

능동 전자주사식 위상배열 레이다용 N-Way 보정선로 설계 및 제작

Design and Fabrication of N-Way Calibration Line for Active Electronically Scanned Array Radar

정구호 · 정윤권 · 김태완* · 최준호*

Gu-Ho Jeoung · Yun-Kwon Jung · Tae-Wan Kim* · Jun-Ho Choi*

요 약

본 논문에서는 능동 전자주사식 위상배열 레이다용 N-way 보정선로 설계 및 제작 결과를 기술하였다. 제안한 N-way 보정선로는 개방형 프로브, 윌킨슨 전력분배기로 이루어져 있으며, 송수신 경로의 크기 및 위상을 측정하고 보상할 수 있도록 설계하였다. 또한, 개방형 프로브와 전력분배기를 사용하여 배열안테나 및 송수신모듈의 신호 정보가 보정조립체로 전달되도록 설계하였으며, 전력분배기의 소형화를 위해 다층 인쇄회로기판(printed circuit board: PCB)을 사용하였다. 보정선로를 통해 신호가 전달되는 원리 및 설계 과정을 기술하였으며, 출력포트 신호의 위상이 균일한 분포를 갖지 않을 때, 임의의 출력 포트의 특정 주파수에서 열화되어 신호가 전달되지 않는 현상을 확인하였다. 제안한 보정선로는 균일한 위상분포를 갖도록 설계하였고, 시뮬레이션과 측정을 통해 보정선로의 성능 및 설계 방법의 타당성을 검증하였다.

Abstract

In this study, we describe the design and fabrication of an N-way calibration line for an active electronically scanned array radar. The designed calibration line consisted of an open-ended probe and a Wilkinson power divider. It was designed to calibrate by measuring the amplitude and phase of the transmit/receive path. In addition, the signals from the array antenna and transmit/receive module could be transmitted to a calibration assembly using the open-ended probe and power divider. A multilayer printed circuit board (PCB) was used for miniaturization. We described the mechanism and design process of signal transmission through the calibration line. In addition, we described the issue of an N-way calibration line design without a uniform phase distribution of the output ports. This indicated that the signal could not be transmitted at a specific frequency through a random output port. The proposed calibration line was designed to achieve a uniform phase distribution. A calibration line was designed, measured, and tested to validate its performance.

Key words: Radio Frequency, Active Electronically Scanned Array, Wilkinson Power Divider, Surface Mounting Technology

I. 서 론

현대의 다기능 레이다는 다수 표적을 동시에 탐색하고 추적 전환하기 위해선 고속 빔 조향이 이루어져야 한다.

「이 연구는 국방과학연구소의 지원으로 연구되었음.」

한화시스템(Hardware Radar Team, Hanwha Systems)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received June 13, 2023 ; Revised July 9, 2023 ; Accepted August 14, 2023. (ID No. 20230613-041)

· Corresponding Author: Gu-Ho Jeoung (e-mail: cgh716@hanwha.com)

안테나 빔을 원하는 방향으로 조향하고, 안정적인 레이더 시스템 운용을 하기 위해서는 송수신모듈 내의 채널별 다기능 칩에 크기 및 위상값이 적용되어야 한다. 하지만, 능동 전자주사식 위상배열(active electronically scanned array: AESA) 레이더에서 각 채널 송수신 단의 특성은 조금씩 다르고, RF 소자는 온도나 습도, 시간에 따라 특성이 변하게 된다. 송수신모듈의 특성 변화는 채널 간 오차를 발생시키며, 빔 조향, 다중 빔 형성등과 같은 레이더 기능의 성능 저하 원인이 된다. 따라서, 배열안테나 및 송수신모듈 경로의 위상과 크기 값을 균일하게 갖도록 보상하는 기술이 필요하다^{[1],[2]}. 이를 통해, 안테나 빔 조향 오차를 최소화하고, 빔 폭, 주엽 및 부엽의 성능을 개선하여 목표 탐지 성능을 유지시킬 수 있다.

