



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

위성 방송 수신을 위한  
다중대역 안테나 설계 및 구현

The Design and Implementation of Multiband Antenna  
for Satellite Broadcasting Signal Receiving



2018년 2월

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

박관준

본 논문을 박관준의 공학석사 학위논문으로 인준함.



2018년 2월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	i
List of Figures .....	ii
Abstract .....	vi

## 1. 서 론

1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구목적 .....	2
1.3 연구내용 .....	2

## 2. 위성방송과 TVRO 시스템

2.1 위성방송의 개요 .....	3
2.2 TVRO 시스템의 개요 .....	9
2.3 다중 대역 안테나에 대한 선행 연구 .....	14

## 3. 안테나 설계

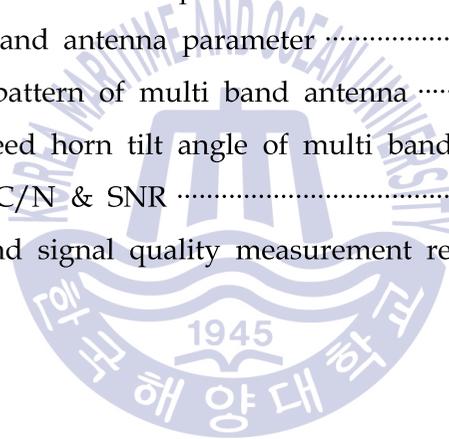
3.1 Ku/Ka 밴드 다중 대역 안테나 설계사양 .....	16
3.2 단일 대역 Ka 밴드 안테나 설계 .....	22
3.3 단일 대역 Ku 밴드 안테나 설계 .....	29
3.4 Ku/Ka 밴드 다중 대역 안테나 설계 .....	34

4. 안테나 실험 및 측정	
4.1 원거리 방사 패턴 측정 .....	39
4.2 위성 방송 신호 품질 측정 .....	45
5. 결론 .....	48
참고문헌 .....	49



## List of Tables

<b>Table 1</b> Launch date of satellite broadcasting service .....	5
<b>Table 2</b> Frequency distribution table .....	8
<b>Table 3</b> Fixed satellite service (HD-FSS) frequency distribution .....	11
<b>Table 4</b> Typical data for KVH TracVision HD11 .....	15
<b>Table 5</b> Typical data for Sea Tel 100 TVHD .....	15
<b>Table 6</b> EIRP values and Dish size .....	16
<b>Table 7</b> Satellite tilt angle .....	20
<b>Table 8</b> Single Ka band antenna parameter .....	22
<b>Table 9</b> Single Ku band antenna parameter .....	29
<b>Table 10</b> Radiation pattern of multi band antenna .....	43
<b>Table 11</b> Ka band feed horn tilt angle of multi band antenna .....	43
<b>Table 12</b> Koreasat6 C/N & SNR .....	45
<b>Table 13</b> Ka/Ku band signal quality measurement result .....	46



## List of Figures

<b>Fig. 1</b> Trend of satellite antenna system development .....	4
<b>Fig. 2</b> Classifications of Satellite .....	4
<b>Fig. 3</b> WARC 1977 Footprint For UK, France and Luxembourg .....	6
<b>Fig. 4</b> The main features of the WARC plan of 1977 .....	6
<b>Fig. 5</b> ITU zone & region map .....	7
<b>Fig. 6</b> Components of a satellite-based digital broadcast system .....	9
<b>Fig. 7</b> Using a satellite for long distance communications .....	10
<b>Fig. 8</b> Set-Top Box system block diagram .....	12
<b>Fig. 9</b> Satellite TV system Block Diagram .....	13
<b>Fig. 10</b> Seatel HD11 Feed horn assembly .....	14
<b>Fig. 11</b> Beam & Gain with vs. Antenna size .....	17
<b>Fig. 12</b> Dynamic beam tilting .....	18
<b>Fig. 13</b> Sequence of multi band antenna design & test procedure .....	19
<b>Fig. 14</b> Distance between GEO satellites .....	19
<b>Fig. 15</b> Distance between GEO satellites(North & South America) .....	20
<b>Fig. 16</b> Single Ka band antenna design .....	23
<b>Fig. 17</b> Structure & name of parabolic antenna design elements .....	24
<b>Fig. 18</b> Tilting angle change according to the different of half angle ..	25
<b>Fig. 19</b> Directivity change according to the different ratios of $F/D$ .....	26
<b>Fig. 20</b> Directivity & Return loss of single Ka band antenna .....	27
<b>Fig. 21</b> Offset & Radiation pattern (R) of single Ka band antenna .....	28
<b>Fig. 22</b> Offset & Radiation pattern (L) of single Ka band antenna .....	28
<b>Fig. 23</b> Single Ku band antenna design .....	30

<b>Fig. 24</b> Main reflector shaping .....	31
<b>Fig. 25</b> Effect of reflector on beam pointing .....	31
<b>Fig. 26</b> Shaping design of cassegrain reflector antennas .....	32
<b>Fig. 27</b> Directivity & Return loss of single Ku band antenna .....	33
<b>Fig. 28</b> Ka band feed horn focus tuning .....	35
<b>Fig. 29</b> Ku band feed horn focus tuning .....	35
<b>Fig. 30</b> Comparison of Ka band feed horn directivity .....	36
<b>Fig. 31</b> Comparison of Ku band feed horn directivity .....	38
<b>Fig. 32</b> Designed Ku/Ka multi band antenna .....	38
<b>Fig. 33</b> Far field test configuration .....	39
<b>Fig. 34</b> Focus tuning method & intial value .....	40
<b>Fig. 35</b> Ka band radiation pattern of multi band antenna (f=18.55 GHz) 41	41
<b>Fig. 36</b> Ka band radiation pattern of multi band antenna (f=19.95 GHz) 42	42
<b>Fig. 37</b> Ku band radiation pattern of multi band antenna (f=12.5 GHz) 43	43
<b>Fig. 38</b> Test configuration & result .....	45
<b>Fig. 39</b> Test configuration for signal quality measurement .....	46
<b>Fig. 40</b> Ka/Ku band Signal strength measurement .....	47

# The Design and Implementation of Multi-band Antenna for Satellite Broadcasting Signal Receiving

Park, Kwan Joon

Department of Electronic & Communication Engineering

Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

Recently, as the demand for info-communication has increased, the amount of satellites has increased rapidly. As a result, the angle between all satellites has been drastically reduced, and the number of channels converted from satellites in the same frequency band has also been reduced. Therefore, it is necessary to be able to simultaneously receive signals from various satellites in order to maintain the same number of previous reception channels.

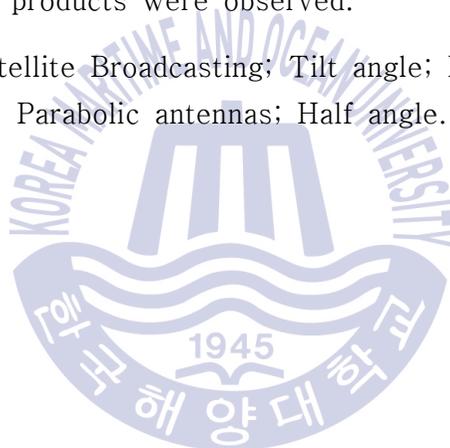
In this paper, we have designed and implemented a multiband antenna for simultaneously and independently receiving Ku/Ka band satellite broadcasting signals transmitted by three adjacent satellites.

The multiband antenna is implemented as a parabolic reflector antenna with a cassegrain structure for high directivity. An integrated feed horn for receiving multiple bands is composed of two Ka band feed horns and

one Ku band feed horn separated by approximately two degrees of tilt angle and arranged in parallel with each other. Using the focal length and half angle of the reflector antenna as parameters, we have simulated using commercial design tools TICRA CHAMP and CST MWS, and designed the antenna to meet the target specifications. The antenna performance of the Ku band and Ka band was verified by comparing the measured results with the simulation results.

The antenna has a Ku band 41dB, a Ka band 43dB directivity gain, and a  $2.23^\circ$  beam slope with multiband antenna. The results of satisfaction with the commercial products were observed.

**KEY WORDS:** Satellite Broadcasting; Tilt angle; Multiband antennas; Cassegrain antennas; Parabolic antennas; Half angle.



# 위성 방송 수신을 위한 다중대역 안테나 설계 및 구현

박 관 준

한국해양대학교 대학원

전자통신공학과

초 록

최근, 정보 통신의 요구가 증가함에 따라 위성의 양은 급격히 증가하여 모든 위성 간의 각도가 급격히 감소하게 되었으며, 동일 채널 및 인접 채널의 간섭으로 동일한 주파수 대역의 위성으로부터 변환되는 채널들의 수가 또한 감소되었다. 그러므로 종전의 수신 채널의 수를 동일하게 유지하기 위해서는 여러 위성의 신호를 동시에 수신 할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 3개의 인접한 위성에 의해 전송 된 Ku/Ka 대역 위성 방송 신호를 동시, 독립적으로 수신하기 위한 다중 대역 안테나를 설계하고 구현 하였다. 다중 대역의 안테나는 높은 지향성을 확보를 위해 카세그레인 구조의 파라볼릭 리플렉터 안테나로 구현하였다. 다중 대역을 수신하기 위한 통합 피드 혼 장치는 약 2도 틸트 각으로 분리 된 Ka 밴드 피드 혼 2개와 Ku 밴드 피드 혼 1개로 구성되며, 서로 평행하게 배열되어 있다. 리플렉터 안테나의 초점거리와 반값 각을 변수로 하여 상용 설계 툴인 TICRA CHAMP와 CST MWS를 사용하여 시뮬레이션을 하고, 목표 사양을 만족하는 안테나를 설계하였다.

시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 Ku 밴드와 Ka 밴드 범위의 안테나 성능을 확인하였다. 제작된 안테나는 Ku 밴드 대역에서 41dB, Ka 밴드 대역에서 43dB 지향성 이득과 2.23° 빔 경사를 갖는 다중 대역 안테나로 상용 제품과 동등 수준 이상의 만족하는 결과를 나타내었다.

**핵심어:** 위성 방송; 틸트 각; 다중 대역 안테나; 카세그레인 안테나; 파라볼라 안테나; 반값 각.



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경

오늘날 정보를 송, 수신 하는 수단으로서 망 구성의 광역성, 회선구성의 신속성 및 효율성, 그리고 이동의 용이성에서 장점이 있는 위성 통신의 사용은 지속적으로 증가하고 있으며, 이미 위성 통신 사업자 및 관련 기업들은 위성 통신과 관련한 제품과 서비스를 질을 향상하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다[1]. 일반적으로 위성의 목적은 매우 광범위하여 예를 들어 군사, 기상학, 직접 방송 프로그램 및 인터넷에 적용되고 있으며, 위성 직접 방송 시스템과 인터넷은 현대 사회에서 없어서는 안 될 매우 중요한 통신 매체 수단으로서 위성 안테나의 개발에 더욱 박차를 가하는 원동력이 되고 있다. 특히 위성을 통한 신호 전송 방식은 커버리지 영역이 매우 넓고 수신기가 위치한 지형에서는 지리적 영향을 쉽게 받지 않기 때문에 위성 통신 기술은 방송 통신 기술의 진화를 이루어왔다. 최근에는 많은 정보 용량을 갖춘 새로운 TV 표준 신호인 HD(High Definition)이 널리 보급되어 왔다[2].

위성방송 서비스가 장점을 가지고 있는 반면 요구되는 서비스가 증가함에 따라 위성 통신서비스를 위해 필수적으로 요구되는 위성궤도 및 주파수 자원의 유한성이라는 제약과 가지고 있다. 그러므로 정보 통신의 수요와 욕구가 증가함에 따라, 위성의 양은 급격히 증가하게 되었고, 모든 위성 간의 간격은 급격하게 감소하게 되었으며, 이에 동반하여, 동일한 주파수 대역의 위성으로부터 제공되는 채널의 개수도 동일 채널 및 인접 채널의 간섭으로 인하여 감소하게 되었다. 수신 채널의 수를 이전과 동일하게 유지하기 위해서는 여러 위성으로부터의 신호를 동시에 수신할 수 있어야 한다. 위성의 수에 상응하여 안테나 수를 늘려서 해소할 수도 있지만, 이로 인하여 안테나의 수와 부피가 늘어나게 되어 결국 안테나 효율이 감소하게 되므로 서로 다른 방향에서 오는 위성 신호들을 단일 안테나를 통해 동시 독립적으로 수신하기 위한 다중 대역 안테나의 필요성을 요구하게 된다. 이에 대한 해결 방안으로, 서로 다른 방향에서 오는 다양한 위성 신호를 하나의 안테나를 통해 동시에 독립적으로 수신하며, 위성 통신 및 위성 TV 시장 부문의 요구에 맞는 새로운 유형의 고품질 다중 대역 안테나에 대한 제품 개발을 위해 국내외에서 다양한 연구가 진행되고 있다[3].

## 1.2 연구 목적

본 논문에서는 위성들로 부터 송신되는 신호들을 동시 독립적으로 수신할 수 있는 다중 대역 안테나를 구현하려고 한다. 다중 대역 안테나는 위성들의 상이한 신호들을 수신하기 위해 안테나의 초점 부근에 독립된 3 세트의 단일 피드 혼을 일체형으로 구성하여 시스템을 구현할 수 있다.

일반적으로, 위성 개수에 상응하여 안테나의 개수를 늘리거나 안테나의 크기를 늘리는 방법 등으로 위성들로 부터 송신되는 상이한 신호들을 동시에 수신할 수 있지만, 이러한 방법은 최종 사용자에게 추가적인 자원 요구와 더불어 동일 채널 및 인접 채널 간의 간섭으로 인한 수신 신호의 품질 저하라는 결과를 초래할 수 있다. 우주 상공에 인접하고 있는 위성 사이의 각도를 다중 대역 안테나의 멀티 피드 혼에 적용함으로써, 별도의 자원이나 제약 조건 없이 위성들로 부터 송신되는 다양한 방송 신호에 대해 사용자의 기호에 따라 언제든지 선택적으로 수신하여 고품질의 위성방송을 시청이 가능하다.

## 1.3 연구 내용

본 논문에서는 정지궤도(GEO) 상에 인접한 하나의 Ku 밴드 위성과 두 개의 Ka 밴드 위성으로부터 송신되는 신호를 동시에 수신하기 위해 카세그레인 안테나의 초점 부근에 3세트의 피드 혼이 일체형으로 구현된 통합 피드 혼을 설계하고자 한다.

통합 피드 혼은 3개의 위성 신호를 수신하기 위해 3개의 피드 혼이 서로 평행하게 배열되고, 하나의 Ku 밴드 피드 혼은 두 개의 Ka 밴드 피드 혼 사이에 위치하며, 단일 카세그레인 안테나에 의해 반사된 위성 신호를 수신하게 되는데, 여기서 위성 신호는 작은 각도 (약  $2^\circ$ )의 간격을 유지하고 있는 위성, 예를 들어 ( $99^\circ$ ,  $101^\circ$ ,  $103^\circ$ ) 3 개의 위성들로 부터 각각의 상이한 신호들이 전송되게 된다.

본 논문은 5장으로 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 위성방송의 개념과 TVRO 기본 구성 요소와 기술 동향, 위성의 다중 빔을 이용한 사례들과 응용된 상용 제품들에 대한 전반적인 내용을 기술하였으며, 3장에서는 위성의 빔 경사각을 응용한 다중 대역 안테나 설계 및 절차에 대한 내용들을 기술하였다. 4장에서는 3장에서 설계된 다중 대역 안테나를 실제로 구현하여 원거리 방사 측정 및 위성을 통한 신호 품질 측정을 진행 하였으며, 5장에서 결론을 맺는다.

## 제 2 장 위성방송과 TVRO 시스템

### 2.1 위성방송의 개요

현대 사회는 고품질의 멀티미디어 콘텐츠를 제공받고자 하는 사용자의 요구와 인간의 생활 영역 확장과 편리함에 대한 욕구 증가로 유·무선 방송통신 서비스의 영역이 확장되어 언제, 어디서나, 어떤 매체에 상관없이 고품질의 대용량 멀티미디어 정보를 서로 교환하거나 제공받을 수 있는 유비쿼터스(Ubiquitous)시대를 실현해 가고 있다[4]. 특히, 방송 위성과 통신 위성을 이용한 디지털 위성방송 서비스는 일반 시청자의 직접 수신을 목적으로 위성을 통하여 방송을 중계하는 서비스로서, 직교주파수분할(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) 변조 방식과 펄스 부호 변조(Pulse Code Modulation, PCM) 장치를 사용함으로써 기존 아날로그 방송이 갖고 있던 시청각적 품질 열화 및 난시청 등의 제약점을 극복하는 동시에 보다 많은 정보량을 용이하게 방송할 수 있는 혁신적인 개념의 새로운 통신 서비스이다[5].

