

초청논문

레이다의 역할과 발달 전망

이 용 희

국방과학연구소

요 약 문

기습이란 공격개념이 전쟁의 역사를 장식해 왔으며 현대전에서는 공중공격이 가장 효과적인 기습수단으로 사용되고 있다. 공중 공격에 대한 구체적 방어수단은 조기경보망과 각종 대공방어무기 체계이다. 레이다는 방공망과 방공무기의 '전천후 원거리 눈'의 역할을 기대하는 목적으로 출발하고 발달하여 왔다. 레이다 기술은 그 시대의 최신 첨단기술을 가장 먼저 수용하고 또 자극하는 다양한 모습으로 나타나 보인다. 레이다는 가장 막강한 정보수집수단으로 성장하여 군사용뿐만 아니라 민수용으로 그 많은 역할을 해 왔으며 앞으로도 계속될 전망이다. 레이다의 발달에는 항공기 및 공중공격기술의 발전과 밀접한 관계를 가지고 있다. 공간을 날아다니는 것은 무엇이든 레이다의 대상표적이고 위협상황이기 때문이다. 이러한 관점에서 레이다 발달배경, 레이다의 과거와 현재, 그리고 앞으로의 발전방향을 조명해 보기로 한다.

I. 개 요

요즈음 우리는 흔히 '정보화 사회'라는 말을 TV를 통해 또는 신문이나 잡지를 통해 많이 들어왔다. 이 말을 나름대로 받아들일 때는 각자의 상식과 지식을 토대로 해석하겠으나 대개는 정보라는 단어를 아전인수적으로 끌어들이려는 경향이 있다. 우리는 정보라는 단어를 마치도 신세대의 신기한 창

조물인냥 마구 사용하고 있는 혼란한 현실에 직면하고 있다. '초고속 정보고속도로' 또는 '초고속 정보통신망'이라는 말을 앞에 내세워 정보의 유통수단에 정보의 모든 것인 것처럼 생각하기도 한다. 그야말로 정보 마인드는 없는데 기존개념에 대한 용어의 재포장 또는 전공명을 세태에 따라 바꾸는 것이 현실이다. 정말로 정보란 용어를 써야 할 사람은 할 말을 잃게 된다. 아주 옛날부터 누구나 들어왔었던 '아는 것이 힘이다'라는 말이 생각난다. 무엇을 안다는 것인가? 지식과 정보를 안다는 것이 아니겠는가? 그렇다면 정보화 사회라는 것이 특별한 새로운 의미를 지닌 신조어는 아닌 것 같다. 하여튼 지금에 유행처럼 사용하는 정보란 말이 새롭게 포장된 것이든 아니든 그 의미하는 바가 뚜렷하지는 않지만 여러 사람에게 중요하게 느껴지고 받아들이는 것만은 부인할 수 없을 것 같다. 오래 전부터 정말로 정보와 관련되어 있는 레이다 분야의 사람은 레이다의 역할을 설명하는데 혹시 요즈음의 유행에 편승하여 정보라는 용어와 개념에 꿩멘다는 오해를 받을까 오히려 우려되는 점도 있다. 그래도 레이다를 '정보수집의 중요한 수단'의 하나라는 것을 언급하고 싶다. 그 정보수집이 내 손끝이 닿지 않는 곳, 내 눈이 미치지 않는 곳에서 일어나는 것을 이곳에 앉아서도 알 수 있다면 반갑고 신기한 일이 아닐 수 없다. 현대의 과학기술문명을 이룩하는데 인류가 전자기파(전파)를 취급할 수 있고 그것을 이용한다는 것이 얼마나 중요하게 작용했었나를 생각해 보자. 전파의 이용은 인류가 관찰하고 통제할 수 있는

시간과 공간의 영역을 엄청나게 넓힌 것만은 부인할 수 없는 중요한 사실이다. 그 중에서 레이다는 인류가 전자기파를 이용하여 인간의 관측/통제 영역을 주변 손닿는 공간에서 저 높은 하늘로, 다시 지구공간에서 우주공간으로 확대하는데 주역을 하였던 한 공학분야 특히 고유한 국방기술분야라고 말할 수 있다.

레이다 시스템기술과 레이다와 직간접으로 관련된 기술에 대한 발전방향과 동향을 알려면 레이다의 발전사와 발달배경을 빼놓을 수 없다. 현재는 과거의 축적 속에서 존재하며 미래는 과거와 현재의 연장선상에 나타나기 때문이다. 그 다음에 항공기 출현과 발달에서 레이다의 위치를 찾아보고 이 시각으로 레이다분야를 들여다 보자. 그리고 레이다 개발과 관련된 기술은 무엇이며 또 기반기술 및 핵심기술의 발전추세와 동향을 전망하기로 한다.

II. 레이다의 발달배경과 발전사

레이다의 출현배경과 발달의 동기에는 항공기를 빼놓을 수 없다. 항공기의 발달로 전쟁에서의 항공기의 역할이 늘어나고 비중이 커지면서 그에 대한 대응수단으로 레이다가 1930년대에 출현하게 되었고 2차 대전중에는 그 발달속도가 가속화되어 대공방어분야와 항공기 작전분야에서 본격적으로 사용하게 된다. 그 후 동서냉전시대의 무기경쟁이란 국제적 환경에서, 전자기술의 발달은 항공기뿐만 아니라 모든 무기분야에서 고정밀화, 고속화, 그리고 생존성을 추구하게 되자 레이다도 이에 발을 맞추게 된다.

‘항공기와 레이다’는 ‘창과 방패’와 같은 관계처럼 어떤 때는 서로 상대하는 모습으로 어떤 때는 상호협동하는 모습으로 늘 같이 존재한다. 기습공격이 동서고금을 망라한 전쟁의 기본양상이라면 현대전에서 공중공격은 가장 빠르고 효과적인 기습작전이었고 앞으로 그러 할 것이다. 항공기습에 대비하는 조기경보와 방공망 센서는 레이다가 주축을 이룬

다. 따라서 현재 지구상에는 ‘공중을 날아다니는 것이 있으면 그 곳에 레이다 전파가 있다’라고 보면 될 정도에 이르게 된다.

여기서 항공작전과 방공에 관한 몇가지의 역사적 사실을 회고해 보기로 한다.

2-1 제2차 대전 초기의 영국의 전파병기

1940년 8월 독일의 폭격기 1,100여기와 메사슈미트 전투기 900여대가 동원된 영국본토에 대한 공습에서 영국은 스피드파이어 및 허리케인 전투기 600여대로 방어함으로서 독일의 영국 공격의지를 단념시켰다. 이 전쟁에서 영국 비행사의 눈과 신경이 되어 효과적인 요격을 가능케 한 것은 수년간에 걸쳐 사전에 치밀하게 준비한 조기경보 레이다망과 요격관제체계였다. 이 체계는 같은 해 가을에 재개되었던 독일의 야간폭격을 방어하는데에도 성공하였다. 이해의 8~11월 사이 여러 전투에서 독일은 1,733기를 영국은 915기의 항공기를 잃었다. 독일은 영국에도 레이다가 있다고 예측하고 있었으나 그렇게 조직적인 방공망과 지휘체계는 예상밖의 일이었다. 1939년경에 독일은 레이다기술에 있어 가장 앞서 있었다. 그러나 조직적인 방공망과 요격체계를 구축하는데는 영국에 비해 뒤졌거나 동한시켰다고 볼 수 있다. 영국은 그 이후에도 계속하여 독일의 U-보트작전에는 항공기 탑재 대잠레이다, 독일에 대한 공습작전에는 전파항법, 폭격조건장치, 레이다 전자전 등을 개발하여 사용한 결과 이들 전파병기는 전쟁의 승패를 좌우한다는 귀중한 교훈을 얻게 되었다.

영국이 1934년부터 준비한 대공방어 레이다망 개발일지를 정리해 보면 다음과 같다.

- 1934년 11월 티자드(H. T. Tizard) 위원회 (방공에 관한 과학적 조사 위원회)를 구성함.
- 1935년 2월 BBC 다벤트리 송신소에서 파장 50 m의 연속파 전파를 이용하여 항공기를 8 마일 전방에서 탐지하여 영국의 레이다의 아

버지라고 불리우는 왓슨 왓트(Watson Watt)의 제안을 확인함.

- 1935년 6월 펄스 레이더로 64 km에 있는 항공기를 탐지한 결과 레이더는 영국 방공의 유일한 희망이라고 공군에 건의함.
- 1936년 3월 왓슨 왓트를 소장으로 한 레이더 연구소를 바우제이에 설립함.
- 1937년 영국해안을 따라 설치될 방공망 레이더인 체인 홈(Chain Home ; CH) 건설계획을 수립함.
- 1939년 9월 10~20 m 파장을 쓰는 20기의 CH이 동부 및 남해안에 매 80 마일마다 설치함.
- 1940년 7월 CH이 개량되어 100 마일까지의 탐지능력과 방위 및 고도를 측정 가능하게 하였고, 저고도 탐지능력을 보강하기 위해 1.5 m 파장의 체인 홈 로우 (Chain Home Low; CHL) 30기가 50 마일 간격으로 설치된 레이더망을 완공함.

방공망의 구축과 더불어 영국공군은 방공망과 연결된 요격체계도 같은 시기에 개발하여 구축하였다. 이 요격체계란 레이더망을 통한 조기경보를 하고 아군의 요격기를 발진시킨 후 레이더로 측정된 적기 및 아군기의 위치를 투명유리 위에 계속 점으로 표시하여 항로를 그리고 최단시간 안에 아군기가 적기를 요격하는데 유리한 위치에 도달하여 적기를 눈으로 볼 수 있게 무선으로 알려주는 방식이었다. 이 시기를 통해 항공작전에서 방공망 레이더에 대응하기 위한 전자전의 양상이 나타나기 시작했으며 그 때 개발된 전자전기술과 작전의 기본개념은 현대에도 변하지 않았다. 다만 기술이 발전하여 지금은 새로운 모습으로 새로운 국면을 맞이하고 있는 것이다. 2차 대전 후 지금까지 있어온 대부분의 주요 전쟁의 형태는 항공작전과 대공방어와의 대결로 대표된다. 그 예를 들어 보기로 하자.

2-2 이스라엘의 이라크 핵개발시설 공습

1981년 6월 7일 오후 4시 직후에 8기의 F-15와 8기의 F-16은 편대를 이루어 이스라엘의 비르세바 공군기지를 조용하게 이륙하였다. F-16기를 보호하고 이라크의 대공방어시스템을 파괴하는 임무를 지닌 F-15기들은 전파교란장치와 사이드와인더(AI-M-9), 스페로우(AIM-7), 그리고 파이슨(Mk-3) 공대공 유도탄으로 무장하였다. 원자료를 직접 공격할 F-16기들은 각기 2,000 파운드짜리 아이언(Mk 84)이라고 부르는 폭탄을 2개씩 장착하였다. 이 비행기들은 도중에 무선통신도 하지 않은 채 15~30 m의 고도를 유지하면서 햇볕에 달구어진 이라크의 사막위를 어디론가 날아가고 있었다. 항공기내의 관성항법장비에 의해 비행을 계속하였고 도중에 한번의 공중급유를 받았다. 정확하게 목표지점에 도달하기 위해 사전에 이스라엘 요원이 타무즈 17 핵복합시설 지역에 심어놓은 무선표지신호를 따라 비행한 조종사는 5시 33분에 드디어 목표시설을 볼 수 있었다. F-15기들은 F-16기가 공격하는 동안 이 들을 보호하는 임무를 수행하기 위해 고도를 300 m로 높였다. 한편 F-16기들은 다양한 각도에서 목표물을 공격하기 위한 전개를 하면서 30 m 정도의 높이로 날아 올랐다. 폭격은 정확해서 16발의 포탄은 각자의 목표물 중앙에서 4 m이내에서 명중하였다. 저고도 공격에서 폭탄투하한 항공기 자체를 다치지 않게 하도록 High Drag 안정 핀을 달고 또 지연신관을 부착한 폭탄은 목표시설의 콘크리트를 깊숙히 뚫고 들어가 폭발하였다. 조종관을 당기며 조종사는 피어오르는 먼지구름을 힐끗 볼 수 있었다. 사담 후세인이 그렇게 공들여 만들고자 했던 타무즈 17핵복합시설과 오시라크 핵반응로는 거의 완공단계에 와서 물거품처럼 사라지는 순간이었다.

공격이 이루어진 은밀성과 돌발성 때문에 이라크의 대공체계는 전혀 예상치 못한 채 공격을 당했다. 핵시설 주위에 배치되었던 러시아제 대공포(ZSU-23)의 네개의 포열에서는 불을 뿜었지만 이미 레이더는 전파방해를 당해 기능이 마비되었고 사수는 수동작동으로 무턱대고 갈기고 있었던 것이다. 석

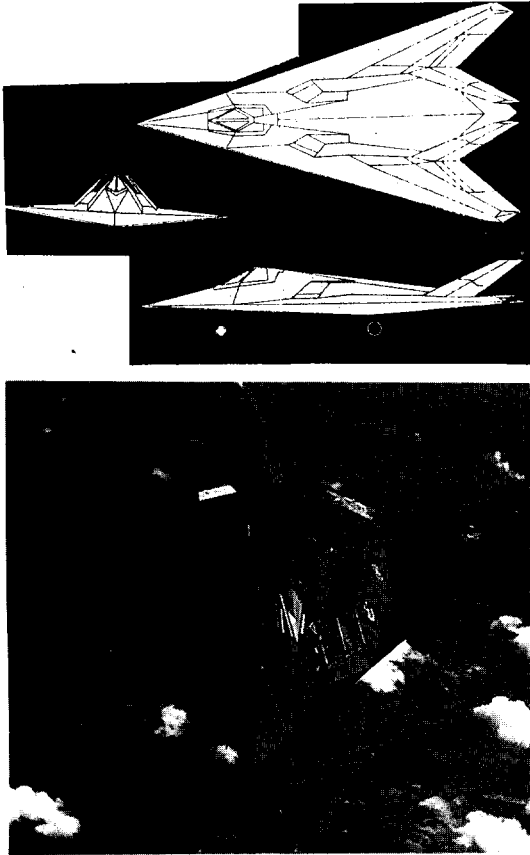
양의 붉은 태양을 배경으로 갑자기 나타났다가 순간적으로 다시 사라지는 비행기를 사수의 눈으로는 도저히 겨눌 수 없었던 것이다. 태양을 배경으로 한 공중공격은 조종사들이 즐겨 쓰는 전술이다.

1980년 9월 30일 이란이 팬텀기를 동원하여 이 시설을 공격했지만 피해가 심하지는 않았었다. 그러나 이라크는 이 핵시설이 공중기습에 약하다는 것을 깨닫고 불란서의 톰슨-시에스에프의 크로테일 지대공유도탄을 발주해 놓는 등의 보호계획을 수립해 놓고 추진시키고 있던 중이었다.

