

## 4×4 버틀러 매트릭스를 이용한 2.4 GHz 빔포밍 안테나 설계 및 구현

김영진\*

### Design and Implementation of 2.4 GHz Beamforming antenna using 4×4 Butler Matrix

Young-Jin Kim\*

\*Professor, Department of Automatic System, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, 61453 Korea

#### 요약

본 논문에서는 버틀러 매트릭스를 이용한 빔포밍 안테나를 설계 및 분석하였다. 제안한 빔포밍 안테나의 동작 주파수는 2.4 GHz의 ISM 대역이며, 빔포밍 안테나의 구성 요소는 1×4 배열 안테나 및 4×4 버틀러 매트릭스로 구성된다. 4×4 버틀러 매트릭스의 출력포트에 서로 다른 위상차를 갖는 신호가 출력되며, 신호는 1×4 배열 안테나의 각각의 입력포트에 공급된다. 4개의 입력포트를 갖는 빔포밍 안테나는 총 4개의 빔을 형성한다. 빔포밍 안테나의 방사패턴을 분석하기 위해 각각의 입력포트에 신호를 스위칭하여 공급하였으며, 입력포트 1 ~ 4에 대한 개별적인 분석을 진행하였다. 제안한 빔포밍 안테나는 각각의 입력포트에 따라 각각 -12°, 40°, -40°, 12° 방향에서 주 빔이 형성되었다.

#### ABSTRACT

In this paper, it is designed and analyzed the beamforming antenna using the butler matrix. The operating frequency of the proposed beamforming antenna is ISM band of 2.4 GHz band and the component of the beamforming antenna consisted of a 1×4 array antenna and a 4×4 butler matrix. Each output port of 4×4 butler matrix outputs the signal having a different phase, it is provided to each input port of 1×4 array antenna. The beamforming antenna with four output ports forms a total of four beams. In order to analyze the radiation pattern of the beamforming antenna, it was provided by switching the signal to the input port and proceeded the Individual analysis for the input port 1 to 4. The main beams of the proposed beamforming antenna were formed in the -12°, 40°, -40° and 12° directions according to each input port, respectively.

**키워드** : 빔포밍 안테나, 배열 안테나, 버틀러 매트릭스, 마이크로스트립 패치 안테나

**Keywords** : Beamforming antenna, Array antenna, Butler matrix, Microstrip patch antenna

Received 15 October 2021, Revised 24 October 2021, Accepted 31 October 2021

\* Corresponding Author Young-Jin Kim(yjkim@cst.ac.kr, Tel:+82-62-230-8293)

Professor, Department of Automatic System, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, 61453 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.11.1687>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

© 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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 들어 무선통신 환경에서 데이터 트래픽의 급격한 증가로 인하여 사용자들에게 효율적인 데이터 전송을 제공할 수 있는 초고속 무선통신 시스템의 요구가 급증하고 있다. 이러한 요구를 충족할 수 있는 핵심 기술로는 주파수 이용효율을 높이고 특정 경로에 디바이스의 데이터 전송률을 극대화 할 수 있는 빔 포밍 안테나 (beam forming antenna) 기술이 있다[1][2].

빔 포밍 안테나는 배열로 구성된 각각의 안테나에 한 개의 위상 천이기 및 감쇠기를 갖게 된다. 위상 천이기는 각각의 안테나 입력포트에 공급되는 신호의 위상을 다르게 하여 주 빔의 방향을 제어할 수 있다. 이러한 위상 천이기를 대체할 수 있는 기술인 버틀러 매트릭스 (butler matrix)는 다수의 입력포트를 스위칭하여 출력포트의 위상을 변화시킬 수 있으며, 출력포트에 다수의 안테나를 결합하여 안테나의 입력포트에 서로 다른 위상을 공급함으로써 주 빔(main lobe)의 방향을 제어할 수 있는 빔 포밍 안테나로 설계할 수 있다[3][4].

안테나의 주 빔을 원하는 방향으로 성형시키는 버틀러 매트릭스는 N개의 입·출력포트를 가지며, N개의 입·출력 포트를 통해 제어할 수 있는 주 빔의 방향 개수가 결정되지만 N이 증가할수록 설계가 복잡해지는 단점이 있다[5][6].

따라서 4개의 입·출력포트를 갖는 4 × 4 버틀러 매트릭스를 제안한다. 제안한 4 × 4 버틀러 매트릭스의 구성 요소는 4개의 3 dB 커플러, 2개의 45° 위상 천이기, 1개의 크로스오버로 구성된다. 이러한 4 × 4 버틀러 매트릭스의 구성요소들은 개별적으로 설계 및 분석하여 결합되며, 결합된 4 × 4 버틀러 매트릭스는 1 × 4 배열 안테나와 결합하여 빔포밍 안테나로 구성된다[7].

