

# 다층기판을 이용한 버틀러 매트릭스 소형화 방법

최영수\*, 유상태\*, 박선주\*, Baatarkhuu Dorjsuren\*, 임종식\*, 안달\*

\*순천향대학교 전기통신시스템공학과

e-mail: skycys11@naver.com, dahnkr@sch.ac.kr

## A Technique for Reducing the Size of Butler Matrix using Multi-layer Substrates

Young-soo Choi\*, Sang-Tai Yu\*, Sun-ju park\*, Baatarkhuu Dorjsuren\*, Jongsik Lim\*, Dal Ahn\*

\*Dept. of Electrical and communication Engineering, Soonchunhyang University,

### 요 약

본 논문에서는 4×4 버틀러 매트릭스에 대하여 연구 및 고찰 한다. 셀룰러 대역의 주파수인 824~894MHz대역에서 신호를 균등하게 통과시키고, 위상의 차이를 균일하게 분배시키는 회로로 구현 되었다. 기존의 버틀러 매트릭스는 단층 기판 구조로 구현 되었지만, 본 연구는 다층 기판구조로 설계하여 크기가 보다 더 축소되었다. 마이크로스트립 구조인 90° 하이브리드 커플러 대신에 크기를 보다 더 효율적으로 줄이기 위하여 LTCC 커플러를 사용한다. 4×4 버틀러 매트릭스의 설계는 Ansoft사의 Designer V3.5와 HFSS V11을 사용한다. 그리고 시뮬레이션 한 후 실제 제작한 버틀러 매트릭스를 측정하여 비교한 결과 매우 우수한 특성을 얻었다.

**Abstract** 4×4 Butler Matrix structure has been presented in this paper. It can pass the signal with equal power level and phase difference in the 824MHz to 894MHz frequency of the cellular band. Conventional Butler Matrix was implemented as a single layer substrate structure, but in this paper, we use multi-layer substrate structure and eventually we could get it reduced in size than others. We also used the LTCC coupler to reduce the size effectively, instead of using 90° hybrid coupler composed of microstrip structure. we used Designer V3.5 Ansoft HFSS V11 for design of 4×4 Butler matrix. Finally, we get good agreements between simulation and experimental results.

**key words** : Butler Matrix, Phase Shifter, LTCC coupler, crossover

### 1. 서론

급격히 증가한 모바일 폰의 사용으로 신호를 더 효율적으로 송수신할 수 있는 송수신기를 개발하는 것이 무선통신 시스템 분야에서 요구 되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위한 방법의 한 가지로는 다중 빔 안테나를 사용하는 방법이 있다. 다중 빔 안테나는 빔 성형 네트워크에 배열안테나를 연결하는 방식으로 구성된다. 이러한 빔 성형 네트워크에 연결된 배열 안테나는 원하는 멀티 빔 방사패턴을 만들 수 있다. 그리고 이러한 안테나는 원하는 방향에서 추가적인 대역폭 없이도 이득과 신호 대 간

섭비, 신뢰성을 증가시킨다. 빔성형 네트워크 중 버틀러 매트릭스는 직각 빔을 형성하는 능력, 설계의 간단함, 그리고 마이크로웨이브 소자 사용의 최소화라는 점이 우수하여 많이 사용된다. 버틀러 매트릭스는 90° 하이브리드 커플러, 크로스오버(0dB 결합기) 그리고 45° 위상 천이기로 구성된다.[1-6]

본 논문에서는 빔 성형 네트워크의 종류 중 하나인 버틀러 매트릭스를 90° 하이브리드 커플러를 LTCC 커플러로 대체하였고, 다층기판 구조를 통해 크로스오버의 문제를 해결함으로써 기존의 버틀러 매트릭스 보다 크기가 줄어든 소형 버틀러 매트릭스를 구현하고자 한다.

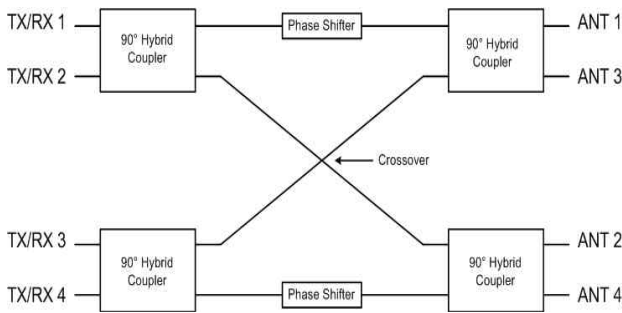
## 2. 설계 이론

[표 1] 입력포트에 따른 출력 포트의 위상차이 (단위 deg)

