

러시아 대공/대탄도탄 유도무기체계 S-300PMU-1



李 鎔 熙
國科研 책임연구원
공학박사

“
전장에서 전술탄도탄의
위협이 증대되고 이에 대한
방어 임무가 어려운 가운데
각국에서는 새로운 유도무기체계
개발에 박차를 가하고 있는 실정이다.
이에 러시아가 자랑하는 대공/대탄도탄
유도 무기체계인 S-300PMU-1의 시스템
구성방법과 운용개념, 기술 성능 등에
대해 개략적으로 살펴보았다
”

우리는 걸프전을 통해 전술탄도탄의 위
협 증대와 이에 대한 방어임무가
기존 방공유도무기체계의 임무 위에 더하여
지는 가혹한 현실을 보았다. 공중표적의 종
류가 점점 다양해지고 항공기의 성능과 전술
도 꾸준히 발전해 오고 있다.

대공임무의 입장에서 보면 대응해야 할 위
협표적도 급증하였고 전자전의 환경도 그 종
류와 강도가 증가해가고 있다고 볼 수 있다.
이러한 어려운 여건에다 탄도탄의 확산과 위
협이 증가하고 있어 예전의 순항 유도탄처럼
대공방어 임무가 어깨를 짓누르고 있는 것이
다.

대공무기센서인 레이더의 입장에서 보면

탄도탄의 속도, 표적특성, 항로 등이 항공기와는 전혀 다른 영역에 있어 탐지/포착/추적에 많은 기술적인 어려움을 제공하고 있는 것이다. 요격유도탄의 입장도 마찬가지이다.

항공기보다 더 강한 표적이고 확실한 파괴를 해야 한다는 것이다. 이러한 위협상황 때문에 많은 국가가 심혈을 기울여 “두마리의 토끼를 잡을 수 있는” 새로운 유도무기체계를 개발하고 있는 것이 작금의 현실이다.

이러한 시기에 러시아가 자랑하는 대공/대탄도탄 유도무기체계인 S-300PMU-1를 살펴봄으로써 이 문제에 대하여 먼저 고민하였고 그들 나름의 기술적 배경하에서 해결하려고 노력하였던 기술자의 고뇌와 그 결과를 들여다 볼 수 있는 계기가 될 것이다.

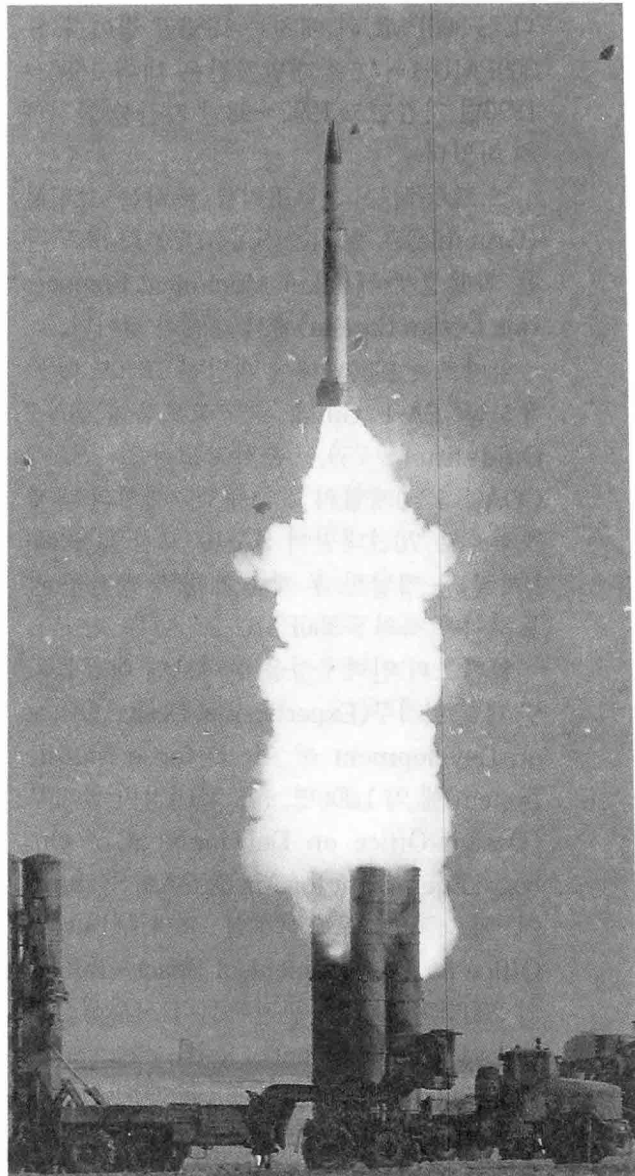
살펴보는 방향은 시스템의 전체구성방법과 운용개념, 핵심구성품인 위상배열레이더 및 유도탄의 개념과 적용된 기술, 성능을 짐작하게 하는 몇가지 성능항목과 숫자들이다. 그리고 일부 중요한 사항에 대한 기술분석을 하였다.