2-3 걸프전

현대전이 대개 그러하듯이 걸프전도 공군작전과 방공작전의 대결이었다. 43일간의 전쟁기간 중 약 38일이 공중을 통한 공격과 이를 방어하는 방공작전이 전투의 핵심과 주류를 이루고 있었다. 1991년 1월 17일 새벽에 시작된 이 전쟁은 전쟁시작 2시간 안에 약 600기의 항공기가 이라크의 방공망과 통신 시설 및 지휘소 등 112개의 목표물에 대한 공격을 감행하였다. 전쟁시작 첫날의 출격회수는 2,400여 회에 달하였고 43일간 총 10만회가 넘는 출격회수에 투하폭탄양은 95,000 톤이고 이 중에서 정밀폭탄과 유도탄은 6,500 톤으로 명중률은 82%를 상회하였다. 이렇게 엄청나게 많은 출격에서 비행기 손실은 겨우 45기에 불과하였으니 무력화된 이라크의 방공망속에서 미국의 조종사들은 마음껏 폭격요리를 즐길 수 있었던 것을 나타낸다. 이런 무자비한 폭격이 가능했던 것은 미국의 막강한 정보수집능력과 이 정보를 작전에 이용하여 적으로 하여금 '정보의 수집과 정보의 흐름을 차단'한다는 작전이 유효했음을 나타낸다. 그러나 한편으로는 이라크가 전쟁에서의 방공망이 차지하는 역할과 비중을 일찍 깨닫고 대비했다면 그렇게 속수무책인 상황까지는 안갔을 것이라는 전망도 해 볼 수 있다. 한방 날릴 주먹, 즉 핵이나 화학무기에만 집착하였지 대공방어에는 등한시한 것이 아닌가? 그렇게 볼 수도 있지만, 이라크는 조기경보 레이다와 바그다드를 중심

으로 방공망에 대공유도탄 및 대공포체계를 연결해 운용하고 있었다. 1967년 6월 6일 전쟁에서 이스라엘의 저고도로 침투한 항공기에 의해 이집트는 초전에 비행기를 띄어보지도 못한채 비행장에서 90여대에 이르는 비행기를 잃고 시나이 반도를 빼앗긴 사실을 누구나 다 알고 있다. 이스라엘 공군기의 저고도 기습작전의 성공은 그렇게 시작되었다. 6일 전쟁 참패 후 이집트는 막강한 대공방어망을 갖춘 방공사령부라는 별도의 조직을 보유하는 계기가 되었고, 1973년 10월 10일 전쟁에서는 그 덕을 톡톡히 보게 된다. 이집트는 쓰라린 역사의 교훈을 받아들인 것이다. 그리고 미국이 리비아의 수도 트리폴리를 공습했을 때 한 나라의 방공망이 어떻게 파괴되는지를 보았을 것이다. 또 이스라엘과 레바논의 전쟁 중 골란고원 베카계곡에서 있었던 항공기와 대공무기와 일전을 알고 있었다. 주변에서 있었던 전쟁으로 대공방어의 중요성을 너무나 잘 알고 있었으나 걸프전 당시의 이라크는 구식인 소련제 대공유도탄체계 SA-2/-3/-6/-7/-8/-9를 기본으로 한 SAM체계가 있었으며 로랜드를 배치하고 있었다. 바그다드 주위는 방공망으로 구축되어 있었다. 그러나 새로 주문한 막대한 양의 신형 방공망체계는 아직 완성되지 않은 채 걸프전을 맞이하였던 것이다. 대공무기 이외에도 이라크는 '살 수 있는 무기는 사오고 살 수 없는 무기를 만든다'라는 기조를 유지한 것 같다. 그래서 이라크는 세계 모든나라에서 살 수 있는 모든 무기를 엄청나게 사들였고 핵, 화학무기, 그리고 이들을 운반할 수 있는 수단인 지대지 유도탄을 개발하는데 총력을 기울였던 것이다. 핵의 개발에는 불란서와 독일의 기술에 의존하였고 유도탄은 이집트와 협력하였다. 그 당시 소련의 국내외적 입장은 군사지원이나 군수지원에 매우 어려운 상황에 있었기 때문에 이 무기들의 가동율에는 한계가 있었다. 그리고 이라크가 보유한 소련제 대공무기는 다른 것들과 마찬가지로 바르샤바조약국 및 중동의 친소국 여러나라에 공급되어 있었기 때문에 그 특성과 약점을 미국은 잘 파악하고 있었다.



[그림 1] 1983년에 실전배치되었고 1991년 걸프전을 통해 널리 알려진 F-117A 스텔드 전폭기의 사진과 외형이다. 레이더에 의해 탐지 당하는 것을 줄이기 위해 삼각형 모양을 기본으로 한 이런 외형을 선택하였고 제트 엔진의 흡입구와 분사구의 위치도 아래에서 보면 가려지게 위쪽으로 배치하였다. 탑재 레이더는 없으며 적외선 카메라가 주 센서이다. 부기는 내장되어 있다.

여러 차례의 중동전을 통해 이스라엘도 소련제 무기를 잘 분석해 놓고 있었다. 특히 대공유도무기는 레이더가 주축이 되어 있으므로 신호노출이 불가피하다. 아군의 레이더 특성을 상대국이 알아내려고 하고 또 알고 있다고 보는 것이 기본이다. 전쟁

시에 적은 평시에 준비해 두었던 데이터와 기술력을 토대로 반드시 상대에게 전자방해(ECM; Electronic Counter Measure)를 한다고 보는 것이 당연한 일이다. 그러므로 방공 레이더는 전자방해에 대한 대책 즉 ECCM(Electronic Counter-Counter Measure)을 강구해 놓아야 한다. 그것도 2중 3중으로 말이다. 그러나 이러한 대책을 강구하는데 있어서, 외국에서 구입하여 배치한 레이더로는 당연히 한계에 부딪친다. 장비의 설계를 자기가 하지 않았으니 마음대로 주무르지 못하고 또 그렇게 허용하지도 않는다. 도입장비의 운용성능 향상과 융통성 부여에는 분명한 한계가 있는 것이다. 이라크도 아마 이런 문제에 봉착하였을 것이다. 정보가 차지하는 중요성과 정보수집이란 특성 그리고 방공망을 비롯한 각종 '무기체계의 눈'으로서의 레이더라는 점을 살펴볼 때 레이더는 외국에 의존할 성질이 아니고 또 의존해서는 안되는 '고유한 국방기술' 분야라는 것을 짐작할 수 있을 것이다.

걸프전을 IEEE Proc. 9월의 특집호에서는, “정보시대의 전쟁”, “위성, 정찰기, 컴퓨터, 그리고 데이터베이스로 이루어진 세계규모의 네트워크가 여러가지 획기적인 병기를 지원하였다”라고 특징지움과 아울러 페리의 “전쟁능력이 양자적으로 비약하여 정보기술에 노력과 비용을 투입하여 전투효과를 올리는 시대로 천이 되었다”라는 말을 인용하였다. 손자병법에 있는 ‘지피지기 백전승’은 동서고금을 통해 변하지 않은 진리이나 지피지기의 수단이 과학기술에 점점 더 많이 의존하고 있고 앞으로는 그 의존도가 더 심해질 것이라는 그런 의미로 해석된다.

걸프전에서 새롭게 영웅으로 떠오른 미국제 병기가 있었다. F-117A 스텔드 전폭기[그림 1]와 패트리엇 지대공 유도탄체계이다. 둘다 방공과 관련되었다는 점에 주목해야 한다. 레이더와 직접 관련된 것이다. F-117A는 첫날밤에 32기가 동원되어 대상목표의 3분의 1을 맡아 그중 90%를 파괴하였다고 전한다. 물론 이 스텔드기는 주 공격기는 아니

다. B-52, F-16, F/A-18, A-6 및 A-7 등의 주 공격기가 안심하고 공격할 수 있도록 안전회랑을 확보하는 임무가 스텔드기에 주어졌다. 개전 초에는 적의 방공망과 방공무기가 살아있으므로 주 공격기의 활동이 자유스럽지 못하다. 따라서 스텔드기와 전파 방해기의 역할이 결정적 역할을 하게 된다. 개전 초에 동원되었던 전자전기는 EF-111기, F-4G, EA-6B 등이었고 고속대방사유도탄도 사용하였다. 통신의 교란에는 EC-130기가 동원되었다. 개전 초에는 공격자의 가능한 모든 공격수단은 방어자의 대공방어체계를 마비시키고 무력화시키는 것에 집중시킨다.

F-117A 스텔드기는 외형상으로 특이한 모양을 하고 있다. 이 형상은 모두 다 레이더 전파를 흡수하거나 레이더쪽으로 전파를 반사하지 않도록 고안된 것이다. 다시 말하면 비행기의 형상과 외피재료, 엔진흡입구의 배치위치와 그물망의 덮개, 무기의 내장 등 모든 부분의 설계철학이 레이더유효반사면적(RCS; Radar Cross Section)을 줄이기 위한 것이며 납작한 잭트배기구와 외피 페인트는 가시광영역과 적외선의 노출을 억제하기 위한 것이다. 이 비행기는 모든 전투기의 기본 센서인 레이더 조차도 달지 않았고 적외선 센서에 의존한다. 방공센서에 노출 당할 확률이 줄어들도록 특별히 전자파의 반사특성을 설계의 최우선 조건으로 하여 개발한 항공기인 것이다. 탐지거리와 RCS와의 관계는 레이더식에서 나타나 있는데 만약 같은 조건에서 레이더의 탐지가 가능한 거리를 반으로 줄이려면 RCS는 16분의 1로 줄여야 한다. 흔히 매스컴을 통해 레이더가 보지 못하는 비행기라고 알려져 있지만 과장되어진 것이고 보통의 레이더로는 볼 수 있는 탐지거리가 줄어드는 효과를 주는 것이다. 레이더의 사용 주파수가 UHF나 VHF대역이면 스텔드 효과가 줄어든다. 이밖에 레이더로 스텔드기를 탐지하는 기술이 몇가지 있다. 장파장 레이더, 레이더망을 구축하는 것, 그리고 바이스태틱 레이더(Bistatic Radar)이다. 무엇이든지 완벽한 것이란 없는 것이

다. 창과 방패와 같이.

또 다른 하나의 주목받았던 병기로는 이라크의 스커드 지대지 탄도탄에 대응하였던 패트리엇 지대공 유도탄 체계였다. 실제의 성과에 대해서는 전쟁이 끝난 후에 많은 논란이 야기되었지만 당시 이스라엘과 사우디아라비아를 향해 날아온 스커드에 대응한 결과 연합군측에는 희망을, 이라크측에는 초조함을 불어넣었던 것이다. 패트리엇의 핵심체계구성품에는 다기능 위상배열레이더 MPQ-53이 있다. 이 레이더는 5,000여개의 페라이트 도파관 변위기로 구성된 주 배열안테나(Main Array)를 비롯한 유도명령송신안테나, 측엽생쇄안테나, 그리고 피아식별(IFF) 안테나 등 모두가 위상배열로 되어 있다. 탐지/추적/유도/조명 기능을 다 함으로 다기능 레이더라고 부른다. 1970년대에 미국의 레이시온(Raytheon)사가 전술급 지대공 유도탄체계에 위상배열레이더를 처음으로 도입하여 실용화한 모델이다.

지금까지 앞에서 언급한 몇가지 전쟁의 단편적 내용은 전쟁의 대부분을 항공전력과 방공전력의 대결양상으로 나타난다는 것을 주지시키고 역사의 교훈을 얻기 위한 예에 불과하다. 그 속에는 레이더라는 전파병기의 위치가 뚜렷하게 자리잡고 있으며 레이더에 대한 개발능력보유와 지속적인 연구는 국가적으로 매우 중요한 과제인 것을 재인식할 수 있다. 레이더가 국가의 방공에 매우 긴밀하게 결합되어 있고 그 중요성을 역사적 조명을 통해 알아 보려는 것이다.

2-4 레이더 발전소사

레이더의 전세계적인 발전 역사를 간추려 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 독일의 물리학자 헤르쯔(Heinrich Hertz)가 1888년에 전자파가 물체에서 반사 한다는 사실을 입증함.
- 1930년대 초반에 비행기의 역할과 비중이 전쟁에서 매우 중요해짐에 따라 레이더 개발의

- 동기를 유발하였고 영국, 독일, 불란서, 미국, 소련, 일본 등의 나라에서 극비리에 연구를 착수함.
- 각국은 전자파로 항공기를 탐지할 수 있음을 통신장비를 개조하여 실험하였음.
 - 1936년 미해군 연구소(NRL)에서 한 개의 안테나를 사용한 200 MHz의 펄스 전파로 항공기를 탐지할 수 있음을 입증함.
 - 1936년 독일에서 375 MHz 주파수를 쓰는 씨타크트(Seetakt)라는 레이더를 그래프 스피(Graf Spee) 전함에 장착함.
 - 1938년부터 영국은 30 MHz대역의 체인홈(Chain Home)과 200 MHz대역의 체인 홈로우(Chain Home Low)라고 부르는 레이더로 이루어진 방공망을 구축하여 1940년 8월의 독일의 공습에서 매우 중요한 역할을 함.
 - 미국에서는 100 MHz의 SCR-270 대공 레이더가 미육군에 의해 제작됨.
 - 1939년 영국에서 고출력 마그네트론이 발명됨에 따라 본격적인 마이크로파 대역의 레이더가 실용화될 수 있는 계기가 마련됨.
 - 1939년에 미국은 마이크로파 대역의 레이더를 개발할 목적으로 MIT Radiation Lab.이 설립됨.
 - 반사식 크라이스트론이 개발되어 수신기를 슈퍼헤테로다인 방식으로 한 결과 수신감도를 좋게 할 수 있었음.
 - 1944년 S-대역의 코니칼 주사(Conical Scan) 방식의 SCR-584레이더가 배치되어 대공화기의 정밀도를 획기적으로 향상시킴.
 - 모노펄스 추적개념인 AN/FPS-16 정밀 추적 레이더에 적용됨.
 - 1940년대 후반에는 MTI(Moving Target Indicator)기술이 많이 진전하였음.
 - 1950년대 후반에는 VHF 및 UHF 대역의 대형 방공망 탐색 레이더가 개발되어 배치됨.
 - 펄스 도플러 레이더(Pulsed Doppler Radar)가 항공기 탐재 레이더의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있음을 입증함.
 - 1950년대에 레이더 탐지이론이 정립됨.
 - 고출력 크라이스트론 증폭기가 레이더에 사용됨.
 - 합성개구면레이더(SAR)가 처음으로 가능성이 입증됨.
 - 1960년 중반에 AMTI기술이 적용된 레이더가 미해군의 E-2A기에 장착되어 배치됨.
 - OTH(Over-the-Horizon) 레이더가 출현함.
 - 1960년대 초반에 ATRC(Air Traffic Control Radar)가 개발됨.
 - 위성 탐지레이더인 UHF 대역의 위상배열레이더 AN/FPS-85가 설치됨.
 - 1960년대 후반에는 디지털 MTI의 연구가 착수되어 컴퓨터를 레이더에 본격적으로 응용하기 시작함.
 - 1970년 초반에는 ATD(Automatic Target Detection)에 미니 컴퓨터가 사용됨.
 - AWACS 레이더에 극저부엽 안테나를 사용함.
 - MIT 링컨연구소에서 MTD(Moving Target Detector)를 개발함.
 - 1979년 원격탐사레이더가 Seasat에 장착되어 운용됨.
 - 레이더에 반도체 송신기가 사용됨.
 - 1980년 초에는 레이더 탐색기를 장착한 함대함 유도탄인 하푼(Harpoon)이 출현함.
 - ATD에 집적회로를 사용함.
 - 미국의 함대공방어체계인 이지스 시스템의 스파이(SPY-1) 레이더 및 이동형 지대공 유도탄체계인 패트리엇 시스템의 MPQ-53 위상배열 다기능레이더가 실전배치됨.
 - 소련은 이동형 지대공 유도탄체계인 S-300V와 S-300PMU에 위상배열 다기능 레이더 그릴팬과 프랩리플을 각각 적용함.
 - 1980년 중반에는 반도체 송신기를 쓴 다기능

- 레이다가 실용화됨.
- 인공위성탑재 SAR이 전략정보수집수단으로 사용되기 시작함.
- 1990년 초에는 반도체송수신모듈이 안테나 복사소자에 통합된 능동형 위상배열 레이다가 개발되어 차기세대 레이더 모델로 출현함.
- 비협조식 표적인식(NCTR)기술이 연구되어 실용화단계에 이름.

