

원형 배열 복합 방식을 이용한 초고주파 방향 탐지 기술

A Technology of Microwave Direction Finding with Circular Array Combination Method

임 중 수 · 정 철 구 · 채 규 수

Joong-Soo Lim · Chul-Gu Jung · Gyoo-Soo Chae

요 약

본 논문은 전파 수집 및 감시 시스템 등에 사용되는 초고주파 신호의 도래 방향 측정에 관한 연구로써, 방향 탐지 장치의 안테나를 통해서 수신된 신호들의 진폭차를 이용하여 신호의 입사 방향을 측정하는 진폭 비교 방향 탐지 방식과 동일한 안테나로 수신된 고주파 신호들의 위상차를 이용하여 전파의 도래 방향을 측정하는 위상 비교 방향 탐지 방식을 결합하는 새로운 기술이다. 본 방식은 위상 비교 기술의 정밀한 방향 탐지 능력과 진폭 비교 방식의 측정 방위 모호성 제거 능력을 복합하여 간단한 구성으로써 모호성이 없고 정밀하게 전파 도래 방향을 측정하는 기술이다. 제시된 방향 탐지 기술을 360° 전 방위각에서 전파의 방향을 측정하기 위해서 8개의 안테나를 원주를 따라서 45° 간격으로 일정하게 배치하고, 인접한 안테나의 수신 신호 위상차를 이용하여 전파의 도래 방향을 측정하고, 진폭차를 이용하여 도래 방향 모호성을 제거하였을 때, 설계된 방향 탐지 장치의 모사 및 측정 결과는 도래 신호의 신호 대 잡음비가 30 dB인 경우에 2.0~6.0 GHz 주파수 범위에서 0.5° 이하의 양호한 방향 탐지 오차를 얻었다.

Abstract

This paper describes a microwave direction finding technology which is used for RF signal acquisition and monitoring systems. This paper suggests a direction finding method which use a combination of the amplitude-comparison technology and the phase-comparison technology. The amplitude-comparison technology uses the amplitude difference of the RF signals received from the array antennas of direction finding system and removes the ambiguity of wave incident bearing. The phase-comparison technology uses the phase difference of the RF signals received from the same array antennas and makes a good direction finding accuracy. The suggested direction finding technology is designed to place 8 array antennas in a 45° distance around the circle for 360° azimuth angle. Also it is designed to use the phase difference of the received signals from two nearby antennas to measure the signal incident direction accurately and to use the amplitude difference to remove the ambiguity of wave incident bearing. The simulation and measurement results are under 0.5° bearing error in 2.0~6.0 GHz when SNR is 30 dB.

Key words : Direction Finding, Circular Array, Amplitude-Comparison, Phase-Comparison, Ambiguity

I. 서 론

전파를 이용하여 표적의 방향을 탐지하는 기술에

는 레이더처럼 전파를 자체적으로 발생시켜 표적을 향해서 송신하여 반사되는 신호를 탐지하는 능동형(active) 방향 탐지(이하 방탐) 방식과 전파 감시 시스

「본 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었음.」

천안대학교 정보통신학부, 한국과학기술원 전파탐지 특화연구센터(Dept. of Information & Communications, Cheonan University and Radiowave Detection Research Center, KAIST)

· 논문 번호 : 20040917-122

· 수정완료일자 : 2005년 6월 13일

템이나 전자 정보 시스템(electronic intelligence system)처럼 상대방에서 전파가 송신될 때 상대방의 전파를 수신만 하여 전파원의 위치 즉, 신호의 도래 방향을 측정하는 일종의 수동형(passive) 방향 탐지 방식이 있다^[1].

본 논문은 수동형 방향 탐지에 관련된 연구로서 고정용 또는 이동용 초고주파 신호 수집 및 감시 장비에 적용할 수 있는 초고주파 신호의 방향 탐지 방법에 관해서 기술하였다. 전파 수집 및 감시 장비는 전파의 도래 방위(angle of arrival)를 정확하게 측정하여 신호원의 위치를 추적하거나 수신 신호의 요소들을 확인하기 위해서 수신된 여러 신호들을 방위각 별로 정확하게 분리하는 것이 매우 중요하다^{[2],[3]}.

