

논문 2012-49SC-3-7

작은 디바이스를 위한 원형편파안테나 설계

(Design of Circular Polarization Antenna for Small Device)

김 승 우*, 강 춘 호**

(Seung-Woo Kim and Chun-ho Kang)

요 약

본 논문은 Ku대역에서 동작하는 레이더용 원형편파안테나에 대한 설계 및 실험에 관한 것으로 선형안테나를 이용하여 원형편파안테나를 만들기 위해 Post를 이용함으로 안테나의 구조적 크기를 줄일 수 있었다. 원형편파 안테나의 축비 Bandwidth을 넓히기 위해 3개의 Post를 사용하였으며, 축비 최적화를 위해 Post사이 거리와 길이를 적절하게 선정하여 설계하였다. 또한 축비 최적화를 위해 반응표면법을 이용하여 최적화를 하였으며, 구현된 안테나는 12.7%의 Impedance Bandwidth와 설계 대역 내에서 2dB 이하의 축비 특성 및 7.8dBi 이상의 이득을 확인할 수 있었다.

Abstract

This paper is in regard to design and experiment about the radar's circular polarization antenna operating in the Ku band. By using the Post to manufacture the circular polarization antenna using the linear antenna, it could reduce the structural size of an antenna. 3 Posts were used in order to broaden the Axial ratio Bandwidth of the circular polarization antenna. The distance and length between Posts and Post were appropriately selected for the axial ratio optimization and applied in the design. It was verified that the designed antenna has the impedance bandwidth of 12.7%, axial ratio performance less than 2dB and gain of 7.8dBi.

Keywords : Axial Ratio, Antenna Gain, Radition Pattern

I. 서 론

전자파의 편파는 전자기파의 진행방향에 대한 E-Field의 극성방향을 의미하며 크게 수직, 수평, 원형 편파 3가지로 분류할 수 있다. 특히 원형 편파는 위성 통신과 우천시에 유리한 특성을 보인다. 원형 편파를 구현하는 가장 일반적인 방법은 90도 위상차가 나는 두 선형 편파 요소를 서로 직교하도록 인가하는 방법이다. 본 논문에서는 Ku대역 레이더용 안테나에 사용되는 LHCP(좌원형편파)를 구현하기 위하여 3개의 Pin-polarizer를 이용하여 설계하는 방법을 제안하였으며, 구현 시 발생하는 오차를 최소화하기 위해 설계변수 상

호간에 미치는 영향성 분석을 하였고, 설계변수 최적화를 위한 방법으로 반응표면법을 적용하였다. 또한 제작 오차 최소화를 위해 제작 공정방법 개선등의 최적화를 수행하였다.

II. 본 론

1. 원형편파안테나

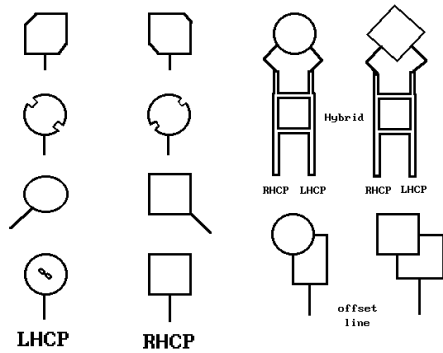
원형 편파 안테나는 위성과 지상간 또는 우천시 등과 같은 극성 변환이 우려되는 통신 환경에서 우수한 전송 특성을 가진다. 그동안 많은 학자들에 의해 안테나의 원형 편파 구현을 위한 연구가 진행되었다. 원형 편파 안테나를 구현하는 방법은 그림1에 나타난 것과 같이 크게 두 가지 방법으로 분류할 수 있다^[1].

