전장감시 레이더의 작동 원리

崔 潤 大
• 육군 제3사관학교
기계공학과 교수
• 육군 대령, 공학 박사

박쥐는 어떻게 어둠 속에서 장애물에 부딪치지 않고 자유롭게 날아다닐 수 있을까? 박쥐는 눈이 퇴화되어 앞을 볼 수 없으므로 우리 귀에는 들리지 않을 정도로 높은 진동수의 소리를 내면서 날아다닌다. 이 소리를 초음파라 하는데, 이 초음파가 먹이나 길목의 장애물에 부딪혀 박쥐의 귀로 되돌아온다.

레이더도 비슷한 원리로 작동된다. 다만 레이더는 반사되는 무선 신호를 이용하여 더 멀리 떨어진 물체까지도 탐지한다. 레이더가 없다면 복잡한 항공 통제 시스템이나 미사일의 조기경보 시스템은 작동될 수 없으며, 해상의 선박들은 어둠과 안개 속에서 충돌할 위험에 처하게 될 것이다.

Radar는 'Radio Detection and Ranging'의 머리 글자를 따서 만든 약어로 '전자기파 탐지 및 거리 측정'이라고 번역된다. 레이더는 2차 대전 중에 출현한 장비로 연합군을 승리로 이끄는데 중요한 역할을 하였다.

레이더는 비교적 긴 파장의 전자파를 이용하기 때문에 다른 전장감시장비에 비하여 감시 거리가 멀다. 긴 파장을 이용하는 전장감시장비는 먼 곳까지 감시할 수 있다는 장점 외에도 연막, 먼지, 야간, 악천후 등에서도 전장 감시 활동을 할 수 있다는 장점이 있다.

그러면 어떻게 레이더가 작동되는지 동작 원리에 대하여 알아보자. 이것은 마치 손전등의 꼬마 전구가 불빛을 내어서 광선을 표적에 조사(照射)하면 표적에서 반사된 광선이 되돌아와 우리가 그 빛을 보는 것과 같은 원리이다.

P.85 그림에서 보는 것처럼 레이더의 전자기파 발생 장치는 손전등의 꼬마 전구와

같아서 전자기파를 발생시키고, 발생된 전자기파는 안테나를 통해 발사되어 표적에 조사되며, 조사된 빔(Beam)은 표적에 의하여 다시 반사되어 수신기에 도달된다. 통상 탐지용 레이더 안테나에는 전자기파를 송신하고, 이를 수신하는 장치가 같이 장착되어 있다.

레이더를 이용하면 표적까지의 거리 측정이 가능하고, 표적의 이동 속도도 측정할 수 있다. 레이더는 펄스 형태의 전자파를 송출함으로써 표적까지의 거리를 측정한다.

아래 그림에서 보는 바와 같이 레이더의 전자파는 빛의 속도로 전파되어 진다. 그러므로 송신 안테나를 출발한 전자파 펄스가 표적에 도달하여 다시 반사된 펄스로 수신 안테나에 수신될 때까지의 시간을 측정하면, 간단한 계산에 의하여 표적까지의 거리가 산출된다. 이때 전파도 빛의 속도와 같이 1초당 30만km의 속도로 전파되어 진다.

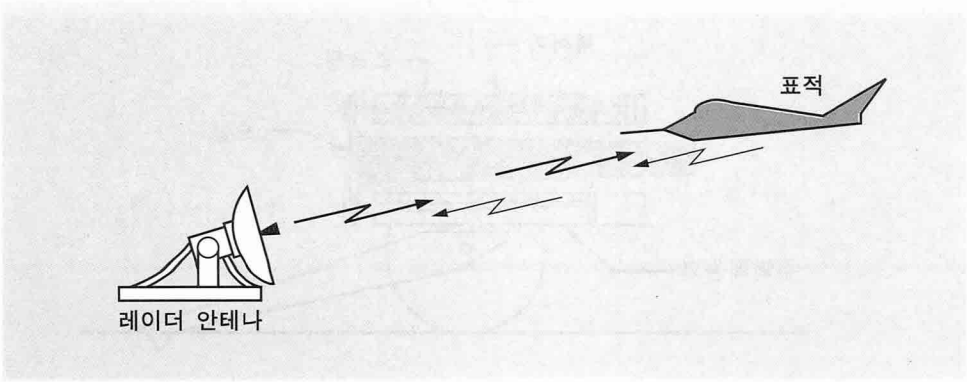
예를 들어 레이더 전파가 목표물까지 왕복하는데 걸린 시간이 500분의 1초(0.002초)로 측정되었다면, 목표물까지의 왕복거리는 600km이고, 실제거리는 그 절반인 300km로 계산된다.

