

통신방송위성 안테나 개발 및 시험 절차

Development and Test Procedures for Communications and Broadcasting Satellite Antennas

한재홍*, 윤소현, 박종홍, 이성팔 (한국전자통신연구원 통신위성개발센터)

1. 서론

지상 통신망에 비해 위성통신은 넓은 지역을 대상으로 통신 회선을 설정할 수 있고, 자연 재해에 강한 통신망을 구성할 수 있으며, 지상망 접근이 어려운 지역에도 쉽게 통신 서비스를 제공할 수 있는 등 많은 장점이 있다. 우리나라의 경우 무궁화 1, 2, 3호 통신 위성을 운영하면서 위성 통신 운용 및 서비스 기술을 확보해 왔으나, 통신 위성 제작 기술은 아직 일천한 실정이다. 그러므로 국내 통신방송 위성의 독자 시스템 설계 및 제작 능력 확보, 국가 우주기술 자립 기반 확보 등의 필요성에 따라 통신방송 위성 개발에 관한 연구가 진행 중이다.

통신 위성의 탑재체는 크게 나누어 안테나와 중계기 (송수신기)로 구성된다. 90년대 이래로 위성 중계기의 시스템 기술과 중계기용 주요 부품 (여파기, 증폭기 등) 개발은 국내에서도 집중적으로 연구된 바 있으나 [1], 위성용 안테나에 관한 국내 연구 개발 실적은 매우 적은 실정이다 [2]. 위성 안테나는 지상용 안테나와 달리 안테나 이득 여유를 최소화하여 설계되며, 높은 신뢰도 유지를 위해 많은 심사 과정 및 시험을 거쳐 개발이 이루어진다. 본 논문에서는 기존 통신 위성 프로그램 관련 자료들로부터 규격 작성 및 설계, 제작 및 조립 시험 등에 관한 각종 절차를 요약 정리하여 위성 안테나 국내 개발에 유용한 참고자료가 되고자 한다.

2. 위성 안테나 설계 절차

일반적으로 우주 프로그램은 높은 신뢰도를 필요로 하며, 여러 단계의 설계 검증 과정을 거치게 된다. 위성 안테나 개발 절차는 그림 1에

보인 바와 같이 위성 업무로부터 도출된 통신 서브시스템 규격과 버스(위성체) 규격으로부터 안테나 규격을 확립하는 과정으로부터 시작된다. 안테나 서브시스템 설계 결과는 예비설계심사 (PDR), 상세설계심사(CDR)에서 검토되고, 확정된 설계에 따라 위성 안테나를 제작한 후, 시험준비심사(TRR), 시험결과심사(TRB) 등을 거쳐 위성체에 납품되게 된다.

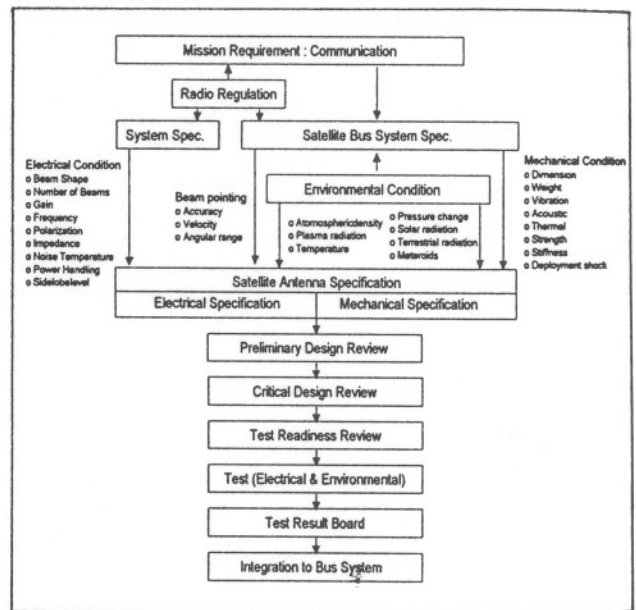


그림 1. 위성 안테나 개발 절차

통신방송위성 안테나의 전반적인 설계 흐름은 그림 2와 같다. 규격에 규정된 RF 성능을 만족하는 반사판과 급전부의 형상 설계가 이루어진 후 위성 안테나에 가해질 수 있는 지상, 발사, 우주 환경을 견딜 수 있도록 구조 및 열적 설계가 이루어지며, 성능이 만족될 때까지 반복 설계 작업이 수행된다.