한 개의 급전점과 perturbation segment를 두어서 원형 편파를 구현하는 방법과 브랜치 라인이나, offset

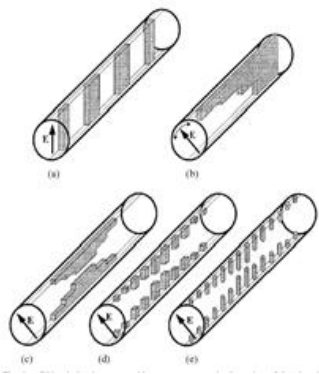
* 정희원, 국방기술품질원 품질경영본부 대구센터
(Defense Agency for Technology and Quality)

** 정희원, LIG넥스원 구미연구소
(LIGNex1)

접수일자: 2011년7월7일, 수정완료일: 2012년5월3일



(가) Microstrip Patch Type



(나) Waveguide Type

그림 1. 원형편파안테나의 종류

Fig. 1. Circular polarization antenna.

전송 선로를 이용하여 급전점을 두 개를 두어서 크기는 같고 위상차가 나게 급전하는 방법이 있다^[2].

이중 급전 방법은 축비(Axial Ratio) 대역폭과 동작 대역폭이 넓은 장점을 가지고 있으나 구조의 복잡성과 RF신호의 손실이 크다는 단점을 가지고 있으며, 단일 급전 방법은 축비 대역폭과 동작 대역폭이 좁다는 단점을 가지고 있으나 구조가 간단하고 RF신호의 손실이 적은 장점을 가지고 있다.

2. LHCP안테나의 개요 및 설계

그림 2와 같이 Post를 전계 벡터에 45도 각도로 하여 삽입하면 전계 벡터를 핀에 수직인 전계성분과 접선인 전계 성분으로 나눌 수 있다. 원형도파관으로 급전된 전계는 Post에 수직인 전계와 접선인 전계의 위상차를 90도로 만든다.

이론적으로 핀에 접선인 전계 성분의 90도 위상편이를 위해서는 두개의 Post이면 충분하지만 이것은 공진 회로와 같은 동작을 하기 때문에 대역폭이 좁아지게 되므로 대역폭을 향상시키기 위해서는 더 많은 수의 Post

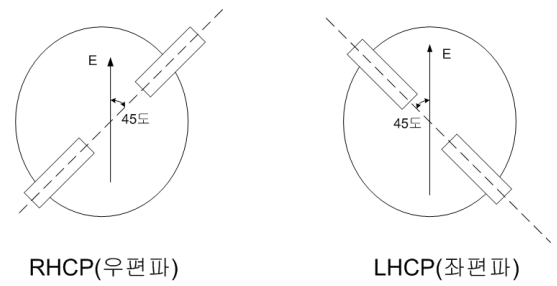


그림 2. 원형편파안테나 설계 방법

Fig. 2. Circular polarization design method for antenna.

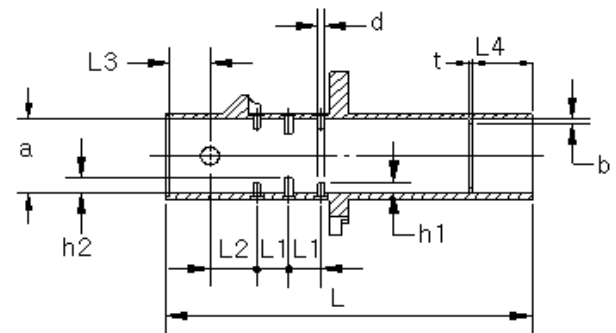


그림 3. 원형 도파관 원형편파안테나

Fig. 3. Circular Waveguide circular polarization antenna.

를 사용하여 공진점을 늘리고 핀간 간격을 조정하여 주어야한다.

제안된 안테나는 내부에 급전 프로브와 45도의 각을 이루는 세쌍의 Capacitive pin으로 구성된 원형 편파기를 삽입하는 것이다. 이 원형 편파기에 TE₁₁ mode로 입사되는 전계는 원형 도파관의 Capacitive pin에 접선인 성분과 수직인 성분으로 분해할 수 있으며, 출력 또한 두 성분으로 나눌 수 있다. Capacitive pin에 접선인 성분의 전계는 Pin들에 의해서 수직인 전계에 비해 위상이 90도 지연되고, 이 전계간의 90도 위상차로 인하여 안테나는 원형 편파 특성을 가지게 된다. 안테나의 형상은 그림 3과 같다^[3~4].

