

2차원 인터페로미터 방향탐지 시스템용 광대역 배열 안테나 모듈 설계 및 제작

Design and Fabrication of Wideband Array Antenna Module for Two-Dimensional Interferometer Direction-Finding System

유흥균¹ · 최대규² · 윤창열³ · 박범준⁴ · 이규송⁵

Hong-Kyun Ryu¹ · Dae-Kyu Choi² · Chang-Ryul Yun³ · Beom-Jun Park⁴ · Kyu-Song Lee⁵

요 약

본 논문에서는 2차원 인터페로미터 방향탐지 시스템을 위한 광대역 배열 안테나 모듈을 설계 및 제작하였다. 배열 안테나 모듈은 장착판, 스파이럴 안테나, 흡수체, 레이돔으로 구성된다. 방향탐지 성능 열화를 줄이기 위해 수직과 수평 편파의 위상차가 최소화되도록 흡수체를 구성하였다. 흡수체는 고무 흡수체와 폼(foam) 흡수체를 하이브리드 형태로 적용하여 난반사를 최소화했다. 레이돔은 A-샌드위치 구조를 적용하였고, 수직과 수평 편파 위상차가 작은 적층 구조로 제작하였다. 배열 안테나의 수직과 수평 편파의 평균 위상차는 방위각 8.09°, 고각 7.89°로 측정되었다. 따라서 제작된 배열 안테나는 2차원 인터페로미터 방향탐지 시스템에 적용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract

This paper presents the design and fabrication of a wideband array antenna module for a two-dimensional (2-D) interferometer direction-finding system. The array antenna module comprises an installation panel, spiral antennas, absorbers, and a radome. The absorber was configured to minimize the phase difference between vertical and horizontal polarizations to reduce the degradation of the direction-finding performance. Rubber and foam absorbers were applied in a hybrid form to minimize diffuse reflection. The radome was applied using an A-sandwich structure and manufacturing a laminated structure with a small vertical- and horizontal-polarization phase difference. The average phase difference between the vertical and horizontal polarizations of the array antenna was measured as an azimuth of 8.09° and elevation of 7.89°. Therefore, the fabricated array antenna can be applied to the 2-D interferometer direction-finding system.

Key words: 2-D Direction Finding, Array Antenna, Spiral Antenna, Absorber, Radome

멀티베이스라인 인터페로미터 방향탐지 기법은 방향 탐지 정확도가 높아 전자전 분야의 ESM(electronic support

I. 서 론

「이 연구는 2022년도 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임.」

국방과학연구소 국방첨단과학기술원 레이더전자전기술센터(Radar & EW Technology Center, Advanced Defense Science & Technology Research Institute, Agency for Defense Development)

1: 선임연구원(<https://orcid.org/0009-0007-3835-257X>), 2: 선임연구원(<https://orcid.org/0000-0001-6357-5811>),

3: 책임연구원 (<https://orcid.org/0000-0002-3691-2883>), 4: 책임연구원(<https://orcid.org/0009-0008-1422-6752>), 5: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0003-1465-979X>)

· Manuscript received May 11, 2023 ; Revised June 4, 2023 ; Accepted June 28, 2023. (ID No. 20230511-031)

· Corresponding Author: Kyu-Song Lee (e-mail: ksong@add.re.kr)

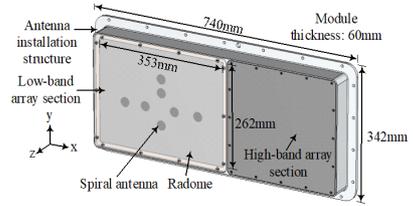
measure)과 ELINT(electronic intelligence) 시스템에 적용되고 있다^[1]. 이러한 시스템에서 신호원의 편파와 관계없이 신호를 수신하기 위해서는 일반적으로 광대역 원형 편파 특성을 갖는 스파이럴 안테나가 적용된다. 원형 편파 안테나를 사용하는 방향탐지 시스템의 보정 데이터는 신호원의 편파를 알 수 없어 수직과 수평 편파의 평균값을 적용한다. 따라서 배열 안테나의 수직과 수평 편파의 위상차를 최소화하여 방향탐지 모호성을 줄여 정확도를 향상시키는 설계가 요구된다^[2]. 하지만 안테나 배열 시 장착판의 난반사, 배열 안테나 간 커플링, 레이돔의 특성에 따라서 수직과 수평 편파의 위상차가 발생하게 된다. 수직, 수평 편파 위상차를 줄이기 위해서는 난반사 제거용 흡수체 처리와 광대역 레이돔 설계가 중요한 요소가 된다.