이상은 레이더 역사의 중요한 이정표를 이루는 연구성과나 장비개발을 연대별로 나열해 본 것이다. 연대 표시를 안한 것들은 뚜렷하게 나타낼 수는 없으나 앞뒤를 살펴보면 그 시기를 짐작할 수 있리라.

Ⅲ. 레이더의 종류와 용도

3-1 민수분야에서 레이더 활용

레이다가 군사적인 배경과 용도로 태어나고 성장했지만 민수용도로도 많이 사용되고 있다. 민수용으로 사용되는 분야에 대해 먼저 알아보고 난 후 군용으로는 어떤 종류가 있나를 보기로 하자. 비록 시스템 규모에 있어 그 크고 작은 차이는 대단하다. 지금 현대인들은 고속도로나 도시주변도로에 설치되어 과속차량을 적발하고 있는 감시카메라, 교통순경이 사용하는 차량속도측정기를 일상생활에서 접하며 살고 있다. TV에서 야구경기를 중개할 때에 투수가 던진 공의 속도가 표시된다. 이것들은 물체의 속도를 측정하는 스피드건(Speed Gun)이라고 해서 일종의 레이더(CW Radar)인 것이다. 스피드건은 연속파로 전파를 내보내고 달리는 차량에서 반사되어 온 반사파의 도플러 편이 주파수를 측정하여 속도로 환산한 것이다. 과속차량 감시카메라 시스템에서는 속도측정은 레이더가 하고, 증거를 확보하기 위해 차량번호와 운전자가 나타나도록 사진을 찍는 것이다. 일부 속도를 즐기는 운전자 중에

는 이런 스피드건이 자기를 감시하는지를 사전에 알고 단속을 피하기 위해서 스피드건 경보기를 달고 다니기도 한다. 마치도 전투기가 RWR(Radar Warning Receiver)를 달고 있음으로서 적의 레이더가 나를 보고 있는지를 알 수 있는 것처럼 자동차 운전자도 교통순경의 스피드건 감시를 알고 싶은 것이다. 잠시동안은 경보기를 가진 운전자는 유리한 위치에 있게 된다. 그러나 경찰의 스피드건은 사용자파수를 달리하여 생산된다. 즐겨쓰던 기존의 경보기는 쓸모없게 된다. 그리고 다시 새로운 주파수를 탐지하는 경보기가 나온다.

건물현판에 있는 자동개폐문에서도 전파센서를 이용하는 것도 있다. 도로수리공사 때는 아스팔트 도로 밑에 묻혀있는 전화선 파이프, 상수도관, 가스관 등의 위치를 정확히 알 필요성이 있는데 이들의 위치를 파악하는데에도 레이더를 사용하기도 한다. 일종의 임펄스 레이더(Impulse Radar)라고 하는 것으로 매우 짧은 펄스폭을 쏜다. 집이나 공장 또는 창고의 경비에 쓰는 도난경보센서에 소규모의 초보적인 레이더를 사용하기도 한다. 잘 살펴보면 이런 종류의 전파센서를 우리의 일상생활에서 많이 접하며 살고 있다.

크고 작은 거의 모든 배들은 항해용 레이더를 달고 다닌다. 공항에는 공역통제 레이더, 이착륙관제 레이더, 계기착륙용 레이더, 그리고 기상관측 레이더가 있다. 관제탑에서는 공항의 기능과 규모에 따라, 또는 그 공항이 고급이나 아니냐에 따라 다르지만 여러 종류의 레이더의 도움을 받아서 항공관제를 한다. 미국의 동부지방에 있는 공항에는 공항 주변에서 일고 있는 돌풍이나 공기함정을 찾아내기 위해 밀리미터대역의 기상 레이더가 설치되어 있다.

항공우주분야에서는 레이더를 많이 사용한다. 로켓트의 탄도측정, 인공위성의 감시나 궤도측정, 우주선의 도킹이나 랑데뷰에서 레이더가 동원되며 저궤도 인공위성의 탑재센서에 특별한 목적의 원격탐사센서로서 합성개구면레이더(SAR; Synthetic

〈표 1〉 레이더의 종류

분류방식		레이더 종류
탐지거리		1. 단거리용(40~50 Km급) 2. 중거리용(200~300 Km급) 3. 장거리용(400~500 Km급) 4. OTH(1000 Km급)
기능 및 용도	탐지	1. 조기경보용(지상 또는 공중) 2. 대공무기체계용(지상 또는 함상) 3. 항공 관제용 4. 대박격포/대포병 레이더 5. 탄속 측정용 6. 항만 감시용 7. 선박 항해용 8. 고도 측정용 9. 항공기 또는 위성 탐제용 10. 송수신 분리형
	추적	1. 항공기 탐제 사격통제용 2. 함정 탐제 사격통제용 3. 대공유도탄체계용 4. 대공화기용 5. 계측용
	정찰	1. 원격탐사용 2. 정찰용 3. 전파영상용(SAR)
정보종류		1. 1차원 레이더(거리) 2. 2차원 레이더(거리, 방위) 3. 3차원 레이더(거리, 방위/고도) 4. 4차원 레이더(거리, 방위/고도, 표적 인식) 5. 전파영상(지면의 지형지물 전파사진)
대상표적		1. 항공기 등 공중표적 2. 선박 등 해상표적 3. 탱크 등 지상표적 4. 인공위성 5. 기상 6. 지형지물

〈표 1〉 계속

분류방식		레이더 종류
사용 주파수		1. HF 이하:OTH 2. VHF:초장거리 조기경보 3. UHF:장거리 조기경보 4. L(1~2 GHz):장거리 대공탐지 5. S(2~4 GHz):중장거리 대공탐지 6. C(4~8 GHz):중거리 다기능 7. X(8~12 GHz):중단거리 다목적 8. Ku(12~18 GHz):단거리 고정밀 추적 9. 밀리미터대역: 지상 표적 탐지/추적
	송신파형	1. MTI 방식 2. MTD 방식 3. 펄스 도플러 방식 4. 펄스 압축 5. 합성개구면(SAR) 6. 저포착성(LPI)
안테나		1. 특정 목적의 단순기능: 재래식 안테나 2. 다목적/다기능: 위상배열 안테나

OTH : Over-The-Horizon의 약어로 전리층 반사를 이용한 레이더

SAR : Synthetic Aperture Radar

MTI : Moving Target Indicator

MTD : Moving Target Detector

LPI : Low Probability of Interception

Aperture Radar)가 있다. SAR은 레이더를 이용하여 지표면 사진을 찍는 일종의 전파 카메라이다. 자원탐사, 농작물작황과악, 해양상태측정, 생태계감시, 환경오염감시 등에 이용되고 있다. 전파의 전전후성과 투과성을 최대한 응용한 센서인 것이다. 우주를 떠돌아다니다가 지구로 날아드는 운석은 밤하늘을 수놓는 아름다운 빛을 발하며 대부분이 사라진다. 그러나 엄청난게 큰 떠돌이 운석이 어느날 갑자기 지구의 보호막인 대기권을 뚫고 지구표면에 부딪쳐 엄청난 재앙을 줄 것이라고 걱정하는 과학자들도 있다. 그들은 이러한 일이 과거에도 있었던 사실이라고 증거를 제시한다. 그리고 가

능한 모든 관측기구를 동원하여 태양계 주위의 운석을 관측하여 유사시에 대비해야 한다고 주장하고 있다. 만약 이런 일이 전세계적으로 심각한 문제로 부각된다면 범세계적인 기구가 조직될 것이고 인류의 지혜와 위대한 진취성이 집약될 것이다. 그 중에서도 정보획득수단의 총아인 레이다가 크게 기여해야 한다. 그 동안 지구의 대기권 근처를 상대로 늘 있던 레이다 기술자들의 사고영역과 스케일이 우주 공간으로 확장 되고 그 속에서 운석을 관측하는 레이다를 개발하는데 온 정열을 쏟게 될 것이다. 그러나 이 일의 주도권은 미국을 비롯한 몇몇 국가에 있을 것이고 다른 나라는 그 나라 면적에 비례하는 만큼의 자금만을 대라고 강요당할지도 모른다.

조류학자가 철새의 이동경로를 연구할 때에도 레이다가 유용하게 사용된다. 새나 곤충은 레이다의 오경보를 유발시키는 가장 큰 원인이 되므로 레이다분야에서는 조류학자나 곤충학자와 공동으로 이들의 전파반사특성을 연구하여 그 결과를 레이다의 설계와 운용시에 사용해 온 것이 오래된 일이다. 공항 주변의 조류는 항공기의 안전에도 영향을 주므로 앞으로는 항공관제용 레이다 중 새를 중요한 표적으로 고려되어 설계되는 레이다도 출현할 것이다.

3-2 군용 레이다의 종류와 용도

레이다의 탄생배경과 발전의 원동력은 그야말로 한 국가의 생존과 직결된 전쟁무기에 바탕을 두고 있으므로 레이다는 전파병기로써 많은 응용분야가 있다. 레이다의 종류를 <표 1>과 같이 분류해 보기로 한다. 분류방식 중 탐지거리에 따른 종류는 개념적인 의미이지 숫자가 중요한 것은 아니다. 나라의 전통이나 사정이나 분류자의 관점에 따라 분류법과 예로 들은 숫자는 달라 질 수 있다.

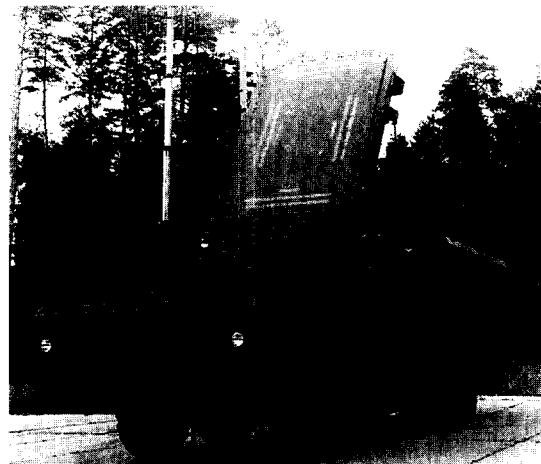
3-3 러시아 레이다 소개 및 특징 분석

레이다의 현주소를 알아보기 위해 방공망과 방공 무기체계가 잘 발달된 러시아제 전술급 레이다를 소개하고 그 기술을 분석해 보기로 한다. 전통적으

로 미국은 항공기를 중심으로 한 제공권 확보에 주력하여 왔고 소련은 항공기뿐만 아니라 본토 및 바르샤바 조약국의 대공방어에 노력을 집중해 왔다. 그 대공방어무기체계 속에는 레이다의 발달이 자리하고 있으므로 이번 기회에 2종의 레이다를 소개하고 그 기술특징을 분석하기로 한다.

1) 지대공 유도탄 체계의 '프랩 리프' 다기능 레이다

서방에서는 SA-10C로 분류하는 S-300PMU-1 중장거리 대공/대탄도탄 유도무기체계의 포대 핵심구성품인 교전 레이다 '프랩 리프(Flap Lip)'[그림 2]를 소개하고 그의 특징을 알아보면 러시아의 다기능레이다 기술의 현주소를 일부나마 짐작하는데 도움이 될 것이다. 이 S-300PMU-1은 모스크바에 있는 알마즈('Almaz' Scientific Industrial Corporation)가 주관하여 S-300P 계열의 러시아



[그림 2] 러시아 알마즈사가 개발한 '프랩 리프' 다기능 교전 레이다의 위상배열안테나 사진이다. 11,000개의 가역식 페라이트 변위기로 구성된 전파렌즈 주배열면과 부엽상쇄 안테나를 볼 수 있다. 안테나 아래 부분이 레이다 장비본이다.

주력방공무기로부터 발전한 S-300PMU(SA-10B)을 한 단계 더 개량한 것이다. 처음 모델인 S-300PMU는 위상배열안테나와 변위기의 개발이 1969년에 착수하여 1972년에 시작품이 나왔으며 1975년부터 생산단계에 들어간 것으로 개발시기를 대강 짐작할 수 있으며 1980년경에 실전배치되었다고 본다. 개량형 S-300PMU-1의 중점개발기간은 대략 1985~1990년이고 1992~1993년에 실전배치를 시작한 최신무기이다.

S-300PMU-1의 포대(Battery)구성은 다기능 위상배열레이다인 교전 레이다(또는 조사 및 유도 레이다)인 1대와 지휘소, 이동 발사대는 12대까지 물릴 수 있으며 발사대당 4개의 유도탄이 장진되어 있다. 포대지휘소는 다기능레이다의 장비벤이 설치된 차량의 뒤쪽에 함께 붙어 있다. 이밖에 지원장비가 있다.