표적의 위치는 거리뿐만 아니라 방향까지도 알아야 하는데, 표적의 방향은 안테나가 가리키고 있는 방향과 당연히 같으므로 자동으로 알게 된다. 그리고 시간에 따른 표적의 위치 변화가 생기면 표적의 속도도 얻을 수 있을 것이다. 현대식 레이더에서는 이 모든 과정이 내장된 컴퓨터에 의하여 자동으로 수행된다.

레이더의 역할을 「레이더 고도계」와 「기상관측 레이더」로 확장시켜 보자. 하늘을 날고 있는 비행기에는 레이더 고도계라는 것이 장착되어 있다. 이것은 지면을 향해 레이더 신호를 발사하여, 반사 신호가 되돌아 올 때까지의 시간을 측정하여 비행기가 지면으로부터 어느 정도 높이에 있는지를 알아내는 장치이다. 물론 지면에 너무 가까이 있으면 경고음도 울리게 되어 있다.

또한 비행기 앞머리에 설치된 기상관측 레이더는 비행기 앞에 있는 구름의 물방울에서 반사되어 온 전파 신호를 분석하여 비행기가 나아가는 항로의 기상 상태를 파악하기도 한다.

레이더의 동작 원리



주퇴장치의 구성 및 작동 원리

나폴레옹 전쟁과 같은 옛날 전쟁을 배경으로 하는 영화를 보면 화포를 사격하고 난 후 저 멀리 뒤로 밀려나 있는 포를 병사들이 부지런히 끌어다 제자리에 놓는 모습을 볼 수 있다.

이처럼 화포 사격 후 포가 뒤로 밀려 나가는 현상은 화포에 주퇴장치(recoil system)가 없기 때문에 발생한다.

주퇴장치란 '사격간 화포에 미치는 반동력을 흡수하고 포신을 원래 위치로 복귀시켜, 사격을 원활하게 할 수 있도록 하는 장치'이다.

이 장치는 1897년에야 비로소 프랑스의 'French 75' 포에 최초로 장착 되었으니, 비교적 최근에 개발된 장치이다.

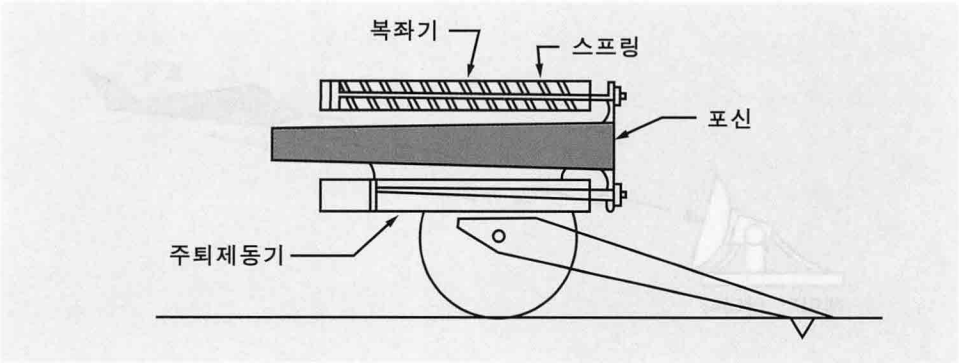
그후 이 장치는 1차대전 말까지 빠른 속도로 발전되어, 대전 말에는 전세계 대부분의 화포에 장착되었다. 이 장치가 장착됨으로써 비로소 화포들은 연속 사격이 가능하게 되었으며, 현재는 화포뿐만 아니라 항공기용 기관포, 전차포 등에도 광범위하게 이 기술이 응용되고 있다.

