

## 레이더

李元吉

(正會員)

大田機械廠

## 요약

전술 목적으로 세계 각국의 군에서 많이 사용하고 있는 레이더에 대하여, 그동안의 발전 과정을 고찰해 보고, 현재 각국 군에서 운용중인 레이더를 사용 목적별로 분류, 설명했으며, 2000년대를 향한 앞으로의 기술적인 발전 방향을 검토해 보았다.

레이더의 발전 역사를 초창기, 1940년대, 1950년대, 1960년대, 1970년대, 1980년대 별로 분류하여, 각 연대 별로 레이더에 관련된 기술이나 주요 개발 내용을 기술 했으며, 현재 사용중인 레이더를 지상 레이더, 함정 레이더, 항공기 레이더, 비 군사적 사용 분야별로 나누어 검토해 보았다. 그리고 끝으로 레이더의 기술적인 발전 방향을 레이더의 체계, 안테나, 송수신기, 신호처리 분야별로 핵심기술의 발전 추세를 개괄적으로 분석, 기술하였다.

\* 본 논문의 장비 특성은 JANE'S Weapon Systems (1985~86판)을 참고하였다.

## I. 서 언

1888년 독일 물리학자 Heinrich Hertz 가 레이더의 기본 원리인 전자파의 반사 성질을 시험한 지가 올해로서 100년이 지났다. 그동안 레이더는 군사적 필요성과 관련된 기술의 급속한 발전에 힘입어 많은 변화를 가져왔다.

초창기, 레이더는 군사용 목적으로 연구개발 되었으며 이차 대전 당시 일본 항공기의 진주만 기습 공격을 가장 먼저 탐지한 사실은 그 당시 육안에만 의존해 오던 탐지 수단을 전자파(electromagnetic wave) 라는 매개체를 사용하여, 인간의 능력을 초월하여 물체를 감지 할 수 있는 하나의 큰 혁명으로 볼

수 있으며, 군사적 필요성을 입증한 최초의 좋은 예로 볼 수 있다.

그 이후 레이더는 전술 무기의 “눈”으로써 전쟁 승패의 중요 요소로 인식 되었기 때문에 선진제국은 레이더 연구에 많은 예산과 인력을 투입 하였으며, 그 결과 100년의 짧은 역사이지만 획기적인 발전을 거듭하여 광범위한 영역에서 적용되고 있다. 따라서 최근에는 레이더(RADAR : radio detection and ranging)의 본래 사용 목적인 “전자파를 사용하여 목표물을 탐지하고, 거리를 측정 한다”는 의미가 현재 레이더 사용 영역에 비할때 극히 적은 일부분 임을 실감케 한다.

레이더는 멀리 떨어진 물체를 탐지하는 여러가지 수단중 표적에서 발생하는 신호에 의존하여, 탐지하는 수동 센서와는 달리 전자파를 표적에 발사하여, 반사된 신호로 표적을 탐지하는 능동센서이기 때문에 표적의 상태나 주위의 조건에 별로 상관 없이 신뢰성 높은 탐지가 가능하다. 따라서 개발시에는 필요로 하는 표적의 정보와 대상 표적의 탐지 난이도에 따라 사용 주파수, 송신 출력, 신호파형, 안테나 형태, 신호처리기법등 많은 요소들을 적절히 조정하여, 그 상황에 알맞는 최적의 성능을 가진 레이더를 설계하고 있다. 그러므로 이들 요소들의 복잡한 조합(combination)에 의해서 여러가지 형태의 레이더가 개발될 수 있다.

여기서는 레이더에 대해 평소 접하실 기회가 적으신 분들을 위하여 레이더가 그동안 발전해 온 역사, 레이더의 응용분야 그리고 앞으로의 발전추세에 대해 군용 레이더를 중심으로 간단히 소개 하고저 한다.

## II. 레이더 발달사

## 1. 초창기

여기서는 레이더의 이론 정립 시기부터 처음 레이더가 실전에 배치 운용될때 까지의 기간을 중심으로 관련 기술들의 주요 발표 일정과 레이더 개발내용을 정리해 보았다.

○ 1886 - 1888년

Heinrich Hertz 가 전자파의 방사, 수신 및 반사에 대한 실험 실시<sup>[1]</sup>

○ 1903 - 1904년

Christian Hulsmeyer 가 레이더의 원리를 사용한 선박 충돌 예방에 대한 연구 및 실험<sup>[2]</sup>

○ 1922년

M. G. Marconi 가 선박 충돌 예방에 Angle-only 레이더 응용 방법을 제의

○ 1925년

이온층에서 반사되어 수신된 단파를 음극선관상에서 Johns Hopkins 대학의 G. Breit 와 M. Tuve 가 처음으로 관측

○ 1934년

미 해군 연구소(Naval Research Lab.)의 R. M. Page 에 의해 항공기로부터 반사되어 수신된 신호를 처음으로 촬영 성공<sup>[3]</sup>

○ 1935년

영국과 독일에서 펄스파를 사용하여 항공기의 거리를 측정하는 실험 실시

○ 1936년

미 육군에서 레이더에 대한 야전 운용실험 실시<sup>[4]</sup>

○ 1937년

Sir Robert Watson-Watt 가 군에서 운용 가능한 레이더 장비 설계<sup>[4]</sup>

○ 1938년

미 해군 함정 New York 호에 함정 레이더(XAF)를 설치 운용. 레이더의 탐지능력은 수상표적 12Km, 항공기 85Km<sup>[5]</sup>

○ 1939년

영국에서 고효율의 공동 공진기(cavity-resonator)인 마그네트론 개발 성공

1930년대에는 미국, 영국 이외에 프랑스, 소련, 독일, 일본 등에서도 레이더 개발 연구에 많은 노력을 기울여서 여러 종류의 레이더를 생산한 실적이 있다.<sup>[6,7]</sup>

이 당시 레이더에 사용된 주파수는 진공관 기술의 제약으로 인하여 VHF 대 및 UHF 대를 이용하였다. 따라서 빔폭이 넓어 표적의 탐지 정확도와 분해능이 좋지 않았으나 전천후 탐지능력의 특성을 가진 레이

더는 전술적으로 그 중요성을 인정 받아 군사 목적으로 사용되기 시작했다.