일반적으로 원형도파관 안테나 개구면의 직경은 수식 1에 의해 결정된다.

$$a = \frac{P_{nm}}{2\pi f_{c_{nm}} \sqrt{\mu\epsilon}} \tag{1}$$

여기서 ϵ 은 유전율, μ 는 투자율이다
TE₁₁ mode에서 P_{nm} 의 값은 1.841이다.

중심주파수에 대한 원형 도파관의 지름은 수식 (1)에 의해 12.5mm로 설계하였다. 원형도파관 내부는 그림 3

과 같으며, 안테나의 특성에 영향을 미치는 요소를 살펴보면 다음과 같은 인자들이 있다.

먼저 임피던스 매칭을 위해 원형도파관 지름(a)이 있고, back-short와 동축케이블 간 거리(L3), 동축케이블 내심의 길이가 있습니다. 안테나에 적용된 길이는 각각 6.75mm, 3.65mm로 설계하였다.

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{a} \quad (2)$$

시물레이션에 사용된 동축케이블의 내심, 외경의 지름 및 유전율을 수식 2에 의해 각각 0.45mm, 3mm, 2.08을 적용 하였으며, a는 동축케이블의 내심, b는 동축케이블의 외경이다.

또한 안테나 Axial ratio에 영향을 줄 수 있는 인자는 Post 높이(h1, h2), Post 간격(L1), Post 지름(d), window까지 길이(L4)이며, 축비의 성능을 결정하는 주요인자는 Post 사이의 간격 및 Post 길이이다. Post 길이 및 사이의 간격을 결정하기 위하여 먼저 그림 4와 같이 Post에 대하여 Capacitive로 등가모델을 만들었으며, 해석을 위하여 Transmission matrix를 이용하여 아래의 식 3으로 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} V_i \\ I_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} \quad (3)$$

도파관내 임의의 위상변화가 있을 때와 없을 때 전송행렬의 인자t에 대해 다음 식 4, 5 및 식 6, 7과 같이 표현할 수 있다.

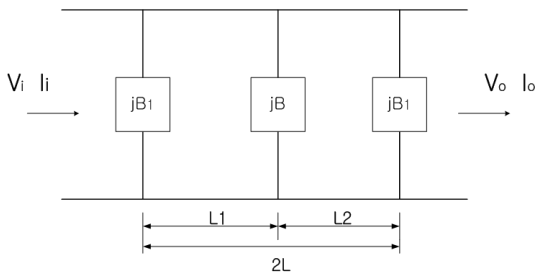


그림 4. 원형편파안테나 등가 모델
Fig. 4. Equivalent Model.

1) 위상변화가 없을 때

$$t_{11} = \cos 2\beta l - \frac{B'_1}{Y_o} \sin 2\beta l - \frac{B}{Y_o} \sin \beta l_1 \cos \beta l'_1 \quad (4)$$

$$t_{12} = jZ_o \left(\sin 2\beta l - \frac{B}{Y_o} \sin \beta l_1 \sin \beta l'_1 \right) \quad (5)$$

2) 임의의 위상변화 발생했을 때

$$t_{11} = \cos(2\beta l + \theta) \quad (6)$$

$$t_{12} = jZ_o \sin(2\beta l + \theta) \quad (7)$$

식6과 식7을 연립하여 풀면 다음과 같다.

$$\frac{B}{Y_o} = K \lambda_o \times \frac{\lambda_g}{\lambda_o^2} = K \frac{\lambda_c}{\lambda_o} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c^2}}} \quad (8)$$

$$\frac{B_1}{Y_o} = K_1 \lambda_o \times \frac{\lambda_g}{\lambda_o^2} = K \frac{\lambda_c}{\lambda_o} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c^2}}} \quad (9)$$

