

# 개방 공진형 쿼드리 필러 헤리칼 안테나 연구

윤성현<sup>°</sup>, 정재훈<sup>\*</sup>, 김재관<sup>\*\*</sup>

## Open Resonant Quadrifilar Helical Antenna

Sung-Hyun Yoon<sup>°</sup>, Jea-Hun Jung<sup>\*</sup>, Jea-Kwan Kim<sup>\*\*</sup>

### 요약

본 논문에서는 마이크로스트립 바룬 선로로 급전하는 종단이 개방된  $3\lambda/4$  SPQHA(Self-Phased Quadrifilar Helical Antenna)를 해석하였다. 그 결과 1.6[GHz]에서 3[dB] 축비 폭이 약 122도 였고, 동일 편파인 RHCP의 이득이 약 6.5[dB], 3[dB] 빔폭은 약 95도이었다. 교차편인 LHCP의 이득은 약 -23[dB]이었다. 두 편파의 비인 RHCP/LHCP는  $\theta = 0^\circ$ 에서 약 30[dB]이고, 전후방비는 약 18.6[dB] 로서 만족스러운 결과를 얻었다.

**Key Words** : Bifilar Helical Antenna, Self-phased Quadrifilar Helical Antenna, Right Hand Circular Polarization, Left Hand Circular Polarization, Microstrip Balun, Axial Mode, Normal Mode, Back fire Mode

### ABSTRACT

In this paper, we analyzed  $3\lambda/4$  open end SPQHA(Self-Phased Quadrifilar Helical Antenna) that are fed microstrip balun. As a result, 3dB axial ratio width was about 122 degree, gain of the RHCP that is co-polarization was about 6.5[dB], beam width was 95 degree. Gain of the LHCP that is cross-polarization was -23[dB], the ratio of RHCP/LHCP was about 30[dB] at  $\theta = 0^\circ$  and forward/backward was about 18.6[dB] that was satisfied result of the SPQHA.

### 1. 서론

QHA(Quadrifilar Helical Antenna)는 수평 방향으로 전 방향성(omni-direction), 수직 방향으로 백 파이어 모드(back-fire mode), 편파는 우선 원형 편파(Right Hand circular polarization : RHCP)를 요구하는 많은 GNSS(Global Navigation Satellite System) 응용에 최적의 안테나로 평가되고 있다<sup>[1]</sup>. QHA는 두 개의 BHA(Bifilar Helical Antenna)를 서로 직교하게 구성하는데, 도선의 회전 방향은 가상의 원통을 RHCP가 발생하게 하고, 축 방향에서 백 파이어로 복

사되게 하기 위하여 두 BHA사이에 90도 위상 차가 발생하도록 급전하는데, 보통 두 가지 방법이 이용된다. 첫째는 동일한 두 개의 BHA에 90도 하이브리드 3dB 결합기를 이용하여 급전하는 방법인데, 그림 1과 같이 QHA 시스템에 위상 변환 회로망이 추가되고, 그에 따른 전력 손실도 발생한다<sup>[2]</sup>. 두 번째 방법은 외부에서 제공하는 별도의 위상 변환 회로망 없이 두 개의 BHA의 길이를 서로 다르게 하여 90도 위상차를 발생하게 하는 SPQHA(Self-Phasing QHA) 방법이다<sup>[3]</sup>. 즉, 하나의 BHA는 원하는 공진주파수에서 안테나 공진 길이를 약간 길게하여, 공진 주파수에서 인덕터

※ “이 논문은 2017년도 Brain Busan 21 사업에 의하여 지원 되었음”

•° First and Corresponding Author : Kyung Nam College of Information & Technology, yoon1@eagle.kit.ac.kr, 정회원

\* YD Electronics veritas73jjh@naver.com

\*\* YD Electronics saracokim@paran.com

논문번호 : KICS2017-12-387, Received December 18, 2017; Revised January 8, 2018; Accepted January 8, 2018