프랩 리프(Flap Lip)는 서방에서 부르는 이름이다. 이 프랩 리프는 다기능 교전 레이다(Engagement Radar)이며, 조사 및 유도 레이다(Illumination and Guidance Radar)라고도 하는데 표적의 탐지, 포착, 추적, 전자파의 조사, 그리고 탐색기(Seeker: '씨커' 라고도 부름)에서 측정된 신호의 수신과 유도명령을 송신하는 교신채널 등의 다기능(Multi-function) 역할을 한다. 표적의 추적개시(Track Initiation)는 대대급 지휘통제소에서 넘겨받은 표적을 포착(Acquisition)하여 추적하거나 자체적으로 표적을 탐색하여 포착/추적할 수도 있다. 독립적으로 탐색할 때 공간상의 전자스캔범위는 저고도 탐색시 고도 1도에 방위 90도, 중고고도에서 항공기 탐색은 고도 13도에 방위 64도 또는 고도 5도에 방위 64도, 그리고 탄도탄의 탐색은 고도 10도에 방위 32도이다.

표적정보를 넘겨받은 경우에 표적포착을 위한 스캔범위는 고도 4도, 방위 4도 또는 고도 2도, 방위 2도이다. 위상배열안테나의 전자조향각범위는 상하 좌우 45도까지 한다. 이 다기능 교전 레이다의 탐지 성능은 표적의 RCS가 1평방미터 표적에 대해 탐지

확률이 0.5에서 탐지거리 140 km이고, 각분해능(빔폭)은 1도, 거리분해능은 100 m이다.

탐지>포착>추적>표적선정>발사대선정 및 최적 발사시각의 순서가 자동적으로 이루어진 후 지휘소에 유도탄 발사여부를 묻는다. 이때 IFF가 작동된 후 발사할 수 있다. 이 교전 레이다는 표적과 자신의 유도탄을 포착/추적하며 반응동식 씨커와 근접신관의 동작을 위해서 표적에 전자파를 조사(Illumination)한다. 1대의 교전 레이다로 동시교전 가능한 표적수는 6개이며 각 표적당 2개까지 유도탄을 날릴 수 있다.

레이다를 높이 올려 설치하는 방법(Telescope Mast)도 있는데 주로 숲속에서 운용할 때 나무높이 위로 레이다를 높여서 시선을 확보하려는 것이다. 또한 이것은 저고도로 날아오는 항공기나 순항 유도탄을 멀리서 볼 수 있도록 해 준다. 레이다 안테나가 높을수록 수면이나 지면에 의한 다중반사(Multi-path)로 인한 탐지장애를 받는 현상에 대해서도 유리하다. 표적이 탐지가능거리내에 들어와 있고 표적과 레이다 안테나간에 시선은 확보되어 있는 경우도 표적이 탐지되지 않거나 추적을 놓치는 경우가 많은데 이 원인이 바로 다중반사현상 때문인 경우가 많다. 이동형 레이다를 이동시켜 차량이 접근할 수 있는 장소에 전개할 때 안테나 가까이 전자파의 진행을 가리는 장애물이 의외로 많은 것은 경험으로 알 수 있다. 텔레스코프 마스트와 같은 안테나 팔이 있다면 레이다의 전개지형 선정에도 융통성이 많을 것이다. 어떤 센서라도 시선의 확장과 유지가 가장 중요한 일이다. 레이다를 가능한 높은 곳에 설치하는 것도 이 이유 때문이다. 지상 레이다는 높은 산에 배치되어 있고 함상 레이다 안테나는 마스터의 가장 높은 곳을 차지하고 있다. 지형에 의한 시선제한을 극복하고자 JSTAR나 AWACS처럼 항공기에 레이다를 설치하는 비싼 대가를 지불하는 것이다.

사람이나 짐승도 경계할 때는 발돋움하거나 목을 길게 빼어 눈을 높게 하는 것도 센서의 시선확장과

직결되는 행동이다. 인류진화의 큰 방향을 결정한 직립보행의 동기도 어쩌면 눈의 시선확장과 관련이 있지 않을까? 땅에 굴을 파고 집단서식하는 아프리카 초원의 '미어캐'의 경계행동에서 그 전형적인 모습을 볼 수 있다. 보호역할을 하는 미어캐 여러마리가 집근처의 언덕에서 두발로 꼳꼳이 서서 주위를 두리번거린다. 네발짐승이 그렇게 꼳꼳이 서있는 것이 얼마나 힘든 일인가! 하지만 오늘날까지 그 종이 번식하고 있다는 것은 그들 방식의 생활방식과 그러한 진화의 선택이 옳았음을 나타내는 것이다.

프랩 리프 다기능 교전 레이더는 크게 안테나부(Antenna Post)와 장비밴(Equipment Van)으로 구성되었고 대형 트럭위에 장착되어 있다. 레이더를 장착한 상태에서 차량무게는 전체가 45.5 톤이고 130 kw의 전력을 소비한다. 전체크기는 길이가 14.5 m, 폭이 3.15 m 이고 높이는 3.8 m 이다. 안테나부의 무게만 11.5 톤이고 장비밴은 9.1 톤이다.

안테나의 변위기는 파라데이 회전계/가역식 페라이트(Faraday Rotation Field/Reciprocal Ferrite Phase Shifter)방식으로 평면에 배열되어 있는 총 11,000개가 주 배열면을 이루고 있다. 변위기 개개의 위상값을 일일이 제어할 수 있다고 한다. 이렇게 많은 변위기 하나하나를 독립적으로 제어한다는 것은 어려운 일인데 위상배열안테나의 복사패턴도 변화시킬 수 있다는 뜻이다. 복사패턴의 변화능력은 레이더의 기능과 대전자전에 대한 대응능력을 획기적으로 향상시킬 수 있는 매우 중요한 요소이다. 예를 들면 다기능 레이더가 표적을 찾아내야 하는 탐지기능을 할 때에는 안테나의 복사빔폭이 넓으면 주어진 공간을 빨리 훑을 수 있어 좋다. 표적의 위치를 정확하게 측정해야 할 정밀추적모드에서는 빔폭이 가능한 한 좁을수록 데이터가 정확하다. 다기능 레이더에서는 수행해야 할 기능과 임무가 다양하게 있으므로 일에 따라 빔모양이 가변된다는 것은 매우 중요한 기본요소이다. 빔모양을 바꾼다는 것은 앞의 예와 같이 주빔(Main Beam)에만 국한하는 것이 아니라 부엽(Side-Lobe)모양이나 영

점의 위치(Null Point)도 필요시 바꿀 수 있다. 영점의 위치를 바꿀 수 있다면 클러터가 심하게 들어오는 방향이나 전파방해가 들어오는 방향에 대해서 전자파가 수신되지 못하도록 할 수 있으므로 시스템의 성능과 기능의 설계에 많은 영향을 미치게 된다.

수많은 복사소자의 위상을 독립적으로 제어한다는 것은 그만큼 복잡한 안테나의 설계기술, 제작기술과 측정기술을 필요로 한다. 예를 들면 인접하고 있는 복사소자간의 간격이 반파장 근처이므로 X-대역에서는 1.7 cm정도가 된다. 다기능 위상배열안테나의 배열구조를 상상하려면 벌집을 생각하면 된다. 꿀이나 애벌레가 들어있는 육각형 모양의 방(Cell)하나가 복사소자 한개에 해당된다고 볼 수 있다. 인접한 방과 방 사이의 간격이 1.7 cm이고 안테나 벌집 전체는 세로로 약 100줄, 가로로 약 100줄이 바둑판처럼 깔려있는 모양이다. 공간급전방식에서는 복사소자를 둥그렇게 원형으로 배열시킴으로 지름이 170 cm크기인 둥근 벌집을 생각하면 된다. 이것은 주배열면을 말하는 것으로 실제로 보는 안테나는 부엽차단용 안테나와 IFF용 안테나가 주배열면의 모서리 네곳, 아래쪽에 함께 붙어 있고 또 이들을 지지하는 골격이 있으므로 안테나 전체의 모양은 직사각형이고 전체크기는 주배열면 보다 훨씬 커지게 된다. 배열소자를 견고하게 유지시키는 구조물이 필요하고 이 내부에는 열방출구조와 변위기의 전원공급과 제어선이 배선되어 있다. 변위기와 연결되는 각종의 인터페이스 전자회로가 있으며, 곳곳에 온도센서가 부착되어 구조물의 열팽창과 변위기의 온도에 따른 특성을 보상하기 위한 안테나의 온도를 측정하기도 한다. 배선에 관하여 생각해 보면 변위기 한 개당 대략 8개의 전선연결이 필요하다고 가정하면 약 8만개의 전선이 깔리게 된다. 안테나의 변두리에 있는 변위기에 연결하는 것은 비교적 쉽지만 가운데 부분에 있는 변위기에도 연결해야 한다는 것을 생각하면 배선에 관련된 구조만 해도 엄청나게 복잡하게 된다는 것을 알 수 있

다. 이 많은 도선이 배열면의 테두리를 통해 각각의 변위기로 연결되어야 한다. 그래서 프랩 리프의 주 배열안테나만 무게가 3 톤이 넘고, 안테나 및 부수 구조물을 합쳐 무게가 11 톤이 넘는 것을 보아도 그 복잡성을 짐작할 수 있다. 기계적인 구조물뿐만이 아니라 변위기에 장입되는 명령값을 계산하는 일도 고속의 프로세서를 필요로 한다. 모든 변위기가 동시에 위상값이 변해야 하므로 전원공급체계도 복잡하고 엄청나게 복잡하다.

파라데이 회전방식을 사용한 변위기는 가역특성이 있으므로 전자파의 송수신을 하는데 시간적으로 자유로워서 레이더의 펄스반복주파수(PRF)를 올릴 수 있다. 이것은 다양한 PRF를 구사할 수 있다는 뜻이다. 높은 PRF는 TVM(Track-via-Missile) 방식에서 유리하며 유도명령의 채널(Channel)의 수도 많게 할 수 있는 조건이 된다. 고속의 표적을 추적하는 데에도 유리한 점이 있다. 파라데이 회전식 변위기는 변위기 내부에서 회전하는 원편파를 그대로 방사시킴으로 복사소자를 통해 송수신되는 전자파가 원편파이고 송수신을 좌회전편파와 우회전편파로 채널을 분리시킬 수 있다. 이러한 송수신의 분리는 급전기의 공간적 제한을 극복할 수 있으며 손실이 많은 회전분리기(Circulator)를 사용하지 않아도 된다. 레이더에서는 마이크로회로의 초단에서 손실을 줄이는 일이 매우 중요한 일인데 이 손실을 줄이는 것이 적은 송신출력을 가지고 수신 감도를 높이는 효과와 같다. 송신출력이 크다는 것은 그만큼 사용자에게는 비용과 전력을 소비하는 것이고 적에게는 자신을 많이 노출시킨다는 일이다. 노출이 많으면 레이더의 위치와 신호가 발각되기 쉬워 대레이더유도탄(ARM)의 공격에 취약하게 된다. 원편파를 사용하는 또 하나의 이점은 선편파보다 기후에 의한 전자파 영향에 덜 취약하다는 것이다. 특히 비에 의한 반사가 작아서 우천시 표적 탐지에 매우 우수하다. 비나 눈의 영향을 줄이려면 사용 주파수를 내려도 되지만 이동형 레이더에서는 주파수가 높을수록 안테나의 크기가 작아져서 좋

다. 이러한 기술적 배경 때문에 S-300PMU-1의 다기능 교전 레이더 프랩 리프에서는 100 km가 넘는 교전거리 임무를 수행하는데 X-대역의 주파수를 사용할 수 있었던 것이다. 이 거리를 X-대역에서 선형편파로 한다면 우천시의 성능에 영향을 많이 받는다. 패트리엇의 다기능 레이더 MPQ-53은 이보다 낮은 주파수대역인 C-대역을 쓰고 수직선형편파이다. 참고로 MPQ-53은 복사소자가 5,000개가 주 배열면을 이루고 있으며 4-비트 비가역 페라이트 변위기를 쓴다. 유도탄의 탐색기의 사용주파수는 지상의 다기능 교전 레이더의 사용 주파수에 따르지만 별도의 조사가 있을 때는 조사의 송신주파수를 따른다. 일반적으로 주파수가 높아서 파장이 짧으면 변위기의 단면이 작아야 하므로 기술적으로 해결해야 난제가 더 많은 것이다.

2) 탐지전용 레이더 '빅 버드'

S-300PMU-1의 대대급 통제지휘소에는 '빅 버드' [그림 3]라고 하는 탐지전용의 레이더가 있다. NA-



[그림 3] 러시아 연구장비제작연구소가 개발한 '빅 버드' 탐지전용 레이더의 사진이다. 위상배열 안테나 2개가 앞뒤로 붙어 있어 표적생신률을 높였다. 배열면 위쪽으로 길게 뻗어나온 것이 급전기이고 안테나를 앞에서 보면 큰 새(Big Bird)가 날개를 편 것처럼 보인다.

TO명이 커다란 새를 뜻하는 빅 버드(Big Bird)인 것은 안테나를 측면에서 보면 큰새가 날개를 활짝 편 특이한 모양으로 보이기 때문이다. 안테나의 특이한 모양에서 짐작이 가듯이 서방 레이다 기술자의 입장에서 그 레이다의 개념이 특별하기에 소개해 보기로 한다.

사용주파수는 S-대역이고 안테나는 3,400개의 가역성 페라이트 변위기로 구성된 공간급전 반사식 위상배열이다. 평면으로 되어있는 이런 안테나 2개가 앞뒤로 붙어 있고 5 RPM으로 기계적 회전을 하는 특이한 구성이다. 서방세계의 눈으로 보면 3차원 탐지레이다가 방위방향과 고각방향 양방향으로 전자조향(Electronic Scan)하는 위상배열안테나 2개를 붙였다는 점에서 의아하게 생각될 것이나 다 이유가 있는 것이다.

