

《主 題》

이동위성통신시스템 설계 기술

박 세 경 · 김 재 명

(한국전자통신연구소 위성통신시스템연구부)

■ 차 례 ■

I. 서 론

II. 이동위성통신시스템 개요

III. 위성부분 설계

IV. 지상부분 설계

V. 결 론

I. 서 론

최근 인간의 활동범위가 넓어지고 또한 급속한 경제 발전에 따라 항공기, 선박 및 사람을 포함한 지상 이동체의 이동범위가 광역화, 다양화되고 있으며, 또한 고도 정보화사회로의 발전추세 및 급속한 세계의 정세변화 가운데 이동중에 있는 사람을 대상으로 신속한 정보의 전달 및 위치확인 등은 이제 필요 불가결한 통신서비스로 요구되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 한국에서는 이동통신 및 측위위성시스템의 구축에 관한 계획을 작성, 적극적인 연구개발 및 상용화 준비에 박차를 가하고 있는 실정이다.

위성을 이용한 이동통신은 1976년 미국 COMSAT의 MARISAT 위성 시스템이 대양을 항해하는 선박에 대하여 통신 서비스를 제공하면서부터 시작되었다. 그후 INMARSAT(국제해상위성기구)가 1979년에 발족되어 선박을 대상으로 하는 전세계적인 이동위성통신서비스가 본격적으로 제공되었으며, 선박에 대한 통신과 더불어 1990년말부터 제2세대 INMARSAT 위성시스템을 이용한 항공 및 육상 이동통신서비스도 제공하고 있다. 그리고 국내이동위성통신서비스를 1992년에 발사된 AUSSAT B1에 의해 호주 전역에

최초로 제공되었으며, 지역이동위성통신서비스는 1994년 발사예정인 MSAT 위성에 의해 미국, 캐나다 등 북미지역에 제공될 예정으로 있다.

이동위성통신업무(Mobile Satellite Service)는 위성을 이용하여, 이동체를 대상으로 통신서비스를 제공하는 것으로서 전파통신규칙(Radio Regulations)에서는 이동체의 위치에 따라 육상이동 위성업무(LMSS: Land Mobile Satellite Service), 해상이동위성업무(MMSS: Maritime Mobile Satellite Service) 및 항공이동위성업무(AMSS: Aeronautical Mobile Satellite Service)등 세 가지로 분류하고 있다. 한편 위성을 이용한 이동통신 업무는 다음과 같은 고유의 특징이 있어 장래 급속한 발전이 기대된다.

- 서비스 지역의 광역성 :

위성의 가시지역에 해당하는 대단히 넓은 지역을 대상으로 통신서비스의 제공이 가능함.

- 동보성 :

서비스 지역에 산재한 많은 수신설비를 대상으로 동시에 동일내용의 정보를 전송할 수 있음.

- 난청지대의 축소 :

지구국에서 위성을 바라보는 양각이 극히 낮은 지역을 제외하고는 지형 및 건축물에 의해 차폐되는 지역이 적기 때문에 지상이동통신서비스에 비해 난청

지대를 축소하는 것이 가능함.

• 시스템의 구축 및 변경의 유연성 :

일반적인 위성탑재 중계기는 주파수 변환 및 전력 증폭 기능만을 가지고 있기 때문에 회선제어방식의 설계가 임의적이며 또한 지구국 설비 규격 등의 변경에 따라 신규 서비스 혹은 기존 지상서비스와의 통합을 신속하게 행할 수 있음.

• 내재해성 :

통신용 중계기인 위성이 우주공간에 위치하므로 지구상의 지진, 홍수해 등 지상재해와는 무관함.

이와 같은 위성통신 고유의 특징을 활용한 이동통신서비스의 제공을 위한 시스템 구축 사업계획이 세계 각국에서 현재 활발히 추진중에 있으며 우리나라에서도 이러한 사업으로의 참여를 검토중에 있다.

본고에서는 이동위성통신망의 구성원리 및 시스템 개요 등을 개략적으로 설명하고 이동위성통신시스템의 주요 구성부분인 위성 및 지상부분의 설계기술을 고찰하여 국내에서의 이동위성통신 기술개발에 도움이 되도록 한다.

II. 이동위성통신시스템 개요

1. 망 구성원리

이동위성통신망은 위성부분과 지상부분 등 두가지 부분으로 크게 구분 할 수 있으며, 이동위성통신망의 일반적인 망 구성도를 (그림 1)에 나타내었다.

위성부분의 경우 지상국과의 신호 중계를 위한 위성 및 위성의 정상적인 동작을 위한 지상관제국으로 구성된다. 여기서 위성은 위치하는 궤도의 고도에 따라 정지궤도위성(Geo-stationary Earth Orbit(GEO) Satellite), 고타원궤도위성(High Elliptical Orbit(HEO) Satellite), 중궤도위성(Medium Earth Orbit(MEO) Satellite), 또는 저궤도위성(Low Earth Orbit(LEO) Satellite) 등으로 구성된다. 궤도별 위성의 특징은 다음 절에서 보다 상세히 살펴보도록 한다.

지상부분은 (그림 1)에서와 같이 관문국(Gateway Earth Station) 및 이동국(Mobile Earth Station)으로 구성되며 관문국은 이동국과 지상의 통신시설간의 신호 중계 기능을 위한 지상통신망과의 접속장치라 설치되어야 할 것이며 또한 이동국간의 신호 중계 기능도 요구된다. 관문국에 접속되는 지상통신망으로

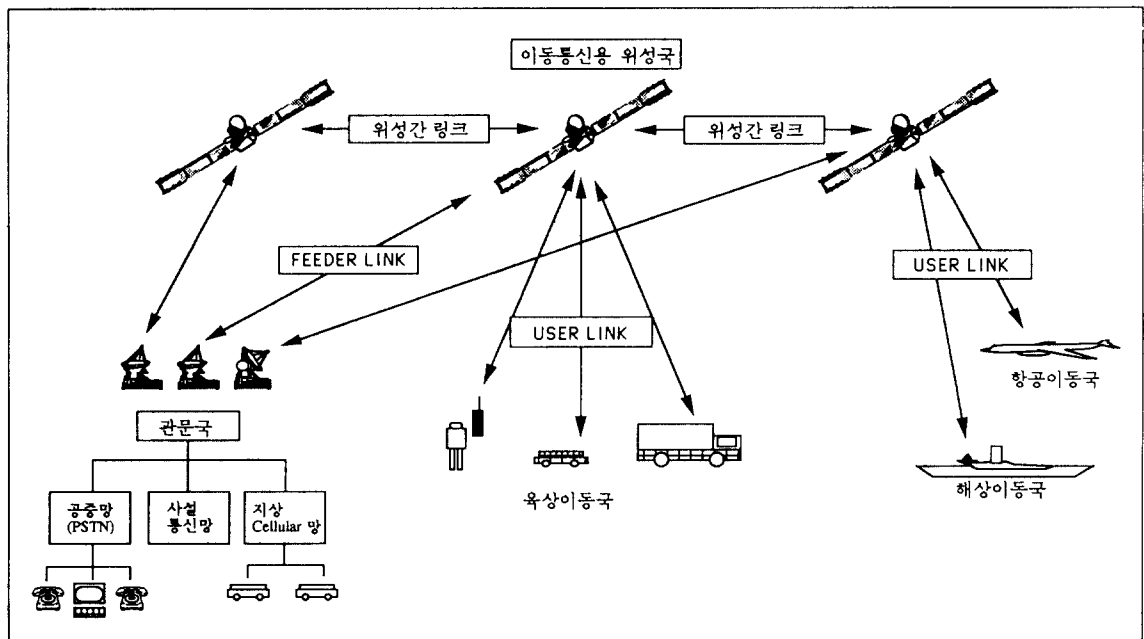


그림 1. 이동위성통신시스템의 구성도

서 기존의 공중전화망(PSTN: Public Switched Telephone Network), 지상 이동전화망(Terrestrial Cellular Telephone Network) 및 사설통신망 등이 있으며 향후 서비스가 제공될 종합정보통신망(ISDN: Integrated Service Digital Network) 등과도 접속되어야 할 것이다. 이동국의 경우 이동국의 위치에 따라 육상, 해상 및 항공 이동국이 있으며 전화, 팩스, 케이징 등의 통신 서비스와 이동국 위치 식별 등의 부가서비스도 제공받을 수 있을 것이다.

