

확장 개구면의 인쇄형 비발디를 이용한 36소자 광대역 방향 탐지 배열안테나 최적화

Optimization of a 36-Element Broadband Direction-Finding Antenna Array Using Printed Vivaldi Array Elements with Extended Flares

임태흥 · 장도영 · 박슬기* · 추호성

Tae Heung Lim · Doyoung Jang · Seul-Gi Park* · Hosung Choo

요 약

본 논문에서는 확장 개구면의 인쇄형 비발디를 이용한 36 소자 광대역 방향 탐지 배열안테나의 최적화 기법을 제안한다. 제안된 배열형상의 성능을 검증하기 위하여 일반적인 사각 배열형상과 방향 탐지 성능을 비교 분석하였다. 그 결과, 이상적인 다이폴 배열 소자를 포함한 최적 배열형상은 $Az=50^\circ$ 에서 신호가 입사하는 경우, 모든 주파수 대역에서 RMSE와 SLL이 각각 0.99° 이하, 4.1 dB 이상임을 확인하였다. 최적 배열형상에 적용 가능한 광대역 특성의 배열소자 도출을 위해 인쇄형 비발디 안테나에 확장 개구면을 추가함으로써 L 대역에서 넓은 빔폭을 가지도록 설계하고 제작하였다. 제안된 배열소자를 포함한 최적 배열형상의 어레이 매니폴드를 사용하여 방향 탐지 성능 결과를 도출하였고, 방향 탐지 시뮬레이션 결과, RMSE는 1.2° 이하, SLL 6.7 dB 이상이 도출되었다.

Abstract

In this study, we proposed a 36-element broadband array antenna optimization method using printed Vivaldi antennas with an extended aperture. The direction-finding performance was compared to a conventional rectangular array to verify the optimum configuration. The proposed array configuration with ideal dipole elements demonstrated an RMSE less than 1° and an SLL greater than 4.1 dB in all frequency bands when the signal was incident at $Az=50^\circ$. In addition, a printed Vivaldi antenna with an extended conductive flare was designed and fabricated as an array element to provide broadband characteristics and a wide beamwidth. Finally, a direction-finding simulation was performed considering the array manifold of the optimal array configuration with the proposed array element, and the results of the RMSE and SLL were less than 1.2° and greater than 6.7 dB, respectively.

Key words: Optimization of Array Configuration, Broadband Direction Finding, Vivaldi Antenna

I. 서 론

L 대역 주파수는 위성 위치 확인 시스템(GPS), 디지털 오디오방송(DAB), 이동통신 등의 다양한 무선통신기술

「이 연구는 2020년도 한화시스템(주)과 2017년도 정부(미래창조과학부와 이공분야 기초연구사업)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(no. NRF-2017R1A5A1015596, no. NRF-2017R1D1A1B04031890).」

홍익대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University)

*한화시스템 EW R&D 센터(EW R&D Center, Hanwha System)

· Manuscript received July 21, 2020 ; Revised August 18, 2020 ; Accepted August 25, 2020. (ID No. 20200721-002S)

· Corresponding Author: Hosung Choo (e-mail: hschoo@hongik.ac.kr)

에서 이용되고 있다^{[1]~[3]}. 이러한 다양한 무선통신의 기기간 간섭 회피 및 적정 신호레벨 확인을 위해서, 정확한 신호원 확인 및 위치를 탐지하는 기술이 동시에 중요시되고 있다. 무선 시스템에서 사용하는 통신 신호들의 주파수 대역이 다양하기 때문에, 신호 탐지를 위해서는 일반적으로 광대역 안테나를 필요로 한다. 그 예로서 비발디 안테나, 대수주기 안테나, 스파이럴 안테나 등의 다양한 광대역 안테나에 대한 많은 연구들이 발표되어 왔다^{[4]~[6]}. 또한, 다수 수신 신호의 방향을 찾기 위해서는 배열 안테나를 이용하는 것이 필수적이며, 신호 방향 탐지 성능을 극대화시키기 위해 안테나의 배열형상도 중요시되고 있다. 일반적으로 배열안테나의 형상은 고각 및 방위각 방향 탐지를 위해 배열소자 간 배열간극이 동일한 사각 배열, 원형 배열, 삼각 배열 등을 사용한다^{[3][7]}. 이렇게 동일한 배열간극을 가지는 배열형상은 특정 단일 주파수 대역에서 배열간극을 조절하여 방향 탐지 성능을 극대화시킬 수 있다. 하지만, 이를 광대역 신호 방향 탐지에 적용하는 경우 고주파수 대역에서 **grating lobe**가 발생하여 방향 탐지 모호성 및 오차가 급격하게 증가하는 문제점이 발생하며, 이러한 문제를 해결하기 위한 배열안테나의 배열형상 최적화에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 확장 개구면의 인쇄형 비발디를 이용한 36 소자 광대역 방향 탐지 배열안테나 최적화기법을 제안한다. 최적 배열형상을 도출하기 위해 36 소자 중 9 소자의 상하좌우 배열간극을 자유롭게 조절하며 최적화하였고, 해당 9 소자를 x 축, y 축 및 원점에 대하여 대칭시켜 최적 배열형상을 모델링하였다. 제안된 배열형상의 성능을 확인하기 위하여, L 대역의 저주파수, 중심주파수, 고주파수에 대한 반파장을 배열간극으로 하는 일반적인 사각 배열형상과 방향 탐지 성능을 비교 분석하였다. 최적 배열형상에 적용 가능한 광대역 특성의 배열소자 도출을 위해, 인쇄형 비발디 안테나의 개구면을 확장시켜 L 대역에서 넓은 빔폭을 가지는 배열소자를 설계하고 제작하였다. 제작된 배열소자를 전파 무반사실에서 전면 방향 이득, 반사 계수, 방사패턴을 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 또한, 제안된 배열소자를 포함한 최적 배열형상의 어레이 매니폴드를 사용하여 36 소자 배열안테나 방향 탐지 성능을 비교분석하였다.