제한된 자료에서 제한된 내용과 깊이로 얻는 정보만으로는 코끼리의 몇몇 부위를 더듬어 보는 것이고, 희미한 불빛 아래서 코끼리의 전체모습을 그려내고 성질을 어렵해 파악하는 것은 우리 기술자들의 몫이다. 얼마나 실체에 가깝게 그리느냐가 중요한 일이다.

서방에서는 SA-10C로 분류하는 S-300 PMU-1 중장거리 대공/대탄도탄 유도무기

시스템은 모스크바에 있는 알마즈(Almaz Scientific Industrial Corporation)가 주관하여 협력업체와 함께 S-300P 계열의 러시아 주력방공무기로부터 발전한 S-300PMU(SA-10B)을 한 단계 더 개량한 것이다.

S-300PMU의 표기에서 P는 mobile을,



S-300PMU-1의 유도탄이 수직발사되어 로켓모터가 막 점화된 상태. 이 때는 노즐 끝에 있는 개스방향제어판이 작동하여 유도탄의 자세가 조종되고 날아가 방향을 잡는다

M은 modify를, U는 improved의 뜻을 나타내는 러시아어의 첫글자를 표기한 것이다.

처음 S-300P계열의 개발년도는 다기능 레이더의 위상배열안테나 개발이 1969년에 착수하여 1972년에 시제품이 나왔으며 1975년부터 생산단계에 들어간 것으로 보아 대강 집작을 할 수 있으며 1980년에 실전배치되었다. S-300PMU의 배치는 1985년 경이다. S-300PMU-1의 중점개발기간은 대략 1985~1990년 기간이고 1992~93년 기간중 실전배치 하였다.

‘으르렁’하는 천둥소리를 뜻하는 그럼블(Grumble)로 불리는 SA-10계열의 유도탄은 화켈설계국(Fakel Mechanical Engineering Design Bureau)에서 개발한 것이다.

알마즈는 1950년대에 개발한 고고도 대공 유도탄 SA-1 Guild, 중고고도용인 SA-2 Guideline(S-75), 중저고도용인 SA-3 GOA(S-125)계열의 대공유도탄체계의 대체 목적으로 70년대말에 SA-10 그럼블(S-300P계열)을 개발한 후 계속 개량과 발전을 거듭하여 현재의 S-300PMU-1에 이른 것이다.

알마즈의 인력구성을 살펴보면 대공유도탄 개발 설계부(Experimental Design Office on Development of Air Defense Missile System)에 약 1,000명, 유도탄내장비 설계부(Design Office on Development of On-board Equipment for Air Defense System)에 약 400명, 우주선개발 설계부(Design Office on Development of Space-craft)에 약 200명이 있고 무선전자장비 시험생산부(Pilot Production Plant of Radio-electronics Equipment)에 약 600명이 소속되어 전체적으로 약 2,200명에 달한다.

알마즈 전체를 관장하는 이사회(Council

of Directors)가 있고 그 이사회의 의장(Chairman of the Council)은 Polaychev N. N.이 맡고 있다. 의장은 위원회(Board), 설계국 책임자(Director of Design Bureau), 그리고 수석 설계자(Chief Designer)를 거느리고 있다.

S-300PMU-1 대공/대탄도탄 유도무기체계

S-300PMU의 개발목적은 앞으로 예상되는 대량공중기습으로부터 국가 중요시설을 보호하기 위한 것으로 대상위협표적은 전술 및 전략 항공기, 전략순항유도탄, 항공기탑재 유도탄, 전장배치 전술급 탄도탄, 그리고 기타의 공중공격무기라고 가정하였다.

또한 이 무기체계가 운용되는 전장환경은 극심한 양의 각종 클러터가 존재하고, 현재 또는 미래에 상상되는 강도 높은 각종의 ECM상황이라고 가정하였다고 한다.

