

# 기저선이 최적화된 간섭계 레이더 고도계용 도파관 슬롯 배열 안테나 설계

윤나내<sup>1)</sup> · 김지형<sup>\*,1)</sup> · 김진수<sup>2)</sup> · 장종훈<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> 한화시스템(주) 특수레이다팀

<sup>2)</sup> 엘트로닉스(주) 초고주파부품 연구소

<sup>3)</sup> 국방과학연구소 미사일연구원

## Design of Optimized Two Baseline Waveguide Slot Array Antenna for Interferometric Radar Altimeter

Nanae Yoon<sup>1)</sup> · Jihyung Kim<sup>\*,1)</sup> · Jinsu Kim<sup>2)</sup> · Jonghun Jang<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Specific Radar, Hanwha Systems, Korea

<sup>2)</sup> Department of Millimeter Microwave Device, Eltronix, Korea

<sup>3)</sup> The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 9 November 2021 / Revised 14 January 2022 / Accepted 21 March 2022)

### Abstract

In this paper, the compact waveguide slot array antenna for interferometric radar altimeter is proposed. The proposed antenna structure consist of corrugation structure which is applied between each channel to improve isolation, three-channel waveguide slot array antenna and feeder. In addition, to reduce the occurrence of phase ambiguity, the baseline spacing of the three-channel antenna is analyzed and the results are applied to the design. For compact design, reduced height and SMP connector structure are used and the dip brazing method which is the conjugation method after dipping to flux is used for the fabrication of the lightweight antenna. The measurement result of the proposed antenna shows less than 1.41 : 1 (VSWR) and 48.3 dBc (isolation). The antenna gain is higher than 20.2 dBi and the side lobe levels are lower than 18.8 dB (vertical plane) and 10.0 dB (horizontal plane).

Key Words : Waveguide Slot Array Antenna(도파관 슬롯 배열 안테나), Interferometric Radar Altimeter(간섭계 레이더 고도계), Baseline Analysis(기저선 분석), Corrugation(요철), Dip Brazing(딥브레이징)

### 1. 서론

간섭계 레이더 고도계는 순항유도무기 및 유/무인 항공기의 항법 보조 수단으로 유도조종 장치 또는 시험장치와 같은 외부제어장치로부터 운용정보를 입력 받아 대상 플랫폼에서 지표면까지의 고도 및 각도 정

\* Corresponding author, E-mail: jihyung.kim@hanwha.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

보를 획득하는 장비이다. 간섭계 레이더 고도계의 RF 송수신부의 송신부에서 거리 및 각도 측정을 위한 신호를 생성 후 안테나를 통해 방사하고, 지표면에서 반사되어 수신된 신호를 수신부에서 저잡음 증폭 후 IF 대역의 신호로 변환하는 역할을 수행한다<sup>11</sup>.

간섭계 레이더 고도계 안테나는 단일 또는 간격이 있는 다수의 안테나에서 각각 수신한 신호의 위상을 비교하여 전파의 도래 방향 각도를 결정한다. 표적에서 반사된 송신 신호는 수신 안테나에 수신된다. 수신 안테나의 경로차에 의해 발생하는 위상차는 두 안테나 사이 간격에 의해  $2\pi$  간격으로 각도 모호성이 발생하게 된다. 따라서 표적의 낮은 각도 모호성을 위하여 안테나 간격 설계 시 기저선 분석 결과가 설계에 반영되어야 한다<sup>12-15</sup>.

또한 간섭계 레이더 고도계를 다종의 센서가 탑재되는 항공기에 적용하기 위해 안테나의 소형/경량화 설계가 필요하다<sup>16</sup>. 국내에서는 도파관 슬롯 배열 안테나 구조로 기저선 간격이 최적화된 3 채널의 간섭계 레이더 고도계 안테나가 개발되었다<sup>2</sup>. 하지만 안테나 채널 간 간격이 넓으며, 안테나 설계에 표준도파관을 적용하였으며, 안테나 조립에 수백 개의 볼트를 사용하여 항공기에 적용하기 위해서는 소형/경량화 설계가 추가적으로 필요하다.

본 논문에서는 간섭계 레이더 고도계용 소형/경량화된 안테나를 구현하였다. 도파관 슬롯 배열 안테나를 설계 후 기저선 분석을 통하여 안테나 채널의 간격을 최적화하였다. 또한, 각 채널의 안테나 사이에 요철 구조를 추가하여 높은 격리도 특성을 갖도록 하였다. 안테나의 소형/경량화를 위해 reduced height 도파관을 적용한 도파관 슬롯 배열 안테나의 설계 결과를 제시한다. 또한 제안한 안테나는 딥브레이징 공정과 안테나 포트에 SMP 커넥터가 적용되었다.