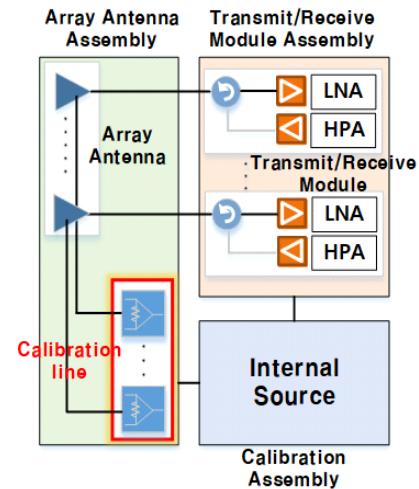
보정을 위해선 외부 또는 내부 신호원을 이용하여 각 채널의 특성을 측정한 후 오차를 보정해야 한다. 외부 신호원을 이용하기 위해선 송신 증폭기의 출력 및 수신 채널의 이득을 측정하기 위한 근접 전계 시험 시설과 시험장비를 갖춘 곳에서 진행해야 하므로 실제 레이더가 운용되는 환경에서는 적합하지 않다^{[3]~[5]}. 레이더 운용 중 채널 특성을 측정하고 오차를 교정하기 위해선 보정조립체의 내부 신호원을 이용해야 한다. 또한, 송수신 경로상에 있는 능동, 수동 소자들의 크기 및 위상을 측정하고 채널별 보정값을 산출하기 위한 RF 경로가 제공되어야 한다. 따라서, 내부 신호원을 이용하여 배열안테나와 송수신모듈의 신호 특성 변화를 측정하고 보정조립체로 신호를 전달할 수 있는 보정선로가 필요하다.

본 논문에서는 능동 전자주사식 위상배열 레이더용 보정선로를 설계하고 제작 및 검증을 진행하였다. 제안한 보정선로는 신호를 보정하기 위한 전력전송구조이며, 개방형 프로브와 전력분배기를 사용하여 배열안테나 및 송수신모듈의 신호 정보가 보정조립체로 전달되도록 설계하였다. 패치 방사체와 전력분배기 간 커플링 신호를 수신하기 위해 저항소자를 사용하여 보정선로의 프로브가 개방형 스테르브로 동작하도록 설계하였다. 또한, 일컫는 전력분배기를 다단(multi-stage)으로 연결하고, 출력포트의 위상이 균일한 분포를 갖도록 N-way 보정선로를 설계 및 제작하여 성능을 검증하였다.

II. N-Way 보정선로 설계

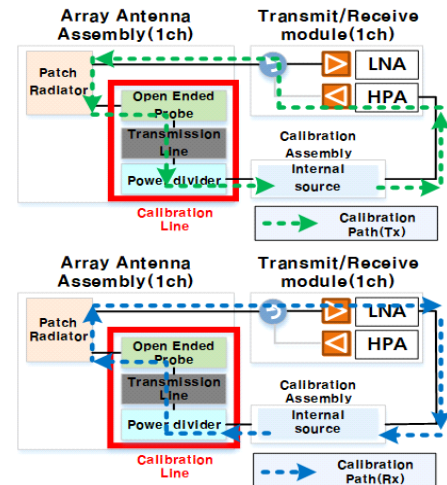
2-1 N-Way 보정선로 구성

그림 1은 능동 전자주사식 위상배열 레이더용 N-way, 1-way 보정선로 구성도이다. 배열안테나조립체는 배열안테나와 보정선로로 구성되어 있고, 송수신모듈 조립체는



(a) N-way 보정선로 구성도

(a) Block diagram of the N-way calibration line



(b) 1-way 보정선로 구성도

(b) Block diagram of the 1-way calibration line

그림 1. 제안된 보정선로 구성도

Fig. 1. Block diagram of the designed calibration line.

다수의 송수신모듈로 구성되어 있다. 그림 1(b)와 같이 송신 보정 경로는 보정조립체 내부 신호원으로부터 생성된 신호가 송수신모듈의 고출력 증폭기를 거쳐 패치 방사체에 전달된다. 또한, 개방형 프로브와 전력분배기를 통해 보정조립체로 전달된다.

수신 보정 경로는 내부 신호원으로부터 생성된 신호가 보정선로를 통해 패치 방사체와 저잡음증폭기로 흐르고 보정조립체로 전달된다. 이를 통해 송수신 경로의 능동, 수동 소자 크기 및 위상 정보를 측정하여 오차를 보상할 수 있다.

그림 2는 제안된 보정선로의 N-way와 1-way 구조 및 형상이다. 제안한 N-way 보정선로는 배열안테나 내부에 위치하며, N개의 개방형 프로브와 N-way 전력분배기로 구성되어 있다. 개방형 프로브는 패치 방사체와 전력분배기 간 신호를 전달하기 위해 양면 기판으로 이루어져 있는 뒷면의 전송선로와 연결되어 있다. 배열안테나와 SMP 커넥터 임피던스 정합에 영향을 주지 않도록 프로브 길이 및 위치를 조정하여 설계하였다.

