

## 군 위성통신 탑재체 대전자전 기술

김기근, 이대일(국방과학연구소)

### 1. 서론

1945년 Arthur C. Clarke경이 통신위성 가능성을 제안한 이래로 수 많은 통신위성이 운용되어 왔으며 특히 국방분야에서는 전장의 광역화, 자동화, 신속화 개념을 지원하고, 광역성, 이동성, 생존성 및 융통성이 보장된 전천후 핵심 통신망으로 주요 국가에서 군 통신위성을 운용하고 있다. 위성을 가장 많이 운용하고 있는 미군의 경우 1966년 최초 통신위성 시스템인 SHF(Super High Frequency)대역 DSCS(Defense Satellite Communications System)를 시작으로 1971년에 UHF(Ultra High Frequency)대역의 FLEETSAT(Fleet Communications Satellite)과 1994년의 EHF(Extremely High Frequency)대역 MILSTAR I 등 다양한 군 위성통신체계를 운용하여 왔다.<sup>[1]</sup> 반면 유럽에서는 1969년 영국에서 Skynet I을 시작으로 2007년 최신 기술을 적용한 Skynet V를 발사하고, 프랑스에서는 1984년 Syracuse I을 운용하다가 2005년과 2006년 최첨단 Syracuse III를 각각 발사하면서 새로운 독자 위성통신 망을 구축하였다. 한

국 군의 경우 무궁화5호를 2006년에 발사하여 SHF/Ka대역의 군 위성통신망을 운용하고 있으며 특히 국토가 산악지형인 우리나라에서 통달거리 및 지형을 극복할 수 있어서 군 통신의 주요 역할을 하고 있다.

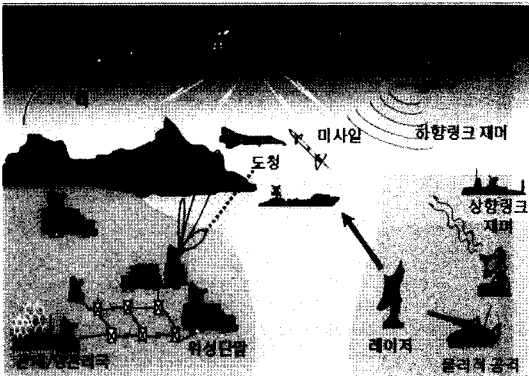
일본, 중국을 포함한 세계적으로 10여개국이 자국의 군사용 통신위성을 운용하고 있는 군 통신위성망에 적용되는 기술은 광역의 통신영역내 어디서나 통신방해나 신호탐지가 가능하다는 단점을 극복하기 위한 대전자전 분야 위주로 발전하여 왔다. 이러한 기술은 주로 통신위성의 안테나와 중계기에 구현이 되며, 주파수 자원을 효율적으로 사용하거나 망을 융통성있게 구성하여 최소의 비용으로 지상망과 같은 서비스를 제공하려는 상용 위성통신과는 기술의 목적이 상이하게 된다. 본고에서는 이러한 군 위성통신의 핵심 소요기술이 대부분 구현되는 탑재체 분야 위주로 발전 동향을 소개하고자 하며, 간섭제거가 가능한 널링 안테나, 주파수 도약 통신방식, 예러정정 및 라우팅 기능 중계기 등의 대전자전 능력을 보유한 OBP(On Board Processing) 기술, 다수 위성망을 하나로 묶는 위성간 링크를 위주로

군 위성통신 분야의 핵심인 대전자전 기술을 소개한다.

## II. 탑재체 대전자전 기술

### 1. 소요기술 배경

정지궤도를 이용하는 군 통신위성 망은 광역을 서비스하는 특징과 중계기 및 이를 제어하는 관제국이 핵심 구성요소 이어서 아래 그림과 같이 전자전 및 물리적 공격등 많은 요소의 취약점이 있다.