여기서 λ_g 는 관내파장, λ_c 는 원형도파관의 차단파장이며, K, K1은 비례상수로 다음 식 10, 11과 같이 표현된다.

$$K = \frac{\lambda_o^2 \sin 2\beta l - \cos 2\beta l}{\lambda_c \lambda_g \sin^2 \beta l} \quad (10)$$

$$K_1 = \frac{\lambda_o^2}{\lambda_c \lambda_g} \frac{1}{\sin \beta l (\cos \beta l + \sin \beta l)} \quad (11)$$

여기서 비례상수(K, K1)는 도파관내에 Post가 있을 때와 없을 때의 특성 Admittance의 변화가 동일하다는 가정아래 전개된 식으로 Post 사이의 거리변화에 따라서 특성 Admittance가 변화하지 않은, 즉 Post 사이의 길이(l)의 변화에 따라 비례상수가 일정한 값으로 선정해야 한다. 그림 5는 길이(l)변화에 따른 비례상수 K-factor에 대한 그림이다. 길이가 길어질수록 변화량은 점점 감소함을 확인할 수 있는데 본 논문의 경우 $\frac{l}{\lambda_c} = 0.215$ 값으로 설계하였다.

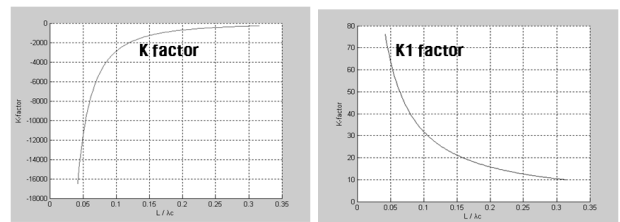


그림 5. K-factor 특성 곡선
Fig. 5. Characteristic curve of K-factor l.

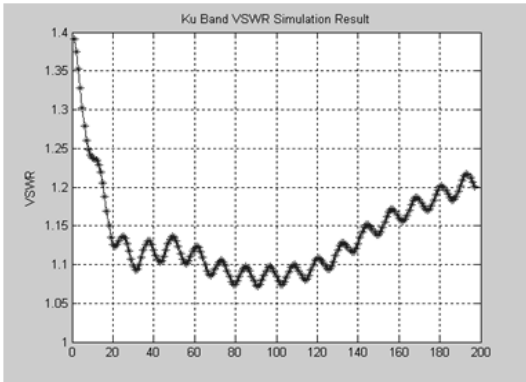


그림 6. 원형편파안테나 VSWR 결과
Fig. 6. VSWR Test Result of Antenna.

위에서 구한 Post사이의 거리 및 여러 가지 설계 파라미터를 이용하여 M&S Tool에서 시뮬레이션한 결과 설계치와 측정치가 유사함을 확인할 수 있었다. 그림 6은 시뮬레이션 결과이다.

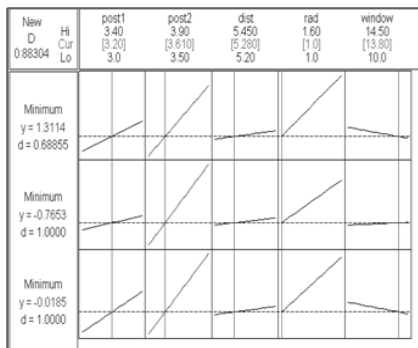
3. 반응표면법을 이용한 축비 최적화

기본적인 LHCP 안테나 설계 시 사용주파수가 높아

지면 설계변수의 작은 변화에도 축비 특성에 많은 영향을 미치게 되며, 이로 인해 실제 구현 시 많은 애로 사항이 발생한다.

이러한 구현상에서 발생할 수 있는 오류를 최소화하기 위해 반응표면법을 적용하여 설계 변수 최적화와 제작 공정 최적화를 실시하였다.

