

〈主 題〉

군사 위성통신의 현황과 전망

안동명 · 시광규

(국방과학연구소)

□ 차 례 □

- I. 서 론
- II. 군사 위성통신 시스템의 특성
- III. 군사 위성통신 시스템의 현황
- IV. 군사 위성통신 시스템의 발전방향
- V. 결 론

I. 서 론

최초의 상용 통신위성인 Intelsat I 과 군사 통신위성인 DSCS I 이 1965년과 1966년 각각 발사된 이후 통신 매체로서 위성의 잠재력이 확인됨에 따라 위성 통신 기술은 지속적인 발전을 거듭하여 오늘날 위성 통신은 상용 및 군 통신에 있어서 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 특히 군 위성통신의 경우 기존의 장거리 통신 수단이던 HF통신이나, 마이크로 웨이브 통신보다 더욱 신뢰성과 생존성이 있는 수단이 되었으며, 걸프전을 통해 위성의 위력이 다시 한번 입증되었다. 오늘날 위성은 전장에서 가장 중요한 지휘/통제(command & control)의 핵심 수단으로서 사용되고 있으며 선진 각국에서도 21세기를 대비 장차전 개념에 부합되는 차세대 군사 통신위성 개발 계획을 서두르고 있다. 본 고에서는 군사 위성통신 시스템의 현황과 전망을 살펴보기 위해 크게 세부분으로 나누어 기술하고자 한다. 군 통신은 열악한 환경하에서 운용될 가능성을 항상 염두에 두고 설계해야 하므로 때로는 상용 통신 시스템의 운용환경에서는 무의미하거나 오히려 성능을 저하시킬 수 있는 기술들이 유효하게 사용될 수도 있다. 이러한 관점에서 군사 위성통신 시스템 설계시 운용환경 분석 특히, 적의 의도적인 위협요소를 도출하고 이에 따른 기술적 대처 방안을 수립하는 과정이 선행되어야만 한다. II 장 군사 위성통신 시스템의 기술적 특성에서는 운용특성,

위협분석 및 대처방안으로서 가장 중요한 ECCM(Electronic Counter Counter Measure)기능등에 대해 언급하고자 한다. 미국, 러시아, 프랑스등 군사 강국들은 자국의 군사 운용 목적에 맞는 위성통신 시스템을 개발 운영해 오고 있다. 군사 통신위성에 대한 세부적인 기술적 사항은 대부분 공개되고 있지 않으나 가용한 자료를 활용 III 장에서 미국의 DSCS, MILSTAR, 영국의 SKYNET 4, 프랑스의 SYRACUSE II 등의 대표적인 통신위성 현황에 대해 기술하고 IV 장에서는 군사 통신위성 시스템의 향후 발전 방향에 대한 견해를 기술하고자 한다.

II. 군사 위성통신 시스템의 특성

1. 운용특성 및 요구능력

상용의 경우와 같이 위성통신이 군 통신에서도 매우 중요한 역할을 담당할 수 있는것은 위성의 고유한 특성인 통신영역의 광역성, 전파의 동보성, 천재지변이나 물리적 공격등에 대한 내재해성등을 들 수가 있다. 특히 위성을 통해 지형에 관계없이 가시선을 확보하여 신속히 회선을 구성할 수 있기 때문에 이동성과 생존성을 생명으로 하는 군 통신에 있어서 위성통신의 군사적 유용성은 새삼 강조할 필요가 없을 것이다. 위성의 군사적 중요성은 본질적으로 위성이 제공

해주는 광역의 가시성에 기인 하지만 적에게도 이러한 가시성을 제공하게 되므로 위성의 가시성은 군 통신 경우에 있어서 아킬레스 근이 될수 밖에 없다. 따라서 위성통신은 적의 재밍등에 의한 전자적 공격에 취약할 수 밖에 없으며 어디서나 감청이 용이할 수 있고 경우에 따라서는 지상관계 시설 파괴시 위성 시스템 전체가 마비되는 취약성을 가지고 있다. 군사 위성통신은 지휘 통제에 가장 중요한 통신 수단이기 때문에 전시에 적은 재밍뿐 아니라 가능하면 물리적 공격을 통해서라도 위성을 파괴시키고자 할 것이다. 따라서 위성의 고유특성을 유지하면서 상기한 취약성들을 보강하는것이 군사 위성통신의 가장 중요한 설계 고려 요소라고 할 수 있다. 일반적으로 위성통신의 요구능력은 다음과 같이 크게 세가지로 구분할 수 있다.

- ⇒ 위성이 처리할 수 있는 실효 정보 전송량 또는 위성전체의 신호 대역폭등으로 표현 될 수 있는 용량성(Capacity)
- ⇒ AJ(Anti-jamming), 신호보안, LPI(Low Probability of Intercept), 물리적 공격에 대한 대처능력등을 총칭하는 생존성(Survivability)

⇒ 단말의 이동성, 망 구축성, 연동성(Intero-perability)등을 의미하는 운용성(Operational flexibility)

이러한 세가지 기본 요구능력들은 독립적으로 추구 되는것이 아니라 요구된 위성의 임무나 기술적 제한 사항등에 따라 서로 trade-off하여야 한다. 따라서 그림 1과 같이 세가지 기본요구능력들은 삼각형의 형태를 갖게되고 기술이 발전함에 따라 삼각형의 크기는 증가 시킬 수 있지만 형태는 바꿀수 없다는 것을 알 수 있다. 이들 요구능력들 간에 존재하는 trade-off의 예를 들면 다음과 같다.

- 단말의 이동성을 높이기 위해 방향성이 적은 안테나를 사용하면 재머(jammer)의 영향을 받기 쉬우므로 생존성이 떨어지고 송신 EIRP와 수신 G/T가 적으므로 고속 정보를 전송할 수가 없을 것이다.
- AJ(Anti-jamming)능력을 키우기 위해 한정된 대역폭내에서 처리이득을 증가시키면 유효 신호 전송율이 떨어지고 좁은 빔폭을 갖는 안테나를 사

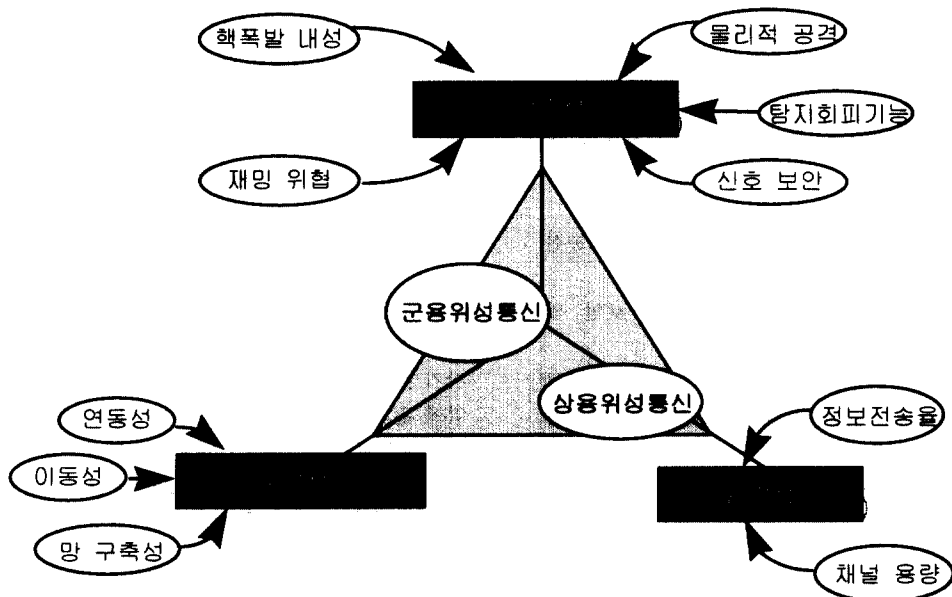


그림1. 통신 위성의 기본적인 요구능력 요소와 상호관계

용하면 상대적인 이동성이 저해된다.

상용 위성통신 시스템은 용량성이 가장 중요한 요구능력 이라고 한다면 군용의 경우는 생존성과 운용성이 가장 중요한 설계 고려요소라고 할수 있다. 이러한 관점에 따라 상용과 군용 통신위성의 특성을 비

은 상용 위성통신 시스템과는 달리 생존성을 가장 중요시한다. 따라서 군용 위성통신 시스템의 설계 및 구축시에는 잠재적으로 상존하고 있는 위협요소들에 대한 대처 방안을 고려하여야 하는데 이들 위협요소들을 크게 분류하면 높은 고도에서의 핵폭발에 의한

표 1. 상용과 군용 위성통신의 특성 비교

구분	상용	군용
통신 영역	국내위성의 경우 대부분 자국 영토 및 연안을 대상으로 함	작전 영역에 따라 광범위한 통신영역을 대상으로 함
주파수 대역	상용 주파수(L, C, Ku, Ka 대역등) 사용	군용 주파수(UHF, X, EHF)별도 운용
위성 탑재 안테나	주어진 통신영역을 지원하기 위한 spot빔 또는 주파수 재사용을 위한 다중 빔 안테나 사용	통신영역 및 Anti-jamming을 위해 spot 빔, steerable 빔, area 빔, nulling빔등 다양한 안테나 사용
사용자 단말	주로 고정용, 상용환경에서 사용	고정용, 휴대용, 이동용등 다양한 platform하에서 운용
대전자전, LPI 및 보안기능	불필요	필수(정보 및 관계신호)
정보 전송용량	대용량	소/중용량
통신품질	고품질	보통

교하면 표 1과 같이 나타낼수 있다.

군사 위성통신의 세부 설계요구 조건은 위성의 임무나 기능, 위성을 통해 전달하고자 하는 정보의 중요성등에 따라 다르겠지만 일반적인 요구사항들을 정리하면 다음과 같다.

- 작전 운용개념에 따른 다양하고 융통성있는 통신 영역을 지원할 수 있어야 한다.
- 통신의 생존성을 위해 AJ기능, 신호 보안 및 LPI기능을 갖추어야 한다.
- 고정용, 차량용, 휴대용, 수상 및 수중함용, 항공기용등 다양한 사용자 platform환경을 지원해야 한다.
- 전시 운용을 위해 신속한 망 또는 회선 구성능력을 갖추어야 한다.

2. 위협요소 분석

그림 1에서 보인 바와 같이 군용 위성통신 시스템

방사 위협, 위성에 대한 물리적인 공격, 통신방해를 위한 ECM(Electronic Counter Measure)등으로 나눌수 있다.

2.1 핵 방사 위협(Nuclear threats)

2.1.1 전파 경로상의 영향

핵 폭탄에 의한 직접적인 위성공격이 아니라, 높은 고도(해발 20km 이상)에서의 핵 폭발은 대기권과 자기장의 변동 및 상호작용을 유발하여 광범위한 지역에 걸쳐 모든 통신수단을 방해할 수 있는 영향들을 복합적으로 발생시킨다. 이를 핵 효과(nuclear effect)라고 총칭한다. 핵 폭발에 의한 위성의 장애는 1962년 미국에서 실시한 "Stsrfish"라 명명된 핵 실험도중 여러 위성들의 장애를 경험하고 이를 통해 핵 폭발 환경하에서의 위성 생존을 위한 지침을 마련하기 시작하였으며 그 이후에 발사되는 군사 위성에 대해서는 그 임무 및 용도에 따라 적절하게 핵 효과에 대한

대책을 마련하고 있다. 이러한 핵 폭발이 전파경로상에 미치는 영향은 크게 신호 에너지의 흡수(absorption)로 대별되는 non-scintillation효과와 신호의 진폭과 위상에 급격한 변동을 일으키는 페이딩(fading)으로 대별되는 scintillation효과로 구분할 수 있다. 신호의 흡수효과는 핵 폭발로 대기층내 자유전자의 밀도 변화가 생겨 위성통신 링크의 전자기 신호를 부분적으로 통과 시키거나 막음으로써 신호 에너지의 흡수현상을 초래하게 되는데 신호 에너지의 흡수는 전자 밀도에 비례하고 사용 주파수의 제곱에 반비례하여 나타난다. 따라서 위성통신에 사용하는 주파수가 높을수록 흡수에 의한 영향의 감소와 짧은 지속시간을 나타내므로 통신용량 측면뿐만 아니라 핵폭발에 의한 전파경로상의 영향을 덜기 위해서도 높은 주파수(EHF)대의 사용이 요구된다. 높은 주파수대에서의 흡수시간 단축은 과도해진 전자밀도가 자연상태로 환원하려는 속성에 기인하는 것으로 짧은 파장의 SHF또는 EHF대역이 긴 파장의 UHF대역보다 우수한 것은 명백한 사실이다. 그외에도 신호흡수 현상을 겪는 범위 또한 사용 주파수 대역이 높을수록 좁은지역으로 제한된다. 예로서 UHF대역에서의 신호 흡수 영역 및 지속시간은 수백 km범위와 수십분의 지속시간으로 나타나고 EHF대역에서는 수 km의 범위에 일시적으로 나타난다. 이러한 현상에 대한 대책으로는 먼저 흡수시간이 지난후에 통신을 다시 재개하는 방법과, 송신 EIRP의 증가와 데이터 전송속도의 감소 및 낮은 요구 (E_b/N_0)를 갖는 코딩기법의 사용등을 통해 링크 여유도를 증가시켜, 흡수효과에 의한 신호감쇄를 보상하는 방법등이 있다. 또 신호 흡수 효과와는 대조적으로 그 영향이 장시간 지속되는 신틸레이션 효과는 이온층을 통과하는 전파 경로상의 이온밀도 변화에 의해 신호의 진폭 및 위상 특성이 급격히 변동하는 페이딩 현상을 겪게되는데 초기에는 고속페이딩의 형태로 나타나고 일정시간 이후에는 저속 레일리 페이딩의 형태를 갖는다. 신틸레이션 효과는 신호의 동기를 어렵게 하고 채널상에 coherence bandwidth의 변동을 초래하여 통신 시스템의 성능에 막대한 지장을 초래한다. 이를 완화할 수 있는 대책으로는 coherent 변조기법 대신 M-ary FSK와 같은 non-coherent 변조기법을 사용하고, 동기를 위한 고속 위상 추적 루프의 사용, 비교적 긴 길이의 인터리빙과 순방향 에러정정 기법의 결합사용 및 적응동화기의 사용등을 들수 있다. 이러한 대처방안 외에 높은 주파수의 사용은 신틸레이션 효과가 미치는

영역의 축소와 지속시간의 감소효과를 얻을 수 있어 보다 근본적인 대책이 될수 있을 것이다. 신틸레이션 효과는 수백 km의 범위와 수십 시간에 걸쳐 영향이 지속되지만 EHF대역에서의 신틸레이션 효과는 수백 km범위와 약 1시간 정도의 지속 시간을 나타내는 것으로 알려져 있다.