## 2. 도파관 슬롯 배열 안테나 구조 및 설계

### 2.1 도파관 슬롯 배열 안테나 구조 및 설계 순서

Fig. 1은 도파관 슬롯 배열 안테나 구조를 나타내었다. 단일 슬롯 안테나를 설계 후, 도파관 슬롯 배열 안테나의 복사소자 간 상호간섭 영향의 최소화를 위해 Elliott 방법으로 슬롯의 길이, 슬롯의 x축 간격을 최적화 하였다<sup>17-19</sup>.  $3 \times 10$  배열 안테나가 1개의 채널이며, 전체 안테나 구조는 3 채널로 이루어져있다. 3

개의 채널 중 한 개의 채널은 송신, 수신 안테나이고, 나머지 안테나는 수신 안테나로 사용한다. 고도계용 도파관 슬롯 배열 안테나의 설계 순서는 Fig. 2와 같다. 먼저 1개의 채널의 안테나를 설계한 후 설계 결과를 기저선 분석조건으로 입력하여 기저선 간격 별 위상오차 및 각도 모호성을 계산한다. 낮은 각도 모호성 및 측정오차 특성을 갖기 위해 각각의 기준을 15%, 0.6° 이하로 설정하였다. 계산 결과를 비교하여 만족하는 기저선 간격을 적용한 3 채널 안테나를 설계한다. 각 채널 사이의 커플링에 의한 영향을 줄이기 위하여 안테나의 격리도 기준을 적용하여 채널 간 영향을 줄여야 한다. 본 논문에서는 -40 dB 이하의 격리도 특성을 적용하였고, 이 기준을 만족하면 안테나 설계가 완료된다. 격리도 특성 기준을 만족하기 위하여 채널 사이에 요철 구조를 적용하였고, 제안한 안테나의 격리도 특성을 2.4 절에서 분석하였다.

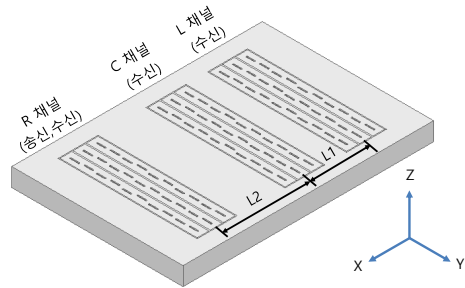


Fig. 1. Waveguide slot array antenna structure

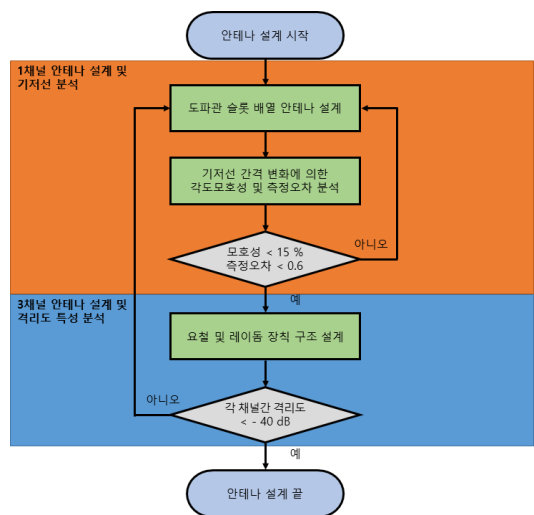


Fig. 2. Antenna design flowchart

2.2 기저선 간격 분석

3 채널의 도파관 슬롯 배열 안테나의 각도 모호성 발생을 줄이기 위해 기저선 간격에 대한 각도 모호성 및 각도 측정오차를 분석하였다. Fig. 1과 같이 3 채널 안테나의 각 채널은 L, C, R 채널이고 중간 채널인 C 채널에서 L 채널까지의 거리는 L1, R 채널까지의 거리는 L2로 정의하였다.

기저선 분석 시뮬레이터를 이용하여 각도 모호성 최소화를 위한 안테나 채널 간격을 도출하였다. 간섭계 레이더 고도계의 안테나 채널 간 간격에 의한 각도 모호성 및 각도 오차 분석을 위해 수식 (1)을 고려하였으며, 위상 오차를 반영한 몬테카를로 시뮬레이션 을 수행하였다<sup>[10]</sup>.

$$\Delta\phi = -\frac{2\pi L}{\lambda} \sin(X) - 2\pi n, X \simeq N(\theta, \sigma^2) \quad (1)$$

여기서  $\Delta\phi$ 는 각 채널 수신신호의 상대 위상차, L은 안테나 간격, X는 정규분포를 갖는 입력각도이며,  $\theta$ ,  $\sigma$ 는 입력각도의 평균 및 표준편차이다.

Table 1은 기저선 간격 분석을 위한 조건이며, 안테나 기저선 간격을  $3\lambda \sim 5.5\lambda$  까지  $0.5\lambda$  간격으로 계산하였다. 실제 항공기 탑재 시험 시 발생 가능한 위상 오차를 반영하여 고도 5,000 m에서 정규분포를 갖는 위상 오차의  $1\sigma$ 가  $0.1\pi$  인 경우 각도 모호성 및 각도 측정오차의 몬테카를로 시뮬레이션하였다. 이 조건은 표준편차가 18°로 높은 각도 모호성을 갖는 조건이다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3 (a)는 각도 모호성 계산결과이고, Fig. 3 (b)는 각도 측정오차 계산결과를 나타내었다. 기저선 간격 별 계산결과는 총 49개의 결과를 나타내었다. 이 중 제안한 안테나의 간격은 아래의 4가지 조건을 만족하는 간격을 선정하였다. 순차적으로 간격 후보를 선정하고 다음 조건에서는 앞의 조건들을 만족하는 기저선 간격 후보 중 다음 간격 후보를 선정한다.

