

모노펄스 정확도를 위한 능동배열위상레이다의 근접전계 수신시험 표본 주파수 채널 선택에 대한 연구

A Study on Sample Frequency Channel Selection of Near-Field Receiving Measurement for the Active Phased Array Antenna for Mono-Pulse Accuracy

권용욱 · 윤재복* · 유우성 · 장헌순 · 김도열

Yong-Wook Kwon · Jae-Bok Yoon* · Woo-Sung Yoo · Heon-Soon Jang · Do-Yeol Kim

요 약

능동위상배열안테나는 정밀한 빔의 형성과 성능 확인을 위해 근접전계 수신시험이 요구된다. 그에 따른 근접전계 수신시험을 통해 모노펄스 기능을 활용하기 위한 보상값을 획득하게 된다. 하지만, 많은 주파수 채널을 사용하는 레이더의 경우 많은 시간과 노력이 요구된다. 효율적인 레이더 개발과 생산을 위해서는 선택적으로 주파수 채널을 선정하고, 그 측정값을 기준으로 측정하지 않은 주파수 채널의 보상값을 보간법을 통해 예측하여 획득할 수 있다. 이와 같은 방법으로 보상값의 위상각 정보를 획득할 경우, 합, 차 채널간의 위상변화량을 확인할 필요성이 있다. 위상의 측정은 랩핑으로 인하여 비선형 현상이 나타날 수 있기 때문이다. 일반적인 레이더의 경우, 합, 차 채널의 전기적 길이가 유사하게 설계되지만, 특정 목적으로 전기적 길이 차이가 발생할 경우, 랩핑 현상으로 인해 보간법의 오류를 발생할 수 있다. 본 논문에서는 전기적 길이 차이에 의해 발생하는 보간법의 오류를 확인하고, 하나의 주파수 선택 방안을 제시한다.

Abstract

It is essential for the near-field receiving measurement to make beam pattern and check the performance of a active phased array antenna system. Also, we could obtain compensation value for mono-pulse function through the near-field receive test, however, if the radar has many frequency channel, the test would take long time and hard effort. So it is needed that frequency channels are selected for measurement and calculates the values for other frequency channels to improve efficiency in development and manufacture. In this case, the phase variations in sum and del channels would be checked. The phase measurement includes un-linear characteristic because of wrapping effect. Generally, radars have similar path length in sum and del channel, but if a radar has a electrical length gap between sum and del channel, errors could occur by phase's wrapping effect. In this paper, the interpolation method's error caused by electrical length gap is checked and the effective method for frequency channel selection to avoid wrapping effect is introduced.

Key words: Frequency Channel Selection, Near-Field Measurement, Mono-Pulse, Active Phased Array, Interpolation

I. 서 론

위상배열안테나를 사용하는 레이더는 측정 정확도를 향상하기 위한 목적으로 모노펄스 기능을 활용한다. 모노

LIGNEX Co., Ltd

*국방기술품질원(Defense Agency for Technology and Quality)

· Manuscript received February 9, 2017 ; Revised March 20, 2017 ; Accepted April 3, 2017. (ID No. 20170209-009)

· Corresponding Author: Yong-Wook Kwon (e-mail: yongwook.kwon@lignex1.com)

펄스 기능은 배열안테나를 좌/우측 또는 상/하로 2개 또는 그 이상의 그룹으로 수신신호를 합성한다. 그룹으로 합성된 신호는 동위상으로 다시 합성하여 합 채널로 활용하고, 역위상으로 합성하여 차 채널로 활용한다. 차 채널은 합 채널의 최대 이득 방향에서 급격한 널(null)이 발생되며, 널 중심으로 위상이 반전된 형태로 나타난다. 모노펄스 기능은 1개의 물리적인 안테나를 사용하여 서로 다른 2개의 안테나 패턴으로 수신하여 위상 또는 진폭 비교를 통해 각도의 정확도를 향상하는 기법이다^{[1],[2]}.

능동위상배열안테나(active phase array antenna)의 다양한 빔의 성능과 안정성을 측정하고 검증하기 위하여, 무방향성 챔버로 구성된 시험시설을 통한 근접전계 시험(near-field test)을 수행한다. 근접전계 시험은 크게 송신과 수신시험으로 분류되며, 수신 시험의 경우 안테나 수신 패턴의 성능 유지를 위한 보정 초기값과 모노펄스 정확도 향상을 위한 경로 보상값을 추출한다^{[3]~[8]}.

모노펄스 정확도 향상을 위한 경로 보상값은 합 채널과 차 채널의 물리적 경로 차이에 의한 위상 차이를 의미한다. 일반적으로 안테나에서 합/차 채널이 구분되면, 각각의 수신경로를 통해 주파수 하향 변환하고, 이를 디지털 변환하여 신호처리가 수행된다. 이와 같이 합/차 채널이 다른 수신경로를 가지게 되면, 경로의 물리적인 길이 차이에 의해 위상의 차이가 발생된다. 따라서 안테나에서 생성된 이상적인 합/차 채널의 패턴을 활용하기 위해서는 물리적 길이 차이에 의한 위상 차를 신호처리 시 보상하여야 한다. 이 위상 차이값을 구하기 위해서는 근접전계 수신시험을 통한 개구면 전체에 대한 측정과 원전계(far-field) 수신 패턴 변환을 통해 수집하여야 한다. 많은 주파수 채널을 사용하는 레이더의 경우, 모든 주파수 채널에 대한 시험 및 분석에 많은 시간과 노력이 소요된다. 제한된 자원에서 효율적인 레이더의 개발과 생산기간을 고려하면 특정 표본 측정 주파수를 선택하고, 보간법(interpolation)을 이용하여 모든 주파수 채널에 대한 데이터를 산출할 수 있다.

