

통신방송위성용 안테나 개념 설계

Conceptual Design of Communications and Broadcasting Satellite Antennas

한재홍*, 윤소현, 엄만석, 박종홍, 이성팔 (한국전자통신연구원)

1. 서론

위성에 탑재되는 통신방송관련 장비는 크게 나누어 안테나와 중계기(송수신기)로 구성된다. 여러 가지 안테나 형태 중에서 위성용 탑재 안테나는 주로 읍셋 단일 또는 이중 반사판 안테나가 채택되며, 주반사판 (main reflector)과 부반사판 (subreflector), 급전부 등이 주 구성품이다. 이 외에 구성품들을 기계적으로 지지하고 정렬을 유지하여 주는 기계구조물과 위성 안테나의 형태에 따라 전개 및 유지 기구, 지향 제어 기구 등이 포함된다. 안테나 구성 방안과 서비스 요구 사항으로부터 안테나 요구 사항이 결정되면, 안테나의 RF 특성 해석을 통해 안테나의 주요 기하학적 파라미터가 결정되고, 안테나의 반사면과 지지 구조 등에 대한 기계적 설계가 뒤따르게 된다. 본 논문에서는 통신방송위성에 탑재되는 Ku (14/12 GHz) 및 Ka (30/20 GHz) 대역 안테나 2 종에 대한 요구사항 및 개념 설계에 관한 내용을 기술하였다.

2. 안테나 RF 설계

통신방송위성 안테나 개념설계 제원은 탑재체 개념 설계의 가정을 따른다. 통신방송위성의 궤도 및 주파수는 잠정적으로 궤도는 동경 113도 가정하였으며, 주파수는 안테나의 주요 설계 제원들과 함께 표 1과 2에 수록하였다. 위성의 통신방송 서비스는 단일빔으로 한반도 전체를 대상으로 하는 것으로 가정하였다. 서비스 요구사항 분석을 토대로 요구 EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)와 G/T (Gain-to-Noise Temperature Ratio)는 Ku 대역의 경우 52dBW, 9.4dB/°K이고, Ka 대역의 경

우 55.5 dBW, 9.4dB/°K으로 분석되었다. 이러한 요구 조건들로부터 산출한 안테나의 주요 설계 제원이 표 1과 표 2이며, 각 표에 제시된 EOC (End of Coverage)이득은 위성체의 자세 제어 오차로 인한 안테나의 빔 지향 오차를 포함하였을 때의 값이다.

표 1. Ku 대역 안테나 설계 제원

Parameter	Tx	Rx
Frequency(GHz)	12.25-12.75	14.00-14.50
Polarization	HP	VP
Coverage	1.2 deg. Circle (APE 0.14 deg)	
EOC gain (dB)	>37.4	>37.2
Sidelobe level (dB)	<-30.0	<-28.0
X-pol isolation (dB)	<-33.0	<-33.0
Gain slope (dB/deg)	<10.5	<10.5

표 2. Ka 대역 안테나 설계 제원

Parameter	Tx	Rx
Frequency(GHz)	20.355-21.155	20.085-30.885
Polarization	LHCP	RHCP
Coverage	1.2 deg. Circle (APE 0.14 deg)	
EOC gain (dB)	>38.0	>37.4
Sidelobe level (dB)	<-30.0	<-28.0
X-pol isolation (dB)	<-18.8	<-18.8
Gain slope (dB/deg)	<10.5	<10.5

위 조건을 만족하는 안테나를 설계하기 위하여 전개형 읍셋 단일 안테나, 탑재형 읍셋 이중

안테나를 중심으로 여러 가지 구성 방안을 검토하였다. Ku 대역의 경우는 탑재형 그레고리안 안테나와 이중 그리드 옵셋 단일 안테나(X-pol 분리도를 높이기 위하여 이중 그리드 사용)가 요구 사항을 만족하였고, Ka 대역의 경우는 그레고리안 형태의 안테나가 요구되었다. 위성체 전체 대칭성을 유지하기 위해 최종적으로 Ku와 Ka 대역 공히 그레고리안 형태의 탑재형 옵셋 이중 반사판 안테나가 선정되었다. 그림 1은 그레고리안 옵셋 이중 반사판 안테나의 개략도이다. 주반사판은 포물선형이며, 부반사판은 타원형이다. 주반사판의 초점이 부반사판의 초점 중 하나와 일치하며, 다른 하나의 초점에 급전 horn이 위치한다. 급전부는 송수신 겸용 급전 horn으로 직교한 편파를 분리하기 위한 OMT(ortho mode transducer), 그리고 Ka대역의 경우에는 선형 편파와 원형 편파를 분리하기 위한 편파기로 구성된다.