통신방송위성의 궤도는 동경 113도이며, Ku 대역 주파수는 상향 14 - 14.5 GHz, 하향 12.25 - 12.75 GHz, Ka 대역 주파수는 상향 30.6 - 31 GHz, 하향 20.8 - 21.2 GHz이다. 위성의 통신방송 서비스는 단일빔으로 한반도 전체를 대상으로 한다. 여러 가지 안테나 구성 시나리오에 대해 검토해 본 결과 Ka 대역 안테나는 패널 탑재형 오픈 그레고리안 안테나(그림 3 참조)가 선정되었고, Ku 대역 안테나는 탑재형 오픈 그레고리안 안테나와 전개형 이중 그리드 오픈 단일 안테나 중에서 위성 버스체 구성 방식에 따라 선정하여야 할 것으로 분석되었다. 참고로 Ka 대역 안테나의 개념 설계 결과를 그림 4에, 전형적인 급전부의 형상을 그림 5에 수록하였다.

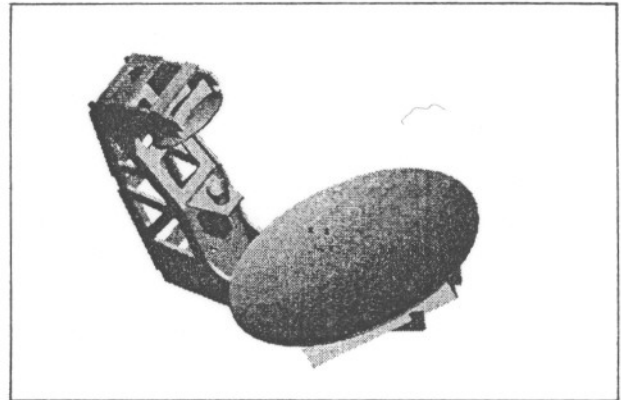


그림 4. Ka대역 안테나 개념 설계

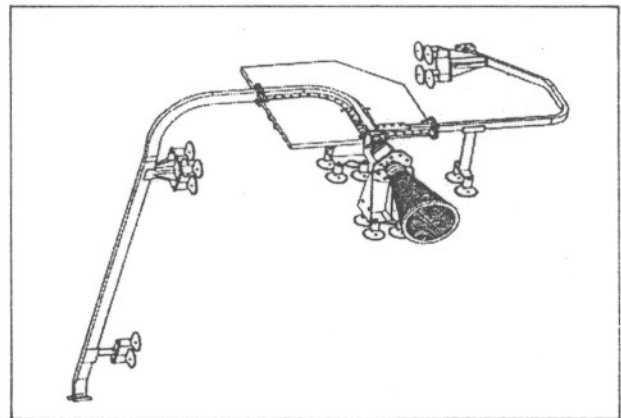


그림 5. 안테나 급전부

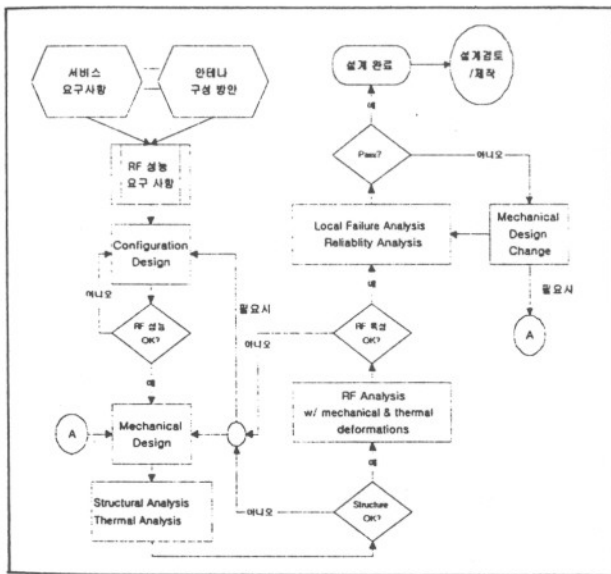


그림 2. 안테나 설계 절차도

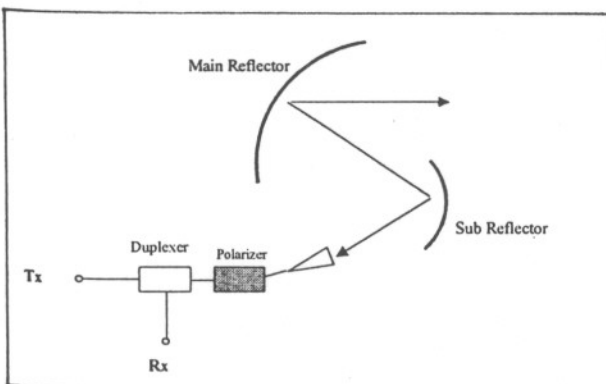


그림 3. 오픈 그레고리안 안테나 (Polarizer는 Ka대역만 사용)