II. 광대역 방향 탐지용 36 소자 배열안테나 최적화

2-1 광대역 방향 탐지용 36 소자 배열안테나 배열형상 최적화

그림 1은 배열형상 최적화를 위한 36 소자 중 일부분인 9 소자에 대한 배열형상을 모식도로 나타낸다. 원점에서 가장 근접하게 위치한 배열소자부터 소자의 변수를 $E_{nm}(n, m=1, 2, 3)$ 으로 표시하였으며, 각 소자 간 거리 및 x, y 축과의 거리를 dx_{nm}, dy_{nm} 으로 정의하였다. 그림 2는 최적 배열형상 도출을 위한 알고리즘의 순서도를 보여주며 최적화 순서는 다음과 같다. 먼저 EM 시뮬레이터를 사용하여 이상적인 다이폴 안테나(E_{nm})를 모델링한다^[8]. 모델링한 안테나에 소자 간 배열간극 dx_{nm}, dy_{nm} 을 적용하여 9 소자를 배열하고, 이를 원점, x, y 축에 대하여 대칭시켜 36 소자에 대한 배열형상을 구현한다. 최적 배열형상을 얻기 위해, full EM 시뮬레이션으로부터 이상적인 다이폴안테나에 대해 각 배열소자 간 간극과 상호결합 특성을 고려한 배열안테나의 어레이 매니폴드(array manifold)를 도출한다. 도출한 어레이 매니폴드와 SS-MUSIC(signal-subspace multiple signal classification) 알고리즘을 통해 각 입사 신호방향에 따른 방향 탐지 성능을 계산한다^[9]. 이때, 실제 신호 입사 방향과 도출한 신호 방향 탐지 성능에 대한 RMSE(root mean square error)와 SLL(side

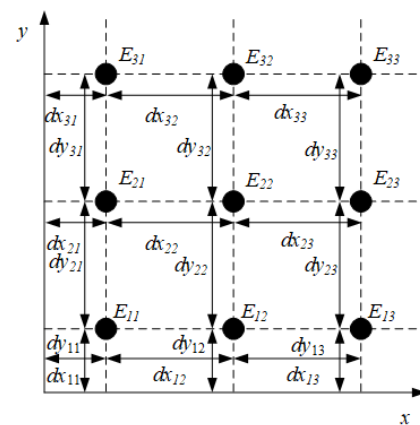


그림 1. 9 소자 배열형상에 대한 모식도

Fig. 1. Conceptual figure for a 9-element array configuration.

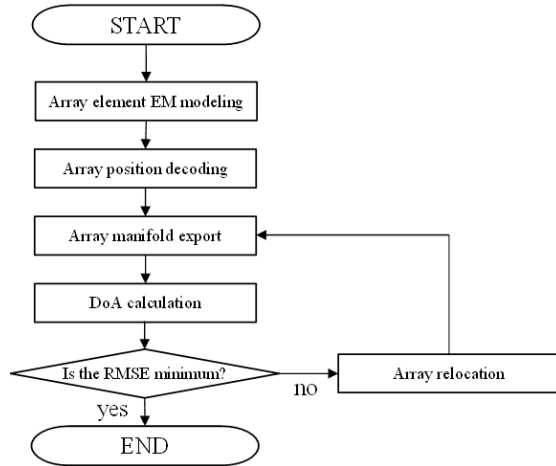


그림 2. 36 소자 광대역 방향 탐지 최적배열형상 설계 순서도

Fig. 2. Flowchart for design of optimizing a 36-element broadband direction finding array configuration.