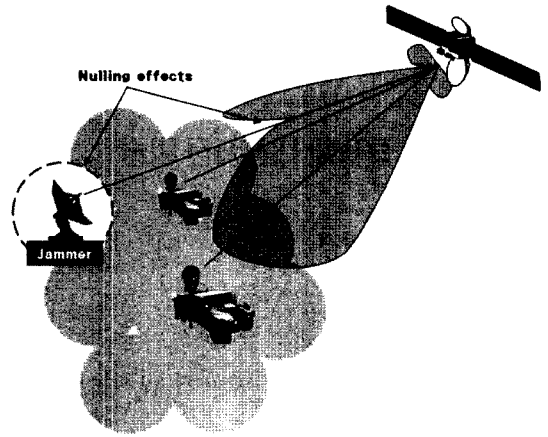
위협분야	위협원
대전자전 및 신호보안	<ul style="list-style-type: none"> <li>통신방해</li> <li>도청</li> <li>전파원 위치추적</li> <li>관제링크 마비 또는 탈취</li> </ul>
물리적 공격	<ul style="list-style-type: none"> <li>고정형 단말 침투 공격</li> <li>미사일등에 의한 폭격</li> <li>고 에너지빔 공격</li> </ul>
핵 공격	<ul style="list-style-type: none"> <li>신호의 흡수, 차단 및 왜곡</li> <li>전자기적 펄스 (EMP)</li> </ul>

〈그림 1〉 군 위성통신망 위협 요소

위협분야는 대전자전, 물리적 또는 핵 공격 등으로 구분되어 중계되는 신호에 방해신호를 인가하거나 위성 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)를 포화시켜 통신을 방해하는 기술, 지상으로 전송되는 신호 정보를 분석하여 도청하거나 위성단말 위치를 추적하는 기술등의 잘 알려진 방식이 있다. 또한 공개된 관제링크 주파수를 대상으로 방해 전파를 송신하거나 관제신호를 해석하여 통신위성을 탈취하려는 시도도 가능하다. 이러한 무선전파에 대한 위협뿐만 아니라 위성단말이나 관제국, 심지어는 위성체에 대한 핵을 포함한 물리적 공격이 가능하여 군사 위성망 운용에 위협이 되고 있다. 이러한 위협원에 대응하기 위한 군용 위성망은 상용 위성망과 분명한 기술 조건의 차이를 보이게 한다. 이러한 환경을 극복하기 위해 군 위성망에 적용한 대표적인 기술을 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- ▷ 널링 안테나 : 위성 수신안테나에서 간섭(재머)신호 탐지 및 제거
- ▷ 수신기 보호기능 : 강한 통신 방해 신호(재머)에 대응하기 위해 광폭의 수신능력 및 전기회로 보호 중계기
- ▷ 리미팅 기능 : 강한 재밍 신호를 일정 수준 이하로 낮추는 중계기
- ▷ 위성탑재 능동처리(OBP) : 재머에 의한 데이터 에러정정과 도청/위치추적 대응을 위한 상하향링크의 상이한 통신방식을 갖는 중계기
- ▷ 대전자전 통신방식 : 주파수 도약이나 대역확산방식 통신으로 재밍을 회피

- ▷ 대전자전 관제링크 : 재밍이나 신호탐지를 막는 확산방식 관제 링크 및 신호 암호화
- ▷ EMP 대응 플랫폼 : 고에너지나 전자기 펄스에 내성설계 플랫폼
- ▷ 전용 주파수 대역 : X, EHF 등 고유주파수 대역에서 운용
- ▷ 위성간 링크 : 위협에 취약한 지상 망관리국을 경유하지 않고 위성망간 링크제공



〈그림 2〉 안테나 널링 개념도

이러한 대전자전 기술은 통신위성 탑재체에 주로 구현되며, 주요 기술을 안테나와 중계기 위주로 분류하여 살펴보기로 한다.

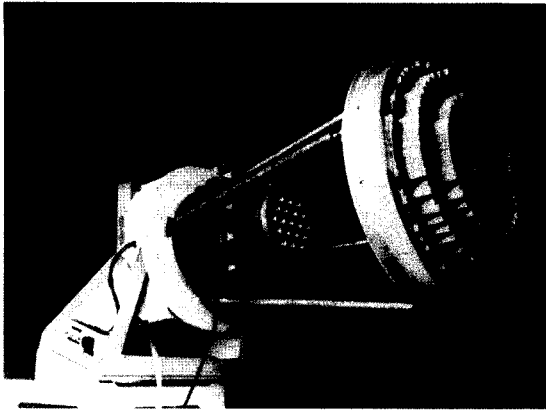
## 2. 널링 안테나 기술

전.평시 광역의 작전 지역을 지원해야 하는 군 위성중계기 특성상 송수신 안테나에서는 전파방해에 대응할 수 있어야 하며 주로 널링 안테나 기술이 사용된다. 이러한 널링 안테나는 사용자 신호와 재머 신호간의 공간적 분리 특성을 이용하여 재머에 대한 영향을 줄이는 것을 목적으로 한다. 예로 스팟(spot) 빔 영역 바깥에 위치한 재머는 위성 수신 안테나의 이득을 얻지 못하므로 상대적으로 재머 전력은 감쇄되어 위성 수신단에 입력되며, <그림 2>에서 상향 링크 재밍에 대한 안테나 널링에 대한 개념도를 나타내었다. 이러한 기술은 상향 링크 재밍에 대응하는 것으로 적용 빔 패턴에 의한 널링 영역 조정이 가능한 안테나기술이 필요하다.

