

통신방송위성 Flexible 탑재체용 안테나 및 RF 기술

Antenna and RF Technologies for Flexible Payload of Communications and Broadcasting Satellites

곽창수 (C.S. Kwak)	위성무선 RF 기술연구실 책임연구원
윤소현 (S.H. Yun)	위성무선 RF 기술연구실 책임연구원
문성모 (S.-M. Moon)	위성무선 RF 기술연구실 선임연구원
엄만석 (M.S. Uhm)	위성무선 RF 기술연구실 책임연구원
염인복 (I.B. Yom)	위성무선 RF 기술연구실 책임연구원
안재영 (J.Y. Ahn)	위성항공 ICT 연구부 책임연구원

최근 위성통신방송 시장의 요구에 따라 위성 시스템 비용 절감에 적합한 비용 대비 효율성이 매우 높은 flexible 위성 탑재체에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이에 본 고에서는 차기 flexible 위성통신·방송 탑재체의 주요 핵심 기술인 재구성 빔 안테나용 flexible 안테나 및 빔 형성 모듈 기술, 유연한 주파수 스펙트럼 제공용 가변 국부 발진기 및 가변 필터 기술에 대해 살펴보기로 한다.

2016
Electronics and
Telecommunications
Trends

방송·전파·위성 & 스마트 미디어
기술 특집

- I. 서론
- II. Flexible 탑재체용 안테나
- III. 빔형성 모듈
- IV. 가변 국부발진기
- V. 가변필터
- VI. 결론

I. 서론

지난 20년 동안 위성통신 및 방송 탑재체는 전형적으로 고정된 넓은 커버리지 내에서 고정된 주파수로 통신 및 방송서비스를 제공하였다. 그러나 최근 위성통신방송 시장은 위성 시스템 비용 절감을 위해서 꾸준히 통신 용량 증대 및 탑재체 유연성(flexibility)을 요구하고 있다[1]. 상업적 또는 정치적 환경변화에 따른 위성시장의 요구 변화가 위성 탑재체의 설계 및 실제 수명 주기보다 짧기 때문에 위성 발사 후 통신방송 탑재체 운용 기간에도 시장 환경에 적응되도록 위성의 기능이 바뀔 수 있어야 하기 때문이다. 이를 위해서 주파수 및 DC 전력 등과 같은 한정된 위성 자원 내에서 서비스 커버리지 및 주파수 스펙트럼 등이 변동될 수 있는 flexible 탑재체 기술들이 필요하다.

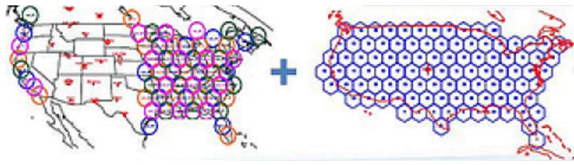
넓은 서비스 커버리지에 위성통신 및 방송서비스를 제공하는 유럽을 주도로 flexible 탑재체에 대한 기술 발전이 주로 이루어졌다. 2010년 발사된 Hylas-1 위성은 광역 서비스 커버리지에 주파수를 유연하게 가변할 수 있으며 현재까지도 성공적으로 통신 서비스를 제공하고 있다. 이를 바탕으로 유럽에서는 European Space Agency(ESA)를 중심으로 넓은 서비스 지역에 flexibility를 극대화한 Quantum 위성을 2018년 발사 목표로 개발되고 있다. 완전한 Software Defined Radio(SDR)기반의 위성 탑재체 개발을 위해 한 단계 진전된 Quantum 위성은 빔 커버리지 유연성, 유연한 출력 전력 할당 그리고 유연한 주파수 스펙트럼 관리 기능을 제공할 수 있다[2]. 또한, 미국의 휴대이동 위성통신 등에서는 S 대역에서 이미 이러한 시스템을 적용하여 서비스를 제공하고 있다.

유연한 위성 탑재체는 시장 환경에 맞도록 빔 커버리지 유연성, 주파수 계획 유연성, 채널 빔 연결 유연성 및 RF 출력 재할당 기능을 제공한다[3]. 대용량 위성통신 시스템은 넓은 서비스 커버리지 내에서 수많은 스폿

(spot) 빔들을 생성하여 통신 용량을 증대하기 때문에 발사 후에도 시장 환경 필요에 따라 서비스 커버리지 변동과 스폿 빔의 주파수 및 출력 전력 변동이 필요하다. 이를 위해 운용 중에서 지상 원격 명령에 의해 위성 안테나 빔이 재구성될 수 있는 배열 급전 반사판 안테나 및 빔 형성 기술 등이 사용된다. 또한, 빔 간 주파수 사용을 극대화하기 위해 부채널(sub-channel) 간 스위치가 가능한 디지털 채널화기가 이용되기도 한다. 채널의 주파수를 가변하기 위해서 가변 국부 발진기 및 가변 채널 필터가 적용되어야 한다. 위성 태양전지로부터 생성되는 한정된 DC 전력 범위에서 특정한 채널의 전력을 높일 수 있는 경우, 특정 지역의 강우에 따른 신호 감쇠 보상 및 통신 용량 증대가 가능해진다. 이를 위해 최대 출력 범위 내에 고효율을 유지하는 다중 포트 출력 증폭기 및 유연한 고출력 증폭기 등이 사용된다. 본고에서는 차기 flexible 위성통신·방송 탑재체의 주요 핵심기술인 재구성 빔 안테나용 flexible 안테나 및 빔 형성 모듈 기술, 유연한 주파수 스펙트럼 제공을 위한 가변 국부 발진기 및 가변필터 기술에 대해 살펴보기로 한다.