방위각 방향으로 전자조향범위는 최대 45도이나 탐지모드에서는 30도 정도를 사용한다. 고각방향으로 전자조향각은 수평선인 0도에서 고고각인 75도까지이다. 이 정도의 전자조향각을 갖는 안테나는 사실 다기능급이라고 볼 수 있다. 전방위를 보기 위해서 기계적 회전을 한다. 완전히 기계적 회전만을 하는 레이다는 표적의 데이터 갱신률이 안테나의 회전속도에 의해 결정된다. 빅버드는 먼거리를 보기 위해서 기본적으로 저속회전(5RPM)을 하지만 안테나 2개를 사용함으로써 기계적 회전에 의해 결정되는 표적관측을 2배로 자주할 수 있다. 위상배열 안테나를 회전시키는 빅버드 방식에서는 얼마나 자주 표적을 보느냐에 관련된 표적데이터 갱신률이 두가지 종류가 있는데 하나는 안테나의 기계적 회전 때문에 생기는 것이고 다른 하나는 전자조향각 내에 표적이 있을 때 전자조향에 의해 원하는 방향으로 빔을 얼마나 자주 보내느냐는 시간간격이다. 빅버드에서는 2개의 안테나가 앞뒤로 붙어 있고 분당 5회전을 하므로 안테나회전에 의한 표적정보 갱신간격은 6초이다. 전자조향에 의한 갱신은 매우 빨리 할 수 있다. 탐지모드에서는 30도를 전자조향함으로써 한 방향으로 빔이 머무는 시간은 최대 1초까지

할 수 있다. 추적시에는 이 시간을 2초까지 늘릴 수 있다. 이 시간 안에서는 필요한 만큼 표적정보갱신을 얼마든지 높일 수 있는 것이다. 즉 표적의 방향이 전자조향각 범위 내로 들어오면 그 방향으로 전자파를 방사하여 관측하는 시간 즉, 빔이 한 방향에 머무는 시간(Dwell Time)과 반복해서 그곳을 다시 보는 간격, 즉 표적 데이터 갱신률을 임의로 자유롭게 한다는 것이다. 다시 말해서 전자조향 가능한 각도 범위에서는 빔운용의 융통성이 있다는 것이다. 이러한 빔운용의 가변능력은 레이다의 전자파원과 시간을 위협표적, 작전환경과 시스템 운용 개념에 따라 적절히 가변하여 배분시킬 수 있음을 뜻한다. 이것은 레이다의 기능과 성능에 대단히 중요한 요소이다. 기능면에서는 탐지, 포착, 추적모드를 작전 임무와 표적상황에 따라 적용시킬 수 있으며 성능면에서도 획기적 향상이 이루어진다. 예를 들면 위협표적이 출현하리라 예상되는 방향에 대해서는 집중적인 감시가 필요하므로 전자파를 더 많이 할당한다든지, 저고도를 집중적으로 감시할 때는 전자파를 저고도방향으로 뿌리고 대신 중고도나 고고도에는 가끔씩 뿌린다. 지대지 유도탄과 같이 고고각에서 초고속으로 내리쬐히는 표적을 탐지하는 임무가 우선인 경우는 저고도나 중고도보다는 고양각쪽으로 전자파를 더 많이 배분하는 것이다. 표적의 RCS가 커서 신호대잡음비가 클 때는 보내는 송신 펄스 수를 적게 해도 되고 기동이 적은 표적은 가끔씩 보아도 된다. 일반적으로 레이다에서는 최초탐지시에 어느 설정값보다 큰신호는 잠정표적(Potential Target)으로 분류한다. 이때 잡음이 많아서 설정값을 간신히 넘은 애매모호한 잠정표적에 대해서는 사용주파수를 바꾸거나 관측시간 혹은 빔이 머무는시간을 길게 해서 신호대잡음비를 올리면 정보의 신뢰도가 증가하므로 다음번 관측에서 확인을 할 것인가 또는 잠정적으로 추적파일을 만들 것인가에 대해 확실한 판단을 할 수 있다. 물론 이러한 빔운용의 융통성을 갖는 안테나는 복잡하고 값비싼 선택이지만 저고도 전술기나 순항 유도탄, 그리고

탄도/속도/반사특성이 항공기류와는 전혀 다른 탄도탄을 탐지해야 하는 ‘두마리 토끼를 잡기 위한 당연하게 지拂되어야 하는 대가’인 것이다. 이러한 점들이 우리가 흔히 보았던 서방의 장거리 3차원 레이다와는 많이 다르다. 보통 3차원 레이다는 고각방향으로만 전자조향이 되고 방위방향으로는 순전히 기계식 회전을 하므로 속도가 느리고 RCS가 비교적 큰 항공기의 탐지에는 적절한 선택이지만, 전면에서 본 RCS가 상대적으로 작고 고고도각방향에서 내리쬐히는 초고속의 탄도탄 탐지는 거의 불가능하다. 이것을 보아도 세상에는 역시 ‘공짜가 없는’ 것을 알 수 있다.

빅버드의 최대탐지거리는 10~300 km이고 100 개까지 표적을 취급한다. 표적의 RCS를 2평방미터로 할 때의 탐지성능은 250 km이다. 방위각으로 전자조향범위는 45도이고 추적고각은 0~55도까지이다. 안테나 빔폭은 방위 1.7도에 고각 2.5도이다. 탄도탄방어가 주 임무일 때는 빅버드는 방위방향으로 회전하지 않고 상위명령체계에서 알려준 방향으로 서있어 전자조향으로만 탐지빔을 운영하는 것이다. 위협방향에 대해서 보다 집중적인 감시를 할 수 있는 방법이기 때문이다.

현재의 러시아가 배치한 위상배열 레이다의 기술 특징을 몇가지 소개하기로 한다. 안테나는 가역식 페라이트 변위기가 많이 사용되고 있으며 배열면상의 RF급전은 공간급전식을 채용하는 것 같다. 지상용 고출력 레이다는 송신기의 중단 증폭기로 크라이스트론(Klystron)을 사용하는 일이 많다. 서방의 진행파관(TWT)에 비해 대역폭은 좁으나 잡음이 적으며 PRF를 다양하게 구사할 수 있고 대출력을 낼 수 있다. 출력관의 전원 공급기도 TWT에 비해 Klystron은 그 전압이 낮아도 된다. 위상배열 안테나는 공간급식이며 송신용과 수신용의 급전혼(Fed Horn)이 공간적으로 나누어져 있어서 서큘레이터를 사용하지 않는다. 또 하나의 특징은 송신시에 수신기의 저잡음 증폭기를 보호하기 위한 T/R 제한기를 사용하지 않는다는 것이다. 이것은 수신기

의 초단 저잡음 증폭기로 정전기 증폭기(Electro-Static Amplifier)를 사용하기 때문이다. 이 정전기 증폭기는 송신시의 매우 큰 마이크로파 입력에도 파괴되지 않으며 매우 빨리 정상 수신가능한 상태로 회복하는 특성이 있다고 알려져 있으나 그의 동작원리나 기술적 내용은 비밀로 되어 있다. 서방에서는 이 수신기 초단의 저잡음 증폭기는 GaAs 소자를 쓰는 것과는 대조적이다. 러시아 레이다는 마이크로파 초단에 이처럼 서큘레이터와 T/R 제한기를 쓰지 않기 때문에 초단 손실을 줄일 수 있게 된다. 어떤 레이다라도 초단 손실을 줄이는 것이 가장 중요한 과제이다. 레이다 시스템의 송신출력 및 신호대 잡음비가 이 초단 손실에서 거의 결정되기 때문이다. 그리고 비협조 표적인식기술이 실용화되어 있다는 것이다. 이것은 표적의 신호(Target Signature)를 다양하게 모델화하여 그 특징을 잡아 낼 수 있도록 레이다 설계시 모든 부분에 반영했다는 뜻이다. 비단, 표적의 인식수준에는 한계점이 분명히 있겠지만 서방에서는 과거 몇년동안 연구해 온 중요한 연구테마 중의 하나이다.

IV. 레이다 시스템 개발

4-1 레이다의 위협/ 환경과 그 관련대책

현대전에서 레이다의 임무와 대처해야 할 위협환경은 실로 복잡다양해지며 날로 급변하고 있다. 얼마전만 해도 레이다의 대상표적이 주로 항공기이었지만 최근에는 이들 항공기 및 헬기와 이들로부터 발사되는 유도탄이나 로켓탄이 위협표적이 되고 있다. 앞으로는 무인기, 순항유도탄과 전술 탄도탄이 더 많이 사용될 것으로 전망되어 레이다의 대상 표적의 범위가 점차 확대되고 있다. 이처럼 레이다가 상대하는 표적의 종류가 점점 다양해지고 그 성능과 그 작전운용기법도 고도로 발전해 가고 있다. 이에 대응하기 위해 레이다 역시 같이 또는 그 이상으로 발달해 가고 있는 추세이다. 현재 또는 미래의 레이다에 대한 위협상황을 정확히 예측하고 분석하

역야 그에 대한 대비책이 나오고 그에 따른 레이더의 시스템능력과 적용기술도 추정할 수 있을 것이다.

현대전에서 레이더가 직면하는 위협상황을 살펴보기로 한다. 적은 공격시 항공기, 유도탄 등 각종 무기를 동원하여 아군 방공 레이더망을 피하고 그 의도의 노출을 억제하기 위한 노력으로 전술적 또는 기술적으로 여러가지의 방법을 구사한다. 그 대표적인 것은 은밀한 침투, 대방사유도탄(ARM) 공격, ECM의 사용증가, 그리고 다양한 공격수단의 동원으로 다양한 표적이 동시다발적으로 출현하는 것이다. 은밀한 침투방법에는 저고도 침투가 일반적으로 통용되는 작전이 된지 오래이고, 표적자체의 은밀성이 증가하는 추세이다.

1) 지형차폐를 이용한 비행

레이더의 발달은 상대에게 보다 우수한 항공기의 개발과 고도의 항공기운용작전을 가속화시켰으며 보다 다양한 형태의 공격무기와 작전양상을 맞이하게 되었다. 산 및 계곡 등 지형차폐를 이용한 항공기의 저고도 또는 극저고도 침투는 방공망의 탐지 센서인 레이더의 지형적 탐지한계점을 이용한 자기 노출을 최대한 억제하려는 것이다. 그동안 우리가 보아왔던 항공작전의 전형적인 상황 중의 하나이다. 평평한 지면 또는 해변 바로 위로 저고도 침투는 극심한 클러터(Clutter)와 다중반사영향(Multi-Path Effect)에 의해 생기는 레이더의 탐지한계와 추적정밀도 악화를 적극 이용한 것이다. 함대함이나 공대함 유도탄의 탄도를 바다표면 바로 위를 날게 하는 Sea Skimming 방식으로 하는 것도 같은 이유다. 바다에서 저고도 표적을 탐지하려면 안테나 등 센서의 위치를 높이고 레이더는 주파수를 올리는 것이 유리하다. 레이더 주파수를 밀리미터파 영역으로 올리면 저고도 탐지와 정밀추적에는 유리한 점이 많으나 탐지거리의 제한과 전천후성능에는 제한이 있으므로 주파수대역이 서로 다른 복수센서(Multifunctional Sensor)를 쓰는 경향이며 앞으로도 더욱

그러한 추세로 갈 것이다. 가시선이 열렸다 막혔다 하는 산악지형을 통해 저고도로 접근하는 표적의 탐지에도 어려움이 많다. 헬기와 같은 초저고도 비행체를 탐지하기 위한 연구가 세계적으로 활발하다. 마이크로파 대역보다 아래의 주파수 심지어 V-HF대의 표면파를 사용하려고 한다. 이처럼 낮은 주파수를 사용하여 지면을 따라가면서 전파하는 성질을 이용하여 지형의 굴곡 때문에 생기는 탐지거리의 한계를 어느 정도는 극복하겠다는 것이다. 안테나는 지면에 배열로 깔아 지향성을 주고 위상제어로 방사방향을 바꾼다. 이동표적지시기(MTI)방식의 구식기법으로는 도로위의 차량 때문에 그 상공의 표적을 탐지하지 못한다. 이를 탐지하기 위해서는 코히어런트(Coherent) 신호를 그룹단위로 처리해 속도필터를 여러개 두고, 각 속도필터마다 클러터 지도(Clutter Map)를 만들고 또 각 속도필터마다 탐지기가 있는 MTD기술을 채택한 3차원 레이더가 대안이다.

2) 표적의 은밀성 증가

표적의 은밀성(Stealth)도 높아지고 다양해지고 있는데 특히 표적의 RCS(표적의 레이더 유효반사면적)감소는 레이더의 탐지/추적거리의 감소를 초래하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 이론적으로 RCS감소에 의해 생기는 탐지거리의 감소는 RCS가 16분의 1이 감소하면 탐지거리가 2분의 1로 줄어든다. 만약 RCS가 256분의 1로 감소한다면 탐지거리는 4분의 1로 줄어든다. 이것은 레이더의 탐지조건을 결정하는 신호대 잡음비(S/N)가 일정하다고 가정하는 경우이다. 탐지가능거리에 미치는 영향으로 보면 표적의 RCS의 감소가 주는 영향은 둔감한 것처럼 보이지만 레이더시스템 파라미터에 주는 영향은 레이더 송신출력이 같은 비율로 감소한 것과 같으니 대단한 영향을 주는 것이다. 은밀성은 레이더 센서에만 국한되는 것만이 아니고 모든 종류의 센서에 해당한다. 관측에 사용하는 모든 신호의 반사(Reflection)와 방사(Emission)를 줄여 적에게 관

측당하는 것 자체를 거부하는 노력이다. 항공기가 무선통신을 한다면 신호노출하는 것이므로 이 행위도 억제되거나 통제되어야 하는 것이 은밀성을 유지하는 것이다. F-117A는 탑재 레이다조차 없다. 탑재센서는 적외선과 가시광선과 같은 수동센서를 사용한다. 근본적으로 자기노출을 줄이기 위한 것이다. 자기노출을 억제하려면 그만큼 대가를 지불해야 한다. 어쨌든 F-117A 전폭기나 B-2 폭격기는 항공기와 레이다의 대결에서 새로운 국면을 초래하였다. 미국의 차세대 전투기로 선정된 F-22도 스텔드 기술을 많이 적용하여 RCS가 0.5 평방미터 정도로 알려져 있다. 기존 전투기의 10분의 1 정도로 줄인 것이다. 항공기쪽에서 레이다를 피하려고 먼저 새로운 돌파구를 뚫은 것인데 레이다쪽에서도 그의 대응수단을 강구해야 할 입장이다.

레이다가 보통 많이 쓰고 있는 마이크로파대역보다 파장이 긴 UHF나 VHF대역의 주파수를 사용함으로써 스텔드 표적의 탐지 가능성을 높인다. 낮은 주파수에서는 비행체 구조물 크기와 전자파의 파장이 비슷하여 그 구조물과의 공진 주파수 영역에 해당하므로 스텔드 효과가 줄어들기 때문이다. 전자파의 흡수체는 흡수에 필요한 두께가 파장에 비해하므로 긴 파장에서는 효과가 거의 없다. 이러한 낮은 주파수대역의 레이다는 걸프전 당시 이라크도 보유하고 있었는데 미국의 철저한 공격에도 불구하고 끝까지 살아남아서 미국의 스텔드기 F-117A를 탐지하여 F-1 미라주 요격기를 발진시켜 관제한 사실이 알려져 있다. 현재의 스텔드기술은 모노스테틱 RCS(Monostatic RCS)를 줄인 것이지 바이스테틱(Bistatic)RCS를 줄인 것은 아니다. 따라서 송수신분리 레이다(Bistatic Radar)가 앞으로는 좋은 수단으로 보고 있어 많이 연구하고 있다. 이것은 한개의 송신기가 독립적으로 있고 위치가 다른 곳에 있는 여러대의 수신기가 분리되어 있는 형태이다. 바이스테틱 레이다는 아직 실용화 연구단계에 있지만 송신기를 후방 안전한 곳에 설치하든지 항공기에 탑재하고 수신기만 전방 유리한 곳에 배

치 할 수도 있으므로 ARM (Anti-Radiation Missile; 대방사 유도탄)에 대한 한 대책이기도 하다. 레이다망을 구축하여 표적에 대한 관측각도를 다양하게 하고 표적자료를 서로 교환비교하고 통합하여 운영하는 방법도 강구되고 있다.