2.1.2 위성체 및 지상장비의 영향

높은 고도에서의 핵 폭발 영향은 전파경로상의 장애 외에 위성체와 지상단말에도 전자기 펄스(EMP:Electromagnetic Pulse)의 형태로 영향을 미치게 되는데 이는 핵 폭발에 의한 2차적인 영향으로 핵 폭발로부터 방출되는 에너지의 70~80%를 차지하는 X선과 감마선이 대기권 상층부에 들어감으로써 전자속(Electron flux)을 발생시켜 그 RF에너지가 위성체나 지상장비에 도달하여 높은 전류와 전압을 유기시켜, 위성체나 지상장비의 민감한 소자들에 큰 손상을 입히게 된다. 이외에도 X선은 위성체 및 다른 시스템 요소에 작용하여 내부 전자속을 만들어내는데 이들이 전자기적으로 상호작용하여 높은 전류 및 전압을 유기하는 내부 EMP(self-generated EMP)를 또한 발생시키는데 이는 고체 전자소자(solid state device)를 태워 심각한 성능저하를 초래할 수도 있다. 또한 감마선과 중성자는 시스템 내부에 들어가 TREE(Transient Radiation Effects in Electronics)효과라 불리는 현상을 일으키는데 이로인해 고체 소자의 성능을 마비 시킬수도 있다. 앞에서 살펴본 영향외에도 방출되는 X선, 감마선, 중성자, 방사능등의 입자들은 상대적인 강도에 따라 치명적인 영향을 미칠수 있다. 이러한 영향으로 부터 위성체 및 지상장비의 보호는 원자번호가 낮은 재질의 선택사용등을 통해 성능열화를 최소화 할수 있다. 결국 핵 폭발에 대한 대처방안은 핵전을 대비한것으로 핵 공격시나, 핵 공격후에도 위성을 이용한 통신을 보장하는것이 그 목적이다. 그러나 소련의 붕괴로 인한 냉전체제의 종식으로 핵전의 가능성은 사실상 줄어들었으며 그 결과가 미국의 MILSTAR위성 개발계획에 뚜렷하게 반영되고 있다.

2.2 위성에 대한 물리적 공격

위성통신 시스템을 영원히 무력화 시키기 위해, 위성체 파괴를 우선 목적으로 하는 방법으로 냉전 이전에는 미,소 양국이 경쟁적으로 이러한 위성 공격용

무기 확보에 주력하였으나 냉전 이후 이러한 위성 공격용 무기개발 프로그램의 대부분이 취소 되었다. 공격 방법에 따라 크게 기존의 위성 공격용 무기(ASAT:Anti-satellite weapons)와 직접 에너지 방사 무기(directed energy beams)로 나눌수 있으며 공격 플랫폼의 위치에 따라 지상발사(ground based)및 우주 발사(space based)형태로 구분할 수 있다. 이 장에서는 이러한 위성의 공격 방법중 직접 에너지 방사 무기 및 ASAT를 중심으로 그 현황 및 대처방안에 대해 간략히 소개하고자 한다.

2.2.1 직접 에너지 방사(Directed Energy Beams)

직접 에너지 방사 무기는 레이저 빔, 입자 빔, 고출력 RF빔 등에 해당하는 무기로 위성체로 하여금 경보 및 회피에 대한 시간적 여유를 주지 않으므로 효과적이긴 하나 지상에서 발사되는 경우 대기권 내에서의 구름이나 강우, 강설 등에 의한 에너지 감쇄로 그 유효성은 상당히 제한적이다. 따라서 이들을 우주 궤도상에 배치하여 에너지 감쇄를 줄이는 방법이 제시 되었으나 플랫폼이 우주 공간상에 위치할 경우 이들에 대한 명령 및 제어, 유지보수등이 간단한 일은 아니다. 전자 입자빔 무기의 경우 대기중을 200m 통과하는데 빔 에너지의 50%까지 손실을 가질뿐만 아니라 지 자기장의 영향으로 빔의 상당량이 편향되어 목표물에 대한 고 에너지의 집속을 어렵게 할것이다. 이러한 편향 효과에 비교적 영향을 작게 받는것이 중성입자 빔인데 장점으로는 레이저 빔과는 달리 위성체 내부를 투과하여 시스템 내부에 직접 열효과 및 방사영향을 주어 내부 소자들에 상당한 영향을 미칠수 있다는 것이다. 레이저 빔의 경우 고에너지를 집적하여 위성체에 조사 함으로써 열 효과에 의해 위성체 센서들에 상당한 영향을 미칠수 있다. 확인된 보고서에 의하면 구 소련의 지상에 설치된 레이저 무기는 400km이하의 저궤도 위성을 무력화 시킬수 있고 1,200km상공의 위성에 손상을 줄수 있는 수준인 것으로 알려져 있다[1]. 이에 대한 근본적인 대처방안으로 군 통신 위성체의 궤도는 저 궤도나 중 궤도 보다는 정지궤도 및 더 높은 궤도를 이용하는것이 바람직하고 부수적으로 위성체의 빔 입사를 반향할수 있는 위성체 표면의 코팅처리와 고온에 견딜수 있고 에너지를 재방사 할수 있는 "shuttle tile"등의 사용을 들수 있다. 고출력 RF빔은 재밍의 수단으로 뿐만 아니라 민감한 전자소자나 수신기에 돌이킬수 없는 손

상을 줄수 있을 것이다. 그러나 사용 주파수 대역내에 입사되는 자속을 적절히 여파하고 제거함으로써 충분히 대책을 마련할수 있을 것이다.

2.2.2 위성 공격용 무기(ASAT)

우주 공간상에 위치한 직접 에너지 방사 무기는 위성체 파괴와 손상에 필요한 전력이 지상에 있을때 보다 훨씬 낮아도 가능하므로 미국의 전략 방위 구상(SDI:Strategic Defense Initiative)에서 상당히 심도있게 고려되었으나 현재의 가용한 기술로는 기존의 탄두를 이용하는 재래식 무기에 비해 실효성이 떨어지는 것으로 조사되었다. 위성 공격용 무기로는 다양한 형태가 있을수 있으나 먼저 탄두가 위성체에 충돌함으로써 그 속도에 따른 충격 및 열에너지에 의한 위성체의 파괴방법과 탄두가 위성체 부근에 접근하여 폭발한 후 그 파편(warhead fragmentation)으로 위성을 파괴하는 방법이 주로 사용되고 있다. 이들은 지상, 공중 또는 저궤도에서 직접 발사되어 질수 있는데 현재까지 기술적인 접근이 가장 용이한 방법으로 알려져 있으나 미사일 추진 및 가이던스 등에 막대한 비용이 소요된다. 이러한 ASAT에 대한 대응책으로는

- 위성의 노출을 숨기기 위한 적절한 stealth기술의 사용
- 태양 전지판 대신 소형 핵 발전의 이용
- 위성체 외부 표면을 레이다 신호를 흡수할수 있는 재질 및 페인트의 사용
- 높은 고도에서의 위성 운용
- 지상에서 발사된 직접 에너지 무기의 영향 감소 및 ASAT에 대한 경보시간의 증가
- 공격용 무기를 회피할수 있도록 위성체의 방향 조정 및 이동 기능 부여
- 위성체에 ASAT공격의 조기 경보 및 자체 조정을 위한 능동 처리기능 부가
- 위성체에 의한 유도 파편발사 및 적외선을 이용한 ASAT의 방해 기능
- 위성 탑재·레이다에 의한 ASAT 가이던스 또는 제어 시스템의 재밍기능 부여등이 있고 그외에 위성체를 소형 경량화하고 그 대수를 증가시켜 전체 위성의 20~30% 정도가 파괴되어도 기본 통신능력은 크게 저하되지 않도록 하는 방법이 있는데 실제로 이 방법은 미국의 MILSTAR 계획중에 상당히 고려되어진 방법으로 알려져 있

다. 직접 공격 위성은 막대한 예산을 필요로 하므로 목표 대상이 되는 위성체의 상대적 가치가 낮을 경우 이러한 위성 공격용 무기를 사용할 확률은 극히 적을 것이다.

2.3 ECM(Electronic Counter Measure)

전자적인 통신방해를 목적으로 하는 ECM의 대표적인 방법으로는 적에 의한 의도적인 재밍과 신호의 감청에 의한 적극적인 공격 방법인 spoofing이 있다.

2.3.1 재밍(jamming)

재밍은 목표 통신링크상에 고출력 RF 신호를 방사하여 통신을 방해하는 것으로 의도에 따라 전체 통신 대역폭에 걸쳐 고 전력을 방사하는 광대역 재밍(wideband jamming)의 형태로 이용된다. 위성통신에 있어서는 재밍하고자 하는 대상링크에 따라 상향링크 재밍(uplink jamming)과 하향링크 재밍(downlink jamming)으로 구분하는데 상향링크 재밍은 위성의 특성상 넓은 가시성을 가지므로 공간적으로 멀리 떨어진 재머에서 방사한 신호도 위성에서 낮은 이득으로 수신되므로 재밍이 용이하고 동시에 많은 통신 링크에 영향을 미칠 수 있으므로 주로 사용되는 기법이다. 지상 고정용 재머의 경우 고전력을 방사할 수 있다는 이점은 있으나 노출이 쉬워 파괴의 위험이 있으며, 이동 및 수송용 재머는 송신전력, 지향정확도 등의 제한 요인은 있으나 이동성으로 인해 고정용 대규모 재머에 비해 노출에 의한 파괴 위험이 낮은 장점을 가지고 있다. 항공기 탑재용 재머는 안테나 크기 및 송신전력의 제한으로 하향링크 재밍에 주로 이용되고 상향링크 재밍에는 효과적이지 못할 것이다. 따라서 상향링크 재밍을 위해서는 거리상으로 목표 위성에 가깝게 접근할 수 있는 우주선 탑재 재머등도 고려되고 있다. 하향링크 재밍의 경우는 상향링크 재밍보다 목표 대상에 가깝게 접근을 하여야 하므로 노출에 의한 파괴 위험이 높아 상대적으로 수행이 어려우며 동시에 재밍효과를 얻을 수 있는 단말수도 제한된다. 그러나 저전력의 방사만으로도 제한적인 재밍효과를 얻을 수 있고 통신채널과 위성으로부터의 Telemetry 신호 수신을 방해 할 수 있다는 장점은 있다. 하향링크 재머로는 주로 항공기 탑재용과 저궤도 우주선 탑재용이 많이 이용되고 있는데 항공기 탑재용의 경우 신속

성과 넓은 지역 커버등의 장점을 가지고 있으나, 저궤도 우주선 탑재용의 경우는 목표물에 재밍할 수 있는 시간 제약등의 단점을 가지고 있어 상향링크 재밍에 이용되는 만큼 많이 이용되지는 않는다. 이외에 함정 탑재용 재머도 있는데 상대적으로 덜 위협적인 재머로 알려져 있다. 이러한 재밍에 대한 대응방안으로는 대역확산 통신에 의한 처리이득의 이용, 적을 안테나 nulling기법의 사용, 신호처리나 능동적인 재머 제거 기법의 적용 및 능동처리기능에 의한 상향링크 분리로 강한 상향링크 재밍신호에 대한 영향 최소화 등이 있다.

2.3.2 Spoofing

위성통신을 방해하는 보다 지능적인 방법으로서 위성에 거짓 명령과 잘못된 정보를 줌으로써 위성체 전체의 임무수행을 어렵도록 하는 기법이다. 이 기법의 사용을 위해서는 목표 위성 시스템의 상세한 정보를 알아야 하며 이를 위해서는 진보된 신호의 감청능력과 분석능력이 요구된다. 감청에 의해 분석된 정보를 바탕으로 몰래 명령 신호를 TT&C 링크를 통해 위성으로 보냄으로써 위성체내의 하드웨어(위성센서, 위성체의 열제어 메카니즘 및 추진 시스템)의 오동작을 유발하여 위성 시스템 전체를 무력화 시킬 수 있다. 따라서 spoofing은 탐지회피 기능과 더불어 TT&C 링크의 TRANSEC(transmission security) 및 COMSEC(communication security) 기능을 강화하여 적극적으로 대처하여야 할 위협적인 ECM 기법이다.

3. ECCM(Electronic Counter Counter Measure)

위협요소 분석에서 살펴본 바와 같이 ECM은 군용 위성통신 시스템에 가장 실질적인 위협요소로서 AJ(Anti-jamming) 기법 적용을 기본적으로 요구하고 있으며 동시에 spoofing 및 신호감청의 대응방안으로 LPI통신 기능을 요구하고 있다. 기본적인 AJ 기법으로는 신호의 대역확산(spread spectrum) 기법과 재밍 방향으로의 안테나 이득을 공간적으로 nulling 하는 안테나 널링 기법이 있다. 그 외에 부수적인 AJ 기법으로 기존의 hard limiter를 사용하는 방법과 지저대역에서 여파기 이론을 이용한 간섭제거 기법 등이 있다. 재밍 신호는 수신기의 특성상, 가능하면 RF단에서 제거 및 처리하는 것이 시스템 전체의 영향을 최소화 할 수 있

으므로 수신되는 재밍 신호의 레벨에 따라 이득을 가변하여 재밍 영향을 줄이고자 하는 "SMART AGC" 방법등이 미국의 COMSAT LAB등에서 연구되어 상당히 효과적인것으로 보고되고 있다[8]-[10]. 이장에서는 기본적인 대역확산 기법과, 안테나 널링 기법등에 대해 살펴보고 그의 부수적인 재밍 제거기법에 대한 간략한 소개와 LPI 통신의 특성 및 대응방안등에 대해 소개 하고자 한다.

3.1 안테나 널링 기법(Antenna nulling)

이 기법은 사용자 신호와 재머 신호간의 공간적 분리 특성을 이용하여 재머에 대한 영향을 줄이는 것을 목적으로 한다. 간단한 예로 스팟(spot) 빔 영역 바깥에 위치한 재머는 위성 수신 안테나의 이득을 얻지 못하므로 상대적으로 재머 전력은 약 20~30dB감쇄되어 위성 수신단에 입력될 것이다. 구현의 정도에 따라 간단하게는 이미 알고있는 적진 방향에 대해서는 저 부엽 방사 패턴을 가지는 안테나의 사용으로 이득을 주지 않는 방법이 있고, 한 단계 나아가서는 부엽 제거기를 갖는 안테나 또는 어레이 소자의 적응 제어를 통해 적극적으로 재머를 억압하는 방법이 있

다. SHF대역 이상에서 특정한 단말을 향한 하향링크 재밍의 경우, 재머가 지상 수신 안테나의 주 빔폭 범위까지 접근하여야 하는 어려움이 있으므로, 일반적으로 지상단말에서 요구되는 nulling능력은 간단한 부엽 제거기를 가지는 안테나 정도면 충분할것으로 여겨지고 있다. 그러나 상향링크 재밍의 경우는 적극적인 재밍 대책을 보유하여야 하므로 적응 빔 패턴에 의한 nulling영역 조정이 가능한 안테나들이 주목 받고 있다. 이러한 nulling기능의 수행에는 다중 빔 안테나(MBA:Multiple-Beam Antenna)와 위상 배열 안테나(PA:Phased Array)가 기본적으로 사용되고 있다. 두 안테나는 공통적으로 피더혼(horn)과 같은 수신 배열 소자를 가지고 신호방향으로는 높은 안테나 이득을 주고 재머방향으로는 null을 가지는 빔 패턴을 만드는데 일반적인 구성도는 그림 2와 같이 궤환 제어 방식으로 이루어져 있다.