보정선로의 전력분배기는 각 채널의 송수신 정보를 보정조립체가 수신할 수 있도록 경로를 제공한다. 다층 기

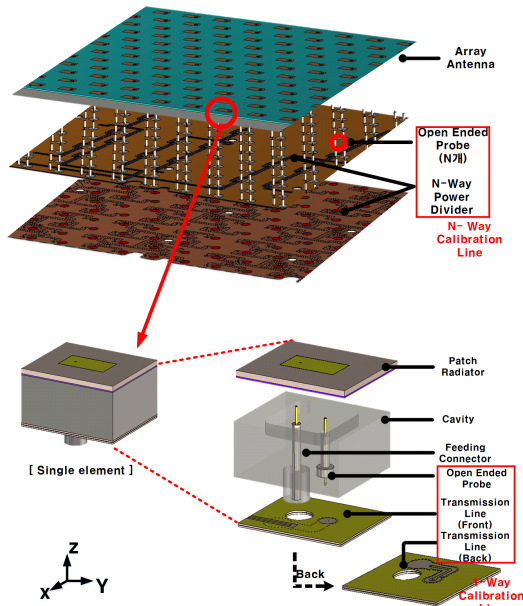


그림 2. 제안된 보정선로 구조 및 형상
Fig. 2. Structure of the proposed power divider.

판의 전면에는 N개의 16-way 월킨슨 전력분배기로 구성되어 있고, 후면에 N-way 전력분배기로 구성되어 있다. 또한, 단일 평면 도파관(co-planar waveguide, CPW) 구조에 다층 기판 사이에 발생할 수 있는 커플링 신호의 간섭을 차단하기 위해 그라운드를 추가하였고, 비아를 통해 양면 전력분배기의 신호가 전달되도록 설계하였다. 출력 포트 간 격리도 향상 및 선로 손실을 줄이기 위해 그라운드에 비아홀을 배치하였다. 또한, 개방형 프로브에 결합되어 있는 유전체에 단차를 적용하여 제작 안정성을 확보하였다.

2.2 개방형 프로브 설계

그림 3은 제안한 보정선로의 개방형 프로브 등가 회로 모델이다. 제안한 보정선로의 개방형 프로브는 배열안테나의 패치 방사체와 전력분배기 사이에 송수신 신호를 전달하는 역할을 해야 하므로, 전송선로에 프로브를 추가하여 설계하였다. 이로 인해, 전력분배기 출력단과 패치 방사체 사이의 거리가 좁아지기 때문에 레이다 시스템 보정 신호의 신호 대 잡음비가 향상된다. 그러나 프로브를 연결한 전력분배기는 개방회로로 동작하므로 신호가 전달되지 않는다. 전력분배기에 신호가 흐를 수 있도록 부하를 연결하였고, 부하에 사용된 저항소자는 일반저항보다 정격전력이 높은 저항을 사용하여 설계하였다. 레이

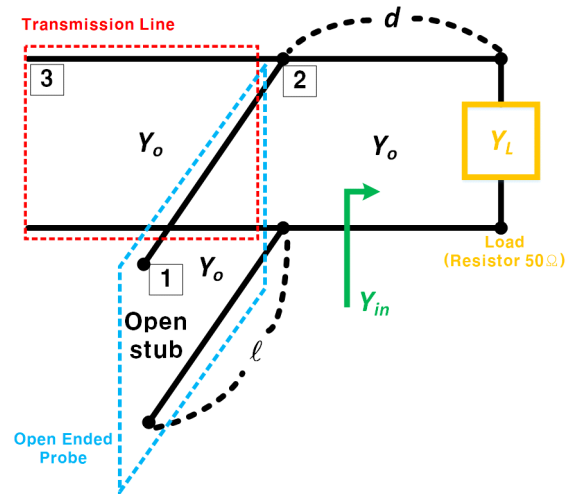


그림 3. 개방형 프로브의 등가 회로 모델
Fig. 3. Equivalent circuit model open ended probe.

다 운용 시 송수신모듈 단의 증폭기에서 출력되는 전력을 견디야 고장 없이 안정적으로 운용이 되기 때문이다.

제안한 보정선로의 전력분배기 출력단에 부하를 매칭시키기 위해선 부하의 임피던스와 전송선로의 임피던스는 같아야 한다. 다수의 전력분배기 출력단이 부하와 안정적으로 매칭이 이루어지도록 부하와 동일한 임피던스를 갖는 저항소자를 사용하였다. 개방형 프로브의 동작 원리를 설명하기 위해 식 (1)~식 (4)로 표현하였으며, 식 (1)은 부하의 입력 어드미턴스이고, 입력 어드미턴스의 컨덕턴스, 서셉턴스의 값은 식 (2)와 같다.