현재, 위성방송은 위성 안테나 및 위성방송 수신기 수요와 더불어 국내외의 위성방송 수신기 모듈 개발 등 세계 각국에서 활발한 연구를 통해 방송 분야의 새로운 디지털 패러다임 형성으로 디지털 전환을 이루어 디지털 방송, 데이터 방송, HDTV로 대표되는 차세대 TV 라는 세 가지 방향으로 진화하게 되었다[6].

Fig. 1과 같이 위성 안테나 시스템 기술의 지난 7년간 출원동향을 살펴보면 연도 별로 출원경향이 증가, 감소를 반복하고 있어 꾸준히 위성 안테나 시스템 관련 기술개발 활발함을 알 수 있으며, 각 국가 별로 살펴보면 한국, 일본, 유럽은 유지하는 경향을 보이고 있으며, 미국의 경우 '유지-증가-유지' 의 경향을 보이고 있으며, 국가별 출원비중을 살펴보면 미국이 47.9%로 해당 기술의 최대 출원국으로 위성 안테나 시스템 기술을 주도하고 있는 것으로 나타났으며, 한국이 19.4%, 유럽이 17.5%, 일본이 15.1%로 비슷한 수준의 출원 비중을 보이고 있음을 알 수 있다[7].

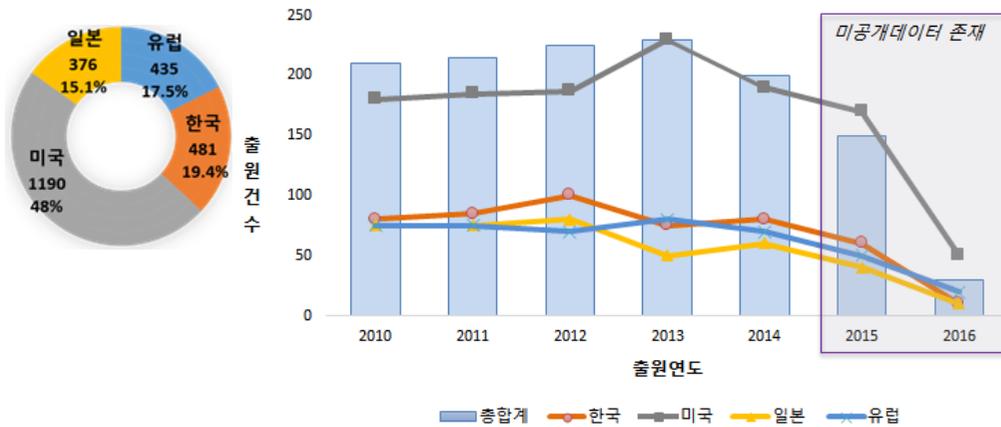


Fig. 1 Trend of satellite antenna system development

위성방송은 지구의 지표면으로부터 약 3만 6,000 Km 상공의 정지 궤도(Geostationary Orbit, GEO)에 위치한 방송위성(Broadcasting Satellite, BS)을 이용하여 텔레비전 방송이나 PCM(Pulse Code Modulation) 방송 등 여러 방송을 직접 행하는 것을 의미한다. Fig. 2는 위성의 궤도와 고도에 따라 분류한 개념도이다.

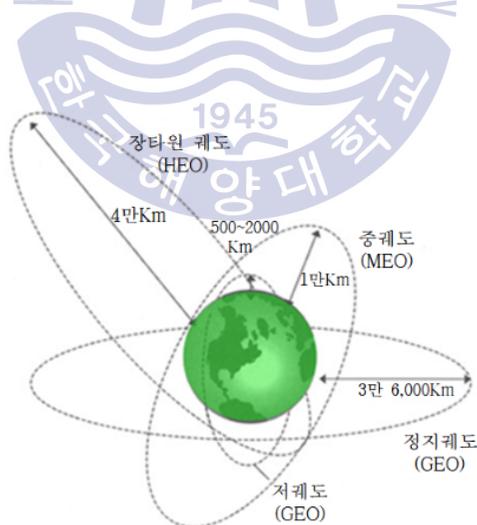


Fig. 2 Classifications of Satellite

방송 서비스를 위한 표준화 단계를 거쳐 실험 방송과 시험 방송을 통해 디지털 방송 미디어의 본격적인 서비스가 이루어지기 시작한 것은 1990년대 후반을 기점으로 위성 방송에서부터였다[8].

1994년 6월 미국 Hughes사의 세계 최초의 디지털 위성방송인 DIRECTV와 USSB(United States Satellite Broadcasting)에서 위성을 사용하여 150개에 가까운 프로그램의 다채널 디지털 TV방송을 시작한 후 1994년 DIRECTV®를 선두로 디지털 다채널 위성방송 개시를 시작으로 유럽 국가인 프랑스의 Canal+가 1996년 4월 디지털 위성 방송을 개시함으로써 다채널 디지털 방송 시대를 가장 먼저 상용화하게 되었고, 이후 유럽의 DVB(Digital Video Broadcasting) 와 DAB(Digital Audio Broadcasting) 등 본격적인 위성방송 실용화가 이루어졌으며, 일본은 1996년 PERFECT TV가 디지털 위성 방송을 개시하였고[9], 우리나라에서도 1996년 7월부터 KBS에서 실용화 시험 방송을 실시하였다[10]. Table 1은 주요 국가별 위성방송 출범시기를 나타낸 표이다.

Table 1 Launch date of satellite digital broadcasting services

주요 국가	K R	U S	J P	F R	G B	C A	A U	E S	S E	P L	N L
년도	2002	1994	1997	1996	1998	1994	1997	1997	1996	1997	1996

위성방송 서비스를 위해서는 국제전기통신연합(International Telecommunication Union, ITU)로 부터 위성궤도 및 주파수를 할당 받게 되는데, 이러한 계획은 모든 국가가 GEO를 동등한 조건에서 주파수대를 업무 목적에 따라 주파수 대역을 분배하거나 또는 지정된 주파수 대역에 대해 지리적으로 구역과 지역으로 분배함으로써, 주파수 자원의 공평한 이용할 수 있도록 하기 위해 제정되었다[11].

1977년 세계 무선 통신 주관청 회의(World Administrative Radio Conference, WARC)에서 주파수 할당 계획이 수립되어 국가별로 5개씩 채널 할당을 원칙으로 하여 유럽과 아프리카는 11.7~12.5 GHz, 아시아는 11.7~12.2 GHz가 분배되었으며, 디지털 위성 방송의 주파수 대역으로 2.5 GHz 대역과 12 GHz 대역이 할당되어 이 중 12 GHz를 가장 많이 사용하고 있다. 실제로 직접 위성방송은 지상파 방송 주파수 대역인 700 MHz 보다 높은 주파수인 12 GHz대를 사용하여 27 MHz의 광 대역 방송을 하고 있다[12].

Fig. 3, Fig. 4는 1977년 WARC에서 주파수 할당 계획 당시 각 유럽 국가들이 주파수 분배에 대해 결의된 궤도 및 스펙트럼 대한 주요 특징을 나타내고 있다. DBS 주파수를 사용하는 당시 유럽의 유일한 상업용 위성방송국인 영국의 영국 위성방송(British Satellite Broadcasting, BSB)이 상업적으로 실패 이후 11.7~12.5 GHz는 디지털 방송을 위해 다시 사용되어 사용 가능한 채널의 수는 증가하였지만 원래 기본 형식의 대부분을 유지하게 되었다. WARC BCSAT- 77 회의를 통해 제1지역은 11.7~12.5 GHz 내 주파수 대역을 19.18 MHz 간격으로 채널은 27 MHz 대역폭으로 40채널, 궤도는 6° 간격으로 설정되었다[13].

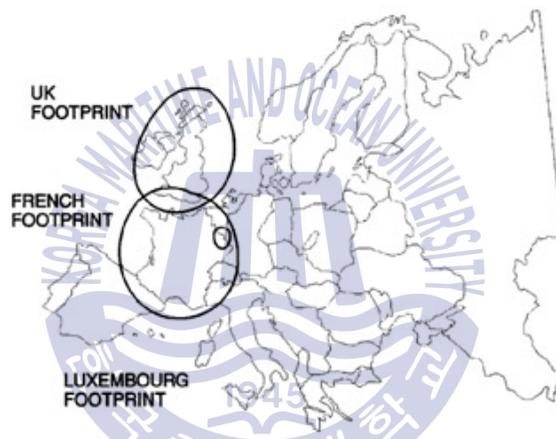


Fig. 3 WARC 1977 Footprint For UK, France and Luxembourg

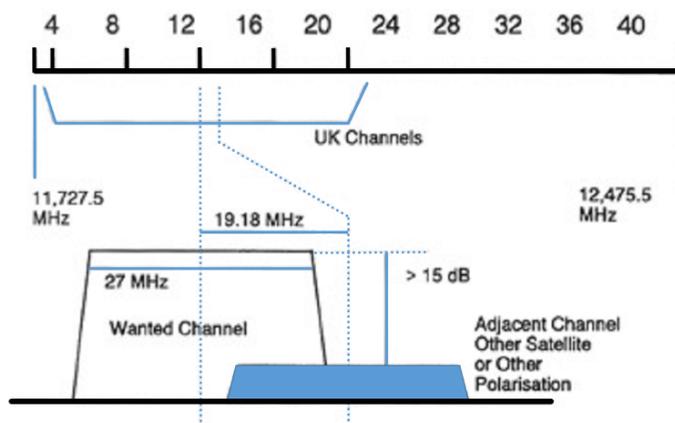
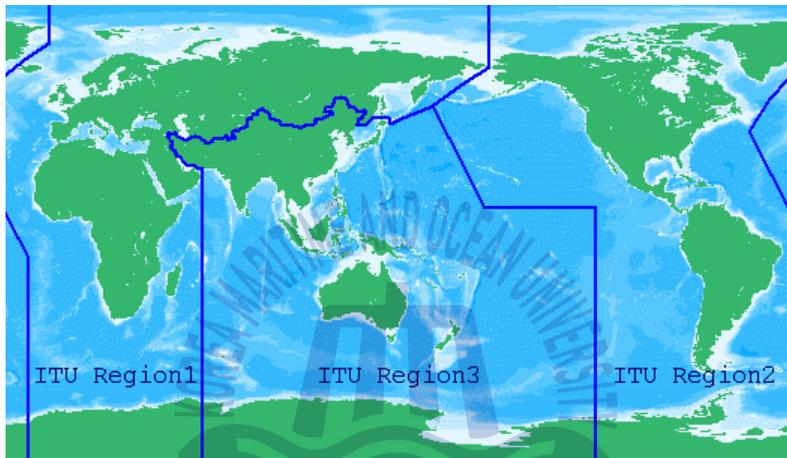
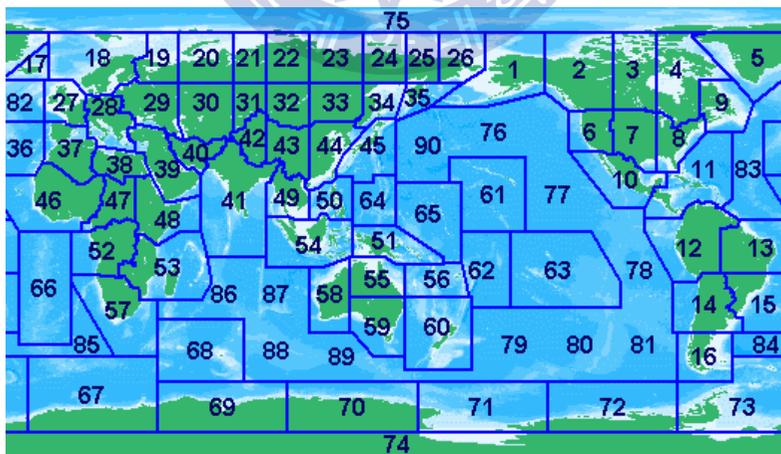


Fig. 4 The main features of the WARC plan of 1977

ITU에서는 전 세계를 Fig. 5와 같이 3개 지역으로 분류하였다. 제1지역은 유럽과 아프리카, 중동 아시아 및 독립국가연합, 제2지역은 미국 등 남북 아메리카 지역과 태평양 동부를 포함하며, 우리나라를 포함한 아시아 지역은 중국, 일본, 인도 및 호주 등 제3지역 90 구역으로 구분되어 있다[14]. 제1지역 및 제3지역은 600 MHz 대역(21.4~22 GHz), 제2지역 남북 아메리카는 500 MHz 대역(17.3~17.8 GHz)이 각각 할당되어 있다. 한국은 제3지역 내 44구역으로 지정되어 있다.



(a) ITU zone map



(b) ITU region map

Fig. 5 ITU zone & region map

Table 2는 3개의 지역으로 분류된 국가별 주파수 분배 현황을 나타내고 있으며, 12 GHz, 41 GHz, 85 GHz 대역이 방송 위성 업무의 주된 주파수 대역으로 지정되어 사용되고 있음을 알 수 있다.

Table 2 Frequency distribution table

지역 주파수대	제 1지역 유럽 아프리카 소련	제 2지역 남아메리카	제 3지역 아시아 오세아니아	이동현황
520~790MHz	방송	방송 고정 이동	방송 고정 이동	소련이 정지방송위성인 Ekran을 이용하여 공동 수신을 실시
방송 위성에 분배				
2.5~2.69GHz	고정 이동(항공 이동 제외) 방송 위성	고정 고정 위성(위성에서 지구국) 이동(항공 이동 제외) 방송 위성 * 제3지역은 2.5~2.535GHz		인도 (INDOSAT) 이란 연합(ARLAB-SAT) 공동 수신을 실시 (1995)
12GHz	11.7~12.5GHz 방송 고정 이동(항공 이동 제외) 방송 위성	12.1~12.3GHz 고정 (위성에서 지구국) 이동(항공 이동 제외) 방송, 방송 위성  12.3~12.7GHz 고정, 이동(항공제외) 방송, 방송 위성	12.7~12.8GHz 고정 이동(항공 이동 제외) 방송, 방송 위성  12.5~12.75GHz 고정, 고정 위성 (위성에서 지구국) 이동(항공 이동 제외) 방송 위성	일본 방송 BS-2 channel 에서 직접 수신을 실시  독일 TV 위성 I호인 TV-SAT-I (1987) 직접 수신 실시  프랑스 TV 위성 I호 인 TDF-I 직접 수신 실시 (1997)
22.5~23GHz		고정,이동,위성 간 (22.55~23GHz) 방송 위성		
40.5~42.5GHz		방송 위성, 방송, 고정, 이동		
84~85GHz		고정, 이동, 방송, 방송 위성		

## 2.2 TVRO 시스템의 개요

위성통신을 하려면 지상의 지구국과 우주공간에 있는 위성 사이에는 정보를 실어 나르는 위해 자유공간 사이에 무선으로 전송 할 수 있는 전파(Radio wave)로 연결되어 있어야 한다[15]. Fig. 6과 같이 송신 지구국(Land Earth Station, LES)에서는 직경 수 m에서 크기는 20 m 정도의 큰 안테나를 이용하여 지상 지구국인 방송국에서 제작된 영상 및 음성 신호를 수신 안테나, 중계기, 송신안테나 등을 탑재한 정지 궤도 위성의 수신 안테나를 지향하여 GHz의 해당하는 높은 전력으로 위성을 향해 전파를 송신한다. 위성에서는 송신 지구국으로부터 받은 RF 신호를 중계기로 증폭하고 주파수를 변환하여 송신 안테나를 통해 재차 지상을 향해 송신하게 된다. 이렇게 위성을 통해 송신된 RF 신호는 지상의 수신용 안테나를 통해 수신되어 IF 주파수로 변환된 후 수신기를 통해 적절히 증폭되어 원하는 신호 대역 이외의 간섭 신호는 제거되고 디지털 IF 신호로 변조 후 동축케이블, 광케이블, 지상 마이크로웨이브 등의 전송 경로를 통해 수신 지구국으로 전송되게 된다. 위성방송을 수신하기 위해선 수신용 안테나와 셋톱박스(Set Top Box, STB), 튜너 및 수상기 등이 필요하다.