일반적으로 위상은 주파수에 따라 선형적으로 변화하므로 위상에 대하여 보간법을 적용할 경우, 선형보간법(linear interpolation)을 활용한다. 선형보간법은 위상 변화의 선형성을 전제로 하고 있기 때문에 신중한 표본 측정

주파수 선택이 요구된다.

본 논문에서는 모노펄스 기능을 활용하는 레이더에 대한 근접전계 수신시험 시 주파수 채널의 선택에 대한 최적화 방안과 이에 따른 영향성을 연구하였다. II장에서는 경로 보상의 개념과 잘못된 표본 주파수 선택에 따른 문제 발생에 대하여 설명하고, 효율적인 주파수 선택 방법을 제안하였으며, III장에서는 제안된 시험 주파수 선택 방법을 적용하여 그 효과를 검증하였으며, 마지막 장에서는 결론으로 마무리하였다.

II. 본 론

2-1 전기적 경로(Electrical Length) 차이

그림 1은 모노펄스 기능을 활용하는 능동위상배열레이다에서 발생할 수 있는 전기적인 길이 차이에 대한 개념도를 나타낸다.

합 채널과 차 채널은 물리적으로 안테나에서 분리되며, 각각의 수신경로로 하향 변환하여 최종 디지털 수신기로 전달된다. 이와 같은 수신경로의 차이는 전기적 길이의 차이를 발생한다. 정확한 모노펄스 기능을 수행하기 위해서 근접전계 수신시험을 통해 전기적 길이 차이를 보상하기 위한 값을 추출하여야 하며, 신호처리 시 위상각을 보상하여야 한다.

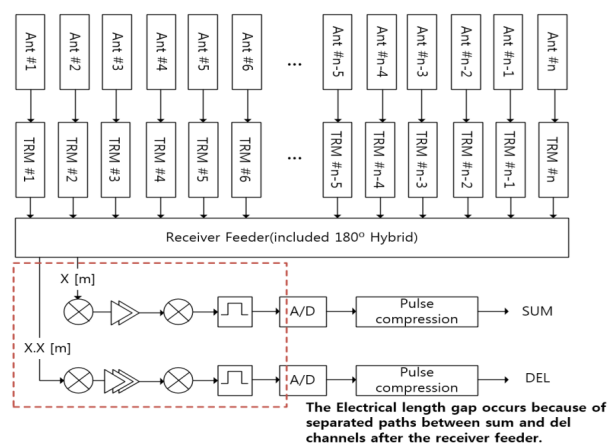


그림 1. 모노펄스 경로상의 전기적 길이 차이
Fig. 1. The electrical length gap between receivers path for a mono-pulse function.

2-2 표본 주파수 선택에 따른 문제점

근접전계 수신시험의 최소 주파수 선택에 대한 정의는 합/차 채널의 전기적 길이 차이가 클수록 중요성이 높아진다. 일반적인 경우, 합/차 채널의 경로가 유사하게 설계되나, 케이블의 길이 공차, 수동소자의 제작오차 및 능동소자의 위상관련 사양오차에 의해 발생되게 된다. 하지만 레이더의 합/차 채널의 전기적 길이의 차이가 크게 설계되는 경우, 최소 주파수 선택과 보간법에 의한 데이터 획득은 치명적인 오류를 발생시키기도 한다.

표본 주파수 선택에 따른 문제점 분석과 제한한 방법의 검증을 위하여 S 밴드 대역의 능동 위상배열 레이더를 활용하였으며, 레이더의 제원은 표 1과 같다.

그림 2는 실험에 활용한 레이더의 수신경로 블록도를 나타내며, 수신모드에 따라 합 채널의 수신경로가 2개로 구분된다. 수신모드 #1은 합 채널과 차 채널의 물리적 길이가 유사하게 설계되지만, 수신모드 #2는 합 채널 경로의 추가적인 능동소자 등으로 인하여 차 채널과 물리적인 길이의 차이가 발생한다.

그림 3은 레이더의 수신모드에 따른 합/차 채널의 안테나 방위각 패턴을 비교한 결과이다. 수신모드 #1의 경우, 합/차 채널의 물리적 길이와 경로상의 증폭도가 유사하여 3 dB 이내의 이득 차이가 발생한다. 하지만 수신모드 #2의 경우 합, 차 채널의 이득 차이가 크게 나타나며, 이는 물리적 길이의 차이에 능동소자에 의한 신호 증폭의 차이가 발생하기 때문이다.

표 1. 레이더 제원

Table 1. Radar specification.