lobe level)을 최적 배열형상에 대한 평가함수로 식 (1) 및 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (|Az_{est.}(i, f(j)) - Az_{real}(i, f(j))|)^2} \quad (1)$$

$$SLL = \frac{1}{IJ} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \left(\frac{P_m(i, f(j))}{P_s(i, f(j))} \right) \quad (2)$$

Az_{real} 과 $Az_{est.}$ 는 각각 실제 신호와 예측된 신호의 방위 각 입사 방향을 나타내며, f 는 신호의 주파수를 의미한다. I 와 J 는 신호 방향 탐지 시나리오의 반복횟수와 관찰하고자 하는 주파수 대역의 개수이며, 이 수행 결과에 대한 평균으로 RMSE가 정의된다. SLL은 주엽 최대 레벨(P_m)과 첫 번째 부엽 최대 레벨(P_s)의 비로 계산되며, I 와 J 번 수행하여 도출된 평균값으로 정의한다. 최종적으로 위의 두 평가 함수를 유전자 알고리즘에 사용하였고, 유전자 알고리즘의 경우, 50개의 population과 50번의 generation으로부터 평가함수가 최소가 되는 결과에서 최적 배열간극 dx_{nm} 과 dy_{nm} 에 대한 값을 도출하였다. 도출한 최적 배열형상은 그림 3에서 보여주고 있으며, 각 배열간극과 최종 배열형상 크기에 대한 값을 표 1에 기재하였다.

제안된 배열형상의 성능을 검증하기 위해 주파수의 따른 배열간극이 전기적 길이의 반파장인 일반적인 사각

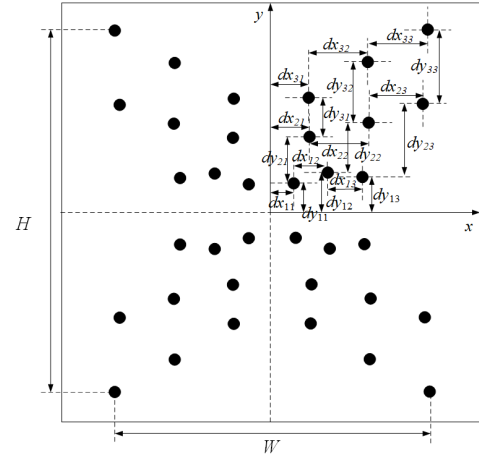


그림 3. 제안된 36 소자 최적 배열형상

Fig. 3. Proposed 36-element optimal array configuration.

표 1. 제안된 36 소자 최적 배열 형상 설계 변수

Table 1. Parameters of the proposed 36-element optimal array configuration.

Parameter	Value (mm)	Parameter	Value (mm)
dx_{11}	69	dy_{11}	40
dx_{12}	72	dy_{12}	94
dx_{13}	49	dy_{13}	77
dx_{21}	149	dy_{21}	65
dx_{22}	150	dy_{22}	80
dx_{23}	137	dy_{23}	137
dx_{31}	148	dy_{31}	51
dx_{32}	149	dy_{32}	110
dx_{33}	147	dy_{33}	146
W	810	H	979

배열형상의 방향탐지 성능에 대해 power spectrum으로부터 RMSE와 SLL 지표를 확인 후 비교 분석하였다. 그림 4는 각 주파수에 따른 신호 방향 탐지 예측 성능에 대한 normalized power spectrum을 나타내며, 파란색, 빨간색, 초록색, 분홍색 실선 순으로 최적 배열형상, 150 mm, 100 mm, 75 mm[저주파수 (1 GHz), 중간주파수 (1.5 GHz), 고주파수 (2 GHz)에 대한 반파장] 사각 배열형상의 방위각 방향 탐지 결과를 보여준다.