OUT IN	ANT1	ANT2	ANT3	ANT4	$\Delta\Phi$
TX/RX1	135	90	45	0	-45
TX/RX2	45	-180	-45	90	135
TX/RX3	90	-45	-180	45	-135
TX/RX4	0	45	90	135	45

### 2.1 일반적인 버틀러 매트릭스 구조

일반적인 버틀러 매트릭스이 구성과 특성에 대해 설명하고, 각각의 구성요소들에 대해 상세히 다룰 것이다. 일반적인 버틀러 매트릭스는 N개 입력포트와 N개의 출력포트를 갖는 구조로서, 일반적으로 N은 4, 8 또는 16의 값을 갖는다. 그림 1은 일반적인 4x4 버틀러 매트릭스의 구성도를 보여준다. 그림1과 같이 4x4 버틀러 매트릭스는 4개의 90°하이브리드 결합기, 2개의 -45° 위상 천이기 그리고 1개의 크로스오버(0dB 결합기)로 구성된다. 90°하이브리드 결합기는 입력된 신호를 각각의 출력으로 균등하게 신호를 분배하는 역할을 하고, 위상 천이기는 각각의 출력 간 위상차를 준다. 버틀러 매트릭스의 구조상 크로스오버가 발생하게 되는데 일반적으로 0dB결합기를 이용하여 이 문제를 해결한다.



[그림 1] 일반적인 4x4 버틀러 매트릭스의 구성도

버틀러 매트릭스의 주요 특성을 정리하면 다음과 같다.

- N개의 입력과 N개의 출력(N=4,8,16)을 갖는다.
- 입력 포트들 간에는 서로 격리 특성을 갖는다.
- 어떤 입력포트를 사용해도 같은 진폭의 출력이 보인다.
- 각각의 출력은 일정한 위상차를 갖는다.

이상적인 버틀러 매트릭스의 각각 입력에 대한 출력의 위상의 특성을 보여준다. 다음 표 1에서 각각의 입력에 대해 모든 출력이 일정한 위상차를 갖는다는 것을 확인 할 수 있다.

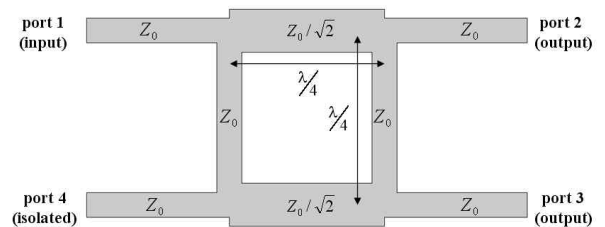
### 2.2 90° 하이브리드 결합기

그림 2에 보인 구조를 갖는 결합기는 3dB의 결합도를 얻을 수 있고, 특히 마이크로스트립 선로나 스트립선로를 사용하여 제조 할 경우에 적합하다. 90° 하이브리드 커플러는 그림과 같이  $\lambda/4$  전송선으로 구성되기 때문에, 두 출력포트인 포트2와 포트3의 신호가 서로 90°의 위상차를 갖는다. 이러한 이유로 90° 하이브리드 결합기(hybrid coupler) 또는 직각 하이브리드 결합기(quadrature hybrid coupler)라고 부르기도 한다.

90° 하이브리드 결합기는 짝 모드(Even mode)와 홀 모드 (Odd mode)의 여기(excitation)에 의한 중첩원리로 해석 할 수 있고, 이를 통해 식 1과 같은 S파라미터 행렬식을 얻을 수 있다.[7]

본 논문에서는 마이크로스트립 선로를 사용하면 크기가 커지는 단점을 보완하기위해 LTCC커플러를 사용하여 크기를 줄였다.

