

# 중력효과 보상을 고려한 통신방송위성 Ku 대역 안테나의 패턴측정용 MGSE개발

## MGSE Development for the CBS Ku-Band Antenna Pattern Measurement Considering Gravity Effect Compensation

최장섭\*, 한재홍, 박종홍(ETRI), 최항석(KAL)

### 1. 서론

정보통신기술의 급속한 발달과 이동통신, 초고속 인터넷, 멀티미디어서비스의 확산으로 인해 통신수요는 급격히 증가되고 있다. 이러한 통신수요를 충족하고 정보통신과 우주복합기술이 결합된 고부가가치 기술로 연관 산업 파급효과가 큰 통신방송위성을 국산화하기 위한 노력이 범정부차원에서 지속되어 왔다. 이에 따라 “국가우주개발중장기계획”의 일환으로 “통신방송위성(Communications & Broadcasting Satellite: CBS) 탑재체 개발사업”이 한국전자통신연구원(ETRI)을 중심으로 국내산업체(KAI, KAL, Ko-Space, Telwave)와 공동으로 추진 중에 있다[1].

통신방송위성 안테나는 무중력상태인 임무궤도에서 가혹한 우주환경을 견디면서 임무말기까지 안테나 요구성능을 충족하여야 한다. 이에 따라 위성 발사 전에 지상에서 가급적 우주환경과 유사한 환경을 구현하여 안테나 성능시험을 실시함으로써 설계의 타당성과 제작과정의 작업의 완성도를 검증하게 된다. 그래서 안테나 성능시험 동안 안테나 반사판의 중력 처짐에 기인한 특성 변화를 해석하고, 그 효과를 보상하기 위한 기구 장치의 개발이 요구된다.

본 논문에서는 현재 개발중인 CBS Ku 대역 안테나에 대한 하중 해석을 통해 중력 상태에서의 반사판 변형을 계산하고, 중력 효과를 보상하기 위한 하중 조건을 구하였다. 그리고, 중력 효과 보상 장치 (0-g device)를 포함하는 안테나 근역장 (Near Field Range) 시험용 MGSE (Mechanical Ground Support Equipment) 개발에 관해 기술하고자 한다.

### 2. 통신방송위성 Ku 대역 안테나의 설계

Ku 대역 안테나는 그림 1과 같은 전개식 형상으로 위성의 동쪽 패널 (East Panel)에 장착되며, 개구면 직경 1.4m의 반사판과 급전부 (feed assembly), 패널, 전개기구 및 고정용 구조물로 구성된다. 반사판은 후방 보강 구조물에 결합되어 두 개의 전개 기구물에 의해 패널에 부착되며, 접혀진 상태로 발사되었다가 궤도상에서 전개하게 된다. Ku 대역 안테나의 기본적인 제원은 표 1과 같다.

표 1. Ku 안테나 제원

항목	내용	비고
재질	Face sheet: CFRP Cloth Core: Al5056	
크기	반사판: 직경 1.4m 전체크기: 2.0mX1.6m	
형상	전개형(반사판+feed assy)	그림1참조
무게	~18Kg	
온도	-170℃ ~ +140℃	시험온도

