

최신 방함탐지 장비의 발전추세



鄭 淳 豪
육군본부 무기체계사업단
육군 소령 (진)

과거의 전쟁양상과는 달리 미래전은 전자전 전쟁의 승패에 중추적 역할을 담당하게 될 것이다. 전자전 지원장비인 방함탐지기는 주요국가들에서 고유의 모델과 기술로 제작 운용하고 있으며, 해외구입시 기술적 종속 및 정보 누출의 위험에 노출될 수 있는 소지가 있다. 이 글에서는 방함탐지기의 기본원리와 탐지기법 등 이론적인 설명을 하였으며, 주요 선진국의 방함탐지 장비현황 및 발전추세를 철저히 분석하여 우리 군이 미래전에 대비하여 나아가야 할 방향과 방법을 제시하였다.

미래의 전장에서는 실시간 지휘·통제·통신·컴퓨터·감시·정찰(C⁴ISR) 체계를 연결하는 유·무선/위성통신의 발달로 전장이 광역화될 것이며, 최근의 걸프전과 보스니아전에서와 같이 전자전이 전투에서 중추적인 역할을 담당할 것이다.

걸프전의 경우 당시 미국은 전과교란 작전을 수행하기전 전자전 장비인 방함탐지 시스템과 조기경보 체계를 이용하여 이라크군에 대해 지속적인 전과감시를 함으로써, 신호의 제원과 신호원의 위치를 정확히 알고 있었다.

결국 이라크군은 미군의 방함탐지 장비에 의해 전장에서의 눈과 귀에 해당하는 지휘통신망과 레이더

망이 노출되어 공격목표가 된 것이다.

이와 같이 정보획득능력은 전력승수효과 측면에서 승리를 결정짓는 중요한 역할을 담당하게 되었으며, 무선신호에 대한 방향탐지의 중요성이 강조되면서 방향탐지 장비의 용도가 다양해짐은 물론 주요 선진국을 중심으로 방향탐지 장비의 경쟁적인 연구개발로 관련 기술 발전을 가속화시키고 있다.

현재 군용으로 개발되거나 운용중인 방향탐지 장비는 수색 및 구조, 낙하지점 위치 탐지, 인원 및 차량 위치탐지, 주파수 관리, 통신정보, 전자전 지원책, 방사신호 탐지 및 추적 등 다양한 분야에 사용되고 있으며, 그 역할과 중요성이 더욱 강조될 것으로 예상된다.

이러한 추세의 요구에 따라 우리나라도 최근 해외로부터 최신의 ES/EA 전자전 장비를 도입하여 〇〇지역에 배치 및 전력화시킨 사례가 있다.

그러나 당시 전력화 과정에서 일부 요원들이 방향탐지 원리와 전파특성에 대한 이해부족으로 ES장비의 방탐정확도 성능에 대해 문제를 제기하였고, 일부 언론에서도 비판적인 시각으로 보도함으로써 장비

조기전력화에 어려움을 겪은 바 있다.

당시 사업진행과정에서 기술지원 임무를 담당했던 필자로서는 야전에서의 방탐원리에 대한 충분한 이해의 필요성을 절실히 느낄 수 있는 계기로 받아들여졌다.

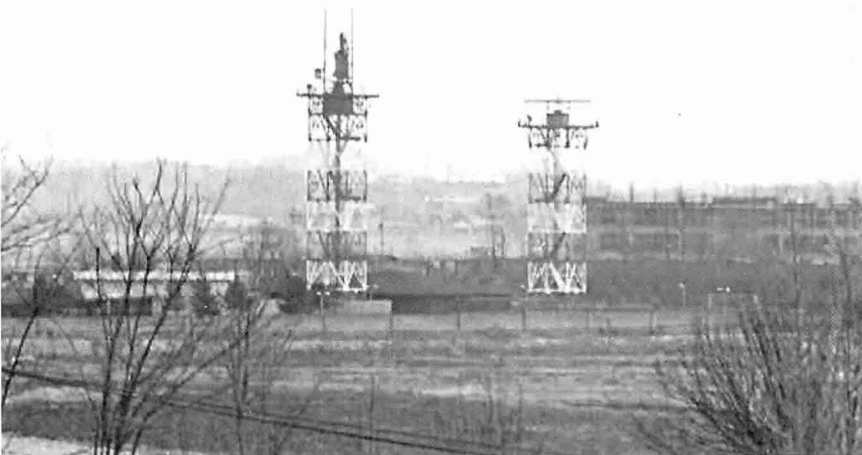
따라서 이 글에서는 전자전 분야중 적을 찾기 위한 노력의 하나인 방향탐지의 기본원리와 방법을 살펴보고, 최신 방향탐지 장비의 현황 및 발전추세에 대해서 기술하고자 한다.