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

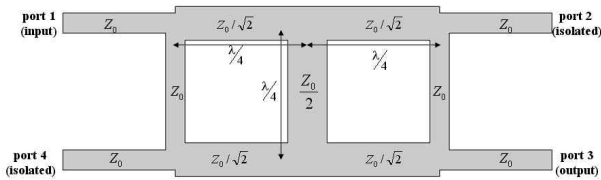


[그림 2] 90° 하이브리드 결합기의 구조

### 2.3 0dB 결합기

버틀러 매트릭스에서 구조상 필연적으로 발생하는 크로스오버(crossover)는 일반적으로 0dB 결합기를 이용하여 구현된다. 0dB 결합기는 마이크로 스트립 선로 위에서 크로스 되는 선로를 서로 절연시켜 주는 목적으로 사용된다. 그림 3은 0dB 결합기의 구조를 보여준다. 그림 3에서와 같이 0dB 결합기는 두 개의 90° 하이브리드 결합기를 직렬 연결하는 구조를 갖는다. 90° 하이브리드 결합기의 짝모드와 홀모드 여기에 의한 중첩의 원리를 이용하면 식 2와 같이 0dB 결합기의 S-파라미터를 구할 수 있다. 결과식을 통해 입력된 모든 신호가 크로스 방향으로 전달되는 것을 확인 할 수 있다. 본 논문에서는 0dB 결합기 대신에 다층기판 구조로 크로스오버를 해결하였다.

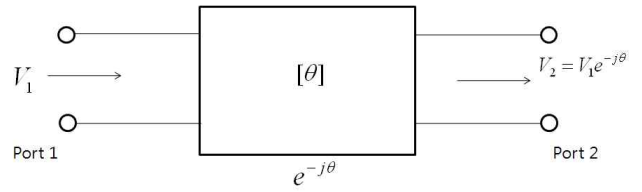
$$[S] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & j \\ j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & j & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$



[그림 3] 0dB 결합기의 구조

### 2.4 위상 천이기

이상적인 위상 천이기는 동작 주파수 대역 내에서 입력 신호의 진폭 변화 없이 원하는 위상만을 균일하게 변화시키는 2단자망 소자로 정의 할 수 있다. 그림 4는 일반적인 2단자 소자의 개략도로서 입력 신호와 출력신호의 관계를 살펴보면 포트2의 출력신호는 위상이  $-\theta$  만큼 지연되어 나타난다.[8] 본 논문에서는  $\lambda/8(45^\circ)$  만큼의 위상을 바꾸어주는 위상 천이기를 전송선로의 길이의 차이로 이용하여 설계하였다.

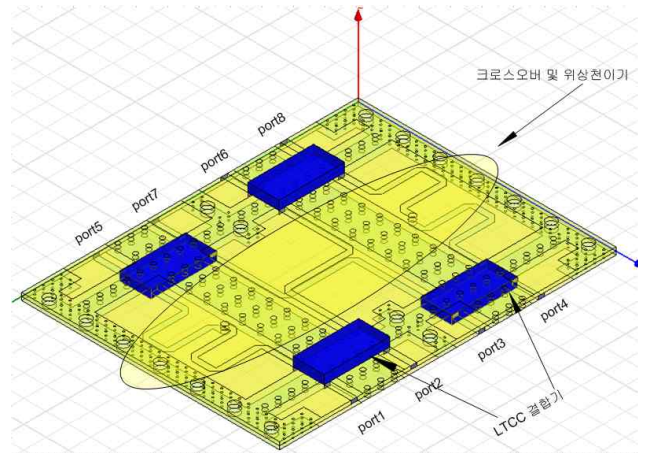


[그림 4]. 위상 천이기의 개념도

## 3. 설계

### 3.1 버틀러 매트릭스의 설계

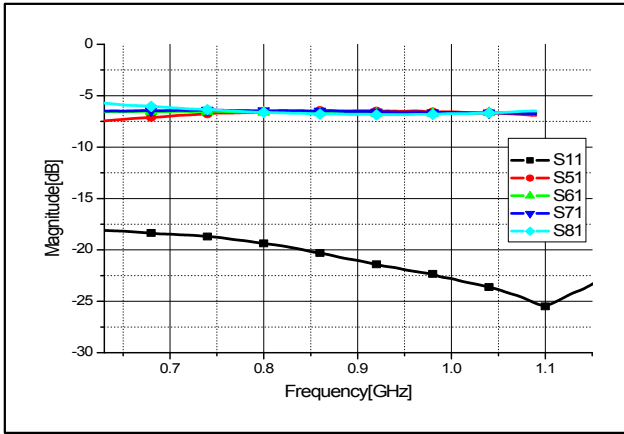
그림 5는 본 논문에서 제안하는 버틀러 매트릭스의 구조를 보여준다. 전체적인 PCB는 3층으로 구성된다. 윗 층과 바닥 층에 버틀러 매트릭스의 모든 전송선로가 구현되고, 중간층은 접지 역할을 하도록 구성하였다. 전체적인 버틀러 매트릭스를 시뮬레이션 하기위해 각각의 소자 (LTCC 결합기, 크로스오버 및 위상천이기)들을 개별적으로 설계하고 측정하였다.