그림 4(a)에서 그림 4(c)는 전면방향으로 신호가 입사

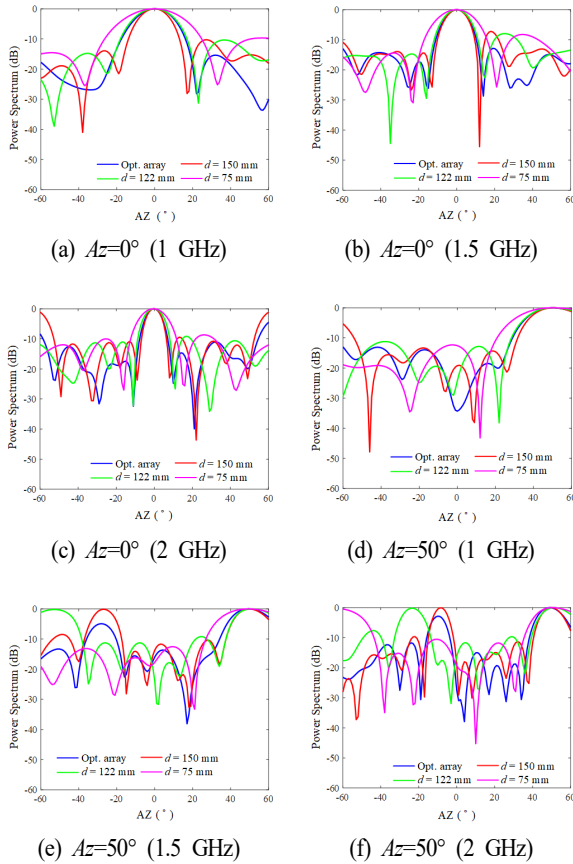


그림 4. 최적배열형상 및 일반적인 사각배열안테나 방향 탐지 성능 비교

Fig. 4. Comparisons of direction finding properties among optimized array configuration and conventional rectangular array antennas.

할 때, 1 GHz, 1.5 GHz, 2 GHz의 주파수 대역에 대한 방향 탐지 power spectrum에 대한 결과를 보여준다. 그 결과, 최적 배열형상은 모든 주파수 대역에서 RMSE가 0.71° 이하, SLL이 7 dB 이상으로 가장 양호한 성능이 도출되었다. 반면에 배열간극이 150 mm인 사각 배열의 경우, 2 GHz에서 grating lobe가 발생하여, 방향 탐지 성능에 심각한 열화가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(d)에서 그림 4(f)는 방위각 50°에서 신호가 입사할 때, power spectrum에 대한 결과를 주파수에 따라 나타낸다. 최적 배열형상은 모든 주파수 대역에서 grating lobe가 발생하지 않고, RMSE와 SLL이 각각 0.99° 이하, 4.1 dB 이상의 값을 가지는 방향 탐지 성능을 보여준다. 하지만 일반적인

사각 배열의 경우, 신호의 입사방향이 비스듬하게 입사할 때, 모두 grating lobe가 발생하여 방향 탐지 성능이 현저히 감소되는 것을 확인할 수 있다.

2-2 확장 개구면의 인쇄형 비발디 설계 및 방향 탐지 성능 분석

제안된 배열형상에 실제 광대역 특성을 가지는 안테나를 적용하여 방향 탐지 성능을 분석하기 위하여, 이상적인 다이폴안테나의 방사 패턴과 유사한 넓은 빔폭을 가지는 광대역 비발디 배열소자를 설계하였다. 그림 5는 제안된 안테나의 형상과 제작사진을 나타내며, 인쇄형 비발디 안테나의 개구면을 확장하여 광대역에서 동작하게 대역폭 성능을 개선하였다. 비발디 안테나는 97 mm의 길이 (h)를 가지는 1.6 mm 두께의 FR-4 기판에 인쇄하였으며, balun 부분과 방사체 날개 부분은 $f_1(z)$, $f_2(z)$, $f_3(z)$ 의 함수

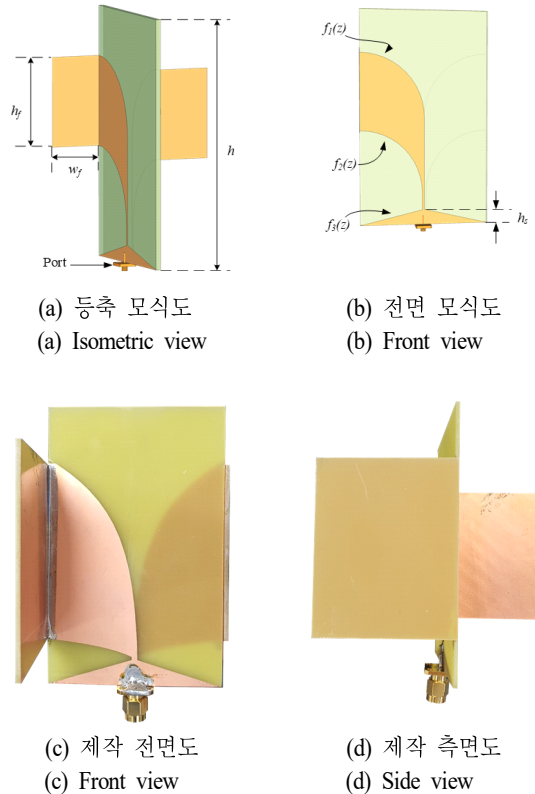


그림 5. 제안된 배열소자 형상

Fig. 5. Geometry of the proposed antenna.