주퇴장치는 앞서 설명한 대로 탄자추진시 발생하는 에너지를 흡수하거나 저장하여 포를 다시 사격 위치로 복귀시키는 역할을 하며, 주퇴제동기, 복좌기, 복좌완충기 등 3가지 주요 부분으로 구성되어 있다.

아래 그림에서 보는 것과 같이 주퇴제동기는 점성이 높은 기름이 들어 있는 원통형 용기와 그 원통 속을 왕복 운동할 수 있는 피스톤으로 구성되어 있다.

통상 피스톤의 축은 포신과 연결되고, 원통형 용기는 포가에 고정되어 포신이 뒤로 밀리는 동안 피스톤이 기름을 압축하여 포

주퇴장치의 구조



신이 밀려가는 속도를 감소시킨다.

현재는 기름 대신 가스를 충진한 가스식(통상 질소 가스가 채워짐) 주퇴제동기도 실용화되고 있다.

다음 두번째 주요 부분인 복좌기의 기능은 포신을 뒤로 밀려난 위치에서부터 다시 발사 위치로 복귀시켜 주고, 다음 사격이 이루어질 때까지 그 위치에 있도록 해 주는 장치이다.

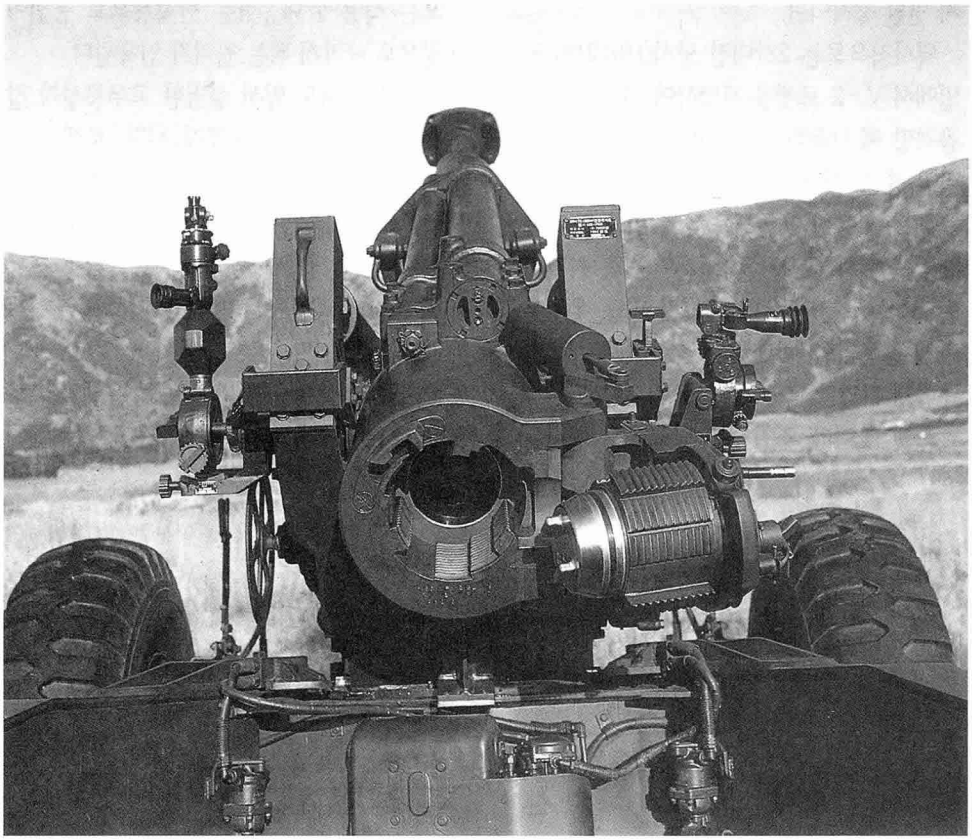
이 장치는 원통형의 통 속에 스프링이 들어 있는 구조를 갖고 있으며, 스프링 축이 포신과 연결되어 있다.