방향탐지의 기본원리

● 방향탐지 시스템 구성

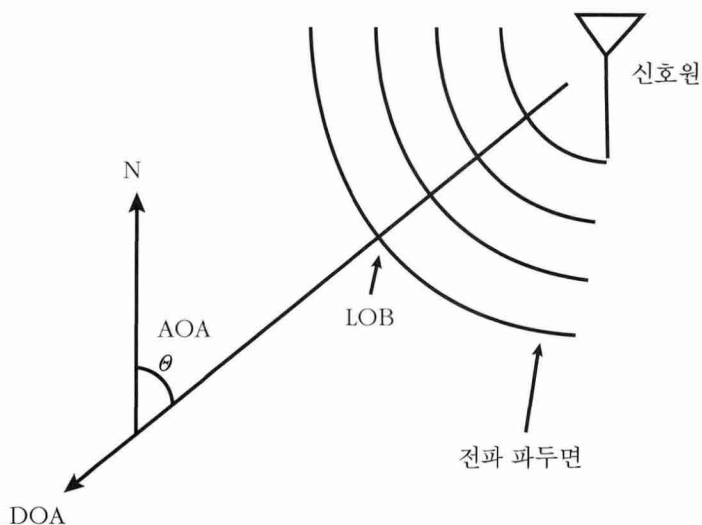
방향탐지 시스템은 안테나, 수신기, 처리기 및 제어/출력장치로 구성되어 있다. 안테나는 최대한 넓은 시야에서 전파 신호를 수신함으로써, 수신된 신호의 도래각을 정확하게 측정할 수 있도록 제작되어야 한다.

수신기는 주파수 합성기를 이용하여 안테나로부터 수신된 신호를 분석하는 기능을 하며, 1개의 안테나씩 순차적으로 선택하도록 하는 단일채널 수신기와 2개



김포공항의 관제용 레이더 SITE 전경

신호원 방향 탐지 원리



의 안테나를 사용하는 이중채널 수신기 및 3개 이상의 다중안테나를 사용하는 N-채널 수신기 등으로 구분된다.

처리기는 수신 신호로부터 방사원의 위치를 계산하는 기능을 하며, 안테나에서 수신된 신호의 위상, 진폭, 도플러 변화 등의 신호 속성을 비교함으로써 위치를 식별한다. 처리기의 종류는 중앙 집중식과 분산형으로 구분되며, 반도체기술의 발달로 거의 모든 처리기가 실시간 연산을 수행할 수 있는 능력을 보유하고 있다.

제어/출력장치는 각종 장치가 제기능을 발휘할 수 있도록 인터페이스 부분을 통제하며, 연산결과를 모니터나 프린터를 통해 출력한다.

● 신호원 위치결정

방향탐지는 위의 그림에 나타난 바와 같이 RF(Radio Frequency) 신호를 수신하여 신호의 진폭이나 위상 등을 비교 측정함으로써, 전파의 도래방향¹⁾

(DOA)과 도래방위각²⁾ (AOA) 및 방향선³⁾ (LOB)을 구하는 것이다.

방향탐지 장비로부터 신호원에 이르는 방향선을 결정하기 위해서는 우선 도래방위각을 구해야 하며, 신호의 도래방위각을 결정하기 위해서는 수신되는 신호의 도플러 효과를 이용하는 방법과 신호의 진폭차를 이용하는 방법 및 신호의 위상차를 이용하는 방법이 있다.

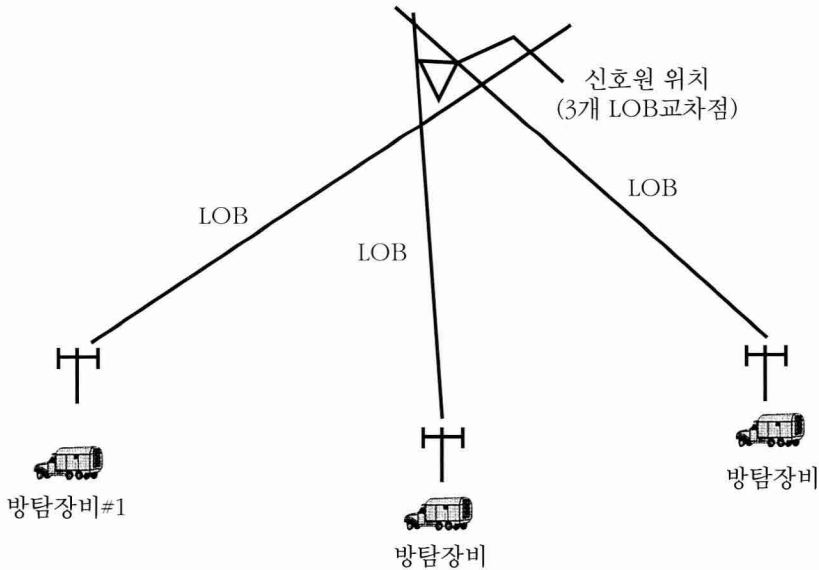
이러한 방향탐지는 결국 신호원의 위치탐지를 위한 선결조건이 되며 방향탐지 정확도가 위치탐지 정확도를 결정하게 된다. 신호원의 지리적 위치 결정은 P.61 위의 그림에서 나타난 바와 같이 서로 떨어져 있는 2개 이상의 방향탐지 장비로부터 각각의 방향선을 그었을 때, 이들의 교차점에 의해 구해진다.