로 설계하였다. Balun의 길이(h_s)는 9 mm로 하여 광대역에서 동작할 수 있는 임피던스특성을 구현하였다. 확장 flare는 길이(h_f)와 너비(w_f)가 각각 61 mm와 49 mm이며, 일반적인 인쇄형 비발디 안테나보다 전기적 길이를 길게 만들어 저주파수 대역에서 이득 값을 높여줄 뿐만 아니라, 안테나 표면의 전류 분포를 균일하게 하여 넓은 빔폭 특성을 가질 수 있게 하였다. 제작된 안테나는 전파무반사실에서 VSWR, 이득, 방사패턴을 측정하여 시뮬레이션과 비교하였다.

그림 6은 제작된 배열소자의 VSWR과 전면방향 이득 특성을 나타낸다. 측정된 VSWR과 시뮬레이션은 모든 L 대역에서 2.7:1 이하를 가지며, 최대 이득은 시뮬레이션과 측정 모두 -1.8 dB 이상으로 확인되었다. 그림 7은 제안

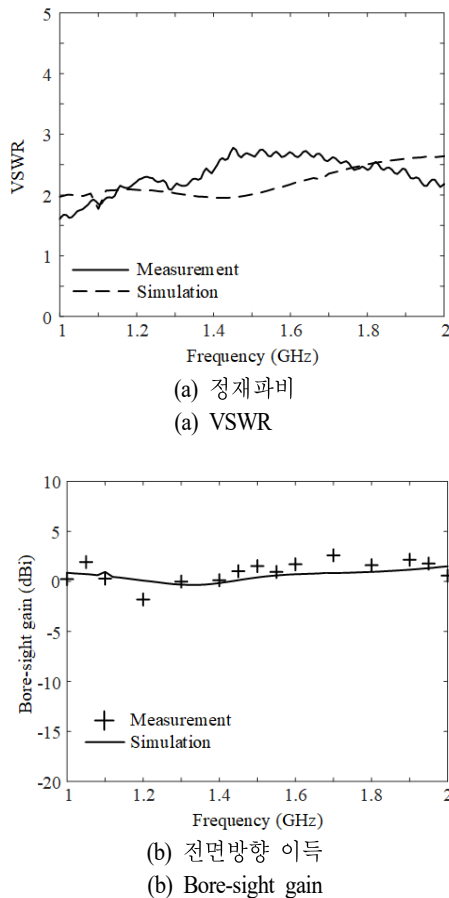


그림 6. 제작된 배열소자의 VSWR 및 전면방이득
Fig. 6. VSWR and bore-sight gain of the fabricated array element.

된 안테나의 1.5 GHz에 대한 측정 및 시뮬레이션 2D 방사패턴 결과를 나타낸다. zx 평면에서 측정된 반전력 빔 폭은 1 GHz, 1.5 GHz, 2 GHz에서 각각 78°, 143°, 41°이며, zy 평면에서는 121°, 182°, 83°로 나타났다. 실제 광대역 안테나를 사용한 방향 탐지 성능을 확인하기 위하여, 제안된 단일 배열소자를 최적 배열형상에 적용한 후 어레이 매니폴드를 도출하였다. 그림 8은 제안된 배열소자를 포함한 최적 배열형상과 일반적인 사각배열형상($d=150$ mm)의 어레이 매니폴드를 사용하여 도출된 방향 탐지 결과(power spectrum)를 1.5 GHz에서 고각과 방위각에 대해서 보여주고 있다. 두 배열형상에 대하여 CASE 1($Az=0^\circ$, $El=0^\circ$)과 CASE 2($Az=50^\circ$, $El=0^\circ$) 시나리오로 신호가 입사하는 경우에 대하여, 각각 반복횟수를 100회씩 시뮬레이션하여 평균값을 도출하였다. 그림 8(a), 그림 8(b)와 같이 최적 배열형상을 이용하여 방향 탐지 시뮬레이션한 결과 CASE 1의 경우, RMSE는 1.0° 이고, SLL 8.7 dB이며, CASE 2의 경우, 1.2° 의 RMSE와 6.7 dB의 SLL값이 도출되었다. 반면에, 그림 8(c), 그림 8(d)와 같이 사각 배열형상으로 방향탐지 성능을 확인한 결과, CASE 1은 RMSE와 SLL이 1.0° 와 3.7 dB의 값을 가지며, CASE 2의 RMSE와 SLL값이 19.7° 와 3.6 dB를 가짐을 확인하였다. 결과에 따르면, 전면방향을 조향하는 경우에는 두 배열형상에서 도출된 RMSE 차이는 크지 않지만, 조향방향이 측면이 될수록 사각배열형상은 grating lobe가 발생하여 큰 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 광대역 주파수 범위에서 제안된 최적 배열형