방향 탐지 기술 발전은 초기에는 안테나 이득이 크고, 빔 폭이 좁은 혼 안테나 또는 파라볼릭 안테나를 방위각 또는 양각(또는 고각)을 따라서 감시하고자 하는 방위 구간을 회전하면서 전파의 방향을 탐지하였으나, 근래에는 배열 안테나 기술, 신호 처리 기술과 위상 비교 기술을 활용하여 안테나를 물리적으로 회전하지 않고 전자적으로 스위칭하여 고주파 신호의 도래 방향을 측정한다. 일반적으로 전자적으로 안테나를 스위칭하는 방식에는 진폭 비교 방탐 방식과 위상 비교 방탐 방식이 있으며, 동일한 수의 배열 안테나를 사용하여 동일한 감시 각도(view angle) 범위에서 입사되는 신호의 도래 방향을 측정할 경우에는 진폭 비교 방식은 다소 방향 탐지 정확도는 떨어지나 모호성(ambiguity) 방위가 발생하지 않으며, 위상 비교 방식은 방향 탐지 정확도는 높아지나 탐지 방위각의 2배수, 3배수 방위각을 동시에 계산하게 되는 방위각 모호성 문제를 내포하고 있다^{[4],[5]}.

본 논문에서는 방향 탐지 시스템의 배열 안테나를 통해서 수신된 고주파 신호의 진폭을 비교하여 전파 도래 방향을 찾는 진폭 비교 방향 탐지 기술을 수신 신호의 위상차를 비교하여 전파의 도래 방향을 정밀하게 계산하는 위상 비교(interferometer) 방향 탐지 기술과 결합해서, 간단한 구성으로 방탐 모호성이 없고 방탐 정확도가 높은 복합 방향 탐지 방식을 제시하였다.

II. 초고주파 신호 입사 방향 측정 방식

전파를 수집하고, 감시하는 장비에 사용되는 수동

형 방탐 장치는 초기에는 안테나를 방위각 또는 고각을 따라서 회전하면서 전파의 방향을 탐지하였으나, 이 경우에는 신호 포착 확률(intercept probability)이 낮아지게 되어 1번, 2번, 3번 신호가 동시에 안테나에 입사될 때, 1번 신호 이외의 신호는 방향을 탐지하지 못하게 되었다. 오늘날은 신호 탐지 확률을 높이기 위해서 배열 안테나 기술을 이용하여, 안테나를 회전하지 않고 360° 전 방향에서 동시에 수신되는 신호의 방위를 측정할 수 있는 기술이 개발되었으며 소프트웨어적으로는 입사 전파의 진폭 비교 방향 탐지 방식과 위상 비교(interferometer) 방향 탐지 방식이 개발되어 많이 사용된다.

진폭 비교 방향 탐지 방식의 원리는 그림 1과 같이 인접한 두 안테나의 빔 패턴을 이용하여 입사 신호의 도래 각도(angle of arrival)에 따라 두 안테나에 수신되는 신호의 진폭 차이를 이용하여 전파의 도래 각도를 계산하는 방식이다. 배열 안테나 설치 시에 기준선(또는 보아 사이트)을 중심으로 $-\alpha$ 각을 지향하도록 설치된 1번 안테나에 수신된 전파 신호의 세기 $G_1(\theta)$ 와 $+\alpha$ 각을 지향하도록 설치된 2번 안테나에 수신된 신호의 세기 $G_2(\theta)$ 의 진폭차 $R(\theta)$ 를 이용해서 전파의 도래 방향을 구한다. 예를 들면 전파가 $-\alpha$ 각 부근에서 입사되면, $G_1(\theta)$ 의 값이 $G_2(\theta)$ 보다 매우 커지고, $+\alpha$ 각 부근으로 입사되면 $G_2(\theta)$ 가 커지는 원리이다. 이러한 방식을 사용할 경우 S/C-밴드 주파수 대역에서 안테나를 6~8개 정도 사용하면 5°~10° 정도의 방향 탐지 정확도를 갖는 장치를 설계할 수 있다^[4].