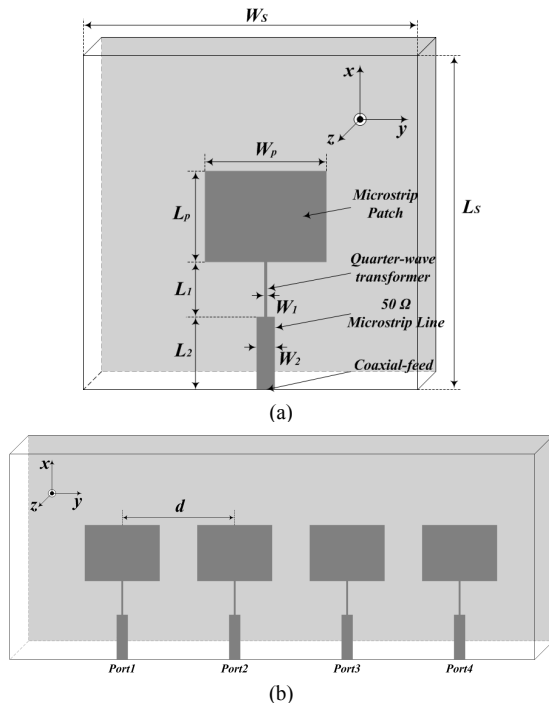
본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 2.4 GHz 대역에서 동작하는 1 × 4 배열 안테나와 4 × 4 버틀러 매트릭스를 설계 및 분석하였다. 1 × 4 배열 안테나 및 4 × 4 버틀러 매트릭스를 구성하는 각각의 요소들에 대하여 개별적인 설계 및 분석이 수행되며, 설계 및 분석된 구성요소들은 조합하여 재분석을 수행한다. 제 3장에서는 1×4 배열 안테나와 4 × 4 버틀러 매트릭스를 결합하여 빔 포밍 안테나의 주빔의 방향에 대한 방사패턴을 관찰한다. 마지막으로 제 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 배열 안테나 및 버틀러 매트릭스 분석

제안한 빔포밍 안테나는 1 × 4 배열 안테나와 4 × 4 버틀러 매트릭스로 구성된다. 제작에 앞서 빔포밍 안테나를 구성하는 각각의 요소들에 대하여 개별적인 설계와 정확한 분석이 수행되어야 하며, 이를 통해 빔포밍 안테나가 설계 및 분석된다.

### 2.1. 1 × 4 배열 안테나 설계 및 분석

제안한 1 × 4 배열 안테나를 이루는 각각의 요소는 직사각형의 마이크로스트립 패치 안테나로 구성되며, 구조 및 설계 변수는 그림 1, 표 1과 같다.



**Fig. 1** Structure of proposed single and array antenna  
(a) Structure of single microstrip patch antenna  
(b) Structure of 1 × 4 array antenna

**Table. 1** Design parameters of proposed antenna [mm]

| $L_S$ | $L_P$ | $L_1$ | $L_2$ | $d$  |
|-------|-------|-------|-------|------|
| 140   | 40.65 | 22.5  | 22    | 62.5 |
| $W_S$ | $W_P$ | $W_1$ | $W_2$ |      |
| 150   | 49.4  | 0.8   | 3.6   |      |

제안한 단일 안테나의 패치는 40.65 × 49.4 mm의 크기를 가지며, 패치와 마이크로스트립 라인 사이의 임피던스 정합을 위해  $\lambda/4$  변환기(quarter wave transformer)를 배치한다. 안테나는 유전율 2.2, 손실 탄젠트 0.0009, 두께 1.2 mm를 갖는 Taconic社의 TLY 기판에 설계하였으며, 패치와 접지 평면은 유전체 기판의 양면에 위치한다. 배열 안테나를 이루는 각각의 소자(안테나)의 거리 간격  $d$ 는  $\lambda/2 < d < \lambda$ 를 만족하여야 하며, 간격  $d$ 의 분석 결과 62.5 mm로 결정하였다[8][9].

제안한 단일 안테나의 주파수 특성에서 임피던스 정합 특성을 관찰하기 위해 반사계수(reflection coefficient)를 분석하였으며, 그림 2와 같다.

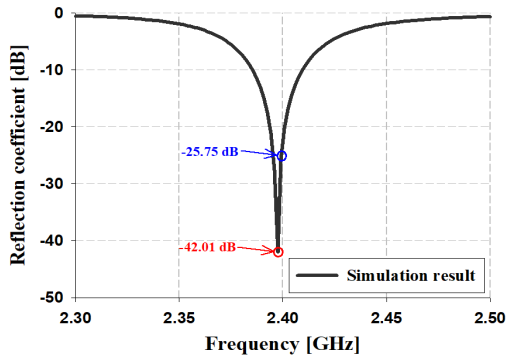


Fig. 2 Reflection coefficient simulation results of proposed single antenna

그림 2의 결과, 제안한 단일 안테나의 반사계수 분석은 최대 지점인 2.397 GHz 대역에서 -42.01 dB, 동작 대역인 2.4 GHz 대역에서 -25.75 dB의 결과를 보였다. 또한, 임피던스 대역폭(reflection coefficient ≤ -10 dB)의 분석 결과는 2.385 ~ 2.409 GHz에서 24 MHz의 대역폭을 보였다.

제안한 단일 안테나의 동작 주파수인 2.4 GHz 대역에서 E-평면(xz-plane)과 H-평면(yz-plane)에 대한 방사패턴을 분석하였으며, 그림 3과 같다.

그림 3의 결과, 제안한 단일 안테나의 방사 이득은 2.4 GHz 대역에서 8.35 dBi이며, 반전력 빔폭(HPBW: Half Power Beam Width)의 분석 결과는 E-평면에서 약 69.65°, H-평면에서 약 72.47°이다.