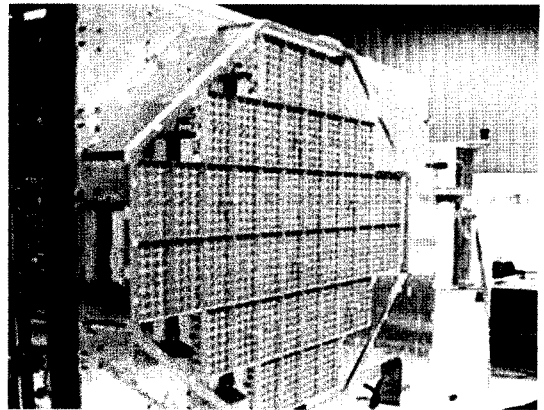
이러한 널링영역 조정은 다중 빔을 형성하고 신호방향으로는 높은 안테나 이득을 주고

재머 방향으로서는 이득을 억압하는 빔 패턴을 만드는 안테나가 필요하다. 이러한 안테나는 크게 빔을 방사시키는 방사소자와 각각의 빔에 대한 이득을 조절할 수 있는 빔 성형기로 구성된다. 널링 안테나의 방사소자 구조로는 주로 다중 피드혼 안테나와 평판형 위상배열 안테나로 구현된다.<sup>[2]</sup> 다중 피드혼은 다수의 안테나를 하나의 안테나 처럼 쓰다가 간섭신호가 있는 경우 그 지역의 안테나 이득을 줄이는 방식으로, 구현이 용이하며 고출력도 가능하지만 재머 위치에 따라 제거하는 널이득이 충분히 보장하지 않는다.

위상배열 안테나는 통상의 위상배열 안테나에 간섭인지 후 각 배열의 빔을 재머가 있는 방향으로 널을 주도록 제어하는 것으로 정확한 인지 및 제어를 하기 위해 지상에서 도움을 받는 시스템도 구현된다. 최신의 군사위성은 대부분 널링안테나 기술을 적용한 것으로 알려져 있으며 다음은 구현된 널링 안테나의 예이다.



(a)



(b)

〈그림 3〉 간섭제거를 위한 널링안테나 예(a: 렌즈 안테나, b: 배열기판 안테나)

### 3. OBP 기술

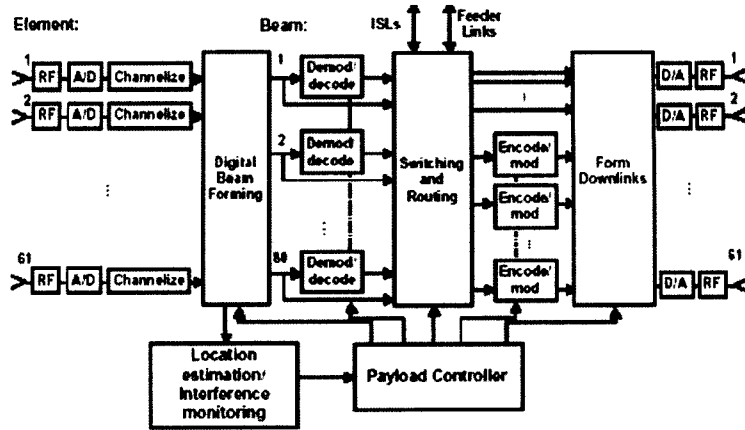
통신위성은 정지궤도를 이용하기 때문에 통신방해나 신호탈취에 취약하며 하나의 통신위성으로 광범위한 지역을 중계해야 하므로 가용 통신용량은 주로 주파수 자원에 제한된다. 군 통신위성에서 주파수 자원을 효율적으로 사용하고 이기종 단말을 지원하면서도 통신방해에 대응할 수 있는 기술은 통신위성에 다중 반송파 처리 모뎀(MCD: Multi Carrier Demodulator)을 탑재하여 전대역에 걸친 신호를 수신 에러정정 및 라우팅을 하는 OBP 기술이다. 이 기술로 신호대 잡음비를 개선할 수 있을 뿐만 아니라 상향링크의 간섭신호를 제거하거나 데이터 에러를 정정할 수 있어 전송 효율을 개선한다. 또한 다수 빔이나 대역간에 IF 스위칭이나 패킷 스위칭을 가능하게 하여 물리적 공격에 취약한 지상 중심국이 필요없게 하고 망 구성의 융통성을 개선한다.