구분	파라미터
운용 주파수	S-밴드
송신출력	○○ kW 이상
펄스 형태	선형 위상변조(LFM)
탐지거리	○○○ km 이상
안테나 형태	능동 위상배열 안테나
모노펄스	2축 모노펄스 수행(고각/방위각)
수신모드	2개 모드
주파수 채널	○○○개 이상, 1.25 MHz 단위

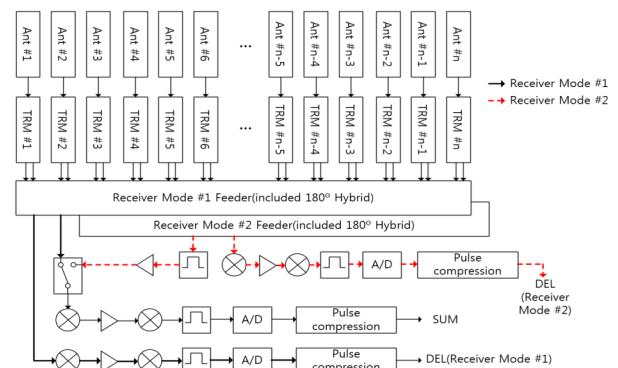
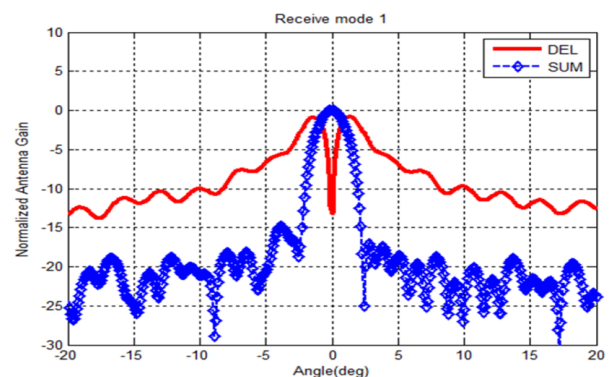


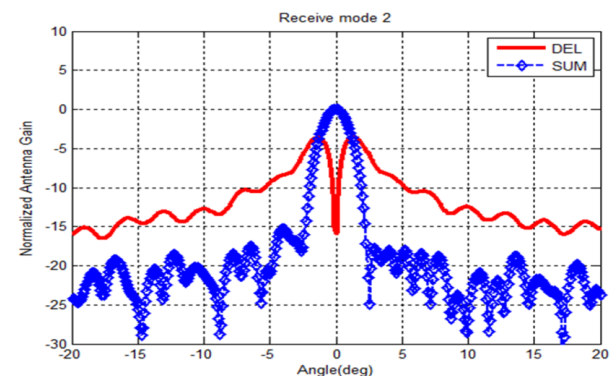
그림 2. 레이더의 수신모드 블록도

Fig. 2. The block diagram of the radar's receiver modes.



(a) 안테나 수신 패턴(수신모드 #1)

(a) Antenna receive pattern(receiver mode #1)



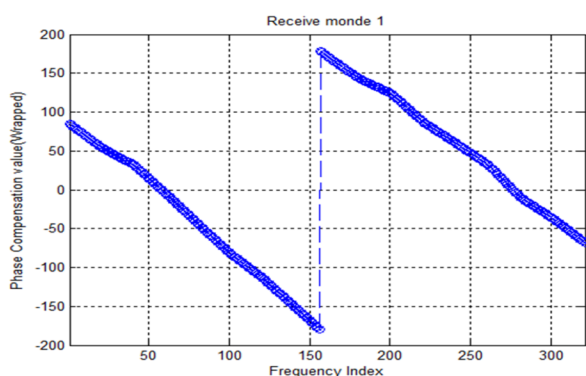
(b) 안테나 수신 패턴(수신모드 #2)

(b) Antenna receive pattern(receiver mode #2)

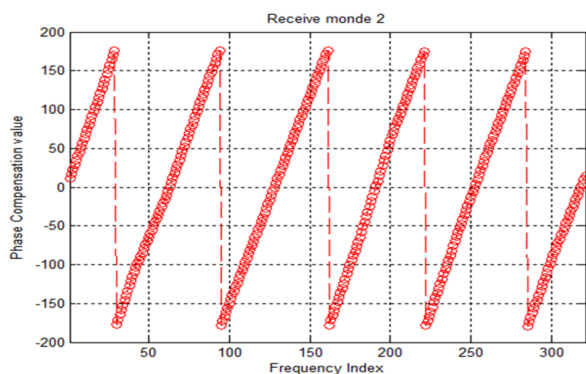
그림 3. 수신모드에 따른 안테나 방위각 패턴 비교

Fig. 3. The comparison of radar's azimuth beam patterns between two receiver modes.

그림 4는 수신모드 #1과 #2에 대하여 20개의 표본 주파수 채널 단위로 근접전계 수신시험을 수행한 모노펄스 보상값의 위상각을 보여준다. 표본 주파수 사이의 채널은 선형보간법을 통해 보상값을 산출하였다. 수신모드#1은 1번 주파수 채널과 321번 주파수 채널의 모노펄스 보상값이 약 490° 차이가 발생하나, 수신모드 #2는 1번 주파수 채널과 321번 주파수 채널의 위상 보상값이 약 $1,800^\circ$ 차이가 발생한다. 즉, 수신모드#2의 펄스 보상값의 위상이 주파수 채널에 따라 급격한 변화를 나타내는 것을 확인할 수 있으며, 이것은 합/차 채널의 수신경로의 전기적



(a) 모노펄스 보상값의 위상각 정보(수신모드 #1)
(a) The phase angle information of mono-pulse compensation value (receiver mode #1)



(b) 모노펄스 보상값의 위상각 정보(수신모드 #2)
(b) The phase angle information of mono-pulse compensation value (receiver mode #2)

그림 4 수신모드별 모노펄스 보상값의 위상각 비교
Fig. 4. The comparison of radar's mono-pulse compensation phase angle value between two receiver modes.