[그림 5] 버틀러 매트릭스의 구조

### 3.2 시뮬레이션

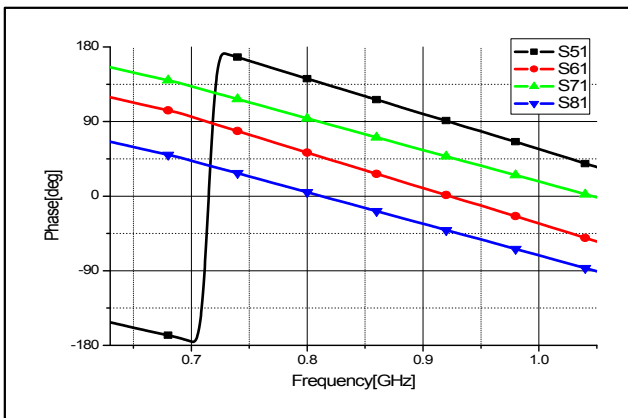
LTCC커플러의 측정 결과와 HFSS를 통해 구현된 크로스오버와 위상 천이기의 시뮬레이션 결과를 Designer를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 6과 7은 진폭특성 및 위상특성을 나타내었고 표 2와 3은 각 포트의 진폭특성과 위상특성을 나타낸 것이다.



[그림 6] 진폭 특성

[표 2] 각 포트의 진폭 특성

		Output@890MHz			
		Port5	Port6	Port7	Port8
Input Port	Port1	-6.30	-6.88	-6.63	-6.61
	Port2	-6.59	-6.66	-6.47	-6.83
	Port3	-6.81	-6.34	-6.64	-6.64
	Port4	-6.63	-6.66	-6.89	-6.51



[그림 7] 위상 특성

[표 3] 각 포트의 위상 특성

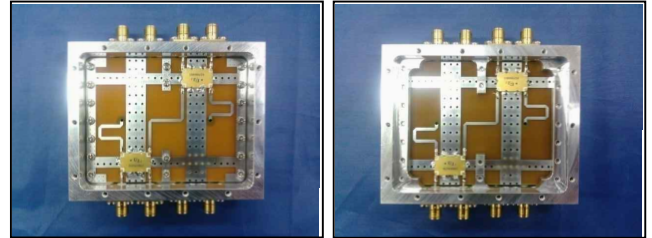
		Output@890MHz 단위[deg]			
		Port5	Port6	Port7	Port8
Input Port	Port1	103.3	59.31	19.95	-29.53
	Port2	12.45	149.04	-77.22	59.73
	Port3	58.01	-76.6	148.97	15.10
	Port4	-35.05	13.62	58.45	105.02

### 3.3 제작 및 측정결과

본 논문에서 앞의 과정을 통하여 시뮬레이션을 바탕으로 직접 제작하고 측정을 실시하였다.

중심주파수 890MHz, 비유전율 4.8, 기판의 두께가 31mil인 FR4 기판에 설계하였고 다층기판 구조로 이

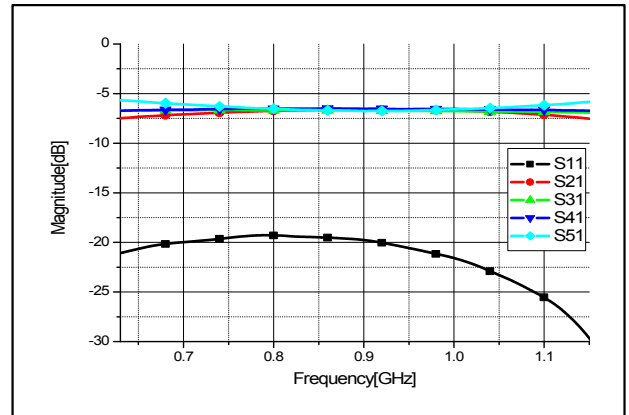
루어져 있다. 그림 8은 제작하여 완성된 버틀러 매트릭스의 모습을 보였다. 이것을 실제 계측기로 측정한 결과는 그림 9와 10에서 나타내었고 표 4와 5는 각 포트의 진폭과 위상특성을 나타내었다.