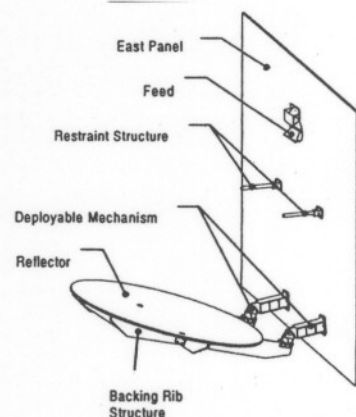


그림 1. Ku 대역 안테나 형상

### 3. 안테나 근역장 시험용 MGSE의 개발

#### 3.1 근역장 시험의 개요

반사판과 급전부와의 기계적 정렬이 완료되고 난 후, 안테나는 근역장 시설안에 설치되어 안테나 패턴, 편파(polarization), 이득(gain), 교차 편파(cross-pol), 부엽파(sidelobes) 등을 측정하기 위한 안테나 range 시험을 수행하게 된다[2]. 이때 그림 2에서와 같이 안테나의 RF 개구면(aperture plane)은 측정용 probe에 대하여 직교하도록 정렬되고 probe는 상하좌우로 이동하면서 안테나 패턴을 측정하게 된다[3]. 안테나 반사판의 개구면측과 probe측과의 정렬은 안테나가 설치된 positioner(roll축, yaw축)와 MGSE(pitch축)의 기능을 이용하여 미세 조정하게 되며 정렬결과에 대한 검증을 위해 정밀측량장치(theodolite)가 사용된다.

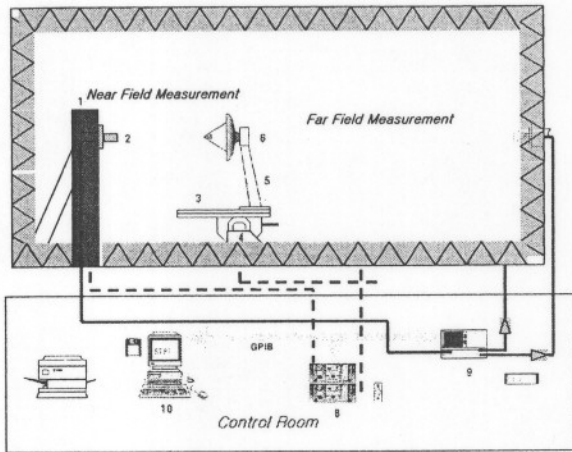


그림 2. 안테나 Range 시험 구성도

#### 3.2 중력보상장치의 필요성

무중력상태인 위성 임무궤도에서 동작하는 안테나는 열환경 변화에 의해 반사판의 열변형은 발생하나, 중력에 의한 변형은 무시할 수 있는 수준이다. 그러나 지상에서 안테나 Range 시험동안 Ku 대역 안테나는 그림 1의 패널 면이 수평방향으로 설치되므로 반사판의 자중에 의한 변형이 발생되어 결과적으로 안테나 패턴특성이 실제 동작조건인 무중력상태와 달라지게 된다. 이에 따라 중력 효과 보상장치를 이용하여 시험동안 안테나 반사판의 변형을 허용오차 이내로 유지하도록

함으로써 시험 조건을 실제 동작상태와 유사하게 구현하는 것이 필요하다.

#### 3.3 중력보상장치 설계를 위한 해석

##### 3.3.1 1-g 상태에서의 반사판 변형 해석

지상시험 조건에서 안테나 반사판의 변형 정도를 해석하기 위해 그림 3과 같은 유한요소모델을 구성하였다. 모든 구조 모델링은 실제 측정 상태와 유사하도록 하였으며, Lug 구조의 하단 interface 점을 고정 지지하였다. 사용된 유한 요소는 Solid 요소이며, 반사판의 안쪽면(실제 반사면)에 위치한 절점들의 변형량만을 추출하여 RF 성능 해석에 사용될 수 있도록 하였다. 반사면의 총 절점 수는 1465개, 반사면 Rim의 절점 128 개로 충분한 공간 정확도(spatial accuracy)를 가지고 반사면의 변형 형상을 구할 수 있다.

변형 계산은 두 가지 조건에 대해 이루어졌다. 안테나 반사판에 열제어 하드웨어 (Thermal Control H/W)가 부착된 경우와 그렇지 않은 경우이며, 전자의 경우 열제어 하드웨어의 중량은 Non-structural Mass로 처리하였다. 각각의 경우 반사판의 최대 변형량은 0.85 mm, 0.833 mm로 열제어 하드웨어의 중량 효과는 미미한 것으로 나타났다. 그림 4에 열제어 하드웨어가 없는 경우 1-g 변형 패턴을 도시하였다. 이와 같은 변형이 존재할 때 안테나 RF 성능 해석을 수행한 결과, 안테나 주요 성능 파라미터 중 하나인 수신 EOC (End of Coverage) 이득이 0-g 상태의 성능과 비교할 때 0.44 dB까지 저하되는 등 전체적인 성능 변화가 많아 중력 효과 보상 장치가 반드시 필요함을 알 수 있었다.