## II. $3\lambda/4$ 종단 개방 BHA

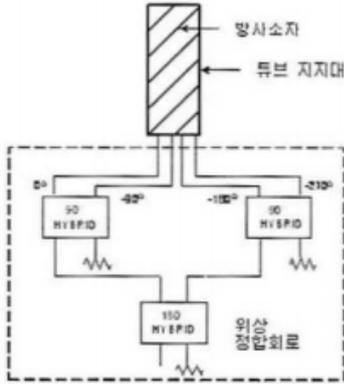


그림 1. 외부위상 정합 QHA  
Fig. 1. External phase matched QHA

브로 동작하고, 또 다른 BHA는 약간 짧게하여 커패시브하게 동작 시켜 두 BHA 사이에 위상차를 90도 발생하게 하는 방법이다. 이러한 SPQHA를 구성하는 방법은 그림 2와 같이 안테나의 길이를  $\lambda/4$ 의 짝수 배로 하고 안테나의 종단을 단락시키는 방법과  $\lambda/4$ 의 홀수배로 하고, 종단을 개방하는 두 가지 방법이 있다<sup>[4]</sup>. 또한 기존의 많은 문헌에서는, 임피던스 정합과 평형 급전을 위한 바론으로 동축 케이블을 사용하였는데, 슬롯의 길이 및 동축 케이블의 길이가 임피던스 정합에 매우 예민하게 영향을 준다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 GPS, Inmarsat 주파수 대역이 포함된 중심 주파수 1.6[GHz]인 L1 밴드용 SPQHA를 마이크로스트립 선로 임피던스 변환기 및 바론<sup>[5]</sup>을 이용하여, 종단이 개방된,  $3\lambda/4$  SPQHA에 대하여 해석하기 위하여 CST MWS를 이용하여 해석하고자 한다.

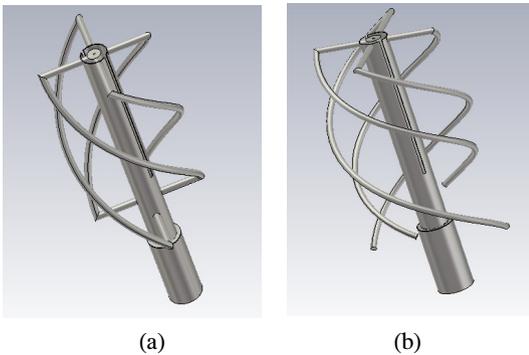


그림 2. (a) 종단 단락  $\lambda/2$  SPQHA (b) 종단 개방  $3\lambda/4$  SPQHA  
Fig. 2. (a)  $\lambda/2$  SPQHA of shorted end (b)  $3\lambda/4$  SPQHA of opened end

QHA는 두 개의 BHA를 반경  $r$ 인 가상의 원통 둘레에 시계 방향 혹은 반 시계방향으로 도선을 감아서 구성한다<sup>[6]</sup>. 그림 3은 왼쪽의 가상의 원통에 감은 하나의  $3\lambda/4$  길이의 도선을, 오른쪽에 등가적으로 평면으로 펼친 것을 나타낸 것이다.

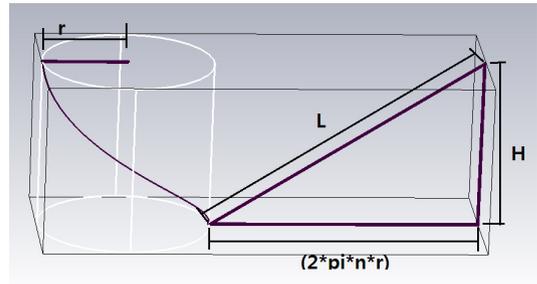


그림 3. 하나의  $3\lambda/4$  BHA  
Fig. 3. one  $3\lambda/4$  BHA

여기서  
 $r$  : 원통의 반경  
 $n$  : 헬릭스의 회전수  
 $H$  : 원통의 높이  
 $L$  : 헬릭스 부분의 길이  
 따라서 다음의 식이 성립한다.

$$L + r = k_t \frac{3\lambda}{4} \quad (1)$$

$$L^2 = H^2 + (2\pi nr)^2 \quad (2)$$

여기서  $k_t$  은 공진주파수에서의 공진이 발생하는 안테나 길이의 축소 혹은 연장 요소이다. 또한, 복사 패턴의 형태를 결정하는 설계 파라메타 중 하나는 가상 원통의 직경과 높이 사이의 비로서 다음과 같이 알려져 있다<sup>(7)</sup>.

$$R_a = \frac{2r}{H} \quad (3)$$

따라서, 식(2)에 식(3)을 대입하고,  $H$  에 대하여 풀면 다음과 같다.

$$H = \frac{k_t \frac{3\lambda}{4}}{\sqrt{(n\pi R_a)^2 + 1} + R_a} \quad (4)$$

또한,  $H$ 가 결정되면 헤릭스의 길이  $L$ 은 식(1)에서 다음과 같다.

$$L = k_l \frac{3\lambda}{4} - R_a H \quad (5)$$

즉,  $H, L, r$  가  $\lambda, R_a, n, k_l$  의 함수로 되어있는데, 안테나 설계자가 공진 길이, 복사 패턴 및 임피던스를 고려하여 이들의 값을 결정해야한다. 본 연구에서는 GPS 송신주파수 L1 (1.575GHz) 및 Inmarsat -C 송신 주파수(1.542 - 1.6365GHz)를 수용할 수 있는  $3\lambda/4$  SPQHA를 설계하기 위하여 우선  $3\lambda/4$  BHA 특성을 중심 주파수 1.6[GHz]에서 해석한다. 그림 4는 해석하고자 하는 중단이 개방된  $3\lambda/4$  길이의 도선을 반경  $r$ 의 가장 원통에 RHCP(Right Hand Circle Polarization)이 발생하도록 감은 BHA를 나타낸 것이다. 그림 5는 공진주파수 1.6[GHz]에서  $R_a$ 에 따른 복