적용 안테나는 먼저 안테나 출력에 남아 있는 재머 성분을 추정하고 각각의 beamformer 하중값(weifht)에 대한 잔류 재머 추정치와 신호처리전의 수신신호를 상관하여 각각의 하중값에 대한 오차신호를 만들어 낸다. 이 오차 신호에 근거하여 안테나 nulling

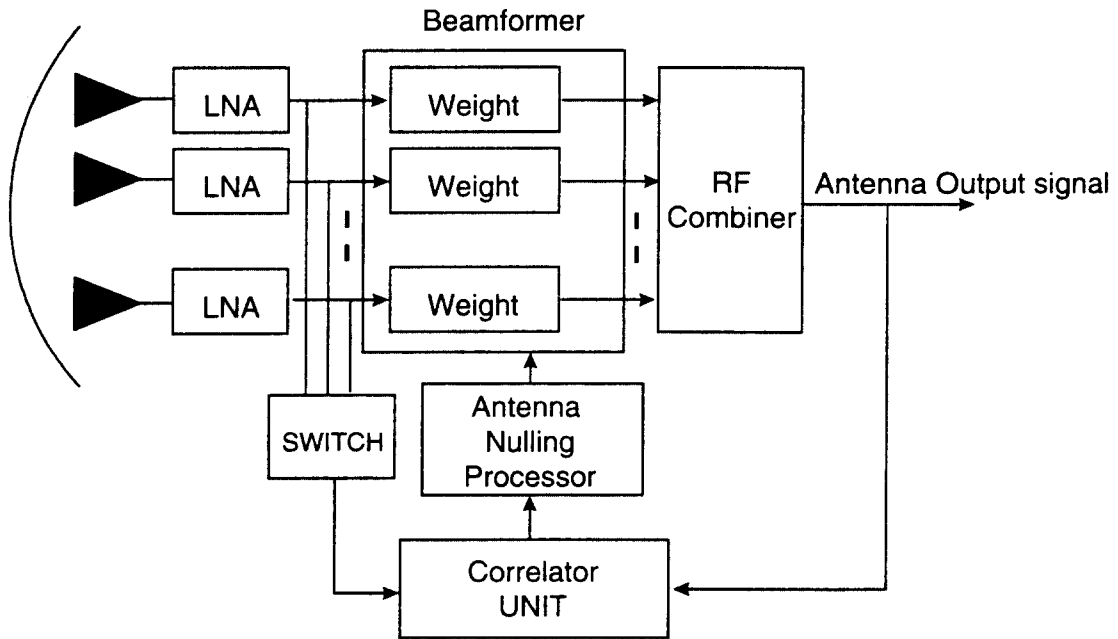


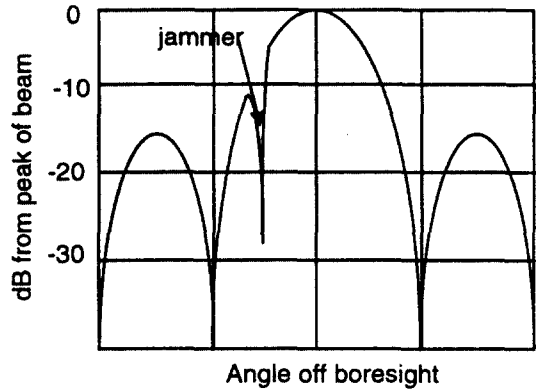
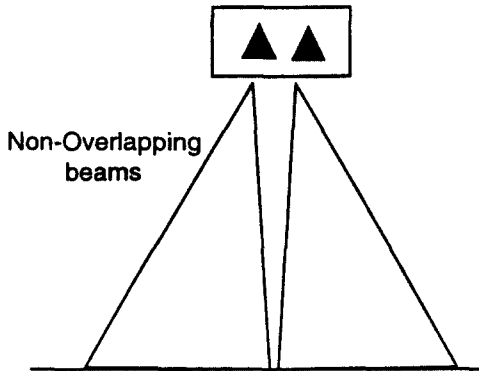
그림 2. 적응 nulling안테나의 궤환 제어 구성도

processor는 적절한 적응 알고리즘으로 하중값의 조정치를 계산하고 이에 따라 beamformer는 하중값을 조정하여 안테나 출력단에서의 신호대 재머비를 개선시킨다. 이러한 과정은 초당 수백 또는 수천번에 걸쳐 고속으로 이루어져 재머 신호로 인한 통신의 두절이 발생하기전에 적절한 수준까지 재밍 성분이 제거되어야 한다. antenna nulling을 위한 두가지 기본 방식은 그 차이를 구분하기 어려운데 주요 차이점은 빔 주사영역내에서 개별빔이 중첩되지 않도록 구성될 경우를 다중 빔 안테나라고 하고 개별빔이 빔 주사 영역내에서 완전하게 중첩되어 구성되었을때를 위상 배열 안테나라고 한다. 이들의 특성 차이는 그림 3에 나타난 바와 같이 서로 다른 장단점을 가지는데 다중비의 경우는 빔 외부에 위치한 재머나, 영역빔 사용

면에서 우수하고 위상 배열 안테나는 시계(field of view)범위 내에서 다중 빔 보다 우수한 재머 해상도(재머와 사용자 단말간의 공간적인 분리 정도를 의미하는 것으로 위성 탑재 안테나 입장에서는 재머와 사용자 단말간의 각 이격(angular separation)에 의해 표시되고, 지상의 사용자 단말 입장에서는 재머와의 거리차로 표현된다)를 가지나 영역빔으로 사용하기에는 빔 대역에 걸친 이득의 불균형으로 전체적인 성능이 저하되는 단점이 있다.

nuller로서의 안테나 성능을 결정짓는 설계변수로는 null depth, 허용 가능한 재머 전력레벨, 사용자와 재머간의 공간적 분리정도, 허용 가능한 재머 수 및 적용 속도등이 있는데 이들간에는 서로 trade-off관계가

Multibeam Antenna Nuller



Phased Array Nuller

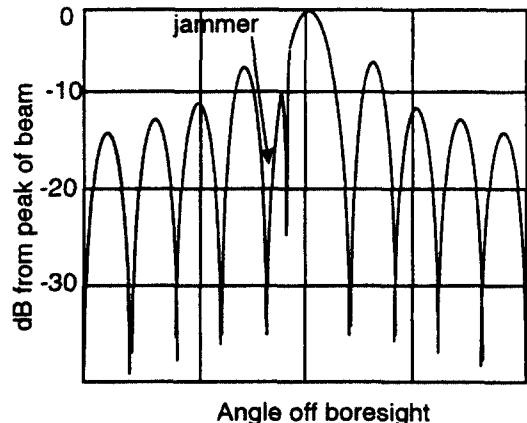
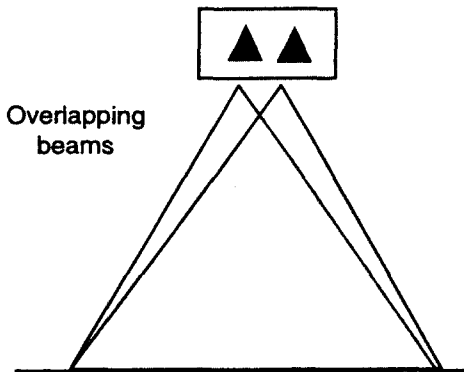


그림 3. MBA nuller와 PA nuller의 nulling특성

있으므로 사용 목적에 따라 적절한 설계가 이루어져야 한다. 표 2. 의 다중 빔 안테나에 대한 설계 변수들간의 trade-off관계에서 알수 있듯이 높은 안테나 이득을 얻기 위해서는 큰 reflector의 안테나가 요구되나 이로 인해 빔 조사 영역은 오히려 줄어들게 되며, 동시에 탑재 안테나의 부피 및 지향 정확도에 대한 제한들이 따르게 되는 등 서로간에 밀접한 상관관계가 존재한다. 일반적인 nuller를 고려할때 다중 빔 형

걸쳐 백색 가우시안 잡음이라고 가정할 경우 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$PG_s = \frac{W_s}{R_b} \quad (1)$$

여기서 R_b 는 전송될 정보 비트율을 나타내고, W_s 는 확산 대역폭을 나타낸다. 기본적으로 재밍 대처능력을 높이기 위해서는 대역 확산폭 W_s 를 크게하는 방

표 2. MBA nulling안테나의 설계 변수들간의 관계

요구 설계변수	설계 변경요소	부작용	제한요소
고 이득 안테나	큰 reflector 필요	빔 조사 영역 축소	빔 영역과 안테나 부피 및 지향 정확도등
광역 빔 조사	작은 reflector 필요	안테나 이득 감소	
고 전력 재머 제거	beamformer weight 정확도 개선	기술 개발에 필요한 비용증가	기술개발 요구
높은 사용자대 재머간 공간 분리도(고해상도)	큰 reflector 필요	고 이득: 빔 주사 영역 축소	안테나 크기 제한
in-beam 재머의 효율적 제거	beamformer의 피더 수 증가	reflector size 증가 요구	안테나 크기 제한
적용 속도의 개선	고속 processor의 사용, 고속 알고리즘 사용	DC 전력 증가 요구	기술개발, DC 전력, 비용

태가 적절한것으로 알려져 있으며[7] 실제로 영국의 SKYNET 4, 미국의 DSCS III, MILSTAR 시스템 등에서도 다중 빔 안테나를 nuller로 탑재하여 사용하고 있다.

3.2 대역확산 통신

(Spread spectrum communication)

AJ를 위한 대역확산 기법은 군 위성통신 시스템의 도입 아래 꾸준히 연구 개발되어 왔으며 현재에도 일차적인 재밍 대책으로서 NATO 3, 영국의 SKYNET 3, 4, 프랑스의 SYRACUSE I, II, 미국의 DSCS III, MILSTAR등 대부분의 군 위성통신 시스템에서 도입하여 사용하고 있다. 대역확산 기법의 재밍 대처능력을 나타내는 처리이득은 재머가 전체확산 대역폭에

법과 대역 확산폭 W_s 가 한정되어 있을 경우 데이터 전송율 R_b 를 낮추어 전송하는 방법이 있다. 대역 확산 방식에는 크게 직접확산(DS:Direct Sequence) 방식과 주파수 도약(FH:Frequency Hopping)방식으로 구분할 수 있다.

3.2.1 직접 확산 방식

(DSSS:Direct Sequence Spread Spectrum)

직접확산 방식은 다중접속의 목적으로도 사용될수 있고 전송되는 신호레벨이 낮아 탐지를 회피할 수 있는 LPI, LPD기능면에서도 유리하나 기술적으로 구현 가능한 확산 대역폭의 제한이라는 단점을 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 칩율(Chip rate)은 프랑스의 Syracuse II에서 처럼 수십 M chip/s정도이고 100M

chip/s 이상이 사용될 경우 PN(Pseudo noise)시퀀스의 발생 및 동기화에 대한 기술적인 어려움이 있는 것으로 알려져 있다[4]-[5]. 직접 확산 방식에서는 PN칩 시퀀스의 발생이 가장 중요한데 간단한 구현을 위해 정보 신호의 모든 비트에 걸쳐 동일한 PN 시퀀스를 사용하거나, 선형 제한 쉬프트 레지스터에 의한 시퀀스 발생등은 적에게 대역 확산에 대한 정보를 노출하게 되므로 사용할수 없고, 대개 transec개념을 적용하여 시퀀스를 비화하여 사용하고 비화를 위해 사용된 key는 주기적으로 변경하여 PN 시퀀스에 대한 정보를 보호한다.

재머의 전체 평균 전력이 제한되어 있다는 가정하에 적의 재밍전력은 이 제한된 전력으로 최악의 비트 오류를 발생시킬수 있는 방법을 사용하게 될것이다. DS 방식에 대한 일반적인 재머의 재밍 전략과 이에 대한 DS 방식의 대처능력 및 방안을 간단히 요약하면 다음과 같다.

- DS 확산대역의 중심주파수에 CW 톤의 사용 : 상대적으로 고전력 발생이 용이하고 전대역 재밍에 비해 효과적이거나 적용 notch 필터링등으로 제거도 용이함
- multiple 톤/jittered 톤 : 발생 시키기 용이하나 CW톤에 비해 전력이 상대적으로 제한됨. 적용 notch 필터링으로 제거하기 어려움.
- 전 대역 잡음(full band noise) : 수신부의 재확산 과정에서 톤이 확산되는 것보다 더 넓은 대역으로 확산되어 톤 재밍에 비해 재밍 효과는 몇 dB떨어지나 기존의 제거기법으로는 제거하기 어려움.
- 부분 대역 잡음(partial band noise) : 확산대역의 일부분인 부분대역 ($0 < \rho < 1$)에 걸쳐 $1/\rho$ 만큼 증가된 전력 밀도를 가지는 잡음 재밍으로 만약 $\rho \leq 0.25$ 이면 단일 톤 재밍과 동일한 성능저하를 발생시킴. ρ 값이 커짐에 따라 제거가 용이하지 않음.
- pulsed jamming : 시간의 일부분(γ)에서 전체 평균 잡음전력의 $1/\gamma$ 의 전력으로 위에서 보인 재밍방법중의 한 재밍방법을 이용 재밍을 가하는 것으로 최악의 성능저하를 유도하기 위해 재머가 γ 값을 종정할수 있어 제거가 가장 어려운 형태임.

3.2.2 주파수 도약(Frequency hopping)

주파수 도약 방식은 넓은 확산대역(EHF 대역에서 2GHz)으로 구현이 가능하므로 직접확산방식에 비해

높은 처리이득을 얻을수 있으며 주파수 분할 다중접속 및 시분할 다중접속 방식에 쉽게 적용될 수 있다는 장점이 있어 미국의 MILSTAR 위성 시스템에 적용된 대역확산 기법이다. 그러나 LPI, LPD 특성면에서는 매 홉(hop)마다 협대역의 고출력 신호가 전송되므로 오히려 직접 대역확산 방식에 비해 쉽게 신호가 노출된다는 단점은 있다. 군용 위성통신에서 주파수 도약 방식은 대체로 non-coherent M-ary FSK 변조와 결합되어 사용되는데 M-ary 심볼 톤들이 주파수 도약 패턴에 따라 확산 대역폭에 걸쳐 도약함으로써 대역확산 효과를 얻는 기법으로 심볼을 보다 높은 도약율의 고속 주파수 도약 방식이 주로 이용된다. 직접확산 방식과 마찬가지로 도약 주파수 패턴도 PN 시퀀스의 특성에 따라 좌우되므로 주파수 도약 패턴의 보호를 위해 일반적으로 PN 발생기와 주파수 합성기 사이에 스크램블링이나 비선형 특성을 가지게 하는 알고리즘을 삽입하여 사용한다. 주파수 도약 방식에 적용되는 기본적인 재밍 전략을 요약하면 다음과 같다.