##### 3.3.2 0-g 상태에서의 반사판 변형 해석

안테나 반사판의 1-g 변형을 상쇄하기 위해 0-g device를 이용한다. 0-g device는 여러 종류가 있을 수 있으나, 그 기본 원리는 안테나 반사판의 몇 곳에 역 하중을 가해(일반적으로 반 중력 방향), 전체 변형량을 최소화 하는 것이다. 하중점이 많을수록 설계 자유도가 증가하여 변형량을 더욱 줄일 수 있으나, 실제 0-g device 하드웨어 제작성 및 반사판의 각 하중점에 필요한 부수적인 장치(예: Connecting Hole) 등을 고려하

면, 하중점의 수를 가능한 한 적게 하는 것이 실용적이다.

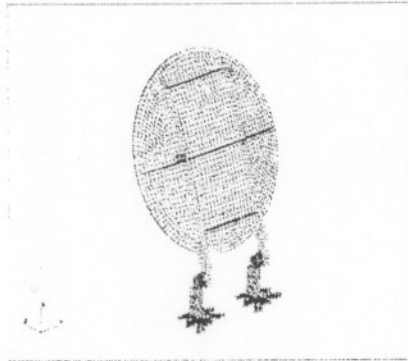


그림 3. 안테나 반사판의 유한요소모델

상태에서 안테나 성능 해석을 수행해 본 결과, 0-g 상태에서의 성능과 거의 차이가 없음을 확인하였다.

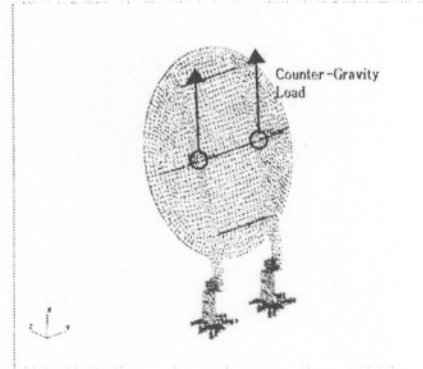


그림 5. 중력보상장치1의 하중조건

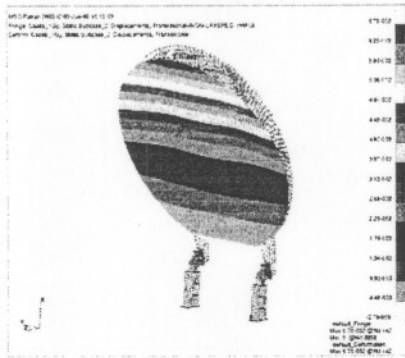


그림 4. 안테나 반사판의 변형(1-g)

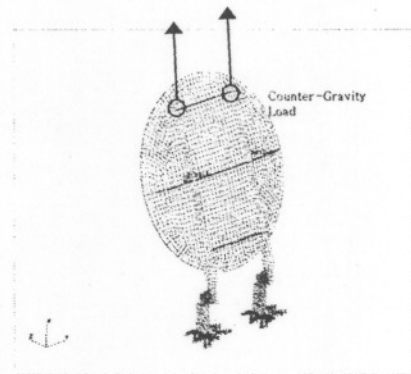


그림 6. 중력보상장치2의 하중조건

본 논문에서는 그림 5 및 6에 보인 바와 같이 안테나 후면 리브 구조의 중간 2점에 하중을 가하는 경우 (이하 0-g device1) 와 리브의 끝단 2점에 하중을 가하는 경우 (이하 0-g device2) 경우에 대해 반사판의 변형 해석을 수행하였다.