S-300PMU-1은 S-300PMU의 개량형으로 형식, 체계구성품, 기동성 및 배치시간 등의 기본개념은 같지만 전반적으로 “사거리 증가, 교전가능한 표적의 속도범위 증가, 단독 작전능력 보강, 시스템기능 측정능력 보강, 운용자 훈련장비 보강, 그리고 장비제작상의 최신 설계기술을 적용한다”는 것들을 목표로 성능개량한 것이다. 즉, 전술급 탄도탄의 요격 성능향상을 염두에 둔 것이다.

S-300PMU-1 포대구성

S-300PMU-1의 포대(battery)구성은 다기능 위상배열레이더인 교전 레이더(또는 조사 및 유도 레이더) 1대와 지휘소, 이동발사대는



이집트 공군에 배치된 320 SA-2 GUIDELINE 미사일

12대까지 물릴 수 있으며 발사대당 4기의 유도탄이 장진되어 있다.

포대지휘소는 다기능레이다의 장비밴이 설치된 차량의 뒤쪽에 함께 붙어 있다. 이밖에 지원장비가 있다.

30N6E 다기능 교전 레이더

NATO명은 후랩리프(Flap Lip)라고 부른다. 이 교전 레이더(Engagement Radar)는 조사 및 유도레이더(Illumination and Guidance Radar)라고도 하는데 표적의 탐지, 포착, 추적, 전자파의 조사, 그리고 씨커(seeker)에서 측정된 신호의 수신과 유도명령을 송신하는 교신채널등의 다기능 역할을 한다.

표적의 추적개시는 대대급 지휘통제소에서 넘겨받은 표적을 포착하여 추적하거나 자체적으로 표적을 탐색하여 포착/추적할 수도 있다. 독립적으로 탐색할 때 공간상의 스캔범위는 다음과 같다.

- 저고도 탐색 : 고도 1도, 방위 90도

- 중고고도에서 항공기 탐색 : 고도 13도, 방위 64도 또는 고도 5도, 방위 64도

- 탄도탄의 탐색 : 고도 10도, 방위 32도

표적정보를 넘겨받은 경우에 표적포착을 위한 스캔범위는 고도 4도, 방위 4도 또는 고도 2도, 방위 2도이다. 위상배열안테나의 전자조향각범위는 상하좌우 45도까지 한다.

이 다기능 교전레이다의 탐지성은 RCS가 1평방미터 표적에 대해 140km이고 각분해능은 1도, 거리분해능은 100m이다.

탐지 → 포착 → 추적 → 표적선정 → 발사대선정 및 최적 발사시각의 순서가 자동적으로 이루어진 후 지휘소에 발사여부를 묻는다. 이때 IFF가 작동된 후 발사할 수 있다.

교전 레이더는 표적과 자신의 유도탄을 포착/추적하며 반응동식 씨커와 근접신관의 동작을 위해서 표적에 전자파를 조사(illumination)한다.

1대의 교전 레이더로 동시에 교전 가능한 표적수는 6개이며 각표적당 2개까지 유도탄을 발사할 수 있다. 한 표적에 대해 2개의 유도탄을 발사할 때 첫번째 탄은 사수(발사대담당 장교)가 발사버튼을 누르고 두번째 탄은 자동적으로 발사된다.

발사버튼을 누른 후 3초후에 유도탄이 발사되며 발사간격은 3초이다. 유도탄의 유도지령은 교전 레이더에 의해 송신되는 전파에 실리며 지령계산은 레이더가 측정한 표적과 유도탄의 좌표와 씨커가 측정한 좌표에 의해

수행된다.

이런 방식을 TVM(Track-via-Missile)방식이라고 하며 지령유도방식과 반능동식 씨커방식의 장점을 결합시킨 것이다. 이방식은 전파방해, 복수표적, 저고도 표적에 대한 교전시 살상확률을 높인다고 알려져 있다.

여기서 TVM에 대해서 잠깐 생각하여 보기로 한다. TVM은 일종의 반능동식 씨커에 의한 유도방식과 지령유도방식이 결합된 개념이다. 시스템의 개발착수시기에는 유도탄에 탑재된 씨커의 프로세서만으로는 엄청난 양의 신호처리와 데이터처리 및 상황판단이 어려워 씨커에서 수신되는 신호를 일차적으로 걸러서 지상으로 보낸다.