- 부분 대역 잡음(partial band noise) : 확산대역(W_{ss})의 부분대역 비를 나타내는 (ρ)에 걸쳐 J_0/ρ 의 전력 밀도를 가지는 잡음 재밍으로 최악의 성능저하를 유발하도록 ρ 값을 변경 적용한다. 신호대 재머 비(SJR)가 낮을 경우는 전대역($\rho=1$)이 가장 큰 성능저하를 유발한다.
- multiple 톤 : 대역내에서 재밍하고자 하는 톤의 수에 비례하여 전체 평균 재머전력을 나누어 가지는 톤들로 구성되며 톤들의 수와 간격등을 조정함으로써 부분대역 잡음 재밍보다 몇 dB 높은 성능저하를 일으키는 재밍으로 Majority vote 및 NED(Normalized Envelope Detection)등의 diversity를 이용하여 효과적인 대응이 가능하다.

3.2.3 수동중계기와 능동중계기의 AJ능력

단순 중계기능만을 가지는 수동(bent-pipe)중계기에 대역확산 방식을 적용하여 얻을수 있는 AJ 처리이득은, 신호레벨보다 훨씬 강한 상향링크 재밍이 들어올 경우 상/하향링크가 분리되지 못함으로써 발생하는 전력 분배(power capture or power sharing)문제로 상당히 제한적일 수 있다. 전력분배 문제의 극단적인 예로서 상향링크 신호전력을 S, 재머 전력을 J, 중계기 이득을 1이라고 가정할때 위성의 전체 포화

전송전력은 $P_t = S+J$ 가 되고 재밍에 의해 억압된 신호 전력은 $S=P_t - J$ 와 같이 나타낼수 있다. 지상 단말에서의 신호대 시스템 잡음비는 $S/N=(P_t - J)/N$ 과 같이 표현되고 신호에 비해 강한 재밍이 들어올 경우, 대부분의 위성 전력은 재밍신호에 할당되고 사용자 신호레벨은 시스템 잡음 이하로 떨어져 대역확산에 의한 AJ처리이득을 제대로 얻지 못한다. 따라서 hard limiter를 이용, 강한 재밍신호를 일정한 레벨 이하로 억압하여 하향링크로 보내는 방법이 대부분 사용되고 있으나 hard limiter의 사용은 사용자 신호도 동시에 억압하여 CW 재머의 경우는 -6dB, 잡음 재머의 경우는 약 -1.25dB 정도 억압하는 것으로 알려져 있다[4]. 그러므로 수동 증계기의 경우 hard limiter외에 nulling 안테나를 이용하여 재밍을 일정 수준이하로 억압 및 제거하여 하향링크로 보내는 것이 더욱 효과적일 것이다. 실제로 군용 수동 증계 시스템인 DSCS III, SKYNET4위성등은 hard limiter와 nulling안테나를 동시에 이용하여 강한 재밍에 대처하고 있다. 그러나 이러한 문제를 해결하기 위한 근본적인 대처방안은 상/하향 링크를 분리하여 전력분배 문제로 인한 신호의 억압을 제거할 수 있는 역확산, 복조 및 재변조등의 능동처리(OBP:On-board processing)기능을 증계기에 탑재하는 것이다. 강한 재밍 환경에서도 생존해야 하는 군용 위성통신 시스템에서는 AJ성능의 개선을 위해 안테나 nulling과 능동처리 기능이 필수적으로 요구되고, 앞으로 구축될 군 위성통신 시스템의 공통적인 특징이 될것이다.

3.2.4 부수적인 AJ기법

앞에서 살펴본 대역확산과 안테나 nulling에 의한 AJ기법 이외에 재밍의 억압이나 제거를 위해 사용될 수 있는 부가적인 방법들이 있는데 이들은 재머신호를 효과적으로 억압 및 제거할 수 있어야 하고 상호변조 성분과 잡음지수 증가를 야기하여 원래 재밍신호의 영향 이상으로 성능 저하를 발생 시켜서는 안되며, 다양한 재밍 전략에 대응할 수 있어야 하고 경제적이며 다른 AJ기법과 상호보완 적이어야 한다는 조건을 만족할 경우 시스템에 적용가능하다. 만약 보조적인 재머 억압 및 제거기의 추가 사용으로 얻을 수 있는 이득을 PG_{aux} 라하면 전체 이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PG_{tot}(dB) = PG_{ant} + PG_{ss} + PG_{aux} \quad (2)$$

보조적인 AJ기법은 크게 주파수 특성을 이용하는 방법과 진폭 특성을 이용하는 방법으로 구분할 수 있는데 먼저 주파수 이용 방법은 사용자 신호와 재머 사이의 주파수의 특성 차를 이용하는 것으로 직접 대역확산 방식에 많이 적용된다. 선형 또는 비선형 필터를 사용하여 시간영역에서 재머 성분을 예측하고 수신된 신호에서 예측된 재머신호 성분을 빼주는 기법이며, 주파수 필터에 의한 방식은 먼저 푸리에 변환에 의해 주파수 영역으로 신호를 변환한후 재머 성분에 해당하는 주파수를 제거하고 다시 시간영역으로 역 변환하는 방법이다[8]. 진폭 특성을 이용하는 방법은 작은 크기의 사용자 신호에 상대적으로 큰 재머 신호를 비 선형적으로 차동 조정하여 억압하는 방법으로 주파수에 독립적으로 운용되며 재머의 진폭특성에 따라 임계값을 변경하는 적용 A/D 변환기[3]와 같은 기저대역 비선형 억압기와 증계기에 탑재하여 사용가능한 RF비선형 억압기가 있다. RF비선형 억압기법의 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 수신 시스템의 앞단에 위치하여 대개 RF 영역에서 동작하여 재머에 의한 직접적인 영향을 줄일 수 있으므로 시스템 전단의 포화에 의한 성능저하를 완화할 수 있음.
- 비선형 동작에 의해 신호와 재머에 서로 다른 진폭 변화를 일으키므로 상호변조 성분이 발생함.
- 재머와 신호의 진폭 특성 차이가 클 경우 더 효과적(재머가 대역확산에 의한 처리이득보다 클 경우 효과적)
- 부가적인 재머 제거기법 적용이 용이

RF 비선형 억압기법에는 여러가지 형태가 있으나 최근 COMSAT Lab에서 개발한 SMART AGC의 동작 개념을 구성도와 같이 그림 4에 나타내었다. 기본 개념은 상향링크에서 수신된 RF 신호를 전력 미터로 측정하여 재머의 크기에 따라 center striping을 위한 null zone을 적용적으로 조정하는 기법으로 기존의 hard limiter방법에 비해 성능이 우수한 것으로 알려져 있다[10].

위에서 살펴본 바와 같이 실제 군 사용환경은 다양한 위협요소가 존재하고 그중 가장 현실적으로 직면하는 문제는 적의 의도적인 재밍에 의한 통신 방해이다. 이를 극복하기 위한 AJ기법으로 가장 우선적으로 고려되는 것이 대역확산 통신에 의한 처리이득을 얻는 방법이고 그 다음으로 적용되는 것이 안테나에 의

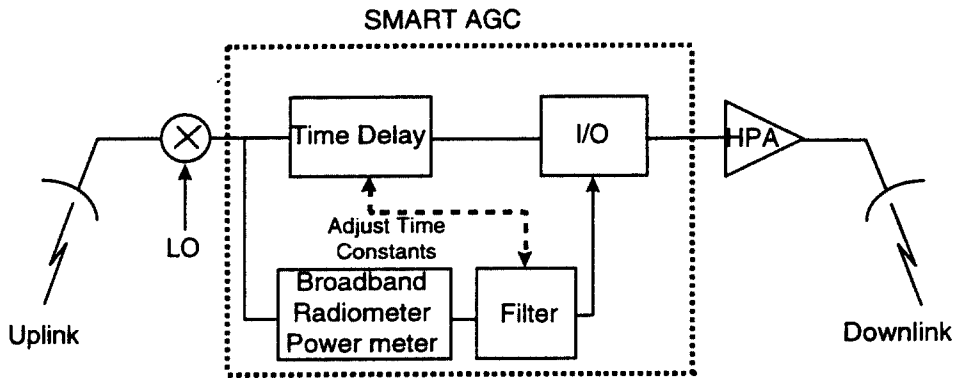
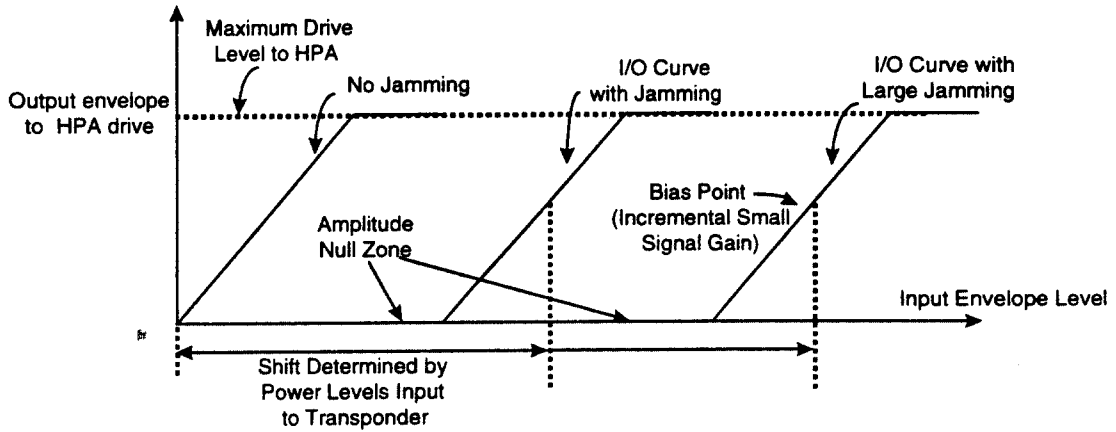


그림 4. SMART AGC의 개념

한 재머 신호와 사용자 신호의 공간적인 분리를 나타내는 안테나 널링에 의한 이득이다. 이 두가지 기법은 대부분의 선진 군사통신 위성체계에 기본적으로 적용 사용되고 있다. 이외에도 능동처리 중계기에 의한 부가적인 AJ이득과 대역확산 및 안테나 널링의 보조기법인 RF 비선형 억압 기법등이 군 위성통신 체계에 적용될 수 있으나, AJ 성능을 강화할수록 시스템의 복잡도 및 가용 통신용량의 감소등이 동시에 trade-off로 발생된다. 따라서 적절한 재밍 위험 정도를 판단하고, 재밍이 있을 경우와 없을 경우에 따라 가변적으로 AJ기법을 운용할 수 있는 구조가 바람직할 것이다.

인터셉터에 의한 위협은 크게 두가지로 분류할 수 있는데 첫번째 위협으로는 위성단말 신호의 존재를 검출하여 위치를 확인한 후 물리적 공격에 의해 지상 단말을 파괴하려는 의도이고 두번째로는 검출된 신호를 분석함으로써 메시지 내용이나 변조기법등 유용한 정보를 획득하여 재밍이나 시스템의 spoofing에 이용하고자 하는 의도이다. 따라서 군용 위성 단말에 대해서는 탐지회피 기능을 이용한 은닉 통신(covert communication)을 필수적으로 요구하고 있다. 인터셉터에 의한 신호검출 능력은 신호검출을 위해 사용되는 수신기 종류와 수신기에서의 SNR에 따라 좌우되는데 대역확산 통신 시스템의 검출에 가장 효과적으로 이용되는 수신기는 광대역 라디오 수신기로서 넓

3.3 LPI(Low Probability of Intercept)

은 시계 확보에 유리한 항공기나 우주선과 같은 플랫폼이 많이 이용되고 있다. 인터셉터와는 반대로 지상 단말의 LPI능력을 나타내는데는 인터셉터가 지상 단말 안테나의 주 빔폭으로 부터 각도 θ 만큼 떨어져 있다고 가정하고, 인터셉터에서 사용자 신호를 검출할 수 있는 지상단말간의 최대거리 $L_c(\theta)$ 를 주로 이용하는데 이 최대거리의 최소화가 곧 LPI성능의 개선과 동일한 의미를 가진다. $L_c(\theta)$ 는 주파수와 $L_c(\theta) \propto f^{-3/2}$ 의 비례관계를 가지므로 높은 주파수를 사용할수록 검출가능 최대거리는 줄어든다[6]. 이것은 주파수가 높을수록 인터셉터가 지상단말에 가깝게 접근하여야 신호검출이 가능하다는 의미이다. 일례로 44GHz에서 인터셉터의 최대 검출 가능거리는 8GHz 때 보다 약 13배 정도 줄어들게 될 것이다. 높은 주파수의 사용은 동일한 개구면적 안테나 사용을 가정할 경우, 좁은 빔폭을 만들수 있어 인터셉터를 주빔폭에서 멀게하여 안테나 이득에 의한 영향을 최소화할 수 있다. 또한 저 부엽 방사패턴의 안테나를 사용하여 인터셉터 방향에서의 신호 EIRP최소화, 넓은 신호전송 대역폭과 저속 데이터율의 사용으로 전송 신호전력의 최소화 및 인터셉터 수신기의 적분시간 증가를 통해 신호검출 확률을 낮출수 있다.

III. 군사 위성통신 시스템 현황

1. 미국의 군사 위성통신 체계 개요

미국의 군사 위성 통신체계(MILSATCOM)는 국방 정보 체계국(DISA:Defense Information System Agency)이 주관하고 있으며 사용자 요구사항 및 임무등에 따라 세가지의 운용목적으로 크게 분류하여, 별개의 위성통신 체계를 구축 운영하고 있다. 대표적인 군사 위성으로는 점대점 위주의 광대역(wideband) 통신지원을 위한 국방 위성 통신체계(DSCS:Defense Satellite Communication System), 적의 물리적 위협, 재밍, 은닉 통신, 핵 방사 환경등에 견딜수 있도록 극도의 생존성이 보장되어야 하는 핵전시 통신지원(nuclear support)을 위한 AFSATCOM(Air Force Satellite Communication), 전술 이동 통신 지원(tactical mobile support)을 위한 함대 위성통신 체계(fleet satellite communication)및 가장 강력한 군사 위성으로서 핵전시 통신지원 및 전술 이동 통신지원을 목적으로 하는 군용 전략/전술 위성중계 체계

(MILSTAR: Military Strategic and Tactical Relay System)등을 들 수 있는데 여기서는 DSCS 위성과 MILSTAR 위성체계에 대해서 소개하고자 한다.