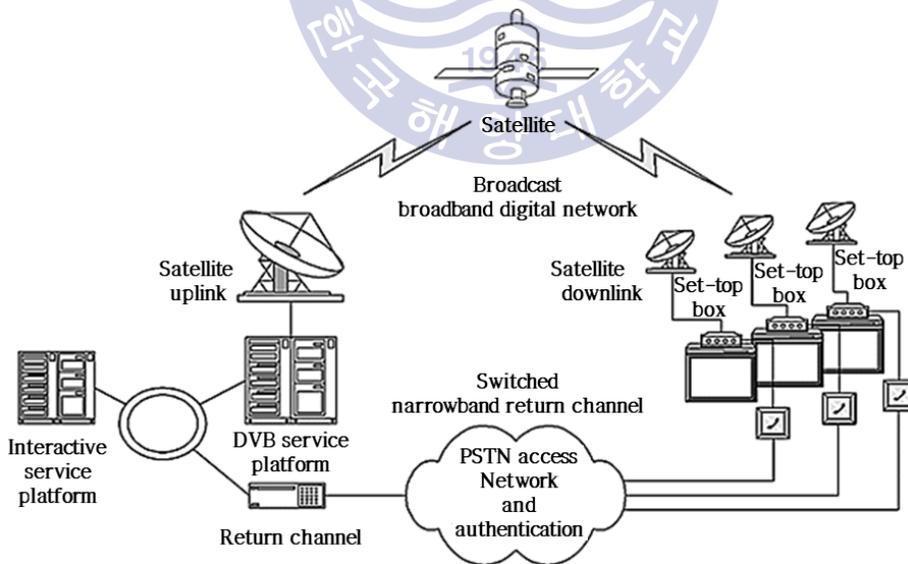


Fig. 6 Components of a satellite-based digital broadcast system

위성통신은 위성을 중계국으로 하여 통신을 하는 것으로써, Fig. 7과 같이 지상의 지구국으로부터 위성에 정보를 전송하는 것을 상향링크라고 하고, 수신된 신호를 위성에서 전기적으로 처리한 후 다시 지구국으로 전송하는 것을 하향링크라고 한다[16]. 위성방송은 주파수가 커야 대량의 정보 전송이 가능해진다. 상향링크와 하향링크의 경우 각각 다른 주파수 대역을 사용하며, 우리나라의 위성방송의 경우, 상향링크를 위한 주파수 대역으로 14.5~14.8 GHz와 하향 링크를 위한 주파수 대역으로 11.7~12.0 GHz를 사용하며 채널당 27 MHz의 대역폭을 할당하여 6개의 방송채널을 제공한다[17].

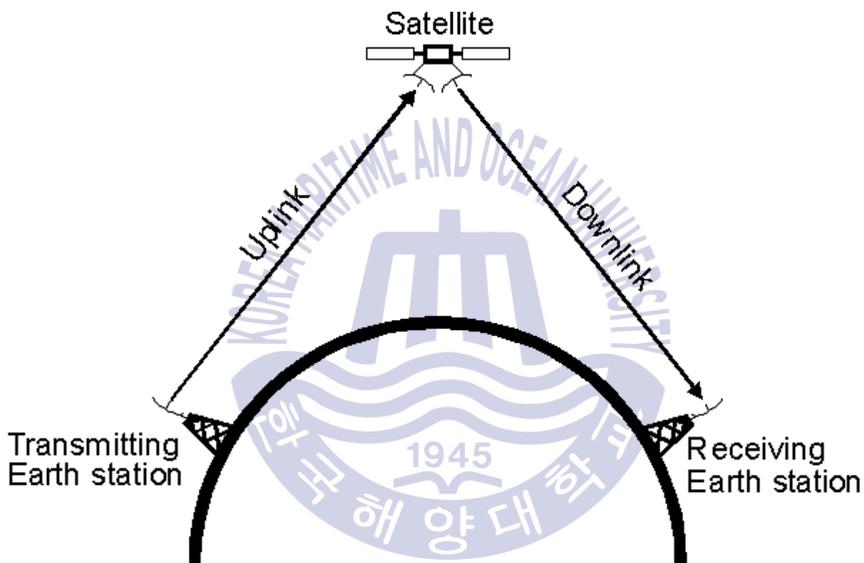


Fig. 7 Using a satellite for long distance communications

Table 3은 WRC-2003 당시 주파수 자원의 공평한 이용 보장을 위해 각 국가별 고정 위성업무 및 방송위성업무 관련 주파수 분배(의제 1.25)시 최소 1개 궤도 위치에서 일정 주파수 자원 지정 및 할당에 관한 내용으로 지역별 분배 대역과 글로벌 분배 대역으로 구분하여 합의된 결과를 바탕으로 작성된 주파수 분배표이며, ITU에서 전 세계를 구분한 3개의 지역을 기준으로 하여 주파수가 할당되어 있다.

**Table 3** Fixed-satellite service (HD-FSS) frequency distribution

	Frequency band(GHz)	Region		Frequency band(GHz)	Region
1	17.3~17.7	1	1	27.5~27.82	1
2	18.3~19.3	2	2	28.35~28.45	2
3	19.7~20.2	All	3	28.45~28.94	All
4	39.5~40	1	4	28.94~29.1	2,3
5	40~40.5	All	5	29.25~29.46	2
6	40.5~42	2	6	29.46~30	All
7	47.5~47.9	1	7	48.2~50.2	2
8	48.2~48.54	1			
9	49.44~50.2	1			

(a) downlink (Satellite to Earth)

(b) uplink (Earth to Satellite)

위성방송 초기에는 아날로그 방송도 있었으나 대역폭과 채널의 문제 때문에 근래에는 위성방송과 디지털 방송의 장점을 포함한 고품질의 디지털 방송 (High Definition, HD)이 대부분이다. 텔레비전 수신전용이라는 의미의 TVRO(Television receive-only)은 일반적으로 C 밴드 대역 아날로그 FSS(Fixed Satellite Service) 유형 위성으로부터 위성 TV의 수신을 언급하기 위해 북미에서 주로 사용되는 용어였지만, 현재는 텔레비전 수신전용 시스템을 통칭하여 사용되고 있으며, 위성으로부터 가입지역내에서 직접 신호를 받을 수 있는 수신전용 지구국용 안테나 시스템을 의미한다.

일반적으로 채널을 분배해서 지상망을 이용하는 케이블TV 방식에 비해 프로그램 송출비용이 저렴한 점과 대용량 데이터와 동영상 파일을 안정적으로 전송할 수 있는 이점을 가지고 있는 TVRO는 PrimeStar, USSB, Bell TV, DIRECTV®, Dish Network 등과 Ku 밴드 위성 신호를 전송하는 Sky TV와 같은 직접 방송 위성 TV 서비스의 도입으로 1990년대 중반까지 미국과 캐나다에서 소비자에게는 위성 수신을 하기 위한의 주요 수단이 되었다. 이러한 서비스는 이론적으로 지역의 DBS(Direct Broadcast Satellite)의 시스템과는 대조적인 개방형 표준 (DVB-S, MPEG-2, MPEG-4)을 기반으로 하고 있지만 대부분의 서비스는 암호화되어 있어 방송사업자가 원하는 선별적 시청자에게 사용자 인증을 통해 서비스를 제공하는 디코더 하드웨어인 CAS(Conditional Access System)용 STB가 필요하다. Fig. 8은 위성 TV 시스템의 일부인 STB 시스템의 블록도이다.

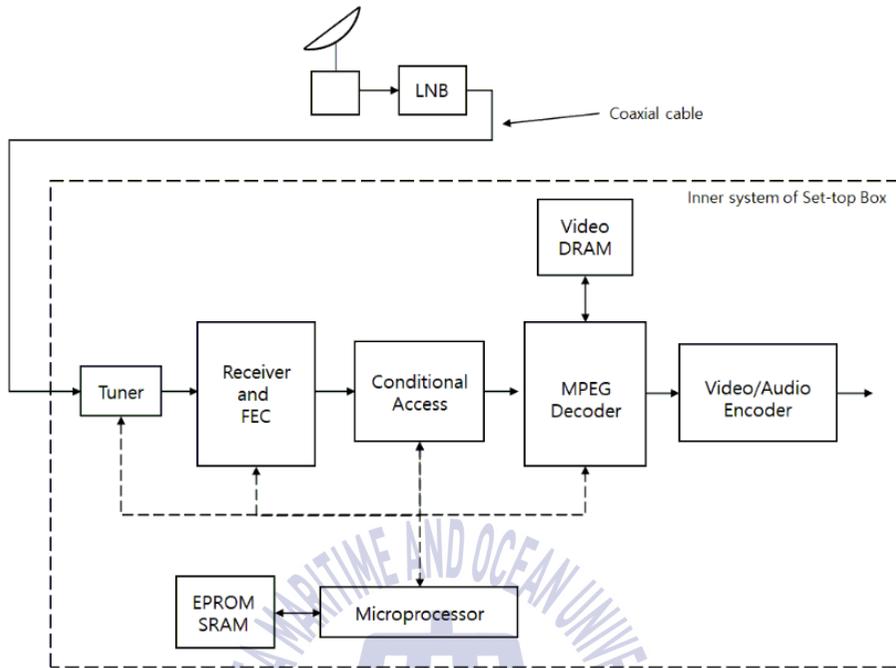


Fig. 8 Set-Top Box system block diagram

일반적으로 유럽, 인도 및 호주에서는 많은 시골 지역이 케이블 TV를 수신할 수 없어 전적으로 위성에 의지하여, 위성 신호는 개별 가정에 텔레비전 신호를 전달하기 때문에 무료 방송 위성 신호를 무료 위성방송인 FTA(Free-to-air)를 안테나 사이즈에 따라 STB를 통해 가정에서 TV 시청이 가능하다. 1세대인 1970년대의 STB는 TV 난청지역 문제 해결을 위한 아날로그 방식의 케이블 TV 수신용 STB 개발로 시작되었으며 단순 수신 기능만을 하였으나 이후 1980년대 위성방송 수신용 및 1990년대 디지털 STB로 점차 그 영역을 확장하였으며, 화질도 SD급에서 HD급으로 고화질 사양으로 발전하였다. 특히, 1990년대 후반부터는 선진국을 중심으로 방송통신서비스의 급격한 디지털화가 진행되어 아날로그 STB에서 디지털 STB로의 대체가 이루어졌다.

1세대의 단순 수신 기능만을 담당하던 STB가 2세대로의 전환기에 진입하여 제한된 수준의 양방향 서비스 제공을 통해 프로그램 가이드 및 날씨 등의 정보를 송수신할 수 있는 STB로 발전하였으며, 2세대에 들어서 양방향 채널 서비스를 통해 원격 쇼핑, 양방향 광고 등이 가능하게 되었다. 기존의 수신 역할을 하던 수동적인 역할이 확대되어 양방향 채널을 통해 시청자에게 좀 더 선택의 권한을 줄 수 있는 방식으로 발전되었다. 3

세대부터는 인터넷 접속, 녹화기술을 가진 PVR 등의 다양한 기술이 부가되어 기존에 TV의 부속제품 형태로 영상만 출력하는 기능에서 컴퓨터와 같이 인터넷을 사용하고, 가정 내 기기를 통제할 수 있는 형식으로 멀티 기기 및 홈네트워킹의 기능을 할 수 있는 방향으로 발전해 가며, 그 활용 영역을 확대하고 있다. Fig. 9는 위성 TV 시스템의 블록도이다.

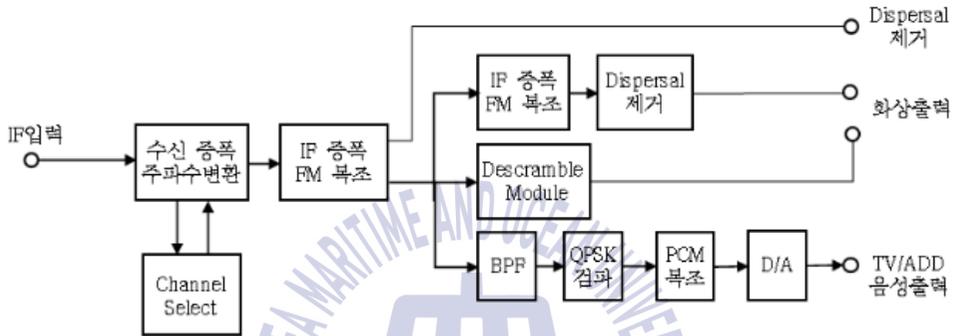


Fig. 9 Satellite TV system block diagram

## 2.3 다중 대역 안테나에 대한 선행 연구

다중 대역 안테나는 현재까지 국내외에서 다양한 연구가 진행되어 왔다. 그 예로, X/Ku 대역 다중 빔 링 포커스 이중 리플렉터 안테나의 경우, X 밴드 원형편파(circular polarization), Ku 밴드 선형편파(Linear polarization)의 광 대역 특성을 갖는 원형 도파관과 테프론 유전체 및 링 포커스 타입의 서브 리플렉터를 사용하여 신호를 수신하는 메인 리플렉터의 직경이 0.98 m인 선박의 위성통신용 안테나가 개발된 사례가 있다 [18]. 또한, C/X 밴드인 3.5~10 GHz의 신호를 수신이 가능한 메인 리플렉터 직경이 2.5 m, 서브 리플렉터 직경이 0.3 m인 다중 대역 링 포커스 리플렉터 안테나도 구현된 바 있다[19]. X/Ku와 Ka 3중 대역의 전파 신호를 송수신 할 수 있는 형태로는 2중 대역 X/Ka 밴드 피드 혼과 단일 대역 Ku 밴드 피드 혼, 3중 대역 주파수 선택막(Frequency selective surface, FSS) 특성을 갖는 서브 리플렉터와 메인 리플렉터로 구성된 0.8 m급의 육십 파라볼라 메인 리플렉터 안테나가 구현된 바 있다[20].

위성 TV 안테나 제조업체의 상용품으로는 DIRECTV®의 HD 및 SD급 프로그램을 방송하는 세 가지 주요 위성 신호를 동시에 수신 할 수 있는 1 m급 다중 대역 안테나인 KVH사의 TracVision HD11과 SeaTel사의 100 TVHD 안테나 시스템이 출시된 바 있다[21],[22].

KVH사의 TracVision HD11의 메인 리플렉터 크기는 약 1 m로 Ku 밴드 대역인 10.7~12.75 GHz와 Ka 밴드 대역 18.3~20.2 GHz의 위성 신호 수신이 가능하며, Fig. 10과 같이 렌즈 안테나의 원리를 이용하여 피드 혼과 서브 리플렉터 사이에 유전체를 사용하여 빔이 좁아져 원하는 지향성의 빔 폭을 갖는 특허기술이 적용된 제품이다.

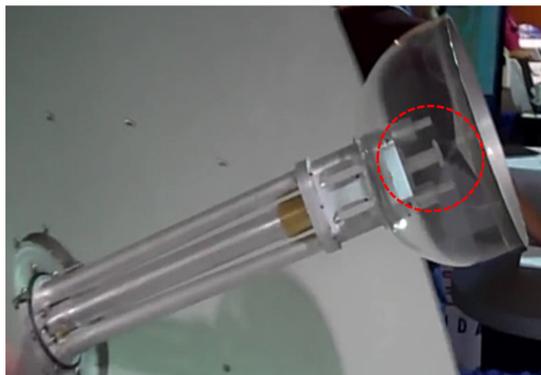


Fig. 10 Seatel HD11 Feed horn assembly

KVH TracVision HD11와 SeaTel 100 TVHD의 제원인 **Table 4**와 **Table 5**와 같이 메인 리플렉터의 지름은 평균 1 m 내외로, Ku/Ka 주파수 대역과 유효 등방성 복사전력 (Effective isotropic radiated power, EIRP)이 동일한 수준인 것을 알 수 있다.

**Table 4** Typical Data for KVH TracVision HD11

	항목		제원
	Manufacturer		KVH
	Model		tracvision hd11
	Diameter (cm)		105.4
	Frequency	Ku	10.7 ~ 12.75 GHz
		Ka	18.3 ~ 18.8 GHz
			19.7 ~ 20.2 GHz
	EIRP	Ku	42 dBW
		Ka	45 dBW
Weight		91 kg	

**Table 5** Typical Data for SeaTel 100 TVHD

	항목		제원
	Manufacturer		SeaTel
	Model		100 TVHD
	Diameter (cm)		106.6
	Frequency	Ku	10.7 ~ 12.75 GHz
		Ka	18.3 ~ 18.8 GHz
			19.7 ~ 20.2 GHz
	EIRP	Ku	42 dBW
		Ka	45 dBW
Weight		104 kg	

## 제 3 장 안테나 설계

### 3.1 Ku/Ka 밴드 다중 대역 안테나 설계사양

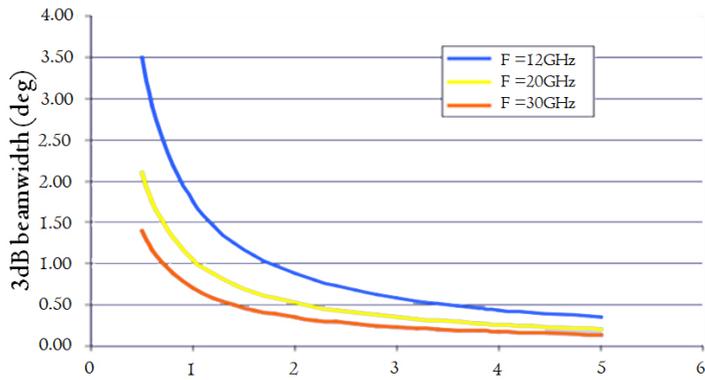
다중 대역을 위한 안테나의 형태는 마이크로스트립 안테나, 어레이 안테나 외에도 다른 여러 가지의 형태를 가질 수 있으나, 본 논문에서는 설계 시 고출력, 고지향성 특성을 고려하여 리플렉터 안테나로 구현하고자 한다.