## 2. 1940 년대

영국에서 마그네트론의 개발로 레이더 사용 주파수를 X 밴드(파장 3cm) 까지 높일 수 있었기 때문에 좁은 빔폭의 레이더 개발이 가능했고, 높은 주파수 사용으로 인해 안테나를 소형화 할 수 있어 항공기에도 탑재 가능한 레이더를 개발하기 시작 하였다.

특히 이차대전이 진행중이었기 때문에 레이더 개발이 더욱 가속화 되었다. 그 예로 미국은 S 밴드(2.7-2.9GHz)의 더공추적레이더 SCR-584 를 개발하여 2,000 대 이상이 주문 생산 되었고,<sup>[8]</sup> 항공기용 레이더 SCR-720 은 D 데이(1944. 6. 6) 까지 수천대가 생산 배치 되었으며,<sup>[9]</sup> X 밴드(9375MHz) 고공 폭탄 투하용 레이더, AN/APQ-7 이 개발 되었다. AN/APQ-7 은 전쟁이라는 특수 상황이 아니면 도저히 개발될 수 없었던 최신 기법을 적용한 레이더로서, 40,000피트 상공에서 전천후로 폭격이 가능하도록 특수한 위상배열 안테나를 사용 했으며, 1943년 6 월 완전 개발에 성공하여 1660대가 주문 되었다.<sup>[9]</sup>

또한 해군용 레이더, ASB 는 UHF 밴드(515MHz)를 사용했으며, 1942년부터 3 년 동안 26,000대가 주문생산 되었다.<sup>[9]</sup>

1940년대 초 미국과 영국이 심혈을 기울여 레이더 연구개발에 박차를 가하고 있을때 독일은 단시간 내에 전쟁에서 승리할 수 있다는 확신 때문에 레이더 연구개발을 등한시 하였다가, 1943년 초가 되어서야 레이더 기술이 연합군 측에 비해 낙후 되었음을 느끼고, 개발 노력을 집중 하였으나 연합군의 기술을 능가하기에는 역 부족이었다.<sup>[10]</sup>

소련도 이차대전중 VHF 대의 레이더인 RUS-1,2 를 독자개발하여 사용하였으나, 레이더의 개발, 생산의 중심지인 레닌그라드가 독일 침공으로 파괴되어 상당기간 개발 생산이 지연 되었다. 그러나, 전쟁이 종반전에 들어가면서 이 지역이 복구되어 다시 레이더를 개발, 생산하여 수백대를 실전에 배치 운용하였다.<sup>[6]</sup>

또한 이 기간중 이동표적만 전시되게 하는 MTI (moving target indicator) 기법과 한개의 수신신호에 대하여 입력 방향의 크기를 비교함으로써 각도 오차를 산출하여 표적을 추적하는 모노펄스 기법이 연구 되었다. MTI 기법은 육지나 바다로부터 수신되는 불필요한 반사 잡음 속에서 움직이는 물체만을 찾아

내기 위해 고안된 기법으로 그 동안 아나로그 방식을 사용했지만, 최근에는 디지털 방식을 사용하여 그 성능을 향상 시키고 있다. 또한 모노펄스 추적기법은 추적용 레이더에 사용하는 기법으로 추적 정확도가 높고, 특히 적의 방해 전파에 대해 강한 일면을 가지고 있어, 현재에도 추적 레이더에 많이 사용되고 있다.

3. 1950년대

이전에는 주로 기술자의 경험, 판단 및 자신의 전문 지식에 의존하여 레이더를 설계, 제작하여 왔었는데, 1950년대에 와서는 그 동안 비밀로 분류되었던 레이더 이론들이 일부 공개됨에 따라 이론적인 배경하에 레이더를 설계, 제작 할 수 있게 되었다. 이 기간에 발표된 주요 레이더 이론들을 종합해 보면 아래와 같다.

1) Matched filter

수신기의 필터 형태를 레이더 방사 신호에 맞게 설계, 제작하면, 표적 탐지능력을 극대화 할 수 있다는 이론으로 D. O North에 의해 연구 되었으며, 1943년까지 이 연구보고서가 비밀로 분류 되었다.<sup>[11]</sup>

2) 표적 탐지 이론

통계학적 견지에서 레이더의 탐지 이론을 전개했으며, 탐지 확률, 오경보율(잡음을 표적으로 잘못 인식 하는 확률)과 레이더의 수신 신호대 잡음 비율의 관계를 연구한 것으로 J. Marcum에 의해 발표 되었다. J. Marcum의 보고서는 1960년까지 미국내의 일부 제한된 사람에 한해 열람이 허용되었다.<sup>[12]</sup>

3) Ambiguity diagram

레이더에 사용하는 신호 파형에 따라 탐지되는 표적의 거리, 속도에 대한 정확도를 예측 하는데 사용되는 이론으로 P.M. Woodward에 의해 연구되었다.<sup>[13]</sup>

4) MTI 이론

MTI 레이더는 1940년대에 소개 되었지만, MTI 레이더의 확고한 이론 정립은 1954년도에 정립 되었다.<sup>[14]</sup> 본 보고서도 비밀로 분류 되었다가 평문화 되었지만, 본 이론이 실제 레이더에 적용할 수 있게 된 것은 acoustic delay line 이 디지털 회로로 교체될 수 있었던 1960년대에서 가능했다.