1.1 DSCS 위성

1.1.1 개요

DSCS는 미 합참 휘하에 있는 전세계 군사 지휘 통제 통신(WWMCCS:Worldwide Military Control and Communication System), 위기 관리, 정보 및 감시 데이터의 분배, 외교 통신, 국지전 및 전면전시의 전술/전략 통신지원 목적의 장거리 대용량 위성통신 시스템이다. 1967년 부터 26기를 발사 DSCS I이 운용되었으며 DSCS II에 비해 채널수, 대전자전 능력, 통신영역 지원 기능등이 강화된 DSCS III를 발사 운용하고 있다. DSCS III위성은 시시각각으로 변하는 군 통신 운용환경에 따라 필요한 중계기를 선택하고 안테나의 송수신 패턴을 조정 위성자원을 최적화 함으로써 단말의 크기, 원하는 통신영역 및 정보 전송량이 서로 다른 다양한 사용자의 요구를 동시에 충족시켜 줄 수 있도록 설계되어 있다. DSCS III는 세계적인 규모의 전술/전략 통신지원을 위한 위성 시스템으로 개발되어 걸프전에서도 지대한 역할을 담당하였으나 ECCM능력은 MILSTAR 위성에 비해 낮은 수준인 것으로 알려지고 있다.

1.1.2 DSCS III 위성 탑재체

DSCS III는 표 3에 나타낸 바와 같이 X밴드로 운용되고 있으며 대역폭 및 출력이 서로 상이한 6채널의 중계기를 탑재하고 있다.

안테나는 4개의 EC(Earth Coverage)혼 안테나(송신용 2개, 수신용 2개), 61개의 빔 수신이 가능한 다중 빔 안테나, 19개의 빔 송신이 가능한 2개의 다중 빔 송신 안테나 및 고이득 평형 파라볼릭 송신 안테나로 구성되어 있다. 그림 5의 개략적인 중계기 구조에서 보는 바와 같이 수신 다중빔 안테나는 61개 피더 혼의 진폭과 위상을 BFN(Beam Forming Network)에서 조정함으로써 빔의 방사 패턴을 인가된 사용자들을 향해서는 고 이득을 유지하면서 JLE(Jammer Location Electronics)에 의해서 판별된 상향링크 재밍에 대해서는 null을 만들어 재밍을 무력

표 3. DSCS ■ 탑재체 주요 특성

항목	성능
주파수	X band(7.9~8.4/7.25~7.75GHz)
TT&C	S band(1.807 & 1.823/2.257 & 2.277GHz) X band(CH1&5/7.6 & 7.604 : 채널 및 안테나 제어용)ECCM & Security
안테나	1*61 beam receive MBA : 빔 성형 및 안테나 널링 2*19 beam transmit MBA : 빔 성형 2 EC receive horn, 2 EC transmit horn, 1 narrowbeam(1.5°) reflector
중계기 수	6 개(X band single frequency conversion) 대역폭 : 500MHz 출력 : - CH1, CH2(40W TWTA), - CH3~CH6(10W SSPA)
위치	12° W, 135° W, 175° W, 65° E(spare : 2)
무게/수명	1170kg/10년
전력	2 panel dual solar array(11.72m ²), 1240~980W 백업용 : 3 * 35Ah, Nicd 배터리
자세 제어	3축 제어
지향 정확도	pitch/roll : 0.09° , yaw : 1°

화 시키는 빔 성형 및 nulling 기능을 갖고 있다. 송신 다중빔 안테나는 BFN을 통해 19개 피더 혼 배열의 여기를 변경함으로써 하향링크 빔들을 사용자 단말 상황에 따라 빔을 성형 방사함으로써 위성 EIRP를

최적화 할 수 있도록 되어 있다. 송수신 안테나들은 원격 명령(TC)신호에 의해 중계기와 연결된다. 일례로 채널 1은 EC 2 안테나 혹은 MBA로 수신하여 송신 다중 빔 안테나(MBA)또는 높은 이득과 좁은 빔

표 4. DSCS ■ 안테나/중계기 구성 방안

중계기	수신(GHz)	안테나	송신(GHz)	안테나	전력(EIRP)
CH 6(50MHz)	7.9~7.95	EC 2	7.7~7.75	EC	10W(25dBW)
CH 1(60MHz)	7.975~8.035	EC2, MBA	7.25~7.31	MBA1,DISH	40W(40dBW,MBA/NC)
CH 2(60MHz)	8.05~8.125	EC2, MBA	7.335~7.395	MBA1,DISH	(29dBW, MBA/EC) (44dBW, DISH)
CH 3(85MHz)	8.145~8.23	EC1, MBA	7.42~7.505	EC1, MBA1	10W(34dBW, MBA/NC)
CH 4(60MHz)	8.255~8.315	EC1, MBA	7.53~7.59	MBA2, DISH, EC2	(23dBW, MBA/EC) (37dBW,DISH) (25dBW, EC)
CH 5(60MHz)	8.34~8.4	EC1	7.615~7.675	EC1	10W(25dBW)

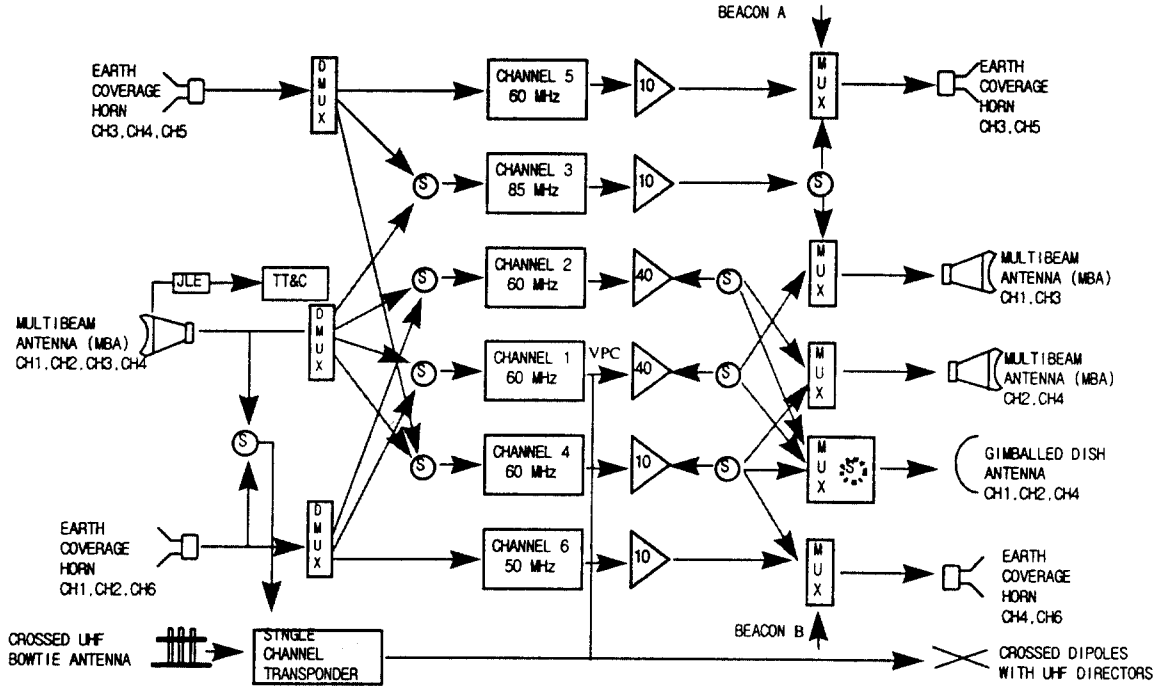


그림 5. DSCS III 중계기 구성도

영역을 갖는 gimballed dish 안테나를 선택하여 송신할 수 있다. 표 4에서 본 바와 같이 수신측에서는 16개의 서로 다른 연결구성이 가능하며 송신측은 24개의 구성이 가능함을 알 수 있다.

DSCS III가 제공하는 다양한 연결기능을 사용함으로써 운영센터는 다양한 플랫폼을 가진 사용자 단말의 요구들을 동시에 충족시킬수 있도록 망을 구성함으로써 위성자원을 효율적으로 사용할수가 있을 것이다. DSCS III의 운영제어 및 자원 할당은 SCCE(Satellite Configuration Control Element) station에서 수행된다. SCCE에서는 위성망 제어 및 자원할당에 필요한 CCP(Communication Configuration Program), IPAS(Interim Performance Analysis Software)등을 사용 단말의 위치, 요구, 특성, 재머 관련 정보등을 입력으로 하여 MBA 안테나의 방사 패턴, 중계기와 송수신 안테나의 연결 구성, 위성체 및 지상 단말의 EIRP, 단말의 변조 및 코딩 방식등을 결정하여 TT&C를 통해 위성 자원을 제어하고 관리한다. DSCS III의 관제 시스템은 신호 보완 및 ECCM 기능

을 갖도록 설계되어 있으며 S밴드와 X밴드를 동시에 사용하고 있다. 특히 X밴드를 통해 필요시 지상단말에게 원격 명령 신호를 보내어 단말을 관리할 수 있도록 되어 있다.

1.1.3 지상 단말 체계

DSCS III 위성을 통해 사용되는 단말은 크게 전략용, 전술용, 단일 채널용, 함정용, 항공기용 등으로 나눌수 있으며 전략용은 주로 고정 단말국으로 이루어지며 국방 정보망(DISN : Defense Information System Network)을 위한 전략 장거리 간선 및 중계기능을 담당한다. 전술용은 주로 이동용 단말로 구성되며 지상 이동 부대(GMF : Ground Mobile Force)에게 장거리 회선을 제공하거나 미군의 이동 전술 통신망(MSE : Mobile Subscriber Equipment)의 통신영역 확장 또는 연합작전 및 특수임무 지원등을 위해 사용된다. 그 밖에 함대 및 항공기 단말은 해안 기지국이나 함대끼리의 통신지원 및 지상 관제소와 항공

표 5. 주요 단말 종류 및 특성

특성 구분	형명/(적용)	EIRP(dBW)/ G/T(dB/K)	안테나	주요 기능
전략용	AN/FSC-78/ (고정형,표준 DSCS 지구국 단말)	94,97(고출력)/ 39.5	18.2 m, 5 개 feed horn 으로 구성	-Tx : 24개, Rx :32 개 carrier 동 시운용 가능 -주요 노드센터에 운용 -70M,700MHz IF 제공
	AN/GSC-39/ (고정/이동형)	89,92(고출력)/ 34	11.6 m	-Tx : 9개, Rx:15개 carrier 동시운 용 가능 -AN/GSC-52 와 동급
	AN/TSC-86/ (차량이동 및 헬기 운송)		2.4m/6m 자동추적 방식	-30분 이내 설치운용
전술용	AN/TSC-85/ (셀터 탑재형)	70/18(육군) 78/26(공군) 16/32kb/s 의 음성/데이터96 채널 제공	2.4m(육군), 6m(공군)	-전술용 Trunk 제공(노드,비노드, 스타, 메쉬망에서 사용) -TRI-TAC/MSE연동(4.9Mb/s) -외부 모뎀/코덱 연결운용 -Tx:1/Rx:4 carrier
	AN/TSC-93/ (셀터 탑재형)	24채널(음성/ 데이터) 36채널(TRI-T AC 입력용)	2.4m(육군), 6m(공군)	-전술용 Trunk 제공(비노드용 단 말로 spoke나 점대점통신에 사용) -TRI-TAC연동(1.152Mb /s) -외부 모뎀/코덱 연결운용 -Tx:1/Rx:4 carrier
	AN/TSC-100 A (트레일러형)	72/60 채널(가 입자용) Data rate : 44.5b/s-50kb/ s		-전술용 Trunk 제공(노드, mesh용 단말) -AJ모뎀:75b/s-32kb/s 데이터 -4 LRM mux 수용
	240AT 3대역 운용 가 능(C, X, Ku 대역) 차량이동형	C대역(58/16.5) X대역(66/21) Ku대역(59/25)	2.4 m C대역(1carrier) X대역(2carrier) Ku대역(1carrier)	-C 대역(LP/CP 제공) -X 대역(CP제공) -Ku 대역(LP 제공) -12개의 채널 제공 (LRM) (3digital cards, 6 CVSD cards, 3 FSK cards) -data rate 37.5 b/s to 56kb/s
전술용(1 채널용)	AN/GSR-42 긴급작전 전문 수신용(EAMs)	G/T : 13 1 down link	0.914m	-75b/s 로 수신후 인쇄 -MILSTAR 단말로 대치 계획중
함정용	AN/WSC-6 1,2	70/10 이상	1.2m/2.1m 관성 안정화 방 식	-V1- 1/ V2- 2 안테나 사용 가능 -8Kw,125MHz HPA -500 MHz LNA

기의 통신을 위해 사용된다. 이들 단말의 개략적인 특성을 표 5에 나타내었다.

1.2 MILSTAR 위성

1.2.1 개요

MILSTAR 프로그램은 1994년 2월 7일 타이탄4 로켓에 의해 무게 4.5톤의 MILSTAR-I 발사를 계기로 본격적인 구축에 들어간 최고의 생존성을 자랑하는 군용 위성통신 시스템이다. MILSTAR 프로그램이 80년대 초에 시작된 이래 세계의 정치, 군사 분야에 많은 변화가 있었으며 특히 소련의 붕괴는 이 위성 시스템의 개발 계획에 많은 영향을 주었다. 원래 계획은 8기의 위성을 운용하는 것으로 1989년 초에 1호

기를 발사할 계획이었으나 기술적인 제약과 이 시스템 개발에 대한 의회의 거센 저항으로 계속 지연되었으며 앞으로의 계획 역시 유동적이라 할 수 있다. 1호기부터 2호기 까지를 MILSTAR-I이라 명명하고 데이터 전송속도는 저속도(LDR : 75~2400bps)로서 기존 계획대로 핵 폭발시에도 견딜수 있는 강력한 시스템으로 구축할 계획이나, 3호기 이후 부터 발사되는 MILSTAR-II 위성에서는 핵 폭발 등에 대한 대책을 완화시키고 MILSTAR-I의 전송능력을 보강하여 중속 데이터 전송(MDR : 4.8Kbps~1.544Mbps)이 가능토록 하고, 13개의 배열 피더를 가지는 2개의 스팟 빔 nulling안테나를 통해 재밍에 대처하도록 설계되어 있으며 냉전 종결을 반영하여 지상 시설에 대한 핵 환경하에서의 운용능력을 완화하여 소형 경량화와 가격의 저렴화가 가능하도록 하고 있으며 대략 2GHz

표 6. MILSTAR-I과 MILSTAR-II 탑재체의 주요 특성

항목 \ 구분	LDR(MILSTAR-I)	LDR/MDR(MILSTAR-II)
주파수	. EHF대(44.5GHz , BW 2GHz) : up link . SHF대(20.7GHz, BW 1GHz) : down link	
전송속도	75~2.4kbps	LDR : 75~2.4kbps MDR : 4.8kbps ~ 1.544Mbps
채널 용량	192개(2.4Kbit/s에서는 100개)	MDR:32개 1.5Mbit/s LDR:192개(2.4Kbit/s에서는 100개)
안테나	. 1 상/하향(EC 혼) . 5개 상향/1개 하향의 agile 빔 안테나(37개의 국소 빔으로 구성) . 2개의 40인치 상/하향 협대역 스팟 빔 안테나 . 1개의 24인치 상/하향 광대역 스팟 빔 안테나	LDR : . 1 상/하향(EC 혼) . 5개 상향/1개 하향의 agile 빔 안테나(37개의 국소 빔으로 구성) . 2개의 40인치 상/하향 협대역 스팟 빔 안테나 . 1개의 24인치 상/하향 광대역 스팟 빔 안테나 MDR : . 2개의 상/하향 Nulling 스팟 빔 안테나(빔내에 재밍이 있을 경우 운용) . 6개의 상/하향 스팟-빔 안테나(해군과 같은 분산된 사용자 담당)
UHF 서어비스	. 4개의 75bit/s 송/수신 채널(AFSATCOM 용, 지구 커버) . 1개의 1.2Kbit/s 송신용(합대 방송 채널, 지구 커버)	
크로스 링크	. 위성당 2개(각 방향 1개), LDR요구 지원	. 위성당 2개(각 방향 1개), LDR 및 MDR 요구 지원

대역폭을 주파수 도약 방식으로 운용함으로써 제밍에 대응하고 있으며 또 특이할 만한 사실은 원거리 통신에서 지상중계 없이 60GHz대역 신호에 의한 위성간 교차링크 서비스를 제공한다는 것이다. 더욱이, 핵 공격 중이나, 핵공격 후에도 통신을 보장하기 위해 지상의 제어 신호를 상실하더라도 6개월 정도는 자체적으로 기능 유지할 수 있도록 설계되어 있으며, 지상단말의 요구에 따라 음성이나 데이터망을 실시간으로 연결할 뿐만 아니라 지원관리를 자동으로 설정하는 기능도 가지고 있다. 개발 총괄은 공군이 담당하고 Lockheed사가 주계약자가 되어 개발을 주도하고 있으며 육,해,공군 각자가 지상설비, 단말기등의 조달을 책임지고 있다.