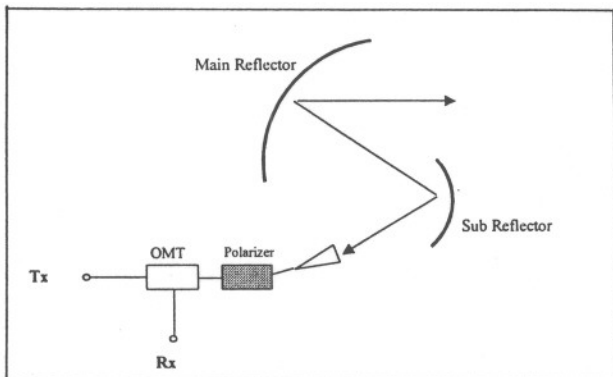


그림 1. 옵셋 이중 반사판 안테나 (Polarizer는 Ka대역만 사용)

옵셋 이중 그레고리안 안테나의 주요 기하학적 파라미터로는 주반사판의 개구면 크기(D), 주반사판의 초점거리(F), 주반사판축과 부반사판축 사이의 각(β), 부반사판의 이심률(ϵ), 부반사판의 초점간 거리(F_s) 등이 있으며, 각각의 정의는 그림 2에 보인 바와 같다. 설계된 Ku 및 Ka 대역 안테나의 기하학적 파라미터는 표 3에 정리하였다.

설계된 Ku 및 Ka 대역 안테나의 송수신 특성을 표 4에 보였다. 표 1과 비교하여 보면 송수신 특성 모두 만족됨을 알 수 있다. Ku 대역 안테나의 동일 편파 및 직교 편파의 빔 패턴을 그림 3과 4에 각각 수록하였다. 그림 3에서 안

테나의 최대 이득은 42.9 dB이고, 최대 이득에 대한 상대적인 값으로 표현되어 있다. 그림 4에서 보인 바와 같이 직교 편파는 서비스 영역에 매우 낮은 교차 편파 특성을 갖는다. 수신 주파수 영역에서 최대 이득은 43.3dB이고 빔 패턴은 송신 특성과 대략적으로 유사한 특성을 갖는 것으로 확인되었다.

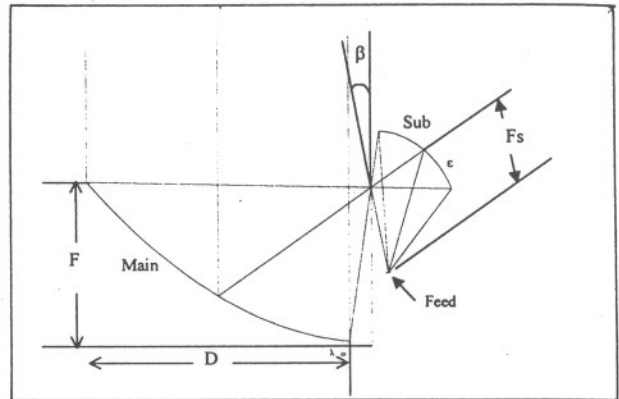


그림 2. 안테나의 설계 파라미터 정의

표 3. 안테나 설계 파라미터

Parameter	Ku	Ka
D (mm)	1500	900
F (mm)	800	500
β (deg.)	12	10
ϵ	0.44	0.45
F_s (mm)	450	300

표 4. Ku 및 Ka 대역 안테나 송수신 특성

Parameter	Ku		Ka	
	Tx	Rx	Tx	Rx
EOC gain (dB)	39.9	39.9	39.8	39.7
Gain slope (dB/deg)	8.3	9.1	8.1	7.9
Sidelobe level (dB)	-39.5	-40.7	-39.8	-34.9
X-pol isolation (dB)	-37.7	-42.7	-38.3	-25.6

Ka 대역 안테나의 동일 편파 및 직교 편파의 빔 패턴을 그림 5와 6에 각각 수록하였다. Ka 대역의 경우 송신 최대 이득은 42.7 dB, 수신 최대 이득은 43.1 dB이다. 수신 주파수 영역에서의 빔 패턴은 송신 특성과 대략적으로 유사한 것으로 분석되었다.