또한 이 기간 동안 연구개발된 레이더 장비를 중심으로 기술적인 발전사항을 살펴보면, 사용 주파수가 마이크로파 영역에서 다시 VHF와 UHF대로 되돌아 가는 경향이 있었다. 그 이유는 장거리 표적(항

공기, 탄도유도탄등)을 탐지하기 위해서며, 달, 금성의 표면까지 탐색할 수 있는 고 출력의 거대한 안테나를 가진 레이더가 등장 하기도 했다.

또한 고성능의 모노펄스 레이더가 1940년대 연구된 이론을 배경으로 새롭게 연구, 개발 되었다. 이 개발된 장비(AN/FPS-16)는 추적 정확도(각도)가 0.1 mil 이나 되어 현재의 발달된 기술로써도 달성하기 어려운 좋은 성능을 가졌다. 그리고 고출력 증폭관인 클라이스트론이 시기에 등장하여 20MW 정도의 고출력을 낼 수 있는 S 밴드의 레이더가 개발 되기도 했다.<sup>[15]</sup>

또한 펄스 압축 기법을 레이더에 적용하여 고전압 펄스의 문제점을 저전압의 긴 펄스를 사용하여 해결 하면서, 짧은 펄스의 좋은 분해능을 얻을 수 있게 되었으며, SAR (synthetic aperture radar) 가 개발되어 고공에서 레이더로 지상의 형태를 일기에 관계 없이 도면화 할 수 있게 되어 중요 군사 정보로 활용하게 되었다(그림 1).

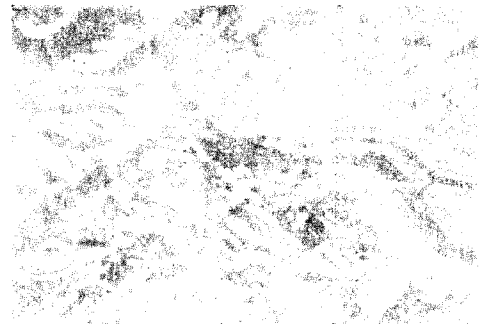


그림 1. SAR 의거 도면화된 지형

4. 1960년대

이 기간에 디지털 기술의 발달로 레이더 신호처리 에 사용되는 대부분의 부품이 디지털 부품으로 바뀌 어졌고, 항공기 레이더에도 움직이는 물체만 나타나는 AMTI (airborne MTI) 기법이 성공했다. 이 AMTI 기법은 이차대전중 일부 시도한 바 있으나, 고속 이동 물체인 항공기에서 자연적으로 발생하는 도플러 주파수 변위, 클러터의 도플러 스펙트럼의 변위 등에 대해 보상해야 하는 어려운 문제들이 풀리지 않아, 20년 동안이나 이를 해결하기 위해 노력한 결과, 클러터가 비교적 적은 해상에서 겨우 이동 물체의 식별이 가능해 졌고, 10년을 더 연구하여, 1970년이 되

어서야 육상에서 이동 물체의 식별에 성공하게 된다.

또한 1950년대 말부터 등장하는 인공위성을 추적하기 위해 대형 안테나를 가진 장거리 레이더가 개발되었고, 수평선 밖에 있는 표적을 탐지하기 위해 HF대를 사용한 OTH(over-the-horizon) 레이더가 등장하게 되어 2,000마일 밖의 항공기, 함정, 탄도 유도탄을 탐지할 수 있게 되었다.

전자식 스캔이 가능한 위상배열 레이더가 실제 함정에 설치되고, 공군에서는 위성 추적 레이더도 사용하기 시작했다. 또한 이 기간 동안에는 대전자전기법이 레이더 설계시 많이 고려되어 사용 주파수 폭을 넓히고, 안테나의 부엽을 최소로 줄이고, 전쟁시 사용할 예비 주파수를 별도로 보유하며, 탐지와 추적 레이더에 사용하는 주파수를 다르게 하여, 적의 재밍을 어렵도록 하였다. 그리고 coaxial 마그네트론이 개발되어 주파수 안정도를 높일 수 있게 되어, 재래식 마그네트론이 대부분 교체 되기도 했다.

#### 5. 1970년대

1960년대부터 등장하기 시작한 디지털 신호처리 기술이 더욱 발전되어 디지털 MTI 기법에서 많은 수의 펄스를 사용하여 원하는 MTI도플러 필터 특성을 나타낼 수 있게 되고, staggered PRF(pulse repetition frequency) 하에서도 MTI 기법이 실제 응용될 수 있게 되었다. 또한 SAR에 디지털 신호처리 기법을 적용하여 항공기가 비행하면서 실시간 자료처리를 하여 항공기에서 지상의 형태를 도면화 할 수 있게 되었다. 그리고 저잡음 증폭기가 개발되어 20여년간 사용해 왔던 트래지스터 증폭기를 대체 하였으며, 압축 펄스를 이용한 고 해상도 레이더에 SAW(surface-acoustic wave) 장치를 사용함으로써 펄스폭을 압축하여 nano-second까지 줄일 수 있게 되었다. 또한 AMTI가 개선되어 육상의 이동물체를 항공기에서 탐지할 수 있게 되었고, 미 공군기 E3(AWACS)에 펄스 도플러 레이더를 설치 운용하게 되었다.