그림 4.  $3\lambda/4$  RHCP BHA  
Fig. 4.  $3\lambda/4$  RHCP BHA

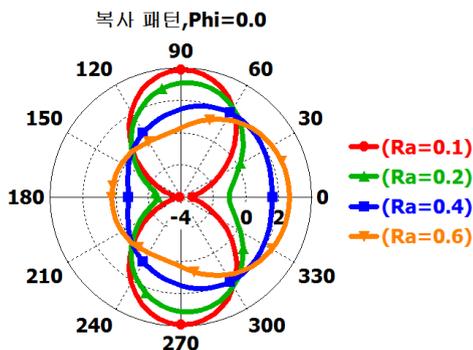


그림 5.  $\phi=0$ 에서  $\theta$ 에 따른 복사 패턴  
Fig. 5. Radiation pattern according to  $\theta$  at  $\phi=0$

사 패턴을 보인 것인데,  $R_a$ 가 약 0.4이상에서 축 모드(Axial mode : end fire)로 동작하고, 그 이하에서는 기본 모드(normal mode : broadside)로 동작함을 알 수 있다<sup>[8]</sup>. 따라서 축모드로 동작하기 위해서는  $R_a$ 의 값을 0.4 이상으로 선택해야한다.

그림 6은 도선의 회전수  $n=1.156$ 일 때  $R_a$ 에 따른 입력 임피던스의 실수부와 허수부를 보인 것인데,  $R_a$ 가 커질수록 임의 주파수에서 실수부 및 허수부가 작아짐을 알 수 있다. 따라서 공진 주파수를  $R_a$ 에 의해서도 변화시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

또한 그림 7은  $R_a=0.6$ 일 때, 도선의 회전수  $n$ 에 따른 BHA의 입력 임피던스를 보인 것이다. 그림에서 회전수  $n$ 값이 증가 할수록 실수부 저항 값은 매우 큰 차이로 감소하지만, 허수부는 큰 변화 없다는 것을 알 수 있다. 그림 8은  $n$ 값에 따른 RHCP의 축비를 보인 것인데 보통 3dB 이하를 원형 편파의 기준으로 한다는 관점에서 적절한  $n$ 값을 선택하는 것이 필요하다.

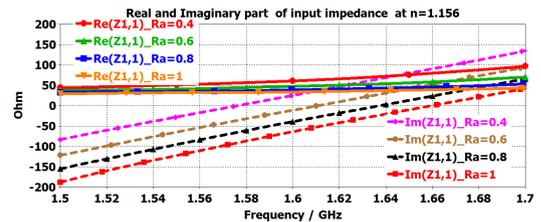


그림 6.  $R_a$ 에 따른 입력 임피던스  
Fig. 6. Input impedance according to  $R_a$

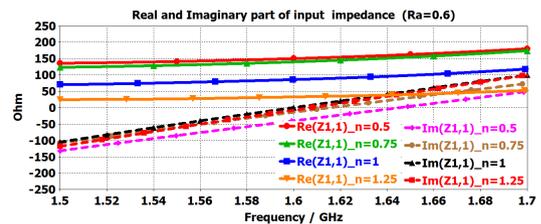


그림 7.  $n$ 에 따른 입력 임피던스  
Fig. 7. Input impedance according to  $n$

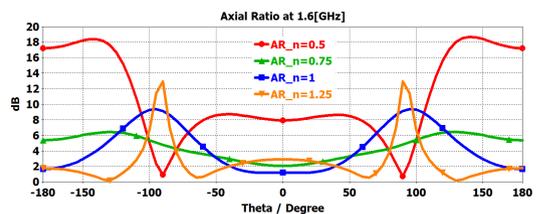


그림 8.  $n$ 에 따른 축비  
Fig. 8. Axial ratio according to  $n$

또한, 그림 9에서도  $n$ 값이 클수록 동일 편파인 RHCP의 이득이 크고, 교차 편파인 LHCP의 이득 작아지는 것을 알 수 있다.

그림 10은 안테나로 사용하는 도선의 반경  $a$ 에 따른 입력 임피던스를 보인 것인데, 실수부는  $1.6[GHz]$ 에서  $a = 0.6[mm]$ 인 경우와  $a = 1.2[mm]$  경우 사이에 실수부는 약  $4.6[\Omega]$ , 허수부는 약  $5.5[\Omega]$ 의 차이가 발생하였다.

따라서 그림 6에서 그림 10까지의 BHA의 입력 임피던스, 축비 및 이득 등의 안테나 특성을 고려할 때, 두 개의 BHA를 이용하여 우선원형편파 백 피어 SPQHA를 설계하기 위해서, 가상 원통의 직경과 높이 사이의 비인  $R_a$ , 헬릭스의 회전수인  $n$ , 안테나 도선의 반경  $a$ , 안테나 공진 길이 조정 요소  $k_l$  등의 파라메타 값을 적절하게 결정해야한다.