조건 1. L1과 L2의 합이  $8.5\lambda$  이하의 간격을 갖는다. 안테나의 소형화 설계를 위하여 간격의 합에 대하여 조건을 설정하였다. Fig. 3 49개의 계산 결과 중 21개의 계산 결과가 기저선 간격 후보가 된다.

조건 2. Fig. 3(a) 결과에서 각도 모호성이 15% 이하를 만족해야 한다. 조건 1과 동시에 만족하는 간격 후보는 Fig. 3에서 빨간색 상자로 표시한  $(-4.5\lambda, 3.0\lambda)$ ,  $(-5.0\lambda, 3.5\lambda)$ ,  $(-3.0\lambda, 4.5\lambda)$ ,  $(-3.5\lambda, 5.0\lambda)$  4개의

Table 1. Baseline simulation conditions

항목	수치
주파수 대역	Ku 대역
빔 폭	21.7°
기저선 간격	$3.0\lambda \sim 5.5\lambda$ ( $0.5\lambda$ 간격)
격리도	- 40.0 dB
표적 거리	5,000 m
SNR	26.5 dB
위상오차 ( $1\sigma$ )	$0.1\pi$ rad
분석 횟수	10,000 회

L1 \ L2	-6.0 λ	-5.5 λ	-5.0 λ	-4.5 λ	-4.0 λ	-3.5 λ	-3.0 λ
3.0 λ	52.9	36.0	17.8	11.9	16.7	34.6	51.9
3.5 λ	27.5	14.4	14.4	24.8	44.5	54.5	34.4
4.0 λ	22.9	21.4	33.0	54.2	60.6	44.3	17.7
4.5 λ	25.2	39.2	60.7	71.3	53.4	24.6	11.2
5.0 λ	46.3	67.3	74.3	61.6	32.8	13.2	18.0
5.5 λ	71.9	76.5	66.8	39.2	21.4	14.6	34.5
6.0 λ	82.8	72.3	45.0	25.1	24.4	28.9	53.3

(a) The result of angle ambiguity analysis [%]

L1 \ L2	-6.0 λ	-5.5 λ	-5.0 λ	-4.5 λ	-4.0 λ	-3.5 λ	-3.0 λ
3.0 λ	0.581	0.569	0.565	0.592	0.606	0.641	0.684
3.5 λ	0.477	0.489	0.501	0.530	0.557	0.589	0.627
4.0 λ	0.438	0.443	0.462	0.484	0.531	0.540	0.592
4.5 λ	0.396	0.415	0.427	0.460	0.491	0.526	0.573
5.0 λ	0.370	0.387	0.411	0.436	0.461	0.504	0.567
5.5 λ	0.351	0.375	0.395	0.415	0.443	0.484	0.560
6.0 λ	0.354	0.347	0.375	0.394	0.432	0.479	0.568

(b) The result of angle error analysis [deg]

Fig. 3. Baseline simulation results

기저선 간격 후보가 선정된다. 여기에서 각도 모호성을 최소화하기 위해 L1과 L2는 정수배를 회피하여 선정해야 함을 확인할 수 있다.

조건 3. 각도 측정오차가 0.6 °의 이하 값을 갖는다. 이 조건은 조건 2와 동일한 기저선 간격 후보가 선정된다. 이 간격 후보 중 값이 낮은 2개의 후보를 선정한다. 2개의 후보의 각도 차이는 0.003 °의 낮은 차이를 갖는다. 이 후보는  $-5.0 \lambda$ ,  $3.5 \lambda$  (1번)과  $-3.5 \lambda$ ,  $5.0 \lambda$  (2번)이며, Fig. 3에 숫자로 표시하였다.

조건 4. R 채널과 다른 채널의 이격거리가 큰 간격 후보의 간격을 선택한다. Fig. 1 구조에서 R 채널이 송신 및 수신 안테나이므로 다른 수신 안테나와의 이격을 통한 격리도 향상이 필요하다. 따라서 R 채널과 C 채널 간 간격이 큰 기저선 간격 (L1:  $-3.5 \lambda$ , L2:  $5.0 \lambda$ )을 최종 선정하였다.

위의 조건을 만족하는 기저선 간격은 13.2 %의 각도 모호성과 0.504의 낮은 각도 측정오차를 갖으며 도출한 간격은 안테나 설계에 반영하였다.