$$Y_{in} = Y_o \frac{Y_L + jY_o \tan \beta d}{Y_o + jY_L \tan \beta d} = G + jB \quad (1)$$

$$\therefore G = \frac{1}{50}, B = 0 \quad (2)$$

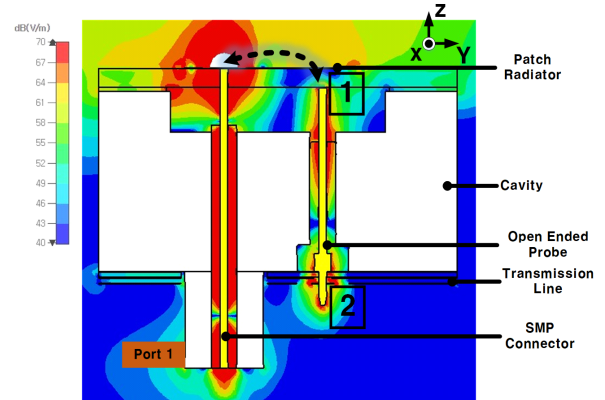
병렬 선로에서 개방형 스텔브의 서셉턴스 성분은 식 (3)과 같으며, 프로브가 개방형 스텔브로 동작하고, 전송선로에서 부하로 신호가 전달되기 위해선 스텔브의 서셉턴스 성분은 0이 되어야 한다.

$$jB_{stub} = -jY_o \tan \beta \ell = 0 \quad (3)$$

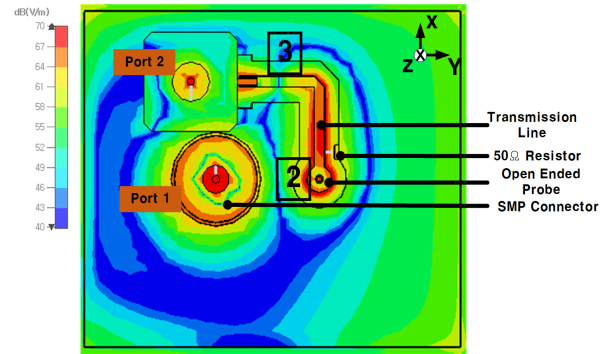
따라서, 개방형 스텔브의 길이는 식 (4)의 값을 가지며, 배열안테나 캐비티의 구조를 고려하여 반 파장 길이를 갖도록 설계를 진행하였다.

$$\therefore \ell = \frac{\lambda}{2}(m+1), (m=0,1,2 \dots) \quad (4)$$

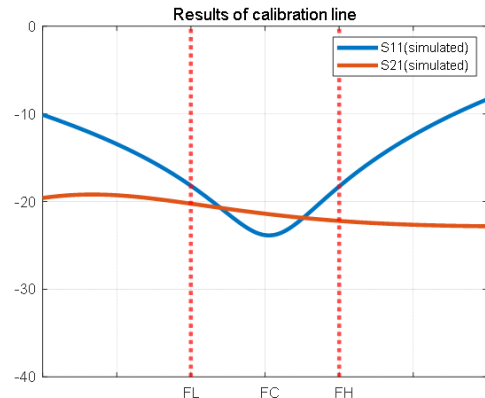
그림 4는 프로브가 개방형 스텔브로 동작하여 패치 방사체와 전송선로 간 신호가 전달됨을 보여준다. 제안한 전력분배기의 저항소자는 식 (4)와 같이 개방형 프로브의 시작점에서 반 파장 간격을 갖도록 배치하였다. 그림 4(a) 및 그림 4(b)는 패치 안테나와 전송선로 사이의 전기 분포를 나타내며, 포트 1과 2 사이에 신호가 전달되는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(c)는 패치 방사체와 전송선로 간 전달특성을 나타낸다. 동작 주파수 내에서 커넥터 반사손실은 -10 dB 이하 유지되는 것을 확인할 수 있으며, 전달 신호의 크기는 약 -20 dB의 값을 갖는다. 본 논문에서 제안한 보정선로는 그림 4의 결과를 통해 전송선로와 부하의 매칭으로 신호가 흐르고, 프로브는 개방형 스



(a) yz-평면상의 전기 분포 시뮬레이션 결과
(a) Simulation result of the electric field on the yz-plane



(b) xy-평면상의 전기 분포 시뮬레이션 결과
(b) Simulation result of the electric field on the xy-plane



(c) 반사손실 및 전달특성
(c) Simulated return loss and transfer function

그림 4. 개방형 프로브의 전기 분포 및 특성
Fig. 4. The electric field and characteristics of the open ended probe.

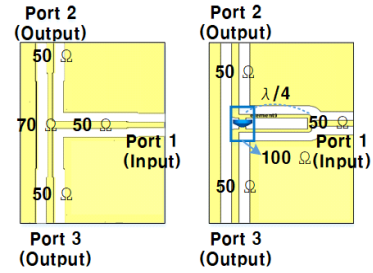
터브로 동작하여 신호를 전달하는 것을 확인할 수 있다.