안테나의 리플렉터는 전자기파를 반사할 수 있도록 금속으로 만들어져야 하며, 안테나의 조립과정에서 금속판의 연결부위 및 전체적인 휨 곡률 등이 기준을 만족하도록 신중한 주의를 기울여야 한다.

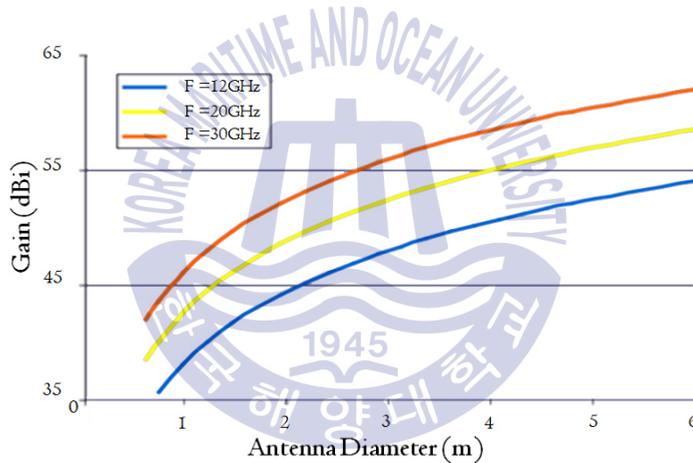
안테나의 리플렉터의 면적은 수신되는 위성 신호의 세기에 따라 달라진다. **Table 6** 은 잡음 지수가 0.7 dB로 일반적인 Universal LNB를 가진 Ku 밴드 안테나의 지름에 따라 이득과 EIRP 전계 강도가 달라짐을 보이고 있다. **Fig. 11**와 같이 안테나 크기에 따른 3 dB 대역폭(반 전력 대역폭)과 이득에 대한 결과에서 Ka 밴드 안테나의 지향성과 이득은 비교적 지름이 큰 Ku 밴드 안테나 보다 큰 것을 알 수 있다.

Table 6 EIRP values and Dish size

EIRP Field Intensity (dBW)	Antenna diameter (cm)	Gain (dB) (11GHz: 60% efficiency)
47dBW	75	36.5
46dBW	80	37.1
45dBW	90	38.1
43dBW	100	39.0
42dBW	110	39.8
41dBW	120	40.6
39dBW	135	41.6
38dBW	150	42.5
37dBW	180	44.1
36dBW	240	46.6
35dBW	300	48.6
34dBW	355	50.0
33dBW	400	51.0
32dBW	450	52.1



(a) 3 dB bandwidth comparison with antenna size



(b) Gain comparison with antenna size

**Fig. 11** Beam & Gain with vs. Antenna size

수신되는 정보의 양은 수신 안테나 개수에 비례하여 증가하지만 실제로 수신 상태에 따라 정보의 양이 제한되므로 안테나의 설치 위치, 지향하고자 하는 위성의 송신 출력과 빔의 크기와 주파수 대역을 고려해야 한다. 안테나의 크기만으로 충분한 수신 이득을 얻기는 어려우므로 위성 신호를 수신 시 기상과 환경, 위성의 신호 품질은 최적의 지향성 이득을 얻기 위해 매우 중요하다.

본 논문에서는 위성의 TV 신호를 수신을 하기 위한 다중 대역 안테나를 설계하기 위해 앞서 보인 현재 출시된 제품과 동등한 성능 수준 이상을 목표로 한다. 안테나 설계 구조는 Fig. 12와 같이 메인 리플렉터 전면부에 두 개의 Ka 밴드 피드 혼과 그 사이에 Ku 밴드 피드 혼을 두고 있으며, 피드 혼 전면부에 서브 리플렉터를 두어 각각의 Ku/Ka 밴드 위성들로 부터 오는 위성 신호가 메인 리플렉터와 서브 리플렉터로 반사되어 유입될 때 단일체로 구성된 3개의 피드 혼을 통합 피드 혼으로 구현하여 안테나 하나로 동시에 3개의 위성 신호 수신이 가능한 안테나를 제안하고자 한다.

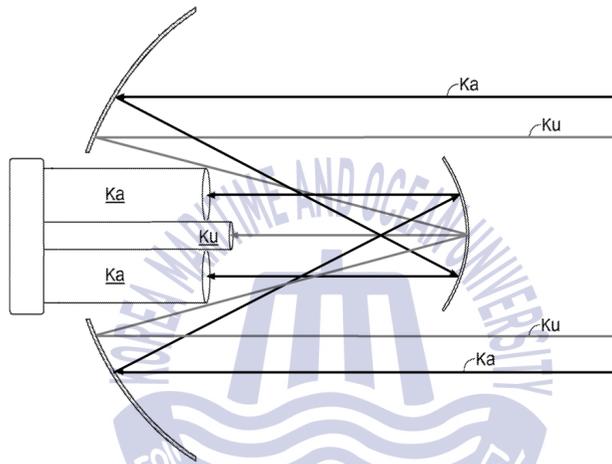


Fig. 12 Dynamic beam tilting

일반적으로 단일 파라볼라 안테나의 리플렉터는 하나의 초점만을 가지므로 다중 대역 안테나를 설계하기 위해서는 서로 다른 대역에서 동작하는 여러 개의 피드 혼을 메인 리플렉터의 중심 초점에 배치하는 불가능하며, 하이퍼볼라 서브 리플렉터와 파라볼라 리플렉터에 의한 두 개의 초점을 갖는 카세그레인 구조의 경우에는 서브 리플렉터가 위성신호를 가로 막고 있기 때문에 여러 개의 피드 혼을 구조를 가질 수 없다. 또한, 서브 리플렉터는 메인 리플렉터에 비해 가능한 작게 제작되어야 하지만 신호 파장의 최소 5배 이상 되어야 서브 리플렉터의 역할을 하게 되며, 파라볼라 안테나로 기능을 발휘하기 위해서는 안테나의 지름이 입사파 파장의 10배 이상 되어야 성능을 발휘하게 된다.

카세그레인 구조의 파라볼라 안테나로 다중 대역 안테나를 구현하며, 일반적인 제약 조건을 해소하기 위해 Ka/Ku 밴드 위성 간의 빔 경사각과 메인 리플렉터와 피드 혼 사이의 초점 간격을 이용하여 다중 대역 안테나를 설계하였으며, 설계 방법과 순서는 Fig. 13 와 같다.

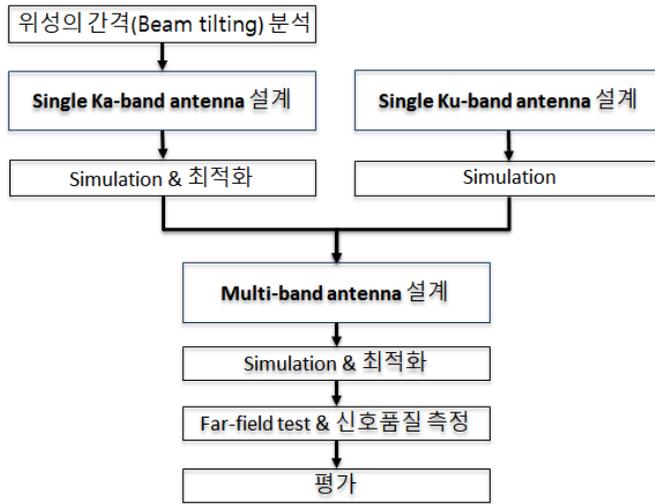


Fig. 13 Sequence of multi band antenna design & test procedure

실제의 위성들은 개별 Spot Beam을 통해 정해진 영역과 지역을 중심으로 신호를 송신하게 된다. 설계 목표인 북미 지역의 DIRECTV®의 HD 디지털 위성방송 서비스 중 Ka 밴드 위성의 HD TV 신호를 수신하기 위해 99°와 103° 위성의 간격을 확인하기 위해 Fig. 14와 같이 안테나의 위치를 미국 전 지역 대상으로 시뮬레이션 하여, 실제 위성들 간의 평균 경사각을 분석하였다. Table 7의 결과와 같이 인접 위성들 간의 간격이 평균 2.2319°임을 확인 하였으며, 링셋 서비스(www.lyngsat.com)에 따르면, Fig. 15와 같이 근사적으로 위성 간 약 2°의 간격을 두고 있음을 알 수 있다.

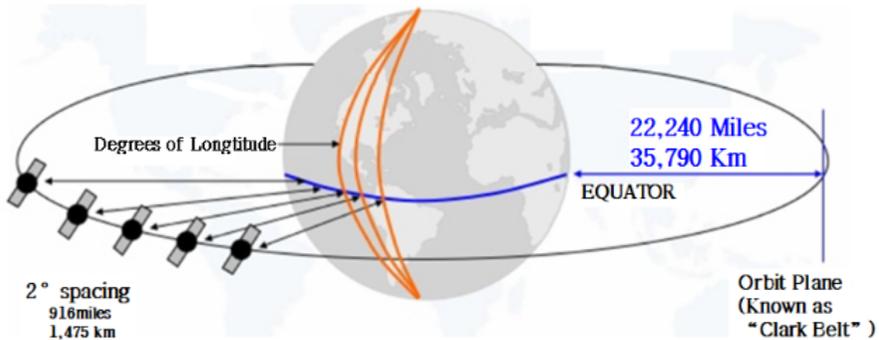


Fig. 14 Distance between GEO satellites

**Table 7** Satellite tilt angle

Position (Beam No.)	99° ~ 101°	101° ~ 103°
Irvine (11)	2.2432	2.2451
Miami (15)	2.3032	2.2962
Boston (1)	2.2093	2.1961
Seattle (10)	2.176	2.1863
Average	2.2319°	

61.5°W	EchoStar 16	Ku	105.0°W	AMC 18	C
65.0°W	Star One C1	C	107.3°W	Anik F1R	CKu
	Eutelsat 65 West A	C		Anik G1	Ku
70.0°W	Star One C2	CKu	110.0°W	DirecTV 5	Ku
	Star One C4	Ku		EchoStar 10	Ku
71.8°W	Arsat 1	Ku		EchoStar 11	Ku
72.7°W	Nimiq 5	Ku	111.1°W	Anik F2	Ku
75.0°W	Star One C3	CKu	113.0°W	Eutelsat 113 West A	CKu
77.0°W	QuetzSat 1	Ku	114.9°W	Eutelsat 115 West B	C
78.8°W	Sky Mexico 1	Ku	116.8°W	Eutelsat 117 West A	CKu
81.0°W	Arsat 2	Ku		Anik F3	Ku
82.0°W	Nimiq 4	Ku	119.0°W	DirecTV 7S	Ku
87.1°W	SES 2	CKu	121.0°W	EchoStar 14	Ku
	TKSat 1	Ku		EchoStar 9/Galaxy 23	CKu
89.0°W	Galaxy 28	C	123.0°W	Galaxy 18	CKu
91.0°W	Galaxy 17	CKu	125.0°W	AMC 21	Ku
	Nimiq 6	Ku		Galaxy 14	C
97.0°W	Galaxy 19	CKu	127.0°W	Galaxy 13/Horizons 1	C
99.2°W	Galaxy 16	CKu	129.0°W	Ciel 2	Ku
	Spaceway 2 & DirecTV 11	Ka		131.0°W	AMC 11
101.0°W	SES 1	C	133.0°W	Galaxy 15	C
103.0°W	Spaceway 1 & DirecTV 10/12	Ka	135.0°W	AMC 10	C
	SES 3	CKu		139.0°W	AMC 8

**Fig. 15** Distance between GEO satellites of North & South America

본 논문에서는 다중 대역 안테나 설계 시 메인 리플렉터 전면부에 두 개의 Ka 밴드 피드 혼과 그 사이에 Ku 밴드 피드 혼을 두고 있으며, Ku 밴드 피드 혼은 메인 리플렉터의 중앙에 위치하며, 안테나의 수직 방향으로 2개의 Ka 밴드 메인 빔은 약  $2.23^\circ$ 의 경사각을 갖도록 설계할 것이다.

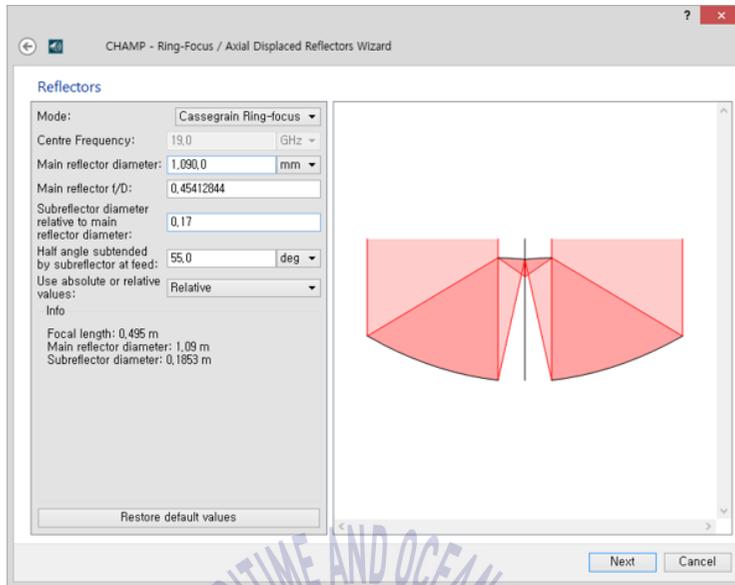


### 3.2 단일 대역 Ka 밴드 안테나 설계

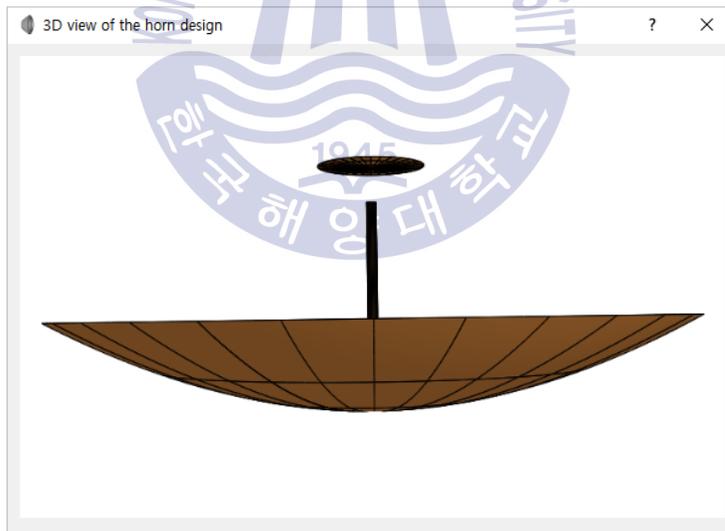
TICRA CHAMP 안테나 설계 프로그램을 사용하여 Ka 밴드 안테나 설계 시 Ka 밴드 주파수 대역 18.3~18.8 GHz, 19.7~20.2 GHz 구간 내의 지향성 이득을 만족하도록 설계하기 위해 메인 리플렉터와 서브 리플렉터 사이즈는 동등 수준의 성능을 가진 상용품의 제원을 참고하여 **Table 8**과 같이 설계 파라미터를 구성하여 사이즈는 고정시켜 놓고 F/D를과 반값 각(Half angle)을 변수로 하여 바꾸면서 **Fig. 16**와 같이 초점 거리 4950 mm인 단일 Ka 밴드 안테나를 설계 하였다.