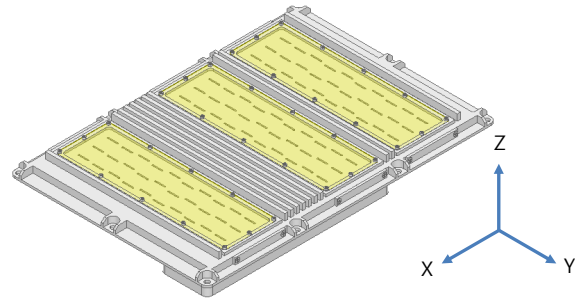
### 2.3 도파관 슬롯 배열 안테나 설계 결과

2.2절의 기저선 분석 결과를 적용하여 Fig. 4와 같은 간섭계 고도계 레이더용 도파관 슬롯 배열 안테나를 설계하였다. 제한한 안테나 구조는 3 채널 안테나, 요철 구조, 급전 포트 구조로 구성되었다. 요철 구조는 각 채널 사이에 적용하여 높은 격리도 특성을 얻도록 하였다. 3 채널 안테나는 SMP 커넥터를 통해 급전하였으며, 임피던스 정합을 위한 튜닝 볼트를 반영하였다. 튜닝 볼트의 높이 조절을 통해 제작 공차에 의해 증가한 반사손실을 최소화하였다. SMP 커넥터, 도파관 사이에 스텝 구조의 트랜지션을 적용하였으며, 스텝의 폭, 높이의 최적화 설계를 반영하였다. 각 채널의 복사부는 reduced height 타입의 3열 10행의 도파관으로 구성되어 있으며, 각 열의 도파관으로 전력 분배를 위해 기름각 슬롯을 적용<sup>[11]</sup>하여 안테나를 소형/경량화하였다.

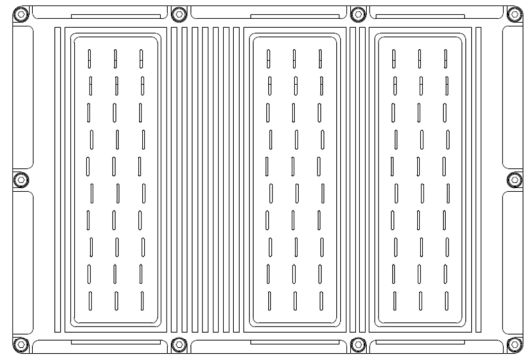
각 채널의 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) 및 채널간 격리도에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 5와 같다. 사용 주파수 대역인 Ku 대역( $F_L \sim F_H$ )에서 각 채널의 입력 VSWR은 1.34 : 1 이하의 성능을 가지고, 채널 간 격리도 특성은 - 43 dB 이하의 값을 갖는다. 안테나 동작 대역 중 가장 낮은 주파수( $F_L$ ), 중심 주파수( $F_C$ ), 상한 주파수( $F_H$ )에서의 안테나 방사 패턴의 시뮬레이션 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 각 채널에

대한 방사패턴은 비슷한 패턴을 가지며 22.1 dBi 이상의 최대 이득을 가진다.

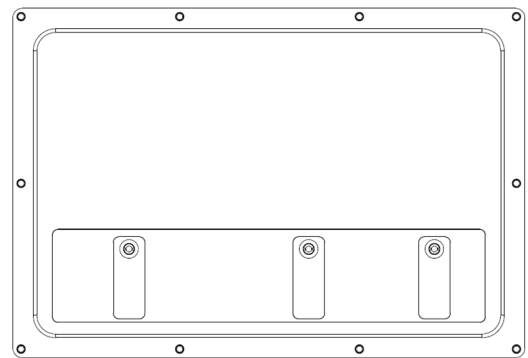
빔 폭은 수직 평면(yz 평면)에서 8.2 ° ~ 8.7 °, 수평 평면(zx 평면)에서는 22.5 ° ~ 24.6 °의 특성을 가지며, 부엽준위는 수직 및 수평 평면에서 각각 22.8 dBc, 11.7 dBc 이하의 값을 가진다.



(a) 3D view

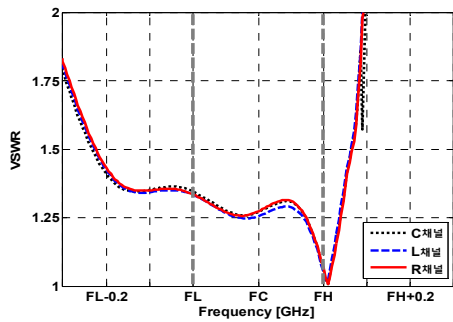


(b) Top

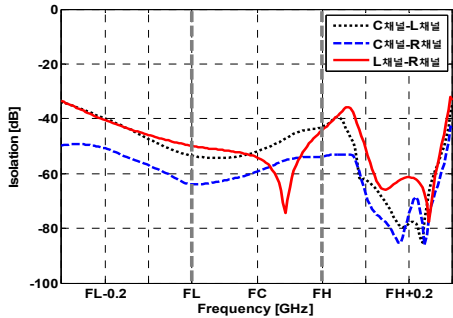


(c) Bottom

Fig. 4. The proposed antenna structure



(a) VSWR



(b) Isolation

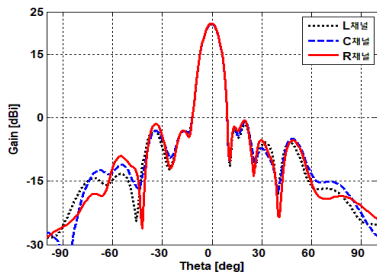
Fig. 5. Simulation results(S-Parameter)

#### 2.4 제안한 안테나의 격리도 특성 분석

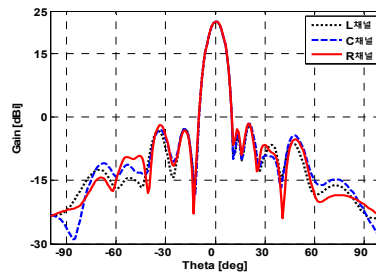
제안한 안테나 구조와 같이 근접한 거리에서 여러 채널의 안테나를 사용하는 경우, 안테나 사이에서 커플링이 발생하고 이는 간섭계 레이더 고도계의 표적 추적 성능 저하의 원인이 된다<sup>[12]</sup>. 따라서 다수의 안테나 설계 시 격리도 특성을 개선할 필요가 있다.

