

위성 RF 부품 연구 동향

염 인 복

한국전자통신연구원
디지털방송연구단
광역무선연구그룹

I. 서 론

1990년대 이후 국내 통신방송위성인 무궁화 1, 2, 3호를 성공적으로 발사하고 운용함으로써 국내의 위성통신 산업은 비약적인 발전을 이루었다. 하지만 위성체의 핵심적인 역할을 하는 중계기 및 핵심 RF 부품에 대한 비행 모델(Flight Model: FM)을 자체 개발하는 단계에는 이르지 못하고 있다. 서구 선진국들은 위성통신의 중요성 및 타 산업에 미치는 영향을 인식하여 오래 전부터 중계기의 핵심 부품 및 중계기 시스템을 활발히 개발하고 있다. 위성중계기용 부품은 10여 년 이상 가혹한 우주환경에서도 정상 동작하여야 하므로 신뢰도가 매우 중요하다. 모든 부품들은 진공 열순환, 우주방사선 및 전기/기계적 충격과 같은 혹독한 우주 환경시험을 거쳐야만 하며 더욱이 그 부품들은 위성 발사시 발생하는 충격과 진동에도 견디어 낼 수 있어야 한다. 회로적으로는 이미 검증이 완료된 기술을 사용한다 하더라도 구현 시 발생할 수 있는 잠재적인 고장을 줄일 수 있는 체계적인 관리 및 통일된 절차에 의한 설계, 제조, 시험, 인증 등이 이루어져야 한다^[1].

국내에서는 1990년부터 통신위성 탑재체용 초고주파 부품을 개발하여 왔으며, 2000년 5월~2003년 4월에는 Ku 대역(12/14 GHz) 및 Ka 대역(20/30 GHz) 기술인증모델(Engineering Qualification Model: EQM) RF 부품을 성공적으로 개발하였다. 이러한 축적된 기술을 바탕으로 2003년 5월부터는 2008년에 발사될 통신해양기상위성에 탑재될 Ka 대역 비행 모델

RF 부품을 개발하고 있다.

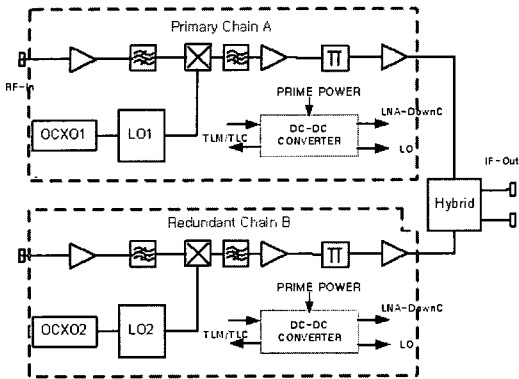
본고에서는 국내에서 개발 중인 위성 탑재체용 RF 부품들을 중심으로, 저잡음 증폭기-주파수 하향 변환기, 국부 발진기, 마이크로파 스위치 매트릭스, 채널 증폭기, 입력 필터 어셈블리, 입력 멀티플렉서, 출력 멀티플렉서 및 고출력 증폭기 등의 핵심 RF 부품들에 대한 기술 동향과 그 특성을 살펴보기로 한다.

II. 저잡음 증폭기-주파수 하향 변환기 (LNA-Downconverter)

LNA-Downconverter는 위성중계기의 가장 앞에 위치하는 부품으로서 중계기의 전체 잡음 지수 특성을 결정한다. LNA-Downconverter의 주요 기능은 위성통신 상향 링크 신호를 입력으로 받아 하향 링크 신호로 저잡음 증폭 변환하는 것이다. LNA-Downconverter는 일반적으로 LNA, Downconverter, 국부 발진기, 그리고 DC-DC Converter 등으로 구성된 하나의 장치로 조립되어 취급된다. [그림 1]은 일반적인 이중화 된 LNA-Downconverter의 구성도를 보이고 있다.

LNA-Downconverter 개발시 고려하여야 할 주요 성능으로는 잡음지수, 이득, 스퓨리어스 출력, 진폭 선형성, 군 지연, 위상 선형성, 그리고 입출력 반사 손실 특성 등이 있다.

1990년 이전의 시기에는 하이브리드 MIC 기술을 이용한 LNA-Downconverter가 개발되었으나, 최근에는 고성능의 MMIC 기술을 이용한 모듈이 위성 중계기용으로 개발되어 사용되고 있다. MMIC 기술을



[그림 1] 이중화 된 LNA-Downconverter의 구성

이용하여 모듈을 개발할 경우 모듈의 소형 경량화가 가능하며, 높아진 MMIC 공정의 신뢰도에 따라서 모듈의 신뢰도 또한 높아지고 있다. 최근에는 LNA 부분을 별도로 개발하는 사례가 발표되고 있으며, 이 경우 Ka 대역 이하에서는 하이브리드 MIC 기술로 LNA를 개발하는 경우가 있으나^[2], 최근에는 LNA 모듈도 MMIC 기술을 이용하여 소형 경량화하면서 고성능을 실현하고 있다. 위성중계기용 부품에 있어 소형 경량화는 위성중계기 발사 비용을 절약할 수 있는 최고의 수단이기 때문에 최근에는 LTCC 기술을 이용하여 중계기용 LNA-Downconverter를 개발한 사례도 발표되었다. 그리고 주파수 체배 방식을 이용하여 밀리미터파 대역에서의 국부 발진기 개발의 어려움을 극복하고자 하는 경우도 있으며, 하나의 예로서 이중화된 Downconverter를 구현하기 위하여 입력단에 MMIC 스위치를 사용하고 국부 발진 주파수 체배기 MMIC 등을 사용하여 동전 크기로 개발한 사례가 미국의 업체로부터 발표되었다^[3].