**Table 8** Single Ka band antenna parameter

Parameter	Specification	
Mode	Ring focus	
Type	Cassegrain	
Main Reflector diameter	Ø1090mm	
Frequency	Lower	18GHz
	Upper	21GHz
	Center	19.5GHz
Main Reflector F/D	0.45	
Sub Reflector diameter	Ø185.3mm	
Sub Reflector Ratio	0.17	
Half Angle	55°	



(a) Single Ka band antenna parameters



(b) Designed single Ka band antenna

**Fig. 16** Single Ka band antenna design

초점거리와 안테나 지름의 비를 나타내는 F/D 및 안테나의 초점거리는 메인 리플렉터의 직경과 깊이의 관계식 식(3.1)으로 나타내며, 피드 혼 설계 시 구성 요소에 대한 구조와 명칭은 Fig. 17과 같다.

$$f = \frac{D^2}{16d} \quad (3.2.1)$$

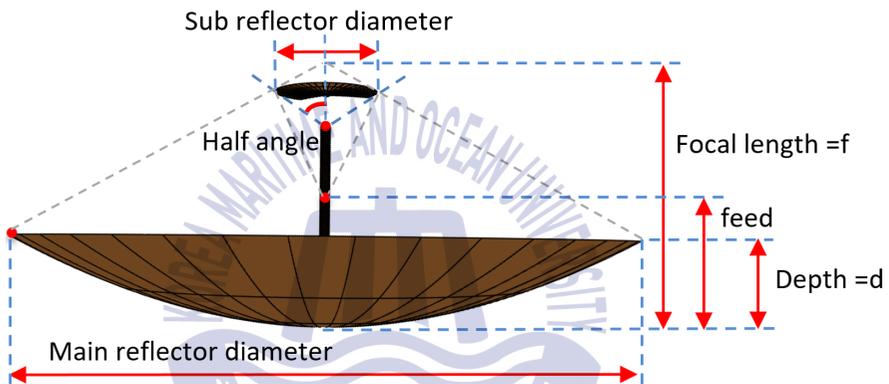
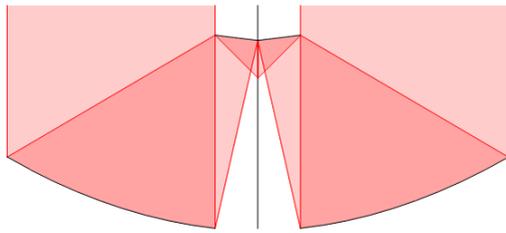
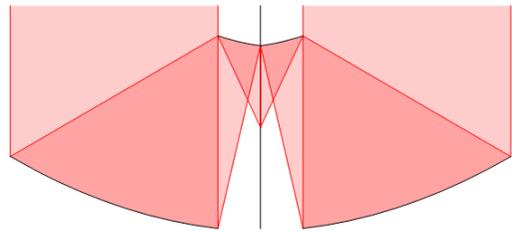


Fig. 17 Structure & Name of parabolic antenna design elements

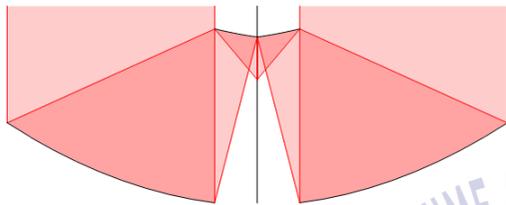
변수 F/D률과 피드 혼과 서브 리플렉터에 의해 형성된 각, 변수 반값 각에 대하여 메인 리플렉터와 서브 리플렉터의 지름은 동일한 환경에서 시뮬레이션을 통해 Fig. 18 과 같이 반값 각이 커질수록 경사각이 커지며, F/D값이 커질수록 이득이 높아짐을 Fig. 19를 통해 확인하였다. (F/D의 범위:  $0.25 < F/D < 0.35$ )



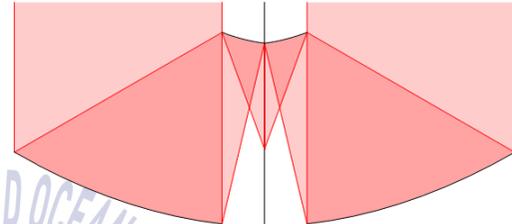
(a) F/D: 0.45, Half angle: 45 °



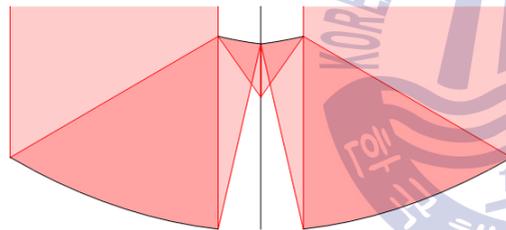
(e) F/D: 0.45, Half angle: 25 °



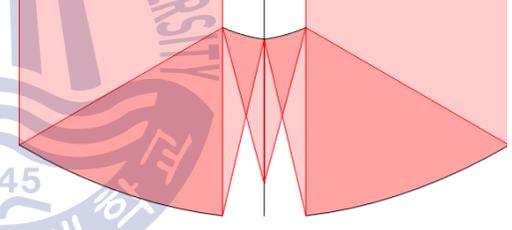
(b) F/D: 0.45, Half angle: 40 °



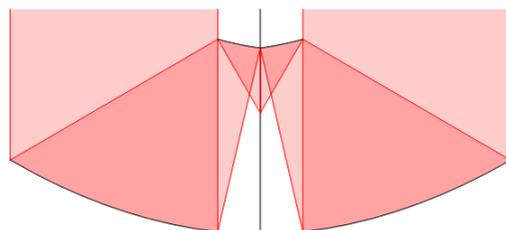
(e) F/D: 0.45, Half angle: 20 °



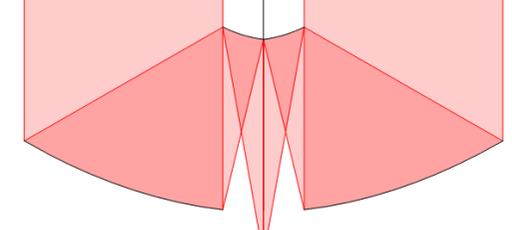
(c) F/D: 0.45, Half angle: 35 °



(f) F/D: 0.45, Half angle: 15 °

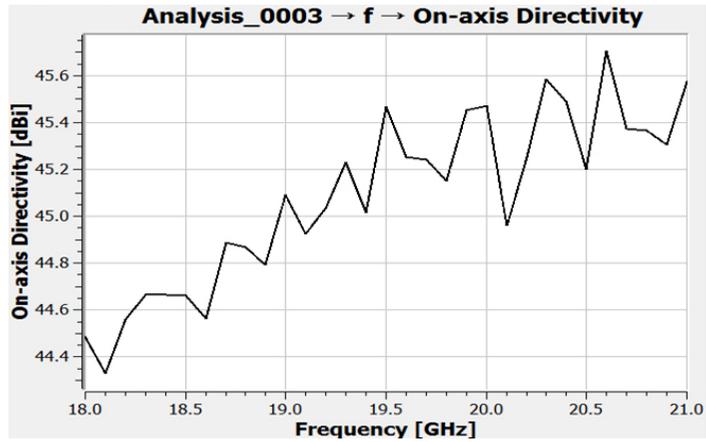


(d) F/D: 0.45, Half angle: 30 °

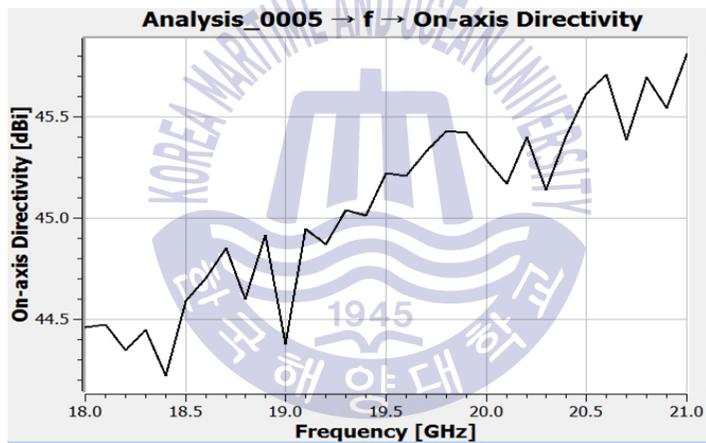


(g) F/D: 0.45, Half angle: 10 °

**Fig. 18** Tilting angle change according to the different of half angle



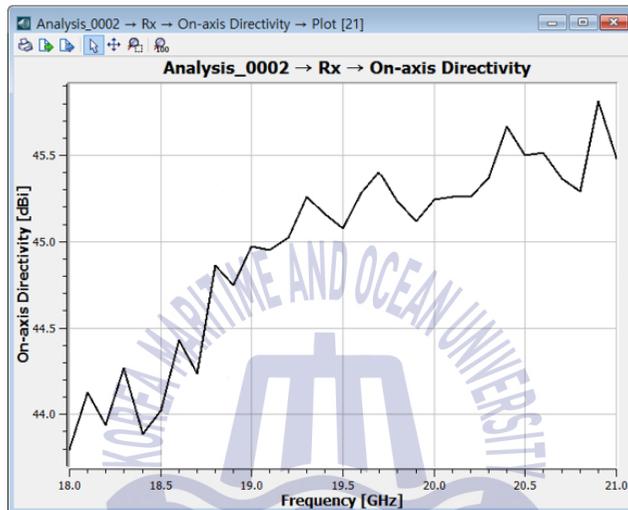
(a) F/D: 0.3, Half angle: 55 °



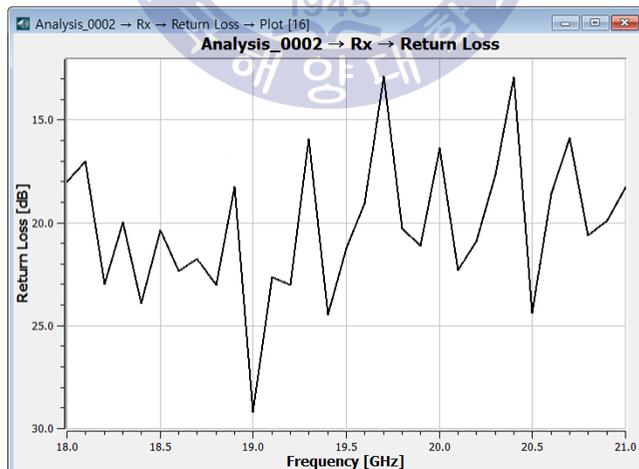
(b) F/D: 0.26, Half angle: 55 °

Fig. 19 Directivity change according to the different ratios of F/D

Fig. 20은 Ka band 안테나 설계 후 18.3~18.8 GHz, 19.7~20.2 GHz 구간 내 지향성과 반사손실을 측정된 결과이다. 안테나 성능 규격 지향성 37.4 dBi 이상 기준, 18.3~18.8 GHz 대역 43.8 dBi, 19.7~20.2 GHz 대역에서는 45.1 dBi으로 기준 성능을 만족하였으며, 안테나 성능 규격 반사손실 18 dB 이상 기준, 18.3~18.8 GHz 대역 18 dB, 19.7~20.2 GHz, 대역에서는 16~22 dB로 성능을 만족하였다.



(a) Axis directivity of designed single Ka band antenna



(b) Return loss of designed single Ka band antenna

Fig. 20 Directivity & Return loss of designed single Ka band antenna

TICRA CHAMP 설계 프로그램으로 설계된 리플렉터 안테나의 중심 축에서 지향성을 갖는 2개의 단일 Ka 밴드 안테나 피드 혼의 제원을 Fig. 21, Fig. 22와 같이 CST MWS를 사용하여 2중 Ka 밴드 안테나로 구현하기 위해 개별로 모델링을 하였다. 위성들 간의 평균 간격  $2.2319^\circ$ 와 가장 근접한 빔 경사각을 갖도록 메인 리플렉터의 중심에서 25.2 mm로 오프셋 시켜 빔 경사각  $2.23^\circ$ 로 최적화 후 Ka 밴드 피드 혼을 서브 리플렉터 방향으로 거리를 5~10 mm로 근접하는 시뮬레이션을 통해 10 mm로 이격 시 지향성 이득 44 dBi를 갖는 2중 Ka 밴드 안테나를 설계하였다.

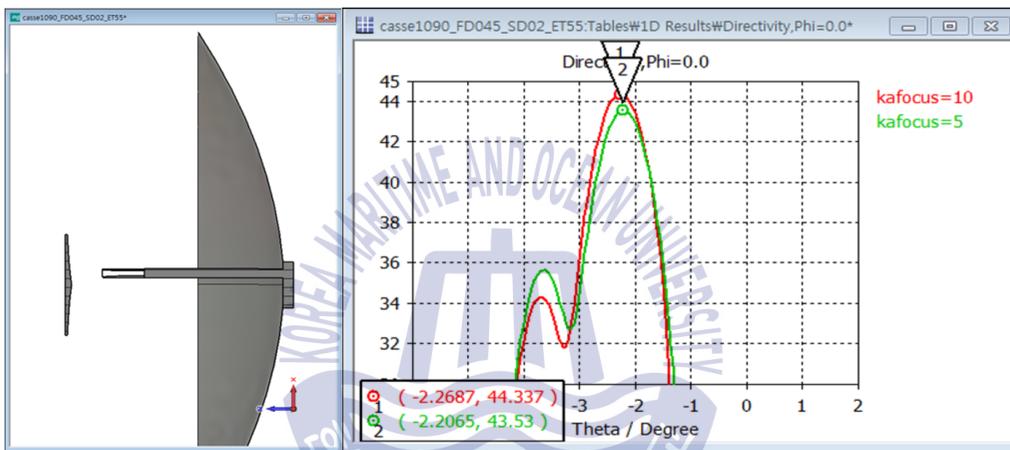


Fig. 21 Offset & Radiation pattern (R) of single Ka band antenna

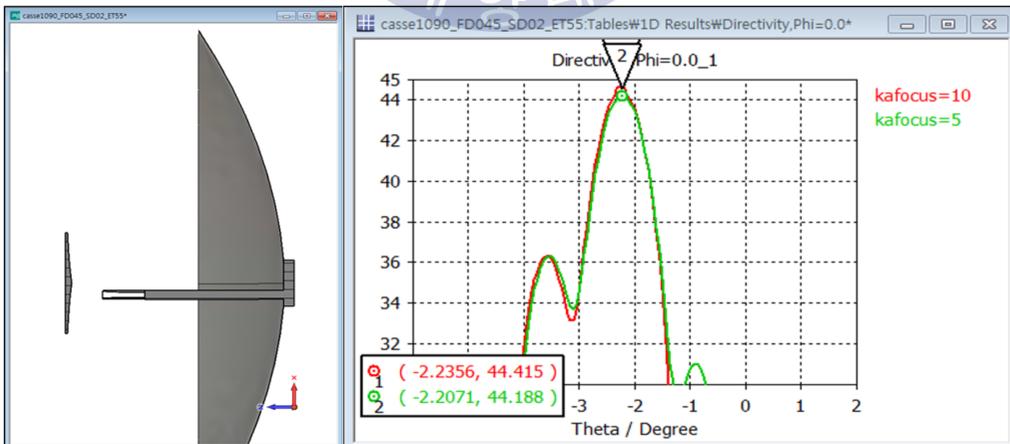


Fig. 22 Offset & Radiation pattern (L) of single Ka band antenna

### 3.3 단일 대역 Ku 밴드 안테나 설계

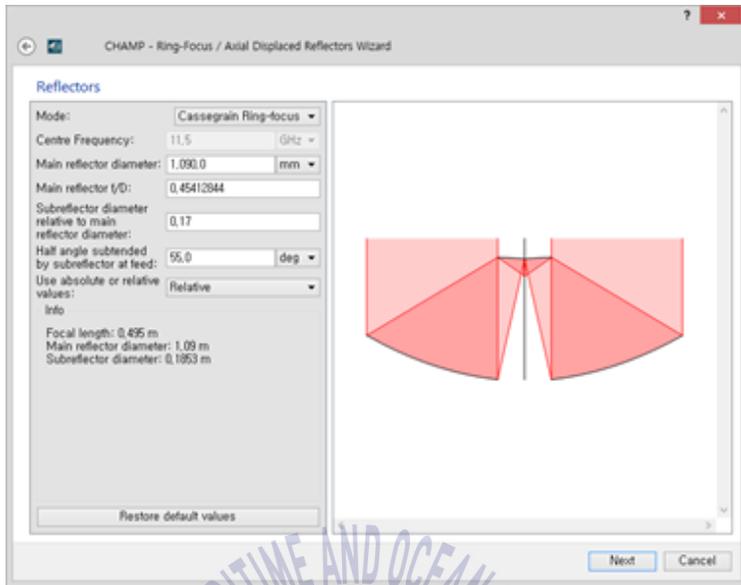
단일 Ka 밴드 안테나 설계와 동일한 방법으로 TICRA CHAMP 안테나 설계프로그램을 사용하여 메인 리플렉터의 초점거리와 직경을 변수로 하는 Ka 밴드 대역 10~13 GHz 구간 내에서 Ku 피드 혼의 지향성을 만족하도록 Table 9와 같이 F/D를 0.45, 반값 각 55°의 안테나 설계 요소를 구성하여 단일 Ku 밴드 안테나를 설계하였다.

Table 9 Single Ku band antenna parameter

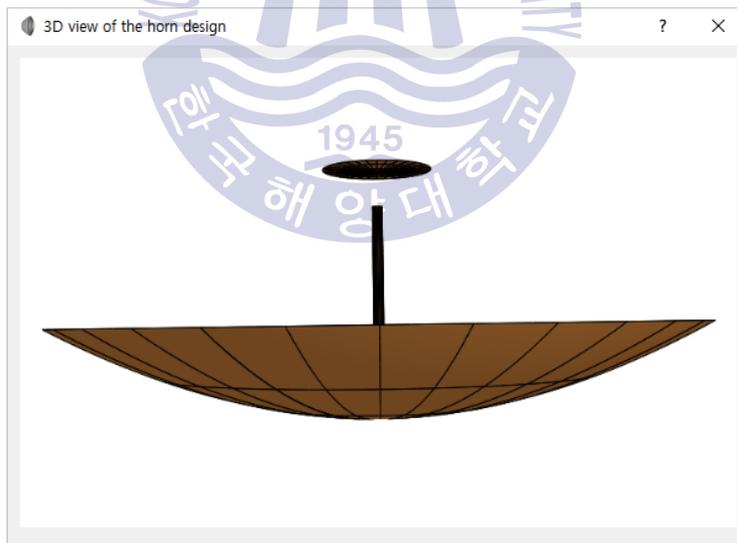
Parameter		Specification
Mode		Ring focus
Type		Cassegrain
Main Reflector diameter		Ø1090mm
Frequency	Lower	10GHz
	Upper	13GHz
	Center	11.5GHz
Main Reflector F/D		0.45
Sub Reflector diameter		Ø185.3mm
Sub Reflector Ratio		0.17
Half Angle		55°

다중 대역 안테나 메인 리플렉터 중간 지점에 배치되는 단일 Ku 밴드 피드 혼은 구조적으로 2중 Ka 밴드 피드 혼과 일체형으로 구성되어야 하므로 보다 나은 효율과 지향성 이득을 위해 TICRA CHAMP 안테나 설계프로그램 내 Optimization에 최적의 변수 값이 확보 되어 기존의 메인 리플렉터를 성형 후 Fig. 23, Fig. 24와 같이 설계하였다.