한가지 흥미로운 일은 월남전에서 지하 동굴을 찾을 때, 넓은 밴드의 VHF 레이더를 사용 했는데, 여기에 사용된 레이더 기술로써 지하에 설치된 파이프나 전선을 찾는데 알맞는 장비를 개발하여 사용하고 있다는 것이다.<sup>14)</sup>

우주과학과 관련하여 레이더는 아폴로 우주선이 달에 착륙할때 고도를 측정하고, 달 표면의 상태를 확인하는데 사용 되었으며, 미 공군에서 알류산 열도에 설치한 Cobra Dane 레이더는 고 분해능을 가진

위상배열 레이더로써 탄도 유도탄의 재진입을 관측하고, 추적할 수 있게 설계되어 있다.

#### 6. 1980년대

현재까지 나타난 1980년대의 레이더의 주요 발전 추세를 정리해 보면 위상배열 안테나를 사용하는 레이더가 많이 등장하고 있으며, 대표적인 예를 들면 미 육군의 Patriot, 미 해군의 Aegis, 미 공군의 B-1B 위상배열 레이더등이 있다. 또한 반도체 송신기를 연구개발하여, 그 사용 범위를 L밴드까지 확장하고 있으며 위상배열 안테나와 같이 응용되고 있다. 즉 미 해병대의 AN/TPS-59, 미 공군의 AN/FPS-117, Pave Paws, 미 해군의 AN/SPS-40 등이 이에 속한다. 레이더의 발전추세는 제 IV장에서 다시 언급하기로 한다.

### Ⅲ. 레이더의 종류

현재 사용되고 있는 레이더의 종류는 사용 목적에 따라 천여종이 넘고 있다. 여기서는 군용 레이더를 중심으로 비슷한 특성 및 용도 별로 몇개의 그룹으로 나누어 설명하고자 한다.

#### 1. 지상 레이더

##### 1) 대인(전장) 감시 레이더

움직이는 사람, 차량, 보트등을 탐지 또는 감시하는 목적으로 개발된 레이더로써 이동물체 탐지시 자동경보 기능을 보유하고 있으며, 탐지거리는 일반적으로 사람이 1,500 m, 차량이 3,000m 정도이고, 무게는 약 10kg 내외임.

##### 2) 대박/대포병 레이더

포탄이나 로켓트의 탄도를 레이더로 추적하여, 이들의 발사 위치를 계산한 뒤, 정확히 적 포대를 공격하기 위해 연구개발된 레이더로써 위상배열 안테나를 사용하여, 수개의 포탄 궤적을 동시에 추적할 수 있다. AN/TPQ-36의 경우 39개의 포탄 추적 가능.

##### 3) 대공 감시 레이더

대공 감시 레이더를 탐지 거리별로 다시 분류하면, 저고도로 접근하는 항공기나 헬리콥터를 탐지하기 위한 단거리용 레이더, 전장감시 목적으로 고공 및 저고도 침투를 감시하는 중거리용 레이더, 조기경보의 임무를 수행하는 장거리용 레이더로 구별할 수 있다. 단거리용 레이더는 주로 산악지형에 사용되며 탐지거리가 10-30km 정도로 LASR, HARD, LAADS 등이 이에 속한다. 또 중거리용 레이더는 평야, 개활

지등에서 주로 사용되며, 탐지거리는 300마일 정도이고, 조기경보용 레이더는 주로 고정된 위치에 설치 운용되며, 항공기, 탄도유도탄 등을 탐지, 경보하는 목적으로, 탐지 거리는 AN/FPS-49 경우 5,000km 정도가 된다.

#### 4) OTH 레이더

전리층 반사를 이용한 OTH 레이더는 주로 수평선 밖의 항공기를 전자적으로 감시하고, 이들 항공기나 순항 유도탄을 탐지 추적하기 위하여 설치, 운용된다. 탐지거리는 AN/FPS-118 경우 최대 2,880 km 정도임.

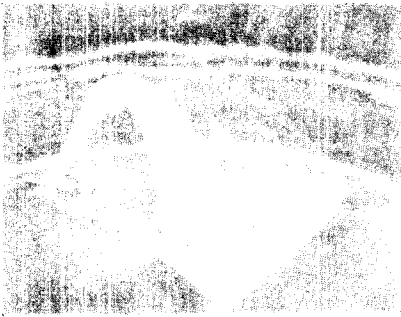


그림 2. OTH 레이더

#### 5) 항공 관제 레이더

항공기 이착륙을 관제하기 위해 사용되는 레이더에는 그 임무상 ASR (air surveillance radar)와 PAR (precision approach radar)로 나눌 수 있다. ASR은 악천후에서도 장거리 탐지능력을 가지고 있으며, ARSR-3 경우에는 2m 항공기를 거리 200마일, 고도 10만 피트까지 탐지할 수 있다. 또 PAR은 이착륙 항공기 각각에 대해 탐지, 추적할 수 있는 성능을 가지며, PAR-80의 경우 위상배열 안테나를 사용하여 방위 스캔 각 30°, 고도 스캔 각 7°로 10 혹은 20 마일 내에서 이착륙하는 항공기를 탐지 및 자동 추적하며, 관제에 필요한 정보를 제공 한다.