안테나의 반사판과 더불어 급전 혼의 방사 특성도 매우 중요하다. 급전혼은 교차 편파 특성이 좋은 코러게이트 혼을 사용하였고, 설계된 혼은 반사 손실, half beamwidth 등의 특성이 양호하였다.

3. 안테나 기계적 설계

위성용 안테나는 위성 본체 내부에 주로 탑재되는 다른 탑재체들과는 달리 위성 본체 외부로

돌출되어 있어 발사 및 운용 시 극심한 기계적 하중을 받는 구조물로, 태양전지판과 더불어 위성체 구조 중 최우선적으로 기계적인 성능 고려가 필요한 구조물이다. 안테나의 기계적 설계는 그림 7에 보인 바와 같이 다음과 같은 절차를 따른다.

1) 안테나 구성 방안, 서비스 요구 사항과 발사체 페어링의 형태, 전체 위성체의 관성 분포, 기타 탑재물 배치 계획 등을 고려하여 안테나의

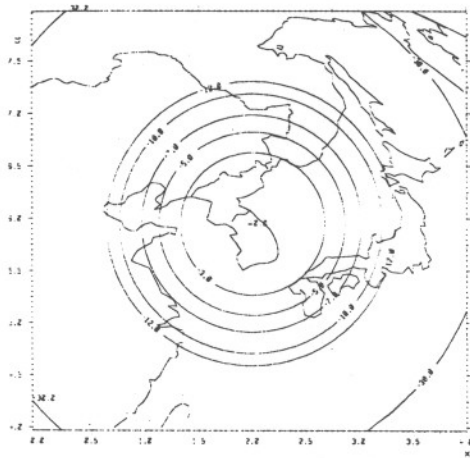


그림 3. Ku대역 안테나 송신 Co-Pol 빔 패턴 (PEAK = 42.9 dB, Freq. = 12.5GHz)

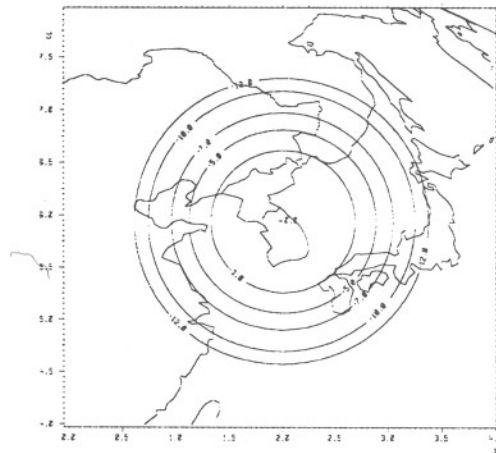


그림 5. Ka대역 안테나 송신 Co-Pol 빔 패턴 (PEAK = 42.7 dB, Freq. = 20.755GHz)

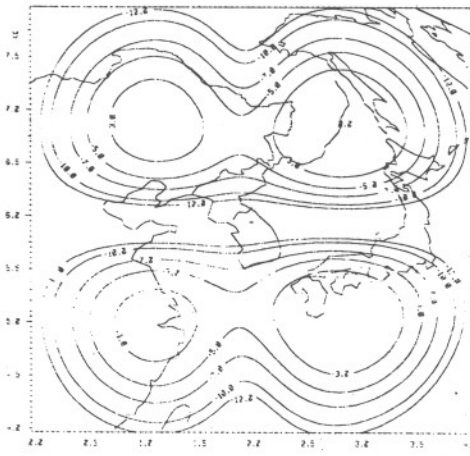


그림 4. Ku대역 안테나 송신 X-Pol 빔 패턴 (PEAK = 5.2 dB, Freq. = 12.5GHz)