현재 고밀도 반도체 소자와 초고속 프로세서가 가능해지면서 수백개의 송수신기를 위

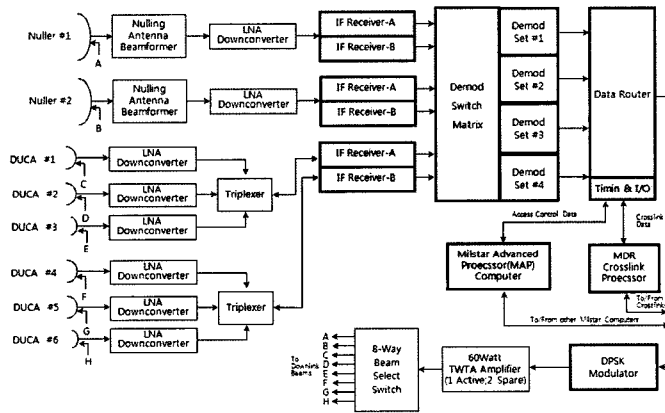
성내에 탑재하는 군 통신위성으로 발전하는 추세로 대표적인 군 위성 탑재 OBP 기술은 다음과 같다.

OBP의 주 처리기능인 경우 빔형성, 역다중화, 복조 및 디코딩과 같은 신호처리는 radiation hardened ASIC(application-specific integrated circuit)와 DSP(digital signal processor)나 microprocessor로 구현한다. 그림 4는 저속 가입자 링크만을 지원하는 OBP 구성도로 61개의 안테나에서 수신된 각 채널 별로 빔형성, 복조, 에러정정, 스위칭 및 빔간, ISL을 경유한 위성간(ISL: Inter Satellite Link)으로의 라우팅과 송신을 위한 코딩 및 변조 모듈로 구성된다. 또한 간섭제거를 위한 별도 신호처리 모듈과 제어부가 추가된다. A/D(Analog to Digital) 샘플율을 약 수백MSPS에서 위성에서도 수GSPS도 구현되며, 이 OBP는 75bps~64kbps의 가변 데이터들에 대해 최대 2,000여 링크를 동시 지원가능하며 총 처리 데이터량은 39.2Mbps 이상인 것으로 알려져 있다.<sup>[3]</sup>

주파수 도약을 하면서 고속 데이터 처리를



〈그림 4〉 저속 데이터 처리 OBP 구성도



〈그림 5〉 고속 데이터 처리 OBP(MDR Payload) 구성도

하는 OBP는 MDR(Medium Data Rate) payload로 알려진 것이 가장 대표적이며 구성도는 그림 5와 같다.

MDR은 IF에서 신호를 수신하여 4개의 복조블럭에서 최대 56개의 8Mbps 채널을 동시 수신한다. 이때 IF 수신기는 GHz급 주파수도 약 신호의 수신역할을 하며, 수신된 신호는 Crosslink(ISL과 동일)나 빔간의 라우팅을 거쳐 변조기에서 변조 및 주파수 도약하여 송신하게 된다.

송신은 전 링크를 시분할로 다중화하여 단일 반송파로 구성함으로써 TWTA의 최대 출력까지 사용한다는 것이 특징이다. 이 OBP의 총 처리 데이터량은 약 200Mbps이다.<sup>[4]</sup>

이러한 OBP에 적용하는 통신방식을 상용에서 쓰는 QPSK 또는 QAM변조 방식을 근간으로하는 방식과는 상이하며 다음 절에서 알아보기로 한다.