단일 직사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 기반으로 한 1 × 4 배열 안테나의 방사패턴 분석 결과는 그림 4와 같다.

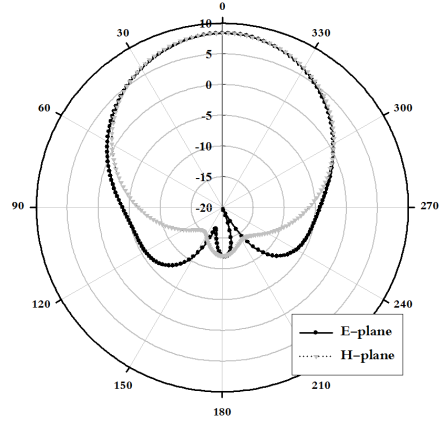


Fig. 3 Radiation pattern simulation results of proposed single antenna

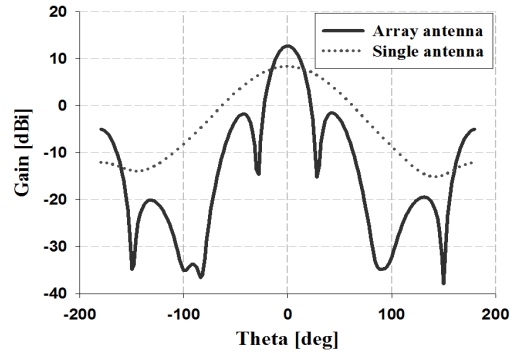


Fig. 4 Radiation pattern simulation results of single antenna and array antenna

제안한 1 × 4 배열 안테나는 단일 안테나에 비해 이득이 약 4 dBi 높은 12.74 dBi의 이득이 관찰되었다.

## 2.2. 4×4 버틀러 매트릭스 설계 및 분석

제안한 4 × 4 버틀러 매트릭스를 이루는 각각의 요소는 4개의 3 dB 커플러, 2개의 45° 위상 천이기, 1개의 크로스오버로 구성되며, 구조는 그림 5와 같다.

제안한 4 × 4 버틀러 매트릭스는 유전율 4.8, 손실 탄젠트 0.02, 두께 1.6 mm를 갖는 FR4 기판에 설계하였으며, 버틀러 매트릭스와 접지 평면은 유전체 기판의 양쪽에 위치한다.

제안한 4 × 4 버틀러 매트릭스의 구성 요소인 3 dB 커플러의 구조 및 설계 변수는 그림 6, 표 2와 같다.

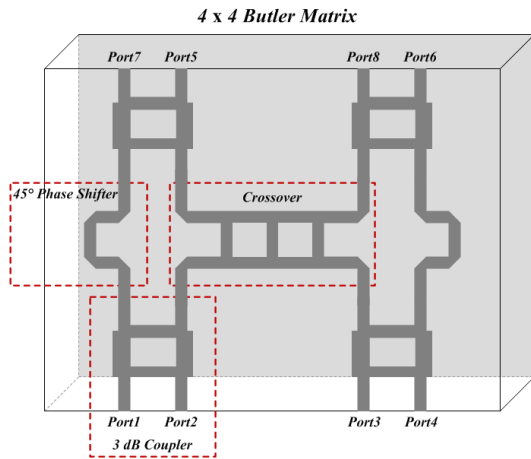


Fig. 5 Structure of proposed 4 × 4 butler matrix

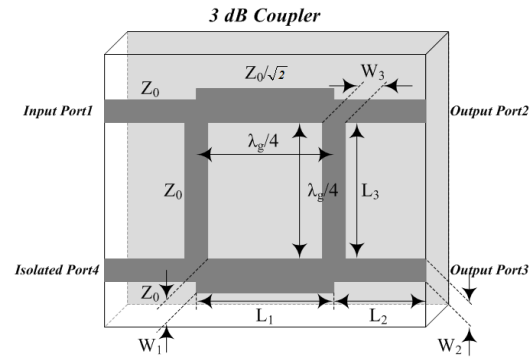


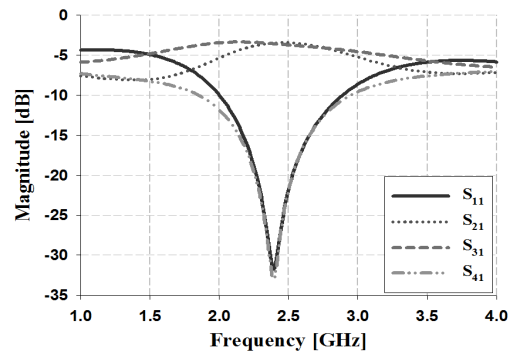
Fig. 6 Structure of proposed 3 dB coupler

Table. 2 Design parameters of proposed antenna [mm]