1.2.2 MILSTAR-I 위성 탑재체

MILSTAR-I 위성은 2개의 날개 구조로 이루어져 있으며 첫번째 날개에는 저속 데이터(LDR) 중계기가 탑재되어 있어 75bps~2.4Kbps범위의 데이터 속도를 가진 다수의 주파수 분할다중화(FDM)채널을 지원하고 표 6에서 보는 바와 같이 각각 37개의 빔을 가지는 5개의 EHF agile빔 안테나를 통해서는 홉(hop)단위의 고속 빔 전환으로 185개 지역에 서비스를 제공하는 것이 특징이며 대전자전 기능구현을 위해 총 통신용량은 0.5Mbit/s이하로 제한된다. 그림 6은 LDR 중계기의 구성도를 보여주고 있다.

EHF상향링크 신호는 43.5~45.5GHz의 전대역에 걸쳐 주파수 도약 방식의 TRANSEC을 사용하고, 변조 방식으로는 M-ary FSK를 사용한다. 다중 접속 방식으로는 주파수 분할 다중화(FDM)된 192개의 수신 채널들중 한 채널을 점유하여 접속하고, 또 각 수신 채널은 접속 제어 데이터(Access Control Data)와 실제 통신 데이터로 시분할 다중화 되어있다. 안테나별로 수신된 신호를 신호그룹이라 하고 그룹별 사용 채널수에 따라 소, 중, 대로 각각 3그룹 단위로 구분된다. 수신된 신호는 EHF 하향 주파수 변환기에 의해 각 그룹별로 역도약되고 중간 주파수로 변환된다. 중간 주파수로 변환된 신호는 IF 수신기에서 각 그룹별로 주파수가 겹치지 않도록 대역이 할당되고 SAW(Surface Accoutic Wave)필터에 의해 잡음 및 간섭 신호가 제거되어진 후 3 그룹씩을 묶는 전력 결합과정을 거쳐 EHF 신호 처리기(ESP : EHF Signal Processor)로 입력된다. ESP는 아날로그 FFT변환과

정을 통해 복조 및 시분할 역다중화를 하여 각 채널별로 통신 데이터와 접속 제어 메시지를 복원해 낸다. 이 접속 제어 메시지는 MAP(MILSTAR Advanced Processor)에 의해 처리되어 사용자 단말에게로 들려지는데 이 접속 제어 메시지의 사용은 MILSTAR 위성이 가지는 주요 특징이어서 사용자에게 의해 직접 위성자원을 실시간으로 제어할 수 있도록 허용한다. 예를 들자면 지상국의 개입없이 사용자의 요구에 의해 기존망으로 가입이 가능하고 새로운 망의 설립, 점대점 서비스, 스팟빔 안테나의 이동요구등은 물론이고 위성의 orbit점유 정보와 상태를 요구할 수도 있다. 또한 통신 데이터는 MPU(Message Processor Unit)와 XLP(LDR Crosslink Processor)에 의해 라우팅되어 SHF하향링크 또는 다른 Crosslink로 연결된다. 이 라우팅은 사용자의 접속 제어 메시지 내용에 따라 채널별로 원하는 목적지로 전달될 수 있도록 구성된다. SHF하향링크 신호는 시분할 다중화(TDM)된 후 M-ary FSK나 DPSK(Differential Phase Shift Keying)로 변조되고 1GHz대역에 걸쳐 주파수 도약되어 1:4 로 이중화 되어 있는 25W의 TWTA에 의해 증폭된 다음 42개 빔 선택 스위치로 전달되고, 5개 안테나중 빔 선택 스위치에 의해 선택된 안테나를 통해 가능한 42개 빔영역중 한 빔으로 20.2~21.2GHz주파수로 하향링크 된다.

두번째 날개에는 중속 데이터(MDR)통신 장치가 탑재되어 있고, 표 6에서 보인 바와 같이 4.8Kbps~1.544Mps 범위의 속도를 가진 다수의 FDM 채널을 지원하며 최대 32개의 1.5Mbit/s채널을 8개의 안테나를 통해 송수신한다. MDR 탑재체는 MILSTAR 시스템의 용량을 증가시키고 미군의 MSE(Mobile Subscriber Unit)시스템 영역 확장과 해군 함정과 해안기지간의 대용량 통신 및 공군의 ATO(Air Tasking Order)의 신속한 전달등을 지원하게 되는데 그 구성은 그림 7과 같다. 기본적인 구조는 LDR과 유사하나 고속 데이터의 전송으로 인한 제밍 대응능력 향상을 위해 2개의 널링 안테나를 탑재하고 있다는 큰 차이점이 있다.

MDR 탑재체는 32개 상향링크 채널을 처리할 수 있으며 각 채널당 한 사용자에게 T1(1.544Mbps)까지 지원 가능하다. 상향링크의 변조 방식으로는 인접채널 간섭에 강한 SDPSK(Symmetric Differential Phase Shift Keying)를 사용하고 있다. LDR탑재체와 마찬가지로

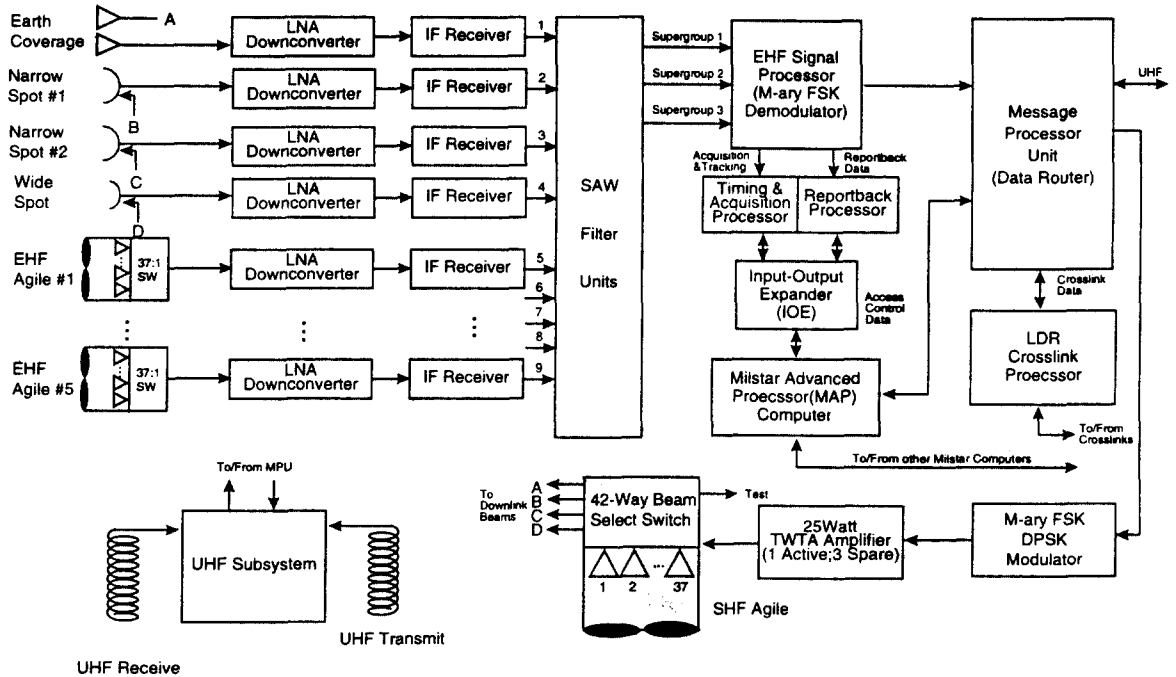


그림 6. LDR 중계기 구성도

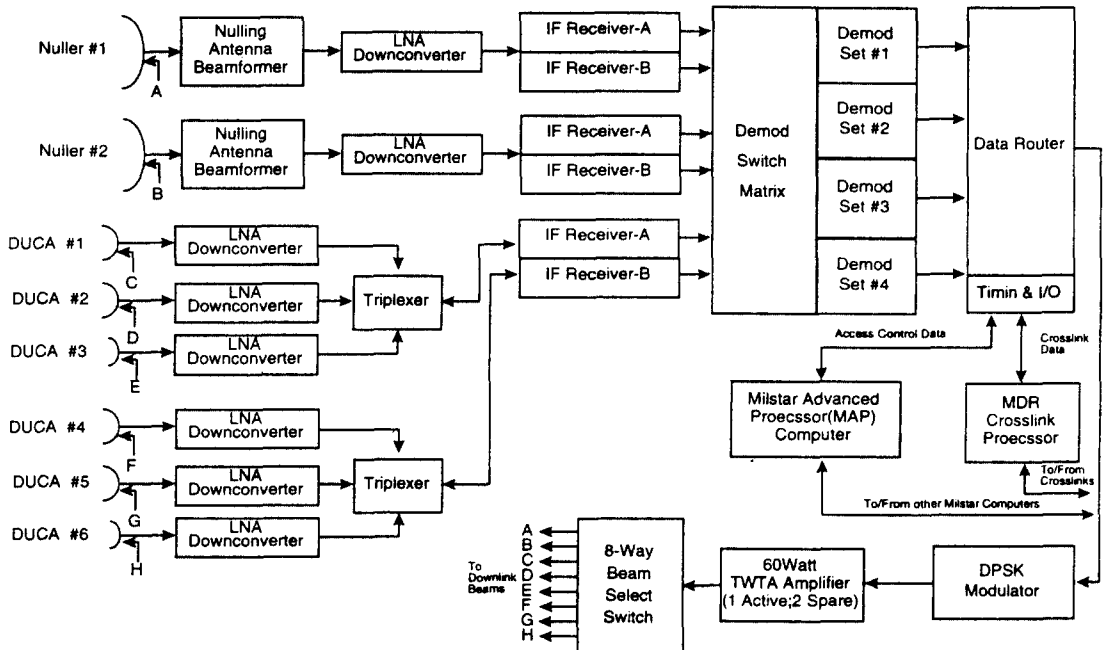


그림 7. MDR 중계기 구성도

지로 통신 데이터와 접속 제어 데이터를 시분할 다중화하여 사용하고 있으며, 8개 채널씩을 기본 단위로 하여 처리된다. 지상 명령신호에 의해 DSM(Demodulator Switch Matrix)을 변경함으로써 상향링크 채널들의 안테나 할당을 관리하는데 육군과 같이 좁은 지역에 적군과 대치하는 지역의 서어비스를 위해서는 16개 채널씩 모든 채널을 nulling안테나로 할당하고 나머지 안테나에는 할당하지 않는 방법등이 가능하여 작전지역의 위협요소들에 따라 많은 운용성(operational flexibility)을 부여하고 있다. MDR 탑재체의 RF 수신 장치는 LDR과 동일한 기능을 수행하며 주파수 변환기 출력 대역폭은 16채널에 해당하는 대역폭을 가지고 있으며 여기에 각각 8채널의 처리용량을 가지는 2개의 IF수신기가 따라오는 형태로 복조의 전 과정이 앞에서 설명한 것과 같이 8채널을 단위로 수행된다. MDR데이터 라우터와 크로스 링크 프로세서(MXP)는 LDR과 동일한 기능을 수행한다. MDR하향링크는 DPSK변조되고 시분할 다중화 된후 1GHz대역에 걸쳐 주파수 도약을 하고 1:3 이중화 되어있는 60W TWTA 증폭기로 연결된다. 증폭기 출력은 8개 고속 빔 선택 스위치에 의해 적절한 안테나로 연결 지상으로 송출된다.