또한 마지막으로 복좌완충기는 앞서 설명한 복좌기가 포신을 다시 사격 위치로 되돌려 보낼 때 너무 빠른 속도로 되돌려 보내면 관성력에 의하여 포 전체가 앞으로 넘어지게 되는데, 이러한 현상을 방지하기 위하여 두는 장치이다.

이 장치는 별도로 있는 것이 아니고 통상 주퇴제동기 앞 부분에 있으며, 포신의 복좌가 끝날 무렵에 작동하여 포신을 서서히 원위치로 돌아가도록 한다.

화포제작시 비용을 증가하게 하는 원인 중 하나가 바로 주퇴장치의 제작인데, 잘 알고 있는 것처럼 박격포는 주퇴력을 지면이 직접 흡수하기 때문에 주퇴장치가 필요없게 되어 제작비용도 절감되고, 구조도 단순하며, 가벼운 장점을 가지고 있다.

KH-179 견인포



로켓 모터의 작동원리

미사일이나 로켓을 발사하여 탄두를 원하는 목표 지점까지 운반하기 위한 핵심 장치가 바로 「로켓 모터」(Rocket Motor)이다. 로켓 모터는 고온 고압의 연소가스를 단열적으로 팽창시켜 화학에너지를 운동에너지로 변환시키는 일종의 에너지 변환 장치이다.

역사적으로는 2차대전 당시(1942년) 독일에서 V-2 로켓을 개발하여 영국 본토를 공격할 때 사용한 것이 현대판 로켓의 효시라고 볼 수 있다.

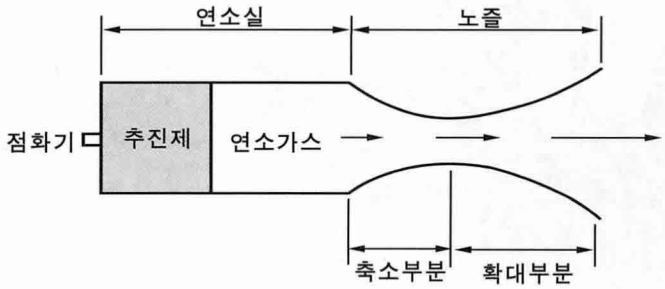
그때 사용된 V-2 로켓은 연료를 가득 채웠을 때의 무게가 12.5톤이었고, 사거리는 350km 였다. 이 기술이 항공 우주분야에 응용되어 스페이스 셔틀의 제작도 가능하게 되었다.

로켓 모터가 추진력을 발생하는 원리는 뉴튼(Newton)의 운동 제3법칙인 「작용과 반작용」법칙으로 설명된다. 작용과 반작용 법칙은 '작용이 있으면 그에 대응하는 반작용이 있다'는 원리인데, 설명할 때 공기가 가득 채워진 고무풍선의 입구를 꼭 막고 있다가 놓으면 풍선 입구에서 바람이 빠져나오는 작용에 대응하는 반작용으로 풍선이 앞으로 나가게 되는 원리가 인용된다.

로켓 모터도 앞서 설명한 고무풍선과 같은 원리로 추진력을 갖게 된다. 로켓 모터의 원통용기 속에 들어 있는 추진제가 연소함으로써 발생한 고온·고압의 가스가 노즐과 같은 개방된 홈으로 빠져나가는 작용에 대하여 로켓이 그 반대 방향으로 추진하게 되는 것이다.

아래 그림에 고체 추진제로 동작되는 로켓 모터의 개념도를 제시하였다. 그림에서

로켓 모터 구성도



보는 것처럼 로켓 모터는 크게 연소실, 추진제, 점화기, 노즐로 구성되어 있다.

연소실은 추진제의 연소에 의해 발생되는 고온 · 고압 가스를 저장하는 일종의 압력용기로써 압력과 열응력을 충분히 견딜 수 있도록 하고, 로켓의 중량을 줄일 수 있는 재질로 제작되어야 한다.