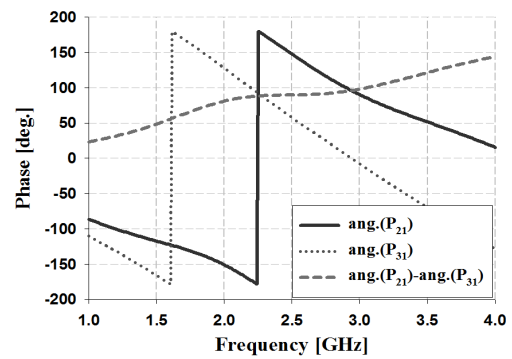
| $L_1$ | $W_1$ | $L_2$ | $W_2$ | $L_3$ | $W_3$ |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 15.8  | 4.6   | 10    | 2.8   | 16    | 2.8   |

제안한 3 dB 커플러는 입력포트 1, 출력포트 2, 출력포트 3, 격리포트 4로 구성된다. 입력포트 1에서 출력포트 2와 출력포트 3으로 신호는 균등하게 분배되고 입력포트 1과 격리포트 4는 신호가 격리된다. 또한, 각 단의 길이  $\lambda_g/4$ 로 설계하여 출력포트 2와 출력포트 3의 신호는 서로 90°의 위상차를 갖는다. 이를 통한 시뮬레이션 분석 결과는 그림 7과 같다.

그림 7 (a)의 결과, 반사계수  $S_{11}$  및 격리특성  $S_{41}$ 은 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서 각각 -31.04 dB, -32.02 dB이며, 삽입손실  $S_{31}$  및  $S_{21}$ 은 각각 -3.00 dB, -3.43 dB이다.



(a)



(b)

Fig. 7 Simulation results of proposed 3 dB coupler  
(a) Simulation results of S-parameters  
(b) Simulation results of phase and phase difference

그림 7 (b)의 결과, 위상 분석 결과는 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서  $P_{21}$ (출력포트 2, 입력포트 1)은 160.20°,  $P_{31}$ (출력포트 3, 입력포트 1)은 70.78°로 위상차는 89.42°가 관찰되었다.

제안한 4 × 4 버틀러 매트릭스의 구성 요소인 크로스 오버의 구조 및 설계 변수는 그림 8, 표 3과 같다.

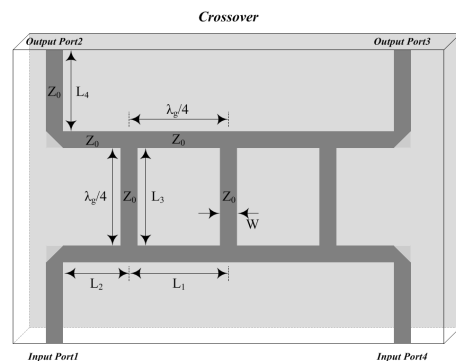


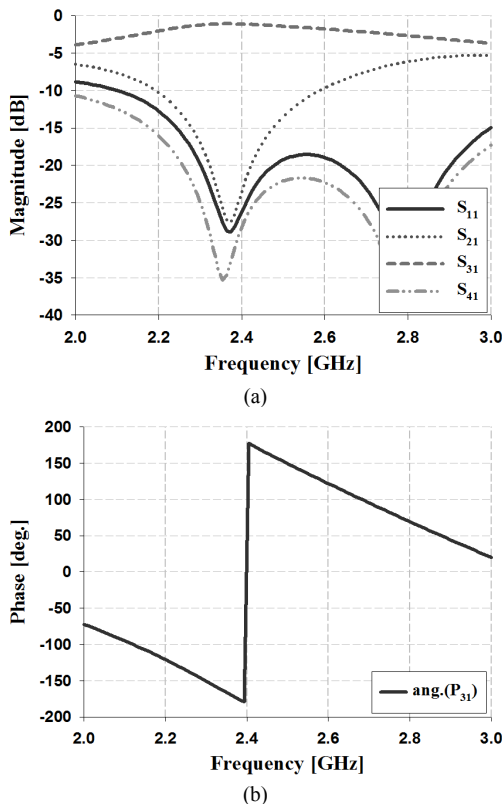
Fig. 8 Structure of proposed crossover

**Table. 3** Design parameters of proposed crossover [mm]

| L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | W   |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|
| 17.93          | 15.13          | 15.13          | 8              | 2.8 |

제안한 크로스오버는 입력포트 1, 출력포트 2, 출력포트 3, 입력포트 4로 구성된다. 크로스오버는 3 dB 결합기와 달리 입력포트 1에서 공급되는 신호는 출력포트 3으로 전달되며, 입력포트 1과 출력포트 2는 격리된다. 또한, 입력포트 4에 공급되는 신호는 입력포트 2에 전달되며, 입력포트 4와 출력포트 3은 격리된다. 특성임피던스  $Z_0$ 는 50 Ω으로 설계하여 각단의 폭은 2.8 mm로 동일하며, 각단의 길이는  $\lambda_g/4$ 로 설계하였다.

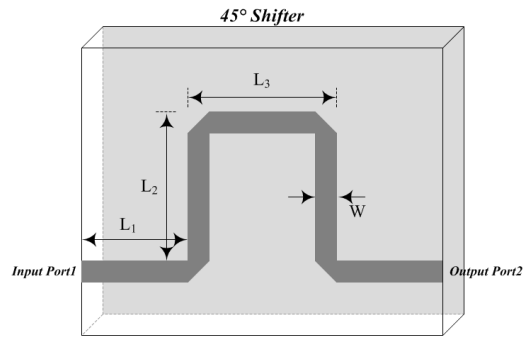
제안한 크로스오버의 S-파라미터 및 위상 분석 결과는 그림 9와 같다.