1.2.3 MILSTAR 위성의 지상단말

MILSTAR위성 시스템은 적의 재밍 및 물리적 공격에 대한 생존성을 최우선으로 하므로 사용대역폭에 비해 상대적으로 낮은 전송용량을 가진다. 육군용인 단일 채널 휴대용 단말(SCAMP:Single Channel Anti-Jam Man Portable)은 긴급 전개, 지능형 방송및 지상군 무선망(CNR:Combat Net Radio)의 영역 확장에 의한 전세계 전술통신 지원을 목적으로 하며 이를 위해 LPI, LPD, LPE 기능의 요구와, 적의 재밍 위협에 견딜수 있는 강력한 재밍 대응 능력, 휴대 가능한 소형 경량의 저전력 소모형의 요구사항 만족을 위해 단계적으로 개발이 진행되고 있는데 1단계 개발은 이미 일부 완료되었으며 조만간에 2단계의 최종 개발이 완료될 것으로 추측된다. 1단계 단말은 약 13.5kg,2단계 단말은 약 5~7kg정도를 목표로 계획하고 있다. 두 단말의 공통 기능은 데이터 : 75~2400bps, 음성 : 2400bps의 저속 통신을 하고 TRANSEC(transmission security), COMSEC(communication security)기능의 내장과 GPS의 내장으로 어떠한 상황하에서도 신속한 설치운용을 위한 위치 및 시간정보를 얻을수

있도록 하고 있다. 특히, 2단계 단말 개발을 위해 소요되는 주요 기술로는 EHF전력 송신을 위한 고효율 Solid State 소자의 개발, 고 전력 밀도의 배터리 개발, 저전압 구동소자의 사용 증가(5.5V⇒3.3V), 저전력 소모형 발전기의 개발등이다. 이동형 전술단말로는 SMART-T(Secure Mobile Anti-Jam Reliable Tactical Terminal)가 있는데 미국군의 MSE영역 확장, Tri-Tac 및 군 데이터 분배 시스템인 EPLRS, JTIDS와 명령 제어 시스템의 용도로 개발되었다. EHF 영역에서 동작하는 이 단말은 HMMWV(High Mobility Multi-Purpose Wheeled Vehicle)에 장착되어 낮은 LPD능력 및 강한 재밍 대응능력으로 저속(75~2400 bps)과 중속(1.544Mbps 까지)의 다중 채널 통신을 제공하는 단말이다. 한명의 운용병에 의해 10분 이내에 설치 운용가능하며 필요한 경우 차량에서 이격되어 운용할수도 있다. 이들은 GTE, Raytheon, Rockwell등에 의해 이미 개발 완료 되었으며 1998년 부터 사용할 계획인것으로 알려져 있다. 공군은 현재 고정용과 수송용 및 항공기 명령 센터 단말을 운용하고 있으며 이들 단말은 MILSTAR-I의 LDR 탑재체를 통해 EHF/UHF 상호 운용가능하다. 또한 항공기용 전술 단말의 개발에 노력을 기울이고 있다. 해군이 개발한 EHF대역 단말은 MILSTAR-I의 LDR 탑재체를 통해 운용 가능하고 1.6m~26m범위의 직경을 가지는 안테나들로, 요구 데이터 속도 및 플랫폼등에 따라 가변 운용하고 있으며 4종류의 단말(잠수함용, 함정용, 해안 기지용, 지상 수송용)이 개발되고 있는데 모든 단말에 빔 관리 및 리 키잉(Rekeying)기능을 요구하고 있다.

2. 프랑스 Syracuse위성

2.1 개요

프랑스는 현재 Syracuse(Radio Communication System Using a Satellite) I, II라 불리우는 군 위성 통신체계를 운용하고 있다. 프랑스 국방성의 획득 개발업무를 총괄하는 DGA와 국책 통신회사인 France Telecom 은 Telecom 1A와 Telecom 1C를 민/군 공용 위성으로 운용키로 합의하여 1980년 부터 본격적인 개발에 착수 1984년과 1988년에 각각 1A와 1C를 발사하였다. Syracuse 1은 Telecom1 위성에 2기의 X대역 중계기를 탑재하여 26개의 지상단말들 간에 음성, TTY 및 데이터 서어비스를 지원하여 왔다. Syracuse

Ⅰ 계획은 1987년 착수하여 Payload부분을 민군 공용 위성인 Telecom 2A와 Telecom 2B에 탑재하여 1991년과 1992년에 발사하였다. Syracuse Ⅰ은 Syracuse Ⅰ의 서어비스를 계속 지원하면서 프랑스 군의 요구에 따라 위성 용량 증가, 지상국 단말 수 증대, 재밍환경 하에서의 긴급한 정보 방송기능, 위협 방어능력 향상, 특수 지역 통신, 위성망 구성의 융통성 증가등의 기능 향상을 목적으로 개발 되었다. Syracuse Ⅰ의 주요 임무는 프랑스내 전략지휘소와 Syracuse Ⅰ 통신영역

내에 있는 육. 해. 공 작전 부대간의 전화, FAX, 데이터 및 정치화상등의 통신 수단을 제공하고 전자전 공격이 있을시는 이를 감지하여 Anti-jamming모드로 전환하여 모든 사용자에게 긴급정보의 방송 기능을 제공하고 주요 가입자에게는 적어도 TTY 전송까지는 보장하여 주는 것이다. Telecom Ⅰ 및 Syracuse Ⅰ 탑재체의 주요 특성은 표 7에 요약하여 나타내었다.

2.2 위성 탑재체의 특성

표 7. Telecom Ⅰ와 Syracuse Ⅰ의 주요 특성

항목	성능
주파수	- X band : 7.9-8.395/7.25-7.745GHz(military) (circular polarization(Dn : left, Up : right)) - C band : 5.925-6.425/3.7-4.2GHz(civil), TV and Telephone - Ku band : 14-14.25/12.5-12.75GHz(civil), TV and Data
TT&C	- S band : transfer orbit & emergency - C band : on station(civil) - X band : on station(military)
안테나 (Military)	- global horn Tx(LH circular) - 2.2m diameter offset paraboloid(Euro cover, Rx/Tx) - global horn Rx(RH circular) - steerable offset paraboloid spot reflector(Rx/Tx)
위치	3 °E, 8 °W, 5 °W
무게	2280Kg(Lift off mass)
수명	10.25년
전력	3.8KW(solar array power), 2.9KW(consumption)
자세제어	3축제어
pointing accuracy	0.05 °
기 타	제어 신호없이 24시간 독립운용 가능

표 8. Syracuse Ⅰ주파수 계획 및 커버영역 특성

중계기	수신(GHz)	커버리지	송신(GHz)	커버리지	전력(W)
X1(60MHz)	7.9~7.96	중앙 유럽	7.25~7.31	중앙 유럽	20
X2(40MHz) X2*	7.985~8.025	글로벌 중앙유럽	7.335~7.375	글로벌 글로벌	40
X3(40MHz)	8.050~8.090	중앙유럽	7.4~7.44	글로벌	40
X4(40MHz) X4*	8.115~8.155	이동스팟	7.465~7.505	이동스팟 글로벌	20
X5(80MHz)	8.315~8.395	글로벌	7.665~7.745	글로벌	20

* : 원격 제어에 의해 선택 가능

Syracuse I의 통신 영역은 프랑스 군의 작전 운용 개념에 따라 3개 지역을 지원하며 다른 지역간의 상호연결도 가능하도록 되어있다.

송수신단이 분리된 글로벌 혼 안테나를 사용하는 전역 지역(Global Coverage), 송수신 겸용의 offset 파라볼라 안테나를 사용하는 중앙 유럽지역, 송수신 겸용의 Steerable offset 방식의 파라볼라 안테나를 사용 통신 영역 변경이 가능한 이동 스팟(Spot)지역등으로 구분되어 있다. 통신 탑재체는 송신 대역폭과 송신출력이 서로 상이한 5개의 수동 증계 채널로 구성되어 있으며 표8에 증계기의 송수신 채널 주파수, 대역폭 및 통신영역을 나타내었다.

그림 8의 탑재체 구성도에서 보는 바와 같이 안테나로 부터 수신된 입력신호는 입력 여파기를 통과한 후 2:1 또는 3:2 이중화 구조를 갖고 잡음지수가 3dB

정도인 저잡음 증폭기에 의해 증폭된 후 입력 다중화기에 의해 각각의 채널로 분리되어 3:2 또는 2:1 이중화 구조를 갖는 수신기에 입력된다. 수신기에서는 Hard limiter, 자동 이득 조절(ALC:Automatic Level Control) 및 주파수 변환기능이 수행된다. TWTA는 모두 3:2 이중화 구조로 되어 있으며 해당하는 수신기 출력 신호를 20W 또는 40W로 증폭 시킨후 출력 다중화기에서 다시 결합 되어 채널 4는 steerable 스팟 안테나로, 채널 1과 상태감시(telemetry) 및 거리 측정(ranging)신호는 중앙유럽으로, 채널 2, 3, 5와 beacon신호는 글로벌 혼 안테나로 각각 송출한다. TWTA출력단에 있는 스위치에서는 필요에 따라 채널 4출력은 스팟 또는 글로벌 안테나를 선택하여 연결시킬수 있으며 입력 다중화기의 스위치는 글로벌 혼 또는 중앙 유럽으로 부터 수신된 RF신호를 선택하여 채널 2와 연결시키는 기능을 갖는다. Syracuse I의 관제 및 제어를 위한 TT&C는 X 밴드를 사용하며 탑재체 관리와 서브시스템 고장시 재구성 기능

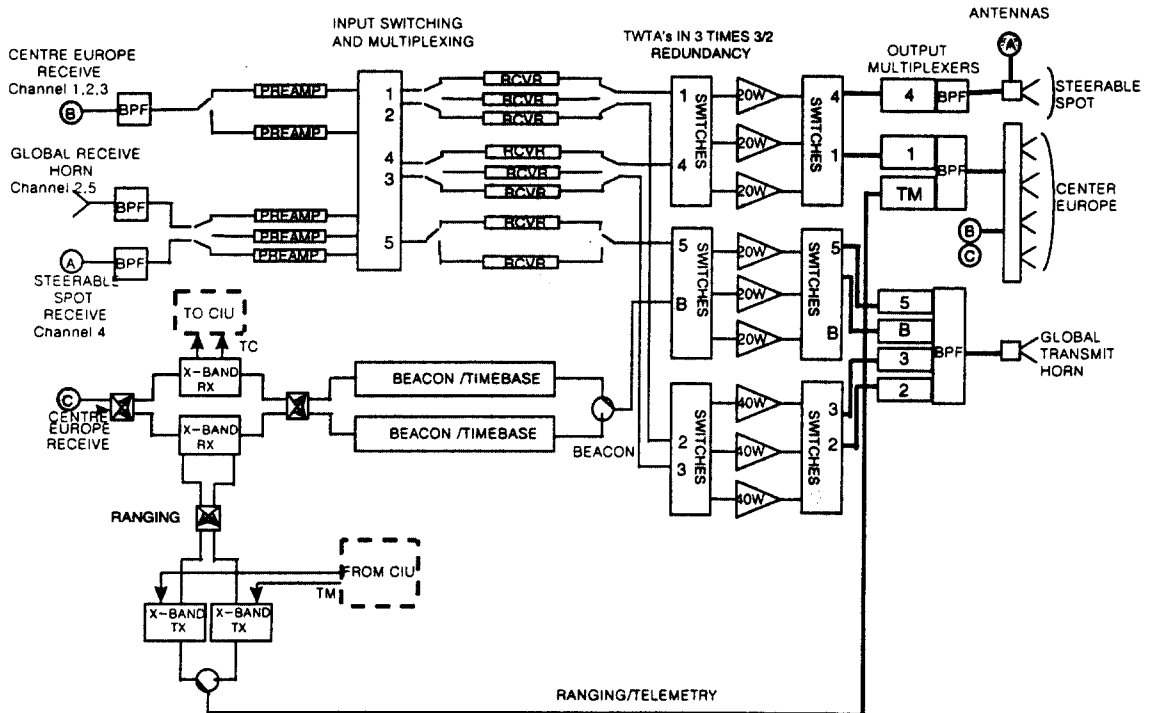


그림 8. Syracuse I 탑재체 구성도

들은 컴퓨터(CIU)에 의해서 수행된다.

2.3 Syracuse I 지상 단말 체계

Syracuse I 지상 단말 체계는 고정용, 차량용, 휴대용, 수상 수중함용등 다양한 단말들로 구성되어 있다. M(Metropolitan) station 이라 불리는 3개의 대형 고정용 지구국(M2, M3, M4)이 프랑스내에 설치되어 있으며 프랑스 남부에 위치한 M2 지구국이 Syracuse I의 중심 지구국 역할을 담당한다. M2지구국은 2개의 18m 안테나와 1개의 8m 안테나를 통해 주위성 및 부위성과 링크를 구성하여 주 관제소로서 TT&C, IOT(in orbit test),CSM(Communication System Monitoring)기능을 수행할뿐만 아니라 중심국으로서 모든 단말의 트래픽을 제어하고 관리한다. 또한 M2지구국에는 프랑스군의 전략 통신망이 연결되어 있어 이를 통해 지상망 가입자와의 연결이 가능하도록 되어 있다.이 지구국은 망 관리 센터(NCC)기능과 Toulouse에 위치하고 있는 위성 제어센터(SCC)의 백업 기능을 겸하고 있다. Favieres에 위치한 M3고정

지구국은 18m/8m 안테나를 통해 모든 Syracuse I 단말과 통신할 수 있는 설비를 갖추고 있으며 전략 통신망과도 연결되어 있다. M2와 같이 중심국으로서의 역할이 가능하나 백업 망관리 센터(NCC/S)기능 및 통신 시스템 기능만을 담당한다. Lanveoc에 위치한 M4 지구국은 8m 안테나와 지상단말 및 전략 통신망과의 연동에 필요한 통신 설비로 구성되어 있다. 프랑스 군은 이러한 고정용 지구국의 제어하에 이동 및 이동 설치용 단말 장비들을 운용하고 있는데 해상장비로는 함정용(N), 경 함정용(NL) 및 잠수함용(SM)등이 있고 지상 장비로는 이동 설치용(T), 경 이동 설치용(TL) 및 경 차량용(VL)등이 있다. 모든 단말의 기본원리는 동일하고 단지 사용하는 모뎀수, 다원접속 방식, 송신전력 및 안테나 크기에 대한 차이만 있을 뿐이다. Syracuse I에서 사용되는 다원접속 방식에는 세가지로 SS-CDMA, SS-FDMA, FDMA방식이 있다. SS-CDMA는 75bps, 2400bps 및 2*20Mchip/s 또는 16 kbps 정보를 960kbps/s로 확산하여 전송한다. FDMA의 경우는 최대 2Mbps까지의 정보 전송이 가능하다. 표 9에 지상단말의 채널 용량,

표 9. Syracuse 지상단말의 종류 및 특성

종류 항목	N (3500톤 이상)	NL (1000톤 이상)	SM	T	TL	VL
적용	함정용	경 함정용	잠수함용	셸터 탑재	셸터 탑재	차량 탑재
안테나	직경 1.5m 2개(라돔에 의해 보호)	직경 1m 1개(라돔에 의해 보호)	잠망경 MASTER에 장착(라돔에 의해 보호)	직경 2.8m	직경 1.3m	직경 0.9m
G/T	≥15dBK ⁻¹	≥9.5dBK ⁻¹		≥21.3dBK ⁻¹	≥15dBK ⁻¹	≥9.5dBK ⁻¹
EIRP (saturation)	67/53dBW	51dBW		74/60dBW	56dBW	40dBW
FDMA	3 SS-FDMA 모뎀(16K,2400+x)	3 SS-FDMA 모뎀(2400+x)	1 SS-FDMA 모뎀(16K, 2400+x)	4 SS-FDMA 모뎀(16K,2400+x),2FDMA 모뎀	2 SS-FDMA 모뎀(16K, 2400+x)	1 SS-FDMA 모뎀(2400+x)
CDMA	2 SSMA 모뎀			3 SSMA 모뎀		
Set-up time				< 1시간 30분	< 45분	< 20분

사용 다원 접속 방식 및 주요 특성을 나타내었다.