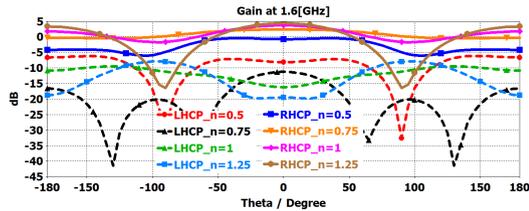


그림 9. RHCP 및 LHCP의  $n$ 에 따른 이득  
Fig. 9. Gain of the RHCP and LHCP according to  $n$

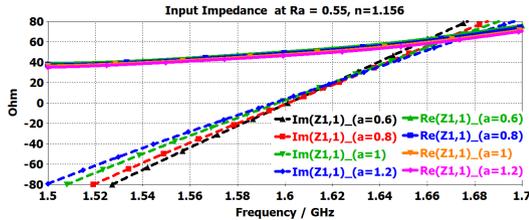


그림 10. 반경  $a$ 에 따른 입력 임피던스  
Fig. 10. Input impedance according radius of  $a$

### III. SPQHA 설계

QHA는 축 방향은 심장형(cardioid-shape), 수평방향으로는 전 방향(omni-direction) 복사패턴과, 높은 전후방비, 낮은 교차 편파 및 원형 편파 빔을 요구하는 이동 위성 통신의 응용에 사용된다. 본 연구에서는 이러한 특성을 가지는 QHA를 자체 위상 편이가 있는 SPQHA를 중심 주파수  $1.6[GHz]$ 에서 동작하는 종단 개방  $3\lambda/4$  SPQHA를 우선 바른 및 급전선이 없는 그림 11과 같이 두 개의 BHA가 서로 직교하는 형태로

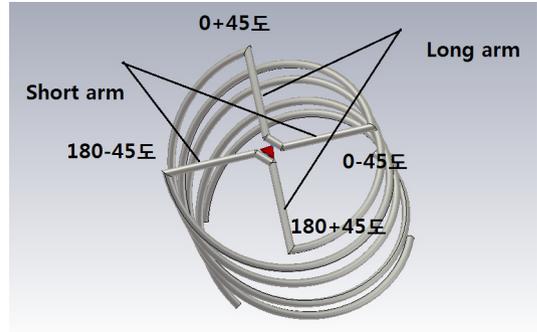


그림 11.  $3\lambda/4$  SPQHA  
Fig. 11.  $3\lambda/4$  SPQHA

설계 하고자 한다. 두 BHA의 전류 분포가 공진 주파수에서 90도 위상차를 가지기 위하여, 하나의 BHA는 공진 길이보다 약간 길게 하여 전류의 위상이 45도 앞서게 하여 입력 임피던스  $Z_1 = R + jR$ 이 되도록 하고, 또 다른 BHA는 공진 길이보다 약간 짧게 하여 전류의 위상이 45도 늦게 하여 입력 임피던스가  $Z_2 = R - jR$ 이 되도록 한다.

그리고 단일 신호원을 두 BHA에 병렬로 급전하면 입력 임피던스는 식(6)

$$\frac{1}{Z_0} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \quad (6)$$

에 의해서 공진 주파수에서

$$Z_0 = R \quad (7)$$

이 된다. 그러나 공진 주파수에서 벗어나면 임피던스가 변하기 때문에 위상차도 90도를 벗어나고, 식(7)도 만족하지 않기 때문에 급전선의 임피던스를 선택할 때, 대역폭을 위하여 적절하게 선택해야한다.

$1.6[GHz]$ 에서  $Z_0 = R = 50[\Omega]$ ,  $Z_1 = 50 + j50[\Omega]$ ,  $Z_2 = 50 - j50[\Omega]$ 을 얻기 위하여, 그림 6, 7, 10을 참조하여 표 1과 같이 파라메타의 값을 결정하였다.

표 1.  $Z_0, Z_1, Z_2$ 에 따른 파라메타 값  
Table 1. The value of parameter according to  $Z_0, Z_1, Z_2$

	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$
$R_a$	0.8	0.9	0.8
$n$	1.101	1.135	1.075
$k_l$	1.007	1.055	<b>0.9675</b>
$a$	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>

그림 12는 표 1의 값을 독립적으로 BHA의 파라메타를 사용할 경우 주파수에 따른 각각의 BHA의 입력 임피던스를 보인 것인데,  $Z_0 = R = 50[\Omega]$ ,  $Z_1 = 50 + j50[\Omega]$ ,  $Z_2 = 50 - j50[\Omega]$  이 만족하는 것을 알 수 있다.

