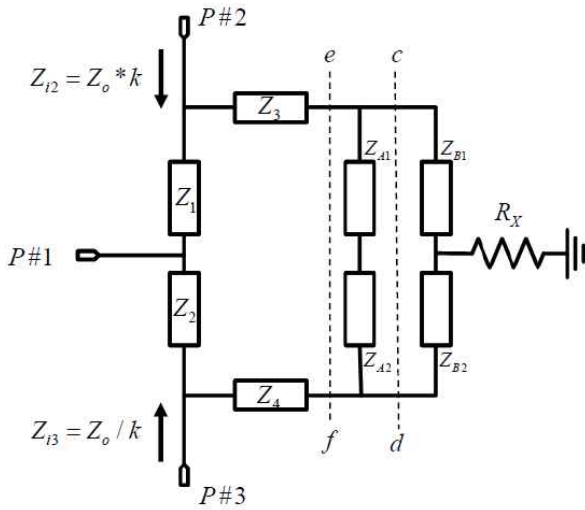


그림 2. 변형된 한 개의 저항을 사용한 비균등 Gysel 전력분배기 등가회로  
**Fig. 2.** Equivalent circuit of the modified unequal Gysel power divider with one resistor.

우선, 그림 1의 UGPD에서 ab지점 오른쪽으로 바라보았을 때 ABCD 파라미터는 식 (3)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{ab(\theta=90^\circ)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_1} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & jZ_5 \\ jY_5 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & jZ_6 \\ jY_6 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_2} & 1 \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} -\frac{Z_5}{Z_6} & 0 \\ -\frac{Z_5}{Z_6 R_1} - \frac{Z_6}{Z_5 R_2} & -\frac{Z_6}{Z_5} \end{pmatrix} \quad (3)$$

그림 2에서 cd지점 오른쪽으로 바라본 ABCD 파라미터는 식 (4)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{cd} = \begin{pmatrix} \cos\theta & jZ_{B1} \sin\theta \\ jY_{B1} \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_X} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & jZ_{B2} \sin\theta \\ jY_{B2} \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{cd(\theta=90^\circ)} = \begin{pmatrix} -Z_{B1} Y_{B2} & -\frac{Z_{B1} Z_{B2}}{R_3} \\ 0 & -Z_{B2} Y_{B1} \end{pmatrix} \quad (4)$$

그러나 식 (4)와 식 (2)가 같은 형태로 표현되기 위해서는 cd 지점 좌측에 병렬로 전송선로가 연결 되어야 한다. 그림 2에서 ef-cd 사이의 전송선로 ZA1, ZA2의 ABCD 파라미터는 식 (5)와 같이 표현된다.