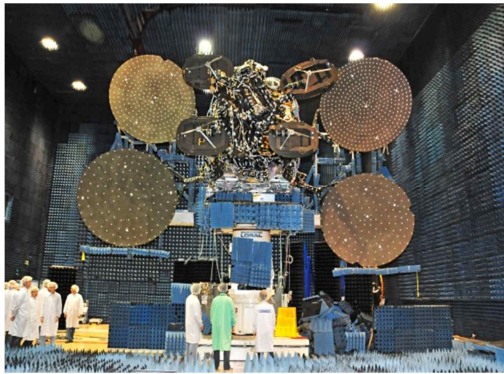
II. Flexible 탑재체용 안테나

Flexible 탑재체용 안테나는 지상의 요구에 따라 서비스 커버리지를 유연하게 변경할 수 있다. 또한, 특정 지역의 통신량이 급증하거나 강우 등에 의해 요구 전력이 증가할 때, 서비스 지역별로 전력을 달리하여 지상의 사용자 요구를 만족시킬 수 있다. 이를 위한 안테나는 다중 빔 및 성형 빔의 유연한 구현이 필수적이다[4]. 2007년 발사된 미국의 Spaceway3 위성은 온 보드 디지털 처리기와 패킷 스위칭을 통해 100개 이상의 다중 빔을 북미 지역에 형성하고 빔 형성 모듈을 통해 24개의 재구성 호핑(hopping)빔을 구현하였다. Spaceway3의 다중 빔 재구성 안테나를 사용하여 10Gbps 용량의 HughesNet 서비스가 시작되었다[5]. 2012년에는



(그림 1) Spaceway3과 Echostar17 빔 커버리지

〈출처〉: Sam Churchill/dailywireless.org, “Hughes/Echostar: Broadband Satellite Prepared for Launch,” May 15th, 2012.

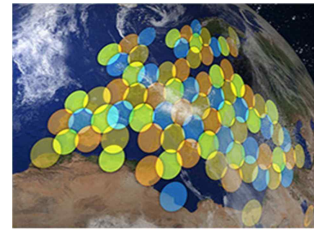


(그림 2) Compact Range에 설치된 ViaSat1 안테나[8]

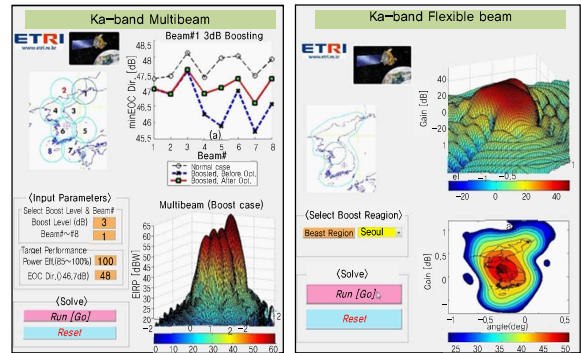
Echostar17(Jupiter1) 위성을 발사하여 0.5도의 작은 다중 빔(60개)을 구현하였다. Echostar17과 Spaceway3는 (그림 1)과 같이 커버리지를 통합하여 100Gbps 용량의 HughesNet 광대역 인터넷 서비스를 확장 제공하고 있다 [6]. 현재 제공 서비스보다 50% 향상된 성능을 갖는 Echostar19 (Jupiter2)와 Spaceway6가 2016년에 발사될 계획이다[7].

ViaSat1 위성은 72개 다중 빔을 활용하여 100Gbps 용량의 Xplornet(캐나다) 광대역 서비스를 제공하고 있다[8]. (그림 2)는 compact 안테나 시험장에 설치된 ViaSat1 안테나이다. 2016년 발사 계획을 갖고 있는 ViaSat2는 92개 다중 빔, 전송 용량 350Gbps, 대역폭 효율이 2배 개선된 성능을 예상한다[9].

유럽에서는 2010년 유럽, 북아프리카, 중동 일부 지역에 90Gbps 성능[10]의 ToowayTM 서비스 제공하기 위한 KA-SAT 위성을 발사하였다[11]. 82개의 다중 빔 커버리지는 (그림 3)과 같고, 대부분 빔 커버리지의 직



(그림 3) KA-SAT 서비스 빔 커버리지[12][13]



(그림 4) ETRI 다중 빔 및 재구성 빔 설계 결과

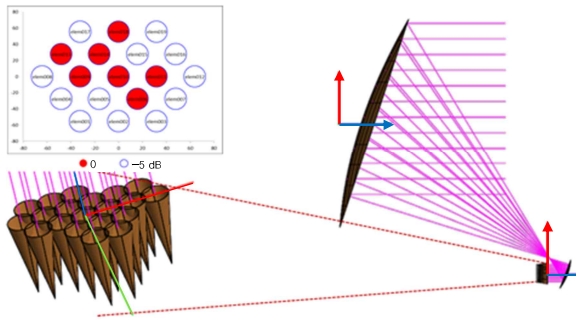
경은 250km이다. 각 빔에 할당된 주파수와 편파는 4-color 주파수를 재사용하고 있다[13]. KA-SAT 위성은 4개의 안테나를 통해 서비스를 제공하고 있으며 각 안테나는 양방향 통신을 위해 송수신 공용으로 사용되었다.

Inmarsat5는 Global XpressTM 서비스 제공을 위한 위성 3기를 발사하였다[14]. 송신 안테나 2개, 수신 안테나 2개에 의해 형성된 89개의 다중 빔은 50Mbps의 이동 위성통신 서비스를 제공하고, 추가 용량 요구 시, 6개의 steerable 빔이 사용된다[15].

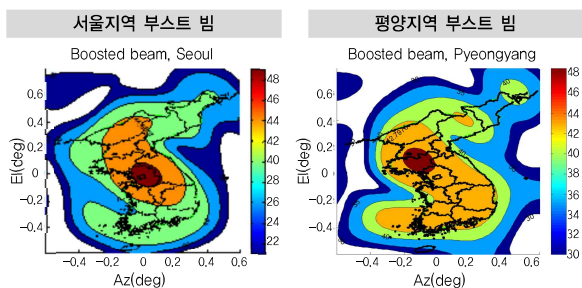
유럽 지역을 위한 Hylas1 위성은 0.6의 8개 다중 빔을 구현하기 위해 1.6m×1.35m 전개형 안테나를 사용하였다[16]. 아랍지역은 YahSat 위성[17]을 통해 Ka 대역 60개의 다중 빔을 이용한 서비스를 제공하고 있다.