기존 2차원 인터페로미터 방향탐지 시스템^[3]에서 흡수체는 단일층 구조의 폼(foam) 흡수체를 적용하였고, 레이돔을 제외하고 연구가 되었다. 실제 시스템에 적용하기 위해서는 난반사를 효율적으로 제거할 수 있는 전파 흡수체 구성이 필요하며 수직과 수평 편파 위상차를 고려한 레이돔 설계^[4]가 요구된다.

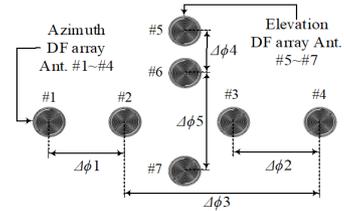
본 논문에서는 2차원 인터페로미터 방향탐지 시스템에 적용을 위한 광대역 배열 안테나 모듈을 설계 및 제작하였다. 배열 안테나의 장착판과 레이돔으로부터 발생하는 난반사를 제거하기 위해서 다층 구조의 폼 흡수체와 고무 흡수체를 하이브리드 형태로 적용하였고, 수직과 수평 편파의 오차가 최소화될 수 있는 레이돔 구조를 설계 및 제작하였다. 제안된 배열 안테나의 시뮬레이션과 측정 결과를 기술하고자 한다.

II. 2차원 방향탐지용 광대역 배열 안테나 모듈 설계

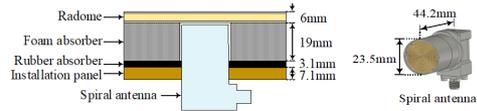
그림 1에는 2차원 방향 탐지용 광대역 배열 안테나 모듈 구조를 나타내었다. 배열 안테나 모듈(그림 1(a))은 저대역과 고대역으로 나누어져 있다. 본 논문에서는 저대역 배열 안테나 설계 결과 내용을 다룬다. 배열 안테나 모듈은 장착 구조, 배열 안테나, 레이돔, 흡수체로 구성된다. 그림 1(b)에는 배열 안테나의 방위각과 고각 배열 구조를 나타내었다. 시스템 요구 방위각 방향탐지 정확도가 고각에 비해 높아 방위각은 4개 소자(3개의 베이스라인, $\Delta\phi$



(a) 배열 안테나 모듈
(a) Array antenna module



(b) 배열 구조
(b) Array structure



(c) 단면
(c) Cutting plane

그림 1. 2차원 방향 탐지용 배열 안테나 모듈 구조

Fig. 1. Structure of array antenna module for 2-D direction finding.

1~3), 고각은 3개의 소자(2개의 베이스라인, $\Delta\phi$ 4~5)를 배치하였다. 방향탐지 정확도는 가장 긴 베이스라인에 의해 결정되며 나머지 베이스라인은 모호성 제거에 사용된다^{[1][5]}.

다음으로 장착판, 안테나, 흡수체, 레이돔의 단면 구조를 그림 1(c)에 보였다. 안테나는 축비 특성이 좋고 균일 위상 특성을 갖는 스파이럴 안테나(MTG사 LSP-006G-018G)를 적용하였으며, 안테나의 위상 정합은 $\pm 15^\circ$ 이내로 제작하였다. 흡수체는 기존 연구^[3]와 다르게 다층 구조의 내환경성을 갖는 폼(foam) 흡수체(Laird사 Eccosorb AN-W-74)와 고무 흡수체(Cumming Microwave사 C-GDX) 2종을 하이브리드 형태로 적용하였다. 흡수체는 설계 주파수에서 흡수 성능이 좋고 수급 가능한 제품을 선택하였다. 2종 흡수체 적용 이유는 흡수체 장착 높이(22.1mm) 제한으로 최대한 난반사를 줄일 수 있도록 실험적인 방법을 통해 고무 흡수체 위에 폼 흡수체를 적층하였다. 폼 흡수체는 배열 안테나에서 방사되는 성분과 레이돔과

장착 판넬의 난반사 성분을 제거시켜 준다. 고무 흡수체는 장착 판넬 표면에 유기된 표면전류를 제거시켜 주는 역할을 한다.