연소실 내에는 추진제가 가득 채워져 있는데, 일반적으로 액체추진제가 높은 추력을 내지만, 설계의 복잡성과 가격이 비싸게 되는 단점을 보완하기 위해서 고체추진제를 많이 쓴다. 추진제로는 니트로 셀룰로오스에 니트로 글리세린을 약 30~40% 혼합한 것이 가장 많이 사용된다.

추진제의 최초 점화를 위해서 점화기가 추진제 앞부분에 부착되는데 이의 점화는 통상 전기적인 방법으로 점화된다.

노즐은 연소실 뒷부분에 위치하는데 이를 통해 연소가스가 배출되어 추력을 얻게 된다. 그러므로 노즐은 높은 배출속도를 얻을 수 있도록 축소-확대 형태를 가지며, 높은 온도와 배출가스에 의한 부식에 견딜 수 있는 재질로 제작되어야 한다.

이러한 형태의 노즐을 「드 라발 노즐(De Laval Nozzle)」이라고 하는데, 고온 고압의 배출가스가 노즐의 좁은 목 부분으로부터 배출되면서 가스가 팽창하여 저온 저압의 높은 속도에 달하게 된다.

로켓 모터에서 발생하는 추진력(추력)은 연료소모율에 비례하는 운동량 추력과 압력 차에 의해 발생하는 압력 추력의 합으로 표현할 수 있다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

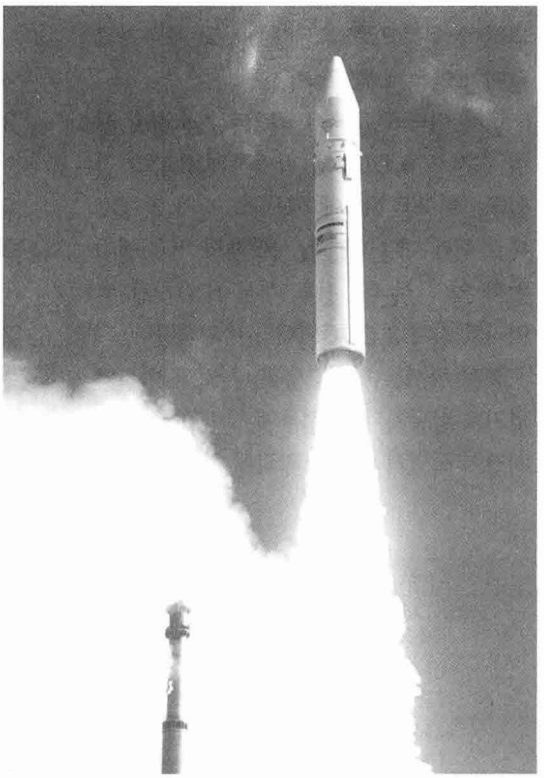
$$F = V_e \frac{dm}{dt} + A_e(P_e - P_a)$$

여기서 F는 로켓 모터의 추력으로 식의 첫째 항은 운동량에 의한 추력이고 두 번째 항은 압력에 의한 추력을 각각 나타낸다.

운동량 추력은 노즐 출구에서의 배출가스 속도(V_e)와 노즐을 통해 배출되는 연소가스의 질량유동률($\frac{dm}{dt}$)과의 곱으로 계산하고, 압력에 의한 추력은 노즐 출구의 압력(P_e)과 대기압력(P_a)의 차이에 노즐의 출구 단면적(A_e)을 곱하여 구한다.

따라서 추력을 높이기 위해서는 수식에서 보는 것처럼 배출가 속도를 높이고, 추진제의 연소를 활성화시켜 질량유동률을 높여야 한다.

Lockheed Martin의 LLV1



주력전차(MBT)에 장착한 첨단 전자장치

오늘날 세계 각국은 첨단 전자장치를 장착한 주력전차(MBT:Main Battle Tank)를 속속 개발하여 전장에 배치하고 있다. 모두 컴퓨터와 전자광학기술 발전 덕택이 아닌가 생각된다.