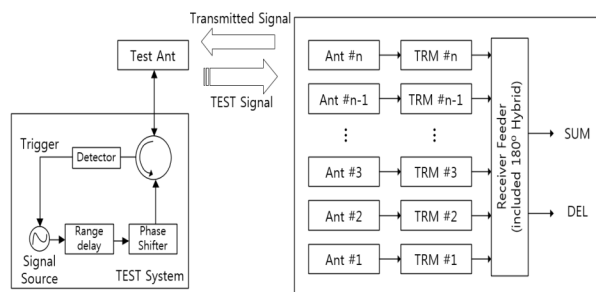


그림 5. 시험 구성도
Fig. 5. The block diagram for a detection test.

길이 차이에 의해 발생된다.

선형보간법에 의해 계산된 보상값의 위상각 정보의 오류를 확인하기 위하여 그림 5와 같이 표적 신호를 모의하는 시험장치를 활용하였다. 시험장치는 레이다 송신 신호에 동기화하여 거리를 지연하고, 도플러 주파수를 발생하며, 2 m^2 표적의 반사전력에 해당하는 출력을 발생시키는 기능을 보유한다. 시험장치는 레이다 요구사항 이상의 위치에서 접근하는 표적을 모의하여 제공한다^{[9]~[11]}. 레이다는 수신모드 #2로 동작하며, 근접전계 수신시험에서 측정되는 표본 주파수 채널과 선형보간법을 통해 계산된 주파수 채널을 운용하여 탐지된 방위각 정보를 분석하였다.

그림 6은 표적 신호를 모의하는 시험장치를 이용하여 수신모드 #2의 표적 탐지 시험 결과이다. 근접전계 수신시험에서 측정되는 표본 주파수 채널은 표적 신호의 산

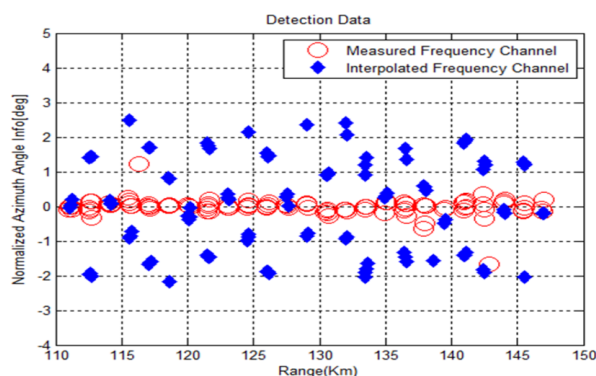


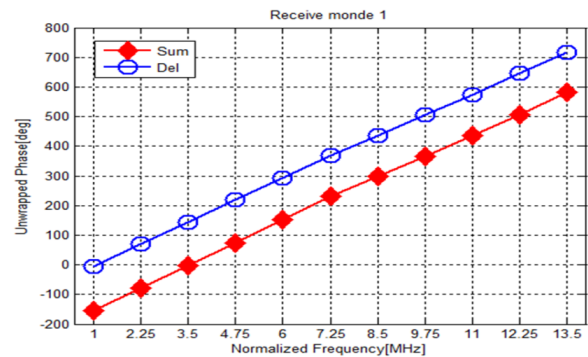
그림 6. 수신모드 #2의 모의 표적신호 방위각 탐지 결과
Fig. 6. A azimuth detection result in the receiver mode #2.

포가 0.5° 범위 내에 집중되어 탐지되었으나, 선형보간법을 통해 계산된 주파수 채널에서는 모노펄스 기능이 정상적으로 수행되지 않고, 표적 신호의 방위각이 5° 범위 수준에서 불규칙하게 탐지되었다. 이와 같은 결과를 통해 선형보간법에 의한 모노펄스 보정값의 오류를 확인할 수 있다.

2.3 전기적 길이 차이에 대한 보간법의 영향성

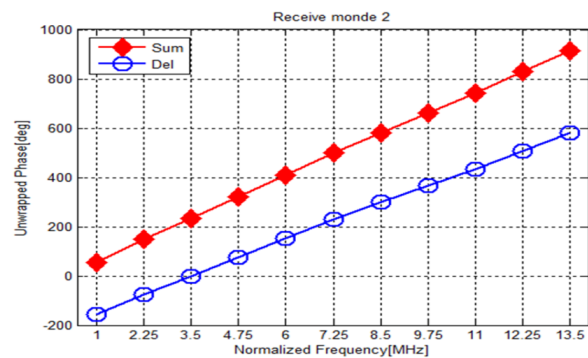
20개의 표본 주파수 채널을 적용한 근접전계 수신시험과 선형 보간법을 통해 계산된 보상값의 오류를 확인하기 위해 그림 5의 시험 구성도를 활용하여 합/차 채널의 위상의 변화를 확인하였다. 20개의 표본 주파수 채널은 수신모드 #1에서 선형 보간법을 활용하여 유효성 있는 데이터를 획득한 단위이다. 합/차 채널의 전기적 길이 변화를 확인하기 위하여 연속된 10개의 주파수 채널을 임의의 선정하였다. 시험장비는 특정 거리를 지연하여 레이더가 운용하는 동일한 펄스폭의 연속파(continuous wave)를 발생하였다. 수신모드에 따른 합/차 채널의 위상 변화는 그림 7과 같다. 수신모드 #1은 합/차 수신경로의 위상 변화가 유사하게 나타나는 반면, 수신모드 #2에서는 그 차이가 현저하게 나타났다. 레이더의 주파수 채널 간격은 1.25 MHz이며, 주파수 채널이 10개 변화할 경우, 수신모드 #1은 약 10° 가 변화하였고, 수신모드 #2는 약 120° 증가하였다.