2.3 전력분배기 설계

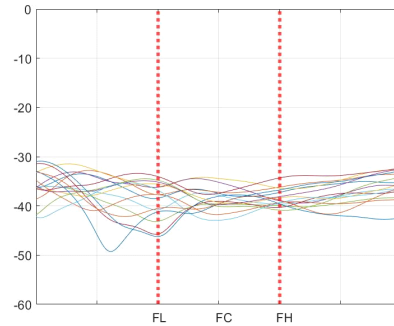
그림 5는 3 포트 전력분배기 비교 형상 및 16-way 보정선로 시뮬레이션 결과이다. 그림 5(a)는 T-junction, 윌킨슨의 전력분배기 형상이며, 이를 이용하여 전력분배기를 설계 후 결과를 비교 분석하였다.

그림 5(b) 및 그림 5(c)는 다층 기판의 후면에 위치한 16-way 전력분배기에 개방형 프로브를 연결했을 때 전달 특성 결과이다. 그림 5(b)는 T-junction 전력 분배기를 이용했을 때 16개 포트의 전달특성 결과이고, 그림 5(c)는 윌킨슨 전력분배기로 연결했을 때, 보정선로 전달특성 결과를 나타낸다. 일반적으로 T-junction 전력분배기는 구조가 간단하여 설계가 쉽고 제작 비용이 저렴하나 모든 포트의 매칭이 어렵고, 격리도가 낮다는 단점이 있다. 또한, 마지막 단의 인접한 출력포트 간의 간격이 가까워질 때, T-junction의 형태가 변형되며 T-junction의 반사 특성이 점점 열화된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 계단형 임피던스 변환부를 삽입하는 방안이 있지만, 설계 복잡도가 올라가며 제한된 공간에서는 구현하기가 어렵다^{[6],[7]}. 이러한 단점으로 인해 레벨 편차가 크고 불안정한 결과를 얻게 되는 것을 그림 5(b)를 통해 확인할 수 있다. 반면, 윌킨슨 전력분배기는 그림 5(c)와 같이 동작 주파수 내 출력 포트 간 전달특성 편차가 작고, 균일하게 전력이 분배되는 것을 확인할 수 있다.

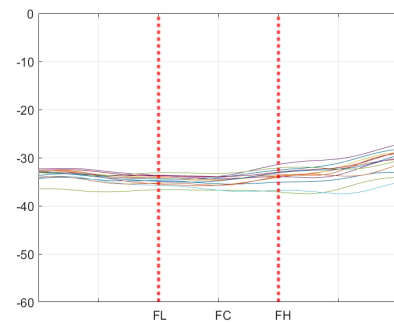
그림 6은 N-way 보정선로 블록도 및 실제 하우징의 공간을 고려하여 설계한 시뮬레이션 결과를 보여준다. N-way 보정선로는 전력분배기, 개방형 프로브로 구성되어 있다. 전력분배기는 다층 기판 전면에 N개의 16-way 윌킨슨 전력분배기, 후면에 N-way 윌킨슨 전력분배기로 이루어져 있다. 또한, 개방형 프로브는 전력분배기의 후면에 연결되어 N-way 보정선로를 구성한다. N-way 보정선로의 전달특성은 그림 5(c)의 결과와 다르게 동작 주파수 내에서 전달특성 편차가 크며, 균일하게 분배되지 않는 것을 확인할 수 있다. 또한, 임의의 출력포트 특정 주파수에서는 널이 발생하며 신호를 감쇄시키는 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 내부 신호원에서 생성된 신호가 개방형 프로브와 패치방사체 사이에 신호가



(a) 3 포트 전력분배기(T-junction vs. 윌킨슨)
(a) 3 port power divider (T-junction vs. Wilkinson)



(b) 16-way 보정선로 전달특성 시뮬레이션 결과(T-junction)
(b) Transfer function simulation result of the 16-way calibration line (with T-junction)

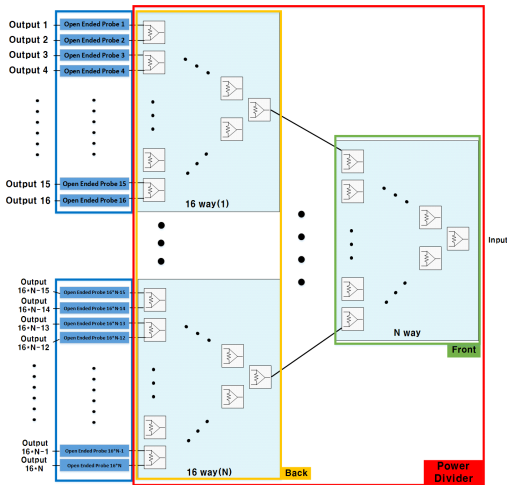


(c) 16-way 보정선로 전달특성 시뮬레이션 결과(윌킨슨)
(c) Transfer function simulation result of the 16-way calibration line (with Wilkinson)