#### 2. 함정 레이더

##### 1) 대공 레이더

적 항공기나 전술 유도탄을 탐지하고, 우군기를 유도하기 위하여 대공 레이더가 사용되고 있다. 재래식 대공 레이더는 표적의 방위와 거리만을 알 수 있는 레이더가 주로 사용 되어 왔지만, 최근에는 표적

의 고각 정보까지 제공하는 삼차원 레이더가 많이 등장하고 있다.

##### 2) 대함 레이더

해상 표적이나 저공 항공기, 헬리콥터 또는 잠수함의 잠망경등을 탐색하고, 함정의 안전 운항을 위해 대함 레이더가 주로 사용되고 있다. 또한대함 레이더는 바다에 뜬 표적을 탐지해야 하므로 파도에 의한 해상 클러터를 감소 시키기 위해 많은 연구와 노력을 기울이고 있다.

##### 3) 추적 레이더

탐색레이더에서 탐지된 표적중 사격을 가해야 할 표적에 대해서는 추적 레이더에 표적의 위치를 제공 하면, 추적 레이더는 그 표적을 포착, 추적하면서 사격 통제장치가 필요로 하는 정보를 계속 제공한다. 추적 레이더는 탐색레이더에 비해 표적 정보의 정확도가 높으며, 일반적으로 추적 레이더 한대로는 한 개의 표적만을 추적할 수 있다.

최근에는 TWS (track-while-scan) 기법에 의거 탐색레이더로 탐지와 동시에 추적 기능을 수행하는 레이더도 많이 개발되고 있으며, 위상배열 레이더는 두 개 이상의 표적에 대해 탐지와 추적을 동시에 수행할 수 있다.

##### 4) 다기능 레이더

표적을 탐지, 추적하고, 필요시 적 표적에 대해 유도탄을 발사한 후 유도에 필요한 정보를 제공하고, 발사된 유도탄을 추적하는 등 여러가지 기능을 보유한 레이더가 위상배열 안테나와 최신 신호처리 기술을 이용하여, 연구개발 되어 실제 함정에 설치 운용되고 있다. AN/SPY-1 경우 4 개의 위상배열 안테나 (3.65m×3.65m)를 함정의 전후에 두개씩 설치하여 전방위를 탐색하고, 탐지된 표적을 자동적으로 추적할 수 있으며, 필요시 함 탑재 유도탄을 발사 할 수도 있는 기능을 가지고 있다.

#### 3. 항공기 레이더

##### 1) 사통 레이더 (fire control radar)

항공기에 장착된 유도탄이나 무기를 정확히 발사하기 위하여, 전투기에는 사격 통제용 레이더를 탑재 하고 있다. 이 사통 레이더는 항공기의 요동 (roll/pitch motion) 하에서도 표적을 탐지, 추적할 수 있게 하기 위해서 일반적으로 탐색 패턴이 특별히 설계 되어 있다. 예를 들면, AN/APQ-157 경우 수직 빔 폭이 7° 인 빔으로 수평 탐색을 하면서 상하 3°씩 탐색하는 패턴을 사용한다.

사통 레이더에서는 지시된 표적을 추적하여 사격에 필요한 자원(표적과의 거리, 방위, 거리 변화율)을 유도탄 발사용 지시기나 포 조준경에 전달, 유도탄이나 포가 표적에 정확히 조준, 발사될 수 있도록 한다.

2) 멀티 모드 레이더

적 항공기 요격을 위한 탐색 및 추적 모드, 목표 지점 항법을 위한 ground mapping 모드, 지상 목표물 탐지 모드, 해상 선박 탐색을 위한 모드등 여러가지 기능을 동시에 보유한 레이더가 최근에 많이 개발, 사용되고 있다. AN/APG-67의 경우를 보면 공대공 임무 수행을 위해 3개의 모드가 있고, 공대지 작전을 위해 6개의 모드를 가지고 있다.

3) Side-looking 레이더

이는 전장감시 및 적정 정찰 목적으로 항공기에 탑재 운용되는 레이더로서 SLAR(side-looking airborne radar), SLAMMR(side-looking airborne multi-mission radar), SAR 등이 이에 속한다.

SLAR는 해상의 선박이나 보-트등을 탐색하고, 필요시 구조 활동을 위해 사용되며, 북대서양에서는 빙하의 움직임도 감시한다. SLAMMR는 해상정찰, 국경선 감시 및 mapping, 해난사고 탐색 및 구조에 운용되며, SAR는 주야간 또는 날씨에 관계 없이 고 해상도의 지형 지물을 mapping 하여 전술 및 전략 정보로 이용한다.

4) 조기경보 레이더

전술 지역에서 해상의 선박, 항공기, 적의 방해 전파등을 모두 탐지, 추적, 분류하고, 필요한 조치를 즉각 명령할 수 있는 "날으는 사령탑"인 E-3A(AWACS), E-2C 등에 탑재된 조기경보 레이더는 최신의 기술이 총 망라된 기술의 집합체로 볼 수 있다.

E-3A는 1977년 3월에 미 공군이 처음으로 구입하여 1978년부터 작전에 사용중이며, 현재 E-3B, E-3C로 개조중에 있으며, E-2C에 사용되는 AN/APG-120 레이더는 1977년부터 1984년까지 디지털 AMTI로 개조하고, 안테나의 부엽을 감소시켜, 대전자전 능력을 향상시킨 레이더를 설치 운용하고 있다.