모노펄스 보상값의 오류를 확인하기 위하여, 수신모드 #2에 대하여 동일한 시험 구성도를 활용하여 방위각 방향의 모노펄스 기울기를 측정하였다. 레이더는 안테나를 회전하여 운용하고, 시험장비는 레이더의 송신신호에 동기화하여 특정 거리에 펄스 형태의 연속파를 발생한다. 이와 같은 시험 구성도를 통해 측정한 수신모드 #2의 모노펄스 기울기는 그림 8과 같다. 측정 결과에 따르면 근접전계 수신시험에서 측정한 표본 주파수 채널은 모노펄스 기울기가 (+) 방향을 나타내고, 선형보간법을 통해 계산된 주파수 채널에서는 (-) 방향으로 나타난다. 이는 표본 주파수 선택이 잘못되면 위상 반전된 보상값을 추출하게 되고, 이를 보간법에 의해 계산된 주파수 채널의 모노펄스 적용하면 오류를 야기할 수 있음을 확인하였다.



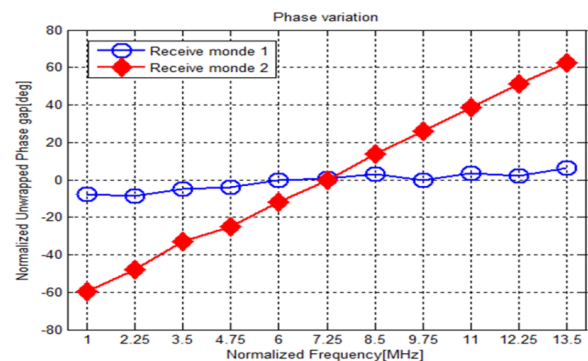
(a) 합/차 채널의 위상각 정보(수신모드 #1)

(a) The phase angle information in sum and del channel(receiver mode #1)



(b) 합/차 채널의 위상각 정보(수신모드 #2)

(b) The phase angle information in sum and del channel(receiver mode #2)



(c) 수신모드별 합/차 채널 위상 차이 비교

(c) The Phase gap comparison between sum and del channel per receiver modes

그림 7. 수신모드에 따른 합/차 채널의 위상 변화 비교

Fig. 7. The comparison of sum and del channel's phase variation for each receiver mode.

2.4 표본 주파수 선택 방법의 제안

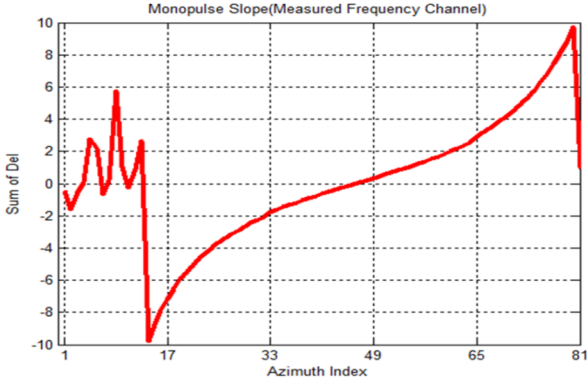
최우선 고려되어야 할 사항은 2개의 서로 다른 경로에서 전기적 길이 차이가 얼마나 발생하는가의 여부이다. 전기적 길이는 레이다가 사용하는 주파수와 물리적인 길이와 경로를 구성하는 소자의 분포에 영향을 받는 요소이다.

$$L_e = \lambda \times n \quad (1)$$

where : L_e is a electrical length of a receive path

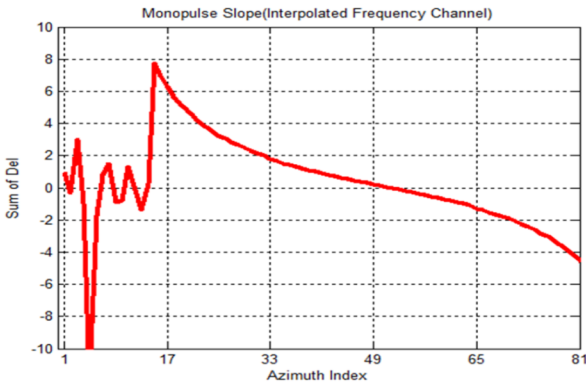
λ is a wavelength

n is a integer(1, 2, 3, ...)



(a) 근접전계 측정 주파수 채널

(a) The frequency channel using a near-field measurement



(b) 선형보간법을 통한 주파수 채널

(b) The frequency channel using a linear interpolation

그림 8. 모노펄스 기울기 비교(수신모드 #2)

Fig. 8. The comparison of mono-pulse slopes(receiver mode #2).