위성, 관문국 및 이동국간에는 위성간 링크(ISL: Inter-Satellite Link 또는 Cross-link), 피더 링크(Feeder Link) 및 사용자 링크(User Link 또는 Service Link) 등 세가지의 링크가 있다.

위성간 링크는 이동국의 원하는 통신시설의 위치가 해당위성의 빔 커버리지 밖에 위치할 경우 위성파와 위성 상호간의 정보전송을 우주 공간에서 직접 수행함으로써 두 통신시설간의 통신을 가능하게 하여 위성통신망의 융통성을 크게 증대 시킨다. <표 1>에서와 같이 위성간 링크는 데이터 중계 위성시스템, Cluster 위성시스템, 광역위성시스템 및 우주관측 위성시스템 등에서 광범위하게 활용되고 있다.

위성간 링크의 특징으로서는 첫째, 전송한 바와 같이 서로 다른 위성빔 커버리지내 위치하는 이동국간의 회선 연결이 가능하며, 둘째, 단일 위성빔 커버리지를 벗어나는 이동 지구국도 지상 중계 또는 이중 hop 중계없이 서비스 범위내로 포함할 수 있으며 전 세계를 단일 통신전화 할 수 있다. 특히 위성궤도의 고도가 상대적으로 높아 전파 지연 시간이 긴 중궤도 및 정지궤도위성망의 경우는 위성간 링크의 사용이 거의 필수적이라 하겠다. 셋째, 복수개의 위성들을 위성간 링크로 묶음으로서 트래픽 분배가 가능하며 중

계기의 통신용량을 효율적으로 사용할 수 있다. 그러나 위성간의 통신링크 구성을 위한 별도의 중계 장비가 탑재되어야 하므로 위성체가 대형화되어야 하고 이로 인한 발사비용의 증대 및 위성 전체의 신뢰도 저하 등의 문제점이 있어 위성간의 링크를 구성하지 않고 관문국에 접속되는 지상통신망을 이용하려는 이동위성통신 시스템이 다수 계획되어 있다. 위성간 링크의 사용주파수 대역으로서는 22.55-23.55 GHz (IRIDIUM 시스템에서 사용예정), 32-33 GHz, 55-60 GHz 및 파장 0.5-10.6 μm의 광파 대역 등이 있다.

위성간 링크시스템은 위성간 링크 신호의 송수신을 담당하는 안테나/랜즈부, 위성간 링크 신호를 수신하여 저잡음 증폭과 주파수 하강후 복조/복호화하여 요구되는 신호 형태를 변환하는 수신부, 위성간 링크로 전송할 신호를 선택하여 부호화/변조를 하며 주파수 상승 변환후 고풍력 증폭하는 송신부 및 위성간 링크로 연결되는 두 위성의 상대 위치오차가 주어진 범위내로 유지되도록 하는 추적제어부 등으로 구성된다.

피더 링크는 위성과 관문국간의 통신을 담당하는 회선으로서 엄밀히 구분하면 이동위성업무가 아닌 고정위성통신업무(FSS: Fixed Satellite Service)로 분류된다. 사용되는 주파수대로서는 C-band 및 Ka-band가 주로 사용된다.

사용자링크는 위성과 이동국간의 통신을 담당하는 회선으로서 주로 사용되는 주파수 대역으로서는 L-band 및 S-band 등이 있다. 이동국의 모든 통신은 이동국과 위성간의 사용자회선과 위성과 관문국간의 피더링크를 통하여 가능하게 된다. 그러나 위성중계기내에 이동국으로부터 수신된 신호를 복조/복호화하여 경로설정이 가능한 위성탑재처리장치가 탑재

표 1. 위성간 링크의 형태

위성간 링크의 형태	사 용 형 태
데이터 중계위성시스템 ○ GEO-LEO ○ GEO-GEO ○ GEO-심연우주위성	○ 지구관측위성 등의 데이터 중계 ○ 데이터 중계 위성간 링크 ○ 정지궤도의 중계위성과 심연우주위성간의 데이터 중계
Cluster 위성 시스템 ○ GEO에 있어 근접위성간 통신	○ 근접위성을 상호 접속하여 대형 위성시스템의 기능을 가짐
광역위성통신 시스템 ○ GEO-GEO ○ GEO-LEO, GEO, GEO ○ LEO-LEO	○ 서비스 지역이 상이한 정지통신위성간의 접속 ○ 정지궤도와 비정지궤도 위성간의 접속 ○ 복수개의 저궤도위성간의 접속
우주관측 시스템 ○ 관측위성 네트워크	○ 복수위성을 접속한 관측 및 궤도상의 데이터 처리

된 위성(주로 정지궤도위성)의 경우는 이동국간의 직접 통신이 가능하게 될 것이다. 한편 이동위성통신용 이동국의 대표적인 송신 주파수인 1610 ~ 1626.5 MHz의 eirp(equivalent isotropic radiated power) 밀도는 무선통신규칙(Radio Regulations)에서 15 dB/4 kHz를 초과할 수 없도록 규정하고 있으며, 이동위성의 대표적인 송신 주파수인 2483.6 ~ 2500 대의 지표면 전력속밀도는 지표면에서의 전파도래양각에 따라 다음과 같이 구분하여 규정하고 있다.

- 5° 이하 : 152 dB(W/m², 4kHz)
- 5° ~ 25° : 152 + 0.5(δ - 5) dB(W/m², 4kHz)
- 25° ~ 90° : 142 dB(W/m², 4kHz)

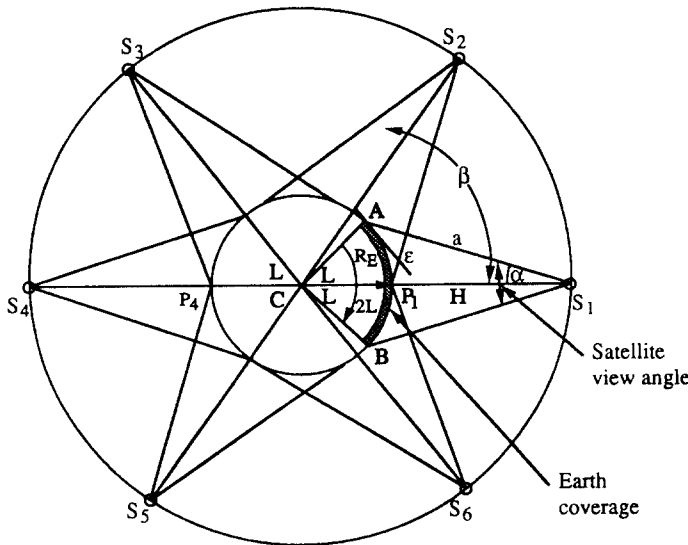
2. 시스템 개요

전술한 바와 같이 이동위성통신망을 주요 구성부분인 위성이 사용가능한 궤도로서는 GEO, HEO, MEO 및 LEO 등이 있다.

이동위성통신용 위성의 고도 선택 또는 위성안테

나의 크기는 이동국 특히 휴대용 지구국(Portable Unit 또는 Handheld Phone)의 송신전력 크기에 큰 영향을 미치며 휴대용 이동국의 경우 송신되는 무선신호로부터의 발신자 신체 보호, 휴대가 용이할 정도의 소형 등을 위해서는 최대 1 W를 초과하여서는 곤란한 것이다.

현재 계획 및 설계단계에 있는 저궤도 이동위성통신시스템이 제공하려는 서비스중에서 가장 많은 보급이 예상되는 전화 음성서비스는 실시간 제공되어야 하며 이용자가 불편을 느끼지 않을 정도의 전파지연시간이 요구된다. 여기서 위성궤도별 전파지연시간을 간략하게 비교해 보기로 한다. (그림 2)는 GEO, MEO, LEO 위성을 사용할 경우 최대 전파지연시간을 계산한 것이다. (그림 2)에서와 같이 저궤도위성의 경우 신호차리에 따른 지연 시간을 포함하여 최대 329 ms 정도의 신호 지연이 발생하며, 중궤도의 경우 최대 437 ms, 정지위성궤도의 경우, 위성간 링크를 이용하였을 때 최대 652 ms의 신호 지연이 발생함을 알 수 있다.



o 위성에서의 서비스지역 각(α)

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\frac{R_E}{R_E + H} \sin(90 + \epsilon) \right]$$

- R_E : 지구반경
- H : 궤도고도
- ε : 양각

o 지구 커버리지각(L)

$$L = 180^\circ - (90 + \epsilon) - \alpha$$

o 위성궤도 이격각(β)

$$\beta \approx 180^\circ / P$$

P = 궤도연수

o 두 위성간의 거리(d)

$$d = 2R_s \sin(\beta/2)$$

R_s = 위성반경 (R_E + H)