4. 레이더의 비 군사적 사용 분야

레이더는 주로 군사 목적으로 사용되고 있지만, 레이더의 비 군사적 이용 분야도 점차 확대되어 가고 있다. 예를 들면, 원거리 탐색(remote sensing) 수단으로 레이더를 사용하고 있는데 기상예보를 위해 이

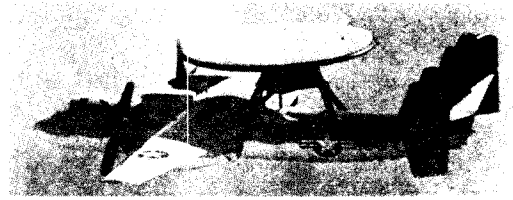


그림 3. E-2C 기 조기경보 레이더

온 층이나 구름의 높이를 관측하고 있으며, 석유 회사들은 미 발견된 유전을 탐사하는데 고 분해능을 가진 SLAR나 SAR를 이용할 수 있으며, 전력 회사는 지하에 매설된 파이프나 전선을 찾는 데 임펄스 레이더를 사용하고 있다(그림 4).

또 선박들은 안전 항해를 위하여 레이더를 사용하고 있으며, 민간 항공기에는 레이더 원리를 이용한 고도계가 부착되어 있고, 공항에는 항공기 이착륙을 위해 항공 관제 레이더가 운용되고 있다. 그리고 가깝게는 교통경찰관이 사용하고 있는 속도 감지용 레이더가 있으며 멀리는 우주선의 랑데뷰, 도킹에도 레이더가 사용되고, 우주선의 착륙시 까지 이를 필요로 한다.

이렇게 레이더의 사용 영역은 비 군사적 목적에도 점차 확대 되어 가고 있으며, 기술의 발달에 따라 그 적용 방법은 더욱 다양화 될것으로 판단된다.



그림 4. 지하에 매설된 파이프를 탐사하는 휴대용 레이더

## IV. 레이더의 발전 추세

### 1. 레이더 체계 분야

#### 1) 삼차원 레이더

표적의 방위와 거리만 제공하는 기존의 이차원 레이더에서 표적의 고각까지 알 수 있는 삼차원 레이더의 개발이 더욱 가속화 될 전망이다.

삼차원 레이더에서 특히 대전자전 능력을 향상 시키는 방향으로 주요 기술이 발전 될 것이 예상된다. 예를 들면,

- (1) 세가지 편극(horizontal, vertical, circular polarization)을 무작위로 변화 시키고,
- (2) 안테나의 부엽을 최소화 시키며,
- (3) 전자 스캔 방식을 위상 스캔과 주파수 스캔 방식으로 하여 대전자전 능력을 높이도록 할 것이다.

또한 MMIC(monolithic microwave integrated circuitry) 기술의 발달로 인해 현재 고가인 마이크로 웨이브 회로 부분의 가격이 인하 될 것으로 전망된다.

#### 2) OTH 레이더

레이더 수평선을 넘어 표적을 탐지할 수 있는 OTH 레이더가 전술 및 전략적 필요성에 의거 계속 개발될 전망이다. 이 레이더는 HF대 주파수를 사용하여 이온층 반사를 이용하기 때문에 2,000마일 이상 떨어진 지상 표적도 탐지, 추적이 가능하다.

#### 3) Bistatic 레이더 체계

레이더 송신기와 수신기가 거리상 분리되어 운용되는 것을 bistatic 레이더 체계라 한다. 즉 수신기는 적의 전파 탐지기에 노출되지 않기 때문에 전방에 배치하고, 송신기는 안전한 후방에서 전자파를 발사하여, 적진 가까이에서 수신기로 표적을 탐지, 추적할 수 있으므로 적정을 정확히 파악할 수 있으며, 또 적의 재밍이나 대방사 유도탄(ARM)에 대해 효과적으로 대응할 수 있는 이점이 있기 때문에 앞으로 이 레이더 체계는 전술용으로 많이 개발 운용 될 것으로 판단된다.

### 2. 안테나 분야

#### 1) 전자식 스캔 (electronic steering)

다수의 고속 표적을 동시에 추적해야 하는 현대전에서 기계식 회전 방식의 재래식 레이더는 부적합하기 때문에 전자식 스캔 방식의 안테나가 계속 연구 개발될 것이다.

전자식 스캔 방식은 수많은 안테나 element에서 방사되는 전자파의 위상을 변화 시켜, 전자파 빔을 조종하는 방식으로 Cobra Dane의 경우 수백개의 표적

을 동시에 추적할 수 있는 성능을 보유하고 있다.

#### 2) 부엽(side lobe)의 최소화

적의 재밍이나 대방사 유도탄의 위협을 줄이고, 부엽으로 인한 클러터 신호, 간섭 현상들을 최소화 하기 위해 부엽을 제거 시키는 노력이 계속될 것이다. 현재 실시되고 있는 부엽 최소화 방안은 반사형 안테나의 경우, 안테나를 정교히 설계하고, 제작 하므로써 부엽 감소를 도모하고 있으며, 평판 배열을 사용한 안테나는 수치 제어 공작 기계로 복사소자를 정확히 제작, 가공 하므로써 부엽을 최소화 하고 있다.

앞으로 2000년대 까지는 phase-phase steered array를 사용한 안테나도 array를 적절히 측정, 조정하는 방법이 개발되어 부엽을 최소화할 수 있을 것으로 생각된다.

또한 신호처리 기법을 사용하여 부엽 제거를 시도하기도 한다. 미국 Lincoln Lab. 에서는 이 방법으로 부엽으로 인한 클러터를 감소 시키는데 성공했다. 앞으로 VLSI/VHSIC 등이 기술이 발달되면 이 방법에 의한 부엽 감소 알고리즘이 많이 개발될 것이다.