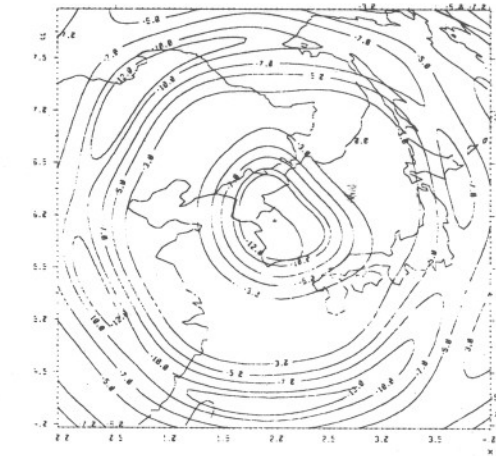


그림 6. Ka대역 안테나 송신 X-Pol 빔 패턴 (PEAK = 4.4 dB, Freq. = 20.755GHz)

전반적인 형태를 고려한다.

- 2) 초기 형상 설계가 끝난 후에는 안테나 구조 설계를 수행한다. 안테나 서브시스템 설계는 반사판과 급전부의 정확한 정렬이 RF 특성 유지에 매우 중요하며, 따라서 설계부터 최종 발사까지 안테나 구조물의 정렬과 치수 안정성 유지가 요구된다.
- 3) 안테나 구조는 주로 복합재료 샌드위치 구조가 많이 사용되며, 구조적 테일러링을 통해 강성, 강도 최대화를 추구하며, 특히 열팽창률을 최소화하는 설계를 수행한다.
- 4) 설계된 구조물이 각종 기계 및 열/열변형 요구 조건을 만족하는 지 해석을 통한 확인 과정을 거친다. 요구 조건이 만족되면 열변형에 의해 저하되는 치수 안정성이 안테나의 RF 특성을 어느 정도 저하시키는 지 검토한다.
- 5) 국부적 파손 등으로 구조적 문제가 발생할 수 있는 지 재검토하고, 구조를 부분적으로 수정/보완하는 방법으로 대처한다.

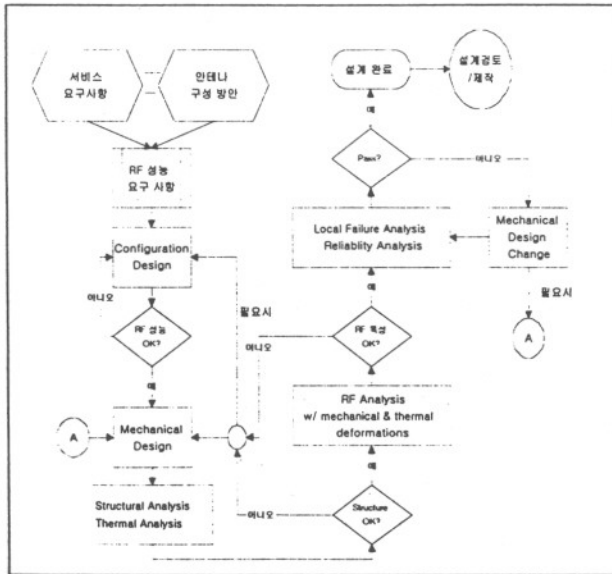


그림 7. 안테나 기계적 설계 절차도

안테나 구조 설계 요구 조건을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 발사 시 안테나가 위성체에 부착된 상태에서 발사체 페어링 영역 안으로 안정적으로 위치하여야 한다.
- 2) 위성 시스템 자세 제어계 요구에 따라 전체 위성체의 관성 특성이 제한되면, 안테나의 형태

및 배치도 이에 따라 일정 부분 제한된다.