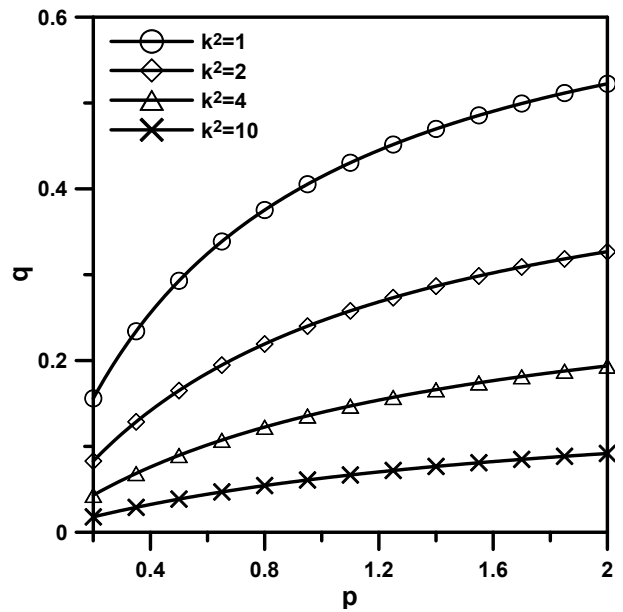


그림 3. k<sup>2</sup> 값에 따른 임피던스 계수 p, q 의 변화  
**Fig. 3.** Variation of impedance coefficients p, q according to the k<sup>2</sup> value.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{ef-cd} = \begin{pmatrix} \cos\theta & jZ_{A1} \sin\theta \\ jY_{A1} \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & jZ_{A2} \sin\theta \\ jY_{A2} \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \\ = \begin{pmatrix} \cos^2\theta - Z_{A1} Y_{A2} \sin^2\theta & j(Z_{A1} + Z_{A2}) \sin\theta \cos\theta \\ j(Y_{A1} + Y_{A2}) \sin\theta \cos\theta & \cos^2\theta - Z_{A2} Y_{A1} \sin^2\theta \end{pmatrix} \quad (5)$$

식 (4), (5)를 각각 Y-파라미터로 변환하고, 병렬로 연결된 회로 이므로 이를 더한 후에 다시 ABCD 파라미터로 변환시키면, 그림 2에서 ef 지점 오른쪽으로 바라본 ABCD 파라미터의 최종적인 형태는 식 (6)으로 표현할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{ef} = \begin{pmatrix} -\frac{Z_{A1}}{Z_{A2}} & 0 \\ -\frac{R_X Z_{A1}}{Z_{B1}^2 Z_{A2}} - \frac{R_X Z_{A2}}{Z_{B2}^2 Z_{A1}} + \frac{2R_X}{Z_{B1} Z_{B2}} & -\frac{Z_{A2}}{Z_{A1}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

그림 1에서 구한 π형 네트워크의 식 (2)와 그림 2에서 구한 전송선로와 연결된 T형 네트워크의 식 (6)이 같다면, 다음의 결과를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_{A1} &= Z_5 = Z_o k \\ Z_{A2} &= Z_6 = Z_o / k \end{aligned} \quad (7)$$

식 (6)에서 RX, ZB1, ZB2 값을 식 (7)처럼 표현을 한 후에,

$ABCD_{ef}$ 의 2행 1열의 식을 최종적으로 정리를 아래와 같은 식을 찾을 수 있다. 여기서  $p, q$ 는 전송선로의 임피던스  $Z_{B1}, Z_{B2}$ 를  $Z_0$ 와의 비를 나타낸 계수이다.

$$R_X = Z_0$$

$$Z_{B1} = pR_X \tag{8}$$

$$Z_{B2} = qR_X$$

$$-k - \frac{1}{k} = -\frac{k^2}{p^2} - \frac{1}{q^2 k^2} + \frac{2}{pq} \quad (p \neq q) \tag{9}$$

앞에서 구한 식 (9)에서  $p$  또는  $q$ 에 대한 방정식을 만들어 해를 얻을 수 있는데, 그림 3은 전력 분배비  $k^2$ 값에 따른  $p, q$ 값의 변화를 나타낸 것이다. 이 그래프를 살펴보면  $k^2$ 값으로 4를 넘는 값을 설정하게 되면  $Z_{B2}$ 의 값이  $Z_0$ 보다 상대적으로 매우 작은 임피던스 값이 되는 것을 알 수 있다. 이렇게 낮은 임피던스 값을 구현하기가 어렵기 때문에 설계 시 구현 가능한 임피던스 값을 선택하는 것이 중요하다.