### 3. 송수신기 분야

#### 1) 반도체화 기술

반도체 송신기를 사용하고 있는 레이더가 증가 추세에 있는데, 그 이유는 반도체를 사용하면 신뢰성이 증가되고, 정비 유지가 용이하기 때문이다. 즉, 수많은 트랜지스터중 몇개가 고장나도 성능은 어느 정도 감소될지 모르나, 장비는 동작될 수 있으므로 신뢰성 면에서 우수하고, 고전압 대신 저전압을 사용하고, 반도체 부품의 크기가 적기 때문에 고장도 적고, 정비하기도 쉽다.

현재 레이더에 사용되고 있는 반도체 부품을 형태상 두가지로 분류할 수 있는데, 트랜지스터, 다이오드, 저항, 콘덴서, 인덕터 등으로 나누어진 discrete-반도체 형과 집적회로로 구성된 MMIC 형이 있다. 이들 형태에 대한 기술의 발전 경향을 아래에서 좀 더 검토해 보기로 한다.

#### 2) Discrete 반도체 기술

반도체 송신기, 저잡음 증폭기, 위상변위기를 합쳐 한개의 송수신기 모듈을 만들어 위상배열 안테나에 부착 시키면, 안테나에 송수신기까지 포함되어 있으므로 송수신 신호 감쇄가 기존의 방식(송수신기와 안테나가 분리된 형태)에 비해 감소되고, 장비가 소형화 되며, 신뢰도도 증가된다. 따라서 앞으로 기존 레이더를 이 방식으로 개조 시키는 방향으로 이

기술은 발전 될 것으로 기대된다. 다만 사용되는 트랜지스터가 아직 고 출력을 낼 수 없기 때문에 적용 장비에 한계가 있지만, 반도체 기술의 발달에 따라 머지 않아 이 문제도 해결 되리라 본다.

### 3) MMIC 기술

MMIC는 마이크로 웨이브 부분을 집적회로로 만든 것으로 한개 이상의 전력 증폭기, 저잡음 증폭기, 위상변위기, 송수신 전환 스위치등이 각각 한개의 IC칩으로 구성된다. 이런 IC들이 몇개 모여서 한개의 송수신기 모듈을 구성하기 때문에 크기와 무게를 줄일 수 있고, 가격도 감소 시킬 수 있다.

MMIC를 사용한 레이더로는 Raytheon사가 개발한 10Watt 출력의 S밴드 레이더(6개의 MMIC로 구성된 송수신기 모듈 사용) 및 1Watt 출력의 L밴드 레이더(3개의 MMIC로 구성된 송수신기 모듈 사용)가 있다. 이 외에 많은 회사들이 다투어 MMIC기술을 개발하고 있기 때문에 금세기 말경에는 array를 사용하는 레이더들이 MMIC로 구성된 송수신기 모듈을 사용하여 개발, 생산될 것으로 추측 된다.

## 4. 신호처리 분야

### 1) VLSI/VHSIC 기술

반도체 기술의 발달로 VLSI(very large scale IC) 및 VHSIC(very high speed IC)를 신호처리에 사용할 수 있게 됨으로서 레이더 신호를 고속 처리 하여 레이더 성능을 향상 시키고 있다.

특히 이들을 사용하여 프로그램이 가능한 신호 처리기를 금세기 말쯤 개발될 전망이며, 이런 신호처리기를 사용할시 클러터 제거 능력이 향상되고, 적의 방해 전파제거 알고리즘 사용으로 대전자전 능력이 증대되며, 여러가지 표적의 신호 특성을 사용 하므로써, 보다 정확한 표적 식별이 가능해질 수 있다.

그리고 신호처리기의 부품 수가 줄어들게 되어 신뢰성도 향상될 수 있고, 프로그램만 바꾸면 같은 신호처리기를 사용하여도 다른 레이더가 되기 때문에 정비 유지가 용이하고, 장비의 life-cycle 비용이 감소된다. 따라서 이 분야의 연구가 앞으로 더욱 활발히 전개될 것으로 생각된다.

### 2) 신호처리기 구조 기술

현재 사용되고 있는 분산 신호처리기법은 처리시간을 단축시키기 위하여 앞으로 더욱 많이 사용될 것이다. 분산 신호처리기의 구성은 대부분 같은 processing element로 이루어져 있고, 하나의 bus line이나 2-D array bus line을 통해 서로 연결되어 있다.

이들 processing element는 각각 hard-wired multiplier와 ALU(arithmetic logic unit)로 구성되어 있다.

분산처리기는 대부분 동일한 processing element로 되어 있기 때문에 정비유지, 군수지원 면에서 매우 큰 이점을 가지고 있다. 이것은 또 몇개의 예비 processing element를 bus line에 연결시켜 두고, 작동중 고장이 나는 processing element가 있으면 자동 교체토록 하는 방법도 있을 수 있기 때문에 장비의 신뢰성을 많이 높일 수 있다.

또 이와 비슷한 방법으로 systolic-array processor가 있는데 processing element가 bus line에 연결되는 대신에 바로 이웃하는 processing element와 연결되어 있다. 이렇게 하므로써 복잡한 연결상의 문제점을 줄이고, 적은 수의 IC칩으로 장비 구성이 가능하다는 이점이 있다. Matched filter, FFT(fast fourier transform) 계산등은 이 방법을 주로 사용한 다.