반응표면법(Response Surface Methodology)은 최근 활용도가 높아지고 있는 비도함수 기법들 중 하나이다. 이 기법은 통계적 경험설계와 회귀모델생성 기법을 기반으로 하는 근사 최적화기법으로, 프로그램의 알고리즘 구성이 쉽고 다양한 분야의 통합 최적설계에 적용이 가능하다. 반응표면법은 설계변수와 반응변수의 실험적 관계를 수학적식으로 표현하기 위해 실험이나 시뮬레이션으로부터 얻은 수치 값들로부터 근사적 반응표면모델을 만들어 내는 통계적 기법으로 함수관계가 밝혀져 있지 않거나 복잡한 형태를 갖는 최적화 문제를 해결할 경우 매우 유용한 최적화 방법으로 반응표면법에서 일반적으로 이용되는 실험계획법은 중심합성계획법과 D-optimal 계획법으로 D-optimal 계획법은 반복해석 횟수는 적지



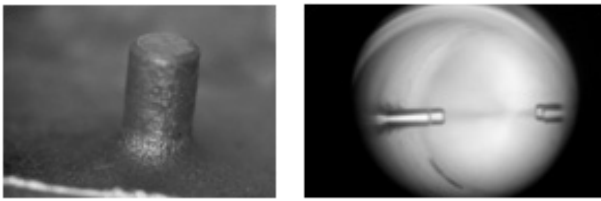
(가) 설계변수 최적화

StdOrder	RunOrder	Blocks	post1	post2	dist	rad	window	XXG	XXG	XXXG
6	1	1	3.2	3.7	5.45	1	12.25	1.34	0.72	0.52
40	2	1	3.2	3.9	5.325	1.6	12.25	15.9	36.27	23.26
29	3	1	3.2	3.7	5.2	1.3	10	4.34	2.62	7.56
11	4	1	3.2	3.5	5.325	1.3	14.5	2.63	2.43	3.8
23	5	1	3.2	3.5	5.45	1.3	12.25	4.7	2.01	2.24
16	6	1	3.4	3.7	5.45	1.3	12.25	4.9	5.4	9.88
36	7	1	3.4	3.7	5.325	1.3	14.5	4.5	7.96	12.57
15	8	1	3	3.7	5.45	1.3	12.25	2.63	3.55	5.4
31	9	1	3.2	3.7	5.2	1.3	14.5	0.23	2.07	3.18
14	10	1	3.4	3.7	5.2	1.3	12.25	4.5	2.33	1.2
8	11	1	3.2	3.7	5.45	1.6	12.25	6.1	8.97	14.34
12	12	1	3.2	3.9	5.325	1.3	14.5	9.42	16.76	22.54
43	13	1	3.2	3.7	5.325	1.3	12.25	4.05	4.75	7.82
24	14	1	3.2	3.9	5.45	1.3	12.25	10.13	17.04	23.98
22	15	1	3.2	3.9	5.2	1.3	12.25	8.56	15.1	23.47
20	16	1	3.2	3.7	5.325	1.6	14.5	4.73	5.96	9.67
45	17	1	3.2	3.7	5.325	1.3	12.25	4.69	6.19	9.86
46	18	1	3.2	3.7	5.325	1.3	12.25	4.68	6.18	9.85
38	19	1	3.2	3.9	5.325	1	12.25	5.74	9.76	13.59
3	20	1	3	3.9	5.325	1.3	12.25	7.56	11.48	12.89
9	21	1	3.2	3.5	5.325	1.3	10	4.2	1.8	0.9
25	22	1	3	3.7	5.325	1	12.25	0.43	1.54	2.9
21	23	1	3.2	3.5	5.2	1.3	12.25	4.2	1.97	0.99
10	24	1	3.2	3.9	5.325	1.3	10	8.6	14.7	21.3
18	25	1	3.2	3.7	5.325	1.6	10	5.43	7.12	15
44	26	1	3.2	3.7	5.325	1.3	12.25	4.09	4.71	7.78
28	27	1	3.4	3.7	5.325	1.6	12.25	7.2	12.6	42.3
1	28	1	3	3.5	5.325	1.3	12.25	1.9	0.59	0.63
42	29	1	3.2	3.7	5.325	1.3	12.25	4.74	5.96	9.67
26	30	1	3.4	3.7	5.325	1	12.25	4.7	3.8	7.8
41	31	1	3.2	3.7	5.325	1.3	12.25	4.7	5.96	9.67
30	32	1	3.2	3.7	5.45	1.3	10	4.35	5.23	11.11
32	33	1	3.2	3.7	5.45	1.3	14.5	5.6	9.26	12.33
34	34	1	3.4	3.7	5.325	1.3	10	5.71	10.53	30.26
39	35	1	3.2	3.5	5.325	1.6	12.25	6.45	1.41	3.9
27	36	1	3	3.7	5.325	1.6	12.25	8.25	14.18	20.1
17	37	1	3.2	3.7	5.325	1	10	3.09	2.89	5.21
13	38	1	3	3.7	5.2	1.3	12.25	3	3.73	5.86
2	39	1	3.4	3.5	5.325	1.3	12.25	6.36	3.05	4.73
37	40	1	3.2	3.5	5.325	1	12.25	4	2.16	9.78
5	41	1	3.2	3.7	5.2	1	12.25	3	2.42	4.518
7	42	1	3.2	3.7	5.2	1.6	12.25	7	10.7	18.86
4	43	1	3.4	3.9	5.325	1.3	12.25	10.3	24.66	27.34
35	44	1	3	3.7	5.325	1.3	14.5	3.3	6.22	8.25
33	45	1	3	3.7	5.325	1.3	10	3.29	6.22	8.2