**Fig. 9** Simulation results of proposed crossover  
(a) Simulation results of S-parameters  
(b) Simulation results of phase and phase difference

그림 9 (a)의 결과, 반사계수  $S_{11}$ , 격리특성  $S_{21}$  및  $S_{41}$ 은 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서 각각 -26.16 dB, -23.41 dB, -28.20 dB이며, 삽입손실  $S_{31}$ 은 -1.13 dB이다. 그림 9 (b)의 결과, 위상 분석 결과는 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서  $P_{31}$ (출력포트 3, 입력포트 1)은 약 0°가 관찰되었다.

제안한 4×4 버틀러 매트릭스의 구성 요소인 45° 위상 천이기의 구조 및 설계 변수는 그림 10, 표 4와 같다.



**Fig. 10** Structure of proposed 45° phase shifter

**Table. 4** Design parameters of proposed 45° phase shifter [mm]

| L <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | W   |
|----------------|----------------|----------------|-----|
| 10             | 13.45          | 16.73          | 2.8 |

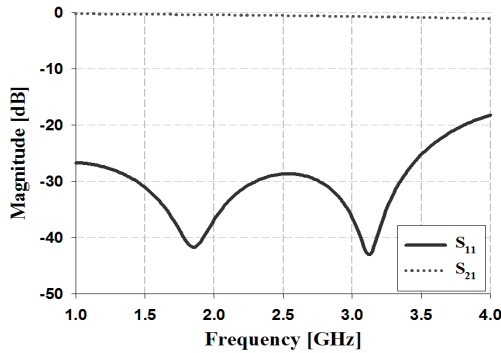
제안한 45° 위상 천이기는 입력포트 1, 출력포트 2로 구성한다. 입력포트 1에 입력되는 신호는 출력포트 2로 전달하며, 위상은 45°의 위상을 갖도록 설계한다. 45°의 위상은 L<sub>2</sub>를 가변하여 설계하였다.

제안한 45° 위상 천이기의 S-파라미터 및 위상 분석 결과는 그림 11와 같다.

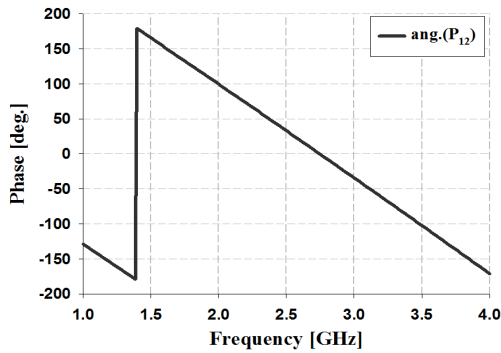
그림 11의 결과, 반사계수  $S_{11}$  및 전달계수  $S_{21}$ 은 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서 각각 -29.06 dB, -0.47 dB이다. 위상 분석 결과는 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서  $P_{21}$ (출력포트 2, 입력포트 1)은 45.52°가 관찰되었다.

설계된 각각의 구성 요소를 조합하여 4×4 버틀러 매트릭스를 설계한다. 제안한 4×4 버틀러 매트릭스의 입력포트 1과 입력포트 2에 대하여 분석하며 입력포트 3과 입력포트 4는 대칭구조로 분석을 생략한다.

입력포트 1에 대한 S-파라미터 시뮬레이션 결과는 그림 12와 같다.

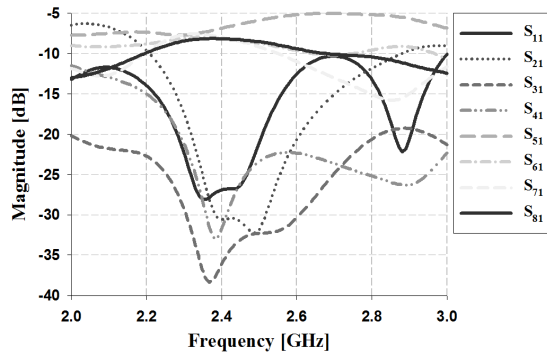


(a)



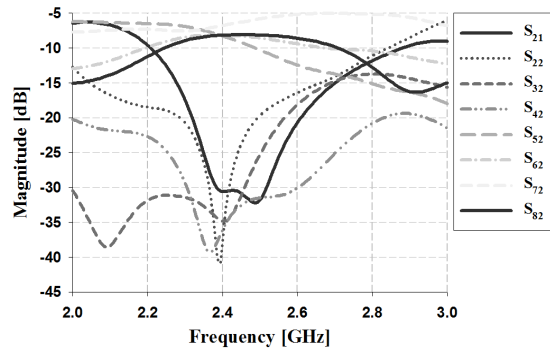
(b)

**Fig. 11** Simulation results of proposed 45° phase shifter  
(a) Simulation results of S-parameters  
(b) Simulation results of phase and phase difference