걸프전쟁시 주포의 구경이 125밀리인 T-72전차를 보유한 이라크 군이 구경이 120밀리인 M1전차를 보유한 다국적 군에 의하여 수적으로 우세했음에도 불구하고 완패한 이유는 무엇일까?

당시 이라크 군은 T-72라는 소련제 신형 전차를 4,000대 가까이 보유하고 있었고, 미군은 M1 에이브람스 전차 2,100대로 이에 대응하였다. 사막에서 일대 전차전이 일어났는데, 전투 개시 100시간 후 이라크 전차 3,000여대가 파괴되었다.

교전 당시는 악천후였고, 사막의 먼지와 열기로 항공기가 이 전투에 참여할 수 있는 시간이 적었기 때문에 파괴된 이라크 군 전차의 대부분은 미군 전차의 전차포 사격에 의한 것으로 알려졌다.

소련제 T-72전차는 화력면에서 미군 M1전차보다 우세하였지만 화력을 지원하는 전자장치에서 열세였던 것으로 알려져 있다.

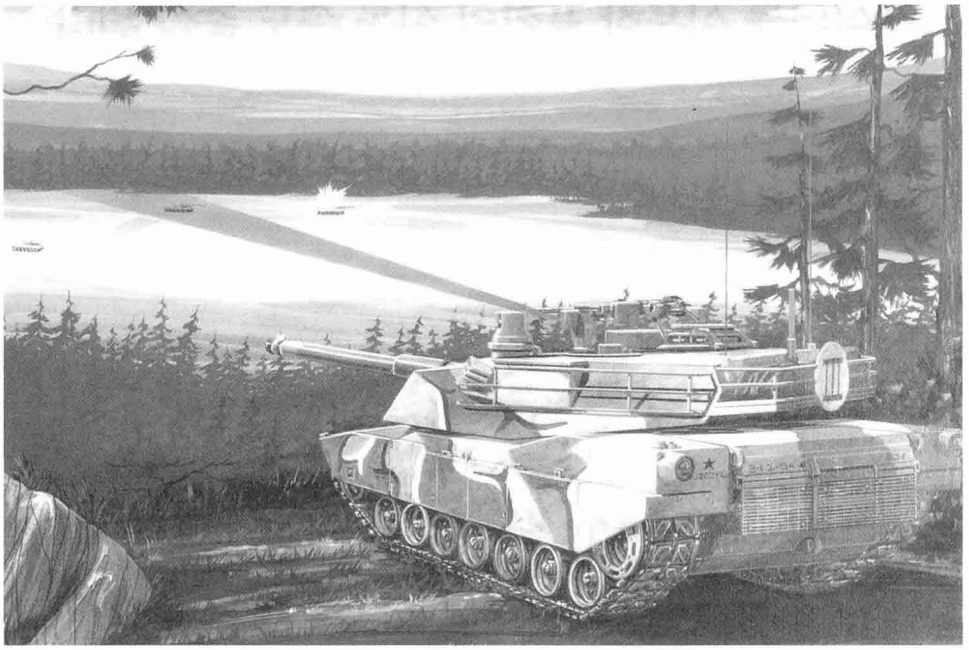
M1전차가 T-72전차보다 우수한 점은 주로 다음과 같은 전자 장치들이다.

첫째, 레이저 거리 측정기인데, 이라크 군 전차의 거리측정기 성능은 측정거리면에서 3km가 한도인데 비해 미군 전차는 8km에서부터 적 전차를 발견하고 4km 정도가 되면 사격을 개시하였다. 이라크 군은 3km 이상의 거리에서는 속수무책이었다. T-72전차의 거리 측정기가 성능을 발휘하기 시작하는 3km까지는 일방적으로 공격을 당하기만 했다.