위상 비교 방탐 방식 즉, 인터페로메타 방식은 그림 2와 같이 두 안테나에 입사되는 고주파 신호의 위상차를 이용하여 전파의 입사(도래)방위를 측정하

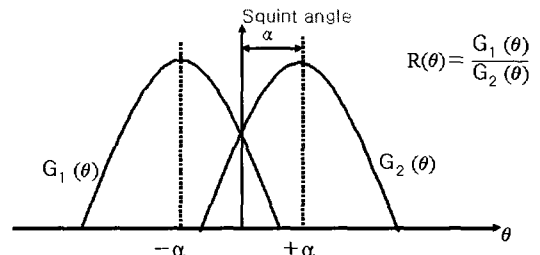


그림 1. 진폭 비교 방향 탐지 방식의 기본원리
Fig. 1. The principle of direction finding technology using amplitude-comparison.

는 방식이다. 임의 공간의 무선기기에서 전파가 발생되면 전파원의 방향에 따라서 두 안테나에 도착하는 시간(time of arrival)이 다르고, 이로 인해서 두 안테나에 도달하는 신호에는 위상차가 발생하는데, 이러한 위상차는 두 안테나 설치간격과 입사되는 전파의 주파수 함수이므로 입사전파의 방향을 계산하는데 사용된다.

그림 2에서 양각이 0° 이고 방위각이 θ 인 지점에서 RF 신호가 입사될 경우 안테나 2에 도달하는 신호는 안테나 1에 도달하는 신호를 기준으로 길이 L 만큼의 지연이 생긴다. 길이 L 은 두 안테나의 간격 D 의 함수이므로 두 안테나에 도달하는 신호의 위상차는 식 (1)과 같이 된다^{[6],[7]}.

$$\phi = \phi_1 - \phi_2 = k \cdot L = \frac{2\pi}{\lambda} D \cdot \sin \theta \quad (1)$$

여기에서, ϕ_1 은 1번 안테나에 수신된 신호의 위상, ϕ_2 는 2번 안테나에 수신된 신호의 위상, ϕ 는 두 안테나에 도달된 신호의 위상차, k 는 파수(wave number), θ 는 전파의 도래 각도(AOA), D 는 두 안테나의 설치 간격이다. 이 식은 전파의 도래 방위각을 위상차 변화로 변환하였으며, D 값이 크면 ϕ 가 커지게 되므로 측정 방위각 해상도는 향상되지만, 반면에 $\frac{D}{\lambda}$ 값이 1/2을 넘어서면 동일한 위상차를 갖는 방위각이 2개 이상 존재하게 되므로 모호성이 발생하게 된다.

식 (1)에서 전파의 파장이 일정하면 D 의 크기에 따라 방위각 오차가 결정되기 때문에 방향 탐지 오차를 줄이기 위해서는 D 를 크게 하면 된다. 그러나

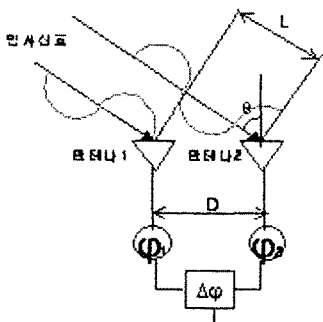


그림 2. 위상비교 방향 탐지 방식의 개념도
Fig. 2. The concept drawing of a direction finding technology using phase comparison.

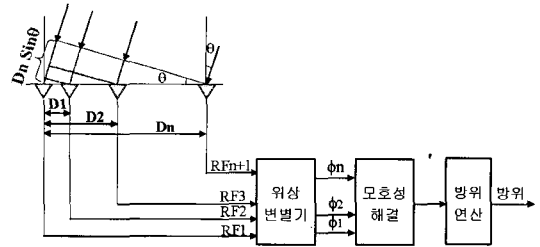


그림 3. 다중 기준선 방식의 방향 탐지 장치 구성도
Fig. 3. A block diagram of a direction finder using multi-baseline.