이 데이터는 지상 사격통제장비에 있는 막강한 컴퓨터에 의해 처리되고 표적이 탐지, 포착/추적과 전자전 상태를 판단한다. 이 정보는 유도명령계산의 입력으로 사용되고 궤도수정명령을 다시 유도탄에 보내게 된다.

즉 유도탄과 지상 컴퓨터간의 교신채널을 만들어서 탄내(on-board)에서 처리하는 데에는 한계가 있는 복잡하고 빠른 계산과 판단을 지상장비에서 수행한다는 개념이 TVM방식이다.

패트리엇은 이를 위해서 별도의 통신채널과 위상배열안테나가 있다. S-300PMU-1은 높은 PRF도 사용하므로 레이다 송신펄스에 교신정보를 실어 통신채널로도 이용할 가능성이 있다.

교신정보의 신호대역폭이나 동시 대응능력, 즉 동시에 교신할 수 있는 유도탄수를 생각하면 독립적인 교신채널을 가지고 있어야 다기능 레이다가 표적을 추적/조사하는데 자원과 시간을 많이 할당할 수 있게 된다. 이 부분에 대한 더 자세한 기술적인 내용은 알

수 없다.

일반적으로 능동식 씨커를 사용하면 지상 장비가 훨씬 자유스러워진다. 현재 개발하고 있는 중장거리 대공/대탄도탄 유도탄에는 능동식 씨커를 채택하는 경향이 많다. 지금은 70년대와 80년대초에 비하여 기술이 많이 발전되어 있으며 특히 컴퓨터와 프로세서의 발전은 엄청나게 진전되었다.

마이크로과부품의 반도체화도 괄목할 만한 발전이 되어 소형화/고성능화가 가능하게 되었다. 이러한 기술발전의 배경과 화력증대 및 동시대응능력증대에 관한 방공무기의 끝없는 요구는 능동식 씨커의 사용을 계속 부추길 것이다.

TVM을 포함한 반능동식 씨커에 의한 유도방식에서 논란으로 제기되는 것은 쏜 후 알아서 비행(fire & forget)하는 것이 아니라는 것이다. 종말유도단계에 가까워질수록 지상장비는 더욱 더 역할이 중요해 지며 신경을 써야하는 것이다.

만약 TVM씨커가 표적을 물려고 시도하고 있을때 또는 물고 있는 종말유도단계에서 표적이 급격히 하강하거나 옆으로 기동하여 레이다와 간신히 유지되고 있던 표적과의 시선(line of sight)이 차단되는 상황을 생각해 보자.

이러한 일은 저고도 비행 표적상황이나 표적과의 거리가 먼 경우에 지형에 따라 생길 수가 많다. 이러한 상황에서는 지상레이다에 의한 추적유지 즉, 전자파의 조사가 끊어지므로 씨커는 표적으로부터의 반사파를 받을 수 없게 된다. 아주 중요한 시기에 말이다. 이러한 경우에도 능동식 씨커는 작동을 계속할 수 있다.

이러한 점도 능동식 씨커를 사용하는 추세

에 일조를 했다고 볼 수 있다. 센서에서 시선의 확장과 유지는 가장 중요한 일이다. 레이더를 가능한 한 높은 곳에 설치하는 것도 이러한 이유이다. 지상 레이더는 높은 산에 배치되어 있고 함상 레이더 안테나는 마스터의 가장 높은 곳을 차지하고 있다. 지형에 의한 시선제한을 극복하고자 JSTAR나 AWACS 처럼 항공기에 레이더를 설치하는 비싼 댓가를 지불하는 것이다.

사람이나 짐승도 경계할 때는 목을 길게 빼어 눈을 높게 하는 것도 센서의 시선확장과 직결되는 행동이다. 땅에 굴을 파고 집단 서식하는 아프리카 초원의 '리어켈'의 경계행동에서 그 전형적인 모습을 볼 수 있다. 보호 역할을 하는 리어켈이 집 근처의 언덕에서 두발로 꼳꼳이 서서 주위를 두리번거린다. 네발짐승이 그렇게 꼳꼳이 서있는 것이 얼마나 힘든 일인가!

후랩리프 다기능 교전 레이더는 크게 안테나부(Antenna Post)와 장비밴(Equipment Van)으로 구성되었고 대형 트럭 위에 장착되어 있다. 레이더를 장착한 상태에서 차량무게는 전체가 45.5톤이고 130kW의 전력을 소비한다.