격리도 특성을 개선하는 방법으로 요철 구조를 선택하였다. 요철 구조의 격리도 개선효과를 분석하기 위하여 Fig. 7 (a)와 같이 요철 구조를 적용하기 전 안테나, Fig. 7 (b)와 같이 요철 구조를 적용한 안테나를 설계하여 분석하였다. 요철은 각 채널 사이의 간격을 고려하여 L 채널 및 C 채널 사이는 2개, C 채널 R 채널 사이는 7개의 요철을 적용하였고, 안테나의 양 끝에 1개씩 추가되어 총 11개의 요철 구조를 적용하였다. 각 요철의 크기는 약  $3 \text{ mm} \times 165 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  이고, 요철 간 간격은 약  $3 \text{ mm}$  이다. 각 채널별 격리도 분석 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 분석 결과, 요철 구조를 적용하여 각 채널간 격리도 성능이 개선됨을 확인하였다.

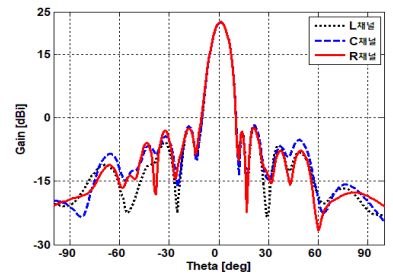
위의 분석 결과를 기반으로 Fig. 4의 제안한 안테나에 요철 구조를 적용하였다. 제안한 안테나 및 요철이 적용되지 않은 기존 안테나(Fig. 1)의 격리도 특성을



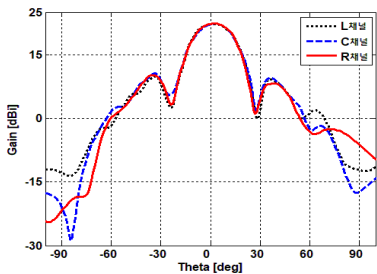
(a) Vertical plane( $F_L$ )



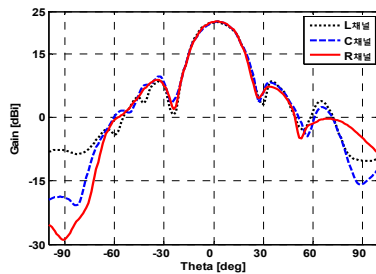
(b) Vertical plane( $F_C$ )



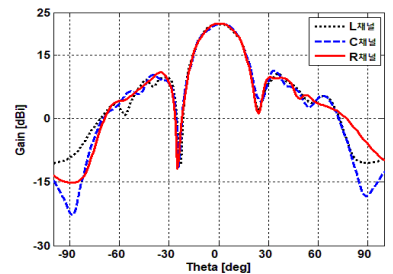
(c) Vertical plane( $F_H$ )



(d) Horizontal plane( $F_L$ )



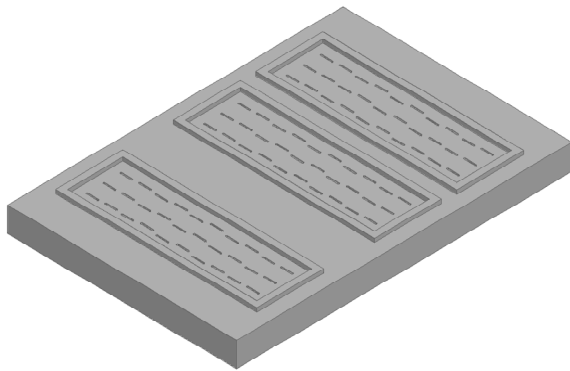
(e) Horizontal plane( $F_C$ )



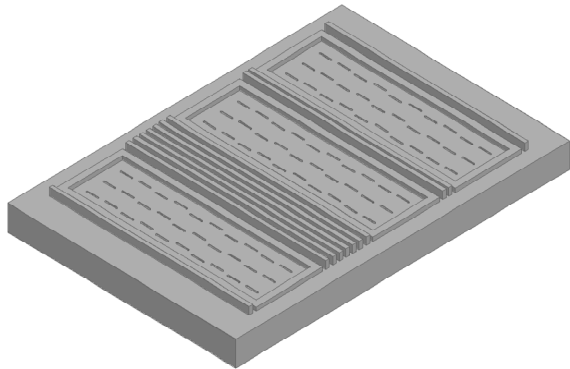
(f) Horizontal plane( $F_H$ )

Fig. 6. Simulation results(radiation pattern)

비교하기 위하여 Ansys사의 HFSS를 이용하여 VSWR 및 격리도 특성을 분석하였고, 결과는 Table 2에 나타나어 비교하였다. 두 구조의 VSWR은 1.29 : 1 및 1.34 : 1 이하로 비슷한 값을 가지고 있지만, 격리도 특성은 안테나 대역폭에서 각각 - 26.5 dB에서 - 43 dB 이하의 값을 가진다. 가안테나 채널간 요철이 적용되어 약 16.5 dB의 채널간 격리도 성능이 개선된 것을 확인하였다.