**Fig. 12** S-parameter simulation results for input port1

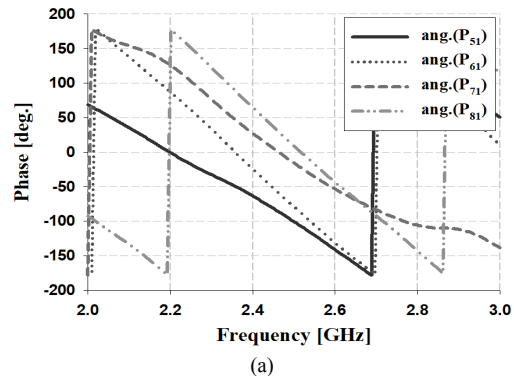
그림 12의 결과, 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서 반사계수  $S_{11}$  및 격리특성  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{41}$ 은 각각 -26.87 dB, -30.57 dB, -36.07 dB, -31.70 dB이다. 삽입손실  $S_{51}$ ,  $S_{61}$ ,  $S_{71}$ ,  $S_{81}$ 의 경우 각각 -6.84 dB, -8.16 dB, -8.00 dB, -8.17 dB이다.



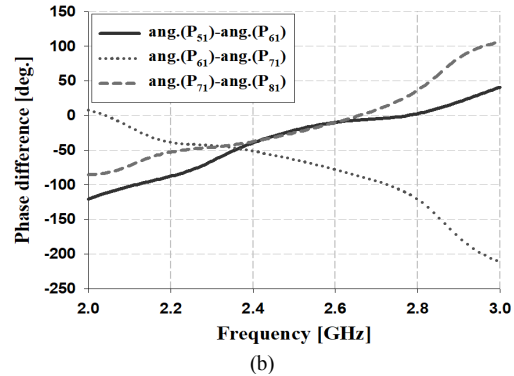
**Fig. 13** S-parameter simulation results for input port2

그림 13의 결과, 동작 주파수 2.4 GHz 대역에서 반사계수  $S_{22}$  및 격리특성  $S_{21}$ ,  $S_{32}$ ,  $S_{42}$ 은 각각 -36.91 dB, -30.57 dB, -34.85 dB, -36.03 dB이다. 삽입손실  $S_{52}$ ,  $S_{62}$ ,  $S_{72}$ ,  $S_{82}$ 의 경우 각각 -8.26 dB, -8.18 dB, -6.76 dB, -8.17 dB이다.

제안한 4 × 4 버틀러 매트릭스의 입력포트 1에 대한 위상 및 위상차 분석 결과는 그림 14와 같다.



(a)



(b)

**Fig. 14** Simulation results for input port1  
(a) Phase (b) Phase difference

그림 14 (a)의 결과, 동작 주파수 2.4 GHz 대역 부근에서 입력포트 1에 대한 위상 시뮬레이션 결과는  $P_{51}$ (출력포트5, 입력포트1)은  $-50.77^\circ$ ,  $P_{61}$ (출력포트6, 입력포트1)은  $-2.23^\circ$ ,  $P_{71}$ (출력포트7, 입력포트1)은  $45.37^\circ$ ,  $P_{81}$ (출력포트8, 입력포트1)은  $86.92^\circ$ 이다.

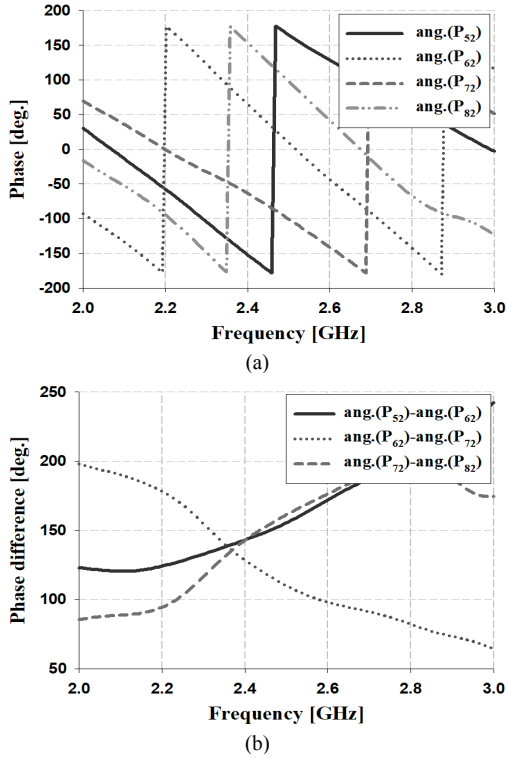


Fig. 15 Simulation results for input port2  
(a) Phase (b) Phase difference

그림 14 (b)의 결과, 동작 주파수 2.4 GHz 대역 부근에서 위상차 분석 결과는 출력포트 5와 6에서  $-48.54^\circ$ , 출력포트 6과 7에서  $-47.6^\circ$ , 출력포트 7과 8에서  $-41.55^\circ$ 이다.

제안한 4 × 4버틀러 매트릭스의 입력포트 2에 대한 위상 및 위상차 분석 결과는 그림 15와 같다.

그림 15 (a)의 결과, 동작 주파수 2.4 GHz 대역 부근에서 입력포트 1에 대한 위상 시뮬레이션 결과는  $P_{52}$ (출력포트5, 입력포트2)은  $-137.99^\circ$ ,  $P_{62}$ (출력포트6, 입력포트2)은  $82.07^\circ$ ,  $P_{72}$ (출력포트7, 입력포트2)은  $-53.41^\circ$ ,  $P_{82}$ (출력포트8, 입력포트2)은  $170.77^\circ$ 이다. 그림 15 (b)의 결과, 동작 주파수 2.4 GHz 대역 부근에서 위상차 분석 결과는 출력포트 5와 6에서  $139.94^\circ$ , 출력포트 6과 7에서  $135.48^\circ$ , 출력포트 7과 8에서  $135.82^\circ$ 이다.