Fig. 25는 카세그레인 안테나의 빔 포인팅 정밀도를 최적화하기 위해 +δv 지점을 변수로 하는 성형 기법으로 설계 시 초점이 왜곡 되거나 포인팅 에러 시 최적의 성형 지점을 이용하여 기존의 편향된 부분을 보정함으로써 초점이 δfp 이동되어 최적화 될 수 있다. Fig. 26과 같이 성형 전과 후의 지향성을 시뮬레이션을 통해 검증 시 이득에서는 큰 차이는 없었지만 이득의 안정도 특성 상 성형된 안테나가 기존의 안테나 보다 비교적 양호한 것으로 확인하였다.



(a) Single Ku band antenna parameters



(b) Designed single Ku band antenna

**Fig. 23** Single Ku band antenna design

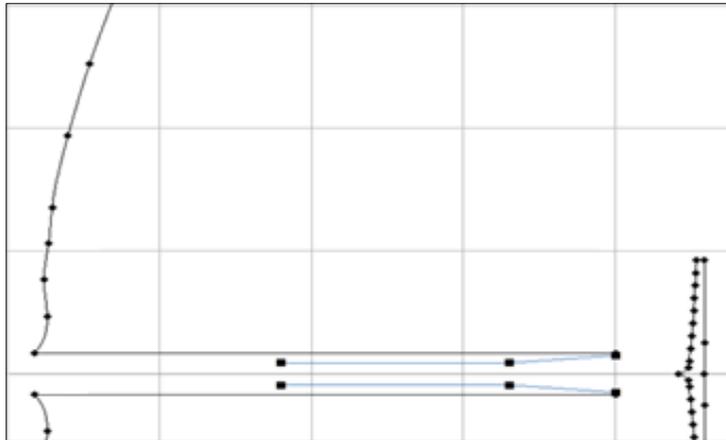


Fig. 24 Main reflector shaping

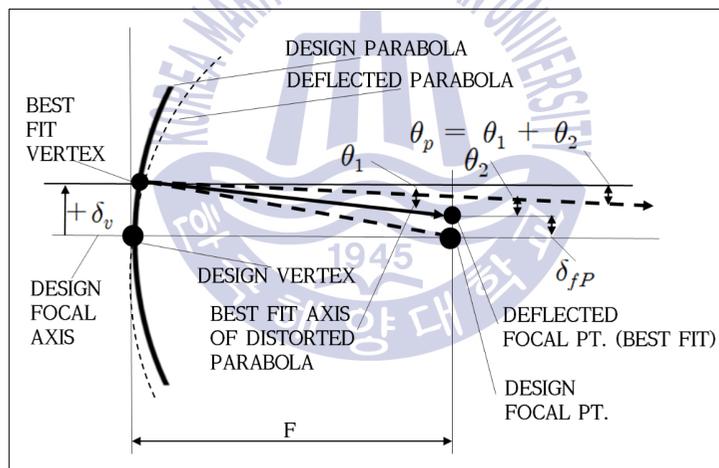
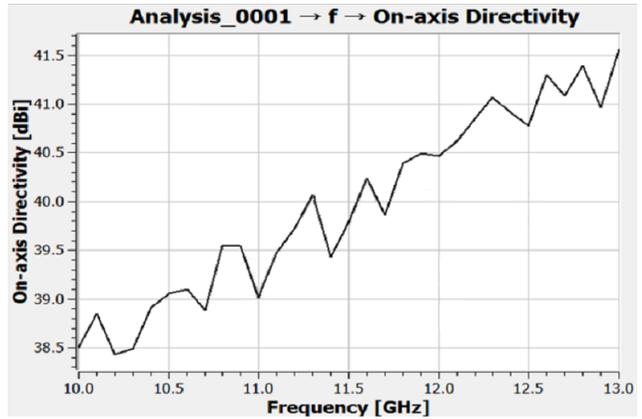
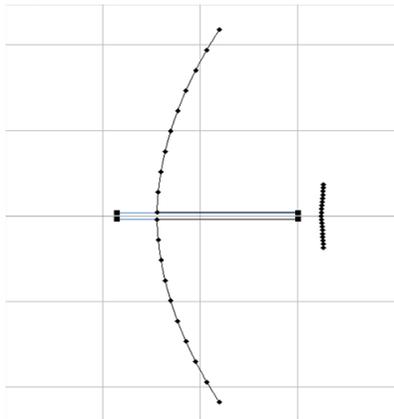
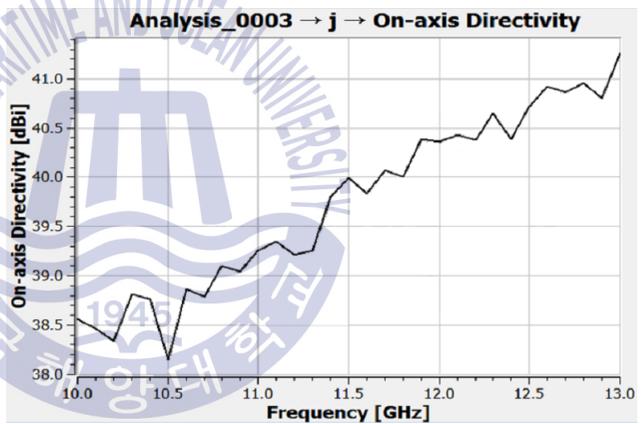
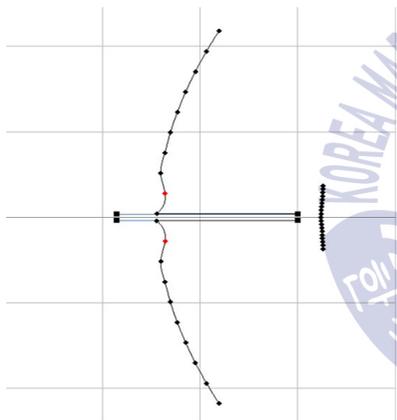


Fig. 25 Effect of reflector on beam pointing



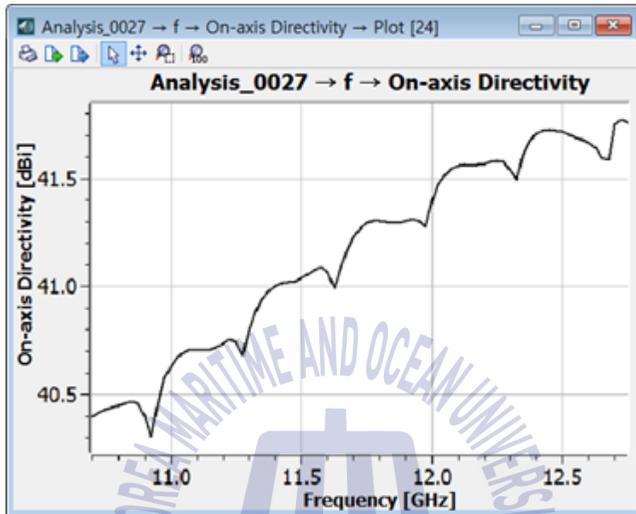
(a) Pre-design



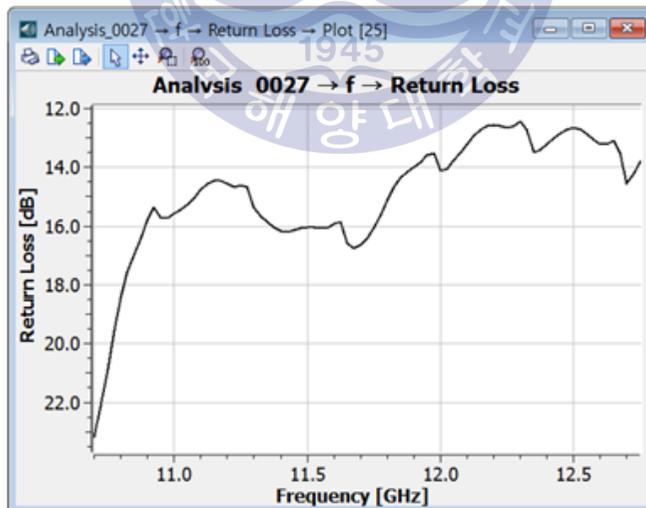
(b) Shaping completed

Fig. 26 Shaping design of cassegrain reflector antennas

Fig. 27은 단일 Ku 밴드 안테나의 10.7~12.25 GHz 대역 내 지향성 및 반사 손실 측정을 한 결과이다. 안테나 성능 규격 지향성 37.4 dBi 이상 기준, 10.7~12.25 GHz 대역에서 40.3 dBi 이상으로 기준 성능을 만족하였으며, 안테나 성능 규격 반사손실 13 dB 이상 기준, 10.7~12.25 GHz 대역 내에서 13 dB 이상으로 기준 성능을 만족하였다.



(a) Axis directivity of designed single Ku band antenna



(b) Return loss of of designed single Ku band antenna

Fig. 27 Directivity & Return loss of single Ku band antenna

### 3.4 Ku/Ka 밴드 다중 대역 안테나 설계

GEO의 인접 위성들 간의 약  $2^\circ$  간격과 가장 근접한 경사각을 CST MWS로 설계한 2중 Ka 밴드 안테나와 TICRA CHAMP 안테나 설계 프로그램으로 Ku 밴드의 특성이 최적화 된 단일 Ku 밴드 안테나를 다중 대역 안테나로 모델링하기 위해 CST MWS를 사용하였다.

일체형으로 모델링 된 다중 대역 안테나의 Ka/Ku 밴드 피드 혼을 지향성을 기준으로 최적화하기 위해 서브 리플렉터 방향으로 Ka 밴드 피드 혼은 9~11 mm, Ku 밴드 피드 혼은 3~10 mm로 근접하여 결과를 확인하였다. Fig. 28, Fig. 29와 같이 2중 Ka 밴드에서는 앞에서의 단일 Ka 밴드 설계 결과와 동일하게 서브 리플렉터와의 간격이 10 mm로 근접하는 형상일 때 평균 43.75 dB의 지향성과 경사각  $2.23^\circ$ 를 만족하였고, Ku 밴드 피드 혼은 서브 리플렉터 방향으로 6.5 mm 근접할 때 Ku-band 전 대역에서 지향성이 이상적으로 확인되어 Ka/Ku 밴드 다중 대역 특성을 갖는 안테나를 설계하였다.

Fig. 30과 같이 다중 대역 안테나의 2중 Ka 밴드 피드 혼을 서브 리플렉터 방향으로 10 mm 초점 거리를 근접시킨 후 초점거리를 tuning 하기 전과 비교 시 18.55 GHz에서 기존 42.2 dBi 대비 평균 43.75 dBi로 약 1.55 dB 개선되었고 경사각도 약  $+0.18^\circ$  이동시킨 후  $2.2319^\circ$ 로 최적화 되었다.

18.3~18.8 GHz에서 지향성 이득 42.0 dBi 설계 목표 대비 1.7 dB 이상으로 만족하였고, 19.7~20.2 GHz에서는 지향성 이득 43.0 dBi 설계 목표 대비 1.85 dB 이상의 설계 마진으로 다중 대역 안테나의 Ka 밴드 설계 목표 기준 성능을 만족하였다.

Ku 밴드 피드 혼은 Fig 31과 같이 서브 리플렉터 방향으로 6.5 mm 근접 후 12.5 GHz에서 기존 대비 약 2.15 dB 개선됨을 확인하였다. 지향성 이득 40 dBi의 설계 목표 대비 1 dB 이상의 마진으로 다중 대역 안테나의 Ku 밴드에서도 목표 성능을 만족 하였다. Fig. 32는 설계된 Ku/Ka 밴드 다중 대역 안테나의 모형이다.

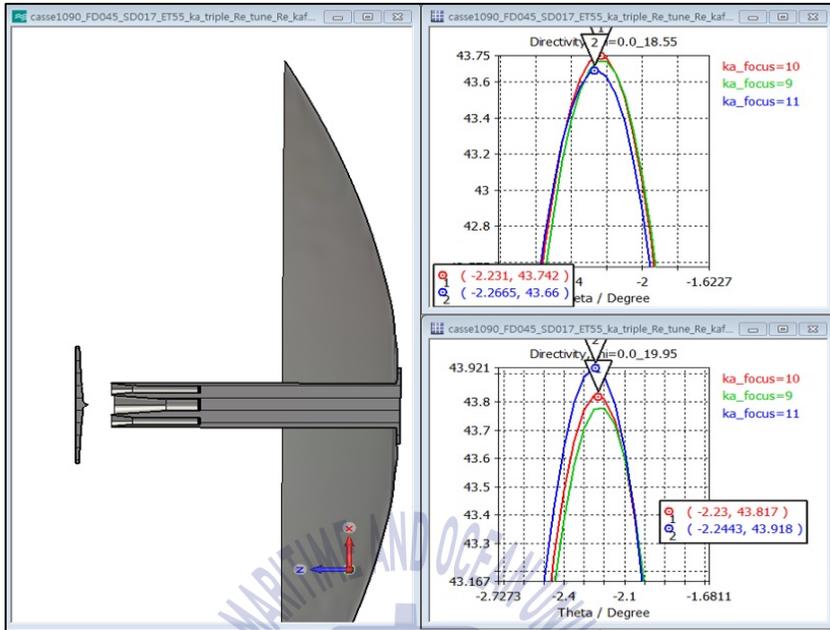


Fig. 28 Ka band Feed Horn Focus Tuning

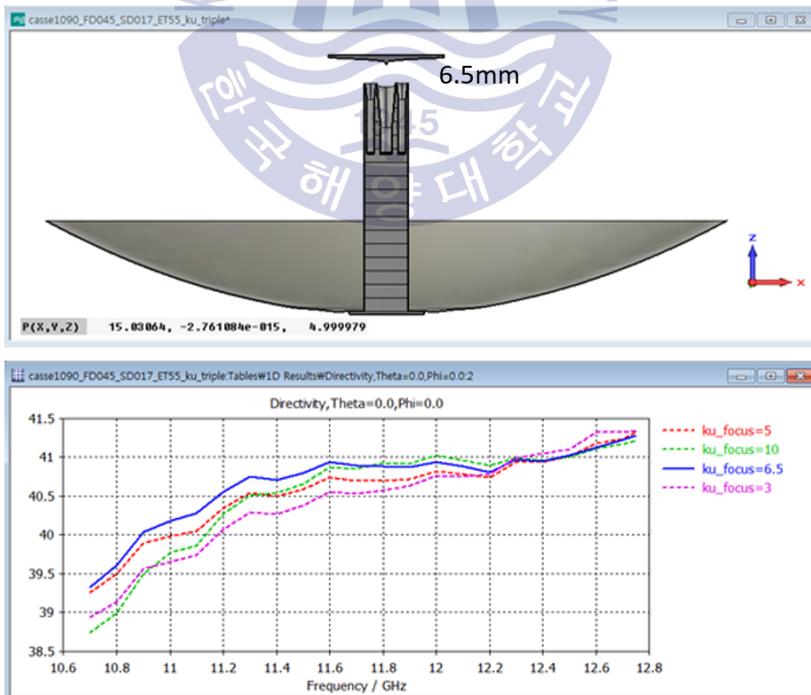
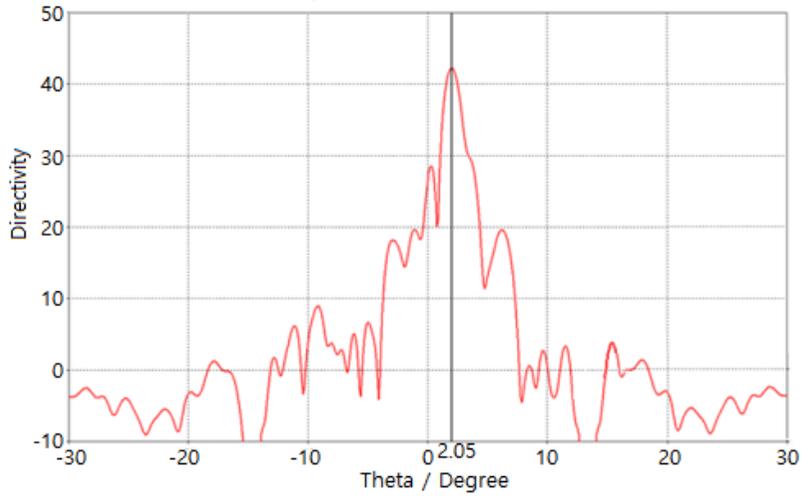
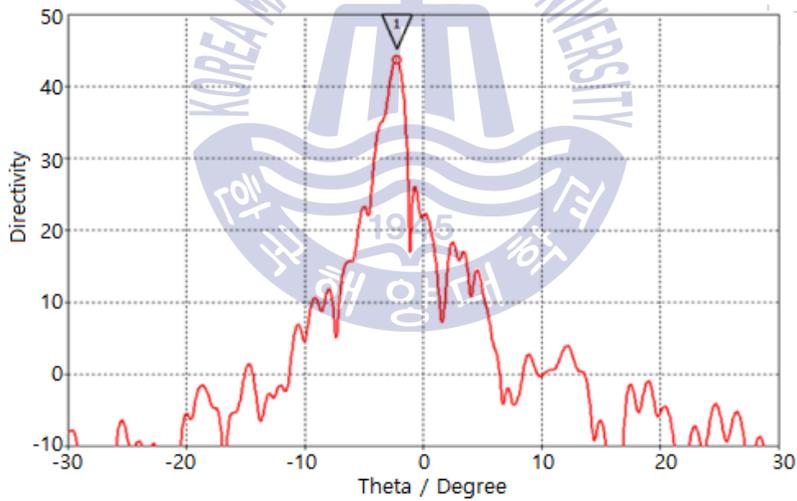