### III. 시뮬레이션 및 실험결과

비균등 Gysel 전력분배기는 유도된 수식들을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 전력분배 비율이  $k^2 = 4$  일 때 분배기를 구성하고 있는 각 전송선로의 임피던스를 앞의 수식(1), (2)를 이용하여 계산하면,  $Z_1 = 158.1 \Omega, Z_2 = 39.53 \Omega, Z_{B1} = 109 \Omega, Z_{B2} = 10 \Omega, R_X = 50 \Omega, Z_3 = 100 \Omega, Z_{A1} = 100 \Omega, Z_4 = 25 \Omega, Z_{A2} = 25 \Omega, Z_{A2} = 25 \Omega$  이 되고, 또한 모든 전송 선로의 길이는  $\lambda/4$  이다. 여기서 사용된 시뮬레이션 소프트웨어는 NI사의 Microwave Office를 사용하였다. 또한, 사용된 PCB는 TACONIC사의 TLY-5 으로, 유전율  $\epsilon_r = 2.2$ , 유전체 두께  $h = 1.6 \text{ mm}$  인 PCB를 사용하였고, 중심 주파수는 1 GHz로 설계를 하였다.

앞의 식(1) - (9)에서 구한 각 전송선로의 임피던스를 구현한 데이터는 표 1에 전송선로의 선폭과 길이를 정리하였다. 이렇게 구한 전송선로를 이용하여 제작된 4:1 UGPD PCB 사진은 그림 4에 나타내었다.

그림 5 (a)는 제안된 4 : 1 UGPD의 시뮬레이션과 측정결과와의 삽입손실을 비교하여 나타낸 것이다. 중심 주파수 1.04 GHz에서 시뮬레이션의 결과는  $|S_{21}| = 1.1 \text{ dB}, |S_{31}| = 7.0 \text{ dB}$ 를, 측정 결과는  $|S_{21}| = 1.1 \text{ dB}, |S_{31}| = 7.1 \text{ dB}$ 의 값을 나타내고 있으며 두 결과가 거의 동일함을 보여주고 있다. 여기서 중심주파수가 40 MHz 이동한 것은 EM (electromagnetic) 시뮬레이션을 통해서 확인한 것으로 전송선로의 선폭과 길이등의 오차 때문에 발생된 것으로 판단된다.

또, 그림 5 (b)는 시뮬레이션과 측정결과와의 반사손실을 비교한 그래프로, 반사손실 특성 역시 시뮬레이션과 측정결과가 유사한 것을 볼 수 있다. 이 때 중심주파수에서  $|S_{11}| = 25 \text{ dB}, |S_{22}| = 19 \text{ dB}$  그리고  $|S_{33}| = 25 \text{ dB}$ 의 결과를 얻었다. 이 데이터에서 포트2의 반사 손실을 보면 다른 포트에 비해 매칭이 부족한 것처럼 나타나는데, 이것은  $\lambda/4$  임피던스 변환기의 임피던스를 적절히 튜닝하면 포트3 과 같이 25 dB 이상의 값을 얻을 수 있다.  $S_{22}$ 측정값 10 dB 기준으로 50 MHz 대역폭을 얻었다. 마지막으로 그림 5 (c)는 제안된 4 : 1 UGPD 시뮬레이션과 측정결과와의 격리도를 나타낸 것으로, 이 결과도 시뮬레이션과 유사한 특성을 얻었으며, 중심주파수에서  $|S_{32}| = 25 \text{ dB}$  이상의 값을 나타내고 있다.

표 1. 구현된 마이크로스트립 선로의 선폭과 길이  
Table 1. Width / length of the microstrip-line.

|          | 선폭 (mm) | 길이 (mm) |
|----------|---------|---------|
| $Z_1$    | 0.36    | 57.8    |
| $Z_2$    | 6.76    | 54.0    |
| $Z_3$    | 1.36    | 56.5    |
| $Z_4$    | 12.32   | 53.0    |
| $Z_{A1}$ | 1.36    | 56.5    |
| $Z_{A2}$ | 12.32   | 53.0    |
| $Z_{B1}$ | 1.11    | 56.8    |
| $Z_{B2}$ | 31.27   | 51.7    |