● 방향탐지 오차

* 경로오차

경로오차는 송신안테나와 방향탐지 장비 사이의

신호원 위치 결정 원리



전파 경로로부터 전파가 이탈함으로써 생기는 오차이다.

경로오차의 중요한 원인은 이온층으로 들어간 전파의 일부가 불규칙적인 각도로 지구로 되돌아오는 산란, 전파가 한 매질에서 다른 매질로 이동할 때 생기는 굴절, 전파가 높은 절벽·산·빌딩 등의 영향으로 1개의 방사원에 대해 여러 개의 수신신호를 생성하는 반사, 수신파의 주파수에 대해 물체의 공진 현상으로 전파를 재방사하는 복사가 있다.

경로오차를 제거하는 근본적인 방법은 없지만, 오차원인이 방향탐지 장비 바로 근처에 있는 경우 오차보정 방법을 적용하거나 방향탐지 장비를 다른 지역으로 이동하여 측정함으로써 경로오차를 감소시킬 수 있다.

* 운용오차

운용오차는 최초 방향탐지를 위한 마스트(Mast) 설치 과정에서 발생 가능한 마스트 안테나 설치오차와 정확한 방향탐지를 위해 방향탐지 장비에 입력하는

필터값 선정오차 및 방향탐지 장비에 수신되는 신호강도가 미약한 경우 수신신호 선택오류에 따른 오차로 분류된다.

운용오차는 운용자가 충분한 교육과 경험을 통하여 수신되는 전파의 특성에 맞게 필터값을 선정하고, 방향탐지 장비에 도달하는 전파 신호의 일정한 기준 이상 충족을 위한 송신장비 출력 조절로 최소화 할 수 있다.

* 극성오차

극성오차는 무선전파의 원하지 않는 성분이 방향탐지 안테나에 전압을 유기할 때 일어나는 오차로, 유기된 전압이 신호를 모호하게 하여 방위판독을 부정확하게 만들어 생기는 오차이다.

극성오차는 극성 불일치된 전파에 보다 덜 민감한 방향탐지 장비를 사용함으로써 감소될 수 있다.

그 외에 지향성 안테나의 형태나 안테나의 방사패턴을 변화시키는 지표조건에 의해 송신원에서 생기는 신호원 오차와 방향탐지기 주변 지형의 불규칙성

RMS값과 분포확률의 관계

RMS값 ($\sigma \approx$ SD)	분포확률
-0.5σ and $+0.5\sigma$	38.3%
-1.0σ and $+1.0\sigma$	68.2%
-1.5σ and $+1.5\sigma$	86.6%
-2.0σ and $+2.0\sigma$	95.4%
-3.0σ and $+3.0\sigma$	99.7%

과 장애물들에 의한 방향탐지 장비 위치오차 및 시스템 구조의 편향에 의해 표현되는 계기 오차 등이 있다.

향을 무시할 수 없기 때문에 Adjusted RMS가 주로 사용되고 있으며, 이에 대한 수학적 표현은 다음과 같다.

● 방향탐지 정확도

* 방향탐지 정확도 산출

일반적으로 방향탐지 정확도에 사용되는 단위인 RMS(Root Mean Square)의 수학적 의미는 실제 방위와 측정된 방위 사이의 표준편차이다.

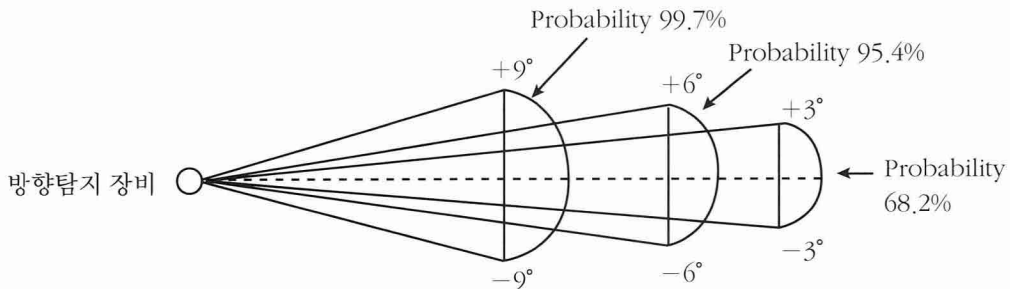
RMS는 장비고유의 방향탐지 오차를 계산하는 Apparent RMS와 장비고유의 방향탐지 오차 및 환경에 의한 오차까지 포함하는 Adjusted RMS로 구분되고, 방향탐지 원리상 신호원의 반사 등에 의한 환경영

$$RMS_{Adjusted}(\text{°}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - x)^2}{n}}$$