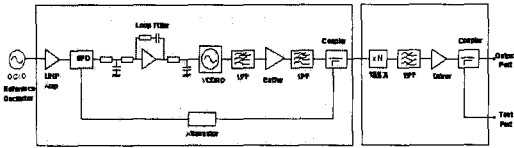
현재 위성중계기용 LNA-Downconverter 모듈에 사용하는 MMIC를 생산하고 있는 업체로는 미국의 NGST사와 프랑스의 UMS사가 있으며, 그 밖에 미국의 MA/COM사 및 TRIQUINT사 등이 경험을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 현재까지의 위성통신 서

비스 중 30 GHz 대역 이하의 주파수를 이용하여 상용의 서비스가 이루어지고 있으며, 30 GHz 이상의 밀리미터파 대역 위성 중계기는 군사용 및 특수 목적용을 사용되고 있다. 최근의 기술로 가능한 Ka 대역 LNA-Downconverter의 잡음 지수는 30 GHz에서 약 2 dB이며, 이득은 50 dB 이상이다^[4]. 위성중계기용 LNA-Downconverter를 개발한 것으로 알려진 국외 업체로는 미국의 Northrop Grumman Space Technology(NGST)사가 있으며, 그 외에 일본의 NEC사, 이탈리아의 ALENIA사, 프랑스의 ASTRIUM사 등이 상용 위성 중계기용 LNA-Downconverter를 개발한 것으로 알려져 있다.

Ⅲ. 국부 발진기(Local Oscillator)

최근의 위성 통신 시스템은 현재 사용하고 있는 주파수 대역의 포화와 광대역 멀티미디어 서비스 제공 등을 위해 보다 높은 주파수 대역에서 동작하도록 설계되고 있으며, 이러한 경향으로 인해 준 밀리미터파 혹은 그 이상의 발진 주파수를 갖는 국부 발진기가 요구되고 있다. 특히 통신위성에 탑재되는 국부 발진기는 위성의 운용 기간(life time) 동안 고장 없이 저 위상 잡음의 안정적인 발진 주파수를 생성하여야 한다. 이러한 고 신뢰성, 고 안정성 그리고 저 위상잡음을 갖는 위성 탑재용 발진기로는 PLL 타입은 잘 사용되지 않으며, 기본 주파수 발생기인 수정 발진기와 다수의 체배기를 이용하는 기본 주파수 체배 방식(multiplier chain oscillator)과 유전체 공진기 발진기와 위상 고정 루프를 이용한 방식(Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator: PLDRO) 등이 주로 사용되어 왔다^[5].

기본 주파수 체배 방식의 발진기는 다수의 체배기와 체배기를 구동하기 위한 증폭기를 체배기 앞단에 배치하여야 하며 또한 불요파 발생을 억제하기 위한 다수의 여파기를 필요로 한다. 이 방식의 발진



[그림 2] PLDRO 방식 발진기의 구성

기는 주파수 안정도와 위상잡음에서 우수한 성능을 나타낸다. 그러나 요구되는 발진 주파수가 높아질수록 제작에 소요되는 체배기, 증폭기, 여파기 등의 개별 부품의 수 또한 증가되므로 발진기의 크기, 무게, 제작 비용 증가와 신뢰도의 저하를 가져올 수 있으므로 주파수가 높아지면 사용하기 곤란하다.

반면, PLDRO 방식의 발진기는 상기 열거한 기본 주파수 체배 방식의 발진기의 단점을 극복할 수 있는 발진 방식으로 현재 여러 위성에 탑재되어 운용 중에 있다. PLDRO는 [그림 2]의 구성도에 나타난 바와 같이 유전체 공진기를 이용한 전압 제어 발진기를 샘플링 위상 비교기(Sampling Phase Detector: SPD) 등을 이용하여 위상 고정하는 방식의 발진기로 우수한 위상 잡음 특성과 주파수 안정도를 갖는다.

그러나 이 또한 20 GHz 이상의 높은 발진 주파수를 요구하는 시스템에서는 샘플링 위상 비교기 등의 성능 문제로 인해 직접 적용하기는 어렵다. 따라서 20 GHz 이상의 발진 주파수를 갖는 위상 고정 발진기는 최종 출력 신호를 주파수 분주기를 통해 분주비 만큼 떨어뜨린 후 그 신호를 위상 비교기 신호와 비교하는 방식이나 20 GHz 이하에서 PLDRO를 구현한 후 주파수 체배기를 통과시켜 원하는 최종 주파수를 만들어 내는 방식 등을 이용한다^[6].

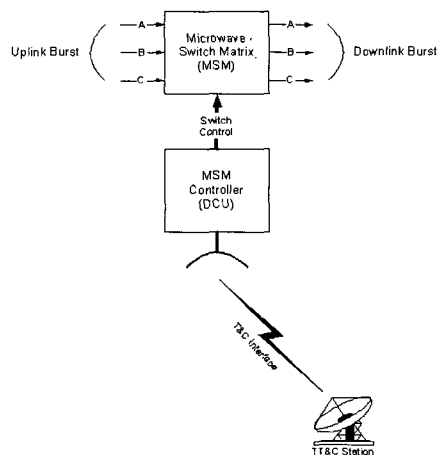
IV. 마이크로파 스위치 매트릭스 (Microwave-Switch-Matrix)