(나) 설계변수별 실험계획법 및 실험 결과

그림 7. 반응표면법을 이용한 설계변수 최적화

Fig. 7. Design parameter optimization using Response Surface Methodology.



(a) 딥브레이징 용접 (b) 레이저 용접

그림 8. 제작 공정(용접방법) 개선
Fig. 8. Manufacture Process(Brazing) Improvement.

만 모든 추출점에 추가적인 최적화 알고리즘이 적용되어야 함으로 다소 복잡하게 구성되어 있다. 본 논문에서는 알고리즘의 구성이 쉽고 정형화 되어 있는 중심합성계획법을 적용하여 최적화 하였다.

본 논문에서 설계한 LHCP 안테나 축비 특성에 영향을 미치는 인자는 크게 5가지로 원형편파를 만들기 위해 적용된 Post의 길이, 지름, Post 사이 간격과 이물질 방지를 위해 적용된 Window의 크기로 이러한 설계변수 최적화를 위해 실험계획법을 통해 적용된 설계변수들에 대해 M&S Tool로 시뮬레이션을 실시하였다.

각각의 인자별 변경 가능한 범위를 선정하여 시험계획법에 따라 시험 가능한 경우는 그림 7(나)와 같으며, 시험 결과를 바탕으로 그림 7(가)와 같이 반응표면법의 중심합성법을 이용하여 인자별 최적화를 수행 하였다.

또한 안테나 제작상에 발생하는 오류(시뮬레이션 결과 대비 0.5 ~ 1dB 오차 발생)를 최적화하기 용접공정을 검토하였다. 원통형안테나에 Post 고정을 위해 적용된 용접방법을 기존의 브레이징용접(그림 8의 (a))에서 레이저 용접(그림8의 (b))으로 변경하였으며, 이를 통해 브레이징용접 시 발생하는 부유물로 인해 안테나 내부 수직접선성분과 수평접선성분이 90도 위상차를 유지하지 못하던 것을 보완하였다.

III. 실험

원형편파안테나의 축비(Axial Ratio) 측정은 전자파 무반향 챔버에서 실시하였으며, 그림 9와 같이 송신안테나를 360도 회전하면서 측정을 하게 되며, 측정 결과는 그림 10과 같이 수신레벨의 최대값과 최소값의 차를 주파수별 축비값으로 정의하였으며 측정결과 축비는 설계 대역 주파수 범위 내에서 2dB 이하로 측정 되었고, 안테나의 이득은 7.8dBi로 측정되었다.