위성 안테나의 RF 설계는 전자기장 이론에 근거를 둔 안테나 빔 패턴 해석을 통해 이루어지는 데, 안테나 급전부의 RF 손실, 반사판 Sunshield의 투과 손실, 가공 오차에 의한 RF 성능 저하, 열변형에 의한 RF 성능 저하 등은 해석 프로그램에 의해 직접적으로 계산될 수 없는 파라미터이다. 그러나, 일반적으로 위성 안테나 이득에 대한 여유(margin)는 0.1 dB 내외의 극히 작은 값으로 설정되므로 안테나 서브시스템의 성능 분석을 위해 위의 손실 항들은 정확히 예측되어야 한다. 급전부의 RF 손실이나 Sunshield의 투과 손실 등과 같은 전자파 손실 항들은 기존 위성 프로그램의 데이터를 이용하거나, 부품 단위로 측정된 경험 데이터를 주로 이용한다. 이에 반해 가공 오차나 제작 공차에 의한 성능 저하나 열변형에 의한 성능 저하는 빔 패턴의 민감도 (sensitivity) 해석을 통해 예측하게 된다. 안테나 구조물의 제작성은 결국 주어진 예산 한도 내에서 가공 오차와 조립 오

차를 만족시킬 수 있는 가 하는 문제로 귀결된다. 표 1에 기존 위성 프로그램의 Ka대역 안테나에 대한 제작 및 조립 공차 요구 조건과 그에 따른 RF 성능 저하를 요약하였다.

표 1. 안테나 제작 및 조립 공차 요구 조건

분류	항목	요구조건	RF손실
반사판 표면	주반사판 RMS 오차	0.0021"	0.18dB Tx
	부반사판 RMS 오차	0.0035"	0.30dB Rx
급전혼 정렬	position	±0.005"	0.08dB Tx 0.08dB Rx
	rotation	±0.05°	0.02dB Tx 0.01dB Rx
부반사판 정렬	position	±0.005"	0.14dB Tx 0.19dB Rx
	rotation	±0.03°	0.31dB Tx 0.26dB Rx
Boresight 정렬	모든 방향에 대해	0.028°	안테나 P.E.에 반영

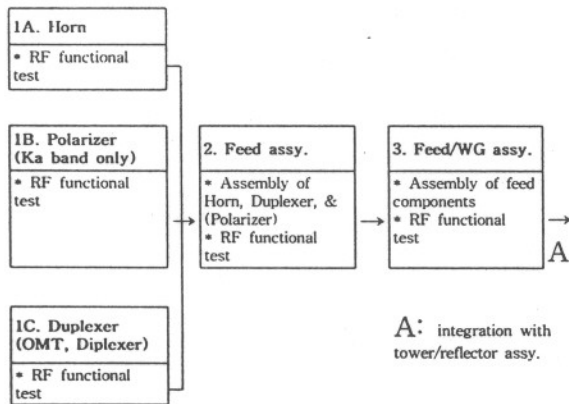


그림 6. 안테나 급전부 AI&T 흐름

위 표에서 알 수 있듯이 제작 및 조립 오차에 따라 상당량의 RF 성능 저하가 발생하고 있다. Ku 대역의 경우 상대적으로 파장이 크므로 같은 정도의 제작 및 조립 오차에 대해 보다 적은 손실이 발생할 것으로 예상된다. 이와 같은 각종 손실 항목을 반영하여 참고 문헌 [3]의 개념 설계를 발전시키고, 각종 구조 해석 및 열 해석이 수행 중이며, 자세한 해석 결과는 별도로 발표될 예정이다.

3. 위성 안테나 AI&T 절차

위성 안테나는 크게 반사판 및 지지 구조와 급전부로 구성된다. 급전부는 그림 5에 보인 바와 같이 급전 혼, 편파기, OMT나 diplexer와 증계기까지 전송선로인 waveguide의 조립체이다. 급전부의 AI&T 흐름도를 그림 6에 표시하였다. 급전 혼 등 개별 부품은 RF 성능 시험을 거쳐 (개발 단계에서는 환경 시험도 필요) 인수된다. waveguide를 제외한 구성품들이 조립된 후 다시 RF 성능 시험을 수행하고, 마지막으로 waveguide까지 포함하여 그림 5와 같은 형태로 조립된 후 RF 성능 시험을 거쳐 최종 납품된다.