(a) Conventional antenna structure

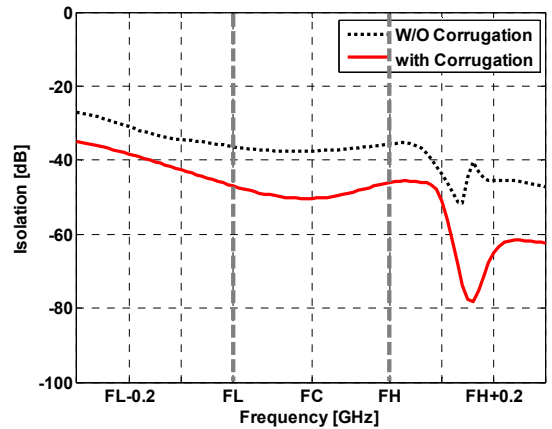


(b) Antenna structure with corrugation

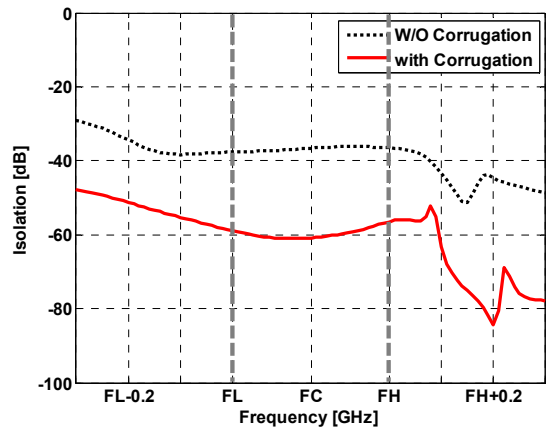
Fig. 7. The antenna structures

Table 2. Comparison between conventional and proposed antenna structures

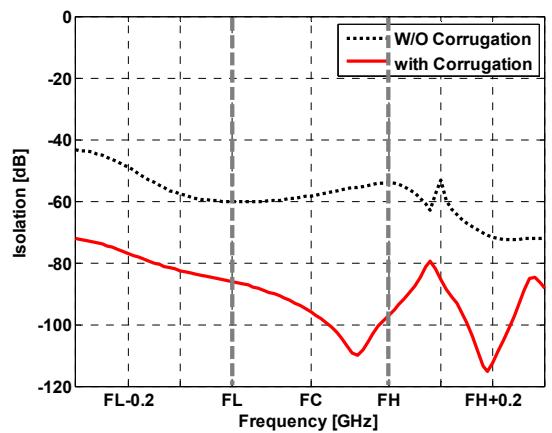
항목	기존 안테나	제안한 안테나
VSWR	< 1.29 : 1	< 1.34 : 1
채널간 격리도	< - 26.5 dB	< - 43.0 dB



(a) L-C channel



(b) C-R channel



(c) R-L Channel

Fig. 8. Simulation results (Isolation)



### 3. 도파관 슬롯 배열 안테나 제작 및 측정

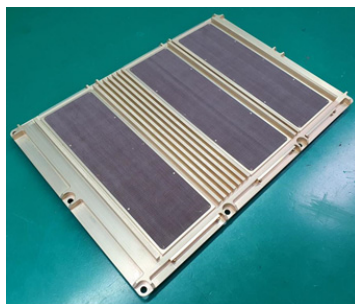
Fig. 9 (a)에 제작된 도파관 슬롯 배열 안테나를 도 시하였다. 소형/경량화된 안테나 제작을 위해 flux에 침지 시킨 후 접합하는 공법의 딥브레이징 방식으로 제작하였다<sup>[13]</sup>. 딥브레이징 방법은 접합을 위한 볼트 고정 없이 필요 없기 때문에 경량화가 가능하다. 안테나의 크기는 188.0 mm × 275.0 mm × 20.8 mm이고, 무게는 1010.2 g이다.

Fig. 9 (b)는 안테나 방사패턴 측정환경을 나타내었다. 전파 무반사실에서 근접전계를 측정하여 제안한 안테나의 방사패턴을 도출하였다.

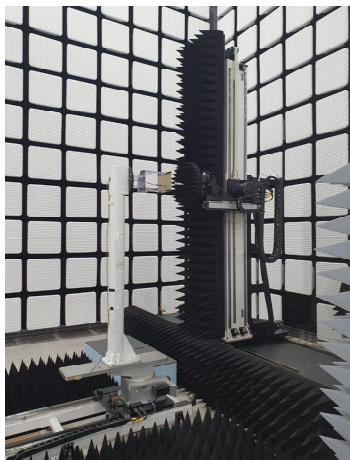
제작한 안테나는 네트워크 분석기를 통해 VSWR 및 격리도 특성을 측정하였다(Fig. 10). 측정 결과 VSWR은 Ku 대역  $F_L \sim F_H$ 에서 3 채널 모두 1.41 : 1

이하의 특성을 가진다. 시뮬레이션 결과와 비교하여 측정 결과의 주파수 대역이 하향 이동되어 나타났다. 이는 제작 및 측정오차로 예상되며, 이로인하여 1.34 : 1 이하의 시뮬레이션 결과보다 0.7 저하되었다. 격리도 특성 측정 결과는 -48.3 dB 이하의 높은 격리도 특성을 가진다. 가장 낮은 값 기준으로 시뮬레이션 결과보다 5 dB 개선된 결과를 나타내었다.