그림 13은 결정된  $R_a, n, a, k_l$ 을 그림 11과 같은 SPQHA에 적용하여 시뮬레이션 한 입력 임피던스와 BHA의 입력 임피던스를 보인 것인데,  $f = 1.6[GHz]$ 에서 SPQHA의 입력 임피던스가  $50 + j0$ 이 되지만, 주파수가 변하면, 입력 임피던스가 변하므로, 급전선의 임피던스를 결정할 시 대역폭을 고려하여 적절하게 선택해야한다. 그림 14는 급전선의 임피던스에 따른 SPQHA의  $S_{11}$ 을 보인것인데, 35옴을 사용할 때가 대역폭이 제일 넓은 것을 알 수 있다.

그림 15는  $f = 1.6[GHz]$ 에서 복사 패턴을 보인 것인데, 후방 쪽의 복사가 약  $-3.4dB$ 인 만족스러운 결

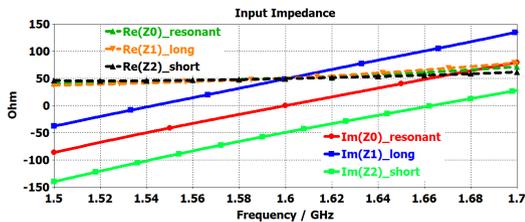


그림 12. 파라메타에 따른 각 BHA의 입력 임피던스  
Fig. 12. Input impedance of each BHA according to parameter.

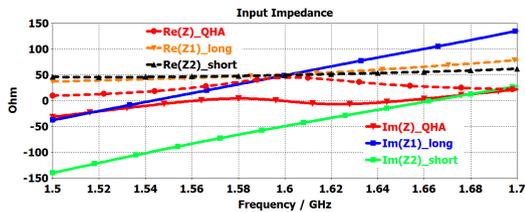


그림 13. 두 BHA와 SPQHA의 입력 임피던스  
Fig. 13. Input impedance of two BHA and SPQHA

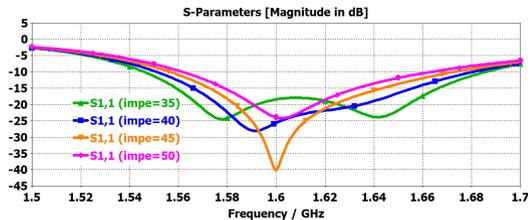


그림 14. 급전선 임피던스에 따른  $S_{11}$   
Fig. 14.  $S_{11}$  according to feeder impedance

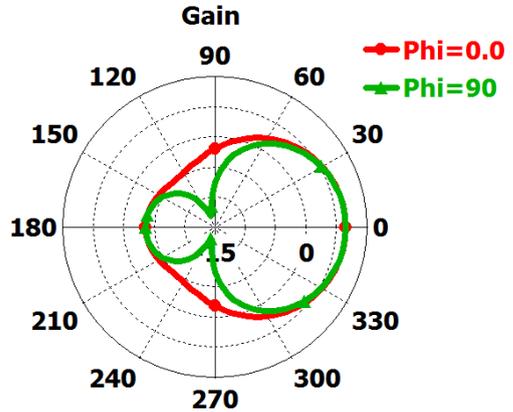


그림 15. 표 1 파라메타에 따른 SPQHA의 복사패턴  
Fig. 15. Radiation pattern of SPQHA according to table. 1

과가 발생하지 않았다. 즉, 식(6),식(7)은 두 BHA의 임피던스 크기가 같고, 위상차도 정확히 90도 이면서, 두 안테나 사이에 상호 결합이 없는 이상적인 경우이고, 실제로는 두 안테나 사이에 결합이 발생하고, 공진 주파수에서만 90도의 근사적인 위상차가 발생한다. 따라서 두 안테나 사이의 상호 결합에 의한 이유로 설계된 SPQHA의 특성이 변하므로, 만족스러운 결과를 얻기 위해서는  $R_a, n, a, k_l$ 를 수정해야한다.

표 2는 만족스러운 전후방비 및 심장형 복사 패턴을 얻기 위하여 수정된  $R_a, n, a, k_l$ 을 보인 것이고, 표 3은 그에 따른 안테나의 제원을 보인 것이다. 그림 16은 그 때의 복사 패턴을 보인 것인데, 전방 쪽 복사

표 2. 수정된 파라메타 값  
Table 2. The value of modified parameter

	$Z_1$	$Z_2$
$R_a$	0.9	0.8
$n$	1.1	1.075
$k_l$	1.038	0.9875
$a$	1.2	1.2

표 3. 표 2에 따른 SPQHA의 제원  
Table. 3. Dimension of SPQHA according to table 2

Long filar radius	17.67 mm
Short filar radius	16.62 mm
Long filar height	39.27 mm
Short filar height	41.56 mm
Long filar length	128.3 mm
Short filar length	122.2 mm

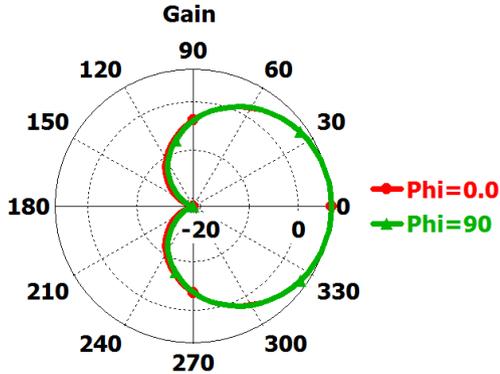


그림 16. 표 2 파라메타에 따른 SPQHA의 복사패턴  
Fig. 16. Radiation pattern of SPQHA according to table. 2

는 약 6dB, 후방 쪽의 복사가 약 -22dB 로서 만족스러운 전후 방비를 얻을 수 있었다.