3) 다양한 공격수단 등장

항공기가 전천후 작전능력을 가지게 된 것도 레이다 센서의 탐지능력에 영향을 주는 요소 중의 하나이다. 비나 눈이 올 때는 레이다의 성능도 영향을 받지만 탐지센서가 가시광이나 적외선 센서인 경우는 주야간/날씨의 영향을 더 많이 받는다. 한가지 종류의 센서로는 복잡하고 다양한 환경과 각종 표적을 대응하기에는 한계점이 많다는 것이 상식이다. 일반적으로 무기체계에서는 관측센서의 종류가 많고 또 수가 많을수록 각종 비이상적인 상황에서 더 효과적이며 잠재능력이 많은 것이다.

항공기탐재무기의 성능발달도 역시 레이다의 성능과 기능의 발달을 잠시도 멈추게 하지 않았다. 특히 ARM은 근본적으로 레이다의 입장에서 보면 매우 위협적인 존재이다. 레이다는 적을 보기 위해서 반드시 전자파 에너지를 공간으로 방사하여야 하므로 ECM 수신기나 ARM에게 위치가 노출되기 쉽다는 약점이 있다. ARM은 이같은 레이다의 아킬레스 건을 공격하는 것이다. 미국이 참여했던 최근의 모든 전쟁에서 초전에 상대의 방공망을 제압하기 위해 반드시 사용하였던 무기가 바로 ARM인 APG-45 슈라이크 또는 HARM인 TI사 제품의 APG-88이었다. 지금까지 알려진 ARM대책으로는 레이다 방사통제, 미끼 안테나 사용, 그리고 ARM의 직접요격 등이 있다. 이 세가지 모두 어떤 방법으로든 ARM의 접근을 탐지하여 알아야 한다는 것이 필수적 요소이다. ARM의 탐지는 매우 어렵는데 그 이유는 접근속도가 빠르고 RCS가 항공기에 비해 매우 작기 때문이다. 레이다 방사통제는 ARM의 공격시에 레이다 송신을 정지시킨다는 것인데 이것은 표적관측임무를 일시나마 포기하는 것이다.

그러므로 레이더 망(Netted Radar)을 구축하여 표적을 중첩감시하고 서로 표적정보나 전자전 정보를 교환 및 통합관리하는 방법이 강구되고 있다.

4) 전파방해 증가

레이더의 수신기는 고도로 민감한 수신감도를 가지고 있어 적의 ECM에 영향을 많이 받는다. 레이더뿐만 아니라 전자파를 사용하는 모든 체계는 근본적/잠재적으로 전자파방해에 노출당하기 쉬운 점이 있다는 것을 고려해야 한다. 레이더는 이러한 약점들을 극복하고 보완하기 위해 다양한 ECCM기법들을 보유하고 있어 상황에 따라 적절히 대처하고 있어야 한다. 하지만 ECM환경하에서의 레이더의 기능과 성능은 일반적으로 감소한다고 보아야 한다. ECM이 없을 때와 똑같이 제 성능을 발휘할 수는 없는 것이다. ECM에 대한 대처능력은 바로 ECM하에서의 레이더 고유성능의 감소를 얼마까지 감수할 것인가 하는 문제이며 SAM체계 개발초기부터 설계에 반영하여야 하는 중요한 요소 중의 하나이다. 레이더의 ECCM능력은 레이더의 기본성능과 기능을 이루는 레이더 시스템 또는 구성품상에서 독립적으로 분리되어 만들어 질 수 없다. 레이더의 설계시 요구사항 중 ECM환경 즉, 어떤 종류의 ECM이 어떤 강도로 이쪽 레이더에 뿌려질 때 레이더는 어느 정도의 성능과 기능을 유지할 수 있게 하느냐가 결정되어야 한다. 전자전환경에 대한 정의 및 이때 레이더의 성능과 기능의 저하율을 결정하는 것이 중요한 일이며 이 일은 레이더의 모든 것을 결정한다 해도 과언이 아니다. 이것이 바로 군용 레이더와 민수용 레이더의 가장 큰 차이점이 된다. 이상적인 표적을 상대로 이상적인 환경하에서 동작하는 레이더와 그렇지 않은 조건에서 동작할 수 있는 레이더와는 비교할 수 없을 만큼 차이가 난다. 그래서 레이더의 성능을 나타낸 숫자를 말할 때는 그 표적조건과 운용환경을 반드시 감안해야 한다. 군용 레이더를 평화시에 돌리면 잠재능력이 많은 것처럼, 전시에 돌리면 능력이 늘 부족한 것처럼 보이는

것이 특징이다.

아군의 레이더와 적의 ECM간의 대결은 대표적인 정보전 양상이다. 상대방의 레이더에 대해서 얼마나 많이 알고 있느냐에 따라 적절한 공격준비 즉, 전자전 장비 개발시에 데이터를 입력하고 종합적인 방해술을 준비를 할 수 있다. 레이더측에서도 마찬가지다. 예상되는 적의 ECM 종류와 강도, 그리고 방해술을 알아야 그에 대한 대처방안을 강구할 수 있다. 그야말로 '창과 방패'와 같다. 다만 옛날의 전투에서 병사가 갖고 있던 창과 방패가 아니라 국가와 국가 단위로 갖고 있는 총체적 기술력으로 대표되는 창과 방패인 것이다.

5) 다양한 형태의 표적 출현

1982년 5월 4일 영국 해군의 군함 셰필드(H.M. S. Sheffield)호가 아르헨티나 공군기 슈퍼.엔탱다르(Super-Entendard)에서 발사한 엑소세(Exocet)에 의해 불에 탄후 침몰하였다. 배에서 23마일 떨어진 곳에서 발사된 엑소세 유도탄은 바다표면 5m위로 날아와 최신예의 군함을 격침시킨 것이다. 유도탄이 레이더의 새로운 표적으로 강하게 등장하였다. 레이더의 대상 표적을 보면 방공망이나 SAM 레이더는 항공기, RPV, 공대지/함대함 유도탄, 순항 유도탄, 지대지 탄도탄 등이다. 이들의 전자파 특성과 탄도학적 특성이 모두 다르다는 것에 레이더 기술자의 고민이 생긴다. 탄도탄의 경우는 그 탐지도 어려운 점이 많다. 그 이유는 첫째 고공 고각에서 초고속으로 내리꽂는 탄도 때문이고 둘째는 RCS가 항공기에 비해 매우 작다는 것이다. 레이더가 전투기나 순항 유도탄을 보기 위해서는 안테나의 전자파빔이 거의 수평선상을 향한다. 그러나 탄도탄을 탐지하기 위해서는 전자파빔을 높은 고각으로 쳐들어야 한다. 탄도탄은 초속 1.5 km이상으로 강하하기 때문에 사전에 알려진 또는 예상되는 탄도근처의 한정된 공간(회랑)내에서만 전자파빔이 조사되어야 탐지확률이 높다. 그 공간이 좁을수록 탐지확률은 높아진다. 아무리 위상배열안테나를 사

용한 다기능 레이더라 할지라도 한개의 전자파빔으로 주어진 공간을 훑는 데에는 시간이 소요되며 송신에너지도 한정되어 있기 때문에 탐지공간이 넓을수록 탐지확률은 감소하게 되어 있다. 탄도탄은 일반 표적에 비해 속도가 훨씬 빠르므로 관측을 자주 해야 추적을 유지할 수 있다. 측정속도의 모호성(Velocity Ambiguity)을 줄이기 위해 레이더의 PRF도 빠른 High-PRF를 구사할 수 있어야 한다. 비록 다기능 위상배열 레이더라 할지라도 한개의 레이더로는 서로 표적특성이 다르고 탄도가 다른 영역에 있는 동시다발로 전개된 항공기와 순항유도탄 그리고 탄도탄을 동시에 찾고 정밀 추적한다는 것은 매우 어렵다고 보아야 한다. 어떤 표적이 우선 순위가 높은가를 결정하고 레이더의 동작모드를 선택하여야 하는 것이다. 이 레이더의 운용모드에는 임무수행체계의 임무에 따라 표적의 우선순위와 정밀 추적하는 표적수와 탐색공간이 사전에 결정되고 포기 내지는 감수해야 하는 사항도 미리 정해져 있다.

현대전에서 이와같은 다양한 표적을 극심한 전자파방해 속에서 찾아내어 표적정보를 얻으려면 모든 면에서 융통성과 잠재력이 많은 레이더가 필요하다. 이런 것을 그래도 해결하는 기술방향이 위상배열 레이더로 가는 것이다. 위상배열 레이더는 초기에는 전략용 대형 조기경보망레이더를 구축하기 위한 목적으로 시스템이 개발되었고 그 후 기술이 정착함에 따라 전술급 레이더로도 확산되어 왔다. 지금 현역에 배치된 레이더는 수동식 위상배열 안테나(Passive Array Antenna)가 주류를 이루고 있으나 조만간 능동식 위상배열 안테나(Active Array Antenna)가 실용화됨에 따라 능동식 위상배열 레이더가 점차 확산될 전망이다.

국가의 방공망 센서로서 또는 무기체계의 전천후 원거리 센서인 '눈' 역할을 하는 레이더의 기능과 성능에 대한 요구조건은 앞에서 언급한 레이더에 대한 위협과 상황을 극복하고 표적정보를 얻을 수 있어야 한다는 것이다. 그러므로 레이더의 보유 기능

/성능은 '저고도 표적에 대한 탐지능력, ECCM능력, 대방사유도탄에 대한 대처능력이 우수해야 하며, 동시다발 표적에 대한 탐지와 추적능력을 보유해야 하며, 다기능 및 다목적 용도를 위해서 또는 시시각각으로 변하는 상황에 대처하기 위해서는 시스템의 융통성이 많아야 한다'라고 개념적으로 요약할 수 있다. 그리고 레이더 개발자는 표적의 발전 추세 중의 하나인 은밀성 증가를 염두에 두어 설계하여야 한다.

레이더 개발에 필요한 기술 또는 레이더와 연관된 기술은 그야말로 공학전반에 걸쳐 총망라된다고 해도 과언이 아니다. 레이더는 무선공학과 컴퓨터 공학을 중심으로 해 시스템이 설계되지만 세부설계 단계나 개발과 생산에 관해서는 모든 전자공학 기술과 기계공학 기술이 동원되고 만나는 광장이다. 따라서 레이더시스템 기술자들은 늘 세심한 주의를 기울여 무선공학은 물론 전자공학 전반에 걸쳐 발전기술의 핵심과 추세를 지켜보고 그의 응용 가능성을 판단하고 레이더에 적용하는 방법을 강구해야 한다. 레이더에 관련된 한 가지의 이름의 기술은 단순한 단위기술이 아니고 그 기술이 레이더 시스템을 통해서 실현되고 효과를 발휘하려면 레이더를 이루는 여러 구성품 상호간에 얼키고 설킨 관계속을 헤집고 들어가 조화를 이루어야 한다. 레이더의 개발에서 개발계획단계와 설계단계에 이르기까지는 이미 대상표적과 위협상황이 분석되어 모형화되고, 레이더의 용도와 운용환경에 대한 분석이 되는 즉, 문제의 인식이 확실하게 되어야 한다. 그 다음에는 레이더의 설계철학과 적용될 핵심기술과 접근방법이 선정되어야 한다. 동원될 기술들은 상호연관과 조화의 관점에서 검토되어야 한다. 이런 일은 어떤 위원회에서 다수결로 이루어지는 것이 아니고 한 사람의 '프로'기술자를 중심으로 이루어진다. 이때가 바로 신이 한 사람의 영혼을 통해 내려준 영감과 능력이 동원되는 순간이다. 그 후 레이더 개발계획이 승인되고 실행되어 레이더가 탄생되는 과정은 많은 조직체와 많은 사람들이 동원되어 체계적으로

일한 산물이다. 지휘자의 방향과 박자에 따라 여러 사람의 머리와 손끝으로 만들어지는 실체화 과정인 것이다. 가상공간에 있던 레이더 그림이 눈으로 볼 수 있고 만질 수 있는 현실의 레이더로, 그 속에 생명이 불어 넣어져 살아 움직이는 또 다른 형태의 인간의 눈이 그렇게 탄생되는 것이다.

4-2 레이더 개발 모형

레이더의 개발이란 어떤 일을 하는 것인가? 어떤 과정을 통해 어떤 내용의 일을 해야 하나? 여기서 특정한 목적의 레이더에 국한된 개발보다는 레이더 공학이란 관점에서 개발과정과 고려해야 할 사항에 대한 큰 틀과 모형을 살펴보기로 하자. 이것은 레이더의 개발과정을 나타내는 한편 레이더의 개발계획의 수립과 사업추진시 고려사항을 기술한 것이다.

모든 제품개발이 그러하듯 레이더의 개발도 먼저 레이더를 어떤 목적으로 쓸 것인가를 규정하는 것이 출발점이다. 맨처음 단계는 '사용자의 요구사항'이라고 하는 범주인데 이것을 정하는 과정이 가장 중요하고 고도의 전문성을 요한다. 축적된 경험과 창조성을 바탕으로 개발될 레이더가 나오기를 간절히 기다리는 그룹과의 대화로 그들이 무엇을 원하고 있는지를 알아내어 앞으로 개발할 레이더의 기능과 성능속에 반영시키는 작업이다. 일반적으로 레이더 자체가 거대한 시스템이므로 레이더를 이용하는 체계는 더 방대하다. 예를 들면 지대공 유도탄 무기체계 또는 항공관제체계에 사용하는 레이더를 생각한다면 짐작이 갈 것이다. 앞으로는 편의상 레이더를 사용하는 상위시스템을 지대공 유도탄체계(SAM)과 같이 '임무수행체계'라 부르기로 한다. 임무수행체계 팀에서 사용할 레이더를 정의하는 것이 가능하다면 그것은 이상적이라고 할 수 있으나 대부분의 경우는 그렇지 못하다. 레이더가 하는 역할과 기능이 그 체계의 임무와 성능을 좌우하는 요소이기 때문이다. 따라서 레이더의 요구사항을 정하는 자체가 임무수행체계의 구상이자, 개념설계이자, 계획수립의 많은 부분을 차지한다. 사용자 요구

사항에는 소요임무 평가하고 현단계에서 가용한 기존 레이더로 가능한지 아니면 차기세대의 신형 레이더를 개발하여야 하는지를 판단한다. 개발하는 쪽이라면 성능 및 사양을 정하고 계획을 수립해야 한다. 그 다음에는 기술 제안서를 준비하고 여러측면에서 평가해 보아야 한다. 여기에는 성능, 실현가능성, 비용, 일정상의 위험요소, 신뢰도, 그리고 정비유지성에 대한 것이 포함된다. 그리고 생산시 소요되는 시간, 중요 개발 및 시험에 대한 정의, 작업 요구서의 정리, 기술적 접근방법과 대안, 제안서의 평가방법, 관리계획 등을 개발하고, 또 사업수행 일정표를 준비해야 한다.