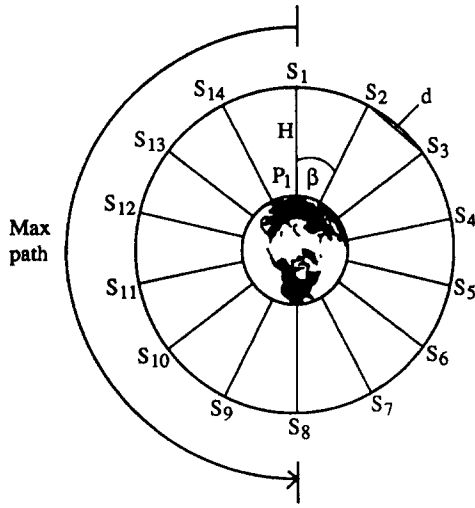
o 사용자와 위성간 최대거리(a)

$$a = \frac{R_E \sin L}{\sin \alpha}$$

o 최대 경로 길이

$$P = P_1 S_1 S_2 S_3 S_4 P_4$$

(a) 최대 경로 길이 계산



$$\beta = (180/7 = 25.7^\circ)$$

$$H = 770 \text{ km}$$

$$R_s = 7141 \text{ km}$$

$$d = 2 R_s \sin(\beta/2) = 3203 \text{ km}$$

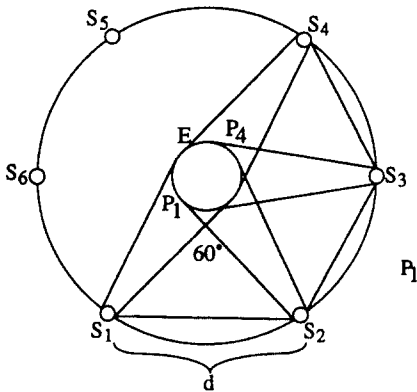
$$a = \frac{6378 \sin 16.85}{\sin 63.15} = 2071 \text{ km}$$

$$\text{경로 길이} = P_1 S_1 S_2 S_3 S_4 S_5 S_6 S_7 S_8 P_8 \cong 2a + 7d$$

$$\cong 2 \times 2071 + 7 \times 3203 = 26,564 \text{ km}$$

경로길이	= 26,564 km
전파지연	= 89 ms
신호처리지연	= 240 ms
최대지연	= 829 ms

(b) 저궤도 위성의 전파지연시간 계산



경로	거리 km	전파지연 ms	신호처리지연 ms	최대지연 ms
1	77,138	257	180	437
2	60,760	202	160	362
3	73,848	246	180	426

$$\beta = (360/6 = 60^\circ)$$

$$H = 10,360 \text{ km}$$

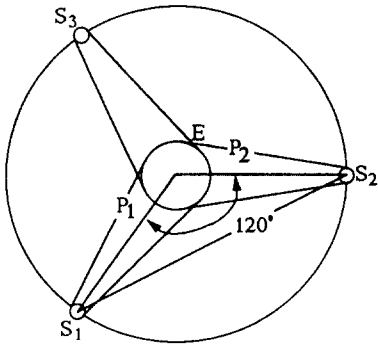
$$R_s = 16,738 \text{ km}$$

$$d = 2 R_s \sin(60/2) = R_s$$

$$a = \frac{6378 \sin 49.03}{\sin 20.96} = 13,462 \text{ km}$$

$$\begin{aligned} \text{경로 1(위성경로만)} &= P_1 S_1 S_2 S_3 S_4 P_4 &&= 2a + 3d \\ &&&= 2 \times 13,462 + 3 \times 16,738 = 77,138 \text{ km} \\ \text{경로 2} &= P_1 S_1 S_2 S_3 P_4 &&= 2(a+d) \\ &&&= 2(13,462 + 16,738) = 60,760 \text{ km} \\ \text{경로 3(위성과 지상경로이동)} &= P_1 S_1 P_1 P_4 S_4 P_4 &&= 4a + P_1 P_4 \\ &&&= 4 \times 13,462 + 20,000 = 73,848 \text{ km} \end{aligned}$$

(c) 중궤도 위성의 전파지연 시간 계산



경로	거리 km	전파지연 ms	신호처리지연 ms	최대지연 ms
1	18,381	600	180	780
2	153,720	512	140	652

$\beta = 120^\circ$
 $H = 35,786 \text{ km}$
 $R_s = 42,164 \text{ km}$
 $d = 73,030 \text{ km}$
 $a = \frac{6378 \sin 71.45^\circ}{\sin 8.55^\circ} = 40,345$

경로 1 = $R_1 S_1 P_1 P_2 S_2 P_2 \approx 4a + R_1 P_2 = 4 \times 40,345 + 20,000 = 181,381 \text{ km}$

경로 2 = $P_1 S_1 S_2 P_2 = 40,345 + 73,030 + 40,345 = 153,720 \text{ km}$

(d) 정지궤도 위성의 전파지연시간 계산

그림 2. 이동궤도별 전파 지연시간 계산 (예)

현재 제공중인 이동위성통신시스템의 대표적인 INMARSAT에서 사용중에 있는 정지위성궤도는 위성 커버리지가 넓어 단 3개의 위성으로 각지방을 제외한 대부분의 지구 전체를 커버할 수 있어 상대적으로 시스템 구현에 소요되는 비용이 적음 것으로 판단되나 이동국의 송신기 규모를 고려할 경우 대형 위성 안테나가 필요하게 되며 진술한 바와 같이, 이동국-이동국간의 통신을 1 hop으로 가능하게 하기 위해서는 위성중계기내에 이동국으로부터 송신된 신호의 복조/복호화하여 경로설정된 후 부호화/변조하여 송신할 수 있는 위성탑재처리장치가 탑재되어야 하는 등 위성체의 대형화가 요구된다. 그리고 앞서 살펴본 바와 같이 정지궤도위성의 경우 전파지연시간이 다소 길어지게 된다.

중궤도위성망의 경우 전파지연시간 및 위성 송신 출력 규모가 적절하며, 위성의 커버리지도 다소 넓게 구성되므로 전세계를 서비스 지역으로하기 위한 위성군의 소요 갯수도 적절한 장점이 있는 반면, 지구의 자전주기와 다른 공전주기를 갖기 때문에 지상에서의 상대속 이동속도가 존재하므로 관측국은 전방향 추적기 가능한 안테나가 요구되며, 위성간 간섭조정이 다소 난이한 문제점이 보완되어야 할 것이다.

저궤도위성망의 경우 전파지연시간이 적어 전화

음성 서비스에 최적이며, 위성 및 이동국의 송신출력 규모가 적어 위성 발사 비용이 저렴한 장점이 있는 반면, 중궤도 위성망과 마찬가지로 관측국은 전방향의 속도가 빠른 안테나가 필요하며, Doppler 효과에 의한 주파수 보상 장치가 이동국에 설치되어야 하며, 위성간 간섭 조정이 용이하지 않는 등의 문제점이 보완되어야 한다. <표 2>은 사용 궤도별 이동위성시스템의 특징을 나타내었고, <표 3>는 LEO와 GEO의 궤도 및 발사 특성을 비교하였다.

III. 위성부문 설계

진술한 바와 같이 위성부문은 위성과 위성의 정상 동작을 위한 지상의 관제국으로 구성된다. 여기에서는 먼저 이동위성통신용으로 분배된 주파수 대역 및 위성군 설계를 간략하게 알아보고 관제국을 제외한 위성부문중에서 위성중계기의 설계기술에 대해 살펴 보도록 한다.

1. 이동위성업무용 주파수 대역

앞서 살펴본 바와 같이 향후 많은 수요가 예상되는 이동위성통신시스템의 구축에 사용 가능한 주파수 대역은 WARC-92(1992년 세계무선주관청회의, World

표 2. 사용궤도별 이동위성시스템의 특징

구분	장점	단점
GEO	<ul style="list-style-type: none"> 위성에 의한 커버리지가 넓음. 현재 상용화된 기술을 이용함. 위성망간 간섭 조정이 용이함. 위성망 제어가 용이함. Doppler shift 효과에 의한 주파수 편이를 무시할 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 전파지연이 큼. 위성 및 이동국의 큰 eirp가 요구됨. 극지방을 커버할 수 없음. 대규모의 위성안테나가 요구되며 대형발사체가 필요함.
MEO	<ul style="list-style-type: none"> 전파지연시간이 적절함. 위성 및 이동국의 eirp가 적절함. 위성에 의한 커버리지가 다소 넓음. 	<ul style="list-style-type: none"> 관문국은 전방향 위성 추적 속도가 빠른 안테나가 필요함. Doppler shift에 의한 주파수 편이보상장치가 필요함. 위성망간 간섭 조정이 난이함.
LEO	<ul style="list-style-type: none"> 전파지연시간이 적어 전화음성 서비스 제공에 큰 불편이 없음. 위성 및 이동국의 적은 eirp가 요구됨. 소형발사체로 발사 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> 관문국은 전방향 위성 추적 속도가 빠른 안테나가 필요함. Doppler shift에 의한 주파수 편이보상장치가 필요함. 위성망간 간섭 조정이 난이함. 위성망 제어가 복잡함.