식 (1)의 L_e 는 수신 경로의 전기적인 길이를 의미하며, 전기적인 길이는 주파수의 상수로 표현할 수 있다. 모노펄스 기능을 활용하기 위해서는 전기적인 경로의 차이에 따른 위상 차이가 보상되어야 한다. 전기적인 길이 차이에 대한 보상 개념은 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi_{Align} = (n_S - n_D) \times 2\pi = \left(\frac{L_e^S - L_e^D}{\lambda} \right) \times 2\pi \quad (2)$$

where : Φ_{Align} is a compensation phase value

n_S is a multiple constant for a SUM path

n_D is a multiple constant for a DEL path

L_e^S is a electrical length of a SUM path

L_e^D is a electrical length of a DEL path

λ is a wavelength

위상 변화에 따른 보상값은 레이다가 운용하는 주파수에 따라 변화한다. 그러므로 많은 주파수 채널을 사용하는 레이다의 경우, 주파수 채널에 따라 위상 변화의 보상값 역시 변화하게 된다. 주파수 채널에 따른 위상 변화의 보상 차이는 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$\Phi_{Align}^{F1} - \Phi_{Align}^{F2} = \left(\frac{L_e^{SD}}{\lambda_{f1}} - \frac{L_e^{SD}}{\lambda_{f2}} \right) \times 2\pi \quad (3)$$

where : Φ_{Align}^{F1} is a compensation phase value for Frequency Channel 1

Φ_{Align}^{F2} is a compensation phase value for Frequency Channel 2

L_e^{SD} is mechanical length's Gap between SUM path and DEL path

L_e^D is mechanical length of a DEL path

$\lambda_{f1}, \lambda_{f2}$ are wavelengths

위상에 대하여 선형보간법을 활용하기 위해서는 보상값 변화량의 절대값이 180° 를 넘지 않는 최소 주파수 간격을 확인하여야 한다. 일반적으로 위상에 대한 측정은 위상 랩핑(phase wrapping)에 의해 비선형성이 나타나기 때문이다. 또한, 측정의 안정성과 오차를 고려하여 본 논문에서는 근접전계 수신시험의 최소 주파수 채널 선택방법에 대해 식 (4)와 같이 제안한다.

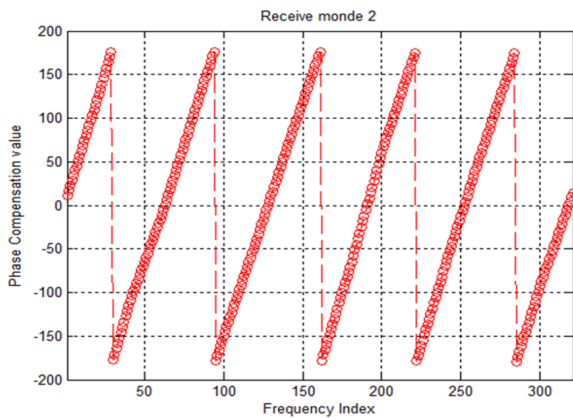
$$|Unwrapped(\Phi_{Align}^{Fn} - \Phi_{Align}^{F1})| < 160^\circ \quad (4)$$

where : Φ_{Align}^{F1} is a compensation phase value for Frequency Channel 1

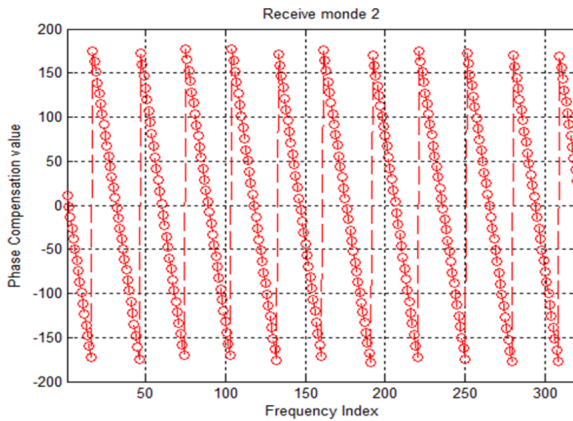
Φ_{Align}^{F2} is a compensation phase value for Frequency Channel 2.

III. 제안한 방법의 적용에 대한 검증

수신 경로에서 발생하는 위상의 변화는 임의의 선정한 연속된 주파수 채널의 위상 변화를 통해 확인할 수 있다.



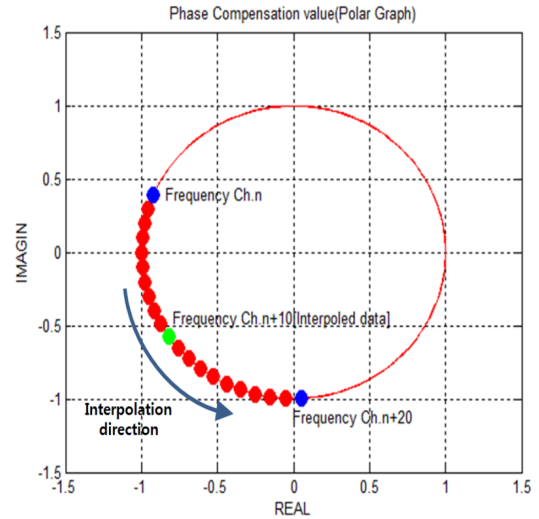
(a) 20개 단위 표본 주파수 측정
(a) The measurement in case of 20 sample channels