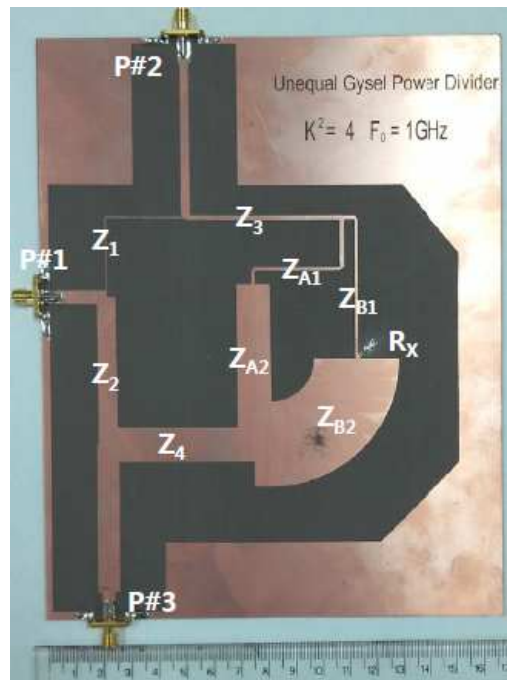


그림 4. 한 개의 저항을 이용 제작된 4:1 UGPD 사진  
Fig. 4. Photograph of the fabricated 4:1 UGPD using one resistor.

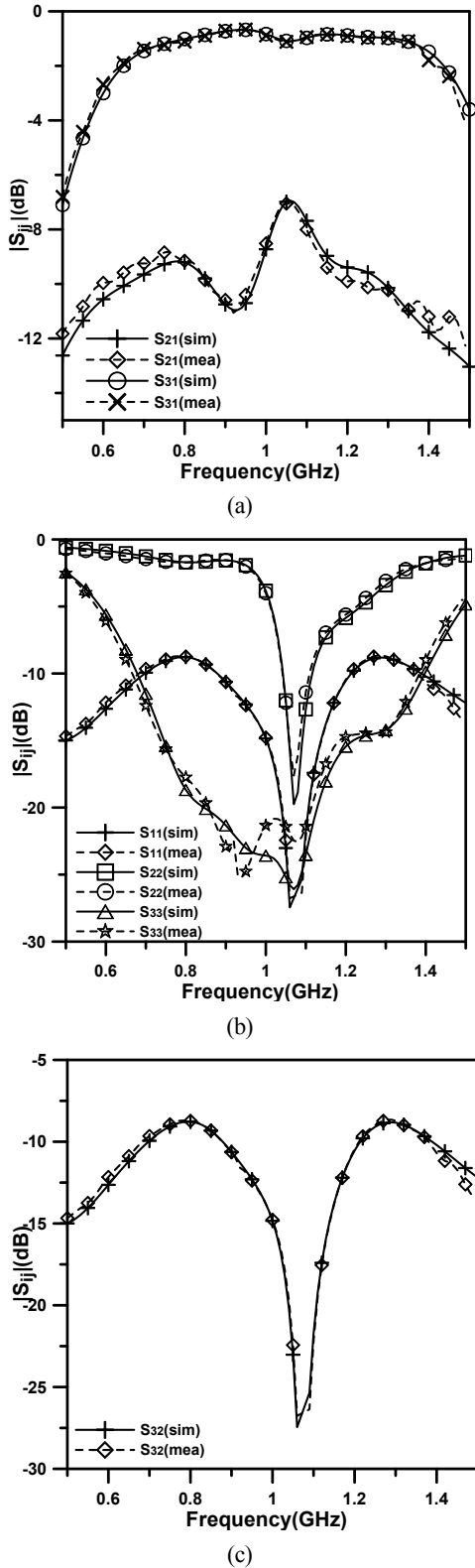


그림 5. 한 개의 저항을 사용한 4:1 UGPD의 시뮬레이션과 측정 결과 (a) 삽입 손실 (b) 반사 손실 (c) 격리도  
**Fig. 5.** Measured and simulated results of 4:1 UGPD using one resistor (a) inertion loss (b) return loss (c) isolation.