#### 4. 대전자전 통신방식

##### 가. 기저대역 통신방식

널링 안테나에서 제거되지 못한 방해신호에 대응하기 위해 주파수 도약이나 대역확산 등의 대전자전 통신방식을 사용하는 군 위성 OBP 기술은 주파수 사용 효율 보다는 상,하향링크의 특성에 맞게 다양한 제머 종류에 강인한 통신방식을 사용한다. 현재 구현되는 확산통신 방식은 처리이득 측면과 구현관점에서 성능이 우수한 주파수 도약 방식을 주로 사용하고 있으며, 변조 방식도 상향링크는 고속도약 방식에 적합한 FSK 계열 위주로 하향링크는 단일 반송파로 다중화하여 송신하므로 저속도약 방식에 적합한 DPSK 계열 위주로 사용하고 있으며, 전송 데이터의 주파수 효율을 개선하기 위해 BT(Bandwidth-bit-Time Product)가 낮은 GMSK를 고려하고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>[4-5]</sup>

##### 나. 스위칭/위성망 관리 기술

주파수나 전력 등의 서비스 자원 사용 효율성을 극대화 하고 융통성있는 서비스를 위해

ATM(Asynchronous Transfer Mode)이 나 DVB(Digital Video Broadcasting) 방식을 적용한 상용 위성망과 다르게 링크 신뢰성과 링크의 우선순위에 부합하는 생존성이 중요한 군위성망은 회선교환방식을 선호해 왔다. 또한 소수 가입자로 한정되어 있어 고정할당이나 요구할당 방식으로도 충분히 가입자의 요구 서비스를 충족하여 왔다. 그러나 네트워크 중심전에 따라 가입자 수가 늘고 주파수 자원은 한정되어 있어 통신위성에 패킷 스위치를 구현하고 망관리를 수행하는 기능을 목표로 기술이 개발되고 있다. 그래서 기본 망 관리개념은 계획된 망관리를 적용한 후에는 단말의 임무와 우선순위, 요청내용, 망 현황, 재밍 등의 외적 환경 등을 항상 모니터링 하면서 필요한 망 요소를 자동으로 재구성하는 것이다. 이때 위협상황을 인지하여 전체 망의 대전자전 능력을 향상 시키는 구조로 자동 구성하면서 우선순위가 높은 링크에 우선적으로 높은 대역폭을 할당하거나 LOS(Line Of Site)나 항공기와 같은 취약한 링크중 대전자전 임무가 필요한 링크는 신규로 링크를 할당한다. 이러한 망 구성은 개별 링크의 우선순위, 플랫폼 중

〈표 1〉 OBP에 적용되는 통신방식

통신방식	변조	다원접속	Data rate(Mbps)	주파수	비고
LDR (Low Data Rate)	FSK, DPSK	FH-FDM/TDMA	<0.1	EHF	미국
	FSK	FH-FDMA		SHF/ EHF	한국
	FSK(추정)	FH-CDMA			프랑스, 영국(IF Switching)
MDR (Medium Data Rate)	DPSK	FH-FDM/TDM	<1.5	EHF	미국
XDR (eXtreme Data Rate)	FSK, DPSK, GMSK	FH-FDM/TDM	FH-FDM/TDMA		

<표 2> OBP에서 채널환경에 적응하여 자동 망운용하는 예

링크종류	최초 망운용	모니터링 요소	적용 후 망운용	비고
1	High Priority/High BW	간섭신호 위치와 세기, 작전요구 내용등 망 현황	High Priority/Medium BW	
2	Medium Priority/High BW		Medium Priority/Low BW	
3	Low Priority/Medium BW		Low Priority/Available BW	
4	-		Medium Priority/Low BW	신규

류, 위협이나 작전 상황에 많은 가변 요소가 있어 기본적인 시나리오에 의한 구성들은 사전에 계획되어 있는 것으로 알려져 있다. 다음 표는 이러한 망운용 변경의 일반적인 예이다.

이러한 망 구성 융통성은 IP(Internet Protocol)를 기본으로 한 패킷 교환이 중계기에 구현되어 가능한 것이다. 또한 패킷처리로 단대단이나 단대다중 링크 구성으로 이중 홉이나 각 단말로의 별도 링크가 필요했던 기존 망 교환 방식보다 IP 교환방식은 가입자 누구나 모두에게 full mesh 연결이 가능하여 2~8배의 회선 사용 효율이 증가하고 망 융통성이 증가하게 된다.<sup>[6-7]</sup>