둘째, 야간감시장비 분야로, T-72전차는 적외선 장치를 활용해서 적 전차를 발견

T-72전차와 M1A1전차의 전자장치 비교

구 분	T-72	M1A1
레이저 거리측정기 (거리측정능력)	3km	4km
야간 감시장비 (감 시 능 력)	800m	1200m
사격 통제장치 (통 제 능 력)	1.5~2km 사격을 위해 정지함	3~4km 주행간 사격 가능



했는데 그 탐지 거리는 800m였다. 이에 반해 M1전차는 열상 장치를 사용했는데 탐지 거리가 1200m 이상이었다. 즉 800~1200m 사이에서 이라크 전차는 미군 전차를 발견할 수 없었고, 반대로 미군은 적을 발견하여 공격할 수 있었다.

미군이 보유하고 있는 열상형 장치는 수동형(passive) 장비로 악천후나 사막의 먼지를 뚫고 관측이 가능하였다. 이라크 군 전차는 초탄 사격을 하고 나면 사막의 먼지 때문에 앞을 볼 수 없어 다음 탄을 사격할 수 없었다.

셋째, 사격통제장치로 포의 성능 면에서 T-72전차는 125밀리 활강포를, M1전차는 120밀리 활강포를 장비하였다.

포의 크기를 보면 오히려 T-72전차의 포가 더 크다. 이라크 포에 명중되기만 하면 미군 전차는 파괴되도록 되었으나, 문제는 명중도였다.

명중도를 좌우하는 것은 사격통제장치라는 전자장치다. 사격통제장치에 있어서 T-72전차는 1.5~2km의 거리까지만 유효했고, M1전차는 3~4km까지 명중시킬 수 있었다. 따라서 이라크 군은 막강한 전차포를 가지고 있었지만 제대로 사격도 해보지 못했다.

또한 가장 중요한 전자장치 중 하나인 포안정장치는 전차가 최대속도로 달리면서 사격할 수 있도록 하는 장치인데 M1A1 전차나 K1 전차에는 이 장치가 있어서 주행간 사격이 가능하지만, T-72 전차는 이 장치가 없어서 사격을 하기 위해서는 반드시 전차가 정지해야만 했다.

결론적으로 걸프전쟁의 전차전은 무기체계의 질적 우세가 수적 우세를 극복할 수 있음을 보여준 좋은 예라고 할 수 있다.

레이더를 이용한 표적의 이동 속도 측정 원리

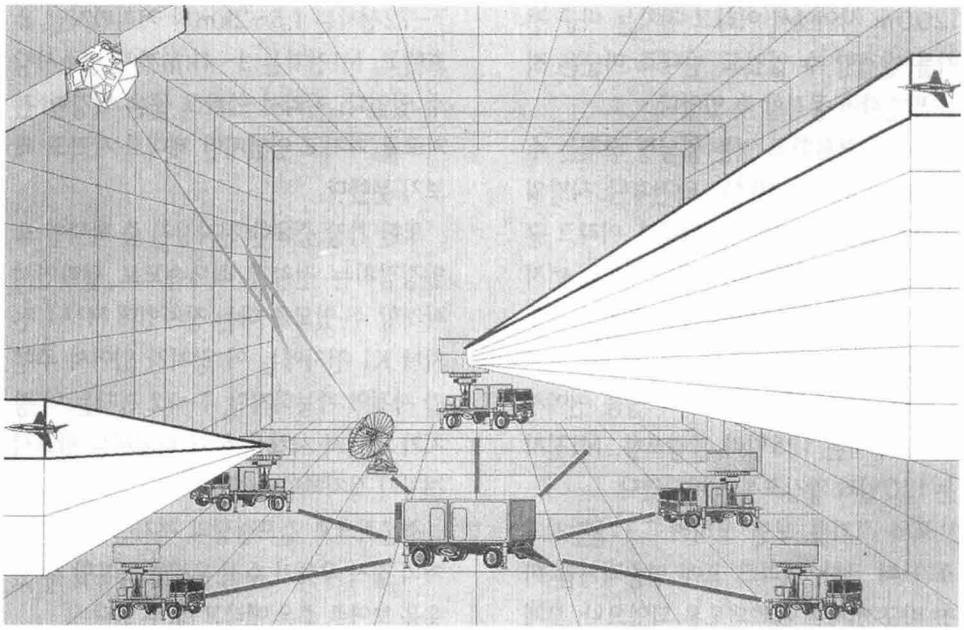
고속도로에서 경찰관이 과속 차량을 단속하기 위하여 사용하는 스피드 건(speed gun)은 어떤 원리로 차량의 속도를 측정할까? 이동하는 물체의 속도는 「도플러 효과」(Doppler Effect)를 이용하여 측정된다.