ETRI는 (그림 4)와 같이 한반도 지역 서비스를 위한 다중 빔 및 성형 재구성 빔에 대한 연구를 수행하고 있다.

다중 빔 및 성형 재구성 빔은 빔 당 하나의 소자로 구



(그림 5) 한반도 지역을 위한 IRA 안테나 형상



(그림 6) ETRI의 IRA 안테나에 의한 재구성 빔 성능

현되는 Single Feed per Beam(SFPB) 안테나와 다수의 배열 소자로 하나의 빔을 형성하는 Multiple Feeds per Beam(MFPB) 안테나에 의해 각각 구현된다[18]. Hylas1 안테나와 ETRI의 다중 빔 안테나가 SFPB에 해당된다. 다양한 시나리오 구성과 주파수 재사용 효율 측면에서 MFPB 안테나가 유리하다. 기술동향 사례의 대부분 시스템과 ETRI 재구성 빔 안테나가 해당된다. SFPB와 MFPB 시스템은 반사판 사용 여부에 따라 직접방사배열(Direct Radiating Array: DRA) 안테나와 배열급전 반사판 안테나로 구분된다. DRA 안테나는 많은 능동소자를 요구하기 때문에 복잡도와 비용이 증가한다. 배열급전 반사판 안테나는 전파장애를 최소화하기 위해 옹셋 형태가 주로 사용되었지만 소자의 개수가 증가하면 초점이 길어져 안테나의 부피가 증가하게 된다. 최근에는, 능동소자의 개수와 안테나의 부피를 줄이는 영상 반사판 안테나(Imaging Reflector Antenna: IRA)가 다중 빔 안테나에 응용되고 있다[19][20].

한반도 특정 지역에 강우가 집중되거나 통화량이 급

증하면 지역별로 부스트(boost)빔이 요구된다. 이를 위한 재구성 빔용 IRA 안테나는 (그림 5)와 같이 2.85 m 반사판과 19개 배열소자로 구성된다. 각 배열 소자는 광대역 특성의 혼과 편파기 등으로 구성된다. 재구성 빔을 얻기 위한 소자의 신호 크기와 위상은 빔 형성모듈에서 제어된다. ETRI 재구성빔은 (그림 6)과 같이 지역별로 부스트 빔을 형성할 수 있다.

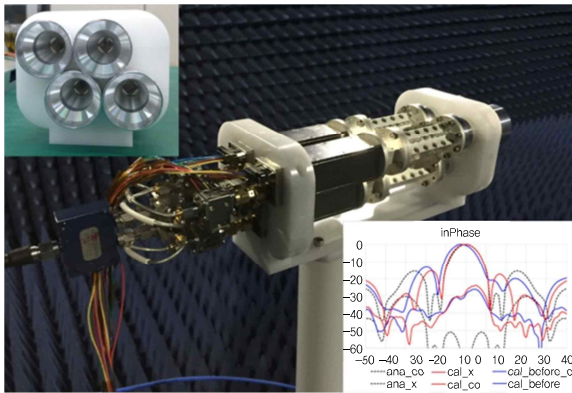
III. 빔형성 모듈

본고의 II장에서 살펴 보았듯이 MFPB 방식에 따라 여러 인접 급전 혼의 개별 빔 간 중첩을 통해 원하는 안테나 빔을 만들 수 있다. 여러 급전 혼들에 의한 개별 빔들이 각각 필요한 위상과 크기로 중첩이 이루어져야 하기 때문에 각 개별 경로의 위상과 진폭을 제어할 수 있는 빔형성 모듈이 필요하다. 이때 안테나에 바로 연결되는 빔 형성회로의 삽입 손실 특성은 시스템의 성능에 직접적인 영향을 주기 때문에 저 손실 특성을 지닌 도파관 형태가 주로 사용된다. 빔 형성 모듈에는 각 경로 신호의 위상과 크기를 제어할 수 있는 위상천이기 및 감쇠기 기능이 포함되고, 각 경로 신호에 대한 전력 분배 또는 합성하는 전력분배기가 이용된다. 또한, 초기 또는 운용 중 수 많은 신호 경로에 대한 위상 및 진폭 보정이 요구되기 때문에 보정을 위한 회로 및 최적화 알고리즘이 이용된다[20][21].

위상 천이기 및 감쇠기는 디지털 제어를 통해 구현 가능한 다기능칩(multi-function chip)이 있으며, 다른 한 가지 방법은 위상천이기와 감쇠기를 아날로그 제어를 통해 구현하는 방법이 있다. ETRI는 위상 및 진폭을 제어할 수 있는 빔형성 모듈에 적합한 회로들을 개발하였다. 빔형성 모듈은 100도 위상천이기 2개, 0/180도 위상천이기 1개, 8dB 감쇠기, 그리고 구동 증폭기로 구성되었고, 입력은 K-커넥터, 출력은 도파관 형태로 구현하여 편파기 및 안테나에 연결이 용이하게 하였다(그림