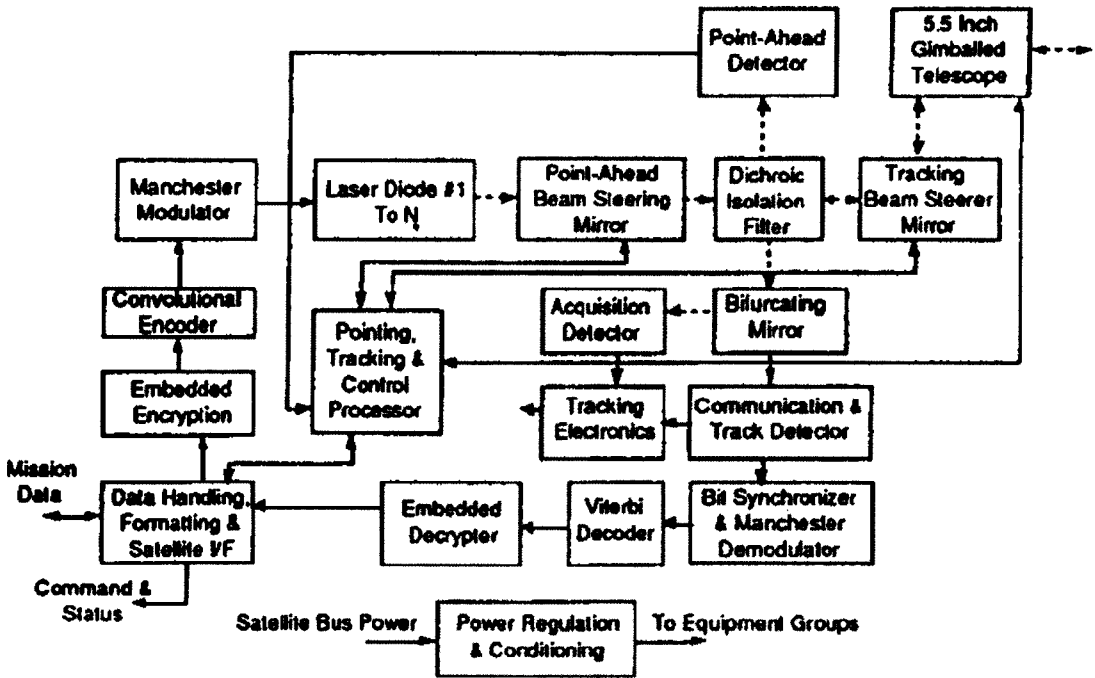
### 5. 위성간 링크 기술

위성간 링크(ISL)는 저/중궤도와 정지궤도 등 우주공간에 있는 위성간 직접 데이터를 주고받는 링크로 정지궤도 위성간은 군통신 위주로, 저궤도간은 상용 이동통신 위주로 개발이 진행되고 있다. 이러한 ISL을 송수신하는 주파수는 RF와 레이저로 구분된다. RF의 경우에는 일반 통신링크와 유사하나 허용된 주파수는 20~30GHz 대역에서 1GHz의 대역폭,

50~70GHz에서 3~6GHz 대역폭을 100GHz 대역에서 18GHz 대역폭을 사용할 수 있다. 그러나 산소분자 흡수가 100dB이상으로 발생하여 위성통신에서는 사용하지 않는 60GHz를 주로 적용하며, 안테나는 반사판형으로 빔폭이 0.25도, 송신출력은 20이상으로 사용하는 것으로 알려져 있다.

또한 보다 고속의 데이터 속도를 구현하기 위해 레이저 링크도 최근 사용하고 있는데, 이 경우 안테나 대신 laser diode와 CCD(Charge Coupled Devices)로 송수신을 하며 송수신 신호의 파장은 0.8~1.5um에 분포하며 레이저 원은 InGaAsP(Indium Gallium Arsenide Phosphide), AlGaAs(Aluminum Gallium Arsenide)등이 있다. 레이저는 빔 폭이 아주 작기 때문에 포인팅이 정확해야 하며, 이를 위해 위성체의 자세제어나 열/진동에 의한 구조계 변형의 최소화 및 매우 정밀한 포인팅 메카니즘을 요구한다. 아래 그림 5는 이러한 레이저를 이용한 ISL 송수신기의 일반 구성도이다.<sup>[8-9]</sup>

정지궤도 위성간 ISL은 현재는 60GHz를 사용한 사례가 최초로, 다중 홉이 요구되는 지구 반대편의 가입자를 단일 홉으로 연결하여 전세계를 하나의 통신영역권으로 묶어 서비