#### IV. 결론

본 논문은 기존 비균등 Gysel 전력 분배기에서 사용된 두개의 외부 저항을 한 개의 외부저항으로 바꾸기 위해서 ABCD 파라미터 해석을 통해 일반적인 식을 유도하였고, 이것을 이용하여 비균등 Gysel 전력 분배기를 중심 주파수는 1.04 GHz, 전력분배비율  $k^2 = 4$  설계, 구현하였다.

이렇게 제작된 비균등 Gysel 전력분배기는 반사계수는  $|S_{11}| = 25$  dB, 삽입손실은 각각  $|S_{21}| = 1.1$  dB,  $|S_{31}| = 7.1$  dB, 그리고 격리도  $|S_{32}| = 25$  dB를 얻었고 이것은 시뮬레이션과 유사함을 확인하였다.

이 논문에서 제시한 ABCD 파라미터 해석은 두 개의 외부저항을 한 개의 저항으로 변환하여 설계하는데 있어 타당성을 확인하였고, 또한 다양한 비율의 비균등 분배기를 설계하는데 유용하게 적용 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] E. J. Wilkinson, "A N-way hybrid power divider," *IRE Transaction Microwave Theory Techniques*, Vol. 8, No. 1, pp. 116-118, Jan. 1960.
- [2] U. H. Gysel, "Anew -way power divider/combiner suitable for high power applications," in *IEEE MTT-S International Digest*, Palo Alto: CA, pp. 116-118, 1975.
- [3] N. S. Ryu, S. T. Kim, S. J. Seo, and Y. C. Jeong, "HBT Doherty amplifier using ballast resistor control and arbitrary termination impedance power divider," in *Proceeding Asia-Pacific Conference (APMC'05)*, China, Vol. 2, pp. 1-4, Dec. 2005.
- [4] H. Oraizi, A. R. Sharifi: "Optimum design of a wideband two-way Gysel power divider with source to load impedance matching", *IEEE Transaction Microwave Theory Techniques*, Vol. 57, No. 9, pp.2238-2248, Sep. 2009.
- [5] H. Oraizi and A.-R. Sharifi, "Design and optimization of a two-way Gysel power divider with arbitrary power division and impedance matching," in *Proceeding Mediterranean Microwave Symposium (MMS)*, Morocco, pp. 1-4, 2009.
- [6] Z. Sun, L. Zhang, Y. Liu, and X. Tong, "Modified Gysel power divider for dual-band applications," *IEEE Microwave Wireless Component Letters*, Vol. 21, No. 1, pp. 16-18, Jan. 2011.
- [7] Y. Kim, "A 10:1 Unequal Gysel power divider using a capacitive loaded transmission line", *Progress In Electro-Magnetics Research Letters*, Vol. 32, 1-10, 2012.
- [8] Wu, Y., Liu, Y., Li, S., "A modified Gysel power divider of arbitrary power ratio and real terminated impedances,"

*IEEE Microwave Wireless Component Letters*, Vol. 21, No.11, pp. 601-603, Nov. 2011.

[9] Reza Zaker, Abdolali Abdipour and Rashid Mizavand

“Closed-form design of Gysel power divider with only one isolation resistor”, *IEEE Microwave Wireless Component Letters*, Vol. 24, No. 8, pp. 527-529, Aug. 2014.



**윤영철 (Young-Chul Yoon)**

1978년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
1982년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
1989년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)  
1987년 9월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 전자정보통신공학부 교수  
※ 관심분야 : RF 및 Microwave 회로설계



**심석현 (Seok-Hyun Sim)**

2014년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)  
2014년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
※ 관심분야 : RF 및 Microwave 회로 설계



**김영 (Young Kim)**

1988년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
2002년 8월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)  
1988년 1월 ~ 1993년 5월 : 이즈텔 시스템즈(주) 연구소 선임연구원  
1993년 6월 ~ 1998년 2월 : 삼성전자(주) 정보통신사업본부 선임연구원  
1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수  
2003년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수  
※ 관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계