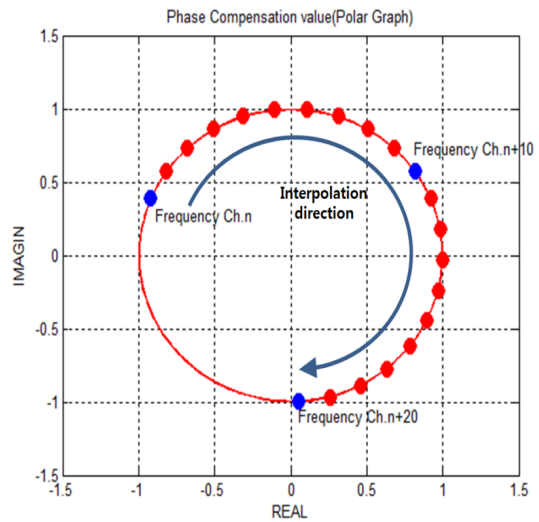
(b) 10개 단위 표본 주파수 측정
(b) The measurement in case of 10 sample channels

그림 9. 표준 주파수에 따른 모노펄스 위상 보상값 비교
Fig. 9. The comparison of mono-pulse phase compensation value according to the number of sample channels.

이와 같은 방법은 전체 사용 주파수 채널에 대한 근접전계 수신시험의 시간 대비 아주 짧은 시간이 소요된다. 실험을 위해 선정한 레이더의 경우, 시험을 통해 합/차 채널의 위상 차이의 변화가 주파수 채널 1개당 약 12° 임을 확인하였다. 20개의 표본 주파수 채널 단위로 근접전계

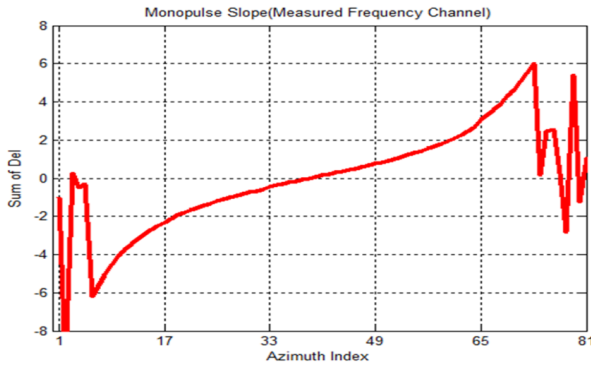


(a) 20개 단위 표본 주파수 측정
(a) The measurement in case of 20 sample channels

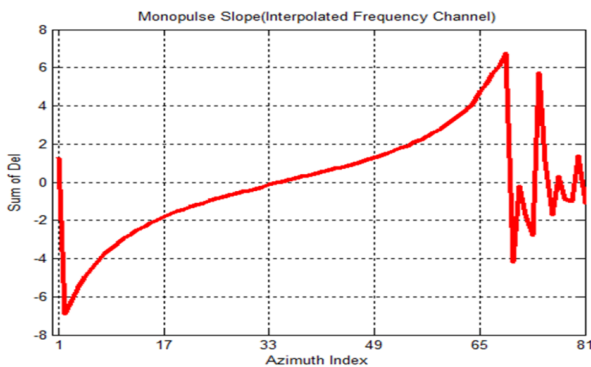


(b) 10개 단위 표본 주파수 측정
(b) The measurement in case of 10 sample channels

그림 10. 선형보간법의 위상 계산 방향성 비교
Fig. 10. The comparison of interpolation directions for a phase.



(a) 근접전계 측정 표본 주파수 채널
(a) The sample frequency channel using a near-field measurement



(b) 선형보간법을 통한 주파수 채널
(b) The frequency channel using a linear interpolation

그림 11. 10개 표본 주파수 측정을 통한 보상값 산출 후 모노펄스 기울기 비교(수신모드 #2)

Fig. 11. The comparison of mono-pulse slopes applied 10 sample frequency channel measurement(receiver mode #2).

수신시험을 수행할 경우, 약 240° 의 위상 변화가 나타나므로, 최소 표본 측정 주파수 단위는 12개 이하로 선정되어야 한다. 그림 9는 표본 측정 주파수 선정에 따른 모노펄스 보상값의 위상각을 비교한 결과이다.

최소 표본 주파수 선택에 따라 보간법을 통해 계산되는 모노펄스 위상 보상값의 기울기와 방향이 반전되는 것을 확인할 수 있다. 이는 보간법을 통해 표본 측정 주파수 사이에 존재하는 주파수 채널의 위상 보상값 계산 시 극좌표계상에서 가까운 방향으로 계산되기 때문이다.

그림 10은 표본 측정 주파수 선정에 따라 극좌표계 상에서 보간법이 계산되는 방향을 나타낸다. 두 결과는 동

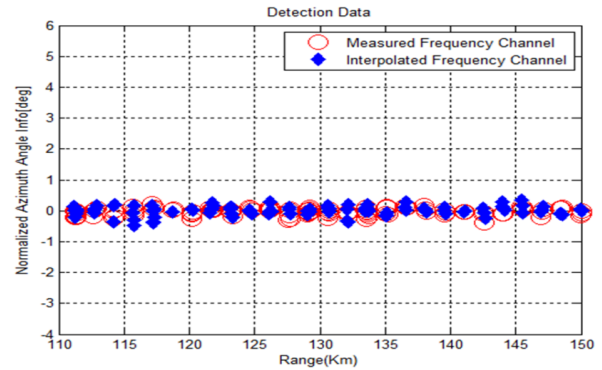


그림 12. 10개 표본 주파수 측정을 통한 보상값 산출 후 모의 표적신호 방위각 탐지 결과(수신모드 #2)
Fig. 12. A azimuth detection result applied 10 sample frequency channel measurement(receiver mode #2).