Ku 대역 중  $F_L$ ,  $F_C$ ,  $F_H$  에서 측정된 각 채널의 방사 패턴 결과는 Fig. 11에 나타내었다. 측정결과 이득은 수직 및 수평 평면에서 20.2 dBi 이상의 값을 가진다. 방사패턴의 빔 폭은 수직 평면에서  $8.0^\circ \sim 8.7^\circ$ , 수평 평면에서  $23.1^\circ \sim 25.0^\circ$ 의 특성을 가지며, 부엽준위는 수직 및 수평 평면에서 각각 18.8 dBc, 10 dBc 이하의 값을 가진다.

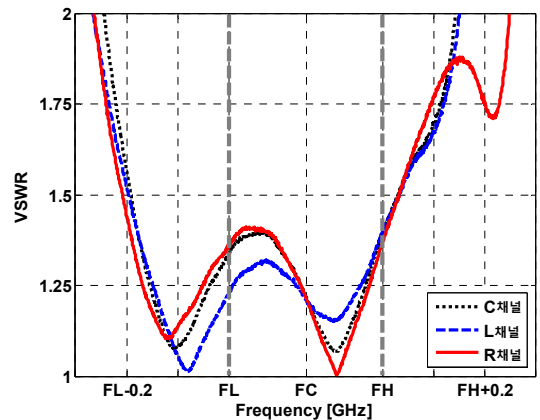


(a) Fabricated antenna

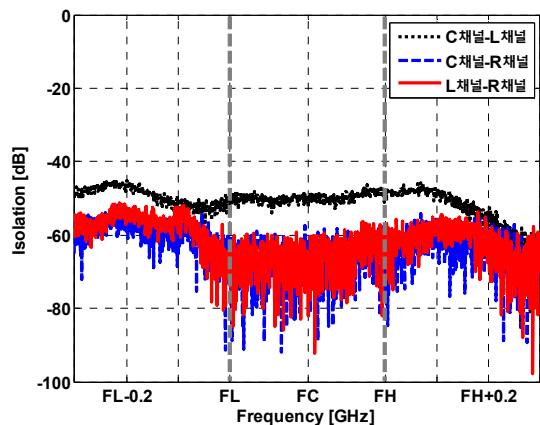


(b) Measurement environment

Fig. 9. Fabricated antenna and measurement environment



(a) VSWR



(b) Isolation

Fig. 10. Measurement results(S-Parameter)

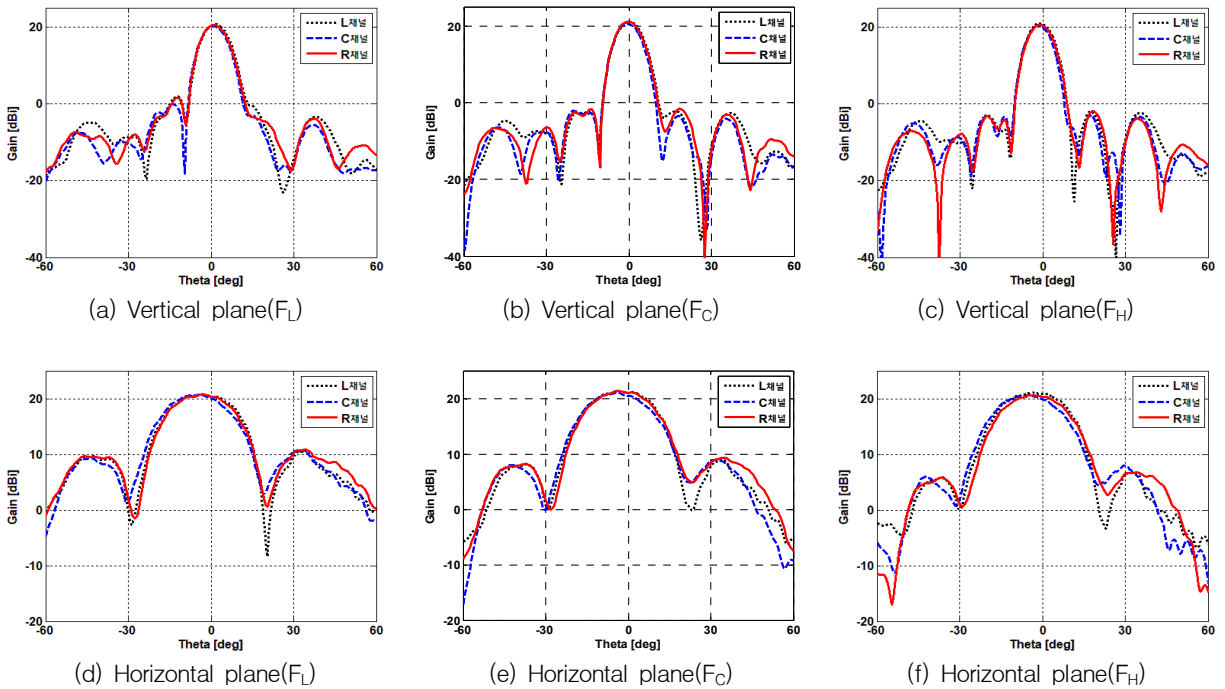


Fig. 11. Measurement results(radiation pattern)