이 경우에는 D 의 크기에 따라 측정 방향 모호성이 발생하므로 그림 3과 같이 $\frac{D}{\lambda}=1/2, \frac{D}{\lambda}=1, \dots, \frac{D}{\lambda}=n$ 이 되도록 안테나 설치 간격을 여러 개로 하여 측정 방위각 모호성을 제거하는 다중 기준선(multi-base line)이 필요하다. 그림 3과 같은 다중 기준선 위상 비교 방탐 장치인 경우에는 먼저 기준선의 길이가 가장 긴 D_n 을 이용하여 두 안테나의 위상을 비교하여 도래 방위각을 측정하고, D_1, D_2 기준선의 두 안테나 신호의 위상을 이용하여 방위각의 모호성을 해결한다. 그림 3과 같이 다중 기준선을 사용하는 경우 각 기준선에 따른 두 안테나 사이의 위상차는 식 (2)와 같다^{[4],[8]}.

$$\phi_n = \frac{2\pi}{\lambda} D_n \cdot \sin \theta \quad (2)$$

III. 원형 배열 복합 방향 탐지 장치 설계

3-1 원형 배열 복합 방향 탐지 장치 구성

그림 3과 같은 다중 기준선 위상 비교 방식은 안테나 설치 간격을 충분히 넓히고 여러 개의 위상 비교기(interferometer)를 사용하면 매우 정밀한 방향 탐지 정확도를 얻을 수 있으나, 안테나 및 수신 채널 수가 매우 많이 요구된다. 그림 3의 선형 배열 다중 기준선 방식은 대개 3~4개의 기준선을 사용하여 $60^\circ \sim 90^\circ$ 정도의 감시각도를 갖도록 방향 탐지 장치를 설계하므로 360° 전 방위각에서 사용하기 위해서는 그림 3과 같은 다중 기준선 위상 비교 장치가 4~6세트 필요하다.

일반적으로 전파 감시 장비나 전자 정보 시스템은 넓은 주파수 대역을 동시에 감시해야 하므로 물

리적으로나 전기적으로 간단한 방향 탐지 구조가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 그림 2와 같은 위상 비교방식에서 두 안테나 간격을 크게 하여 방탐 정확도를 높이고, 동시에 두 안테나에서 들어온 고주파 신호의 진폭을 비교하여 모호성을 제거하는 방법을 제안하였다. 이러한 위상비교-진폭비교 복합방식은 선형 안테나 배열이나 원형 안테나 배열에 사용할 수 있으며 본 논문에서는 360° 전 방위각을 신호대 잡음비(SNR)가 30 dB 이하인 경우에 1° RMS 이하의 방탐 오차를 갖는 원형 배열 방탐 시스템을 기준으로 설계하였다.

본 논문에서 제시하는 방향 탐지 장치는 그림 4와 같은 360° 전 방향을 수신할 수 있는 원형 배열 안테나와 그림 5와 같은 신호 처리 장치로 구성된다. 배열 안테나는 그림 4와 같이 동일한 이득을 갖는 8개의 안테나를 원주를 따라서 45° 등각도로 설치하고 인접한 두 안테나 사이의 기준선의 길이 D 는 3λ 로 설정하였다. 이러한 배열 안테나의 구성에서 인접한 두 안테나는 각각 안테나 전방의 45° 방위각 영역을 감시하면 되지만 이동하는 전파 신호를 계속해서 감시하기 위해서 각 안테나의 감시 각도를 60°로 확장하여 경계 영역에서도 중첩하여 감시할 수 있도록 한다.

그림 4의 8개의 원형 배열 안테나에서 수신된 신호들(RF1, RF2, ...RF8)이 그림 5의 신호 처리 장치의 고주파 수신부로 입력된다. 이 신호는 고주파 수신부에서 분리되어 위상 변별기를 이용하여 입사 신호의 방위를 계산하는 위상 비교 방위 연산 채널과 진폭 비교를 이용하는 진폭 연산 채널로 나누어져서 신호 도래각을 계산한다. 계산된 도래각은 모호성

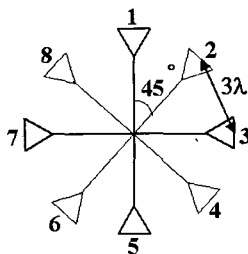


그림 4. 안테나 8개를 사용하는 원형 배열 복합 방향 탐지 장치의 안테나 배열 구조
Fig. 4. Circular array antenna configuration of the combination direction finder with eight antennas.