(a)

(b)

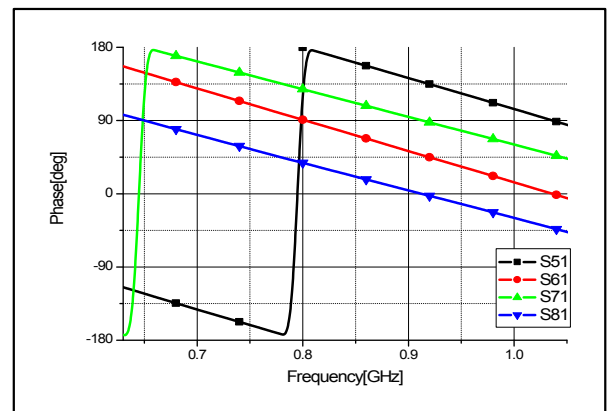
[그림 8] 제작된 모습 (a) 앞면 (b) 뒷면



[그림 9] 측정된 진폭 특성

[표 4] 각 포트의 진폭 특성

		Output@890MHz			
		Port5	Port6	Port7	Port8
Input Port	Port1	-6.60	-6.70	-6.52	-6.72
	Port2	-6.56	-6.77	-6.61	-6.69
	Port3	-6.56	-6.49	-6.76	-6.60
	Port4	-6.75	-6.51	-6.64	-6.60



[그림 10] 측정된 위상 특성

[표 5] 각 포트의 위상 특성

		Output@890MHz 단위[deg]			
		Port5	Port6	Port7	Port8
Input Port	Port1	103.3	59.31	19.95	-29.53
	Port2	12.45	149.04	-77.22	59.73
	Port3	58.01	-76.6	148.97	15.10
	Port4	-35.05	13.62	58.45	105.02

#### 4. 결론

본 논문에서는 현재 사용 중인 셀룰러 대역인 824~894MHz 대역에서 동작하는 버틀러 매트릭스를 제안 하였다. 다층 기관 구조를 이용해 크로스오버의 문제점을 해결하였고, 전송선로의 길이 조절을 통하여 위상 천이 기를 설계하였다. 또한 90° 하이브리드 결합기 대신 LTCC 결합기를 사용함으로써 버틀러 매트릭스의 크기를 소형화 하였다.

제작된 버틀러 매트릭스는 모든 입력포트에 대해 -6dB~-0.7dB의 균등한 값이 출력하였으며, 위상 특성은 이상적인 값보다 최대 ±7°의 오차를 보였다.

#### 참고문헌

[1] M. Bona, L. Manholm, J. P. Starski, and B. Svensson, "Low-loss Compact Butler Matrix for a Microstrip Antenna", *IEEE Trans., Microwave Theory and Tech.*, vol. 50, No. 9, pp. 2069-2075, Sept. 2002.

[2] J. S. Neron, G. Y. Delisle, "Microstrip EHF Butler Matrix Design and Realization," *ETRI Journal*, vol. 27, No. 6, pp. 788-797, Dec. 2005.

[3] R. C. Hansen, *Phased Array Antennas*, John Wiley&Sons, pp. 331-335, 1982.

[4] J. Butler, R. Lowe, "Beam forming matrix simplifies design of electronically scanned antennas," *Electronics Design*, vol. 9, pp. 170-173, Apr 1961.

[5] C. Dall'Omo, T. Monediere, B. Jeko, F. Lamour, I. Wolk, and M. Elkael, "Design and realization of a 4×4 microstrip butler matrix without any crossing in millimeter-wave," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 38, no. 6, Sep. 2003.

[6] A. Corona and M. J. Lancaster, "A High-temperature superconducting Butler matrix," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 13, no. 4, pp. 3867-3872, Dec. 2003.

[7] D. M. Pozar, *초고주파공학*, 대영사, pp 455-474, 1994

[8] S. K. Koul, B. Bhat, "*Microwave and Millimeter wave Phase Shifters*", Artech House, Inc, pp.1-5, 1991.

최 영 수(Youngsoo Choi)

[정회원]



- 2010년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2010년 3월 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등

유 상 태(Sangtai yu)

[정회원]



- 2010년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2010년 3월 : 순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등

박 선 주(Sunju park)

[정회원]



- 2007년 2월 : 순천향대 정보기술공학부 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계, Package modeling 등

Battarkhuu Dorjsuren

[정회원]



- 1999년 2월 : 몽골 농업대학교 기계공학부(공학사)
- 2003년 2월 : 몽골 농업대학교 기계공학부(공학석사)
- 2008년 6월 : 순천향대학교 전기통신공학과(공학석사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신공학과(공학박사과정)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등

임 중 식(Jongsik Lim)

[정회원]



- 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 전기통신공학과 재직 중

<관심분야>

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

안 달(Dal Ahn)

[정회원]



- 1984년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1986년 8월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1990년 8월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 8월 ~ 1992년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1992년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신공학과 재직 중

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등.