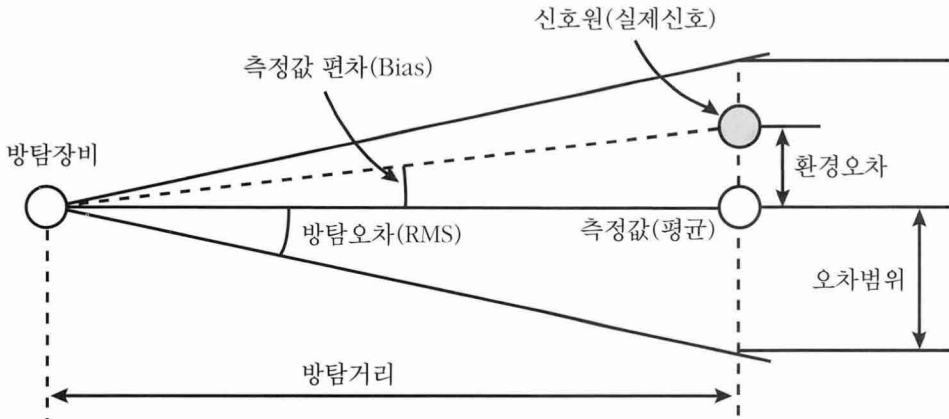
X : 방향탐지 측정값, x : 방향탐지 측정 평균값,
 n : 측정횟수

RMS로 표시되는 방향탐지 정확도는 방향탐지 장비의 오차범위로서 통계적 의미를 내포하고 있기 때문에 확률분포에 의해 방향탐지 오차를 구하여야 한다.

방향탐지 장비가 3° RMS인 경우



야전 환경에서의 RMS 의미



따라서 일정한 수신 주파수에서 방위각 측정을 수십 회 반복하여 충분한 데이터를 확보한 후 통계적 개념을 적용하면 그 결과는 보통 정규분포 곡선을 갖는다.

이 분포에서 측정된 방위각의 Adjusted RMS 값을 σ 라고 하면, 0을 중심으로 $\pm\sigma, \pm2\sigma, \pm3\sigma$ 에 해당하는 분포를 갖게 되며, 각 RMS값에 해당하는 확률은 P.62 위의 표와 같다.

확률분포 결과를 이용하여 방향탐지 장비의 위치에서 본 방향탐지 범위는 P.62 아래 그림에서와 같이, 방향탐지 정확도가 3°RMS인 장비라면 측정오차가 -3°~+3°사이 에 포함될 확률은 68.2%이고, -6°~+6°사이 에 포함될 확률은 95.4%이며, -9°~+9°사이에 포함될 확률은 99.7%라고 할 수 있다.

이는 실제 LOB가 Adjusted RMS 범위 내에 항상 포함된다고 보장할 수는 없지만, 신호원이 있을 확률이 P.62 위의 표에 해당하는 값만큼 있다는 의미이다.

이상적인 실험 조건하에서의 RMS 산출은 신호원의 실제방향과 방향탐지 측정값의 차이가 거의 없게 되지만, 야전에서의 RMS 산출은 측정값에 환경영향의

효과를 보정함으로써 앞에서 설명한 각종 방향탐지 오차원의 영향을 배제시킬 수 있다. 즉, 야전 환경에서의 RMS의 의미는 위의 그림과 같이 표현할 수 있다.

*방향탐지 개념 적용방안

야전에서의 방향탐지 개념은 적의 대략적인 표적 위치를 확인하기 위한 위치탐지의 보조적인 수단으로 사용된다.

표적의 정확한 위치식별은 결국 UAV나 아군 특수부대 등의 영상 및 인간 정보와의 융합을 통한 정보분석을 통해서 가능하며, 전자전 장비에 의한 위치식별 자료는 영상 및 인간정보를 운용하기 위한 첩보를 제공하는 선에서 운용되어야 한다.

보다 정확한 방향탐지 결과를 획득하기 위해서는 ES⁴⁾장비가 위치한 지역의 전파환경을 분석하여 방탐 안테나 보정(Calibration)을 실시해야 한다.

ES장비 운용자의 장비 숙달능력과 표적특성 이해 등도 전파환경에 따른 오차환경 최소화 및 전파탐지 최적 조건 설정을 위해 중요시 고려되어야 한다.

(다음호에 계속)