그리고 몇 대의 레이더를 fiber optic으로 서로 연결하여 사용 하므로써 탐색 범위를 넓히고, 대전자전 능력을 강화시키며, 신호처리를 중앙에 집중 시키므로써 고장에 대비하여 신뢰성을 높이게 하는 방안이 연구되고 있으며, 저전압용 평면 레이더 전시기가 머지 않아 등장될 것으로 보인다.

## V. 결 언

레이더는 최초 군사 목적에서 개발이 시작되어 지난 50여년 동안 주로 군사용으로 발전되어 왔다. 그동안 관련 기술의 발달과 대응 표적의 성능 변화로 여러가지 형태의 레이더가 연구개발 되어 운용되어 왔다. 레이더는 전술상 필수적인 센서로 그 임무는 더욱 다양해지며, 보병에서 우주선에 이르기까지 그 적용 범위와 소요는 더욱 증대될 것이다.

이러한 군사 목적상 필요에 의해 최초에는 레이더 생산국이 몇 개국이 불과 했었는데 현재는 20여개국 이 약 1,100여종의 레이더를 개발, 생산하고 있다.

또한 레이더는 초신 기술의 종합체이며, 개발 생산된 장비는 부가가치가 매우 높고, 이 기술들이 마이크로웨이브 통신, 선박 항해용 장비, 전자전 장비, 제어용 센서등의 개발, 생산에까지 적용되는 등, 기술적인 파급 효과도 매우 크기 때문에 선진국에서는 자국의 군사 목적 뿐만 아니라 외국에 장비 판매를 위해서 새로운 레이더의 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.



参 考 文 献

- [1] H. Hertz, *Electric Waves*, New York, Dover, 1962.
- [2] "Hertzian-Wave projecting and receiving apparatus adapted to indicate or give warning of the presence of a metallic body, such as a ship or train, in the line of projection of such waves," British Patent 13170 issued to Christian Hulsmeyer, Sept. 2, 1904.
- [3] L.A. Gebhard, "Evolution of naval radio-electronics and contributions of the Naval Research Laboratory," Naval Res. Lab. Rep. 8300, 1979, Washington, DC. Library of Congress Catalog Number 79-600083.
- [4] H.E. Guerlac, OSRD Long History, vol. V, Division 14, "Radar," available from office of Technical services, U.S. Department of Commerce.
- [5] D.K. Allison, "New eye for the Navy: The Origin of Radar at the Naval Research Laboratory," Naval Res. Lab. Rep. 8466, Washington, DC, Sept. 28, 1981.
- [6] M.M. Lobanov, "Out of the past of radar," MOSCOW, USSR: Military Publisher of the Ministry of Defense, 1969.
- [7] A. Price, *Instruments of Darkness*, New York, Charles Scribner's Sons, 1978.
- [8] "Summary Technical Report of Division 14, NDRC, vol. 1, Radar: Summary Report and Harp Project," Office of Sci. Res. Devel., Washington, DC. 1946.
- [9] "Summary Technical Report of Division 14, NDRC, vol. 2, Military Airborne Radar Systems, Office of Sci. Res. Devel., Washington, DC. 1946.
- [10] "Intelligence information on RCM effectiveness in the E.T.O.," Rep. 1045-MR-15, Office of Sci. Res. Devel., Washington, DC. June 16, 1945.
- [11] D.O. North, "An analysis of the factors which determine signal/noise discrimination in pulsed-carrier systems," RCA Tech. Rept. PTR-6C, June 25, 1943. Reprinted in proc. IEEE, vol. 51, pp. 1016-1027, July 1963.
- [12] J. I. Marcum, "A statistical theory of target detection by pulsed radar," *IRE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-6, pp. 159-267, Apr. 1960.
- [13] P.M. Woodward, *Probability and Information Theory, with Application to Radar*. New York, McGraw-Hill, 1953.
- [14] R.C. Emerson, "Some pulsed doppler, MTI, and AMTI techniques," Rand Corp. Rep. R-274, Mar. 1954.
- [15] M. Chodorow, E.L. Ginzton, I.R. Neilson and S. Sonkin, "Design and performance of a high-power pulsed klystron," *Proc. IRE*, vol. 41, pp. 1584-1602, Nov. 1953.
- [16] H.F. Harmuth, *Nonsinusoidal Waves for Radar and Radio Communication*, New York, Academic Press pp. 31-46. 1981.
- [17] M.I. Skolnik, "Fifty years of radar," *Proc. IEEE* vol. 73, pp. 182-197, Feb. 1985.
- [18] JANE'S Weapon Systems, 1985-1986. \*

◆ 用 語 解 說 ◆

레이더 주파수 대역

제 2 차 세계대전시 암호기호에서 유래되어 사용되기 시작한 레이더 주파수 대역에 대한 기호는 그동안 주파수 수치 대신 편리하게 사용되어 왔다. 그러나 레이더 주파수 사용 영역이 확장됨에 따라 Ka 밴드 이상의 주파수에 대한 기호 지정도 필요하게 되어, 미 정부는 새로운 기호를 제정하여 발표하였다. 현재는 두가지 기호를 혼용하고 있으나, 점차 새로운 기호로 바뀌어져 사용될 것이다.

구명칭	HF	VHF			UHF	L	S	C	X	Ku	K	Ka			
파 장	30m	10m	3m	60cm	30cm	15cm	10cm	7.5cm	5cm	3cm	1.5cm	7.5mm	5mm		
주파수	10MHz	30MHz	100MHz	0.5	1	2	3	4	6	8	10	20	40 60		
신명칭	HF	VHF	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M