표 3. LEO와 GEO의 궤도 및 발사특성 비교

항목	LEO	GEO
궤도(원궤도)		
○ 위성고도(km)	300 ~ 3000	~ 36000
○ 궤도주기(시간)	~ 1.5 ~ 2.5	24
○ 지구회전수/1일	~ 15.9 ~ 9.5	1
○ 지구회전수/1년	~ 5800 ~ 3500	365
○ 회전속도(km/sec)	~ 7.7 ~ 6.5	~ 3.1
궤도 환경		
○ 최대 식 기간(분)	~ 35	~ 70
○ 식/1년 ^{*1}	~ 6000 ~ 2500	~ 130
○ 대기압(Torr) ^{*2}	1×10^{-13}	1×10^{-13}
○ 자기장 세기(Gamma)	~ 3×10^4 ~ 1×10^4	100
De-orbit ^{*3}		
○ 자연감소시간	수분 ~ 수년	~ 무한대
발사		
○ 가속도(발사체, g) ^{*4}	~ 3 ~ 9	~ 3 ~ 9
○ 가속도(upper stage, g) ^{*4}	not applicable or low	varies
○ 위성질량/발사체질량(%)	~ 1.5	~ 0.4
○ 위성발사비용(US\$/kg)	9 ~ 18	44 ~ 66

- *1: 2분 이상, 고도 및 궤도경사각에 따라 변함
- *2: 1/760 기압
- *3: 자연 현상에 의해 운용궤도로부터 이탈하여 낙하하는 시간
- *4: g(중력가속도)

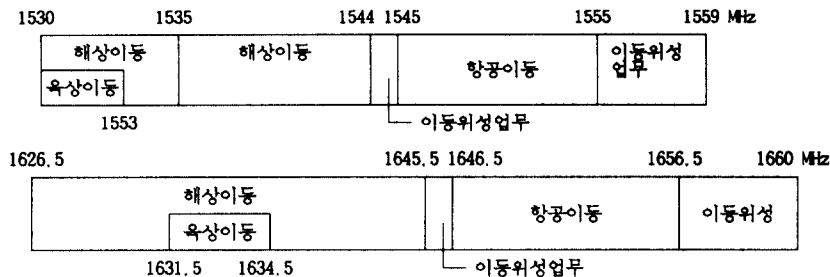


그림 3. WARC-92 이전에 분배된 이동위성통신업무용 주파수 대역

표 4. WARC-92에서 분배된 이동위성통신업무용 주파수 분배 내역

주파수 대역	상향회선	하향회선	비고
137 - 137.025 MHz		1 차 업무용	저궤도위성용
137.025 - 137.175 MHz		2 차 업무용	
137.175 - 137.825 MHz		1 차 업무용	
137.825 - 138 MHz		2 차 업무용	
148 - 149.9 MHz	1 차 업무용		
149.9 - 150.5 MHz	1 차 업무용(육상)		1997. 1 이후
312 - 315 MHz	2 차 업무용		
387 - 390 MHz		2 차 업무용	
400.15 - 401 MHz		1 차 업무용	저궤도위성용
1525 - 1530 MHz		1 차 업무용	
1610 - 1626.5 MHz	1 차 업무용		
1980 - 2010 MHz	1 차 업무용 ^{*1}		2005. 1 이후 ^{*1}
2170 - 2200 MHz		1 차 업무용 ^{*1}	2005. 1 이후 ^{*1}
2483.5 - 2500 MHz		1 차 업무용	
2500 - 2520 MHz		1 차 업무용 ^{*2}	2005. 1 이후 ^{*1}
2520 - 2535 MHz		1 차 업무용 ^{*3}	2005. 1 이후 ^{*2}
2655 - 2670 MHz	1 차 업무용 ^{*3}		
2670 - 2690 MHz	1 차 업무용 ^{*2}		
20.1 - 20.2 MHz		1 차 업무용	
29.5 - 30.0 MHz		1 차 업무용	

- *1: 미국의 경우 1996. 1 이후 사용 가능
- *2: 무선통신규칙 14조의 조정필자에 따라 사용 가능
- *3: 무선통신규칙 14조의 조정필자에 따라 1993. 10. 12 이후 사용 가능

Administrative Radio Conference 92)에서 <표 4>와 같이 추가 분배되었다.

WARC-92 회의 이전에 이동위성통신업무용으로 분배된 주파수 대역은 주로 해상 및 항공이동위성통신 업무용으로 분배되었고 INMARSAT 등 저궤도위성을 이용한 이동통신서비스가 제공되고 있으며, (그림 3)과 같다.

현재 계획 및 설계단계에 있는 저궤도 이동위성통신 시스템의 사용 주파수 대역은 <표 5>와 같다.

<표 4, 5>에서와 같이 WARC-92에서는 향후 많은 수요가 예상되는 이동위성통신업무용 주파수 대역을 상당히 많이 분배하였으나, 2005년 이전에 사용할 수 있는 대부분의 주파수 대역은 IRIDIUM 및 Globalstar 등 저궤도 이동위성통신망에서 사용할 예정으로 있

표 5. 현재 제안된 저궤도 이동위성통신 시스템의 사용 주파수 대역

시스템명	사용주파수대역(MHz)	시스템명	사용주파수대역(MHz)
Arics	1610 - 1626.5	Iridium	1610 - 1626.5
	2483.5 - 2500		27.5 - 30 GHz
	5150 - 5216 (3MHz)		18.8 - 20.2 GHz
	6525 - 6541.5 (3MHz)		22.55 - 23.55 GHz
Ellipso I	1610 - 1626.5	Odyssey	1610 - 1626.5
	2483.5 - 2500		2483.5 - 2500
Ellipso II	1610 - 1626.5		29.5 - 30.0 GHz
	2483.5 - 2500	19.7 - 20 GHz	
Globalstar	1610 - 1626.5	Orbcomm	148 - 149.9
	2483.5 - 2500		137 - 138
	5158.6 - 5216		400.1
	5199.5 - 5216		1575.42
Starnet		Starnet	137 - 138
			148 - 149

어 시스템간의 간섭문제가 심각할 것이며, 또한 주파수 대역폭이 제한되어 있다. 한편 INMARSAT에서는 1990년대 후반부터 위성을 이용한 개인이동통신시스템을 구축하려는 계획(Project-21)이 추진중에 있고, Project-21의 주요 전송채원은 1993년말 또는 1994년 초에 결정될 예정으로 있으며 사용궤도는 MEO 또는 GEO 중 하나로 결정될 것으로 예상된다. 그러나 INMARSAT Project-21이 2005년 이전에 운용될 경우 사용할 적당한 주파수 대역이 없는 상태이기 때문에, INMARSAT에서는 1993년 11월 스위스 제네바에서 개최되는 WRC(World Radio Conference, (구) WARC) 회의에서 2005년부터 사용가능한 이동위성업무용 2 GHz 주파수 대역을 1995년경부터 사용가능하도록 하는 내용을 협의하자는 제안서를 제출한 상태이다.

2. 위성군 설계(Satellite Constellation Design)

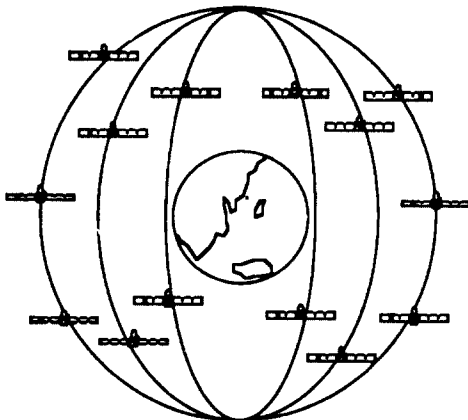
앞서 살펴본 바와 같이 GEO의 경우 극지방을 포함한 고위도 지방을 제외하고는 3개의 위성으로 대부분의 지구를 커버할 수 있으며, 궤도 고도가 낮아질수록 소요되는 위성의 갯수는 증가하게 된다. 위성 이용궤도 및 위성군 설계시 <표 6>에서와 같이 궤도, 서비스 대상지역, 빔커버리지의 redundancy, 지향각, 위성-위성간 통신 및 위성-지구국간 통신 등을 고려하여야 할 것이다.