(그림 7) ETRI에서 제작한 K-대역 빔형성 모듈

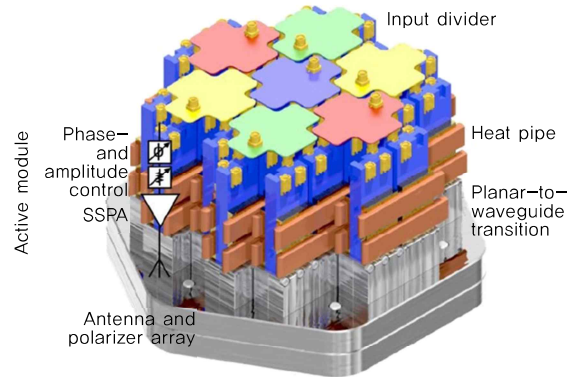


(그림 8) ETRI에서 제작한 K-대역 2×2 MFPB

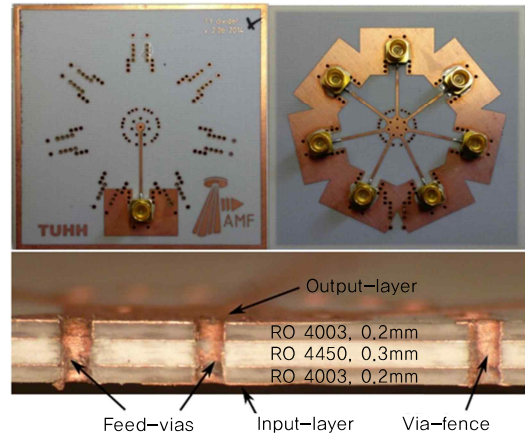
7) 참조]. 또한, 제어 신호 및 전원 공급을 위한 보드는 기구 밑면에 구성하였고, 연결부는 micro D-sub 커넥터를 사용하였다. 제작한 빔형성 모듈은 0.2도 및 0.05dB의 분해능으로 총 380도의 위상천이와 8dB의 감쇠범위를 갖는다. 또한, 동작 영역에서 이득 3dB 및 입/출력 반사손실은 15dB 이상이다.

(그림 8)은 빔형성 모듈, 편파기, 안테나, 그리고 전력 분배기를 제작하여 측정한 2×2 MFPB 안테나이다. 측정 결과 21.5GHz에서 시뮬레이션과 유사한 패턴 결과를 확인하였다.

ETRI는 2×2 MFPB 안테나를 확장한 4×4 MFPB 안테나를 개발 중이다. K-대역 1:16 분배기는 4×4 MFPB 안테나로 확장하기 위한 핵심 부품 중 하나이며, 이는 적층형 PCB 및 LTCC 공정을 적용하여 개발 예정



(a) 안테나 모듈



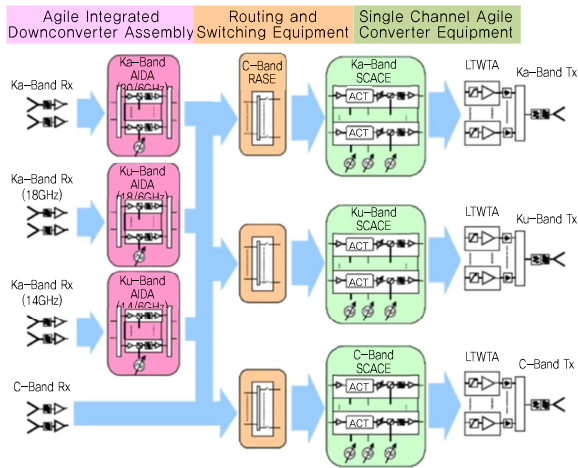
(b) K-대역 전력분배기

(그림 9) 독일 IAF가 개발한 MFPB 안테나[21][22]

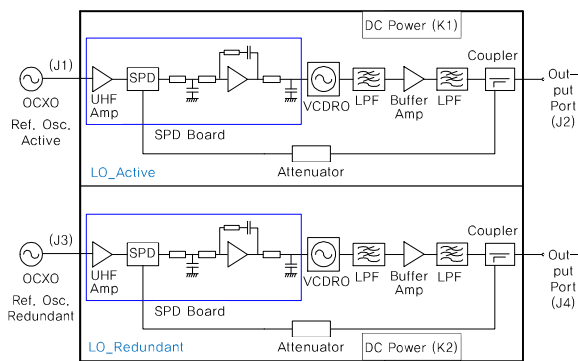
이다. (그림 9a)는 독일의 Fraunhofer Institute of Applied Solid-State Physics(IAF)에서 개발한 MFPB 안테나이고, (그림 9b)는 입력 분배기에 적용한 적층형 PCB를 기반으로 한 Substrate Integrated Waveguide (SIW) 구조의 1:7 전력분배기이다[21][22].

IV. 가변 국부발진기

(그림 10)은 유럽의 ESA의 Advanced Research in Telecommunications System(ARTES) 프로그램을 통해 EADS Astrium사에서 개발한 아날로그 처리기반의 Generic Flexible Payload(GFP)를 채택한 Hylas-1의 RF 중계기 블록도를 보여주고 있다. 최초의 flexible 위성인 Hylas-1의 첫 번째 주파수 변환은 Hi-MMHT로



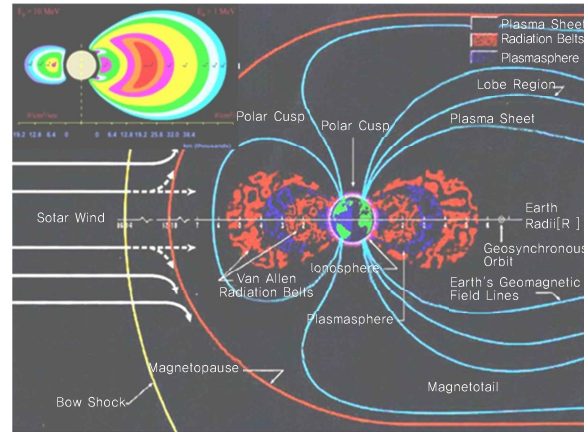
(그림 10) Hylas-1 RF 중계기 블록 다이어그램[24]



(그림 11) 천리안 통해기 위성의 국부발진기 블록 다이어그램

구현된 Agile Integrated Down-Converter Assembly (AIDA)에서 수행되며 LTCC로 구현된 하향변환기 하이브리드, Agile Local Oscillator(LO) 하이브리드, Telemetry & TeleCommand(TMTC), DC-DC변환기로 구성된다. Hylas-1 RF 중계기는 Fixed Satellite Service (FSS: 14GHz), Broadcasting Satellite Service(BSS: 18GHz), Ka 대역(30GHz) Agile 원격명령이 가능한 하향변환부를 거쳐 5.75~6.8GHz의 C 대역 상향링크로 주파수 변환을 한다. 이처럼 탑재체에서 다양한 주파수 상/하향 변환을 위해서는 다양한 국부발진 주파수를 요구한다[23].