또한, 그림 17은  $f = 1.6[GHz]$ 에서 안테나의 전류 분포를 보인 것인데, 두 BHA 사이에 위상차가 항상 90도 인 것을 알 수 있다.

그림 18은  $1.6[GHz]$ 에서, 수정된 파라메타를 이용하여 설계된 SPQHA의 축비, RHCP 및 LHCP를 보인 것인데, 모두 만족스러운 결과를 얻었다. 그러나 그림 19과 같이 SPQHA의 입력 임피던스는 BHA 두 안테나의 상호 결합에 의해서 작아진 것을 알 수 있

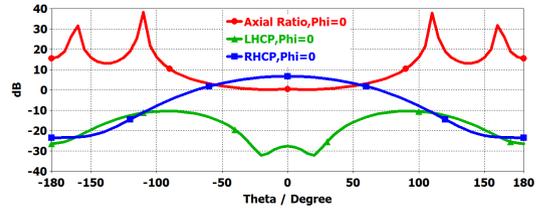


그림 18. 표 2 파라메타에 따른 SPQHA의 축비, RHCP 및 LHCP 이득  
Fig. 18. Axial ratio, gain of RHCP and LHCP of SPQHA according to table. 2

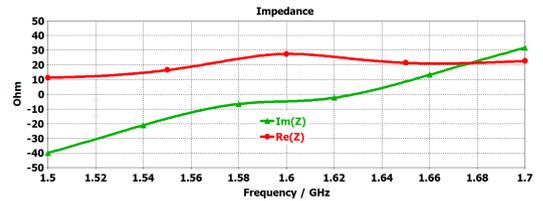


그림 19. 표 2에 따른 SPQHA의 입력 임피던스  
Fig. 19. Input impedance of SPQHA according to table 2.

다. 따라서, 안테나의 급전을 위하여 본 연구에서는 급전점의 임피던스를 쉽게 조정할 수 있는 마이크로 스트립 선로를 이용하고자 한다

#### IV. 마이크로스트립 바론을 이용한 $\frac{3\lambda}{4}$ SPQHA

SPQHA에 급전하기 위해서 기존의 동축 케이블로 급전하는 대신 본 연구에서는 그림 20과 같은 마이크로 스트립 바론 및 임피던스 변환기를 사용하고자 한다. SPQHA의 급전선으로 이러한 마이크로스트립 선로를 사용할 경우 추가적으로 도입되는 스트립 선로에 의한 인덕턴스 성분이 발생하므로 임피던스 정합을 위하여 이를 상쇄하기 위한 커패시턴스 성분이 필요하다

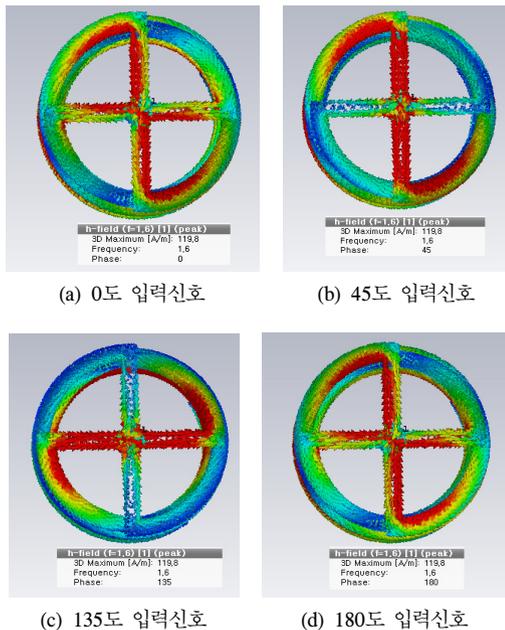


그림 17. 입력 신호의 위상에 따른 SPQHA의 전류 분포  
Fig. 17. Current distribution of SPQHA according to input signal phase.