전체크기는 길이가 14.5m, 폭이 3.15m이고 높이는 3.8m이다. 안테나부의 무게만 11.5톤이고 장비밴은 9.1톤이 나간다.

레이더를 높이 올려 설치하는 방법(Telescope Mast)도 있는데 주로 숲속에서 운용할 때 나무높이 위로 레이더

를 높여서 시선을 확보하려는 것이다. 또한 이것은 저고도로 날아오는 항공기나 순항유도탄을 멀리서 볼 수 있도록 해 준다.

레이더 안테나가 높을수록 수면이나 지면에 의한 다중반사로 인한 탐지장애를 받는 현상에 대해 유리하다. 표적이 탐지가능거리 내에 들어와 있고 표적과 레이더 안테나간 시선은 확보되어 있는 데도 표적이 탐지되지 않거나 추적을 놓치는 경우가 많은데 이 원인이 바로 다중반사현상 때문인 경우가 많다.

이동형 레이더를 이동시켜 차량이 접근할 수 있는 장소에 전개할 때 안테나가 가까이 전자파의 진행을 가리는 장애물이 의외로 많은 것은 경험으로 알 수 있다. 텔레스코프 마스트와 같은 안테나 팔이 있다면 레이더의 전개지형 선정에도 융통성이 많을 것이다.

안테나의 변위기에는 가역식 페라이트방식으로 11,000개 개개의 위상값을 일일이 제어할 수 있다고 한다. 변위기를 하나하나 제



S-330PMU-1의 중심이 되는 다기능 교전 레이더 ▶ 가운데에 레이더장비밴과 그위에 위상배열안테나가 운용상태로 올려져 있고 맨 뒤에는 포대 지휘소 밴이 보인다

어한다는 것은 위상배열안테나의 기본 기능인 전자적으로 복사방향을 고속으로 바꿀 수 있을 뿐만 아니라 복사패턴도 변화시킬 수 있어 레이더의 기능과 대전자전에 대한 대응능력을 획기적으로 향상시킬 수 있는 매우 중요한 요소이다.

예를 들면 다기능 레이더가 표적을 찾아내야 하는 탐지모드일때는 안테나의 복사빔폭이 넓으면 주어진 공간을 빨리 훑을 수 있어 좋다. 표적의 위치를 정확하게 측정해야 할 정밀추적모드에서는 빔폭이 가능한 한 좁을 수록 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 영점의 위치(null point)도 필요시 바꿀 수 있다.

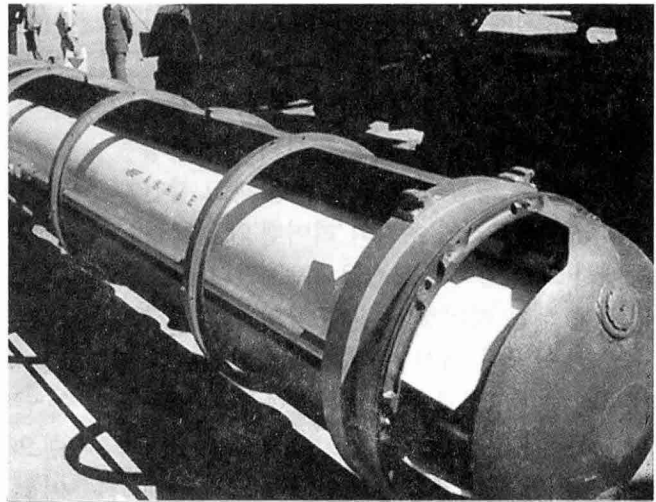
이러한 가변성은 클러터가 심하게 들어오는 방향이나 전파방해가 들어오는 방향에 대해서는 전자파가 수신되지 못하도록 복사모양을 제어할 수 있으므로 시스템의 성능과 기능에 많은 기여를 하게 된다.

수많은 복사소자의 위상을 독립적으로 제어한다는 것은 그만큼 복잡한 안테나의 설계기술, 제작기술과 측정기술을 필요로 한다. 예를 들면 인접하고 있는 복사소자간의 간격이 반파장 근처이므로 X-대역에서는 1.7cm 정도가 된다.