다음 2단계는 레이더 시스템의 분석과 설계 단계이다. 이것은 시스템의 기능과 역할을 정의, 부체계(Subsystem)의 분할과 요구조건의 정의, 부체계의 설계 감독과 검토방법, 시스템의 성능 예측, 그리고 사업계획과 소프트웨어의 서류관리 등을 망라한다.

3단계는 레이더 시스템의 구성품의 세부설계단계이다. 주요 구성품은 안테나부, 송신기부, 수신기 및 신호처리부, 자료처리기/통제기 및 인터페이스부, 그리고 시스템 소프트웨어부로 나눈다. 세부설계와 시험방법을 포함해야 한다.

4단계는 제작에 관한 사항이다. 이것은 제품생산에 필요한 생산설계 및 제작사양의 전수, 제작비용/일정 및 성능상 문제점의 추적과 해결, 제조 및 특수시험장비 파악, 공장시험에서 고장발견/수리지원 등을 포함한다.

5단계는 레이더 시스템 종합(System Integration) 및 시험평가 단계이다. 여기에는 부체계의 종합에 관한 계획수립과 추진, 시험요건의 명세화, 시험절차의 개발과 검토 등을 포함한다.

마지막 6단계는 사용자 지원에 관한 것이다. 이것은 레이더의 설치감독, 사용자의 훈련, 야전운용유지 및 군수지원을 포함한다. 그외에 사용자의 의견을 수립하기 위한 성능향상과 설계개선에 관한 계획을 수립하고 사업수행기간 중 사용자와 개발자간의 상호교류를 계속한다는 것도 중요한 사항이다.

위의 각 단계는 개략적인 내용만 전개하였고 세부적으로는 보다 자세한 사항이나 고려항목이 있으나 여기서는 생략하기로 하고 그 이상은 참고문헌에서 인용된 자료를 보기를 바란다.

레이다 특히 다기능 레이다 시스템의 설계철학과 설계과정은 레이다의 가용한 자원 즉 기능과 에너지 위함과 상황에 따라 어떻게 공간과 시간의 틀 속에 적절하게 배분하느냐를 정하는 것이다.

V. 레이다 시스템 및 기술개발 동향

5-1 위상배열 레이다

레이다의 과거, 현재, 그리고 미래를 연결하는 발전방향의 큰 축을 한마디로 말한다면 '위상배열 레이다'라고 하겠다. 앞서 살펴 본 바와 같이 레이다가 꽃을 피운 시기는 제2차 세계대전을 전후로 한 시기이고 그 후 꾸준한 발전을 계속한다. 레이다의 발달 속도는 항공기의 발달속도와 비견할 수 있다. 항공기 발달사에서 제트엔진의 출현이 매우 중요한 기술적 돌파구를 제공한 것처럼 레이다에서도 위상배열 안테나가 그와 같은 역할을 하였다. 제트엔진이 항공기로 하여금 초음속의 벽을 뚫게 한 것처럼 위상배열 안테나는 전자파 방사방향을 고속으로 자유자재로 바꿀 수 있게하여 레이다로 하여금 다목적 다기능의 역할을 하는데 결정적 역할을 하였다. 제트엔진의 막강한 추진력이 대형항공기의 출현을 가능케 한 것처럼 위상배열기술도 대형안테나를 가진 장거리 레이다를 만들 수 있게 하였다. 안테나의 크기는 필요한 빔폭과 사용 주파수에 의해 결정된다. 장거리 레이다는 대기의 투과손실이 적은 긴 파장의 주파수를 사용해야 하므로 초대형의 안테나가 필요하게 된다. 대형 안테나로 전파빔의 방향을 바꾸기 위해서 기계적으로 움직인다는 것은 속도와 정밀도에서 한계점이 있다. 이런 이유 때문에 위상배열안테나가 제일 먼저 사용하기 시작한 것은 대륙간 탄도탄 방어체계용 레이다와 국가의 조기경보

망 레이다였다. 이런 종류의 레이다는 그 임무가 너무나 중요하기 때문에 비용은 그다지 중요한 요소가 아니었다. 냉전시대의 동서대결은 미국과 소련을 중심으로 서로 막강한 군사력을 건설하게 하였다. 이 중에서 공격수단으로서 항공기와 유도탄의 개발은 극에 달했고 이를 방어하는 수단인 방공무기체계의 발달은 자연적인 현상이었다. 이런 배경하에서 위상배열 레이다의 필요성과 발전은 계속되었다. 또한 반도체 혁명이라고 하는 반도체기술과 부품의 발달이 가져온 전자공학의 눈부신 발전은 위상배열 레이다의 실현을 가능케 하고 가격도 많이 줄일 수 있도록 하였다. 위상배열 레이다의 기술 발달은 다시 디지털 혁명이라고 하는 컴퓨터기술과의 만남에서 비약적인 발달을 할 수 있다. 레이다의 각 구성품의 통제, 고속의 신호처리, 그리고 레이다 데이터의 취급과 처리는 막강한 계산능력과 처리능력을 가진 컴퓨터와 특별 프로세서를 이용함으로써 가능해진 것이다. 다른 기술분야와 다 마찬가지로 컴퓨터는 레이다의 중요 구성품이고 설계의 수단이기도 하다. 위상배열안테나의 핵심부품인 변위기의 구동회로에는 반도체로 구성된 극소회로가 사용되며, 수천개 또는 수만개의 변위기의 위상계산과 위상값 장입은 고속의 컴퓨터와 국부적으로 분산된 컴퓨터칩이 수행한다. 레이다의 송신기와 수신기에 공통으로 사용되는 주파수 합성기는 디지털 파형발생방법이 동원되고 컴퓨터에 의해 그 기능과 파라미터가 통제된다.

5-2 능동 배열 레이다

수신기의 모든 RF부품은 반도체로 대체된 지 오래이다. 특히 수신단의 초단 증폭기는 HEMT Ga-As 저잡음 증폭기를 사용한다. 송신기의 종단출력 증폭기도 반도체 증폭기로 대체하는 추세에 있다. 레이다에서 요구하는 출력이 비교적 크지 않은 3 GHz 이하의 주파수대역은 실리콘 트랜지스터를 사용한 반도체 증폭기가 많이 사용되고 있다. 레이다의 종단 반도체 증폭기는 수십개 또는 수백개의 단

위증폭기가 결합되어 필요한 수준의 출력을 얻는 방법을 쓴다. 단위증폭기는 다시 수십개 내지 수백개의 트랜지스터가 있고 합성회로에 의해 전력이 합해진다. 레이더에서 반도체 증폭기의 실현방법은 단순히 TWT나 Klystron을 대체하는 중앙집중식 증폭기로 사용되는 경우와 증폭기 하나 하나가 안테나 복사소자의 급전회로에 분산되어 매달려 있어 안테나를 통한 공간에서 전력의 합이 이루어지는 분산식으로 크게 나눌 수 있다. 이 분산식은 반도체 전력증폭기뿐만 아니라 수신시의 저잡음 증폭기를 수용하여 송수신 모듈(T/R Module) 개념으로 발전한다. T/R 모듈은 반도체 변위기와 복사소자를 포함하고 있어 완전한 위상배열 안테나의 기본소자의 모양새를 갖추게 된다. 이러한 T/R 모듈로 만들어진 안테나를 능동식 위상배열 안테나(또는 능동배열)라고 부른다. 안테나 소자가 변위기만을 포함하고 있는 경우는 수동식 위상배열 안테나(또는 수동배열)라고 한다. 현재 실전 배치된 대부분의 레이더는 수동배열식이고 능동배열식은 실용화연구가 그동안 계속되어 왔으며 일부는 연구개발단계에서 실전배치단계에 와 있다. 실전배치단계에 와 있는 레이더로는 유럽의 코브라(Cobra)가 대표적인 예이다. 코브라는 대포병/대박격포 레이더로서 포탄이나 박격포탄의 탐지/추적을 하여 컴퓨터가 탄도를 계산하고 역추적하여 발사지점을 찾아내는 역할을 한다.

앞으로의 레이더 발전방향과 기술추세는 능동식 위상배열 레이더로 더욱 집중될 전망이다. 능동식 레이더는 완전히 반도체부품만으로 이루어졌다는 뜻이다. 그 동안 대부분의 위상배열 레이더는 송신기 종단 증폭기를 진공관에 의존한 경우가 많았다. 잘 알다시피 TWT나 Klystron은 현재까지는 가장 큰 출력을 내는 장치이고 단위 체적당 출력면에서도 선두를 차지하는 증폭관이고 앞으로도 계속 그럴 것이다. 예를 들면 러시아의 크라이스트론은 3cm 파장에서 평균출력이 5kw, 첨두출력이 100kw가 넘는 것이 보통이다. 지금까지 알려진 크라이

스트론의 최대출력은 연속파출력으로는 1 Mw급, 펄스 출력으로는 100 Mw급이 있는 것으로 알려져 있다. 이런 출력을 반도체증폭기를 통해서 얻기는 앞으로도 불가능할 것이다. 그리고 아직까지는 효율면에서도 증폭관이 반도체보다 훨씬 좋다. 진공관 증폭기는 수명이 있고 전원 공급기가 고전압이라는 단점도 있다. 그래서 이런 증폭관의 단점은 계속 개선될 것이고 중앙집중식 전력증폭기방식의 고출력 레이더에서는 앞으로도 계속 증폭관을 사용할 것이다.

다음은 T/R모듈을 사용한 능동식 반도체 레이더의 장점과 발전추세를 설명할 차례이다. T/R모듈을 사용한 안테나를 레이더 시스템의 관점에서 본 장점은 다음과 같다.

- 안테나 내에서 저출력 RF와 저전압을 취급
- RF상의 저손실
- 급격한 고장이 아닌 서서한 성능저하
- 반영구적 수명
- 광대역의 주파수 사용가능
- 광범위의 듀티 사이클(Duty Cycle)

위에서 열거한 장점들은 과거나 현재에 레이더 시스템 기술자들이 보다 좋은 레이더를 만들려고 오랫동안 염원하고 해결하려고 하였던 방향이다.

한 개의 트랜지스터가 취급할 수 있는 최대출력은 주파수와 관계가 깊다. 주파수가 올라갈수록 출력이 감소한다. 그 경향은 주파수의 자승에 역비례한다. 실리콘 트랜지스터(Bipolar Transistor)가 먼저 반도체 증폭기로서 실용화되었고 주파수의 한계가 3 GHz이내에서는 우수한 특성을 준다. GaAs를 소재로 한 유니폴라 트랜지스터(Unipolar Transistor)를 사용한 T/R 모듈은 현재의 기술수준으로는 3~15 GHz 주파수 범위에서 유용성이 있고 실용화연구단계를 거쳐 능동 레이더 개발단계에 와 있다. 평면배열안테나에서 복사소자간의 간격은 전자스캔 최대각을 결정하는데 대개 반파장(0.5λ)에서 0.7λ정도이다. 따라서 안테나소자 한 개에 주어지는 단면적은 파장의 곱의 4분의 1에서 2분의 1정

도에 불과하다. 사용주파수가 결정되면 T/R 모듈의 단면적 가로/세로는 자동적으로 결정되고 필요한 부피를 해결하는 돌파구는 길이 방향이다. 주파수가 올라갈수록 단면적이 줄어들므로 T/R 모듈내의 회로 구현에 제약을 주고 열방출도 큰 문제점이 된다. 이러한 안테나시스템의 제한점들과 지금의 GaAs 전력 트랜지스터의 최대 증폭도 및 출력한계 때문에 3 cm파장(X-band)에서 모듈당 10~20 W 내외로 보고 있다. 만약 이 주파수대역에서 5,000개의 T/R모듈을 사용한 안테나의 최대출력은 50~100 kW가 된다. 이 정도의 출력은 100 km정도의 거리에서 항공기를 탐지할 수 있는 레이더에 사용할 수 있다는 뜻이다. 다시 말해 이 정도의 거리를 취급하는 레이더는 전술용 단거리 내지 중거리 급에 해당된다. 선진국에서도 이런 급의 능동식 레이더 개발에 주력하고 있다.

5-3 표적인식과 측정기술

위상배열안테나의 발달에서 그 기여도를 빼놓을 수 없는 것이 안테나의 측정기술과 계측장비이다. 그 중에서 근접전계측정장치(NFPS; Near Field Probing System)는 위상배열 안테나의 설계, 그리고 연구단계와 생산단계에 걸쳐 안테나의 특성을 측정하고 교정하는데 필수불가결의 실험시설이다. 레이더 생산시에 월별당 생산물을 결정하는 것이 안테나의 측정속도이다. NFPS가 없었다면 위상배열안테나의 빠른 시간내의 정밀측정이 불가능하여 레이더의 조직적인 연구나 생산이 어려울 것이다. 근접전계측정은 안테나 개구면 바로 앞에서 전파의 벡터량 분포를 측정해야 함으로 '벡터 회로망 분석기(Vector Network Analyzer)', 스펙트럼이 매우 안정된 주파수 합성기가 중요한 계측기이며 전파 탐침을 주어진 공간에 정밀하게 움직여 주는 스캐너와 이들을 원격통제하고 데이터를 처리하는 컴퓨터로 구성된다. NFPS의 중요한 소프트웨어(S/W)는 스캐너의 위치오차를 비롯한 계측기의 오차를 보상하고 피측정안테나와 스캐너를 정렬하는

S/W, 근접전계를 작동시켜 근접전계분포를 측정하는 데이터수집 S/W, 근접전계 데이터를 처리하여 안테나 특성을 구하는 S/W 등이 주축을 이룬다. 특정한 위상배열안테나를 측정하려면 빔운용장치(BSU; Beam Steering Unit)와 NFPS간을 연동시키는 프로그램이 추가된다.

NFPS는 안테나의 측정 외에도 물체의 전파영상과 관련된 역산란 연구에 관한 실험장치로도 사용된다. 레이더 표적의 RCS영상을 측정하는 목적으로 이 장치를 이용하려는 연구도 진행 중이다. 이밖에 EMI분야에서 전자장비의 전파누설점을 영상화하는 연구에도 사용할 수 있다.