일한 주파수 채널에 대하여 나타난 것으로 최소 주파수 선택에 따라 보간법에 의해 계산되는 위상 보상값의 영향성을 확인할 수 있다. 제안한 방법에 따라 표본 측정 주파수를 10개 단위의 주파수에 대하여 근접전계 수신시험을 통한 레이더의 모노펄스 보상값을 추출하고, 보간법을 적용하여 그림 11과 같이 정상적인 모노펄스 기울기가 계측됨을 확인하였다.

10개의 표본 주파수 측정을 통한 모노펄스 보상값을 레이더에 적용하고, 그림 5의 시험 구성도를 적용하여 수신모드 #2의 표적 탐지 시험을 수행하였다. 레이더의 주파수 채널은 10개 단위의 표본 주파수 측정으로 인해 추가로 측정된 채널과 선형보간법을 통해 계산된 주파수 채널을 운용하였다. 표적 탐지 결과는 그림 12와 같이 모든 주파수 채널에서 0.5° 이내의 산포를 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 근접전계 수신측정을 통해 수신경로의 위상 보상값을 측정하고 선형보간법에 의해 데이터를 산출할 경우, 표본 주파수의 잘못된 선정이 레이더의 성능에 직접적인 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 이를 해결하기 위한 방법으로 최소 측정 주파수 채널을 선정할 수 있는 조건을 도출하였으며, 그 조건에 따른 최소 측정 주파수 채널을 적용하여 효과를 검증하였다. 제안된 방안을 이용한 표본주파수 선택방법은 유사 레이더 시스템에 확

대 적용이 가능하며, 능동배열안테나를 적용한 레이더의 근접전계 수신시험에 투입되는 자원을 최적화할 수 있고, 정확한 데이터를 취득할 수 있어서 레이더 개발 및 생산에 큰 효과를 줄 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] Merrill Skolnik, *Radar Handbook*, McGraw-Hill Publishing Co, N.Y, 1990.
- [2] Stephen E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*, John Wiley and Sons, New York, 1987.
- [3] E. Grorud, C. Mehl, C. Renard, E. Semmler, and K. Weidmann, "Design and measurement of an active array antenna for an airborne X-Band SAR/MTI radar", *Proceedings of The European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP 2006)*, Nice, France, Nov. 2006.
- [4] W. Haselwander, M. Uhlmann, S. Wustefeld, and M. Bock, "Measurement on an active phased array antenna on a near-field range and an anechoic far-field chamber", *31st European Microwave Conference*, London, Sep. 2001.
- [5] J. J. H. Wang, "An examination of the theory and practices of planar near-field measurement", *IEEE Trans.*

Antennas Propagat., vol. 36, pp. 746-753, Jun. 1988.

- [6] 채희덕, 김한생, 이동국, 정명득, 박종국, "근접 전계시험 시설을 이용한 능동 위상 배열 안테나 송신 빔패턴 측정", *한국전자과학회논문지*, 22(12), pp. 1155-1163, 2011년 12월.
- [7] 유제우, 채희덕, 박종국, 임재환, 김덕환, 진형석, 김한생, "보정 경로를 활용한 디지털 레이더의 능동 위상 배열 근접전계 수신시험", *한국전자과학회논문지*, 27(6), pp. 504-511, 2016년 6월.
- [8] 문영찬, 박찬구, 표철식, 전순익, "능동 위상배열 안테나 채널의 초기위상 천이 보정 방법", *전자공학회논문지-TC* 37(7), pp. 18-23, 2000년 7월.
- [9] 이종필, 이일근, 금현주, "3차원 펄스 레이더 시험용 타이밍 신호 발생기 구현", *한국전기전자학회논문지*, 9(2), pp. 136-142, 2005년 12월.
- [10] 김은희, 김태형, 김선주, "광대역 레이더의 표적 반사 신호 모의 방법에 관한 연구", *한국전자과학회논문지*, 26(2), pp. 179-188, 2015년 2월.
- [11] 노지은, 양진모, 유경주, 구영석, 이상화, 송성찬, 이희영, 최병관, 이민준, "다채널 직접 디지털 합성을 이용한 레이더 반사신호 모의장치", *한국전자과학회논문지*, 22(10), pp. 966-980, 2011년 10월.

권 용 욱



2008년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 12월~현재: LIG넥스원 선임연구원
 [주 관심분야] 레이더, 능동 위상 배열 시스템 등

윤 재 복



2011년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 2013년 2월: 광주과학기술원 의료시스템 공학과(전자공학석사)
 2013년 2월~현재: 국방기술품질원 연구원
 [주 관심분야] 레이더, 신호처리 등

유 우 성



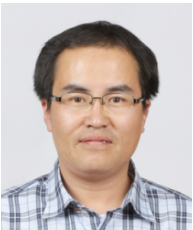
2003년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 10월~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 능동
위상 배열 시스템

김 도 열



2012년 2월: 한국해양대학교 전파공학과
(공학사)
2013년 3월~현재: LIG넥스원 선임연구원
[주 관심분야] 레이더, 초고주파 회로설계
등

장 현 순



1996년 2월: 강원대학교 전자공학과 (공학사)
2013년 9월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 6월~현재: LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 레이더, 능동 위상 배열 시스템 등