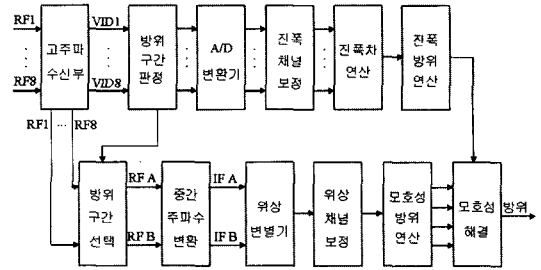


그림 5. 복합 방탐 장치의 신호 처리 장치 구성도
Fig. 5. The block diagram of a signal processing unit for combination direction finder.

해결부에서 통합되어서 모호성이 제거된 정확한 방위각이 출력된다.

모호성 제거 방식은 그림 6을 이용하면 쉽게 설명할 수 있다. 그림 4와 같은 안테나 구성에서 안테나 설치 간격을 입사 파장의 3배로 설정하고 감시 각도 범위를 60°로 정한 경우에는, 60° 감시 방위각 범위에서 최대 $3 \times 2\pi$ 의 입력 신호 위상차가 발생하게 된다. 그림 6에서 실선이 나타내는 것은 도래 전파의 위상차를 나타내는 것으로 -30° 에서 $+30^\circ$ 감시 각도 범위에서 360°의 수신 신호의 위상차가 3번 반복되므로 이는 3개의 모호성 방위가 나타나는 것을 보여 준다. 예를 들면 $+20^\circ$ 방위각에서 전파가 도래할 경우, 두 안테나 수신 신호의 위상차는 0° 가 되며, 이 경우 수신 신호의 입사 방위각이 $-20^\circ, 0^\circ, +20^\circ$ 인 경우이므로 3번의 모호성이 나타난다.

이 경우에 두 안테나에 수신된 고주파 신호의 진폭 차이는 그림 4에서 점선으로 나타난다. 그림 4에서 모호성 방위각의 진폭차를 계산하면, 방위각이 -20° 인 경우는 $-K \frac{R_A}{R_B} \times 0.66$ dB, 방위각 0° 에서는 0 dB, 방위각이 $+20^\circ$ 인 경우는 $K \frac{R_A}{R_B} \times 0.66$ dB의 진폭차가 계산되므로, 진폭 비교 방탐에서 측정된 진폭차와 비교하면 $+20^\circ$ 방위각이 신호 도래 방위각이고 나머지 $-20^\circ, 0^\circ$ 의 방위각 모호성이 없어진다.

그림 6에서 보면 방위각 모호성은 약 20°마다 발생하며, 1° 방위각에 대한 위상차는 18°이며, 모호성 해결은 진폭 비교 방위각 측정 오차가 $\pm 10^\circ$ 미만으로 얻어지면 가능함을 알 수 있다. 그림 5의 구성도와 같이 IF 협대역 위상차 측정 회로를 이용하면 매우 정밀한 방탐 정확도를 얻을 수 있으며, 모호성

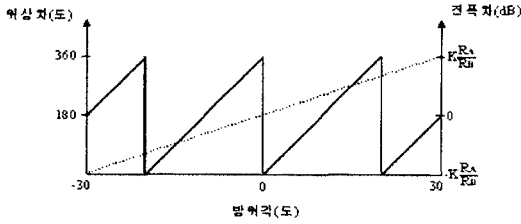


그림 6. 방위각에 대한 위상차 및 진폭차
Fig. 6. Phase difference and amplitude difference w.r.t. azimuth angle.