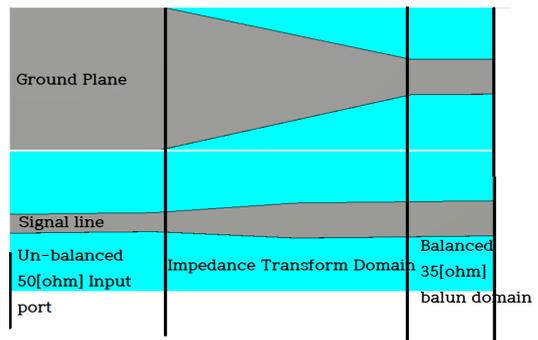


그림 20. 마이크로스트립 바론  
Fig. 20. Microstrip balun

다. 이를 위하여 본 연구에서는 스트립 선로의 폭에 의해서 필요한 임피던스가 결정되므로, 접지면의 면적을 조정하여 SPQHA의 입력 임피던스와 정합을 얻고자 하였다.

그림 21은 마이크로스트립 바룬의 S - 파라메타를 보인 것이고, 그림 22는 이러한 바룬으로, SPQHA에 급전하는 앞면 및 뒷면의 구조를 보인 것이다.

그림 23은 이때의  $S_{11}$ 을 보인 것인데, -10dB 대역

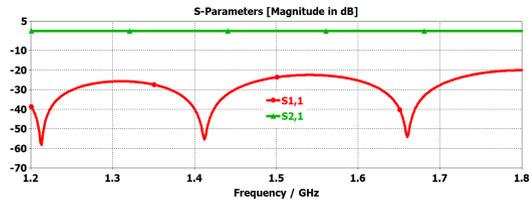


그림 21. 마이크로스트립 바룬의 S-파라메타  
Fig. 21. S-parameter of microstrip balun

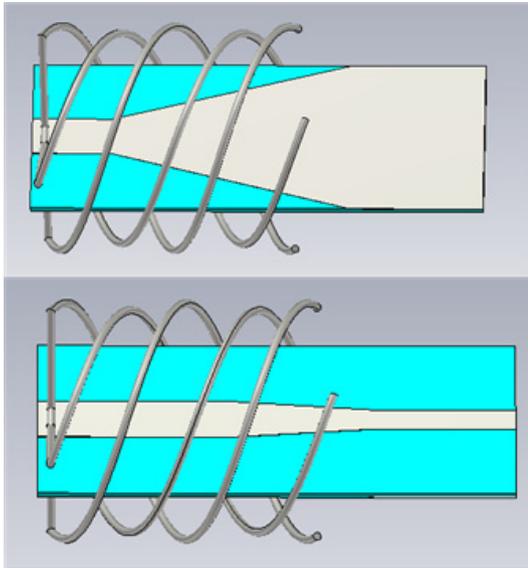


그림 22. 마이크로스트립 바룬으로 급전된 SPQHA  
Fig. 22. SPQHA feeding by microstrip balun

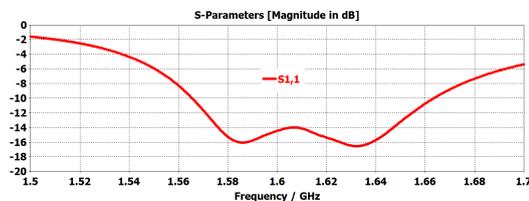


그림 23. 마이크로스트립 바룬으로 급전된 SPQHA 의 S-파라메타  
Fig. 23. S-parameter of SPQHA feeding by the microstrip balun

폭이 약 1.565[GHz]에서 1.66[GHz]로 98[MHz]가 되는데, 이것은 GPS 주파수 1.575[GHz], Inmasart-C 송신 주파수 1.636[GHz]를 포함한다. 그림 24는 1.6[GHz]에서 3[dB] 축비 폭이 약 122도였고, 동일 편파인 RHCP의 이득이 약 6.5[dB], 3[dB] 빔폭은 약 95도이며, 교차편인 LHCP의 이득은 약 -23[dB]로 계산 되었다. 또한 그림 25는 마이크로스트립 바룬으로

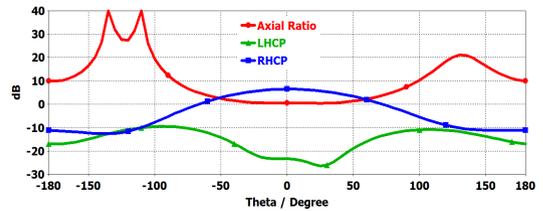


그림 24. 마이크로스트립 바룬으로 급전된 SPQHA의 축비, 우선원형편파, 좌선 원형편파  
Fig. 24. Axial ratio, RHCP, LHCP of SPQHA feeding by the microstrip balun