위성의 통신 효율성과 성능을 향상시키고 이와 동시에 위성 용량을 증대시키기 위해서는 위성중계기

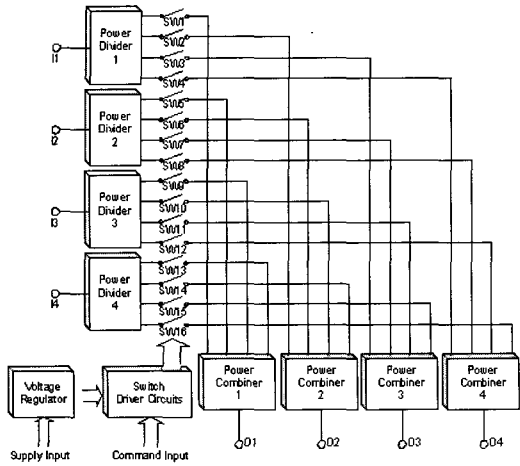
내에 안테나 빔 또는 채널간의 스위칭이 가능하도록 하는 기능을 포함하는 것이 요구된다. 위성중계기의 스위칭 방식은 기저 대역 스위칭 방식과 IF 대역 또는 마이크로파 대역 스위칭 방식이 있다. 기저 대역 스위칭 방식에서는 위성중계기 내에서 신호를 복조 및 재변조하며, IF 또는 마이크로파 스위칭 방식에서는 신호처리 없이 단순 스위칭 기능만 제공한다. 본고에서는 마이크로파 스위칭 방식에 대해서만 언급하기로 한다.

[그림 3]은 마이크로파 스위칭 위성의 구성을 간략히 보여준다. 각 지역의 지구국으로부터 전송된 신호는 위성에 탑재된 마이크로파 스위치 매트릭스(Microwave Switch Matrix: MSM)에 의하여 스위칭되어 전송되어야 할 지역으로 재전송된다. DCU(Digital Control Unit)는 MSM을 제어하는 제어기로 MSM이 스위칭해야 할 스위칭 시퀀스를 메모리에 저장하고 있다가 프레임 주기로 메모리의 내용을 읽어서 MSM으로 전송한다. MSM에서는 DCU로부터 입력되는 제어 신호를 받아서 매트릭스 내의 스위치를 on/off 한다.

MSM에는 크로스바 방식과 전력분배기/결합기 방식이 있다. 크로스바 방식의 경우 커플러의 결합량



[그림 3] MSM 스위칭 방식 위성의 개념도



[그림 4] 전력분배기/결합기 방식의 MSM

에 따라 성능 차이가 많이 나고 조립의 난이도로 인해 낮은 주파수에서 주로 사용되며, 주파수가 높아질 경우 신호 경로간의 진폭 변화가 적은 [그림 4]와 같은 구조의 전력분배기/결합기 방식이 사용된다.

국내에서 개발 중인 MSM은 [그림 4]와 같은 방식이며, 3.4 GHz를 중심으로 100 MHz의 동작 주파수를 가지는 4x4 매트릭스 구조이다. 입력되는 4개의 신호는 각각 4개로 분주 되어 총 16개의 스위치를 거쳐게 된다. 스위치는 드라이버 회로의 바이어스 전압에 의하여 on/off 되는데 이 바이어스 전압은 DCU에서 전달되는 스위치 제어신호에 의하여 제어된다.

MSM의 경로간의 격리도가 높아야 인접 채널간의 간섭이 줄어들며, 스위칭 속도는 빨라야 고속 데이터의 스위칭이 가능하게 되므로 이들 성능 개선을 위한 방향으로 연구 개발이 진행되고 있다. 현재 개발된 제품 중 가장 앞선 성능은 경로간의 격리도는 60 dB 이상이며, 스위칭 속도는 수 ns이다.

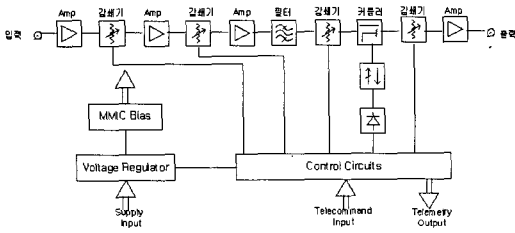
V. 채널 증폭기(Channel Amplifier)

채널 증폭기는 위성 중계기 내에서 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)나 SSPA(Solid State Power Amplifier)를 구동하는 핵심 부품이다.

위성 중계기는 강우 등으로 인한 링크 신호 감쇄시 지상 명령에 의해 이득을 조절하거나, 자동적으로 출력이 원하는 레벨로 유지되도록 해야 하는데, 채널 증폭기가 이러한 역할을 담당한다. 현재 개발되었거나 개발 중인 채널 증폭기들의 이득 조절 범위는 30 dB 이상이고, 전력 레벨 조절 범위는 15 dB 이상이며, Ka 대역과 같이 강우 감쇄가 심한 경우, 자동 레벨 조절 범위가 20 dB 이상으로 늘어나고 있는 추세이다. 이러한 넓은 범위의 이득 및 자동 레벨 조절을 위해서 선형 특성을 갖는 다수의 이득 조절기가 요구된다.

채널 증폭기 또한 다른 부품들과 같은 이유로 MMIC를 사용하여 구현하고 있는 추세이며, 소형으로 제작하기 위하여 증폭기와 감쇄기가 포함된 가변 이득 증폭기(Variable Gain Amplifier: VGA) MMIC를 사용한 채널 증폭기도 개발되었다^[7]. 채널 증폭기의 기본 기능에 추가하여 TWTA나 SSPA의 비선형 진폭과 비선형 위성 특성을 보상하기 위한 선형화기를 장착하여 사용하는 경우도 있는데, 여기에는 여러 가지 기술이 사용될 수 있지만 가장 많이 사용되는 기술은 전치 왜곡 기술로 TWTA나 SSPA의 비선형 특성의 반대되는 신호를 만들어 TWTA나 SSPA의 앞에서 입력시키는 방법이다. 위성의 경우 출력 신호를 왜곡하여 보상하는 기술은 전력 손실 및 신뢰도 저하의 문제로 사용하지 않고 있다.