각 경우에 대해 1-g 변형을 계산하는 경우와 마찬가지로 열제어 하드웨어가 부착된 경우와 부착되어 있지 않은 경우에 대해 변형을 계산해 보았다. 하중값을 바꾸어가며, 전체적인 변형이 작아지는 최적 하중값을 구하였으며, 표 2에 각 경우에 대한 최대 변형량을 정리하였고 표 3에 각 경우에 대한 최적 중력 보상 하중을 나타내었다. 또 각 조건에 대한 변형량을 그림 7,8에 도시하였다. 그림 4, 7, 8의 변형량 Plot의 Scale이 서로 다름에 유의하여야 한다. 그림 7, 8 과 같은 변형

표 2. 하중조건에 따른 반사판의 최대변형량

하중조건	최대변형량(mm)	
	Thermal H/W(w/o)	Thermal H/W(with)
1-g	0.833	0.85
0-g(1)	0.067	0.0679
0-g(2)	0.00656	0.00667

표 3. 하중조건에 따른 중력보상 하중치

하중조건	보상하중(Kg)	
	Thermal H/W(w/o)	Thermal H/W(with)
0-g(1)	2.42	2.74
0-g(2)	1.89	2.11

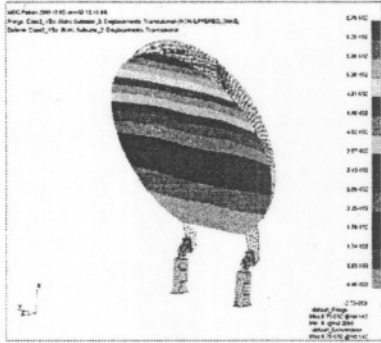


그림 7. 반사판의 변형(하중조건 1)

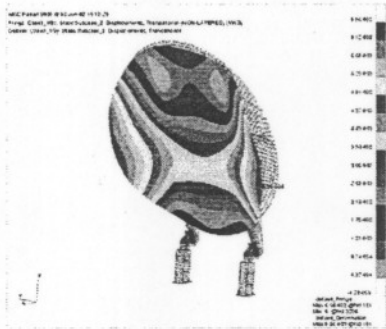


그림 8. 반사판의 변형(하중조건 2)

4. 중력 보상을 고려한 MGSE의 설계  
3절의 해석결과를 토대로 보상 하중 1.89Kg을 적용한 MGSE 형상도는 그림 9와 같다.

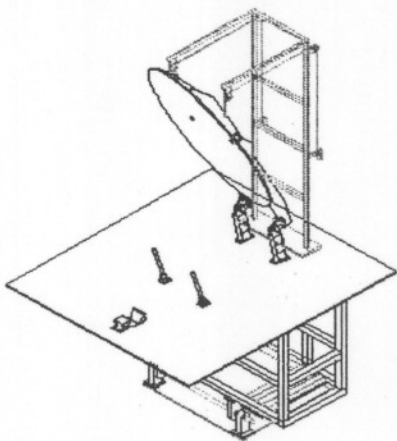


그림 9. 중력보상장치를 고려한 MGSE 형상도

반사판은 2개의 철선에 의해 위로 당겨지고 반

대쪽에 0.945 Kg에 해당하는 2개의 추를 달아 반사판의 중력 처짐을 상쇄하도록 설계하였다. 그리고, 안테나 패널의 처짐에 의한 부정렬 (misalignment)을 방지하기 위해 급전부 하부에도 가로빔을 설치하였고 반사판 개구면과 Probe 축선의 피치(pitch) 방향의 정밀각도 조절을 위해 MGSE하부에 0.01° 정밀도를 가진 워 기어를 설치하였다. 시험 중 MGSE 구조물에 반사되는 전파를 최소화 하기 위해 가능한 한 안테나 반사판과 패널에 가려지도록 설계하였다. 또 운반 및 설치의 용이성을 위해 알루미늄 재질로 제작하였다.