3. 영국의 SKYNET

3.1 개요

영국은 1960년 초반부터 미국의 초기 국방 위성통신 프로그램 (IDCSP:Initial Defense Satellite Communication Program)에 참여 함으로써 미, 소에 이어 세번째로 군사 통신위성인 SKYNET 1을 1969년에 발사 성공하였으나 중계기 고장으로 2년 밖에 사용하지 못하였다. 제 2세대인 SKYNET 2는 1970년 발사에 실패하고 뒤를 이어 SKYNET 2A마저 궤도 진입 실패로 끝났다. 이러한 이유 때문인지 그후 SKYNET 3계획은 취소 되었고 NATO와 함께 미국의 DSCS를 임대 사용하다가 1981년 SKYNET 4 개발에 착수 1988년 부터 3기를 발사하여 운용하고 있다. SKYNET 4에는 2개의 UHF대역 중계기, 4개의 SHF대역 중계기 및 실험용 EHF 중계기가 탑재되어 있으며 이를 통해 고정형, 차량 탑재형, 항공기용, 수상함용 및 휴대용등 다양한 위성단말을 운용하고 있다. 또한 영국군은 SKYNET 4의 기능을 일부 개선하

여 SKYNET 4 stage I를 개발 99년까지 2기를 발사할 계획을 갖고 있다.

3.2 탑재체 특성

SKYNET 4 stage I의 통신영역은 글로벌 혼 안테나, steerable 스팟 안테나 및 UHF 헬릭스 안테나를 사용 전역, 유럽지역 및 이동 스팟지역등을 지원 하며 syracuse I와 같이 다른 지역간 상호연결도 가능하도록 되어있다. 통신 탑재체는 잠수함과의 통신을 주 목적으로 하는 2개의 25KHz 대역폭을 갖는 UHF중계기와 4개의 X밴드 중계채널로 구성되어 있으며 이들 중계기의 송수신 채널 주파수, 대역폭, 사용 안테나등을 표 10에 나타내었다.

X대역 중계기는 6:4 이중화 구조로 되어있는 50W TWTA에 의해 증폭되며 UHF 채널은 SSPA를 사용하며 출력은 40W 이다. 현재 영국군은 차세대 위성으로서 AJ(Anti-Jamming)능력의 강화와 좀 더 다양한 통신영역을 지원하기 위하여 EHF OBP, X대역 수동 중계기 및 Nulling안테나등을 탑재한 SKYNET 5 계획에 대한 타당성 조사를 완료한 상태에 있다.

3.3 지상단말 체계

표 10. SKYNET 4 주파수 계획 및 중계기 특성

중계기	수신(GHz)	안테나	송신(GHz)	안테나	전력(W)
X1(125MHz)	7.975~8.1	EC horn	7.7~7.75	EC horn, widebeam	50W
X2(75MHz)	8.140~8.215	EC horn, steerable spot	7.25~7.31	European(zone), EC horn	50W
X3(75MHz)	8.240~8.315	EC horn, steerable spot	7.335~7.395	widebeam, steerable spot	50W
X4(60MHz)	8.340~8.4	EC horn, Central Europe spot	7.42~7.505	EC horn, steerable spot	50W
U1(25KHz)	294.8~314.8	Global Helix	253.7~254.3	Global Helix	40W
U2(25KHz)	298.3~318.3	Global Helix	257.2~257.8	Global Helix	40W

* U1, U2 : 수신(MHz)

SKYNET 4위성체계의 관제 및 SCC, NCC기능은 RAF Oakhanger에 있는 Anchor station 에서 담당하며 동시에 모든 사용자 단말의 Hub로서의 역할도 수행한다. 지상 단말은 Martlet으로 명명된 트레일러 탑재형 단말, Mormoset이라 불리는 차량 탑재형 단말, 수상함용 SCOT(Shipborne Communication terminal)단말, Master(항공기용 단말) 및 휴대용 단말이 운용되고 있다. 이들 단말의 다원 접속 방식, ECCM기능, 트래픽 용량 및 사용 안테나등은 표 11에 정리하였다.

IV. 군사 위성통신 시스템의 발전방향

현재 운용중인 군사 위성통신중 많은 위성들이 2003~2005년 경에는 수명이 끝남에 따라 차세대 군사 위성통신 시스템에 대한 개념연구가 미국, 영국, 프랑스등을 중심으로 이루어지고 있다. 이러한 연구는 장차전 개념에 부합하는 군 위성통신의 요구성능을 정립하고 분석하여 이를 토대로 위성 시스템의 구

조를 설계하고 필요한 요소기술을 개발하는 단계로 진행되고 있다. 차세대 위성 통신 시스템의 운용 요구성능은 한마디로 용량성, 생존성, 운용성의 증대라고 요약할수 있는데 이는 그림 1에서 본바와 같이 좀더 큰 삼각형을 요구하는 것과 동일하다. 특히, 용량성의 증대는 Gulf전 (Gulf전을 gigabit per sec 전쟁이라고도 함)을 통해서도 입증 되었으며 차세대 군사위성의 가장 중요한 요구사항이 되었다. 냉전의 종결로 인하여 핵 위협이나 위성에 대한 물리적 공격등 직접적인 위협요소는 감소 되었지만 전자 기술의 발달로 지능형 재머의 출현, 통신내용 감청등 근본적인 위협요소에 대응하는 생존성 요구는 여전히 상존하고 있다고 할 수 있다. 또한 속도전, 동시 다발전 양상이 예상되는 장차전을 지원하기 위해서는 신속한 망구성능력, 다양한 통신내역 지원등이 요구되므로 운용성 증대 또한 중요한 요구사항의 하나라고 할 수 있다. 이러한 3가지 측면에서 차세대 위성에서 요구되는 기능을 정리하면 다음과 같다.

(1) 용량성(Capacity)

- 고속 정보 전송이 가능한 다수의 단말 수용
- 멀티미디어 서버서비스의 지원

표 11. SKYNET 4 지상단말의 종류 및 특성

종류	특성	EIRP(dBW), G/T(dB/K)	안테나(m)	트래픽 용량	설치시간 (분)	ECCM 기능
Martlet(trailer 탑재형)		80(2KW)/24	5(dual reflector Cassegrain, fold)	75b/s to 2.048Mb/s per carrier	30(2명 운용)비행기 및 헬기 운반가능	FHSS모뎀 (VSC-330)
Marmoset (차량 탑재형)		86-88.5/12(민수용도 있음)	1.7(4조각 으로 구성)	사용모뎀에 따라 변동 음성16Kb/s Telegraph:75/50baud Data 2.4Kb/s	사용모뎀에 따라 변동 음성16Kb/s Telegraph:75/50 baud Data 2.4Kb/s	FH 모뎀 사용가능
SCOT shipborne 단말		67-69/12-14	1.2/1.5/2.1 3축 안정화방식 (Gyro이용)6	음성,팩스,진신51 2kb/s 까지이용 가능	합상 탑재 운용 (radome)	FDM/FDMA PSK/CDMA FH/DSSS 이용
Master airborne 단말		/0.1	Dual reflector splash plate (예측 추적 방식)	음성,데이터 2.4-16kb/s VSC-330 모뎀 이용시 5개 진이 중 채널	항공기,수송기,헬기 탑재 운용	FHSS모뎀 (VSC-330)
Manpack 휴대용 단말		38.2/6.8 42/11.4(Ku 대역)	0.6Cassegrain(6 조각으로 구성)	음성,데이터2.4-16kb/s(전이중 통신)	1명(10분이내) 운용 가능)	50k chip/s PRS를 이용한 대역확산

- (2) 생존성(Survivability)
 - ECCM 능력의 향상
 - 신호보안, LPI, LPD, LPE 능력 향상
 - 신뢰성 및 수명 향상
 - 무관제 제어기능 및 분산제어 방식
- (3) 운용성(Operational flexibility)
 - 망 구성 능력의 향상
 - 다양한 통신영역 지원 기능
 - 소형 단말에 의한 이동가입자 지원
 - 지상망과의 연동성

이러한 요구기능을 만족시키기 위해 여러가지 기술적인 대안과 접근 방식을 모색할수가 있는데 이를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 통신 용량의 증대 방안
 - EHF대역을 사용 채널 대역폭을 증대하고 위성 EIRP 및 단말 G/T를 증대
 - 다중 빔 안테나에 의한 주파수 재사용율을 높임
 - DAMA 방식을 사용 통화요구가 비교적 적은 많은 사용자 수용
- (2) ECCM 능력 향상 방안
 - EHF 대역을 활용 확산 대역의 증대
 - 능동 중계처리(OBP)로 상하향 링크 분리
 - 방해파 제거 및 빔 성형 안테나 사용
- (3) 신호 보안 능력의 향상(security, LPI, LPE, LPD)
 - EHF 대역을 사용 안테나의 고지향성 및 낮은

부엽 방사 패턴 유지 및 광대역 확산 기법 사용

- 고이득 안테나에 의한 송신 출력의 최소화

(4) 망 구성 능력의 향상

- 다양한 안테나 및 주파수 대역을 사용하여 통신영역 지원의 융통성 증대
- EHF 대역을 활용한 다중 빔 성형 안테나 사용
- 다중 빔 스위칭 기능, IF 스위칭 기능 또는 능동중계 처리를 이용한 기저대역 스위칭 기능 사용

위에서 제시한 여러가지 기술적인 접근 방법들 중에서 차기 군사 위성통신 체계에 적용할 중요한 핵심 기술로는 44/20GHz의 EHF 대역기술, 능동중계 처리 기술, 적응형 간섭제거 빔 성형 안테나 기술들을 들 수가 있다. 이러한 기술들을 적용, 차기 군 위성통신 탑재체의 특성을 엿볼수 있는 개략적인 구조를 그림 9에 나타내었다.

V. 결 론

지금까지 군사 위성통신 시스템의 요구능력, 위협 분석, ECCM기술등 군사 위성 시스템의 기술적 특성과 외국의 위성 시스템 현황 및 향후 발전 방안등에 대해서 알아 보았다. 무궁화 위성이 운용됨에 따라 우리군은 위성 중계기를 임차하고 상용 위성단말 장

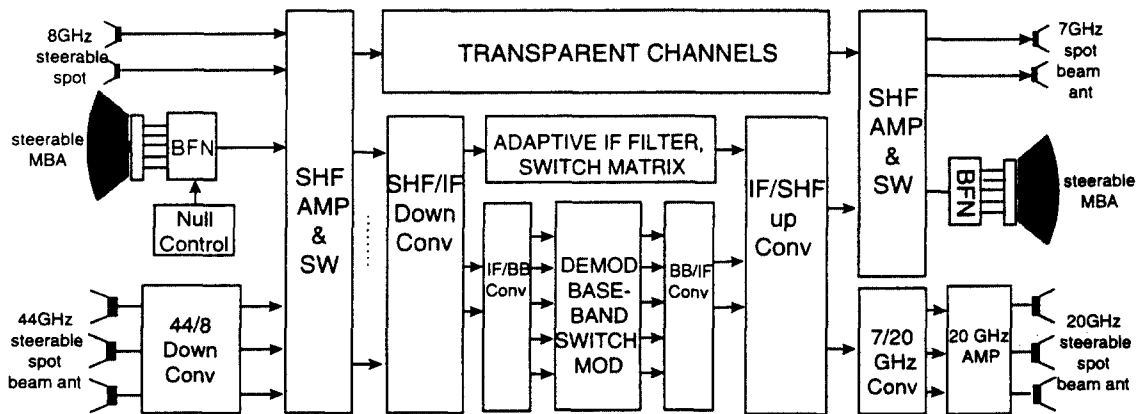


그림 9. 차기 군 위성통신의 탑재체 개념도

비를 활용하여 전락 제대를 위주로 사용하고 있다. 그러나 이러한 시스템은 재밍에 대한 대처능력이 고려되어 있지 않고 통신영역도 한반도 및 연안지역으로 제한되어 있으므로 통일 이후 한반도 주변 환경변화를 고려할때 우리군도 위성에 의한 독자적인 광역 통신능력을 확보할 필요가 있을 것으로 판단된다. 특히 70%가 산악지형인 우리나라 환경을 고려할때 군사 위성통신은 가시선 확보 문제를 풀수 있는 유일한 해결책인 것이다. 이러한 군사 위성 통신기술은 선진국에서도 이전을 기피하는 기술이 많기 때문에 관련 기술 확보가 무엇보다도 시급하다고 하겠다.

[참고 문헌]

[1] Frederic Marc Arrendale, "Survivability Enhancements for Military Communications Satellites," Thesis submitted to the University of Colorado Air Force Institute of Technology, Wright-Patterson AFB, OH, Aug 1990.

[2] James R. Wertz & Wiley J. Larson, Space mission analysis and design. Kluwer Academic Publishers. pp. 215-228, 1991

[3] E. Barry Felstead & Donald S. Arnstein "Auxiliary Interference Suppression Techniques," MILCOM94 Tutorial brochure, 1994.

[4] A. Nejat Ince et al., Digital Satellite Communication Systems and Technologies : Military and Civil Applications. Kluwer Academic Publishers, 1992.

[5] Pravin C. Jain, "Strategic/Tactical Communications by Satellites," DCA, 1994.

[6] P. C. Jain, "Architectural Trends in Military Satellites Communications Systems," Proc. IEEE, vol. 78, No. 7, pp. 1176-1189, July 1994.

[7] J. T. Mayhan, "Area coverage adaptive nulling from geosynchronous satellite : Phased arrays versus multiple-beam antennas", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-34, pp. 410-419, March 1986.

[8] L. B. Milstein, "Interference rejection techniques in spread spectrum

communications," Proc. IEEE, vol. 76, pp. 657-671, June 1988.

[9] Donald S. Arnstein, Todd Czerner, and James Buzzelli, "Broadband signal processing for AJ and RFI reduction in spread spectrum systems," in Conf. Record of Milcom 94, Oct 1994.

[10] Donald S. Arnstein, Cameron Pike, George Estep, "On-board AJ enhancement using adaptive nonlinear processing : practical aspects of Smart AGC implementation," in Conf. Record IEEE MILCOM 92, pp 199-205, Oct. 1992.

[11] P. Houzelet, "Military satellite communication," Electrical communication, vol 65, no. 3, pp. 208-217, 1992.

[12] Pravin C. Jain, William C. Cummings, and Leon J. Richardi, "Fundamental performance characteristics that influence EHF milsatcom systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-27, pp. 1423-1435, Oct, 1979.

[13] I. S. Hass, A. T. Finney, "The DSCS satellite a defense communication system for the 80's," AIAA 7th commun. satellite syst. conf. proc., pp. 351-358, Apr. 1978.

[14] Allen D. Dayton, and Pravin C. Jain, "Milsatcom architecture," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 1456-1459, Sep, 1980.



안 동 명

-
- 1977년 : 서강대학교 전자공학과 졸업(학사)
 - 1979년 : 서울대학교 전자공학과 대학원 졸업(석사)
 - 1992년 : 미국 Polytechnic University of NY
전자공학과 (박사)
 - 1979년~현재 : 국방과학연구소(ADD)실장
 - 관심분야 : 위성 통신, wireless ATM

시 광 규

-
- 1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
 - 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 대학원 졸업
(석사)
 - 1990년 3월~현재 : 국방과학연구소(ADD)근무
 - 관심분야 : 위성통신, 디지털 신호처리