Table 3. Comparison between simulation and measurement results

항목	시뮬레이션 결과	측정 결과
이득	> 22.1 dBi	> 20.2 dBi
빔폭 (수직평면)	8.2 ° ~ 8.7 °	8.0 ° ~ 8.7 °
빔폭 (수평평면)	22.5 ° ~ 24.6 °	23.1 ° ~ 25.0 °
부엽준위 (수직평면)	< 22.8 dBc	< 18.8 dBc
부엽준위 (수평평면)	< 11.7 dBc	< 10.0 dBc
VSWR	< 1.34 : 1	< 1.41 : 1
격리도	< - 43.0 dB	< - 48.3 dB

Table 3은 시뮬레이션 및 제작 결과를 비교한 결과이다. 시뮬레이션과 측정결과 사이에서 이득 1.9 dBi의 오차가 발생하였다. 이는 안테나 제작 시 복사 도

과관에 급전을 위한 커플링 슬롯의 정렬 오차에 의한 차이로 추정된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 비행체 적용을 위한 소형/경량화된 간섭계 레이다 고도계용 도파관 슬롯 배열 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나 구조는 3 × 10 배열로 이루어진 3 채널의 안테나와 격리도 개선을 위한 요철, 소형화를 위한 reduced height, SMP 급전 구조로 구성 되어있다. 또한 각도 모호성 발생을 줄이기 위하여 기저선 간격을 분석 후, 안테나 각 채널 사이 간격에 적용하였다. 제안한 안테나는 경량화된 제작을 위하여 볼트 체결이 아닌 flux 침지 접합 방식의 딥브레이징 제작을 하였다. 제안한 안테나 측정결과 VSWR는 1.41 : 1 이하, 격리도 특성은 - 48.3 dB 이하를 만족 하였다. 방사패턴 측정 결과 이득은 20.2 dBi 이상 부엽준위는 수직 및 수평 평면에서 각각 18.8 dBc, 10 dBc 이하의 값을 갖는다. 3 채널의 안테나 모두 비슷한 전기적 특성을 나타나는 것을 확인하였다.



## References

- [1] H. Wi, et. al., "Development of Interferometric Radar Altimeter Transceiver Using De-Ramping," 2015 IEIE FALL CONFERENCE, pp. 283-284, Nov. 2015.
- [2] J. H. Kang, et. al., "The Design of the Waveguide Array Antenna Used in Interferometric Radar Altimeter," 2015 KIMST FALL CONFERENCE, pp. 1159-1160, Nov. 2015.
- [3] S. E. Lipsky, "Microwave Passive Direction Finding," SciTech, 2004.
- [4] J. H. Lee and J. M. Woo, "The Direction Fining Ambiguity Analysis for 3 Element and 4 Element Phase Interferometer DF System," Journal of the KIMST, Vol. 17, No. 4, pp. 544-550, 2014.
- [5] B. L. Cho, et. al., "Performance Comparison to Solve Angle Ambiguity Needed to Angle of Arrival Estimation in 2D Radar Interferometer," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic And Science, Vol. 23, No. 3, pp. 410-413, Mar. 2012.
- [6] J. Park, et. al., "Improving Signal Processing of Interferometry Radar Altimeter with Captive Flight Tests," KIMST CONFERENCE, pp. 2425-426, Jun. 2019.
- [7] R. S. Elliott and L. A. Kurtz, "The Design of Small Arrays," IEEE Trans. on AP, Vol. AP-26, pp. 214-219, Mar. 1978.
- [8] R. S. Elliott, "An Improved Design Procedure for Small Arrays of Shunt Slots," IEEE Trans. on AP, Vol. AP-31, pp. 48-53, Jan. 1983.
- [9] P. S. Shin, et. al., "Design of a Linear Polarized-Slotted Waveguide Antenna Using Longitudinal Slots on the Broad Wall of a Rectangular Waveguide," IEIE CONFERENCE, pp. 153-156, Jul. 1998.
- [10] J. S. Ha, et. al., "Angle Ambiguity Analysis of Antenna Baseline for Interferometric Radar Altimeter," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science Vol. 32, No. 7 pp. 626-634, 2021.
- [11] T-V Son, S. C. Song, S. H. Seo and K. C. Hwang, "Waveguide Slot Array Antenna with a Hybrid-Phase Feed for Grating Lobe Reduction," International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2016, pp. 1-8, 2016.
- [12] J. Yun, D. Park, D. Jang and K. C. Hwang, "Isolation Improvement in Vivaldi Antennas Using DSRR," The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 29, No. 10, pp. 739-744, 2018.
- [13] F. N. Atkin, "Dip-Brazing Aluminum Alloys for Light-Weight, Compact Aerospace Electronics Equipment," IEEE Transactions on Product Engineering and Production, Vol. 9, No. 1, pp. 3-7, 1965.