국내에서는 2003년에 기술 인증용 채널 증폭기를 개발하였으며, 현재는 비행용 Ka 대역 채널 증폭기를 개발하고 있다. 채널 증폭기는 [그림 5]에 나타나 있는 바와 같이 MMIC 증폭기, MMIC 감쇄기, 검출기 및 제어회로로 구성되어 있다. 주요 성능을 살펴보면 이득은 21~53 dB의 범위에서 1 dB 단위로 지상 명령에 의해서 조절이 가능하며, 20 dB의 입력 레벨 변화에도 자동으로 출력이 일정하게 유지되는 한편 출력 레벨 또한 1 dB 단위로 15 dB 이상 조절



[그림 5] Ka 대역 채널 증폭기 구성도

이 가능하다.

VI. 입력 필터 어셈블리(Input Filter Assembly)

위성 증계기는 입력 신호를 약 120 dB 증폭시켜 지구국으로 재전송하기 때문에 수신기가 높은 전력을 갖는 송신 신호에 간섭을 받지 않기 위해서는 수신부와 송신부 사이에 매우 높은 격리도가 필요하며, 위성 증계기의 성능 시험을 위해서 증계기 앞단에서 수신 신호의 크기 및 증계기의 반사 신호 크기를 측정이 요구된다. 이러한 기능을 제공하기 위하여 수신기 앞단에 대역통과 필터와 시험 결합기로 구성된 입력 필터 어셈블리를 사용한다^[8].

입력 필터 어셈블리는 저잡음 증폭기 앞단에 사용되기 때문에 증계기 잡음 지수 성능을 좌우하는 삽입 손실이 최소화 되어야 한다. 또한 시험 결합기는 증계기 성능 시험을 위해 적절한 결합도 및 높은 방향성이 필요하다. 그리고 무게 및 부피가 발사 비용과 직결되어 있기 때문에 소형 및 경량이 가능한 구조로 개발되어야 한다^[9].

증계기 성능 시험을 위한 시험 결합기는 삽입 손실을 줄이기 위해 주로 약 30 dB 근처의 낮은 결합도가 사용된다. 측정의 정확도를 높이기 위해 입사파 전력의 일부가 두 결합 포트 중 한 포트에서만 추출되고 다른 포트에서는 전송되지 않는 방향성 결합기가 이용된다. 도파관 형태의 십자형 방향성 결합기는 우수한 결합 평탄도와 높은 방향성 및 광대역

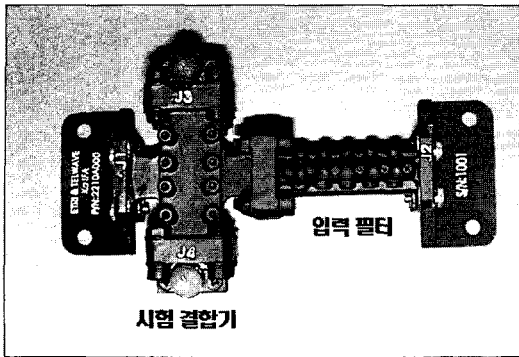
특성을 갖는 한편, 구조가 간단하여 위성 증계기 부품으로 널리 사용되고 있다.

앞에서 언급하였듯이 입력 필터를 설계할 때 고려해야 할 요인들은 삽입 손실 및 송신 대역에서의 격리도 특성이다. 삽입 손실을 줄이기 위해서는 필터의 단수를 줄이는 방법과 높은 품질계수(Q)를 갖는 공진기를 사용하여 구현하는 것이다. 현재에는 삽입 손실을 최소화 하기 위해서 도파관 공진기를 이용하여 필터를 구현한다. 또한 위성통신에서 사용되는 송신 대역과 수신 대역은 충분히 멀리 떨어져 있기 때문에 인접 대역에 전달 영점이 있는 타원형 응답 특성을 갖는 필터보다는 일반적인 체비체브형(Chebyshev type) 응답 특성을 갖는 필터가 주로 이용된다. 송신부의 차단 특성을 높이기 위해서는 필터의 단수를 늘려야 하고, 단수가 늘어나면 삽입 손실이 증가되기 때문에 두 성능은 trade-off가 필요하다. 현재 위성용 입력 필터로는 온도 변화에 따른 성능 변화가 적고, 삽입 손실 특성이 우수한 유도성(inductive) 아이리슬을 이용한 구형 도파관 필터가 주로 사용된다.

과거에는 낮은 주파수 대역을 사용하기 때문에 도파관 필터의 무게를 줄이고자 GFRP(Graphite fiber reinforced plastic) 등을 사용하였다. 그러나 현재에는 주로 Ku 대역 이상의 높은 주파수가 사용되기 때문에 가공이 어려운 GFRP를 이용한 필터보다는 알루미늄 합금을 이용한 필터가 주로 사용된다. 이때 필터 두께는 성능을 보장하면서도 기계적으로 안정될 수 있도록 약 1 mm 정도로 최소화 시킨다. 삽입 손실 성능을 높이기 위해서 내부는 전기적 전도도 특성이 매우 우수한 은 도금을 실시한다.

국내에서는 입력 필터 어셈블리 기술을 1990년대 초부터 개발하여 왔으며, 현재는 국외 선진국과 동등한 기술력을 지녔다. [그림 6]에 국내에서 개발한 기술 인증용 입력 필터 어셈블리를 나타내었다.

개발된 입력 필터 어셈블리의 전기적인 성능 및



[그림 6] Ka 대역 입력 멀티플렉서

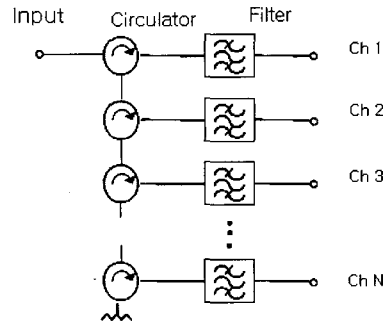
기계적인 성능은 타 위성 부품과 같거나 우수한 특성을 지녔다. 앞으로 새로운 구조에 대한 기술 개발에 주력하기보다는 성숙된 설계 기술을 바탕으로 튜닝이 배제된 필터 개발 등 개발 완성도를 높이는 방향으로 연구가 진행되어야 할 것으로 판단한다.