- 3) 안테나 진동 모드가 발사체 및 자세제어계와 상호 작용이 없어야 한다.
- 4) 성형/제작, 조립의 작업 용이성이 고려되어야 하며, 안테나 조립 후 각종 기계적, 전기적 시험이 가능하도록 설계가 이루어져야 한다.
- 5) 안테나 구조계는 효율적으로 안테나 부분품들을 기계적으로 지지하여야 한다.
- 6) 안테나 구조계는 충분한 강도와 강성을 갖고 제작, 시험, 발사, 궤도 환경에서 구조적 적합성을 가져야 한다.
- 7) 위성 제작에서 수명 종료 시점까지 발생하는 어떠한 하중 조건에 대해서도 최소 안전 여유 (Margin of Safety)가 확보되어야 한다.
- 8) 태양 복사열로 유기되는 고온 및 높은 온도 구배 조건에 안정적이어야 하며, 열변형에 의해 유기되는 열응력에 대한 최소 안전 여유가 보장되어야 한다. 열변형에 의해 발생하는 치수 변형으로 인한 RF특성 열화가 기준 치 이내이어야 한다.

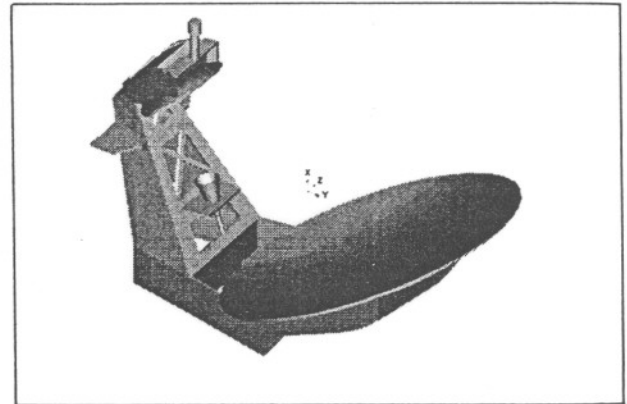


그림 8. 설계된 Ku대역 안테나

2장에서 RF 성능 분석을 통해 결정된 Ku 및 Ka 대역 읍셋 이중 반사판 안테나에 대한 기계적 설계를 수행하였다. 최종 설계된 안테나는 위성 본체 설계팀과 긴밀한 협의를 거쳐 발사체 페어링과 간섭 및 기타 탑재체 시야각 확보 문제 등이 발생하지 않음을 확인하였다. 구조 개념 설계는 기 발사된 위성 탑재 안테나를 다각적으로 검토하여, Ku 대역 안테나는 주타워를 박스형 일체 구조로, Ka 대역 안테나는 평행한 2개의 지지 패널을 주구조로 하여 모델링하였

다. Ku 대역 안테나의 주반사판 아래 부분에는 2개의 ESA (Earth Sensor Array) 설치를 위한 데크(deck)를 배치하였고, 지지구조의 최상부에는 옴니(omni) 안테나를 배치하였다. 옴니 안테나를 제외한 Ku 대역 안테나 시스템은 높이 1370 mm, 길이 2250 mm이며 위성의 nadir 패널에 부착되고, 위성 본체와의 연결을 위해 별도의 스트러트(strut)를 사용한다. Ka 대역의 경우 Ku 대역에 비하여 주반사판의 크기가 작으므로 안테나 지지구조 하부와 위성체 nadir 패널을 짧은 스트러트를 이용 직접 연결한다. 전체 안테나 시스템의 높이는 1000 mm, 길이는 1450 mm이다.

설계된 안테나는 각각 그림 8과 9에 도시하였다. 본 개념 설계에서는 지지 구조 패널 및 각 리브의 두께를 일률적으로 15mm로 설정하였으며, 추후 구조 해석을 통해 정확한 치수 설정이 필요하다.