다기능 위상배열안테나의 배열구조를 상상하려면 벌집을 생각하면 된다. 풀이나 애

벌레가 들어있는 육각형 모양의 방하나가 복사소자 한개에 해당된다고 볼 수 있다. 육각형 방과 방 사이의 간격이 1.7cm이고 안테나 벌집 전체는 가운데에서 세로로 100줄, 가로로 100줄이 바둑판처럼 깔려있는 모양이다. 공간급전방식에서는 복사소자를 원형으

화켈 설계국에 의해 개발된 48N6E 미사일



로 배열시키므로 지름이 170cm크기인 둥근 벌집을 생각하면 된다. 이것은 주배열면을 말하는 것으로 실제로 보는 안테나는 부엽차단용 안테나와 IFF용 안테나가 함께 붙어 있고 또 이들을 지지하는 골격이 있으므로 안테나 전체의 크기는 보다 커지게 된다.

배열 소자를 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 분포온도를 측정한다.

배선에 관하여 생각해 보면 변위기 한개당 대략 8개의 전선연결이 필요하다고 가정하면 약 8만개의 전선이 깔리게 된다. 안테나의

변두리에 있는 변위기에 연결하는 것은 비교적 쉽지만 가운데 부분에 있는 변위기에도 똑같이 연결해야 하므로 배선에 관련된 구조만 해도 엄청나게 복잡하게 된다.

어쨌든 이 많은 도선이 배열면의 테두리를 통해 각각의 변위기로 연결된다. 주배열안테나의 무게만 3톤이 넘고 안테나와 부수 구조물을 합쳐 무게가 11톤이 넘는 것을 보아도 그 복잡성을 짐작할 수 있다. 기계적인 구조물뿐만 아니라 변위기에 장입되는 명령값을 계산하는 일도 고속의 프로세서를 필요로 한다.

파라데이 회전방식을 사용한 변위기는 가역특성이 있으므로 전자파의 송수신을 하는데 시간적으로 자유로워서 레이더의 펄스반복주파수(PRF)를 높게도 올릴 수 있다.

높은 PRF는 TVM방식에서 유리하며 유도명령의 채널 수도 많게 할 수 있는 조건이 된다. 고속의 표적을 추적하는 데에도 유리한 점이 있다.

파라데이 회전식 변위기는 변위기 내부에서 회전하는 원편파를 그대로 방사시키므로 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 수신감도를 높이는 효과와 같다.

송신출력이 크다는 것은 그만큼 사용자에게는 비용과 전력을 소비하는 것이고 적에게는 자신을 많이 노출시킨다는 일이다. 노출

이 많으면 레이더의 위치와 신호가 발각되 쉬워 대레이다유도탄(ARM)의 공격에 취약하게 된다.

원편파를 사용하는 또하나의 이점은 선편파보다 기후에 의한 전자파 영향에 덜 취약하다는 것이다. 특히 비에 의한 반사가 작아서 우천시 표적탐지에 매우 우수하다.

비나 눈의 영향을 줄이려면 사용 주파수를 내려도 되지만 이동형 레이더에서는 주파수가 높을수록 안테나의 크기가 작아져서 좋다. 이러한 기술적 배경 때문에 후랩리프에서는 100km가 넘는 교전거리 임무를 수행하는데 X-대역의 주파수를 사용할 수 있었던 것이다.

이 거리를 X-대역에서 선형편파로 한다면 우천시의 성능에 영향을 많이 받는다. 패트리엇은 이보다 낮은 주파수대역인 C-대역을 쓰고 수직 선형편파이다.

유도탄의 씨커는 지상의 다기능 교전 레이더의 사용주파수에 따른다. 일반적으로 파장이 짧으면 변위기의 단면도 좁아야 하므로 기술적으로 난제가 더 많다. (다음호에 계속)

참고자료

- ▲ Alexander A. Lemasky and Nikolay Nenartovich, 「Modern Air Defense Systems」, 〈Military Parade〉, 1995. April/March, pp.62-65.
- ▲ Industrial Promotion Service/Monch Moscow Mönch Publishing Company, 「The S-300PMU-1 Air Defence/ATBM SAM System」, 〈Military Technology〉, MILTECH 11/93, pp.90-92.
- ▲ David K. Barton, 「The 1993 Moscow Air Show」, Special Report in Microwave Journal, May 1994, pp. 24-39.
- ▲ Boris V. Bounkin and Alexander A. Lemanski, 「Experience of development and industrial production of X-band passive phased antenna arrays」, L'Onde Electrique, Mai-Juin 1994, Vol. 74, NO.3, pp.13-17.
- ▲ 제인스 연감, 지대공 유도탄체계편, '95~'96판.