VII. 입력 멀티플렉서(Input Multiplexer)

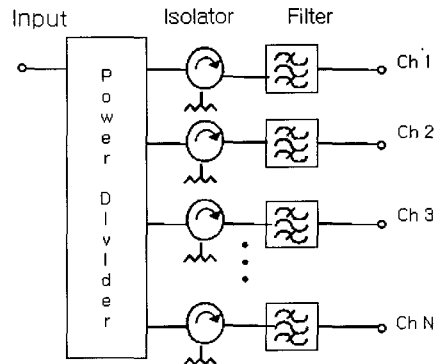
위성을 이용한 통신 시스템에서 한정된 주파수 자원 및 전력 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 여러 개의 주파수 대역으로 분리하는 채널화 및 다중화 기술이 필요하다. 1971년 발사된 인텔샷 4(Intelsat IV)에서 500 MHz 송수신 대역을 12개의 36 MHz 채널 대역으로 채널을 분리하여 사용한 이후 현재 대부분의 위성통신 시스템은 채널을 분리하는 방법을 채택하고 있다^{[10],[11]}.

저잡음 증폭된 수신 신호는 주파수 변환기를 통해 송신 주파수 신호로 변환되고 이를 주파수 선택 특성이 매우 우수한 채널 필터로 이루어진 입력 멀티플렉서를 통해 여러 개의 채널 신호로 분리된다. 입력 멀티플렉서는 저잡음 증폭기 뒷단과 고효율 증폭기 앞단 사이에 사용되는 부품으로 삽입 손실이 수 dB가 되어도 증계기 잡음 지수 및 송신 전력에 영향을 주지 않는다. 그러므로 [그림 7]과 같이 서큘

레이터와 필터를 이용하는 방법 또는 전력 분배기와 필터를 이용하는 방법을 주로 이용한다. 서큘레이터를 이용하는 경우 저 손실의 서큘레이터를 사용하여 삽입 손실을 줄일 수 있으며, 필요할 경우 추가로 채널을 확장하는데 큰 어려움이 없으나 채널 간 삽입 손실 특성이 다르게 되고, 필터의 특성에 따라 채널에 영향을 줄 수 있는 단점이 있다. 반면에 전력 분배기를 사용하는 경우는 서큘레이터를 사용할 때와 장점과 단점이 바뀐 특성을 가지고 있다(예로 8개의 채널을 분리하는 경우 입력 멀티플렉서를 개발하는데 0.2 dB 서큘레이터를 사용하는 경우 삽입 손실이 가장 높은 채널은 1.6 dB가 되나 전력분배기를 사용할 경우 9 dB 이상이 된다.). 현재 위성중계기용 입력 멀티플렉서는 시스템 규격에 따라 두 가지 방법



(a) 서큘레이터



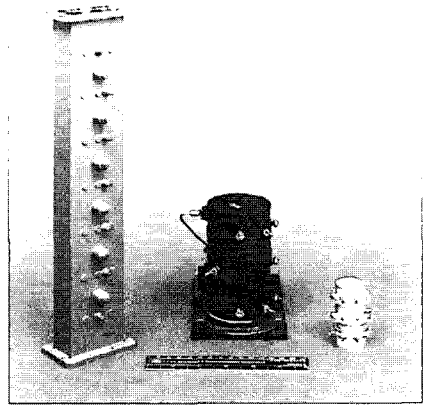
(b) 전력분배기

[그림 7] 입력 멀티플렉서 구성 방법

중 하나 또는 두 가지를 혼용하여 개발하고 있다.

주파수 자원을 최대한으로 사용하기 위해서는 각 채널로 할당된 대역간에 간격(가드 대역, guard band)이 좁을수록 좋기 때문에 입력 멀티플렉서에 사용되는 필터는 우수한 주파수 선택 특성이 요구된다. 위성용 필터의 핵심 개발 기술의 급격한 개발 기술은 “협대역 이중 모드 도파관 필터”가 미국 COMSAT사의 Atia와 William에 의해 개발^[12]된 이후에 이루어졌다. 이 논문에서 하나의 공동에 두 개의 공진기를 들으로써 필터의 부피를 줄이는 한편 인접 대역에 여러 개의 전달 영점을 들 수 있는 주파수 선택 특성이 우수한 필터 구현 기술을 보였으며, 이 기술은 현재도 사용되고 있다. 위성통신 시스템에서 서비스 품질을 높이기 위해서는 채널 대역 내에서 고른 균지연 특성이 요구된다. 그러나 주파수 선택 특성이 우수한 필터인 경우 대역 가장자리에서 급격하게 균지연 특성이 저하되기 때문에 이에 대한 성능 개선이 필요하다. 외부에 균지연 등화기를 두거나, 필터 자체에 균지연 등화 기능을 두어 균지연 성능을 개선하고 있다.