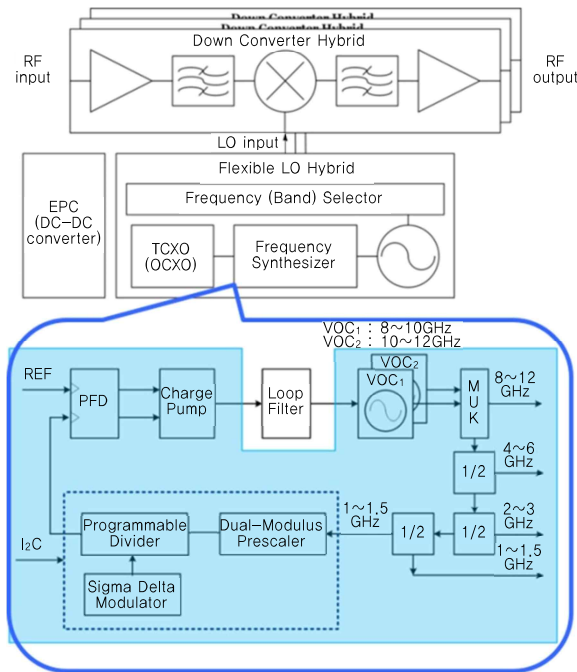
국부발진기를 만드는 가장 일반적인 방식은 한국의 통신해양기상위성인 천리안 위성에서도 사용되었던 (그



(그림 12) Van Allen Radiation Belts

림 11)과 같은 방식의 고 안정된 고정 reference 발진기를 체배하는 방식이나 Sampling Phase Detector(SPD)을 사용하는 고정형 Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator(PLDRO) 방식이다. 하지만 이는 회로 크기, 부피, 및 소비 전력면에서 탑재체에 부담이 되는 방식이다. 낮은 회로 크기, 부피, 및 소비 전력을 탑재체에 제공하기 위한 방법으로 Phase Locked Loop(PLL)를 이용한 소형화된 디지털 집적화된 주파수 합성기 개발을 진행하였다. 이러한 주파수 합성기 방식의 가변 국부발진기는 Silicon, Bi-CMOS, Silicon-on-Sapphire (SOS), 그리고 SiGe 공정 등을 사용하여 수 GHz까지의 국부발진기 개발이 가능하게 되었다. 하지만 소자기술 및 제조방법에 따라 Single-event-upset(SEU) 또는 용인 총선량(total dose tolerance)들은 높은 신뢰도가 요구되는 우주환경 응용 부품으로는 적합하지 않을 수 있다. 따라서 디지털 집적회로의 성능은 space application에서는 검증 절차가 있어야만 한다.

(그림 12)는 지구 주위에 축적된 입자들의 분포를 보여주는 Van Allen radiation belts이다. 지구와 같은 자화(magnetized) 행성은 행성 주위에 양성자, 전자, 그리고 감마 방사선을 포함하고 있다. 절연층에 가둬진 하전 입자는 위상 잡음 특성을 악화시키고, 원치 않은 불요파 신호를 발생하는 원인이 된다. 일반적으로 용인 되는 방



(그림 13) ETRI 가변 주파수 변환기 블록 다이어그램

사선 총선량 레벨은 10~15년 동안 10krad~1 Mrad 정도이며, 예방 단계에서 방사선 총선량 레벨에 버틸 수 있는 방사선 또는 선택 장치에 대한 보호가 이루어져야 한다. 따라서 우주 환경에서 사용 가능한 주파수 합성기 기반의 가변 국부발진기 제작을 위해서는 Radiation Hardness by Design(RHBD), Radiation hardness by Shielding(RHBS), Radiation Hardness by process (RHBP) 기법을 적용한 설계가 요구된다.

ETRI는 (그림 13)과 같이 Flexible 탑재체를 위한 가변 주파수 변환기 및 가변 국부발진기를 개발하고 있다. 특히 가변 국부발진기는 fractional-N 주파수 합성 방식으로 12GHz 대역 이하의 전 주파수를 발생할 수 있는 구조로 설계하여, 광대역 특성을 갖도록 개발하고 있다.

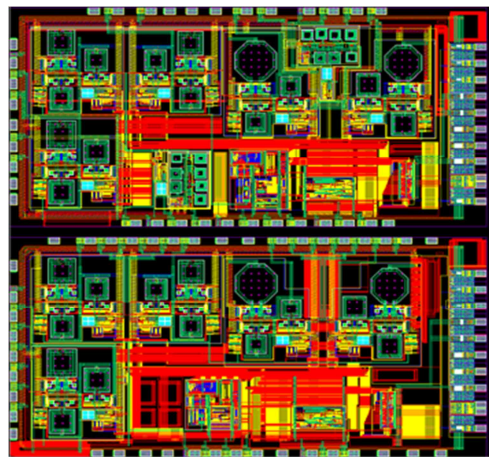
특히 1년 차에 fractional-N PLL 방식의 가변 국부발진기 IP를 확보하였으며, 2년 차에는 (그림 14)와 같이 RHBS, 및 RHBP를 고려한 Silicon-on-Insulator (SOI) 공정 적용 및 hermetic package를 적용한 칩 패키지 제작을 수해하였다. 3년 차에서는 radiation

hardness 회로가 적용된 digital library 및 I/O 개발을 통한 RHBD까지 고려된 가변 국부발진기를 개발 중이다. 또한, 제작한 fractional-N 주파수 합성기 칩은 위상 잡음 특성을 개선하기 위하여 낮은 위상 잡음 특성을 갖는 off chip 전압제어 발진기를 적용 국부 발진기 모듈의 위상 잡음 성능 향상이 가능하다.