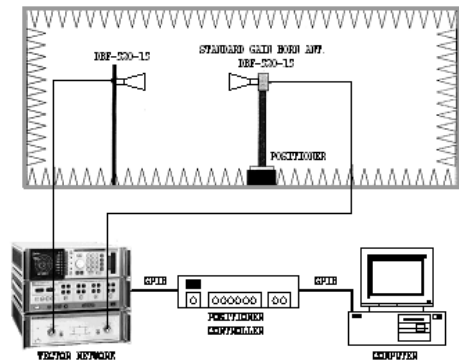


그림 9. 원형편파안테나 측정 환경
Fig. 9. Antenna Measurement Set-up.

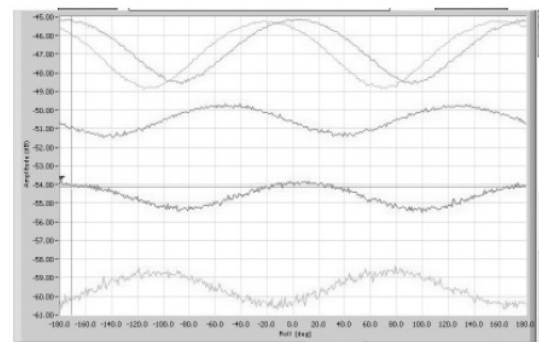
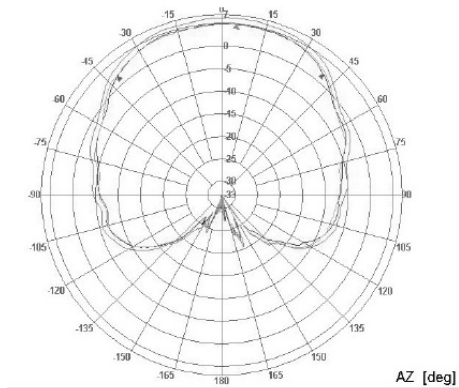


그림 10. 원형편파안테나 방사패턴 및 축비 측정결과
Fig. 10. Test Result of radiation Pattern and Axial ratio.

IV. 결론

본 논문은 Ku대역에 사용되는 레이더용 원형편파안테나 구현을 위해 이론적 설계를 바탕으로 simulation tool을 이용하여 각 파라미터들에 대한 값을 도출하였으며, 반응표면법을 이용하여 각각의 설계 변수를 최적화를 하였다. 또한 제작 공정상에서 발생하는 오차를 줄이기 위해 Post 고정 방법을 기존 브레이징 용접에서 레이저용접으로 변경하여 제작 오차를 최소화 하였다.

구현된 안테나의 사용주파수 대역 내 VSWR은 1.2dB 이하의 특성을 보였고, 축비는 2dB이하로 우수한 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Second Edition, Wiley, 1997.
- [2] J.R. James and P.S.Hall, Handbook of Microstrip antennas, IEE, 1989.
- [3] Hayes, J.P., "Pseudo-Boolean Logic Circuits", IEEE Trans. Computers, vol. C-35, no. 7, pp. 602-612, July 1988.
- [4] ALAN J. SIMONS, "A Compact Broad-Band Microwave Quarter-wave Plate", PROCEEDINGS OF THE I.R.E pp. 1089-1090, July 1988.

저 자 소 개



김 승 우(정회원)
 2001년 금오공과대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 2003년 부산대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2006년 부산대학교 전자공학과
 박사 과정.

2003년~현재 국방기술품질원 대구센터.
 <주관심분야 : 사운드 압축 및 복원, 레이더 신호
 처리, DSP 설계>



강 춘 호(정회원)
 2000년 숭실대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2000년 7월~LIG넥스원
 구미연구소 수석연구원
 <주관심분야 : 안테나 및 RF 회
 로 설계>