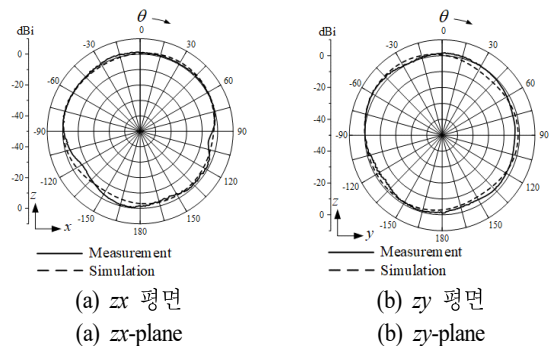


그림 7. 제작된 배열소자의 2D 방사패턴(1.5 GHz)
Fig. 7. 2D radiation patterns of the fabricated array element (1.5 GHz).

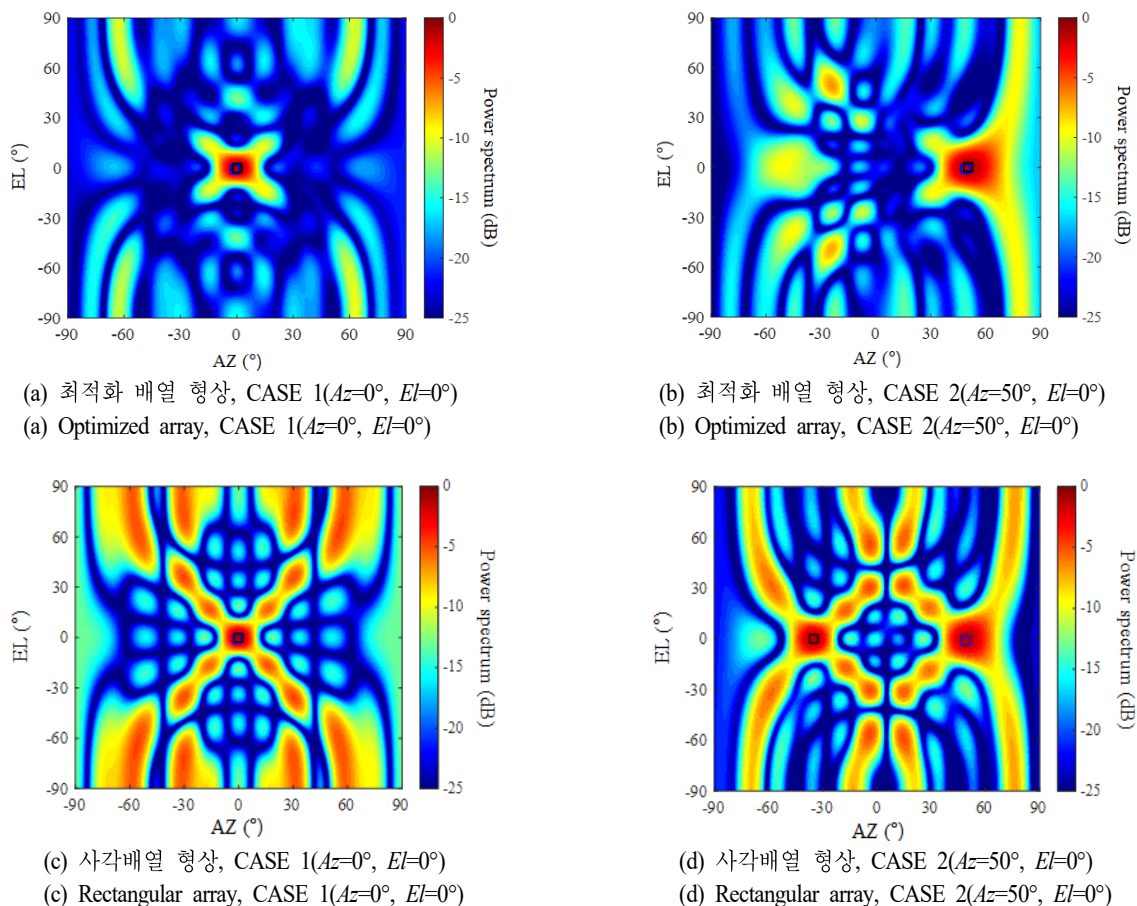


그림 8. 광대역 배열소자를 최적 배열에 적용한 방향 탐지 결과

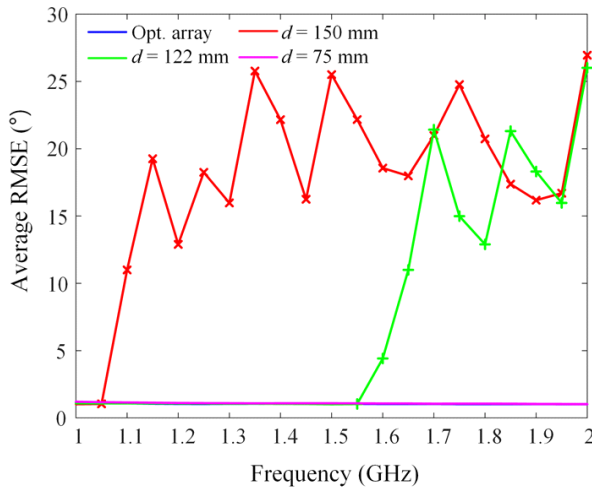
Fig. 8. Direction finding results using the optimum array configuration with the broadband array element.

상의 방향탐지 성능을 확인하기 위해 신호의 입사방향을 변경하며 얻은 평균 RMSE와 SLL을 관측 주파수에 따라 확인한 결과를 보여준다. 입사신호의 고각방향을 0° 부터 60° 까지 10° 간격으로 변화시키며, 각 신호입사방향에 대한 RMSE와 SLL의 평균값을 도출하였다. 또한, 평균 RMSE와 SLL은 1 GHz부터 2 GHz까지의 관측 주파수 범위에 대하여 0.5 GHz 간격으로 계산하였다. 그 결과, 제안된 배열형상의 경우, 모든 관측 주파수 내에서 RMSE가 1.1° 이하이고, SLL 값은 5.6 dB 이상으로 일반적인 사각배열에 비해 월등히 좋은 성능이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 150 mm와 122 mm 사각배열의 경우, grating lobe의 발생으로 일정 주파수 대역부터 RMSE가 점차 크게 증가한다. 75 mm 사각배열은 모든 관측 주파수에 대