### III. 빔포밍 안테나 분석

그림 16과 같이, 설계한 1×4 배열 안테나와 4×4 버틀러 매트릭스를 조합하여 빔포밍 안테나를 설계하였다. 빔포밍 안테나의 방사패턴을 분석하기 위해 각각의 입력포트에 신호를 스위칭하여 공급하였으며, 입력포트 1 ~ 4에 대한 개별적인 분석을 진행하였다. 4×4 버틀러 매트릭스의 각각의 입력포트에 공급되는 전력은 각각의 출력포트로 2.4 GHz 대역에서 각기 다른 위상을 갖는 신호가 출력되며, 이는 1×4 배열 안테나에 공급된다. 이를 통해 제어되는 빔의 개수는 입-출력 포트의 개수만큼 제어되어 총 4개의 빔을 형성한다[10-12].

4×4 버틀러 매트릭스로부터 공급되는 신호에 대한 위상 및 위상차 결과는 표 5와 같다.

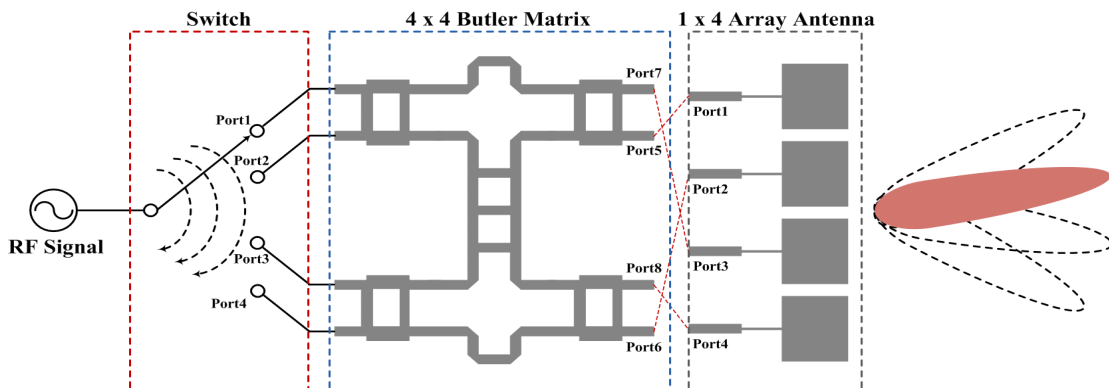


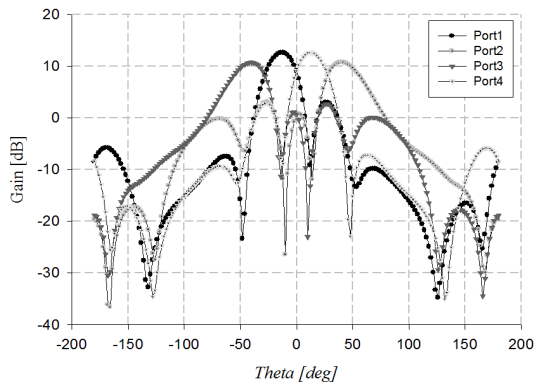
Fig. 16 Configuration of the beamforming antenna

**Table. 5** Phase and phase difference analysis results for each output port of 4 × 4 butler matrix

| Output Port<br>Input port | Phase [deg.]      |                   |                   |                   | Phase difference [deg.]                |  |  |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|--|--|
|                           | Port <sub>5</sub> | Port <sub>6</sub> | Port <sub>7</sub> | Port <sub>8</sub> | Port <sub>5i</sub> -Port <sub>6j</sub> | Port <sub>6i</sub> -Port <sub>7j</sub> | Port <sub>7i</sub> -Port <sub>8j</sub> |
| Port 1                    | -50.77            | -2.23             | 45.37             | 86.92             | -48.54                                 | -47.6                                  | -41.55                                 |
| Port 2                    | -137.99           | 82.07             | -53.41            | 170.77            | 139.94                                 | 135.48                                 | 135.82                                 |
| Port 3                    | 172.19            | -52.22            | 83.51             | -136.02           | -135.59                                | -135.73                                | -140.47                                |
| Port 4                    | 86.62             | 45.99             | -2.51             | -50.57            | 40.62                                  | 48.51                                  | 48.06                                  |

표 5와 같이, 4×4 버틀러 매트릭스의 각각의 입력포트에 대한 출력포트의 위상 및 위상차 특성을 나타내며, 4×4 버틀러 매트릭스로부터 출력된 신호는 1×4 배열 안테나의 각각의 입력포트에 공급되어 특정한 방향을 가리키는 빔 패턴을 형성한다.

이에 따른 빔 포밍 안테나의 방사패턴 분석 결과는 그림 17과 같다.