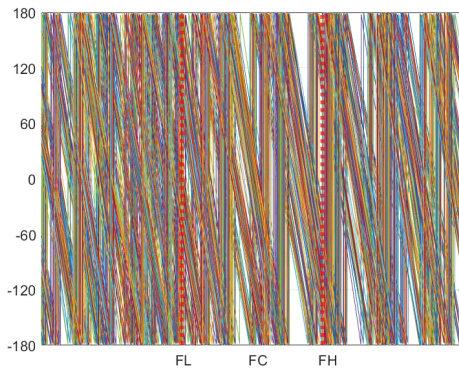
그림 5. 16-way 보정선로 전달특성 시뮬레이션 결과
(T-junction vs. 윌킨슨)

Fig. 5. Transfer function simulation results of the 16-way calibration line (T-junction vs. Wilkinson).

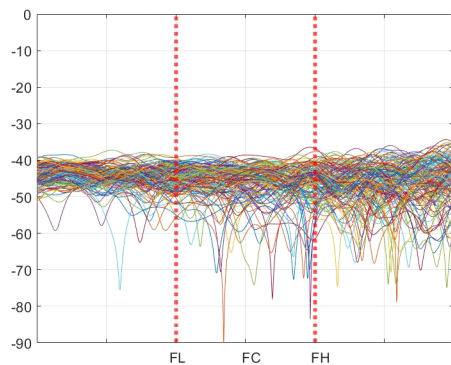
커플링되어 나타난다. 커플링 신호를 통해 패치방사체가 방사되어 인접 소자 간 커플링에 의한 상호결합 성분에 의해 발생한다. 전체 소자에서 출력되는 신호의 위상이



(a) N-way 보정선로 블록도
(a) Block diagram of the N-way calibration line



(b) 위상
(b) Phase

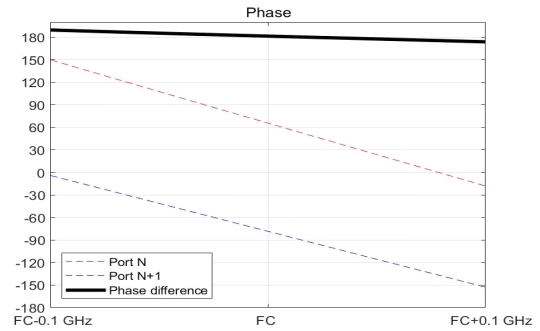


(c) 전달특성
(c) Transfer function

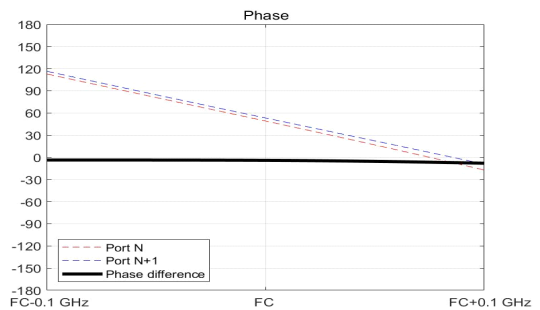
그림 6. N-way 보정선로 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation results of the N-way calibration line.

군집되어 있지 않을 때, 180° 위상 지연 신호와 본래의 신호가 합쳐져서 위상 상쇄 효과가 발생하며, 임의의 신호가 전달되지 않는다^{[8],[9]}.

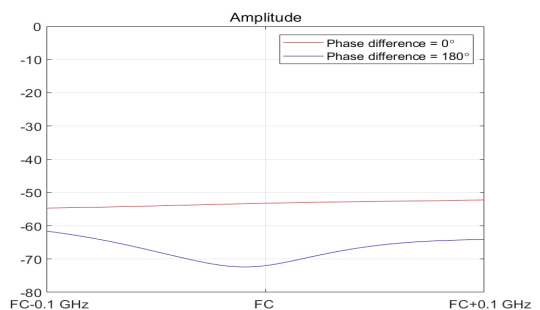
그림 7은 널리 생성된 인접한 포트의 위상차에 따른 전



(a) 포트 간 위상차(180°)
(a) The phase difference between port (180°)



(b) 포트 간 위상차(0°)
(b) The phase difference between port (0°)



(c) 전달특성
(c) Transfer characteristic

그림 7. 위상차에 따른 위상 및 전달특성
Fig. 7. The phase and transfer characteristic for the phase difference.

달특성 및 위상 결과를 보여준다. 인접한 포트의 위상차가 그림 7(a)와 같이 180° 면 위상 상쇄로 인해 널이 발생하여 신호가 전달되지 않는 것을 그림 7(c)에서 확인할 수 있다. 그림 8(b)와 같이 인접한 포트의 위상이 군집했을 때, 그림 7(c)처럼 신호의 편차가 작아지며 중심주파수에서 약 20 dB 이상 증가하여 전달되는 것을 확인할 수 있다. 그림 7(b)처럼 위상차를 줄이기 위해 그림 8과 같이 전력분배기와 개방형 프로브 사이에 연결된 전송선로의 길이(L)를 변경하여 각 출력포트의 위상차가 180° 가 나지 않고 군집할 수 있도록 제한된 공간 내에서 변경하여 수정하였다.