레이돔은 A-샌드위치 구조로 제작하였다. 스킨은 저손실 특성을 갖는 퀴즈 계열 유전체를 적용하였고, 코어는 아라미드 재질의 허니컴을 사용하였다. 레이돔의 적층 두께는 시뮬레이션을 통하여 손실이 적고 FOV(field of view) 내에서 수직과 수평 편파의 위상차가 작은 구조^[4]로 제작하였다.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

본 장에서는 제작된 배열 안테나의 시뮬레이션과 측정 결과를 기술한다. 그림 2에는 시뮬레이션 및 측정된 안테나의 최대 이득과 보어사이트 축비를 비교하여 나타내었다. 1~7번 안테나 성능은 모두 비슷하여 2번 안테나의 특성을 대표적으로 정리하였다. 평균 이득은 시뮬레이션의 경우 수직, 수평 편파 각각 0.15 dBi, 0.20 dBi이며, 측정은 수직, 수평 편파 각각 -0.13 dBi, 0.08 dBi로 측정되었다. 이득은 수신기의 수신감도를 만족할 수 있는 수준이다. 평균 축비는 시뮬레이션 1.08 dB, 측정은 1.64 dB의 특성을 얻었다. 시뮬레이션과 측정 결과는 대체로 유사한 결과를 보였으나 7 GHz에서 측정된 축비가 4.9 dB로 열화되고 10 GHz 이하 이득이 시뮬레이션과 측정에서 차이가 나타났다. 이는 레이돔과 장착판, 흡수체의 결합과 레이돔 제작 오차로 판단되며, 이러한 오차 및 축비 성능 저하는 향후 개선해야 할 부분이다.

그림 3에는 방위각의 수직, 수평 편파 방사패턴을 나타내었다. 방사패턴은 60° 이상의 넓은 빔폭 특성을 갖는 전형적인 스파이럴 안테나의 방사패턴을 형성하였다. 또한 레이돔 영향으로 몇몇 주파수에서 잔 리플이 나타났다. 이러한 방사패턴은 요구 FOV(방위각, 고각 ±45°) 내에서 방향탐지에 적합한 방사패턴이다.

그림 4에 베이스라인($\Delta\phi$ 1~7)의 수직과 수평 위상차의 절댓값에 대해 시뮬레이션과 측정 결과를 나타내었다. 베이스라인 설계시 모호성이 발생하는 위상차는 방위각 34.96°, 고각 23.63°로 계산되었다^[5]. 시뮬레이션 및 측정 결과, FOV 내에서 수직과 수평 편파의 위상차는 방위각

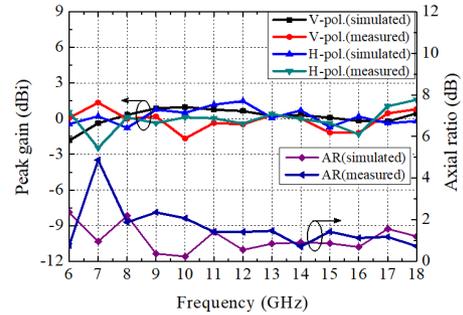


그림 2. 2번 안테나의 최대 이득 및 보어사이트 축비
Fig. 2. Peak gain and boresight axial ratio of No. 2 antenna.

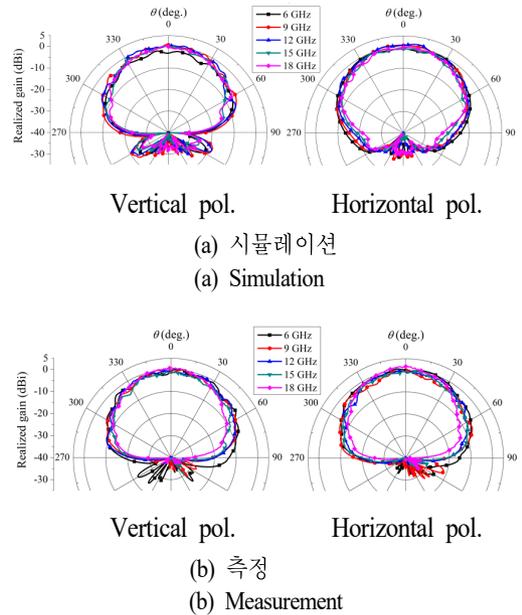


그림 3. 2번 안테나 방위각 방사패턴
Fig. 3. Radiation pattern in azimuth of No. 2 antenna.

배열의 경우 시뮬레이션 평균 5.85°, 측정은 평균 8.09°의 특성을 얻었다. 고각은 시뮬레이션 평균 6.46°, 측정은 평균 7.89°로 나타났다. 또한 수직과 수평 편파의 위상차는 주파수가 상승할수록 위상차가 작아졌다. 이는 주파수가 상승할수록 파장이 작아져 스파이럴 안테나 주변 폼 흡수체에 의한 감쇄가 저주파에 비해 크기 때문이다.

따라서 모호성이 발생하는 위상차 내로 시뮬레이션 및 측정이 되어 2차원 방향탐지 시스템의 배열 안테나로 적용할 수 있는 성능으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2차원 인터페로미터용 광대역 배열 안테나 모듈을 설계 및 제작하였다. 기존 연구와 다르게 레이돔과 장착판의 난반사 제거를 위해 2중의 흡수체 적용하였다. 레이돔은 수직과 수평 편파의 위상차가 최소화되도록 A-샌드위치 구조와 저손실 재질을 적용하여 제작하였다. 배열 안테나, 흡수체, 레이돔 결합시 안테나 특성 시뮬레이션 및 측정 결과 수직과 수평 편파의 위상 오차가 작아 2차원 인터페로미터 방향탐지 시스템용 배열 안테나 모듈로 적용 가능할 것으로 판단된다.