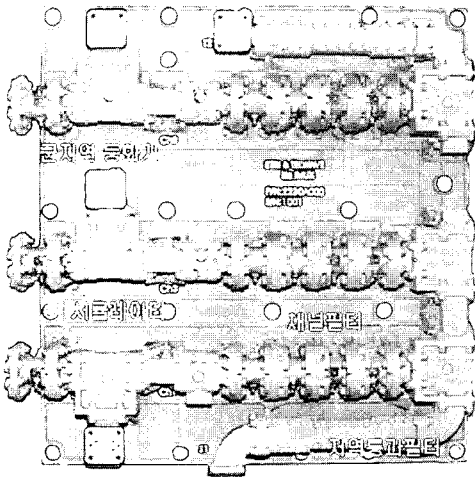
채널 필터의 우수한 삽입 손실 특성을 요구하지는 않지만, 낮은 Q 를 갖는 공진기를 사용할 경우 대역 근처에서 급격하게 성능이 저하되기 되기 때문에 높은 Q 를 갖는 공진기가 사용되어야 한다. 또한 주변 온도 변화에 따라 필터의 주파수 응답 특성 변화가 적도록 온도 변화에 민감하지 않는 공진기를 선택하여야 한다. 높은 Q 및 온도 변화에 민감하지 않은 공진기용으로 적합한 인바(invar)로 제작된 도파관 공동 또는 도체로 둘러싸인 유전체 공진기가 위성용으로 사용되고 있다. 특히 유전체로 이루어진 필터는 도파관을 사용한 필터보다도 부피 및 무게 면에서 매우 우수한 성능을 가지기 때문에 현재 낮은 주파수 대역(주로 Ku 대역 이하)에서는 유전체 공진기를 이용하여 구현하고 있다. 이에 대해 [그림 8]에 공진기에 따른 필터의 크기 비교를 보였다^{[13][14]}.



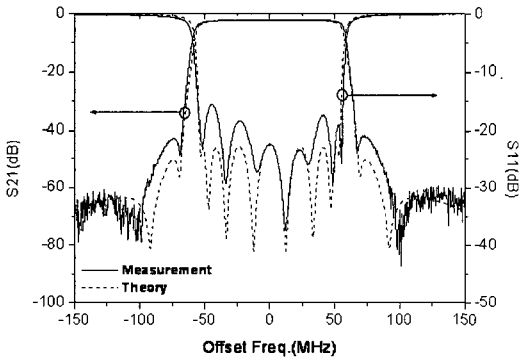
[그림 8] 채널 필터 공진기에 따른 크기 비교(왼쪽부터 단일 모드 구형 도파관 공동 필터, 이중 모드 원형 도파관 공동 필터, 이중 유전체 공진기 필터)

또한 채널 필터 개발에 필요한 기술 중의 하나가 현재 우리가 생활하고 있는 지상의 환경과 우주의 진공 환경의 유전을 차이로 인해 중심 주파수 특성이 바뀐다는 점이다. 도파관 공동을 이용한 필터는 지상의 제작 및 튜닝 환경 조건에서 우주 환경 조건으로 변하게 되면 유전을 변동에 따라 채널 필터의 중심 주파수는 약 0.03 % 증가하게 된다. 그러므로 채널 필터 튜닝 시 이를 고려하여 약 0.03 % 낮은 주파수로 이동을 시켜 튜닝 작업을 한다.

국내에서 2003년도에 국내 기술전에 의해 Ka 대역 통신 방송 위성에 사용하기 위한 우주 기술 인증용 입력 멀티플렉서를 개발하였다. [그림 9]에 보인 개발된 원형 도파관 공동 및 이중 모드를 이용한 필터로 구성된 입력 멀티플렉서는 우주 및 발사 환경에 견딜 수 있도록 설계되었고, 성능 시험을 통해 검증을 하였다. [그림 10]에 성능 검증용으로 개발된 채널 필터의 설계치와 결과치를 보였으며, 두 결과가 매우 유사함을 확인할 수 있다. 확보된 기술을 기반으로 비행 모델 부품 개발을 위해 계속 추진하고



[그림 9] Ka 대역 입력 멀티플렉서



[그림 10] Ka 대역 채널 필터 설계 및 시험 결과

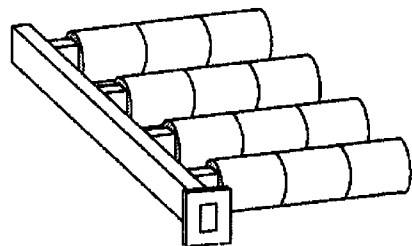
있으며, 2008년 발사를 목표로 한 통신 해양 기상 위성 탑재용 부품을 개발하고 있다.

현재 Ku 대역 이하 주파수 대역에서 위성 기술 선진국(미국, 캐나다, 독일, 프랑스 등)에서 개발하여 상용화를 이룬 유전체 공진기를 이용한 필터 구현 기술에 대해서는 국내 기술 확보에 노력을 기울여야 한다. 특히 유전체를 이용한 이중 모드 필터에 대해 미국의 Loral 회사에서 특허권을 소유하고 있기 때문에, 이 부분을 제외한 분야에서 지적 재산권 확보에 총력을 기울여야 한다^[15].

VIII. 출력 멀티플렉서(Output Multiplexer)

위성 중계기의 고출력 증폭기를 통해서 증폭된 각 채널 신호는 신호간의 간섭과 손실이 최대한 억제된 상태에서 출력 멀티플렉서를 통해 합쳐지고, 위성 안테나를 통해 지상으로 송출된다. 위성 중계기의 제한된 DC 전력 내에서 최적의 효율을 갖기 위해서는 출력 멀티플렉서가 낮은 삽입 손실 특성을 가져야 하며, 발사 비용의 절감을 위해서 무게와 부피의 최소화가 필수적이다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 출력 멀티플렉서에서는 입력 멀티플렉서에서 사용한 서클레이터 또는 전력 분배기 방법과는 달리 매니폴드(manifold)를 사용한다. [그림 11]과 같이 채널 필터를 도파관으로 된 매니폴드에 연결하여 직접 필터간에 최적 정합을 시킴으로써 삽입 손실을 최소화 시키고 부피를 줄일 수 있다. 또한 입력 채널 필터에서 인접 채널 대역에서 높은 차단 특성으로 인해 8차 이상의 필터로 구현되지만, 출력 멀티플렉서에서 사용되는 채널 필터는 삽입 손실을 줄이기 위해 최대 6차까지 사용하고 있다.