도플러 효과란 기적을 울리며 달려오는 기차의 기적소리는 진동수가 높게 들리고, 반대로 기적을 울리며 멀어지는 기차의 기적소리는 진동수가 낮게 들리는 현상을 설명할 때 흔히 인용되어 진다.

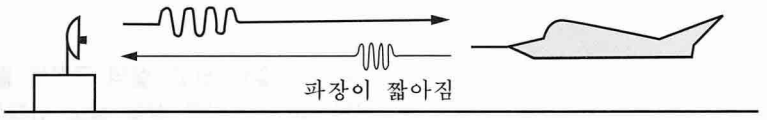
이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$f = f_s \left(\frac{u}{u - v_s} \right)$$

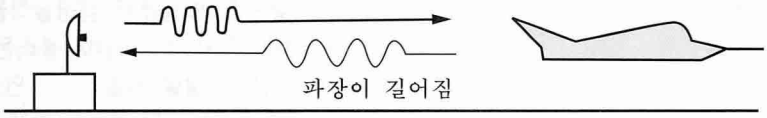
여기서 f=관측자가 듣는 기적소리의 진동수, f_s =기차가 내는 기적소리의 진동수, u=음속(소리의 전파 속도), v_s=기차의 속도



레이더를 이용한 물체의 이동 속도 측정



(a) 접근하는 표적



(b) 멀어지는 표적

(관측자에게 가까이 올 때의 속도를 +로 하고, 멀어질 때는 −로 함)를 각각 나타낸다.

이는 위의 그림과 같이 표적의 이동속도에 따라서 수신된 전자파의 진동수가 변한다는 원리인데, 만일 표적이 레이더 쪽으로 접근하고 있다면 수신된 전자파의 진동수는 높아지고, 표적이 레이더로부터 멀어지면 반사파의 진동수는 낮아지는 것이다. 만일 표적이 빠른 속도로 레이더 쪽에 접근하면 반사된 전자기파의 진동수는 더욱 더 높아진다.

고속도로에서 과속 차량을 단속하는 경찰관이 사용하고 있는 '스피드건'도 같은 원리를 적용하는 장비이다.

스피드건은 야구에서 투수가 던진 공의 속도나 자동차의 과속여부를 측정하는데 주로 쓰인다. 휴대할 수 있고 조작하는 방식이 권총과 비슷하여 'gun'이라는 이름이 붙여졌다.

측정 원리는 앞서 설명한대로 전파(마이크로파)의 도플러 효과를 응용한다. 즉 마이크로파를 이동하는 물체에 쏘아 그 속도에 대응하여 생기는 주파수의 변화를 측정하여 디지털방식으로 속도를 표시한다.

마이크로파를 사용하므로 부근 지역이 전파 방해 등의 피해를 입을 수도 있다. 어떤 운전자는 경찰관이 발사하는 스피드건에서 나오는 마이크로파를 탐지하는 장치(detector)를 가지고 다니면서 경찰관의 단속을 피하기도 한다.

만일 표적이 지상에서 이동하고 있다면 지상의 건물이나 수목 등으로 인하여 상황은 매우 복잡하게 된다. 이런 상황에서 레이더를 이용하여 표적을 찾아내는 것은 마치 매우 복잡한 거리에서 어떤 사람을 찾아내는 것만큼 어려운 것이다.

특히 앞서 설명한대로 긴 파장을 사용하는 레이더의 경우에는 짧은 파장을 쓰는 레이더에 비하여 표적과 표적간의 구별이 잘 되지 않는다. 그러므로 지상에 있는 표적을 탐지하기 위해서는 짧은 파장을 쓰는 레이더가 요구되는 것이다.