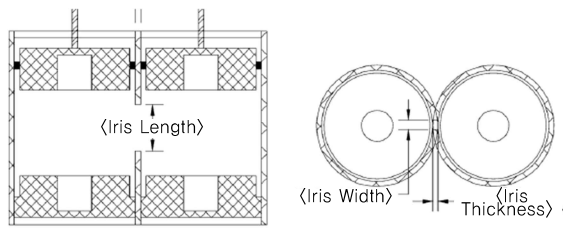
V. 가변필터

가변필터는 외부의 명령으로 주파수 및 대역폭 변화가 가능한 필터를 의미한다. 이는 전기적 가변필터와 기계적 가변필터로 나누어지는데, 기계적 가변필터가 전기적 가변필터에 비해 크고 무거우며 소모전력도 상대적으로 크다는 단점이 있지만 삽입손실이 매우 작고 고출력을 다룰 수 있기 때문에 flexible 탑재체용으로는 기계적 가변필터가 주로 개발되고 있다. 기계적 가변필터는 공동(cavity) 공진기를 이용한 필터로 구현된다. 현재 알려진 바로 이러한 타입의 가변필터는 캐나다의 COM DEV사, 유럽의 TESAT에서 개발하고 있으며 국내에서는 한국전자통신연구원과 고려대학교가 개발하고 있다.

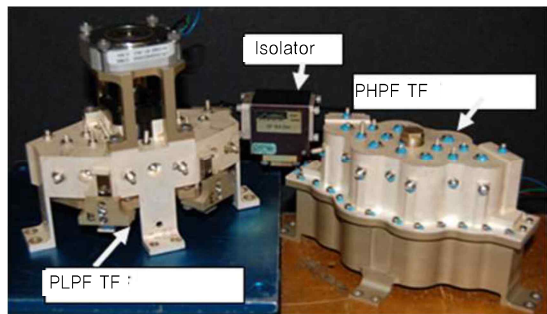
COM DEV사의 가변필터는 고역통과필터(High Pass Filter: HPF)와 저역통과필터(Low Pass Filter: LPF)의 중심주파수를, 필터의 특성은 유지한 채, 서로 독립적으로



(그림 14) SOI CMOS 공정을 이용한 주파수 합성기 칩



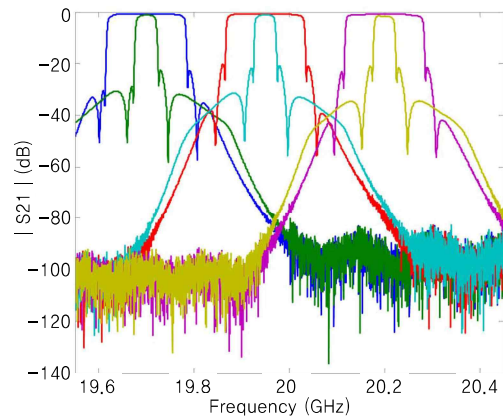
(그림 15) TE011 모드 공진기와 슬롯아이리스를 이용한 결합 구조[25]



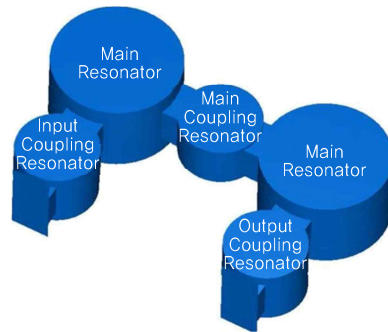
(그림 16) TE011 모드 공진기를 이용한 Ka 대역 가변필터[25]

로 변화시켜 최종적으로 구현되는 대역통과필터(BPF)의 중심주파수와 대역폭을 변화시키는 구조를 갖고 있다[25]. 이러한 형태의 가변필터는 HPF와 LPF를 위한 2개의 구동장치만 있으면 대역폭과 중심주파수를 모두 변경할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 두 구성 필터 사이에 아이솔레이터(Isolator)를 구비해야 하기 때문에 무게가 추가된다는 단점이 있다. COM DEV사는 TE011 모드를 발생시키는 원통형 공동 공진기들을 슬롯 형태의 아이리스로 결합하여 유사 고역통과필터 및 유사 저역통과필터를 구현하였다. (그림 15)에서 COM DEV사의 TE011 모드 공진기 구조와 공진기 사이의 결합 방법을 보이고 있다. 공진기 내부에는 TE011 모드의 degenerate 모드와 TE011 모드 근처에서 나타나는 spurious 모드들을 억제하기 위한 구조가 적용되어 있다.

이러한 구조를 이용하여 (그림 16)과 같은 형태로 6차의 유사 고역통과필터(Pseudo High Pass Filter: pHPF)와 유사 저역통과필터(Pseudo Low Pass Filter: pLPF)를 구현하였다.



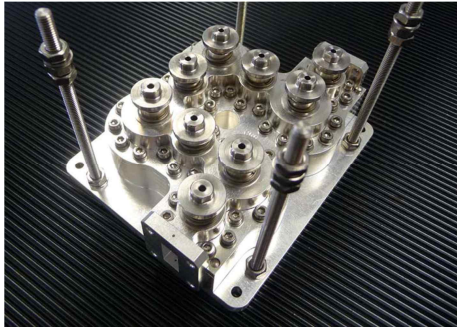
(그림 17) COM DEV사의 가변필터 성능[25]



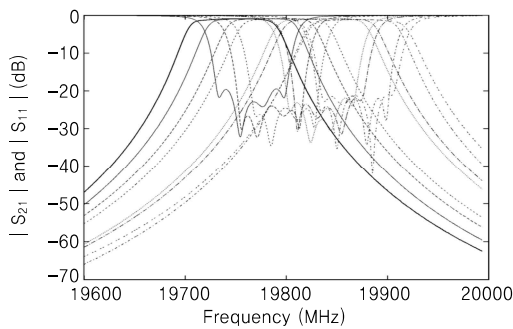
(그림 18) TESAT사의 가변필터 구조[26]

(그림 17)은 최종 구현된 BPF의 가변 성능을 보이고 있다. 중심주파수는 19.7~20.2GHz의 500MHz 범위에서 변할 수 있으며 대역폭은 40~160MHz의 범위에서 변할 수 있다. 삽입손실은 0.2~0.22dB로 매우 작은 값을 보이고 있다. 통과대역의 양쪽에 각각 2개의 전달영점을 구현하여 매우 우수한 차단특성을 구현하였고 TE011 모드 주변의 다른 모드들도 매우 잘 억제되어 있다.