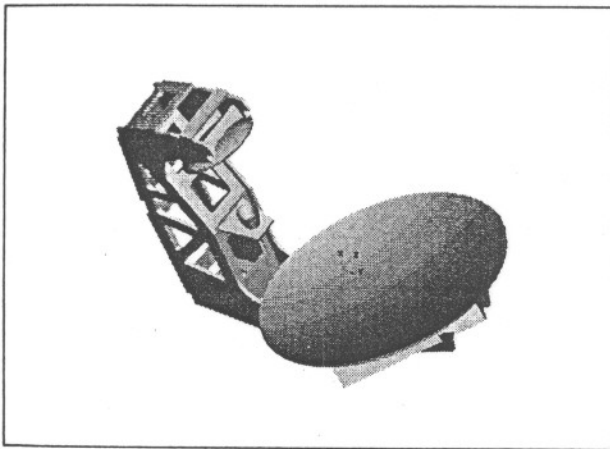


그림 9. 설계된 Ka대역 안테나

4. 결 론

통신방송위성에 탑재되는 Ku 및 Ka 대역 안테나에 관한 개념 설계를 수행하였다. 안테나 요구 사항으로부터 전기적 설계를 거쳐 안테나 설계 파라미터를 추출하였고, RF특성 해석을 통해 설계된 안테나가 요구 조건을 만족함을 확인하였다. 이를 바탕으로 3D 솔리드 구조 모델링을 수행하였다. 설계된 솔리드 모델은 유한요소 모델로 변환이 용이하며, 구조 해석 및 열해석에 바로 적용될 수 있다. 본 개념 설계를 바탕으로 추후 본 설계 단계에서 구조 해석 및 열/열변형 해석을 통해 상세 설계를 수행하여야 할 것이다.

참고문헌

1. T. Kitsuregawa, *Advanced Technology on Satellite Communication Antennas* *Electronical & Mechanical Design*, Artech House, Boston, 1989.
2. R.C. Johnson, *Designer Notes for Microwave Antennas*, Artech House, Boston, 1991.
3. 엄만석, 고지환, A. Shishlov, "Ku-Band 위성 안테나 기능모델 구현에 관한 연구," 한국통신학회 추계논문학술발표, 1994.
4. W.L. Morgan and G.D. Gordon, *Communications Satellite Handbook*, John Wiley & Sons, New York, 1989, pp. 276-307.

2000年度

秋季學術發表會 論文集

Proceedings of the KSAS Fall Annual Meeting 2000

日時：2000年 11月 11日(土)

場所：蔚山大學校 工學4號館



主 催

社團 韓國航空宇宙學會

The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences

後 援

韓國學術振興財團

韓國科學技術團體總聯合會

蔚 山 大 學 校

- Multithreading과 공유메모리를 이용한 위성 시뮬레이터 개발의 Feasibility 연구
 이상욱 * (한국전자통신연구원), 권오룡(솔탑엔지니어링)
 이호진(한국전자통신연구원) ... 163
- 다목적 실용위성 2호기를 위한 마이크로 프로세서 Trade-Off Study
 조창범 *, 채태병, 이상택, 권기호, 임성빈, 김대영, 심은섭(한국항공우주연구소) ... 169
- 아리랑위성의 탑재소프트웨어 개발 및 운용
 이종인 *, 천이진, 강수연, 심은섭(한국항공우주연구소) ... 173
- HAUSAT 위성의 개념 설계
 강민영 *, 박진한, 장영근(한국항공대학교) ... 177
- Phase Difference Measure를 통한 1Hz Sync Enhancement 구조 설계
 권기호 *, 조창범, 채태병, 김대영(한국항공우주연구소) ... 183
- KOMPSAT-II 위성을 위한 RFTS 개념설계
 임성빈 *, 이상택, 채태병(한국항공우주연구소) ... 187
- KOMPSAT-2 통신 서브시스템의 설계 및 해석
 채태병 *, 조창범, 이상택, 권기호, 임성빈, 김대영(한국항공우주연구소) ... 191
- 통신방송위성용 안테나 개념 설계
 한재홍 *, 윤소현, 엄만석, 박종홍, 이성팔 (한국전자통신연구원) ... 195
- 우리별 3호 NiCd 배터리의 과충전에 의한 성능 감소
 구자춘 * (한국항공우주연구소), 정태진, 정연황(한국과학기술원)
 박인석, 박성동(㈜세트렉아이), 성단근, 박동조(한국과학기술원) ... 200
- 저궤도 마이크로 위성을 위한 NiCd 셀의 선별
 구자춘 * (한국항공우주연구소), 김정환(㈜하나텍)
 정태진, 정연황, 성단근, 박동조(한국과학기술원) ... 205
- 다목적 실용위성 2호 태양전력 조절기 Trade-off
 장진백*, 장성수, 이상곤, 심은섭(한국항공우주연구소) ... 209
- 아리랑위성 1호 이상상태에서의 전력운용 특성
 장성수 *, 장진백, 이상곤, 백명진, 심은섭(한국항공우주연구소) ... 213