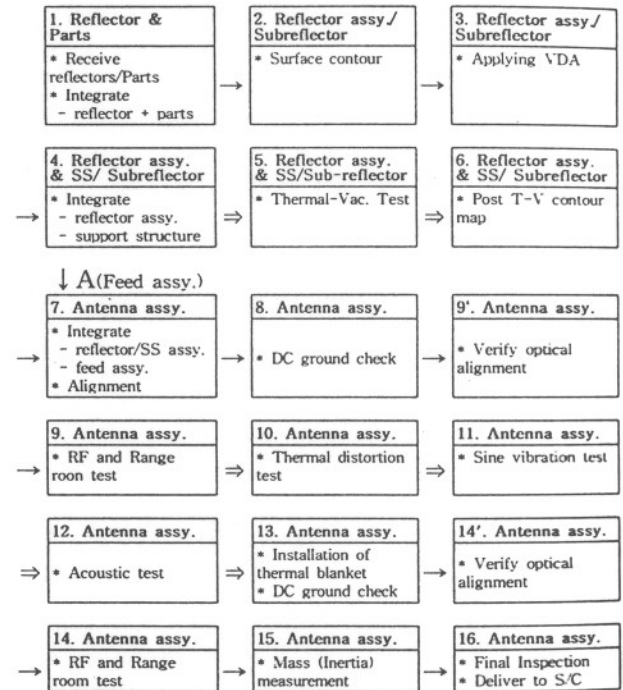


그림 7. 안테나 서브시스템 AI&T 흐름
(⇒ : Proceed with modal survey & tap inspection)

안테나 서브시스템에 대한 AI&T 흐름은 그림 7에 요약하였다. 제작된 반사판들과 지지구조를 인수한 후, 반사판 곡면 형상을 측정한다. 측정된 곡면 데이터는 주/부반사판의 정렬을 위한 가상 축을 형성하는 데 사용된다. 주반사판과 지지구조를 제일 먼저 조립하고, VDA 코팅을 거쳐 부반사판을 지지 구조에 조립, 정렬한다. 조립된 안테나 구조물을 열-진공 시험을 거

친 후 다시 표면 데이터를 측정한다. 즉, 열-진공에 의한 구조 변형정도를 확인하는 과정을 거친다. 앞에서 조립된 급전부를 지지 구조에 설치하고 안테나 빔 패턴 확인을 위한 Range 시험을 거친다. 그리고 열변형, 사인 진동, 공력음향학 시험 등 일련의 환경 시험을 거친 후, 다시 Range 시험을 수행하여, 환경 시험 전후의 안테나 빔 패턴 변화를 살핀다. 시험 결과가 규격을 만족하게 되면, 질량 특성 측정, 최종 확인을 거쳐 위성 버스체에 납품하게 된다. 참고로, 통신 위성의 경우 위성체 조립 후에도 다시 일련의 환경 시험과 안테나 Range 시험을 수행한다.

각 개별 부품의 인증 모델의 경우, 앞에서 잠시 언급하였던 것처럼 RF 성능 시험뿐 아니라 환경 시험도 수행하여야 하며, 이에 관한 Test Matrix를 표 2에 정리하였다. 진동 시험의 경우와는 달리 열 시험의 경우에는 RF 성능을 측정한다. Multipaction 현상은 진공상태에서 고전압에 의해 전자들이 도체 표면에서 방출되는 현상으로 진공 상태에서 측정하여야 한다. PIM은 두 개 이상의 신호 주파수들이 서로 간섭을 일으켜 원하지 않는 기생 신호를 발생시키는 현상으로 시험을 통해 PIM 레벨을 확인하여야 한다. 각 부품에 대해 측정하여야 하는 RF 특성을 표 3에 요약하였다.