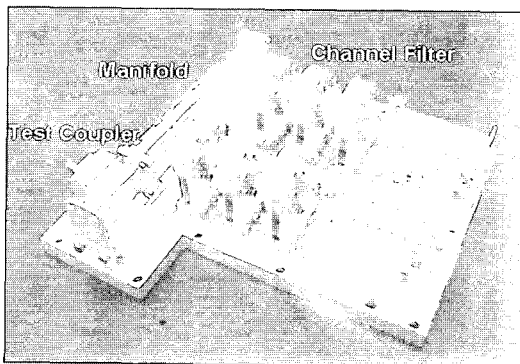
각 채널 필터의 성능을 최적화하는 입력 멀티플렉서의 설계와는 달리 출력 멀티플렉서는 매니폴드와 채널 필터를 동시에 최적화 해야 한다. 매니폴드 멀티플렉서는 매우 복잡한 구조이며, 예를 들어 6차 타원함수 필터로 구성된 10개 채널 멀티플렉서는 최소 120 주파수 포인트에서 약 170개의 등가회로 파



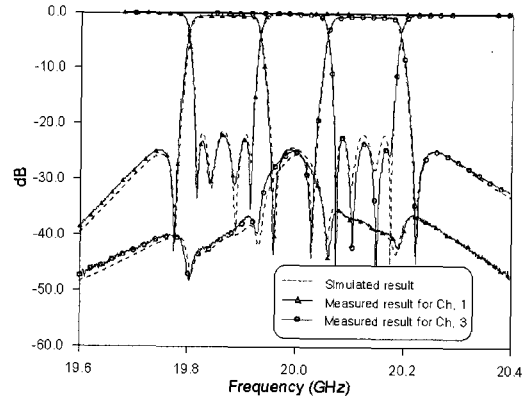
[그림 11] 매니폴드 방식의 출력 멀티플렉서

라미터를 최적화 해야 한다. 최적화 설계시 동작 주파수 대역에서 사용하는 전력보다도 더 높은 전력에서도 문제가 없도록 설계되어야 한다. 정확한 설계를 하기 위하여 유한요소법(finite element method), 모드 매칭 방법(mode matching method) 등 전자계 해석 방법을 이용하여 최적화를 수행하는데, 채널수가 증가수록 최적화에 어려움이 많고, 완벽한 설계가 불가능하기 때문에 등가회로를 혼용하여 사용하고 있다^[16]. 위성 탑재용 출력 멀티플렉서 또한 발사 비용 절감을 위해서 소형화 및 경량화를 위해 많은 기술 개발을 시도하고 있다. 이러한 기술 개발의 일환으로 유전체를 이용한 소형화 필터 또는 초전도체를 이용한 소형 및 저 손실 필터를 개발하고 있다. 그러나 유전체 공진기를 사용하는 경우 최대 허용 전력이 낮아지고, 초전도체 출력 멀티플렉서는 구동시키기 위해서 필요한 냉각기 등으로 중량과 부피가 더 커지게 되는 단점이 있다. 따라서 아직까지는 위성 탑재용으로 상용화된 유전체 공진기 또는 초전도체를 이용한 출력 멀티플렉서가 발표되지 않고 있다.

국내에서는 2003년도부터 확보된 입력 멀티플렉서 개발 기술을 이용하여 통신해양기상 위성 탑재용 Ka 대역 출력 멀티플렉서를 개발하고 있다^[17]. 2004년에 성능 검증용으로 [그림 12]와 같은 2 채널을 갖



[그림 12] Ka 대역 출력 멀티플렉서



[그림 13] 출력 멀티플렉서 설계 및 시험 결과

는 출력 멀티플렉서를 개발하였다. [그림 13]에 설계 결과와 측정된 성능 결과를 보였으며, 두 결과가 매우 유사함을 볼 수 있다.

앞으로 위성 부품 개발 절차에 따라 인증 모델 그리고 비행 모델 출력 멀티플렉서가 개발될 예정이다. 또한 미래 기술을 주도할 소형 및 경량 필터에 대해 연구가 유럽 우주기관을 중심으로 이루어지고 있으며, 국내에서도 이에 대한 연구가 수행될 예정이다.

IX. 고전력 증폭기(HPA) 기술

위성 중계기의 전력 증폭기는 위성체의 태양 전지판으로부터 공급되는 제한된 DC 전력으로부터 높은 출력 효율을 얻기 위해 포화 영역에 가까운 영역에서 동작된다. 이러한 동작 조건으로 인해 통신 신호는 상호 변조, AM-to-AM 변환, AM-to-PM 변환 등의 비선형 왜곡을 겪게 되며 이는 통신 용량의 저하를 초래하게 된다. 따라서 통신 품질을 고려하여 출력 전력에 대한 trade-off가 요구된다.

위성중계기에서 사용되는 전력 증폭기로는 진행파관 증폭기(Traveling Wave Tube Amplifier: TWTA)와 SSPA(Solid State Power Amplifier)가 있다. 위성에 탑재할 수 있는 우주 인증된 TWTA를 생산하는 주

업체로는 현재 유럽의 Thales사와 미국의 Hughes EDD사가 있다. 일본의 NEC나 도시바에서도 우주용 TWTA를 생산하나 시장에서 차지하는 비중은 작다. TWTA의 기술 개발 추세는 효율, 동작 주파수, 출력 전력, 그리고 무게 등의 측면에서의 성능 개선을 목표로 이루어지고 있다.