References

[1] S. E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*, Raleigh, NC, Scitech, 2004.
 [2] T. H. Kim, B. J. Park, J. H. Lee, and B. N. Lee, "An experimental study on millimeter wave band radome for

ELINT directional finding system," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 161-168, Apr. 2012.
 [3] C. S. Park, W. Jang, and D. Y. Kim "The array geometry design in airborne microwave 2-D direction finding," in *Fourth IEEE Workshop on Sensor Array and Multichannel Processing 2006*, Waltham, MA, Jul. 2006, pp. 65-69.
 [4] H. Ryu, K. Lee, and B. Park, "Characteristics analysis of planar broadband radome for phase comparison direction finding applications," in *Korea Institute of Military Science and Technology Annual Conference Proceedings*, Jeju, Jun. 2022, pp. 1383-1384.
 [5] J. H. Lee, J. M. Woo, "The direction finding ambiguity analysis for 3 element and 4 element phase interferometer DF system," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 17, no. 4, pp. 544-550, Aug. 2014.

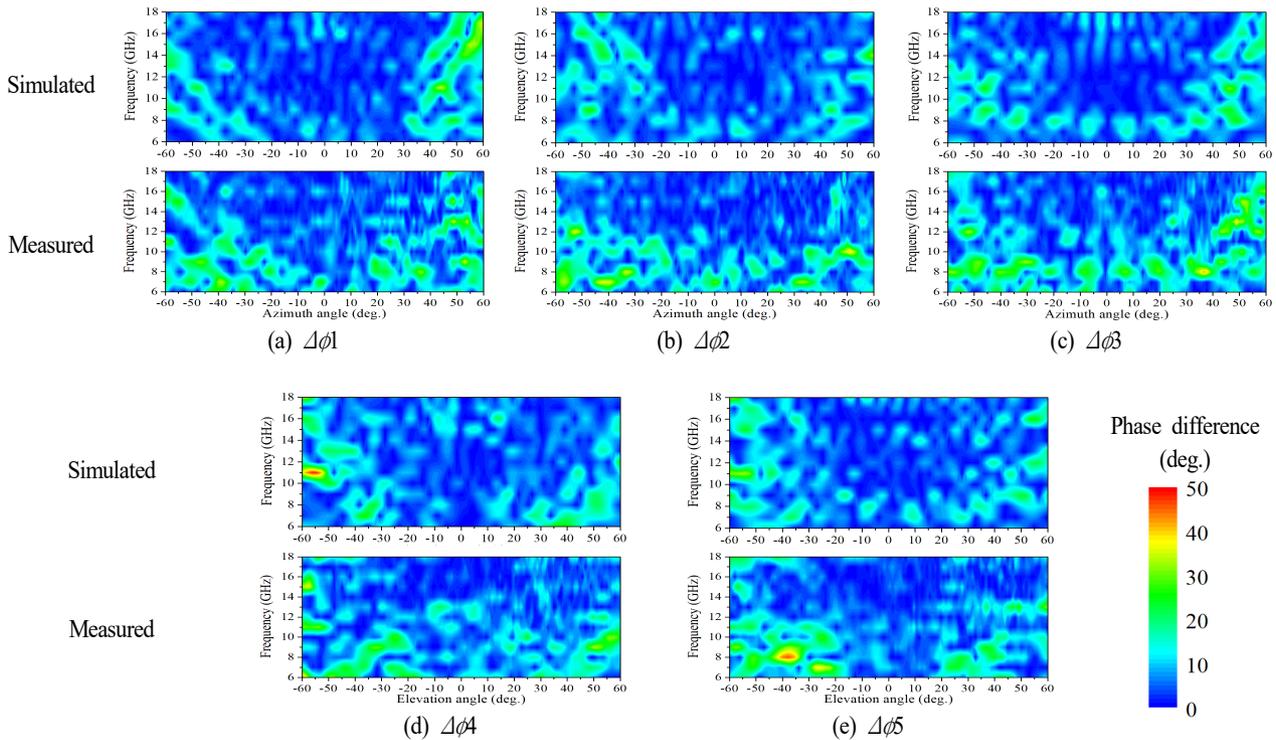


그림 4. 베이스라인에 따른 수직과 수평 편파 위상차
 Fig. 4. Phase difference between vertical and horizontal polarization by base line.