표 2. 안테나 부품 Test Matrix

Test	Feed Horn	Duplexer	Polarizer (Ka-band only)	Wave-guide
AMB	X	X	X	X
VIB	X	X	X	
AMB	X	X		
TH		X	X	
AMB		X	X	
M/P		X		
PIM	X	X	X	

Note : AMB: ambient performance test;
 VIB: vibration test;
 TH: thermal test; M/P: multipaction test;
 PIM: passive intermodulation test

표 3. 안테나 부품 RF 성능 시험 항목

	Return Loss	Insert. Loss	Pat-tern	Isol.	Group Delay
Horn	X	X	X		
Polarizer (Ka)	X	X		X	
Duplexer	X	X		X	X
Feed assy.	X		X	X	
Feed & WG assy.	X		X	X	

Note: Group delay (Ka band only)

4. 결 론

통신방송 위성용 Ku 및 Ka 대역 안테나에 관한 개발 및 시험 절차의 주요 사항을 정리하였다. 지상용 안테나와 달리 위성 안테나는 RF 성능 margin이 매우 작으므로 여러 가지 손실 요소를 사전에 정확히 반영하여 설계하여야 한다. 이러한 손실 중 제작 및 조립 오차에 의한 손실은 가공/제작 및 조립 기술의 정밀도에 의해 좌우되며, 작은 오차가 매우 큰 성능 손실을 유발함을 알 수 있다. 또한 본 논문에서는 안테나 구성 부품으로부터 안테나 서브시스템까지 전체적인 조립 및 시험 절차를 수립하여 정리하였으며, 국내 위성 안테나 개발에 좋은 참고 자료로 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. J. Park, D. Shin, B. Chung, and S. Lee, "Development of Ka-Band Experimental Payload System," *18th AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit*, Oakland, CA, April, 2000.
2. 엄만석, 고지환, A. Shishlov, "Ku-Band 위성 안테나 기능모델 구현에 관한 연구," 한국통신학회 추계논문학술발표회, 1994.
3. 한재홍, 윤소현, 엄만석, 박종홍, 이성팔, "통신방송위성용 안테나 개념 설계," 한국항공우주학회 추계학술발표회, 2000.

2001年度

春季 學術發表會 論文集

Proceedings of the KSAS Spring Annual Meeting 2001

日時：2001年 4月 14日(土)

場所：慶尚大學校(39棟 工學館)



主 催

社團
法人 韓國航空宇宙學會

The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences

後 援

韓國航空宇宙產業(株)

韓國科學技術團體總聯合會

慶 尚 大 學 校

- QUEST 전처리기를 갖는 확장 칼만 필터
..... 김인중 *, 김진호(인하대학교) ... 485
- 펄스형태 추력기 입력을 이용한 인공위성 자세제어
..... 방효충(한국과학기술원), 이현재 *, 한진원(충남대학교), 박영웅(한국항공우주연구원) ... 489
- 추력기 제어 위성의 자세 추적 문제를 위한 가변 구조 제어
..... 천이진 * (한국항공우주연구원) ... 494
- 두 개의 반작용휠을 이용한 위성의 스핀축 안정화기법
..... 김성필 *, 김유단(서울대학교) ... 499
- 인공위성 3축 자세제어 S/W 시뮬레이터 연구 - 3차원 그래픽 포함
..... 이현재, 한진원 * (충남대학교), 방효충(한국과학기술원) ... 503
- KOMPSAT-2용 자동시험시스템 개발
..... 박종오 *, 최종연, 천용식(항공우주연구원), 정용길(한국항공우주연합),
사공영보, 강병국, 권오룡(솔탑엔지니어링) ... 507
- 다목적실용위성-2호 시뮬레이터 구조
..... 이상욱 *, 조성기, 김재훈, 이성팔(한국전자통신연구원),
김현수(Plastic Software Inc.) ... 511
- 객체지향 기법을 이용한 다목적실용위성 2호 시뮬레이터의 표준화 모델 설계
..... 조성기 *, 이상욱, 김재훈, 이성팔(한국전자통신연구원), 노경민(연세대학교),
김현수(Plastic Software Inc.) ... 515
- 위성 탑재 컴퓨터 결합 허용 설계 분석
..... 구철희 *, 최재동, 김중표(한국항공우주연구원) ... 519
- 아리랑 위성 2호 전원 감시 시험 장치
..... 송준민 *, 정용길(한국항공우주산업(주)), 윤영수, 최종연, 천용식(한국항공우주연구원) ... 524
- 아리랑 2호에서 퓨즈 용량 선정에 관한 연구
..... 구자춘 *, 이진호, 백명진, 김학정(한국항공우주연구원) ... 528
- 통신방송위성 안테나 개발 및 시험 절차
..... 한재홍 *, 윤소현, 박종홍, 이성팔(한국전자통신연구원) ... 532