해결을 위해서 필요한 연산은 구성이 매우 간단한 로직으로 구현할 수 있다. 이처럼 모호성 해결은 인터페로메타 구조와 밀접한 관계를 가지며, 모호성 발생 수(k)는 각 인터페로메타의 안테나 설치 간격에 의해 결정되는데 제안한 구조에서는 안테나의 설치간격이 3λ 이므로 $k=3$ 이 된다. 실제 방위를 연산하기 위해서는 식 (2)를 이용하는데 이를 위해서는 먼저 모호성 구간 k 가 결정되어야 한다.

$$\theta_k = \arcsin\left(\frac{\phi + 2\pi \cdot K}{D_n \cdot 2\pi/\lambda}\right) \quad | \quad k=0,2 \quad (3)$$

일반적인 다중 기준선 위상 비교 방탐 구조에서는 그림 3과 같이 기준선에 따른 각각의 위상차 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ 값 조합의 진리표를 작성하여 k 를 구한다. n 개의 인터페로메타와 m bit 위상 디지털이저인 경우는 $2^{n \times m}$ 바이트 용량의 메모리가 요구된다. 그러나 본 논문에서 제안한 구조는 그림 5의 모호성 해결 구성도와 같이 매우 간단하게 처리할 수 있다. 먼저 식 (3)을 이용하여 모호성을 갖는 방위각 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ 를 계산하고, 최종 출력은 식 (4)를 이용하여 θ_k 와 진폭 비교 방식에서 도출된 방위각 (θ_{amp})를 비교하여 최소의 진폭 오차를 갖는 θ_k 를 구하여 모호성을 해결한다.

$$\theta = \theta_k, \text{ if } \frac{\theta_{k-1} + \theta_k}{2} < \theta_{amp} < \frac{\theta_k + \theta_{k+1}}{2} \quad (4)$$

3-2 고각 변화에 따른 효과

지금까지는 양각이 일정한 경우에 대해서 방위각이 변하는 경우에 대해서 기술하였다. 그러나 실제 상황에서 전파를 수신하여 도래 방향을 측정할 경우에 방위각과 고각을 동시에 측정해야 한다. 이처럼

방위각과 고각을 동시에 측정해야 하는 경우에는 식 (2)를 다음과 같이 정리할 수 있으며, 여기에서 θ_{AZ} 는 전파가 입사하는 방위각, θ_{EL} 은 고각을 나타낸다^[4].

$$\phi_n = \frac{2\pi}{\lambda} D_n \cdot \sin \theta_{AZ} \cos \theta_{EL} \quad (5)$$

식 (5)에서 보면 위상차는 입사 신호의 방위각이 일정할 경우에도 고각의 차이에 따라 변하게 되므로 고각 차이에 의해서 발생하는 방위각 오차 θ_d 를 구해 보면 식 (6)과 같이 되며, 여기에서 보면 고각이 커질수록 방위각에 나타나는 오차는 거의 지수함수적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 고각의 변화에 의한 방위각 오차가 일어나는 것을 코니시티 오차 (conicity error)라 하며, 이때 발생하는 각도 오차를 코닝각(coning angle)이라고 부른다.

$$\theta_d = \theta_{AZ} - \arcsin(\sin \theta_{AL} \cos \theta_{EL}) \quad (6)$$

표 1에서 보면 방위각 측정범위가 $\pm 30^\circ$ 이하인 경우에는 고각의 변화가 $\pm 15^\circ$ 이내일 경우에는 코닝각에 의한 영향이 2.05° 이하인 것을 알 수 있다. 그러나 고각이 커지면 코닝각 오차도 매우 증가하게 되므로 이러한 경우에는 고각을 측정하는 방향 탐지 회로를 별도로 추가하는 것이 좋다.

3-3 잡음에 의한 방향 탐지 결과

표 1. 고각 및 방위각의 변화에 따른 코니시티 오차
Table 1. The conicity error w.r.t azimuth angle and elevation angle.