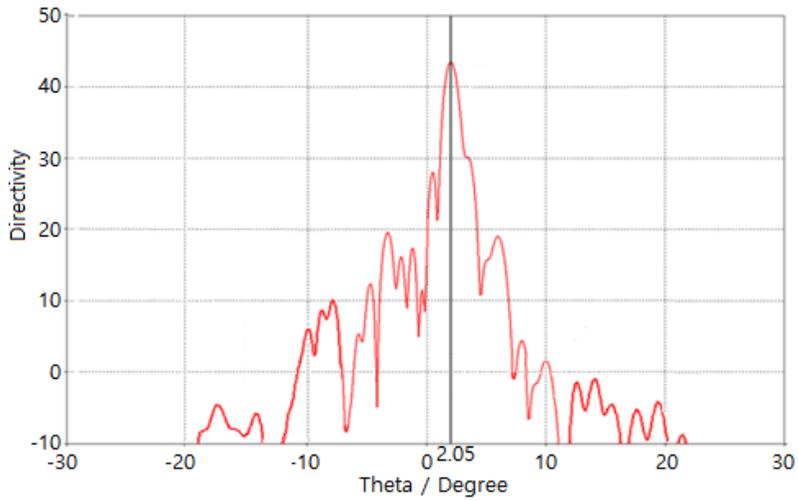
Fig. 29 Ku band feed horn focus tuning



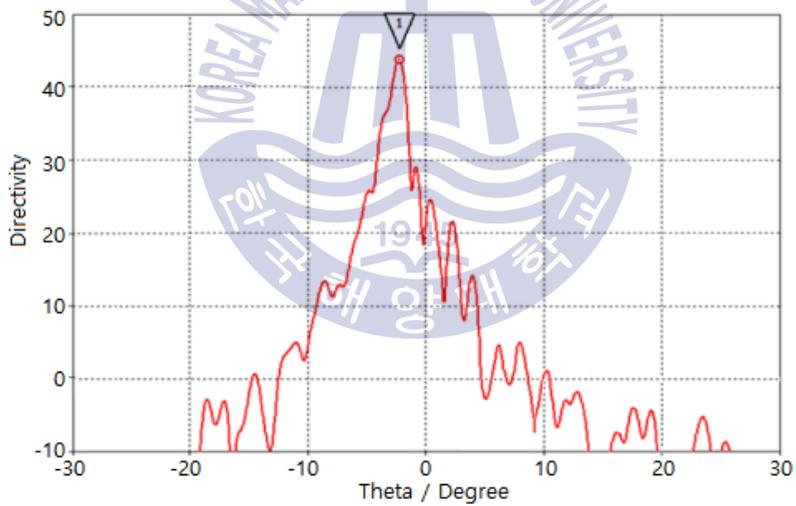
(a) Gain & tilt angle of original ( $f=18.55$  GHz)



(b) Gain & tilt angle of modified Ka band antenna ( $f=18.55$  GHz)



(c) Gain & tilt angle of single Ka band ( $f=19.95$  GHz)



(d) Gain & tilt angle of modified Ka band antenna ( $f=19.95$  GHz)

**Fig. 30** Comparison of Ka band feed horn directivity

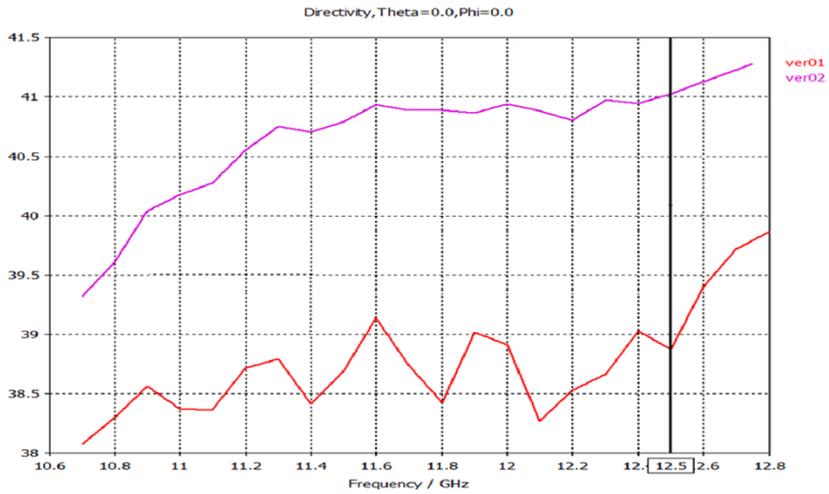


Fig. 31 Comparison of Ku band feed horn directivity

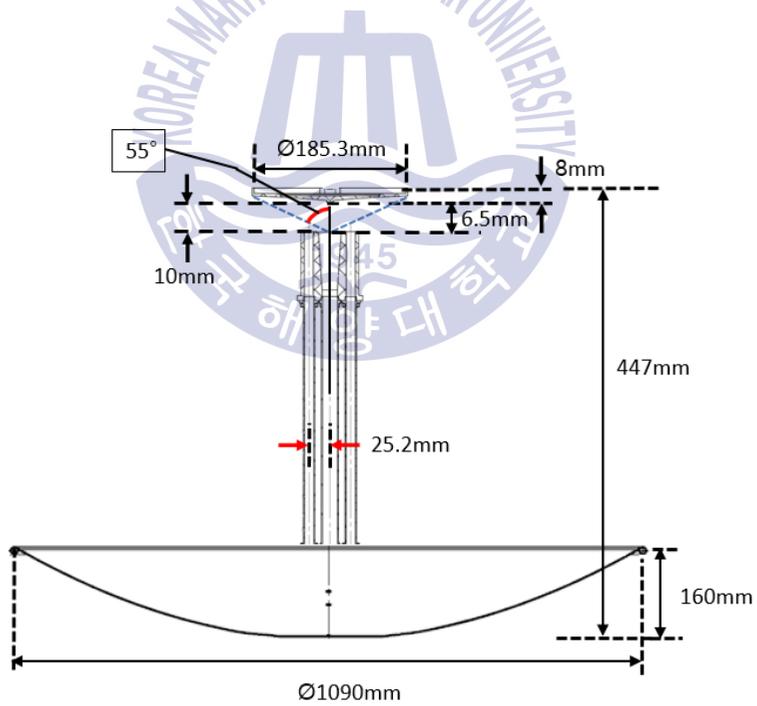


Fig. 32 Designed Ku/Ka multi band antenna

## 제 4 장 안테나 실험 및 측정

### 4.1 원거리 방사 패턴 측정

앞 장에서 설계된 다중 대역 안테나 설계 결과를 바탕으로 제작된 안테나의 실험을 진행하였다. 본 논문에서의 원거리 방사패턴 시험은 Ku/Ka 밴드 위성 TV 신호를 수신하기 위한 안테나의 특성을 확인하기 위한 목적으로 소스 안테나를 통해 방사되는 송신 신호를 측정안테나에서 수신 시 이득의 정도를 측정하는 방법으로 진행되었다. Test 구성 제원은 Fig. 33과 같으며, 150m 가량 떨어진 신호발생기가 연결된 소스 안테나로부터 신호 발생기를 통해 유입되는 신호를 받는 수신 안테나의 방향을 조금씩 바꾸어가며 수신되는 신호의 상대 전력을 측정하고자 한다.

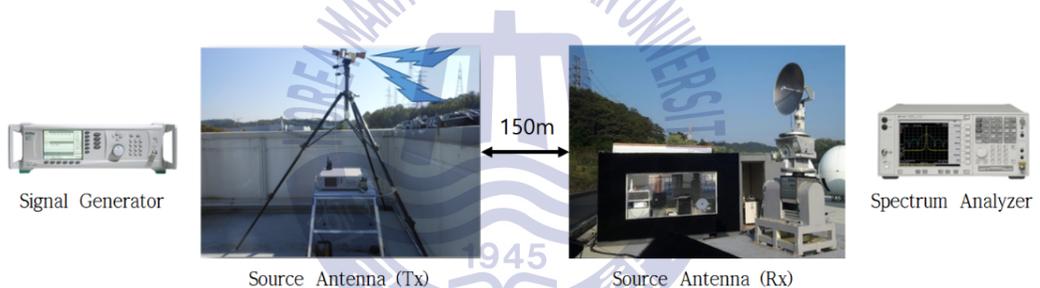
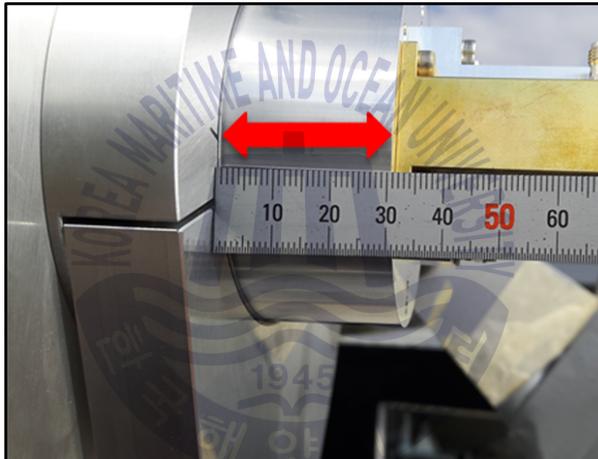
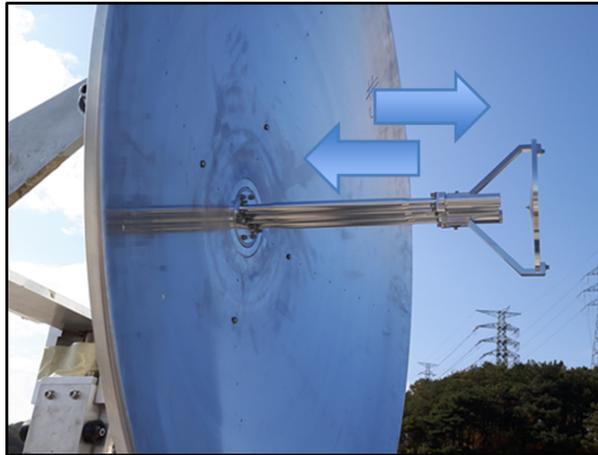
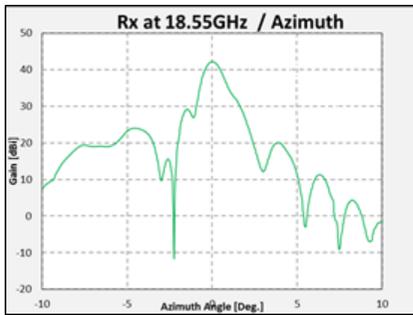


Fig. 33 Far field test configuration

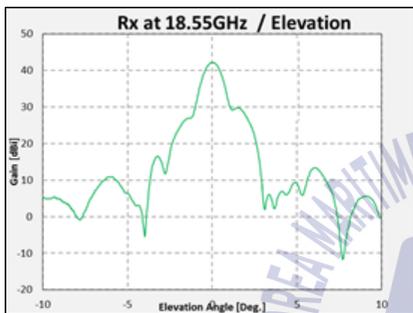
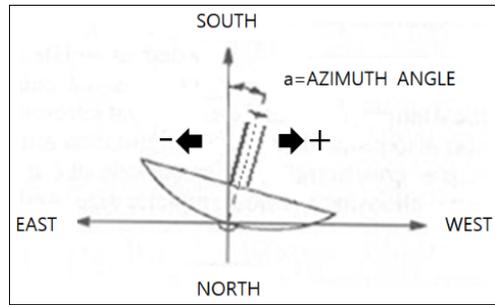
Fig. 33의 구성으로 원거리에서 방사되는 Ka/Ku 밴드 범위의 신호를 수신하는 원거리 방사패턴 시험은 설계 시 시뮬레이션을 통해 서브 리플렉터와 피드 혼 사이의 최적화된 초점 거리 외에 메인 리플렉터와 초점 거리를 확인하기 위해 Tuning이 가능할 수 있도록 Fig. 34와 같이 Feed Horn의 초점을 변경해 가며 소스 안테나와 마주 보고 있는 수직 수평 상태, 즉 AZ와 EL의 각도  $0^\circ$ 를 기준으로 AZ/EL angle 범위를  $-10 \sim 10^\circ$ 로 움직여가며 제작된 안테나의 Ka/Ku 밴드 특성을 측정하였다. Fig. 35는 Ka 밴드 주파수 18.55 GHz에서 Ka 밴드 방사패턴의 결과를 나타낸다. 초점 tuning 지점의 간격 32 mm일 때 이득이 가장 이상적인 것으로 확인되었으며, 2중 Ka 피드 혼 사이의 빔 경사각은  $4.44^\circ$ 로 GEO 위성들 간의 간격인  $2.232^\circ$ 와 가장 근접한 경사각으로 최적화됨을 확인하였다.



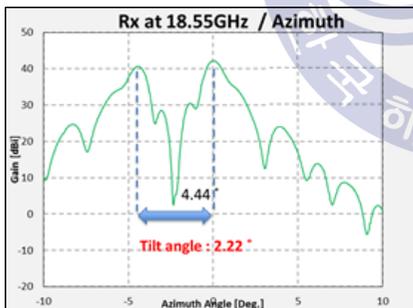
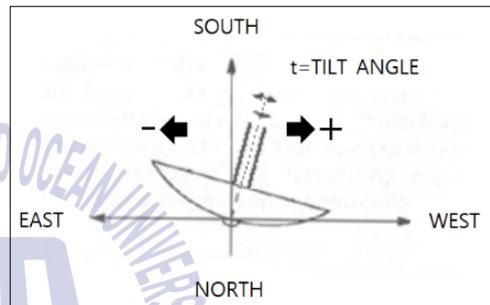
**Fig. 34** Focus tuning method & Intial value



(a) Azimuth



(b) Elevation



(C)Tilt angle

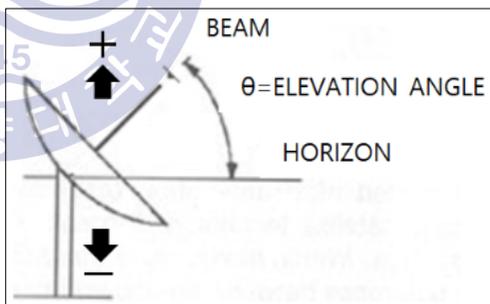


Fig. 35 Ka band radiation pattern of multi band antenna ( $f=18.55$  GHz)

Fig. 36은 Ka 밴드 주파수 19.95 GHz에서의 Ka 밴드 방사패턴 결과이다. 18.55 GHz와 동일한 초점 간격인 32 mm일 때 이득이 가장 이상적이며, Ka 밴드 피드 혼 사이의 빔 경사각도 4.6°로 위성들 간의 간격인 2.232°와 근접한 경사각으로 최적화 되었다.