위성군은 궤도 경사각에 따라 극궤도 위성군(Star Pattern Satellite Constellation)과 경사궤도 위성군(De-

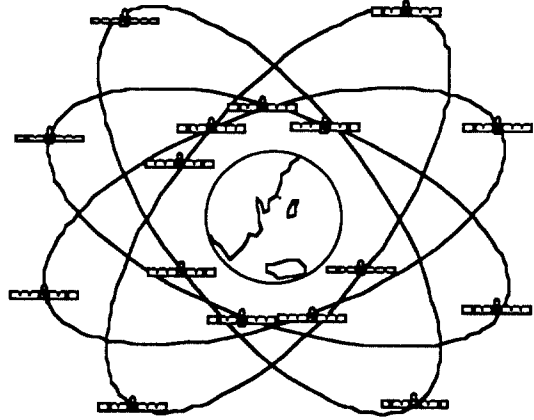
lta Pattern Satellite Constellation) 등 두가지로 구분할 수 있다. 극궤도 위성군이란 (그림 4)에서와 같이 경사각이 90°로서 지구의 양극지역을 통과하기 때문에 지구 전체를 커버할 수 있으며 저위도 지역에 비해 고위도 지역의 커버리지가 우수하다. 현재 극궤도 위성군의 형태를 갖는 대표적인 저궤도 이동위성통신 시스템은 IRIDIUM 시스템이다. 경사궤도 위성군은

표 6. 위성궤도 및 위성군 설계시 주요 고려사항

구분	주요고려사항
궤도	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성 수 ○ 위성안테나 크기 ○ 위성질량 ○ 위성 수명 및 신뢰도 ○ 전파지연 ○ 이동국 출력
서비스 지역	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경, 위도 범위(극지방 포함여부) ○ 특정지역(땅, 바다 등) ○ 장애물
빔 커버리지의 Redundancy	<ul style="list-style-type: none"> ○ 단일 빔 ○ 두개 빔 ○ N 개 빔
지향각	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지형 및 대기의 영향 ○ Low Probability of Intercept(LPI) ○ 기계적인 제한
위성-위성 통신	<ul style="list-style-type: none"> ○ 통신가능한 시간율 ○ 최대 통신중단 시간 ○ 대기 높이
위성-지구국 통신	<ul style="list-style-type: none"> ○ 통신가능한 시간율 ○ 최대 통신중단 시간 ○ 지향각 제한



(a) 극궤도 위성군



(b) 경사궤도 위성군

그림 4. 궤도 경사각에 따른 위성군 형태

(그림 4)에서와 같이 경사각이 90° 미만으로서 지구의 양극 지역 및 고위도 지역을 커버하지 못하나 대부분의 인구가 밀집 분포된 중위도 지역을 커버할 수 있으며 위성 갯수가 극궤도 위성군에 비해 다소 적게 소요된다. 현재 경사궤도 위성군의 형태를 갖는 대표적인 저궤도 이동위성통신시스템은 Globalstar 시스템이다.

3. 위성중계기 설계

이동위성통신서비스의 제공을 위한 위성중계기 설계 기술은 기존의 고정통신 및 방송용 위성중계기의 소요 기술에 별도로 추가되는 소요기술은 없지만, 이동위성업무에 대해 특히 강조되어야 할 기술분야는 위성간 링크 기술, 다중빔 기술 등의 위성탑재처리 기술이다. 여기에서는 다중빔 기술에 대해 보다 상세히 고찰하여 보도록 한다.

위성중계기는 위성내에서 수행할 수 있는 기능에 따라 수동형 위성중계기 및 능동형 위성중계기로 구분할 수 있을 것이다. 수동형 위성중계기는 현재 대부분의 통신 및 방송용 위성중계기로 사용되는 것으로 기본적으로 지상으로부터 수신되는 미약한 RF 신호의 저잡음 증폭 기능, 상향 주파수를 하향 주파수로 변환하는 주파수 변환 기능과 지상에서 RF 신호를 수신할 수 있도록 고출력 증폭하는 기능을 갖고 있다.

그리고 능동형 위성중계기는 수동형 위성중계기의 기능외에 위성내부에서 처리할 수 있는 기능으로서 복조/재변조, 복호/부호화 및 상향회선상에서 발생된 오류 정정, 중계기 및 빔간의 연결/절체, 클럭 생성 및 복구, 채널의 동기화/동화, 간섭신호의 검출 및 제거 및 회선 교환기능 등이 있다. 이러한 위성탑재처리 기능에 의한 장단점을 <표 7>에 나타내었다.

위성탑재처리 기술중에서 이동위성통신업무용 위성중계기가 보유하여야 할 대표적인 기술로서는 빔 스위칭 기능을 통한 다중빔 기술을 들 수 있다.

표 7. 위성탑재처리 기능에 의한 장단점

장	점	단	점
<ul style="list-style-type: none"> ○ 부호오류 감소(위성중계기 내의 오류정정) ○ 통신링크의 전송효율 개선 ○ 전송용량의 증대 ○ 간섭신호의 제거로 인한 궤도 및 주파수 이용효율 증대 ○ 네트워크간 연결의 융통성 확보 ○ Sorting, routing, message 분배 기능으로 인한 회선 교환 가능 		<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성체 무게 증가 ○ 위성소비 전력 증가 ○ 시스템 복잡화에 따른 제작 비용 증가 및 신뢰도 저하 	

다중빔 위성통신방식의 원리 및 효과를 (그림 5)에 나타내었다. (그림 5)에서와 같이, 현재 운용중인 대부분의 위성통신방식인 단일빔 방식은 전체 서비스 지역을 한개의 빔으로 주사하는 방식이며, 다중빔 방식은 복수개의 협소한 빔으로 구성된 방식으로서 지구국으로의 복사 전력을 증대시키므로 전송용량의 향상 및 지구국의 소형화 등을 통하여 경제적인 시스템을 구현할 수 있다.

다중빔 위성통신 시스템의 구성 예를 (그림 6)에 나타내었다. (그림 6)에서와 같이 다중빔 위성시스템의 주요 구성은 다음과 같다.

다중빔 쉐인 안테나 부: 저잡음 증폭부(LNA: Low Noise Amplifier) 및 위상 변환기/이득 제어 소자로 구성

입력 MSM(Microwave Switch Matrix) 부: 복수개의 수신빔들과 복조기들 간을 정적 또는 동적으로 연결/절체

기저대역신호 처리부

부호/변조부

출력 MSM 부: 변조기들과 여러 송신빔들 간을 정적 또는 동적으로 연결/절체

다중빔 위성통신시스템의 구성은 전술한 기저대역신호처리부 및 부호/변조부 없이 단순히 RF대에서의 스위칭 부분으로 구성될 수도 있다. 일반적으로 다중빔 위성안테나는 0.5°~1.0°의 빔폭을 갖는 고이득 feed 들의 집합체로 구성되고, 서비스 요구에 따라 각각의 빔들이 on/off 되며 빔 커버리지를 시간적으로 변화시킬 수 있다.

IV. 지상부문 설계

이동위성통신시스템의 지상부문은 관문국 및 이동국으로 구분할 수 있으며, 여기에서는 비정지궤도위성을 이용하였을 경우 발생하는 Doppler shift 현상에 의한 주파수 편이 특성, 이동위성통신시스템에서의 다중접속방식, 이동국의 구성 및 관문국의 지상통신망과 접속기술 등에 대하여 살펴보도록 한다.