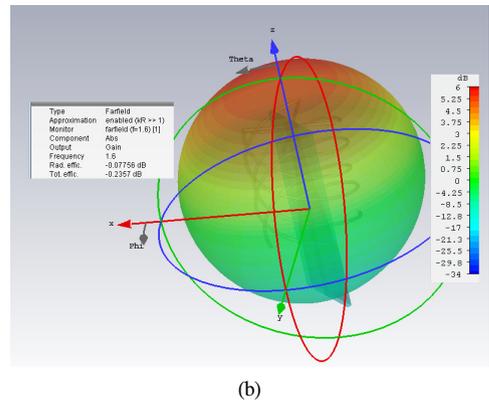
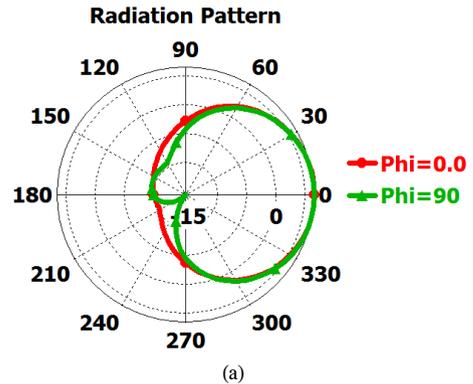


그림 25. 마이크로스트립 바룬으로 급전된 SPQHA의 복사 패턴 (a) 2차원(b) 3차원  
Fig. 25. Radiation pattern of SPQHA feeding by the microstrip balun (a) 2 dimension (b) 3 dimension

급전된 SPQHA의 복사패턴을 2차원 및 3차원으로 나타낸 것인데, 전후방비가  $\theta = 0^\circ$ 에서 18.6[dB] 로서 만족스러운 결과를 얻었다.

### V. 결 론

본 연구에서는 이동 위성 통신 시스템에서 요구하는 수평 방향으로는 전 방향성, 수직 방향으로는 심장형 백 파이어 모드의 우선 원형 편파를 위하여, 중단이 개방된  $3\lambda/4$  BHA 2개를 서로 직교로 배치하고, 안테나의 길이를 조절하여 자체에서 90도의 위상차가 발생하는 조건을 해석하였다. 또한, 기존의 안테나를 급전하는 방식은, 임피던스 변환과 바룬의 역할을 동시에 수행하는 동축 케이블을 이용하였지만, 본 연구에서는 마이크로스트립 선로를 이용한 평형 급전 조건을 해석하여 SPQHA에 급전하였다. 그 결과 1.6[GHz]에서 3[dB] 축비 폭이 약 122도였고, 동일 편파인 RHCP의 이득이 약 6.5[dB], 3[dB] 빔폭은 약 95도이며, 교차편인 LHCP의 이득은 약 -23[dB]로 계산 되었다. 전후방비가  $\theta = 0^\circ$ 에서 약 30[dB] 로서 만족스러운 결과를 얻었다.

차후 연구 과제는 설계된 제원으로 3D 프린터를 이용하여 제작하고 그 특성을 측정하고자한다.

### References

[1] Z. Sun, J. ZHAO, S. Wang, T. Xu, W. Liu, and Y. Chang, "A study on the control of BDS/GPS self-phase quadrifilar helical antenna for ship," *J. Shipping and Ocean Eng.*, pp. 108-111, Jul. 2017.

[2] X. Shui and H. Tang, "A s-band printed quadrifilar helical antenna for communication devices," in *Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Computer Sci. and Electron. Eng.*, pp. 1617-1620, 2013.

[3] S. J. Marais, "The quadrifilar helix antenna and its application to wide angle phase-steered arrays," Thesis in the dept. Electrical Eng. at the University of Stellenbosch, 2007.

[4] C. C. Kilgus, "Shaped conical radiation pattern performance of backfire quadrifilar helix antenna," *IEEE Trans. AP-23*, pp. 392-397, May 1975.

[5] S. J. Park, "Implementation of quadrifilar

helical antenna using phase difference with PCB feeding line," *J. Korean Computer Inf.*, vol. 13, no. 6, pp. 211-216, Nov. 2008.

[6] R. W. Hollanader, *Resonant quadrifilar helical antenna*, working group satellites TechNote 1999-1.

[7] J. M. Tranquilla and S. R. Best, "A study of the quadrifilar helix antenna for global positioning system(GPS) application," *IEEE Trans. AP-38*, pp. 1545-1550, Oct. 1990.

[8] C. A. Balanis, *Antenna Theory analysis and design*, 2nd Ed., pp. 505-512, John Wiley & Sons Inc., 1982.

#### 윤 성 현 (Sung-Hyun Yoon)



1984년 2월 : 동아대학교 전자공학과 졸업 (공학학사)  
 1986년 2월 : 동아 대학교 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1991년 2월 : 동아대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1989년 9월~현재 : 경남정보대학교 정보통신계열 교수

<관심분야> RF 및 안테나

#### 정 재 훈 (Jae-Hun Jung)



1999년 2월 : 동의대학교 전자통신과 졸업  
 2005년~2009년 : 사람콤(주) 선박자동화 부설연구소 연구원  
 2013년~현재 : YDE(주) 선임연구원  
 <관심분야> 전자공학, RF 시스템

#### 김 재 관 (Jae-Kwan Kim)



1981년 2월 : 금오공고 자동제어전공 졸업  
 1990년~2009년 : 사라콤 (주) 연구개발이사  
 2014년~현재 : YDE (주) 이사  
 <관심분야> X-band Radar