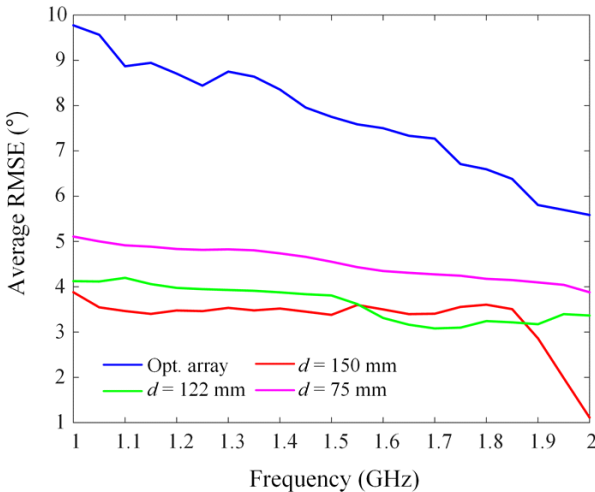
해서 최적 배열형상 유사한 RMSE값을 가지는 것을 보여준다. 하지만, 평균 SLL이 관측주파수에 따라 최소 1.7 dB, 최대 4.6 dB까지 차이가 발생하며, 이는 탐지환경의 SNR 조건에 따라 최적 배열형상 대비 방탐성능이 저하될 가능성이 높은 단점이 있다. 따라서 제안된 광대역 배열소자에 최적 배열형상을 결합할 경우, 광대역 방향탐지 성능이 일반 사각배열을 사용했을 때 대비 우수함을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 확장 개구면의 인쇄형 비발디를 이용한 36 소자 광대역 방향 탐지 배열안테나 최적화기법을 제안하였다. 제안된 배열형상은 9 소자의 위치를 자유롭게



(a) Average RMSE



(b) Average SLL

그림 9. 광대역 주파수 범위에서 방향탐지성능 비교분석
Fig. 9. Direction finding results in a broad frequency band.

변경하며 최적화하였고, 이를 x축, y축 및 원점에 대하여 대칭시켜 36 소자 배열형상을 도출하였다. 이상적인 다이폴 안테나를 포함한 최적 배열형상에 SS-MUSIC을 이용하여 전면방향과 $Az=50^\circ$ 에서 신호 입사하는 시나리오에 대해 방향 탐지하였다. 전면 방향으로 신호가 입사할 경우, L 대역에서 RMSE가 0.71° 이하, SLL이 7 dB 이상의 값을 가졌고, $Az=50^\circ$ 에서 신호가 입사할 때, 모든 주파수 대역에서 RMSE와 SLL이 각각 1° 이하, 4.1 dB 이상의 값이 도출되었다. 배열안테나의 배열소자로 인쇄형 비발디