1. Doppler shift

비정지궤도 위성과 지구국의 위치 관계가 시간에 따라 함께 변화하기 때문에 수신점에서 신호의 주파수가 Doppler shift 현상에 의해 편이되어 수신된다. 이러한 현상은 정지궤도위성과 이동국과의 통신에서는 거의 무시되는 것으로서, 특히 저궤도위성의 경우

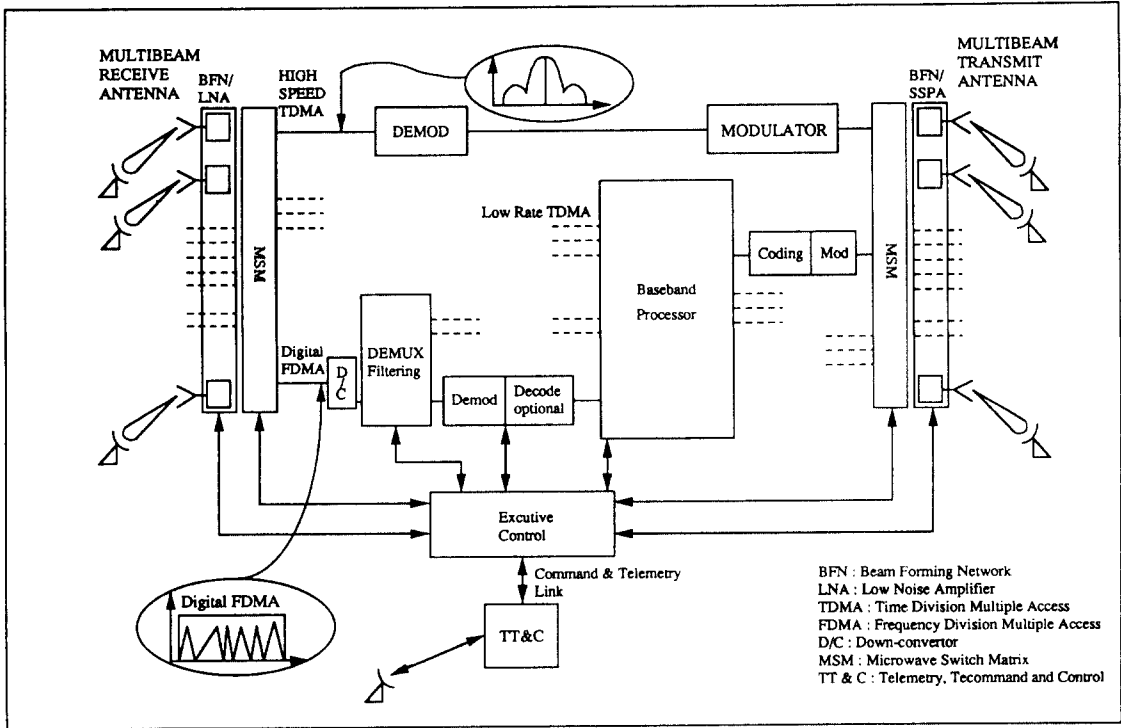
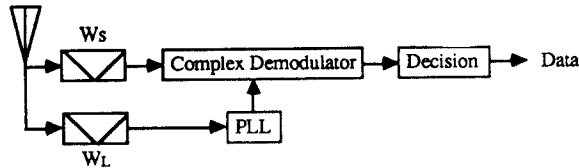
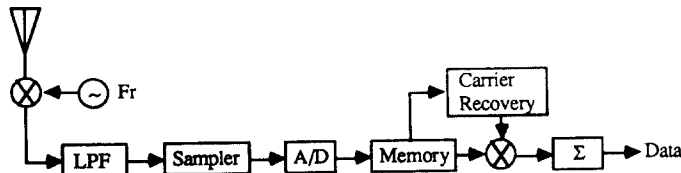


그림 6. 다중빔 위성시스템의 개념도



- W_s : 수신신호 대역폭
- W_l : Doppler shift에 의해 중심주파수위치가 편이된 반송파를 PLL이 포착할 수 있도록 W_s 보다 충분히 넓어야 함.
(위성고도 1000km 이고 반송주파수가 2 GHz 대의 경우, W_l 은 W_s 의 최소 10배 이상이 요구됨)

(a) PLL을 이용한 반송파 복구(동기식 수신기)



- F_r : Doppler shift 받기전의 반송파와 동일한 주파수
- Sampler : 1 symbol 당 K개 sampling
- 기억된 sample의 위상을 이용, 수신신호의 위상을 추정하여 반송파를 복구함.

(b) 기억소자를 이용한 반송파 복구

그림 7. Doppler shift에 의한 주파수 편이를 보상하는 수신기 구성도

게 한다. 이 때문에 현재 제안되고 있는 저궤도 이동위성통신시스템에서 FDMA 방식을 사용하려는 시스템은 거의 없는 실정이다.

저궤도 이동위성통신시스템에서는 대부분 디지털 전송방식을 사용하고 있으며, 이동국 수신부에서는 일반적으로 PLL(Phase Lock Loop)를 이용하여 Doppler shift된 반송파를 복구하거나 기억소자를 이용하여 반송파를 복구할 수 있으며, (그림 7)에 전형적인 구성도를 나타내었다.

2. 다중접속방식

다중접속이란 위성중계기를 복수개의 지구국이 공유하는 것으로 주파수, 시간 및 부호를 서로 달리하여 공유하며, 이를 각각 주파수분할다중접속방식(FDMA: Frequency Division Multiple Access), 시분할다중접속방식(TDMA: Time Division Multiple Access) 및 부호분할다중 접속방식(CDMA: Code Division Multiple Access) 이라 한다. 위성통신시스템 구성시 어떠한 다중접속방식을 사용할 것인가 하는 것은 시스템의 경제적인 구현에 많은 영향을 미치며, 시스템 구성시 다중접속방식은 요구되는 통신용량, 위성의 송신전력, 사용주파수 및 대역폭, 지구국의 수신성능 및 통신로의 특성 및 전파환경 등을 고려하여 채널당 구현되는 비용이 최소가 되는 방식을 설정하여야 한다.

FDMA 방식은 각각의 반송파에 서로 다른 주파수를 할당하여 한개의 위성중계기를 공유하는 방식으로 위성통신서비스가 본격적으로 개시된 1970년부터 널리 사용되고 있는 방식이다. 이 방식은 동일한 위성중계기가 복수개의 반송파를 공통 증폭하기 때문에 고출력증폭기의 진폭 및 위상의 비선형 전달특성으로 인한 혼변조잡음이 발생하여 전송 특성을 열화시키며 이를 방지하기 위해 고출력증폭기의 동작점을 포화점보다 충분히 낮은 지점에 설정하여야 하므로 위성전력을 유효하게 이용하는데 제한이 있다. 이러한 단점을 다소 보완하는 방법으로는 고출력증폭기 전단에 비선형보상기(선형화기: Linearizer)를 두기도 한다. FDMA 방식의 구현방법으로는 SCPC(Single Channel per Carrier), FDM(주파수분할다중방식) 및 TDM(시분할다중방식) 등이 있다.

TDMA 방식은 공통의 반송파를 복수개의 디지털 신호가 시분할하여 위성중계기를 공유 사용하는 방식으로서 임의의 순간에 한개의 디지털 신호가 위성중계기를 점유하게 된다. 이 때문에 FDMA 방식에서 발생하는 혼변조잡음이 발생하지 않으므로 원리적으로

로는 위성중계기 출력을 포화점에서 사용할 수 있으나, 포화전 가까이에서 동작될 경우 부호간 간섭이 발생하므로 입력 동작점을 포화점으로부터 약 2-3 dB 낮게 할 필요가 있다. TDMA 방식의 구현방법으로는 디지털 신호의 속도에 따라 저속 및 고속 TDMA 방식이 있다.

CDMA 방식은 동일 반송주파수의 복수반송파가 위성중계기를 동시에 사용하며 반송파 상호간 식별은 전송정보에 중첩되어 있는 고유의 확산부호에 의한 것이다.

FDMA, TDMA 및 CDMA 방식의 특성 비교를 <표 8>에 나타내었다.

표 8. 다중접속방식의 특성 비교

구 분	FDMA	TDMA	CDMA
Technical Maturity	High	Mid	Mid/Low
Power Flux Density	High	High	Low
Interference Tolerance	Low	Low	High
Fading Tolerance	Mid	Low	High
Doppler Correction Requirement	High	Mid	Low
Power Control Requirement	Mid	Mid	High
Frequency Tuning Step	Small	Mid	Large

3. 이동국 기술

이동위성통신시스템의 최종 이용자가 사용할 이동국의 경우, 사용 장소별로 선박 이동국, 항공 이동국 및 육상이동국으로 구분할 수 있을 것이며 이중에서 많은 보급이 예상되는 이동국은 역시 육상이동국일 것이며 특히 사용자가 휴대 가능한 handheld 이동국이 가장 많이 보급될 것으로 전망된다.