레이더에서는 표적의 피아식별도 중요한 임무이다. 현재까지는 레이더와 표적간에 서로 협조하는 IFF장치에만 의존하였으나 앞으로는 레이더 신호 즉 반사신호를 분석하여 표적의 특징을 찾는 소위 비협조 표적식별(또는 비협조 표적인식; Non-Corporative Target Recognition; NCTR)방법을 확대하려는 노력이 있다. 탄도탄을 요격했을 때 요격의 성공여부를 가리기 위해서도 필요하다. 레이더의 측정능력이 고정밀하고 고분해능이라 표적의 크기를 잘 수만 있다면 표적을 어느정도까지는 구별할 수 있을 것이다. 그리고 RCS특징을 모형화하여 측정된 값과 비교하는 방법도 고려한다. RCS를 영상화하는 방법과 주파수별로 RCS 프로파일을 가지고 비교하는 방법을 생각할 수 있다. 어쨌든 표적의 특징을 얻으려면 다양한 각도에서 다양한 주파수로 비교적 긴시간의 관측을 하고 가지고 있는 모형과 비교하는 방법일 것이다. 이런 표적인식 방법이 가장 쉽게 먼저 실용화 된 것이 헬기와 고정익기와 구별이다. 헬기는 큰 로우터(Rotor Blade)가 회전함으로 반사신호는 고유한 도플러 신호를 가지고 있다. 이 도플러 신호의 스펙트럼 분포를 관찰함으로써 표적이 헬기인지 아닌지를 구별할 수 있다. 앞으로의 레이더 표적인식분야의 연구는 보다 구체적인 정보를 얻어서 인식단계를 높이기도 적절한 주파수의 선택, 융통성있는 송신파형의 설계, 그리고

〈표 2〉 1989년 미국 방성이 의회에 제출한 방산핵심기술들을 각 기술마다 레이더와의 관련성을 나타낸 표.

방산핵심기술	레이더분야와의 관계
1. 극소회로 및 제조 (Microelectronics Circuits and Their Fabrication)	- 소형화, 신뢰도, 생산성 향상
2. 가륨비소 및 복합반도체(Preparation GaAs and Other Compound Semiconductors)	- 송수신 모듈(T/R Module) 및 RF 부품
3. 소프트웨어 생산성 (Software Producibility)	- 레이더 시스템 소프트웨어
4. 병렬처리 컴퓨터(Parallel Computer Architectures)	- 레이더 컴퓨터 및 자료처리기
5. 지능화 및 로봇트(Machine Intelligence /Robotics)	- 운용상의 지능화
6. 모의실험 및 모델링(Simulation and Modeling)	- 설계단계의 모든 사항
7. 집적광학(Integrated Optics)	- 고속신호처리기
8. 광섬유(Fiber Optics)	- 수신기용 변위기, 신호의 시간지연
9. 고감도 레이더(Sensitive Radar)	- 스텔드기를 대상
10. 수동식 센서(Passive Sensors)	- 레이더에 방탐능력 부여
11. 자동표적인식(Automatic Target Recognition)	- 표적 식별 /인식
12. 위상배열(Phased Array)	- 다기능 /다목적 레이더
13. 자료통합(Data Fusion)	- 레이더망, 센서의 다양화
14. 신호통제(Signature Control)	- 파형설계 및 운용기술
15. 계산방식의 유체역학(Computational Fluid Dynamics)	- RCS 계산기법
16. 공기흡입 추진 (Airbreathing Propulsion)	- 표적신호의 켓트엔진 변조
17. 고출력 마이크로파 (High Power Microwaves)	- 송신출력단
18. 펄스 전력 (Pulsed Power)	- 송신출력 전원공급기
19. 초고속 발사체 (Hypervelocity Projectile)	- RCS 특성 데이터뱅크
20. 고온 /고강도 /경량 복합재료 (High Temperature /High Strength /Light Weight Composite Materials)	- 안테나 구조재
21. 초전도 (Superconductivity)	- 저잡음 고출력 취급 부품
22. 생명공학재료 및 처리 (Biotechnology Materials and Processing)	- Bio-Chaff 재료

고속처리가 가능하도록 하는데 집중될 것이다. 켓트엔진의 앞부분에 위치한 공기 압축기의 날개에 의한 전파의 변조특징을 찾아내는 것도 하나의 방법이라고 본다. 레이더에서 표적인식이나 표적식별을 하려면 지금 우리가 알고 있는 것 보다도 더 자세한 표적의 신호(Target Signature)를 알아야 한다는 것이다. 이것은 표적의 발전추세인 스텔드

(Stealth) 및 LPI(Low Probability of Intercept)와 맞물려 있다. 좋은 레이더를 설계하려면 표적의 특징을 더 많이 알아야 하는 상황을 맞이하게 된다. 여기서 또다시 우리는 ‘知彼知己’를 되돌아보게 된다. 知彼를 하려는 것이 레이더분야에서는 대상표적을 RCS영역으로 모델화 하여 이론적으로 계산하고 측정하여 데이터베이스를 구축하는 길이다.

RCS의 측정과 연구에 필요한 연구시설은 단축거리 전자파 측정시설(CR: Compact Range)이다. CR은 안테나의 측정시설로도 사용되며 NFPS의 측정결과와 비교하여 측정결과가 검증된다. CR을 이용한 안테나의 측정은 비교적 크기가 작고 기계식 안테나에 적합하다.

5-4 레이더 핵심기술

마지막으로 레이더와 관련된 기반기술 또는 핵심 기술을 설명하기 위해 1989년 미국의 국방성이 의회에 제출하였던 방산핵심기술을 살펴보기로 한다. 이 기술들은 미국이 앞으로 계속 육성하고 다른 나라로 유출되는 것을 억제하기 위한 정책을 입안하기 위한 것이다. <표 2>에 방산핵심기술을 열거하고 그 옆에 레이더와의 관계를 맺어 보았다. 독자에 따라서는 어떤 기술은 다소 무리한 연관이라고 생각될 수도 있겠으나 레이더와 관련된 기술이 방대한 분야에 걸쳐 있다는 것을 인식하는 계기가 되길 바란다. 그리고 미국의 현재 입장에서도 레이더기술은 미국의 국익에 매우 중요하고 보호 육성되어야 한다는 의미가 있는 것이다. 한 국가의 레이더 개발 능력의 확보와 구축은 그리 간단하고 쉬운 문제가 아니다. 국가적 차원에서 의지를 가지고 계획하고 추진하여야 가능하다는 의미를 내포하고 있다.

<표 2>에서 핵심기술항목 9번 고감도 레이더, 10번 수동 센서, 11번 자동표적인식, 12번 위상배열, 13번 자료통합, 그리고 14번 신호통제, 17번 고출력 마이크로파, 18번 펄스 전력 등 8개는 레이더 시스템 그 자체 기술이거나 레이더와 직접 관련된 핵심 기술이다. 또한 항목 1번 극소회로 및 제조, 2번 가름비소 및 복합 반도체, 3번 소프트웨어 생산성, 4번 병렬처리 컴퓨터, 5번 지능화 및 로봇트, 6번 모의실험 및 모델링 등의 6개 기술은 레이더의 구성품 개발기술과 직결된다. 나머지 항목의 기술들도 레이더분야의 기반기술로 사용될 수 있다. 미국이 육성하고 보호하려는 기술항목 22중 레이더와 직접 관련된 핵심기술이 14개이고 레이더의 기반기술과

연결된 것이 나머지 8개 기술인 것으로 분류할 수 있다. 이 분석을 통해 미국이 생각하는 레이더 기술의 중요성을 쉽게 파악할 수 있고, 레이더 기술의 총체성과 여러 기술분야와의 관련성, 그리고 레이더 기술의 현재와 미래를 가늠해 볼 수 있을 것이다.

VI. 결 론

인류의 역사를 통해 각각의 이익집단을 구성하는 국가들 사이의 크고 작은 전쟁이 어떠한 형태로든지 있어 왔었다. 그들 전쟁양상 속에서 '기습'이란 공격개념은 동서고금을 통해 자주 사용되었던 속전속결의 전쟁개념이었고 앞으로도 그 개념은 변하지 않을 것이다. 시대에 따라 기습의 수단은 다르더라도 그 시대에서 가용했던 최선수단과 최대역량을 동원했던 기습공격은 가장 성공을 기대하는 전쟁형태라고 알려져 왔던 것이다. 과학기술의 발전에 따라 항공기 및 유도탄을 사용하는 공중공격은 현대전에서 가장 중요한 기습수단으로 등장하였고 그 효과성은 여러 전쟁을 통해 증명되었다. 공중공격에 대한 방어는 상대적으로 대공방어수단을 발달시켜왔다. 방공체계는 다시 공중공격에 대한 조기경보체계와 대공무기체계로 구성된다. 레이더는 방공체계의 '눈'에 해당된다. 그 '전과 눈'은 밤과 낮을 가리지 않고 어떠한 기상상태하에서도 국가의 영공을 지켜보고 있다. 또한 레이더는 대공무기체계의 '표적정보획득 센서'로서 표적의 위치와 속도를 측정하고 피아식별을 하여 대공포와 대공유도탄의 사격에 필요한 정보를 제공한다. 항공기의 입장에서 레이더의 눈을 피하기 위해 다양한 전술과 수단을 동원하게 된다. 저고도 침투, 대방사 유도탄 공격, 그리고 전자전이 그 대표적인 예이다. 레이더는 다시 이에 대한 대응수단을 강구한다. 이러한 대결 구도는 마치도 '창과 방패'의 관계처럼 서로 포기할 수 없는 입장에서 서로를 자극하면서 발전을 거듭해 왔다. 공중공격수단과 대공방어수단은 이런 발

전의 순환 속에서 급속한 발전과 변신을 하지 않을 수 없게 된다. 레이다는 이런 구도에서 중심역할을 하고 있는 것이다.

제2차 세계대전의 항공전력출현을 계기로 레이다는 전파병기로서 화려하게 등장하고 레이다공학의 기본골격을 형성하게 된다. 그 후 레이다는 냉전시대의 동서간 첨예한 무기경쟁과정에서 반도체기술과 컴퓨터기술의 발달에 힘입어 위상배열레이다가 실현되고 성숙되는 계기를 맞이하게 된다. 위상배열안테나는 다목적/다기능 레이다의 길을 열게 했으며 무한한 발전가능성을 제공하였다. 앞으로의 발전방향도 위상배열레이다라고 하는 궤도를 유지할 것이다. 일반적으로 공학의 근본은 자연을 보는 심안을 기르고, 이해하기 쉽도록 모형화하고, 또 모형화하는 도구를 만들고 그 사용법을 배우는 것이다. 공학이 주위의 기술을 끌어 모아 서로를 이어서 상상의 공간에 있던 꿈을 현실의 세계로 실체화시키는 과정인 것처럼 레이다공학도 주변기술을 먹고 자란다. 또 레이다는 관련기술을 자극하여 발전시키기도 한다. 특히 레이다공학은 다식성/잡식성이라 주위의 많은 기술과 공학의 성장을 필요로 하고 있다. 레이다는 현재 고속으로 성장하고 있는 마이크로파 대역의 반도체부품과 고속 처리능력의 컴퓨터기술을 왕성하게 먹고 자라 Smart Sensor인 지능형 능동식 위상배열레이다(Intelligent Active Phased Array Radar) 즉, Brilliant Eye로 그 모습을 나타낼 것이다. 그리고 전천후 원거리 정보 획득수단으로서 전파공학의 정점에는 늘 레이다가 자리하여 왔듯이 앞으로도 그 자리를 계속 장식해 나갈 것이다.

鳥語蟲聲 總是傳心秘訣 花花草草 無非見道之文學者 要天機清徹 胸次玲瓏 觸物 皆有會心處

새의 지저귀임이나 벌레 소리는 모두 음향을 통해 그 뜻을 전달한다. 아름다운 꽃이나 풀빛은 만상을 통해 진리를 보여 주고 있다. 배우는 사람이 천기를

맑게 하여 가슴속이 밝아진다면 사물에 접하여 모두 깨달음이 있을 것이다.

(葉根譚 自然篇에 있는 말이다.)

참고 문헌

1. David Begley, Bonnie J. O'connell, "Micro-wave & RF 30th Anniversary", *Microwave & RF*, March 1992, pp. 76-112.
2. Merrill I. Skolnik, "Fifty Years of Radar", *Proceedings of The IEEE*, Vol. 73, No. 2, February 1985, pp. 182-197.
3. Prof. R. W. Burns, MSc, PhD, CEng, FIEE, "Aspects of UK air defense from 1914 to 1935: some unpublished Admiralty contributions", *IEE Proceedings*, Vol. 136, Pt. A, No. 6, November 1989.
4. Henry E. Guerlac, American Institute of Physics, "Radar in World War II, Section A-C and Section D-E", *Series of The History of Modern Physics 1880-1950*, Vol. 8, Tomash Publishers, 1987.
5. 엘빈 토플러, 전쟁과 반전쟁, 한국경제신문사
6. Richard K. Betts, Surprise Attack : Lessons for Defense Planning, The Brookings Institution, 1982. 또는 국방부 전사편찬위원회, '기습', 역자: 조영철, 김양명, 1984. 6.
7. 미 국방부 의회최종보고서, 걸프전쟁, 국방군사연구소 역, 1992. 12.
8. John A. Adam, "Warfare in the information age", *IEEE Spectrum*, September 1991, pp. 26-33.
9. Ellis Rubinstein, "Technology in War and Peace", *IEEE Spectrum*, October 1982, pp. 34-67.
10. Tim Ripley, "Iraq's Nuclear Weapons Programme", *Jane's Intelligence Review*, Dec.

1992. pp. 554-559.
11. J. Jones, *Stealth Technology ; The Art of Black Magic*, Tab Books, 1989.
 12. 이용희, “러시아 대공/대탄도탄 유도무기체계 S-300PMU-1”, 월간 국방과 기술, 1996년 7월호, pp. 38-45. 8월호, pp.46-55.
 13. Mark Hewish, “Low-Level Air Defense, New Sensors Enhance Effectiveness”, *International Defense Riview*, 6/1994. pp. 43-55.
 14. George Palocz-Horvath, “Muti-Purpose Radar Options for European Frigates”, *Military Technology*, MILTECH. 7/96. pp. 10-14.
 15. Robert J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*, Artech House, Boston, 1994.
 16. Dale R. Billetter, *Multifunction Array Radar*, Artech House, 1989.
 17. *DMS Market Intelligence Report*, Radar Vol. I, Vol. II, Forecast International, 1992.
 18. IEEE Skills Assessment Program, “Radar Engineering Field Specific Knowledge Inventory”, *IEEE AES Magagine*, November 1990, pp. 54-56.
 19. Dan Slater, *Near-Field Antenna Measurements*, Artech House, London, 1990.
 20. Paul Dvorak, “Better than the biggest wind tunnel,” *Machine Design*, Nov. 1992, pp. 58-62.

저자소개

1951년 : 충청남도 청양에서 출생
 1974년 : 한국항공대학 항공전자공학과, 학사
 1976년 : 한국과학원 전기 및 전자공학과, 석사
 1984년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
 1976년 : 국방과학연구소 입소, 현재 책임연구원



<주관심 분야>

국군의 공학적/정신적 접근, 대공무기와 평사냥의 유사성, 유도탄과 스키와 상관성, 그리고 골프의 스윙 폼 등을 통해 스포츠의 미적 요소를 진화적/공화적 차원에서 찾아보는 것.