그림 9는 제안된 N-way 보정선로의 시뮬레이션 결과이다. 그림 8은 개방형 프로브와 전력분배기에 연결되어 있는 전송선로의 길이를 변경하여 모든 포트의 위상이 180° 차이 나지 않도록 설계하였다. 그림 8(b)를 통해 위상이 군집되어 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 특정 주파수에서 신호가 감쇄되는 현상 없이 출력포트의 동작 주파수 내에서 전력이 균일하게 전달되는 것을 확인할 수 있다.

III. N-Way 보정선로 제작 및 시험

그림 10은 제안된 N-way 보정선로의 제작 사진이다.

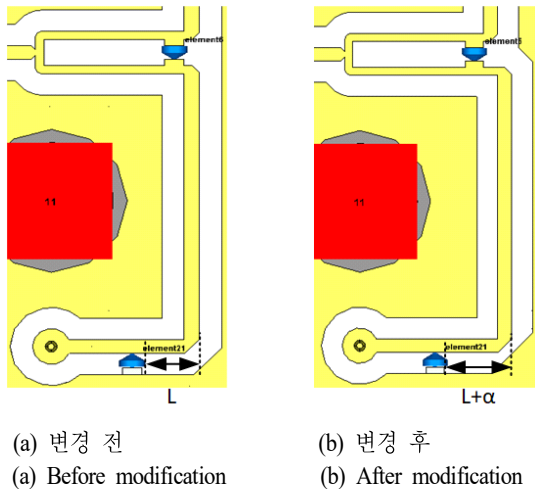
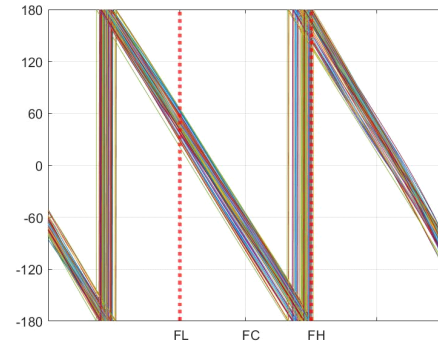
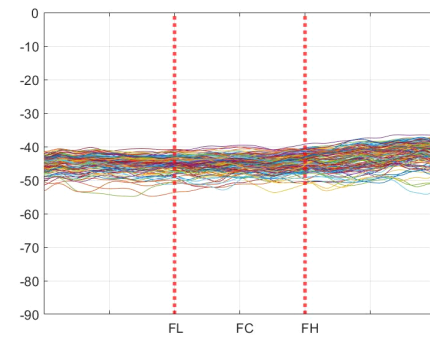


그림 8. 마이크로스트립 길이 변경에 따른 보정선로 형상
Fig. 8. The shape of the calibration line for changed microstrip line.



(a) 위상
(a) Phase



(b) 전달특성
(b) Transfer characteristic

그림 9. 제안된 N-way 보정선로 시뮬레이션 결과

Fig. 9. Simulation results of the proposed N-way calibration line.

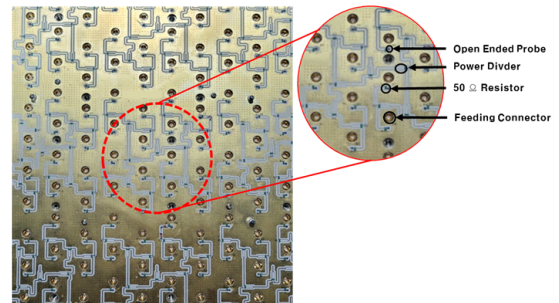


그림 10. 제작된 N-way 보정선로 사진

Fig. 10. Photographs of the fabricated N-way calibration line.

제작된 보정선로의 개방형 프로브와 전력분배기는 납땜 공정을 통해 접합하였고, 저항소자는 표면실장기술(surface mounting technology: SMT) 공정을 거쳐 인쇄회로기판에

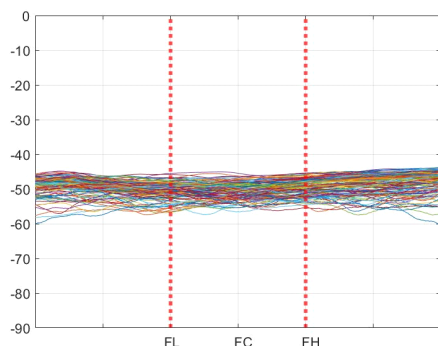


그림 11. 제안된 N-way 보정선로 전달특성 측정 결과
Fig. 11. Transfer function measurement results of the proposed N-way calibration line.