방위각	고각(양각)				
	5	15	25	35	45
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.02	0.05	0.10	0.22	0.38
10	0.07	0.23	0.41	0.86	1.47
15	0.17	0.52	0.91	1.92	3.22
20	0.30	0.92	1.50	3.36	5.53
25	0.47	1.43	2.48	5.14	8.29
30	0.67	2.05	3.53	7.24	11.41
35	0.91	2.76	4.75	9.60	14.81
40	1.17	3.56	6.11	12.20	48.44
45	1.47	4.45	7.61	15.00	22.24

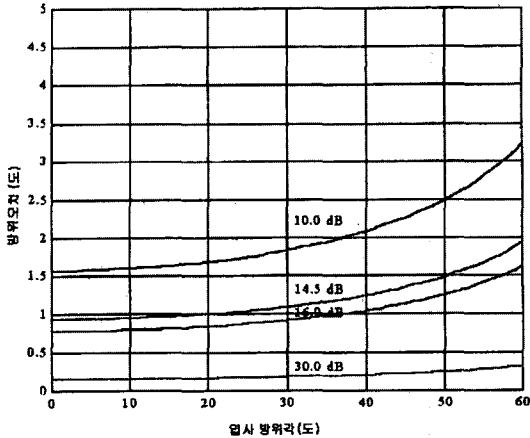


그림 7. SNR에 따른 방위 오차
Fig. 7. Direction error w.r.t. SNR.

방탐 장치에서 고려해야 할 오차는 채널 불균형 오차, 안테나 포인팅 오차, 안테나 3 dB 빔폭 변화, 신호 대 잡음비(SNR) 등이 있으며, 이 중에서도 SNR에 대한 영향이 가장 크다.

식 (5)는 잡음이 없는 이상적인 경우의 방탐 정확도이며 여기에 SNR을 고려한 실제적인 경우에 대해서 계산해야 한다. SNR에 따른 위상 변화율을 계산하기 위해 식 (5)를 미분하여 식 (7)과 같이 정리할 수 있으며, 기준선의 길이 D 가 중간 주파수에서 약 3.0λ 이격시, SNR이 30 dB인 경우를 계산하여 도시하면 그림 7과 같다^[5].

$$\Delta\theta_{AZ} = \frac{1}{\frac{\pi}{\lambda} D \cdot \sin\theta_{AZ} \cos\theta_{EL} \sqrt{SNR}} \quad (7)$$

IV. 시험 결과

제안한 방식을 적용하여 2.0~6.0 GHz 주파수 대역에서 방탐 정확도를 모의한 결과 수평 편파와 수직 편파에 대해서 SNR이 30 dB 이상, $D=3\lambda$ 인 경우에는 그림 7과 같이 0.5° RMS 이하로 계산되었다. 또한 그림 4와 같은 원형 안테나 배열을 이용하여 제작된 방탐 장치를 2.0~6.0 GHz의 주파수에서 방향 탐지 정확도를 전파 무반사실에서 시험한 결과, 그림 8과 같이 수직 편파에 대해서는 0.4° RMS, 수평 편파에 대해서는 0.5° RMS의 매우 우수한 방탐 정확도를 얻었다^{[8],[9]}. 그러나 그림 7에서 보는 바와 같

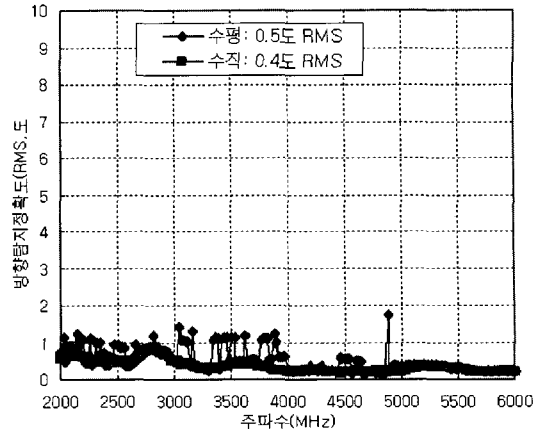


그림 8. 2.0~6.0 GHz 주파수의 방탐 정확도 시험 결과
Fig. 8. The measured direction error on 2.0~6.0 GHz.

이 수신 신호의 SNR이 작아지면 방탐 오차가 증가하므로 실용 장비의 방탐 오차는 증가한다고 볼 수 있다.