〈그림 6〉 Laser ISL 송수신기 구조

스를 하고있다. 이러한 장점 및 다수 위성망을 위한 통신위성은 대부분 ISL 지원을 계획하고 있으며, 위성 상호간에는 10Gbps급 레이저링크로 연동되어 사용자는 단일 위성처럼 사용하려 하고 있다. 또한 레이저 링크는 지향기술의 개발로 수백 Mbps의 정찰/감시 데이터 링크가 소요되는 항공기 단말을 위성에게 직접 링크를 구성할 수 있게 하여 데이터링크의 신뢰도 뿐만 아니라 항공기 단말의 운용범위를 LOS 보다 월등히 확장할 수 있다. 그래서 위성이 지원하는 광역을 단일 감시망으로 통합하였으며, 센서로부터 데이터가 레이저로 송신되기 때문에 원천적으로 재밍 영향이 없을뿐더러 정지궤도 위성을 통해 다른 중계수단이 필요 없이 1hop으로 연결할 수 있어 군위성망에 요구되는 핵심 기술이다.

### III. 맺음말

세계 군 통신위성은 네트워크 중심전(NCW: Network Centric Warfare)의 핵심 노드와 광대역 링크를 제공하는 중심 역할을 하기 위해 위성 탑재체 분야에 많은 기술개발이 진행되고 있다. 상존하는 통신환경의 위협요소는 극복하면서 광역에 산개된 장갑차, 항공기, 함정, 사병등 어떠한 플랫폼에도 언제 어디서나 전장상황 정보와 지휘/통제 정보를 교류할 수 있게 하면서 Gbps급의 망을 구성하는 것이 목표이다. 이를 위해 위성 안테나나 중계기에서 고도의 대전자전 능력을 보유하면서도 망 구성요구나 위협상황에 대응하여 융통성 있게 망을 재구성하고 링크 전송률을 적응하여 제공하고 있다. 본 고에서는 이러한 통신위성



망의 근간이 되는 위성탑재 핵심 소요기술로 위성 수신단에서 강력한 재밍 신호도 제거가 능한 널링안테나 기술과 재밍 신호제거와 다양한 채널 연결성을 제공하는 OBP기술과 전 세계를 단일 위성망으로 묶는 위성간 링크를 중심으로 군 위성통신 발전현황을 알아 보았다. 이러한 위성통신 기술들은 광역에 분포된 감시/정찰 센서로부터 지휘관이나 슈터가 어디에 있든 연결이 가능한 NCW개념 구현에 필수 요소로 평가 받고 있다.

## 참고문헌

- [1] Douglas Holtz Eakin, The Long-Term Implications of Current Plans for Investment in Major Unclassified Military Space Programs, CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE, 2005
- [2] Beam Forming Networks, EMS TECHNOLOGIES
- [3] Samuel J. MacMullan, Christopher J. Karpinsky, Reuben E. Eaves, & Andre R. Dion, "Geosynchronous Satellites for MUOS," M.I.T. Lincoln Lab.
- [4] E. C. Hudson, The Milstar payloads, AIAA-1994-1014-727
- [5] Joint terminal Engineering Office, "EHF SATCOM At a Glance," Feb. 2001
- [6] Jeffrey Lewis, Implications of the Department of Defense's 2004 Budget Request for Space Weaponization, Center for International And Security Studies
- [7] S. Mishima, L. Moy-Yee, G. Yee-Madera, & E. Yousefi, "Broadband Packet Switch Processor," Seventh Ka-Band Utilization Conference, Santa Margherita, Italy, S대 26-28, 2001
- [8] D. Crofts, C. Balestra, D. Dreisewerd, S. Lambert, R. Rice, & S. Simmons, "CURRENT CAPABILITIES AND PHOTONICS TRENDS IN OPTICAL INTERSATELLITE LINKS." AIAA-94-1161
- [9] Shlomi Arnon & N. S. Kopeika, "Laser Satellite Communication Network Vibration Effect and Possible Solutions," PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 85, NO. 10, Oct, 1997

저자소개



김기근

1992년 충북대학교 전자공학과 석사  
1996년-2007년 군위성통신체계 개발  
1992년-현재 국방과학연구소 선임연구원

주관심 분야 : On Board Signal Processing



이대일

1997년 서울시립대학교 전자공학과 석사  
2000년-2007 군위성통신체계 개발  
1997년-현재 국방과학연구소 선임연구원

주관심 분야 : Satellite IF switch Processing