장착하였다.

그림 11은 제안된 N-way 보정선로의 측정 결과이다. 제작된 보정선로는 그림 9의 시뮬레이션 결과와 유사하게 전력이 분배되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 능동 전자주사식 위상배열 레이더용 보정선로를 설계 후 검증하였다. 제안된 보정선로는 송수신 경로상에 있는 능동, 수동 소자들의 크기 및 위상을 측정하여 보상할 수 있는 경로를 제공한다. 레이더 운용 시 정격전력이 높은 저항소자를 사용하여 안정적으로 운용되도록 설계하였다. 또한, 개방형 프로브와 전력분배기를 통해 송수신 신호가 보정조립체에 전달되도록 설계하였다. 본 논문에서는 출력 포트의 위상을 맞추어 특정 주파수에서 신호가 전달되지 않는 현상을 해결하였으며, 제작을 통해 검증하였다. 제안된 보정선로를 통해 소자들의 신호를 측정 후 오차를 보상하여 능동 전자주사식 위상배열 레이더의 안정적인 운용을 이끌고, 레이더의 탐지 및 추적 성능이 향상될 것으로 사료된다.

References

[1] I. S. Lee, H. S. Kim, H. W. Lee, and J. H. Chung, "Average internal loop-back antenna calibration method for array antenna systems," *The Journal of Korean*

Institute of Communications and Information Science, vol. 34, no. 2, pp. 139-146, Dec. 2008.

- [2] S. Y. Choi, B. H. Lee, and Y. J. Choi, "Transmit/receive module amplitude/phase correction algorithm design for improving phased array antenna beam performance," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, vol. 20, no. 5, pp. 71-79, May 2022.
- [3] M. Scott, "Sampson MFR active phased array antenna," in *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, Boston, MA, Oct. 2003, pp. 119-123.
- [4] M. Sarcione, J. Mulcahey, D. Schmidt, K. Chang, M. Russell, and R. Enzmann, et al., "The design, development and testing of the THAAD(theater high altitude area defense) solid state phased array(formerly ground based radar)," in *Proceedings of International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, Boston, MA, Oct. 1996, pp. 260-265.
- [5] I. Seker, "Calibration methods for phased array radars," in *SPIE Defense, Security, and Sensing*, Baltimore, MD, May 2013.
- [6] J. Uher, J. Bornemann, and U. Rosenberg, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems: Theory and CAD*, London, Artech House, 1993.
- [7] J. Dittloff, J. Bornemann, and F. Arndt, "Computer aided design of optimum E- or H-plane N-furcated waveguide power dividers," in *1987 17th European Microwave Conference*, Rome, Sep. 1987, pp. 181-186.
- [8] C. Ji, C. Huang, X. Zhang, J. Yang, J. Song, and X. Luo, "Broadband low-scattering metasurface using a combination of phase cancellation and absorption mechanisms," *Optics Express*, vol. 27, no. 16, pp. 23368-23377, Jul. 2019.
- [9] W. Chen, C. A. Balanis, and C. R. Birtcher, "Checkerboard EBG surfaces for wideband radar cross section reduction," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 63, no. 6, pp. 2636-2645, Jun. 2015.

정 구 호 [한화시스템/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0003-3220-469X>



2010년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 (공학사)

2016년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)

2018년 1월~현재: 한화시스템 HW팀 (레이다) 선임연구원

[주 관심분야] AESA Antenna, Array Antenna,

Radar, RF 등

김 태 완 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0009-0004-7111-5769>



2014년 2월: 건국대학교 전자공학부 (공학사)

2015년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

2019년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)

2015년 3월~현재: 국방과학연구소 선임

연구원

[주 관심분야] 안테나 이론 및 설계, 위상 배열 레이더 시스템 설계 및 성능 분석 등

정 윤 권 [한화시스템/전문연구원]

<https://orcid.org/0009-0005-9900-4590>



2008년 8월: 경희대학교 전자통신공학과 (공학사)

2011년 2월: 경희대학교 전자전파공학과 (공학석사)

2016년 2월: 경희대학교 전자전파공학과 (공학박사)

2016년 9월~현재: 한화시스템 HW팀 (레이다) 전문연구원

[주 관심분야] AESA Antenna, Array, Transmission Line, Radar 등

최 준 호 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9244-6637>



2001년 2월: 경상국립대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 2월: 광주과학기술원 기전공학과 (공학석사)

2015년 2월: 광주과학기술원 기전공학과 (공학박사)

2005년 2월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] RF 송수신모듈 설계, 위상 배열 레이더 시스템 설계 및 성능분석 등