유럽의 TESAT사는 COM DEV사와 달리 BPF를 구성하는 모든 공진기와 결합요소를 조절할 수 있는 필터 구조를 개발하였다[26]. 각 공진기의 공진주파수는 COM DEV사와 마찬가지로 공진기 윗면의 피스톤을 상하로 움직여 변경할 수 있다. 공진기 사이의 결합을 위해 공진주파수가 매우 높은 공진기를 사용하고 그 결합 공진기의 공진주파수를 변경함으로써 주공진기 사이의 결합량을 변화시키는 방법을 사용하였다. (그림 18)은



(그림 19) TESAT사의 4차 가변필터[26]

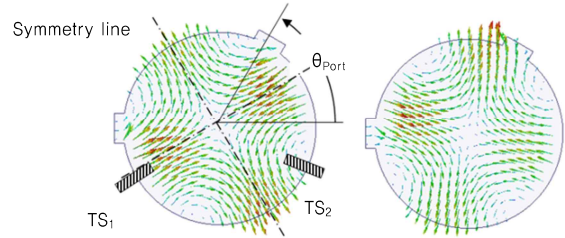


(그림 20) TESAT사의 4차 가변필터[26]

TESAT사의 2차 가변필터의 구조를 보이고 있다. 2개의 주공진기와 3개의 결합공진기로 구성되어 있다. 이러한 타입의 가변필터는 이상적으로 필터를 구성하는 모든 요소를 조절할 수 있다는 점과 아이솔레이터가 필요 없다는 장점이 있으나 각 요소를 조절하기 위해서는 많은 구동장치가 요구되어 무게가 증가하고 소모전력이 증가한다는 단점이 있다. (그림 19)와 (그림 20)은 4차 가변필터의 형상과 그 성능을 보이고 있다. 중심주파수는 19.7~19.9GHz의 200MHz 범위에서 변하고 있으며 대역폭은 36~72MHz까지 변할 수 있다. 삽입손실은 대역폭에 따라 0.9~1.1dB로 COM DEV사의 것보다 높는데 이는 결합 공진기가 품질계수가 낮은 TE111 모드를 사용하고 있기 때문이다.

국내의 고려대학교에서는 상기 필터에 음의 교차 결합을 구현하여 통과대역의 양쪽에 전달영점을 형성함으로써 차단 특성을 개선하는 연구를 수행하고 있다.

한국전자통신연구원에서는 pHPF와 pLPF를 사용하



(그림 21) 이중 TE211 모드 생성

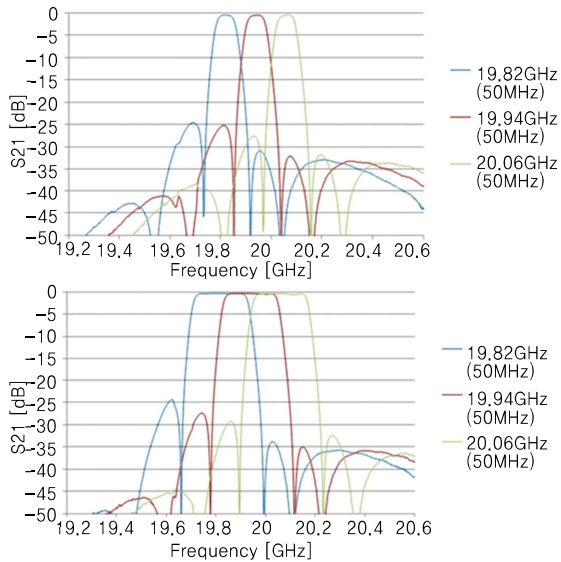


(그림 22) 이중 TE211 모드를 이용한 3차 가변필터 성능

는 COM DEV사의 방식을 사용하되 이중(dual) TE211 모드를 사용하여 필터의 크기를 줄이는 방식을 연구하고 있다. TE211 모드를 형성하는 원통형 공진기에 입출력 포트를 적절하게 배치하면 두 개의 직교하는 TE211 모드가 형성되며 TE111 모드 또는 TE011 모드와의 간섭에 의해 추가로 형성되는 전달영점으로 차단대역을 좀 더 넓힐 수 있다. (그림 21)은 원통형 공진기에 두 개의 서로 다른 TE211 모드가 생성된 것과 각 모드의 공진주파수를 조절할 수 있는 튜닝스크류가 삽입된 것을 보여주고 있다. (그림 21)의 공진기에 TE011 또는 TE211 공진기를 추가하여 필터의 차수와 대역폭을 증가시키고 대역 가장자리에서의 차단 특성을 개선할 수 있다.

(그림 22)는 이중 TE211 모드를 이용한 3차 가변필터를 보이고 있다. 전체 크기의 1/3 정도만이 필터부이고 나머지는 구동부이다.

(그림 23)은 (그림 22)의 측정 결과를 보이고 있다. 중심주파수는 19.82~20.06GHz의 240MHz 범위에서



(그림 23) ETRI의 3차 가변필터 측정결과

이동할 수 있고, 대역폭은 50~200MHz의 150MHz 범위에서 변할 수 있다. 삽입손실은 대역폭에 따라 0.3~0.6dB 정도를 보이고 있다. 현재 3개의 공동을 이용한 4차 필터를 개발 중이다.

VI. 결론

위성시장 환경변화에 적합한 flexible 위성 탑재체는 비용 대비 효율이 높기 때문에 전 세계에서 집중적으로 연구되는 분야이기도 하지만, 정치적 환경에 의해 서비스 커버리지가 유연하게 바뀔 수 있는 우리나라에서는 필수로 개발되어야 할 기술이라고 볼 수 있다. 국내에서 최초로 개발되어 2010년에 발사된 위성통신 시스템인 천리안 위성통신 서비스의 연속성 및 관련 기술의 유지 발전시키고 flexible 위성 탑재체의 기술 선도국이 되기 위해서 flexible 탑재체 개발이 절대적으로 필요하다. 성공적인 차기위성 개발을 위해 핵심 원천 기술인 재구성 빔 안테나용 배열 급전 반사판 안테나 및 빔 형성 모듈, 주파수 가변용 국부 발진기 및 가변필터 그리고 가변 고출력 증폭기에 사용되는 소형 고효율 고풍출력 증폭기에 대한 원천기술 확보가 조속히 이루어져야 할 것이다.