Handheld 이동국은 이용자가 휴대하기에 적절한 크기와 무게를 가져야 할 것이므로, 송신출력은 1W 이하이고, 송수신 안테나는 무지향성 특성을 갖는 whip 안테나가 대부분 사용되어질 것이다. <표 9>는 INMARSAT Project-21 시스템용 handheld phone의 주요 특성을 나타내었다.

차량 이동국의 경우 차량에 탑재할 안테나는 어느 정도의 안테나 이득(약 8 dBi)를 갖고 일정범위의 양각 추적 기능을 갖는 안테나와 고이득(약 12 dBi)를 가지고 일정범위의 방위각 추적이 가능한 안테나(phase array) 등이 사용가능할 것이다.

특히 휴대용 handheld 이동국은 저전력 battery, 고성능 및 저가격을 모두 만족하여야 하기 때문에 소요

표 9. INMARSAT Project-21 시스템용 handheld 이동국의 주요 특성

구분	특성
크기	300 m ³ 이하
무게	~ 300 - 450 g
Battery 수명	대기상태 : 24 시간 (충전 주기) 통화상태 : 최소 1 시간
가격	약 1500 US\$ (위성/지상 cellular 겸용)

되는 H/W의 많은 부분이 ASIC 기술로 개발된 chip set이 사용될 것이다. (그림 8)은 이동국의 전형적인 구성도를 나타내었다.

4. 지상통신망과 접속방안

이동위성통신시스템에서 가장 중요하게 소요되는 기술은 지상 이동통신 시스템과의 통합 구성 기술이다. 기술발전 및 수요 증가에 따른 통합 구성의 발전 단계는 다음과 같이 5단계로 구분할 수 있다.

- 1 단계 : 지리적인 통합

위성시스템과 지상시스템은 서로 독립적이며 서로 다른 기술을 사용하고 반드시 기술적인 양립성을 갖

는 업무를 제공하는 것이 아니며, 지상시스템에 의해 서비스가 제공되지 않는 지역을 이동중인 사용자에게 이동통신 서비스를 제공하는 것임.

- 2 단계 : 업무 통합

통신망 구성은 1 단계와 동일하며, 위성시스템과 라미터들은 위성링크가 지상시스템에 의해 제공되는 서비스와 양립할 수 있는 서비스를 제공할 수 있도록 설계되나 다중접속방식 등 기술적인 방식이 반드시 동일하지는 않을 것임.

- 3 단계 : 통신망 통합

고정 가입자가 call routing(위성 또는 지상)을 선택하지 않고 이동사용자를 호출하거나, 이동사용자가 위성망, 지상망 또는 이중망 단말기를 가지고 있는지를 확인할 수 있으며, 이동가입자에게는 고유 ID 번호를 가짐.

- 4 단계 : 장비 통합

위성시스템에 적용되는 기술(접속제원, 전송속도, 프로토콜 등)이 지상시스템과 거의 유사하거나 동일하며, 3 단계와 구조적으로 동일하다.

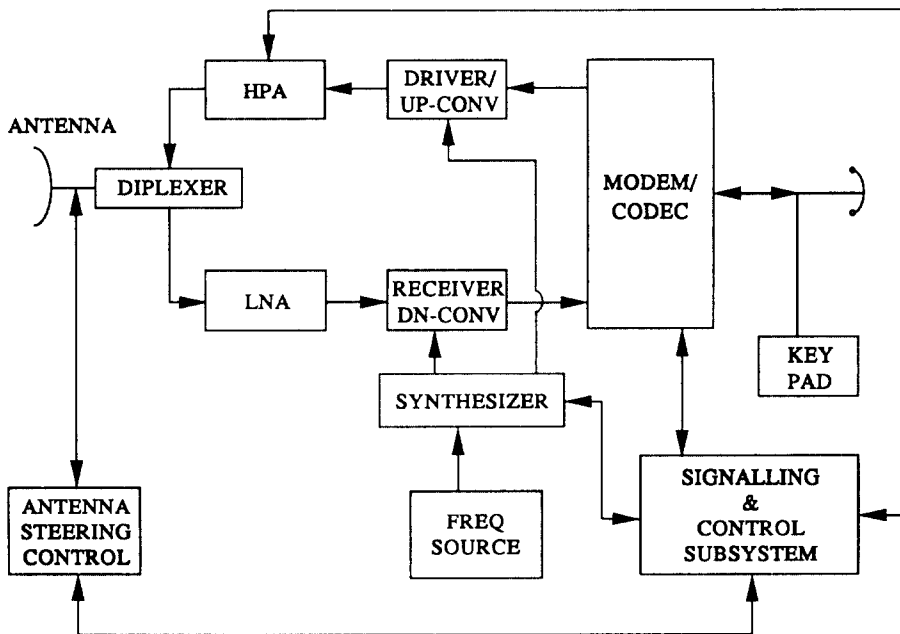


그림 8. 이동국의 전형적인 구성도

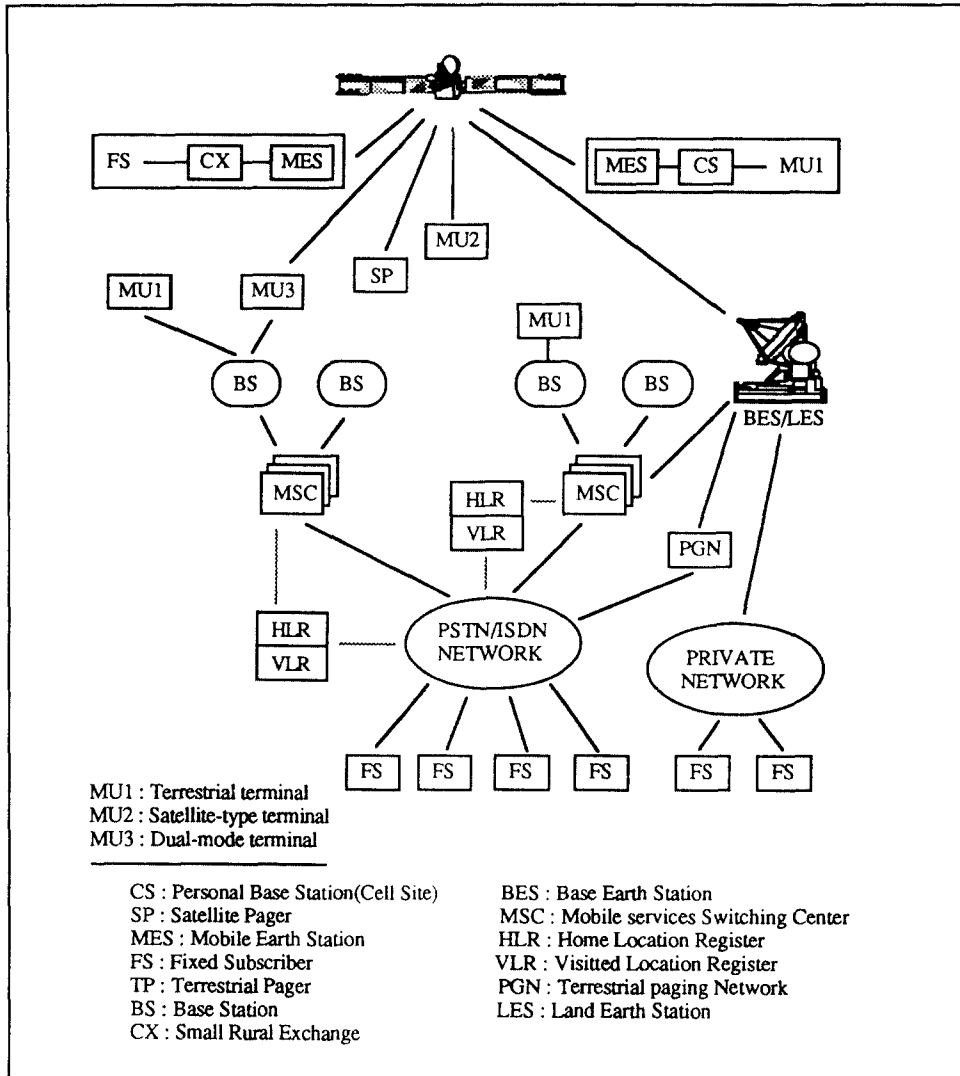


그림 9. 지상 및 이동위성통신 시스템의 통합 구성도(3단계)

- 5 단계 : 시스템 통합
 위성망이 지상시스템과 통합하는 것으로 위성시스템은 cellular 망과 하나의 큰 cell로 간주한다.