### 5. 결론

통신방송위성 Ku-대역 안테나의 패턴을 측정하기 위해 중력보상장치를 포함한 MGSE를 개발하였다. 지상에서 안테나 반사판의 중력 처짐을 유한요소법으로 해석하였고, 해석결과 중력처짐에 의한 안테나 특성이 허용오차범위를 초과하여 중력 보상 장치가 필요함을 알 수 있었다. 이에 따라 여러 가지 경우의 중력 보상 조건에 대한 해석을 수행하여 보상 하중을 최소화하도록 설계하였다. 1.89Kg의 보상하중을 하중조건 2의 위치에 적용한 후 변형해석과 안테나 특성해석을 수행한 결과, 보상하중과 적용위치의 타당성을 확인할 수 있었다. 또 반사판 개구면과 Probe 축선의 피치(pitch) 방향조절장치도 MGSE 설계에 반영하였다.

개발된 Ku-대역 안테나는 MGSE에 설치되고 정밀계측장치로 정렬검증을 실시한 후, 근역장 시설에서 안테나 패턴측정으로 설계성능 만족여부를 확인하게 될 것이다.

### [참고문헌]

- [1] 이성팔, 국내통신위성 개발계획, 통신위성. 우주산업연구회지, 제8권 1호, pp41-46, 2000.3
- [2] 한재홍,윤소현,박중홍,이성팔,통신방송위성 안테나 개발 및 시험절차, 한국항공우주학회 춘계학술 발표회, 2001
- [3] Operating Manual for Antenna Measurement System, Orbit Engineering Ltd, 2002.



2002년도

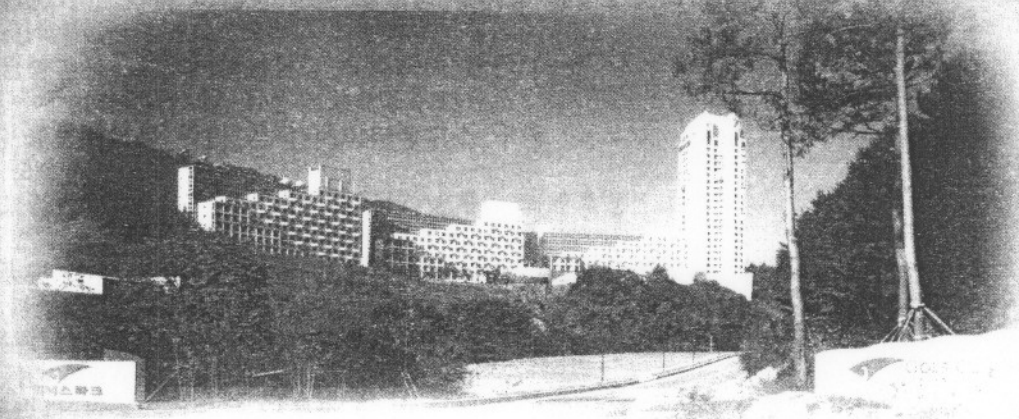
# 추계 학술발표회 논문집 (I)

Proceedings of the KSAS Fall Annual Meeting 2002

공기역학 및 응용 · 구조역학 및 응용 · 인공위성체계

일 시 : 2002년 11월 8일(금) ~ 9일(토)

장 소 : 보광 휘닉스파크 호텔



주 최



사단  
법인

한국항공우주학회

The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences

후 원

한국 학술진흥재단  
한국과학기술단체총연합회  
(주) 대한항공  
한국항공우주산업(주)