V. 결 론

위상 비교 방탐 방식의 방향 탐지 정확도와 진폭 비교 방식을 사용하여 모호성을 제거하는 방법을 병행하는 복합비교 방탐 방식은 SNR이 30 dB 이상, D 가 3.0λ 이상인 경우에는 간단한 구성으로 2.0~6.0 GHz 주파수 대역에서 방탐 오차가 0.5° 이하로 계산 결과를 얻었으며, 모델을 제작하여 측정 한 결과도 무반사실에서 360° 전 방위각에 대해서 평균 0.5° RMS 이하의 매우 우수한 방탐 정확도를 얻었다. 이는 이동 차량이나 산악지형, 건물 옥상에 설치할 경우에 설치 오차 및 주변 반사파에 의한 오차, 신호대 잡음비를 고려하면 $1^\circ \sim 2^\circ$ RMS 수준의 결과를 얻을 것으로 예측된다. 또한 고정된 지역에서 사용할 경우에는 디지털 고도 지도(digital terrain map)를 사용하여 주변 환경에 의한 전자파 전파의 오차를 보정해 주면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 제안된 원형 배열 복합 방탐 방식은 초고주파 대역의 고정용 및 이동용 각종 전파 탐지 및 전파 감시용 장비에 잘 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Kim, J. So, J. Lim, and C. Cheon, "Design of wide-band/wide-scan e-plane notch array consi-

dering active element pattern", *IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium*, pp. 476-479, Jun. 2003.

[2] Fillipo Nelli, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Artech House, pp. 302-307, 1991.

[3] D. Curtis Schleher, *Electronic Warfare in the Information Age*, Artech House, pp. 235-242, 1999.

[4] Stephen E. Lipsky, *Microwave Passive Direction Finding*, USA: John Wiley & Sons, pp. 165-167, 1987.

[5] 박철순, 장원, 나선필, 멀티베이스라인 방탐기법 성능 분석 및 장치 설계, 국방과학연구소, pp 18-23, 2001년.

[6] "Interferometer direction finding system", *Journal of Electronic Defense*, vol. 18, no. 3, 1995.

[7] "Distance-measuring and interferometric techniques", *Journal of Electronic Defense*, vol. 25, no. 11, 2002.

[8] E. Boch, M. Stapleton, "Direction-finding performance of a Ka-band ESM receiver", *1994 Microwave and Guided Wave Letters 4.1* (Jan. 1994 {MGWL}): 9-10.

[9] S. Rehmark, "Instantaneous bearing discriminators with omni directional coverage and high accuracy", *MTT-S International Microwave Symposium Digest 80.1*, pp 120-122, 1980.

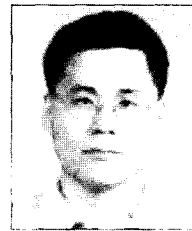
임 중 수



1978년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 1994년 3월: Auburn University, 초고주파공학 (공학박사)
 1980년 8월~1989년 12월: 국방과

학연구소 선임연구원
 1998년 3월~2002년 8월: 충남대학교 전파공학과 겸임 교수
 1994년 1월~2003년 12월: 국방과학연구소 전자전 팀장
 2001년 1월~현재: 한국군사과학회 평의원/편집위원
 2003년 3월~현재: 천안대학교 정보통신학부 교수
 2003년 3월~현재: 충남창업 보육협의회 부회장
 [주 관심분야] 전자파 이론, 광대역 주파수 소자 설계, 레이다 및 전자전 장비 설계/분석

채 규 수



1993년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 12월: Virginia Polytechnic Institute and State University (공학박사)

2001년 1월~2003년 2월: Amphenol Mobile, RF Manager
 2003년 3월~현재: 천안대학교 정보통신학부 교수
 [주 관심분야] 전자파 이론, 광 대역 안테나 설계

정 철 구



2004년 2월: 경일대학교 전자공학과 (공학사)
 2005년 3월~현재: 천안대학교 정보통신학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 초고주파 수동 소자 설계 초고주파 장비 설계 및 제작