이상의 5 단계중에서 향후 우선적으로 실현 가능한 통합 단계는 2 단계 및 3 단계일 것으로 예상되며, 3 단계의 이동위성통신 시스템의 통합 구성도의 예를 (그림 9)에 나타내었다. 그리고 통신기술의 발전에 따라 지상공중통신망, 지상이동통신망 및 이동위성

통신망은 종합적으로 통합되어 전세계적인 개인통신 시대가 2000년대에 도래할 것으로 예측되며, 이들 통신망의 통합 구성을 시대별로 구분하여 (그림 10)에 나타내었다.

V. 결 론

전술한 바와 같이 위성을 이용한 선박, 항공기 및 육상이동체를 대상으로 하는 이동위성통신서비스는

지상이동통신망에 비해 서비스지역의 광역성, 동보성, 난청지대의 축소 등 위성통신 고유의 특징을 갖고 있어 장래 급속한 발전이 기대된다. 특히 시계모를 이용한 이동위성통신시스템의 경우 IRIDIUM, Globalstar 등 수 많은 시스템이 계획 및 설계 단계에 있으며, 1990년대 후반부터 본격적인 서비스가 개시되어 이동중에 있는 사람은 언제, 어디서나 통신하고자 하

는 욕구를 충족시킬 수 있을 것이다. 향후 이러한 개인통신서비스는 궁극적으로 지상공중통신망, 지상이동통신망 및 이동위성통신망이 통합된 전세계적인 통신망에 의해 제공될 것으로 예상된다.

시계모 이동위성통신은 특성상 전세계 어디에서나 위치를 직접 검색할 수 있고 위성망은 전세계를 서비스 대상지역으로 할 수 있기 때문에 우리나라의 하늘

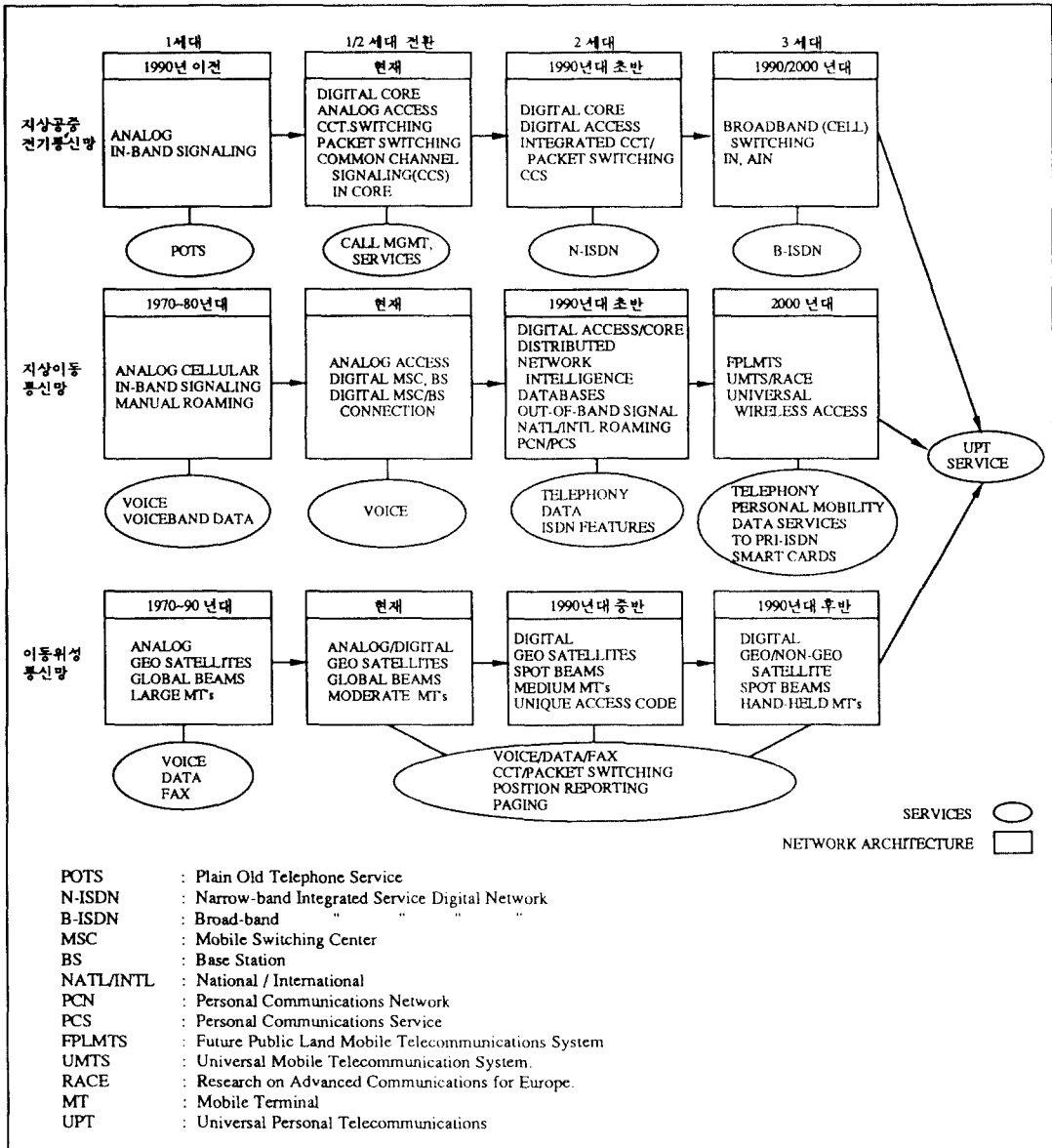


그림 10. 개인통신을 위한 통합통신 구성

위에는 언제든지 사용할 수 있는 전화 또는 메시지 전달 터미널용 콘센트가 떠 있음을 의미한다.

이동위성통신중 저궤도 이동위성통신시스템의 경우 사용할 수 있는 주파수 대역이 충분하지 않고 세계적인 통신망을 구축하는데 용이하다. 따라서 초기에 영역을 확보한 시스템과 망이 지속적으로 우위를 유지하기 쉽기 때문에 우리나라에서도 이 분야에 대한 소요기술 개발에 보다 적극적인 투자가 요구되며, 이를 통하여 전세계적인 이동위성통신사업에 보다 능동적인 참여가 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. "Optimizing Space Constellations for Mobile Satellite Systems," Roussel T., Taisant J.-P., International Mobile Satellite Conference (IMSC) '93, June 16-18, 1993, Pasadena, California, USA.
2. "Interworking Evolving of Mobile Satellite and Terrestrial Networks," R. Matyas, P. Kelleher, P. Moller, T. Jones, International Mobile Satellite Conference (IMSC) '93, June 16-18, 1993, Pasadena, California, USA.

3. "Project 21/INMARSAT-P, Putting Reality into the Handheld Satphone Vision," Jai Singh, The INMARSAT International Conference and Exhibition on Mobile Satellite Communications, 12th-14th, October 1993, Paris, France.
4. "저궤도위성을 이용한 통신시스템의 구성과 Doppler shift의 영향에 관한 고찰," 片山 正昭 외, 電子情報通信學會論文誌(B-II), 1993년 5월
5. "Personal Communications by Satellite," L. S. Golding and L. C. Palmer, International Journal of Satellite Communications, Vol. 10(1992)
6. "차세대 위성통신기술의 조류," 森永 規彦, 電子情報通信學會論文誌(B-II), 1993년 5월
7. "위성탑재용 대형 안테나 경면의 고정도화의 검토," 上羽 正純 외, 電子情報通信論文誌(B-II), 1993년 5월
8. "Mobile Communication via Satellite towards the Year 2000," Yasuo Hirata, '92 UN Workshop on Space Communication for Development, November 24-27, 1992, Seoul, Korea.



김 재 명

- 1951년 12월 17일생
- 1974년 : 한양대학교 전자공학과(학사)
- 1981년 : 미국 남가주대학교 전기공학과(석사)
- 1987년 : 연세대학교 대학원 전자공학과(박사)
- 1974년 2월~1979년 6월 : KIST, KTRI 근무
- 1982년~현재 : 한국전자통신연구소 위성통신시스템연구부 부장
- 주관심분야 : 위성통신시스템, 이동통신시스템



박 세 경

- 1960년 1월 14일생
- 1984년 : 경북대학교 전자공학과(학사)
- 1992년~현재 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사과정)
- 1984년 7월~1985년 8월 : (주) 금성사 근무
- 1985년 9월~현재 : 한국전자통신연구소 위성통신시스템연구부 선임연구원
- 주관심분야 : 위성통신시스템, 이동통신시스템