우주용 TWTA는 일반적으로 15년 이상의 수명을 보장하고 있다. 동작 주파수는 기존에 많이 사용되던 S 대역과 Ku 대역에서부터 60 GHz 이상의 주파수 대역까지이며 60 % 이상의 효율을 가지고 있다. 출력 전력은 250 W 이상의 전력을 낼 수 있으며 무게는 EPC를 포함하여 2 kg 이하로 제작되고 있다. SSPA는 비선형 특성, 무게, 수명 등의 특성에서 TWTA보다 우수한 특성을 나타내며 현재 일본의 MELCO사와 NEC사에서 제작한 SSPA가 다수의 C 대역이나 S 대역 위성중계기에서 이용되고 있다. 특히 고전력 MMIC 기술을 이용하여 소형 경량화 함으로써 기존의 우수한 RF 성능과 함께 더욱 더 위성 탑재용으로 경쟁력을 가지게 되었다. 그러나 높은 주파수 대역에서 TWTA에 비해 낮은 출력 전력(50 W 이하)과 효율(40 % 이하)은 극복해야 할 과제로 남아 있다.

X. 결 론

본고에서는 위성 중계기용 핵심 RF 부품들에 대한 특성과 기술 동향을 살펴보았다. 위성용 부품이 지상용 부품과 크게 다른 점은 수명기간 동안 열, 진공, 진동 및 우주 방사능과 같은 가혹한 환경에서 고장 없이 안정적으로 동작하면서도 우수한 성능을 보여야 한다는 점이다. 위성용 부품은 이러한 제반 환경 조건 및 성능 조건을 고려하여 설계 및 해석 후 제작되어야 하며, 각종 환경시험을 통한 인증 단계를 거쳐야 위성에 탑재될 수 있는 관계로 소수의 기술 선진국에서만 위성용 부품을 개발하고 있는 실정

이다. 위성 중계기용 RF 부품 개발은 위성 산업뿐만 아니라 초고주파 관련 산업 전반에 파급 효과가 큰 고 부가가치 산업이므로 세계 시장에서 경쟁력을 확보하기 위해 보다 적극적인 정부, 학계 및 기업의 참여가 요구된다. 또한 향후 위성은 점차로 위성스위칭 시스템을 채택하는 추세이므로 국내에서도 이에 대한 연구가 본격적으로 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 최영수, 오경봉, "국내 초고주파 통신위성용 페이로드 부품 개발 현황", 전자공학회지, 25(1), 1998년 1월.
- [2] James J. Sowers, Michael Willis, Thanh Tieu, William Findley, and Kevin Hubbard, "A space-qualified, hermetically-sealed, Ka-band LNA with 2.0 dB noise figure", *2001 IEEE GaAs IC Symposium, 23rd Annual Technical Digest*, pp. 156-161, Oct. 2001.
- [3] Fred C. Tramm, "Compact frequency converters for a Ka-band telecommunications satellite payload", *AIAA 20th Conference on Satellite Systems*, pp. 12-16, May 2002.
- [4] D. P. Chang, et al., "Development of a receiver downconverter module for Ka-band satellite payload", *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, vol. 3, pp. 1589-1592, Jun. 2003.
- [5] Ben Hitch, Tom Holden, "Phase locked DRO/CRD for space use", *Proceeding of the 1997 IEEE International Frequency Control Symposium*, pp. 1015-1023, 1997.
- [6] J. Perez, P. Dorta, and F. Sierra, "A comparison of the performance of three different phase locked oscillators fabricated at 21 GHz", *1992 IEEE MTT-S Digest*, pp. 305-308, 1992.

- [7] M. C. Comparini, M. Seghettini, and A. Suriani, "Miniaturized channel amplifier for Ku band satellite repeaters", *Microwave Conference and Exhibition, 27th European*, vol. 2, pp. 1198-1206, 1997.
- [8] J. Uher, J. Bornemann, and U. Rosenberg, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems: Theory and CAD*, Norwood, MA, Artech House, 1993.
- [9] Y. Lim, M. S. Uhm, and J. Park, "The development of a Ka band input filter assembly for a satellite transponder", *Key Engineering Materials*, vol. 277-279, pp. 789-794, Jan. 2005.
- [10] I. C. Hunter, L. Billonet, B. Jarry, and P. Guillon, "Microwave filters-applications and technology", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 50, no. 3, pp. 794-805, Mar. 2002.
- [11] 엄만석, 이주섭, 염인복, 이성팔, "마이크로파 필터의 전달 함수 및 결합 구조 고찰", *전자통신동향분석*, 18(2), pp. 67-78, 2003년 4월.
- [12] A. Atia, A. William, "New types of waveguide bandpass filters for satellite transponder", *COMSAT Technical Review*, vol. 1, no. 1, pp. 21-43, 1971.
- [13] M. Kunes, "Microwave multiplexer for space applications", *Electronics & Communication Engineering Journal*, vol. 10, no. 1, pp. 29-35, Feb. 1998.
- [14] S. Fiedziuszko, S. Holme, "Dielectric resonators raise your high-Q", *IEEE Microwave Magazine*, pp. 51-60, Sep. 2001.
- [15] J. Fiedziuszko, "General response dual-mode, dielectric resonator loaded cavity filter", US Patent, 6297715, Oct. 2001.
- [16] M. S. Uhm, J. Lee, J. H. Park, and J. P. Kim, "An efficient optimization design of a manifold multiplexer using an accurate equivalent circuit model of coupling irises of channel filters", *IEEE MIT-S Int. Microwave Symp.*, Long Beach, CA, WEPI-4, 2005.
- [17] M. S. Uhm, J. Lee, S. H. Yun, Y. S. Noh, and J. H. Park, "A study on the engineering verification of RF passive equipment for communication, ocean and meteorological satellite(COMS)", *Jc-SAT 2004*, vol. 1, 2004.

≡ 필자소개 ≡

염 인 복



1990년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

2004년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)

1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 위성중계기, RF 부품, MM-

IC