• 한국형 SAR 탑재 위성 시스템 개념 설계 .....	556
임정흠*, 김희섭, 신재민, 이상률, 김영수(한국항공우주연구원)	
• 다목적실용위성 2호 RF 슈트케이스 설계 .....	560
정대원*, 신재민, 최종연(한국항공우주연구원)	
• 다목적실용위성 2호 RF Compatibility 시험 계획 .....	564
정대원*, 금정훈, 김학정(한국항공우주연구원)	
• 다목적 실용위성 2호 고주파 간섭의 해석 .....	568
채태병*, 조창범, 권기호, 김대영(한국항공우주연구원)	
• 저궤도 위성 통신 링크의 설계 및 해석 .....	572
채태병*, 조창범, 권기호, 김대영(한국항공우주연구원)	
• 다목적실용위성 2호의 소프트웨어 테스트 베드 개발 .....	576
천이진*(한국항공우주연구원), 오광교(한국항공우주산업)	
• 위성시뮬레이터 Plug-and-Play Approach .....	580
강자영*(한국항공대학교)	
• 다목적 실용위성 2호 자세제어계 기능시험용 VDS(Vehicle Dynamic Simulator) 개발 .....	584
석병석*, 이선호, 용기력, 오시환, 이승우(한국항공우주연구원)	
• 인공위성 3차원 그래픽 가시화 툴 개발 .....	588
오시환*, 용기력, 이선호, 석병석, 최홍택, 이승우(한국항공우주연구원), 김주일, 고동영, 한진원((주)심메드)	
• 지구 저궤도관측위성 개발모델 설계 및 해석 .....	592
김진희*, 김성훈, 이주훈, 황도순, 문홍열(한국항공우주연구원)	
• 명령 오류율 최소화를 위한 명령 코딩 및 해석 .....	596
구철희*, 김종표, 최재동(한국항공우주연구원)	
• KOMPSAT- 2 탑재컴퓨터 성능분석 .....	600
조창범*, 권기호, 김대영, 심은섭(한국항공우주연구원)	
• KOMPSAT- 2 탑재컴퓨터 설계 .....	604
조창범*, 권기호, 김대영, 심은섭(한국항공우주연구원)	
• 중력효과 보상을 고려한 통신방송위성 Ku 대역 안테나의 패턴측정용 MGSE개발 .....	608
최장섭*, 한재홍, 박종홍(한국전자통신연구원), 최항석(KAL)	
• 통신방송위성 EQM 중계기 운송용 컨테이너 개발 .....	612
최장섭*, 박종홍(ETRI), 임창선(한국항공우주산업)	
• 대형 저온진공 챔버 동특성 모델링 및 제어 .....	616
신영기*(세종대), 이상훈, 서희준, 조혁진, 문귀원, 최석원, 이상설(한국항공우주연구원)	
• Bake-Out 챔버 동특성 모델링 .....	620
신영기*(세종대), 이상훈, 서희준, 조혁진, 문귀원, 최석원, 이상설(한국항공우주연구원)	
• 인공위성의 분자오염 측정 및 분석에 관한 연구 .....	624
조혁진*, 이상훈, 서희준, 문귀원, 최석원(한국항공우주연구원)	
• 인공위성 자세결정용 별센서 시험을 위한 S/W 시뮬레이터 구현 .....	628
이현재*, 방효충(한국과학기술원), 석병석, 김희섭(한국항공우주연구원)	
• 정지궤도위성 우주 환경 모델링에 따른 자세영향 해석 .....	632
이정신*, 김근태, 방효충(KAIST), 박영웅(한국항공우주연구원)	
• 아리랑위성 2호의 동기된 1Hz 시간 성능 분석 .....	637
권기호*, 김대영, 조창범, 채태병(한국항공우주연구원)	
• 아리랑위성 2호의 GPS 수신기 .....	641
권기호*, 김대영, 조창범, 채태병(한국항공우주연구원)	
• 위성의 궤도운동 및 자세에 영향을 미치는 외부교란토크 분석 .....	645
최홍택*, 용기력, 이승우(한국항공우주연구원)	
• 저온 환경하에서의 저궤도위성 발사시 열해석 .....	649
현범석*, 최준민, 김대승(한국항공우주연구원)	