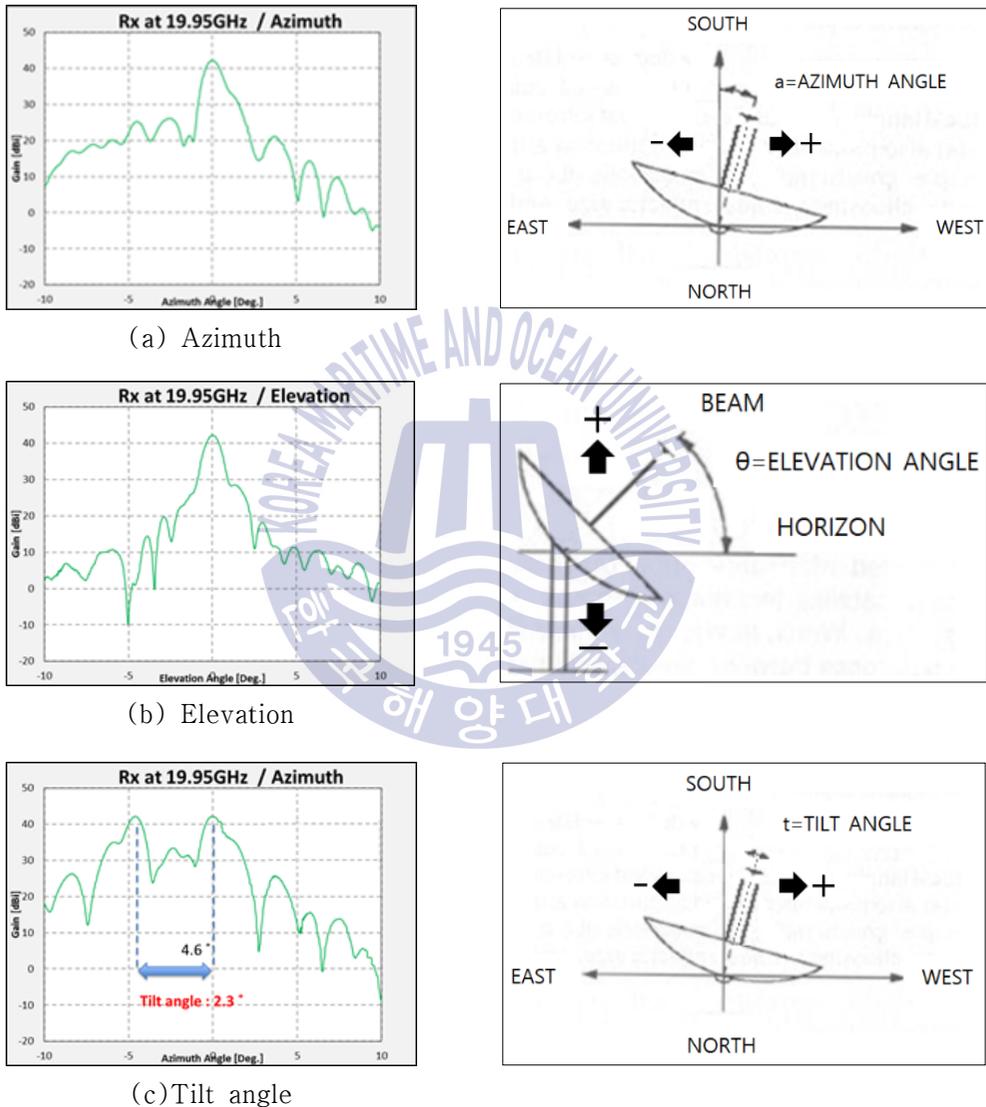


Fig. 36 Ka band radiation pattern of multi band antenna( $f=19.95$  GHz)

Fig. 37은 Ku 밴드 주파수 12.5 GHz에서 방사패턴의 결과이다. 앞서 측정한 Ka 밴드와 동일한 초점 거리인 32 mm일 때 이득이 가장 이상적이었다. Ka/Ku 방사패턴과 빔경사각에 대한 결과를 Table 4.1과 Table 4.2와 같이 수치로 나타내었다.

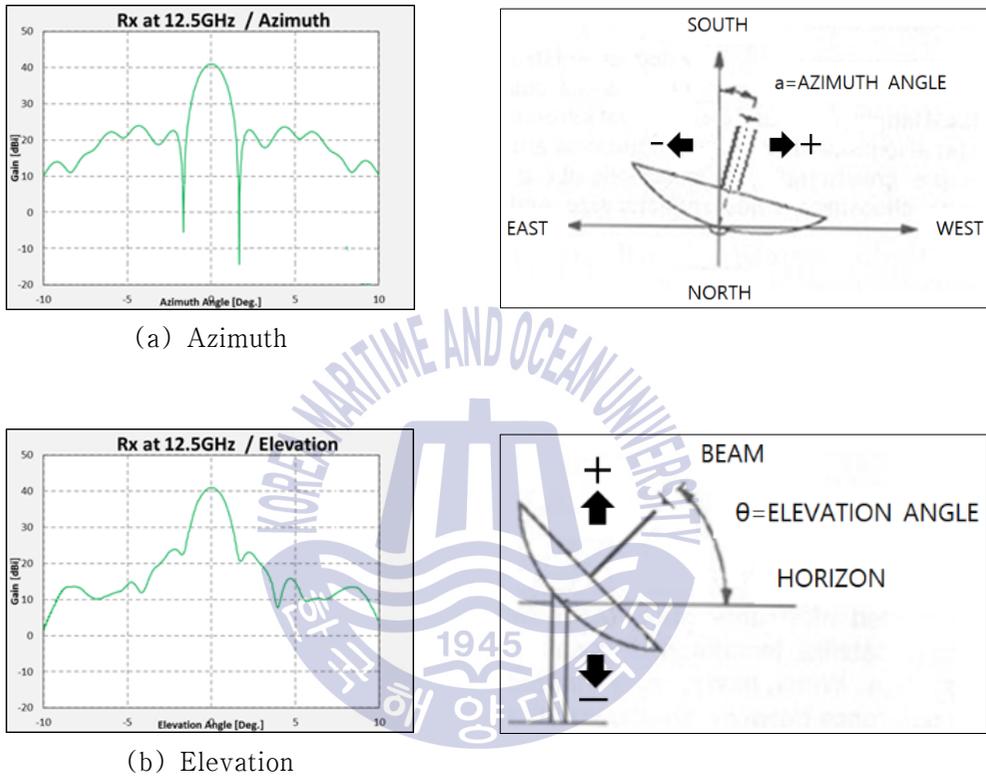


Fig. 37 Ku band radiation pattern of multi band antenna ( $f=12.5$  GHz)

**Table 10** Radiation pattern of multi band antenna

Band	Frequency	Direction	Focus	1st Side Lobe Level [dBi]
Ka	18.85GHz	Azimuth	32mm	11.55
	18.85GHz	Elevation	32mm	13.13
	19.95GHz	Azimuth	32mm	10.7
	19.95GHz	Elevation	32mm	14.42
Ku	12.5GHz	Azimuth	32mm	17.36
	12.5GHz	Elevation	32mm	17.09

**Table 11** Ka feed horn tilt angle of multi band antenna

Band	Frequency	Direction	Focus	Tilt angle
Ka	18.85GHz	Tilt	32mm	2.22
Ka	19.95GHz	Tilt	32mm	2.22



## 4.2 위성 방송 신호 품질 측정

실제 위성으로부터 다중 대역 안테나의 신호 수신 성능 평가를 위해 116°E에 위치한 국내 Ku 밴드 위성인 Koreasat6(Frequency: 11,747~12,730 MHz) 위성 신호를 이용하여 Ku 밴드 성능은 반송파 대 잡음비와 신호 대 잡음비로 측정하였다.

일반적으로 C/N은 25 dB 이상, SNR은 상향 25 dB, 하향 30 dB 이상을 정상으로 판단한다. Fig. 38은 측정된 계측기의 결과를 나타내며, Table 12와 같이 측정된 실험 결과 값을 수치로 나타내었다. C/N은 29.48 dB로 기준치의 4 dB 이상 높았으며, SNR은 19.55 dB로 기준치 대비 3.6 dB 이상 높아 신호 수신 성능은 양호한 것으로 확인되었다.

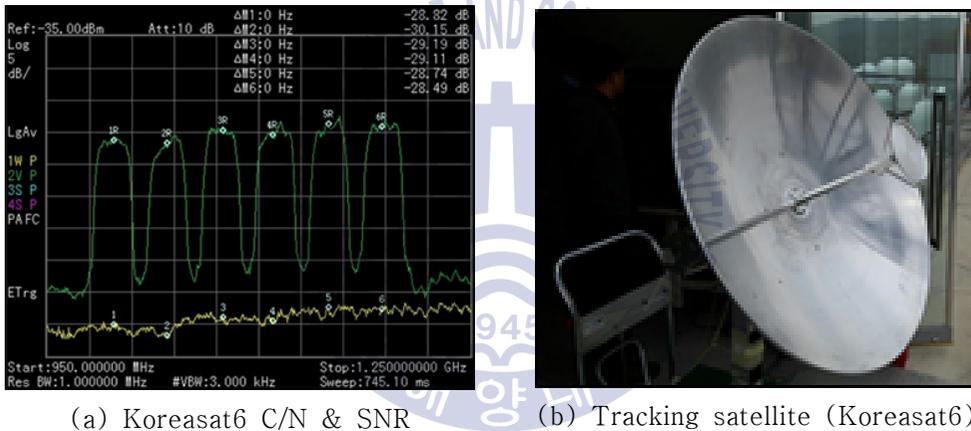


Fig. 38 Test configuration & result

Table 12 Koreasat6 C/N & SNR

Transponder	C/N[dB]	Transponder	1st	2nd	3rd	TP_Avg.
TP1	28.76	TP1	18.90	18.80	18.90	18.87dB
TP2	29.74	TP2	20.00	20.00	20.00	20.00dB
TP3	29.41	TP3	19.90	20.60	19.90	20.13dB
TP4	29.92	TP4	18.80	18.80	18.80	18.80dB
TP5	30.27	TP5	19.80	19.90	20.60	20.10dB
TP6	28.80	TP6	18.90	19.70	19.70	19.43dB
Avg.	29.48	Avg.	19.38dB	19.63dB	19.65dB	19.55dB

2° Tilt angle을 가진 실제 Ka/Ku 위성의 신호를 통해 다중 의 수신 성능 평가를 위해 Fig. 39와 같이 미국 California Irvine에서 Ka 밴드 위성은 99°와 103°위성, Ku 밴드 위성은 101°위성으로 TV 수신 신호 품질을 측정하였다. 국내에서는 계측기를 통해 SNR 및 C/N 등의 수신 성능을 측정을 하였으므로, 미국 현지에서는 디지털 위성 방송용 수신기인 STB를 연결하여 피드 혼과 리플렉터 간의 초점 검증을 중점으로 하여 실제로 수신되는 방송 채널의 수신 감도 등을 측정하는데 목적을 두었다.



Fig. 39 Test configuration for signal quality measurement

미국(Irvine)에서의 Ka/Ku 밴드 다중 대역 안테나의 신호 품질 측정은 99°, 101°, 103° 위성을 대상으로 하여 DIRECTV®의 수신기를 통해 제공되는 수신 강도 및 신호 품질 수준을 기준으로 확인하였으며, Table 13과 같이 결과를 수치로 나타내었다.

Table 13 Ka/Ku band signal quality measurement result

Band No.	Ka	Ka	Ku	Ka	Ka
Transponder	99°(cb)	99° (ca)	101°	103° (cb)	103° (ca)
1	79.6	86.2	95.4	80.3	81.6
2	75.1	82.8	96.9	77.9	82.7
Average Quality (%)	77.35%	84.50%	96.15%	79.10%	82.15%



(a) Ka band 99°(ca)



(b) Ka band 99°(cb)



(e) Ka band 99°(ca)



(d) Ka band 103°(cb)



(c) Ka band 103°(ca)

Fig. 40 Ka/Ku band signal strength measurement

## 제 5 장 결 론

본 논문에서는 메인 리플렉터 전면부에 두 개의 Ka 밴드 피드 혼과 그 사이에 Ku 밴드 피드 혼을 두고 피드 혼 전면부에 부 반사판을 두어 각각의 Ku/Ka 밴드 위성들로부터 오는 위성 신호가 메인 리플렉터와 서브 리플렉터로 반사되어 유입될 때 단일체로 구성된 3개의 피드 혼을 통합 피드 혼으로 구현하여 안테나 하나로 동시에 3개의 위성 신호에 대하여 수신이 가능한 안테나를 설계하였다. 현재 상용되고 있는 다중 대역 안테나와 유사한 크기와 동등한 성능 이상을 목표로, 상용 안테나 설계프로그램인 TICRA CHAMP와 측정 시뮬레이션인 CST MWS를 사용하여 설계하였다.

메인 리플렉터와 서브 리플렉터의 사이즈는 상용품들의 제원을 참고하여 고정시켜 놓고 F/D를과 반값 각을 변수로 하는 단일 Ka/Ku 밴드 안테나를 TICRA CHAMP로 설계 후 CST MWS로 최적화하였다.

GEO 위성 간의  $2^\circ$  간격과 가장 근접한 경사각을 다중 대역 안테나에 적용하기 위해 2개의 Ka 밴드 피드 혼과 1개의 Ku 밴드 피드 혼을 CST MWS를 사용하여 하나의 리플렉터 안테나에 Ku 밴드 피드 혼은 중앙에 위치시키고 안테나의 수직 방향으로 2개의 Ka 밴드의 메인 빔은 약  $2.23^\circ$ 의 경사각을 갖도록 설계하였다. CST MWS를 사용하여 서브 리플렉터 방향으로 2개의 Ka 밴드 피드 혼은 10 mm, 단일 Ku 밴드 피드 혼은 6 mm로 초점 거리를 이동시켜 지향성 이득과 빔 경사각을 만족하는 다중 대역 안테나로 최적화하였다.

설계를 바탕으로 제작하여, 제작한 안테나의 특성을 실제 Field 조건에서 원거리 방사패턴 및 실제 위성을 이용한 위성 TV 수신 신호 품질을 측정하였다. 원거리 측정 시 메인 리플렉터와 다중 대역 피드 혼의 초점 거리가 32 mm일 때 SNR 과 C/N 및 수신 성능을 측정 시 Ku 밴드 의 C/N은 29.48 dB로 기준치의 4 dB 이상 높았으며, SNR은 19.55 dB로 기준치 대비 3.6 dB 이상 높아 신호 수신 성능은 양호한 것으로 검증 되었다. 실제로 Ku/Ka 위성을 통해 독립된 신호들을 수신하여 수신 성능을 확인했을 때 Ku/Ka 밴드 평균 83%로 신호 품질이 양호한 것으로 확인되어 제작된 안테나는 위성을 이용하여 안정적인 TVRO system으로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 본 논문의 목표 사양인 상용 제품과 동등 수준 이상의 결과를 만족함을 관측하였다.

## 참고문헌

- [1] 고운용, 2002. 선박용 위성안테나 시스템의 설계 및 안정화. 추적 알고리즘, 한국해양대학교.
- [2] 이석필, 2004. 맞춤형 방송 서비스와 PVR 동향, 대한전자공학회.
- [3] 문정익, 전순익, 2008 통방송합서비스를 위한 안테나 기술 동향, 한국전자통신연구원.
- [4] 전한얼, 이윤경, 방송·통신 기술동향 연구, 방송통신위원회.
- [5] 삼성경제 연구소, 2002. 위성방송의 기대효과와 과제, 서울정보통신산업진흥원.
- [6] 목하균, 2007. 지상파 디지털TV 방송 서비스의 차별화 방향 및 전략, 한국정보통신기술협회.
- [7] 중소벤처기업부, 2017. 중소·중견기업 기술로드맵 2017-2019, 중소벤처기업부.
- [8] 공현철, 송병철, 오범석, 2008. 정지궤도 복합위성 국내외 개발 동향, 한국항공우주연구원.
- [9] 조성선, 국내외 셋톱박스(STB) 시장동향 및 전망.
- [10] 은혜정, 2003. 위성방송 연구, 한국방송영상산업진흥원.
- [11] 정보통신부, 2004. 위성궤도 및 주파수 자원 연구, 한국전파진흥협회.
- [12] 성향숙, 2000. ITU의 방송위성계획 개정에 관한 연구, 국립전파연구원.
- [13] 한국무선국관리사업단, 2002. 국제전기통신연합 방송위성계획개정 결과 및 추가채널 활용방안 연구 : 최종보고서, 한국무선국관리사업단.
- [14] 정보통신부 중앙전파관리소, 2005. 국제전파 감시 백서, 정보통신부 중앙전파관리소.
- [15] 장병준, 2013. 전파·위성 연구개발 현황 및 추진방향, 한국통신학회지, 제 31권 제 1호, pp.33-37.
- [16] 전파진흥협회, 2001. 위성전파 신호처리 및 분석기술 연구, 한국무선국관리사업단.
- [17] 방송통신위원회 전파연구소, 2010. 21 GHz 방송위성의 주파수 공유방안 연구, 방송통신위원회 전파연구소.
- [18] 국태복, 이재화, 이형기, 음정희, 2013. 위성통신용 다대역 안테나 개발, 한

국통신학회 학술대회논문집, pp.688-690.

[19] Harris Corporation, Multi-band ring focus dual reflector antenna system, US 6,697,028, filed Aug 29, 2004, and issued Feb 24, 2004.

[20] 정치현 등, 2010. 위성 통신용 다대역 안테나, 서울: 한국항공우주학회지, 제38호 제12호, pp.1223-1231.

[21] <http://www.kvh.com>, KVH Industries, Inc.

[22] <http://www.cobham.com>, Cobham plc.