안테나의 개구면을 확장함으로써 L 대역에서 넓은 빔폭을 가지는 안테나를 제작하고 성능을 측정하였다. 제작된 배열소자의 VSWR 값은 모든 L 대역에서 2.7:1 이하를 가지며, 전면방향 이득은 -1.8 dB 이상으로 나타났다. 제안된 광대역 배열소자와 최적 배열형상을 고려하여 방향탐지 성능 결과를 도출하였다. 방향 탐지 시뮬레이션 결과, CASE 1의 경우 RMSE는 1.0° 이고, SLL 8.7 dB를 가졌고, CASE 2의 경우 1.2° 의 RMSE와 6.7 dB의 SLL값이 도출되었다. 향후, 상호결합특성을 고려하여 비발디안테나를 최적배열형상을 도출하여 광대역방향탐지 성능을 극대화시킬수 있는 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] Y. W. Chi, K. L. Wong, "Internal compact dual-band printed loop antenna for mobile phone application," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 5, pp. 1457-1462, May 2007.
- [2] F. J. Ortega-Gonzalez, D. Tena-Ramos, M. Patiño-Gomez, J. M. Pardo-Martin, and D. Madueño-Pulido, "High-power wideband L-band suboptimum Class-E power amplifier," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 61, no. 10, pp. 3712-3720, Oct. 2013.
- [3] D. Jang, S. Yoo, J. Wang, and H. Choo, "Design of a 16-element array antenna with a planar L-shaped probe for a direction of arrival estimation of the unidentified broadband signal," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 61, no. 10, pp. 2315-2322, Oct. 2019.
- [4] J. Bang, J. Lee, and J. Choi, "Design of a wideband antipodal vivaldi antenna with an asymmetric parasitic patch," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 1, pp. 29-34, Jan. 2018.
- [5] A. Mirkamali, P. S. Hall, "Wideband frequency reconfiguration of a printed log periodic dipole array," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 4, pp. 861-864, Apr. 2010.
- [6] L. Sevgi, G. Çakir, "A broadband array of Archimedean spiral antennas for wireless applications," *Microwave and*

Optical Technology Letters, vol. 48, no. 1, pp. 195-200, Jan. 2006.

- [7] Q. Li, T. Su, and K. Wu, "Accurate DOA estimation for large-scale uniform circular array using a single snapshot," *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 2, pp. 302-305, Feb. 2019.
- [8] S. Yoo, G. Byun, J. Y. Lee, and H. Choo, "Design of three-elements CRPA arrays using improved low-elevation gain," *Journal of Satellite, Information and Communications*, vol. 12, no. 2, pp. 83-88, Jun. 2017.
- [9] S. Yoo, C. Lee, S. K. Kim, and H. Choo, "Beamforming

performance for phased array-fed reflector antenna," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30 no. 3, pp. 190-194, Mar. 2019.

- [10] Altair, "FEKO overview," Available from: <https://altairhyperworks.co.kr/product/FEKO>
- [11] G. Byun, H. Choo, and H. Ling, "Optimum placement of DF antenna elements for accurate DOA estimation in a harsh platform environment," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 61, no. 9, pp. 4783-4791, Sep. 2013.

임 태 흥 [홍익대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0001-7968-1272>



2016년 8월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
 2018년 8월: 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 2018년 9월~2019년 2월: 홍익대학교 과학기술연구소 연구원
 2019년 3월~현재: 홍익대학교 전자전기

공학과 박사과정

[주 관심분야] 배열안테나, TMA 안테나, GPS 안테나, Antenna Propagation

박 슬 기 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-0035-6667>



2006년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 학사 (공학사)
 2008년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
 2008년 9월~2013년 3월: LIG넥스원 선임 연구원
 2013년 4월~2016년 12월: 삼성전자 책임

연구원

2017년 1월~현재: 한화시스템 전문연구원
 [주 관심분야] 전자전, 안테나, 레이더

장 도 영 [홍익대학교/박사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-5629-8294>



2015년 2월: 동양미래대학교 정보통신학과 (공학전문학사)
 2015년~2018년: 모아소프트 RF/EMC 사업부 연구원
 2018년 2월: 동양미래대학교 정보통신학과 (공학사)
 2018년 3월~2020년 2월: 홍익대학교 전

자전기공학과 (공학석사)

2020년 3월~현재: 홍익대학교 전자전기공학과 박사과정
 [주 관심분야] 방향 탐지용 안테나 설계 및 배열 최적화, 전파 환경 분석

추 호 성 [홍익대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-8409-6964>



1998년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
 2000년 8월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학석사)
 2003년 5월: 미국 University of Texas at Austin 전자전기공학부 (공학박사)
 2003년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기

공학부 교수

[주 관심분야] 초소형 안테나, 최적화 알고리즘을 이용한 안테나 설계, 차량 및 항공기 안테나