**Fig. 17** Simulation results of radiation pattern for proposed beamforming antenna

그림 17과 같이, 4×4 버틀러 매트릭스의 입력포트 1에 신호가 인가되었을 때 주 빔은 약 -12° 방향에서 12.63 dBi의 이득을 보였으며, 입력포트 2의 경우 약 40° 방향에서 10.79 dBi 이득이, 입력포트 3의 경우 약 -40° 방향에서 10.73 dBi 이득이, 입력포트 4의 경우 약 12° 방향에서 12.65 dBi의 이득을 보였다.

#### IV. 결 과

본 논문에서는 실내에서 고용량 및 고속 통신을 요구하는 이동통신 시스템에서 이를 만족할 수 있는 2.4 GHz

대역에서 동작하는 빔 포밍 안테나 기술을 설계 및 제안한다.

제안한 빔포밍 안테나는 1 × 4 배열 안테나 및 4 × 4 버틀러 매트릭스로 구성되며, 4 × 4 버틀러 매트릭스의 경우 기존의 고가인 위상 천이기를 대체하여 서로 다른 위상을 갖는 신호를 1 × 4 배열 안테나에 공급함으로써 안테나의 주 빔을 제어한다. 제안한 빔포밍 안테나의 방사패턴을 관찰하기 위해 각각의 입력포트에 전원을 스위칭하여 공급하였으며, 빔의 개수는 입·출력 포트의 개수만큼 제어되어 총 4개의 빔을 형성한다.

입력포트 1에 신호가 인가되었을 때 주 빔은 약 -12° 방향에서 형성되었으며, 입력포트 2의 경우 약 40°, 입력포트 3의 경우 약 -40°, 입력포트 4의 경우 약 12° 방향에서 형성되었다.

본 논문의 빔포밍 안테나는 특정한 방향에 위치한 디바이스에 신호를 집중하여 공급할 수 있는 빔포밍 시스템에 활용될 수 있을 것으로 예측된다. 하지만, 실질적인 시스템 구성 시 RF 스위치, 증폭부, 전원 등이 추가된다면 하드웨어가 커지는 문제점이 발생된다. 따라서, 향후에는 빔포밍 안테나의 소형화 연구가 필요하다고 판단된다.

#### References

[ 1 ] S. C. Park, S. H. Kim, J. H. Sohn, and H. C. Shin, "Design of a 28 GHz Switched Beamforming Antenna System Based on 4×4 Butler Matrix," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 26, no. 10, pp. 876-884, Sep. 2015.

[ 2 ] S. J. Shin and H. C. Shin, "Design of a 28GHz 8-Directional Switched Beamforming Antenna System Utilizing Butler Matrix," *Journal of The Institute of Electronics and*



- Information Engineers*, vol. 54, no. 01, pp. 11-17, Jan. 2017.
- [ 3 ] S. H. Choi and J. H. Choi, "Design of a Hybrid Beamforming Antenna System Using Broadband Butler Matrix and Phase Shifter," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 06, pp. 501-504, Jun. 2017.
- [ 4 ] D. H. Lee and D. Y. Yang, "Implementation of Beamforming Butler Matrix(4×4) Based on Planar Structure for LTE Mobile Communications," *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, vol. 12, no. 04, pp. 501-511, Aug. 2017.
- [ 5 ] D. H. Lee and D. Y. Yang, "Design and Implementation of Butler Matrix Based on Multilayered MTL," *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, vol. 13, no. 04, pp. 487-498, Aug. 2018
- [ 6 ] D. H. Lee, "Implementation of Broadband 4X4 Butler Beamforming Network based on Multilayer Microstrip Technology," M.S. dissertation, Jeju National University, Jeju, 2017.
- [ 7 ] S. W. Kim and D. Y. Choi, "Analysis of Beamforming Antenna for Practical Indoor Location-Tracking Application," *Sensors*, vol. 19, no. 14, pp. 1-21, Jul. 2019.
- [ 8 ] S. W. Kim, H. G. Yu, and D. Y. Choi, "Analysis of Patch Antenna with Broadband Using Octagon Parasitic Patch," *Sensors*, vol. 21, no. 14, pp. 1-11, Jul. 2021.
- [ 9 ] H. C. Kim, J. W. Jung, H. J. Lee, and Y. S. Lim, "Design of Circularly Polarization Patch Array Antenna for DSRC," *The journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 02, pp. 144-150, Feb. 2012.
- [10] I. R. Kim, C. H. Ahn, and S. S. Oh, "Design and Implementation of Beam Steering System Based on Rotman lens and its Real-Time Display Device of Beam Receiving," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 53, no. 04, pp. 37-46, May. 2016.
- [11] C. H. Lee, H. J. Park, Y. S. Lim, and S. T. Kahng, "A stacked array antenna able to make a very large gain and tilt the end-fire beam at the ISM-band," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 29, no. 09, pp. 1-7, May. 2019.
- [12] H. Ren, B. Arigong, M. Zhou, J. Dign, and H. Zhang, "A Novel Design of 4 × 4 Butler Matrix With Relatively Flexible Phase Differences," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1277-1280, Dec. 2015.



김영진 (Young-Jin Kim)

1988년 8월 : 조선대학교 전자공학과 석사  
 2003년 2월 : 조선대학교 전자공학과 박사  
 ※관심분야 : IR-UWB 레이더, 안테나 설계