약어 정리

AIDA	Agile Integrated Down-Converter Assembly
ARTES	Advanced Research in Telecommunications System
BSS	Broadcasting Satellite Service
DRA	Direct Radiating Array
ESA	European Space Agency
FSS	Fixed Satellite Service
GFP	Generic Flexible Payload
HPF	High Pass Filter
IAF	Fraunhofer Institute of Applied Solid-State Physics
IRA	Imaging Reflector Antenna
LO	Local Oscillator
LPF	Low Pass Filter
LTCC	Low Temperature Co-fired Ceramic
MFPB	Multiple Feeds per Beam
pHPF	Pseudo High Pass Filter
PLDRO	Phase Locked Dielectric Resonator Oscillator
PLL	Phase Locked Loop
pLPF	Pseudo Low Pass Filter
RHBD	Radiation hardness by design
RHBP	Radiation Hardness by process
RHBS	Radiation hardness by Shielding
SDR	Software Defined Radio
SEU	Single-event-upset
SFPB	Single Feed per Beam
SIW	Substrate Integrated Waveguide
SOI	Silicon-on-Insulator
SOS	Silicon-on-Sapphire
SPD	Sampling Phase Detector
TMTC	TeleMetry & TeleCommand

참고문헌

- [1] P. Voisin et al, "Flexible Payloads for Telecommunication Satellites - a Thales Alenia Space Perspective," 3rd ESA Workshop on Advanced Flexible Telecom Payloads, 2016.
- [2] H. Fenech and S. Amos, "Eutelsat Quantum-Class Satellites, Answering the Operator's Need for Flexibility," 3rd ESA Workshop on Advanced Flexible Telecom Pay-

- loads, 2016.
- [3] H. Chan, "Advanced Microwave Technologies for Smart Flexible Satellite" *IEEE MTT-S International*, June 2011.
- [4] M. Richharia, "Mobile Satellite Communications: Principles and Trends," John Wiley&Sons, Mar. 2014.
- [5] <http://defense.hughes.com/technologies/advanced-satellite-network-technologies/spaceway-3>
- [6] The View from JUPITER: High-Throughput Satellite Systems, <http://www.hughes.com/>
- [7] <http://www.satellitetoday.com/publications/st/stbriefs/2013/03/21/ssl-to-build-hughes-jupiter-2echostar-19-satellite/>
- [8] <http://www.sslmda.com/html/pressreleases/pr20110915.html>
- [9] <https://www.viasat.com/news/xplomet-takes-canadian-capacity-viasat-2-satellite>
- [10] <http://www.eutelsat.com/en/satellites/the-fleet/EUTELSAT-KA-SAT.html>
- [11] G. Benoit, "Triple Play over Satellite, Ka-band Making the Difference," *Lecture Notes of the Institute for Computer Science, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 15, 2009.
- [12] <http://www.zdnet.com/article/eutelsats-tooway-satellite-broadband-goes-live/>
- [13] <http://www.dxsatcs.com/content/eutelsat-ka-sat-9a-9e-kasat-tooway-reception-broadband-internet-ka-band-beacon-frequency-ove>
- [14] <http://www.inmarsat.com/the-i-5-satellites/>
- [15] Boeing Commercial Satellite Services, "Inmarsat-5: Overview Brief for Arctic," Aug. 2014.
- [15] http://m.esa.int/Our_Activities/Telecommunications_Integrated_Applications/Hylas/Overview
- [16] https://en.wikipedia.org/wiki/AL_Yah_Satellite_Communications#Yahsat_Satellites
- [17] M. Schneider, C. Hartwanger, and H.Wolf, "Antennas for Multiple Spot Beam Satellites," *CEAS Space J*, vol. 2, no. 1, Dec. 2011, pp. 59-66.
- [18] N. Gatti et al., "Reconfigurable Imaging Antenna Fed by Active Sparse Arrays for TX/RX Multibeam SATCOM Applications in Ka-Band,"
- [19] M. Nagasaka et al., "Designing an Array-Fed Imaging Reflector Antenna Engineering Model for 21-GHz Band Satellite Broadcasting System," AP-S, July 2013, pp. 300-301.
- [20] T. Moura et al. "GaN Powered Ka-band High-Efficiency Multi-Beam Transceivers for Satellites - Current Status and Developments," 3rd ESA Workshop on Advanced Flexible Telecom Payloads, Mar. 2016.
- [21] C. Rave et al. "A K-Band Multiple-Feed-per-Beam Transmitter with GaN-Power Amplifiers," 3rd ESA Workshop on Advanced Flexible Telecom Payloads, Mar. 2016.
- [22] C. Rave and A.F. Jacob "A Wideband Radial Substrate Integrated Power Divider at K-Band," *GeMiC*, Mar. 16-18th, 2015, pp. 84-87.
- [23] <http://orbiterchspaceneeds.blogspot.kr/2010/11/esa-hylas-1-adbvaned-eropean-telecom.html>
- [24] Clyn T. et al., "Agile Equipment for an Advanced Ku/Ka Satellite," ESA Wrokshop in Advanced Flexible Telecom Payloads, Nov. 18-20th, 2008.
- [25] B. Yassini, M. Yu, and B. Keats, "A Ka-Band Fully Tunable Cavity Filter," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 60, no. 12, Dec. 2012, pp. 4002-4012.
- [26] C. Arnold, J. Parlebas, and T. Zwick, "Reconfigurable Waveguide Filter with Variable Bandwidth and Center Frequency," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 62, no. 8, Aug. 2014, pp. 1663-1670.