

가변 커버리지를 갖는 위성 관제용 접이식 헬리콘 반사체 안테나 성능 연구

Modified Fold Type Helicone Reflector for Efficient Satellite TT&C Having Variable Coverage Area

이상민 · 이우경

Sang-Min Lee · Woo-Kyung Lee

요약

헬릭스 안테나는 관제, 관측, 탐사, 통신 위성 등에서 관제(TT&C), 데이터 통신, GPS 수신 시스템, 전술 시스템으로 활용되고 있다. 위성의 Z축에서 최대 지향성과 방사 특성을 갖는 헬릭스는 광대역의 임피던스와 통신 커버리지 대역을 제공할 수 있다. 도파관 혼 구조는 흔히 레이다 분야에 이용되는데, 지반 탐사 레이다 및 전자파 장애 측정 등 초 광대역 필스를 필요로 하는 곳에 사용된다. 또한 크기가 비교적 작고, 적은 방사 왜곡으로 인한 고효율과 낮은 반사 특성을 갖는 장점이 있다. 본 논문에서는 고용량의 데이터를 전송하여 넓은 주파수 대역폭을 사용하는 통신 및 원격 탐사 위성에 적합한 도파관 혼-헬릭스 결합 안테나를 설계한다. 설계된 변형 구조 안테나는 S 랜드에서 가변 빔 스캐닝 모드를 갖는 혼-헬릭스 결합 헬리콘 구조로 관제, 탐사, 고속 데이터 통신용 등의 다기능 안테나로 동작한다. 도파관 혼은 테이퍼된 헬릭스를 감싸는 접이식 반사체로 설계하여 구조물의 소형화를 유도한다. 현재 개발 중인 차세대 다목적 실용위성에서는 고성능의 탑재체를 활용하기 때문에 정밀하고 안정된 위성 자세 제어 능력을 요구하고, 위성 안테나의 지향성 요구 조건이 강화된다. 이를 위해 설계된 안테나의 위성 초기 배치에 따른 링크 분석을 통해 위성체의 자세 및 운용 모드에 따라 다른 결과를 갖는 빔 스캐닝을 산출하고 각 모드에서의 자료 전송률에 대해 연구한다.

Abstract

Helix antennas have been widely applied to satellite TT&C, data communication and GPS receiver systems onboard military, remote sensing and communication purpose satellites. The helix antennas are known to be convenient to control impedance and radiation coverage characteristics with a maximum directivity in satellite z-axis. Waveguide horn is commonly used for radar system that needs ultra-wideband pulse for exploration ground radar and electromagnetic disability measurement etc. It has high efficiency and low reflection characteristics provided by the low-profile shape and suppressed radiation distortion. In this paper, a waveguide horn structure incorporated with helix antenna design is proposed for satellite applications that require ultra-wideband pulse radar and high rate RF data communication link to ground station over wide coverage area. The main design concern is to synthesize variable beam forming pattern based on modified horn-helix combination helicone structure such that multi-mission antenna is implemented applicable for TT&C, earth observation, high data rate transmission. Waveguide horn helps to reduce the overall antenna structure size by introduction fold type reflector connected to the tapered helix antenna. The next generation KOMPSAT satellite currently under development requires high-performance precision attitude control system. We present an initial design of a hybrid horn-helix antenna structure suitable for efficient RF communication module design of multi-purpose satellite systems.

Key words : Helix, Waveguide Horn, Helicone, Fold Type Reflector, TT&C, Satellite Communication, Satellite Attitude Control System, Multi-Purpose Antenna, Wideband Antenna

한국항공대학교 항공전자공학과(School of Electronics, Telecommunication & Computer Engineering, Korea Aerospace University)

· 논문 번호 : 20090730-01S

· 수정완료일자 : 2009년 9월 8일

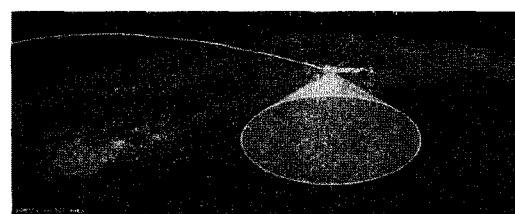
I. 서 론

인공위성에서는 원격 측정, 추적, 통신 및 관제 목적의 TT&C(Telemetry: Tracking & Command)용으로 무지향성 빔 패턴을 갖는 고이득 원형 편파 안테나가 사용된다. 이 안테나는 위성에 탑재된 다른 시스템에 영향을 끼치지 않게 작은 후엽 레벨을 갖고, 소형 경량화되어야 한다. 이러한 특성을 만족하는 안테나로는 턴스타일 다이풀, 원뿔 나선 안테나, 쌍원추 비콘 안테나, 4중 나선 안테나, 도파관 안테나, 코니컬 헬릭스 안테나 등이 있다. 이 중에서 코니컬 헬릭스 안테나는 구조가 단순하고, 급전에 용이하며, 동작 모드에 따라 다른 지향성 패턴을 갖기 때문에 TT&C 안테나로 많이 활용되고 있다^[1]. 코니컬 헬릭스 안테나는 광대역에서 고이득과 우수한 우선회 원형 편파(RHCP) 특성으로 군 전술 위성 통신용으로 많이 사용된다. 그 중, 미 해군 전술용 FLTSATCOM과 영국 및 유럽 연방 NATO군 전술 통신용 SKY-NET-5C 위성에서는 헬릭스 안테나를 배열로 사용했다. 군 통신 위성에서는 단일 헬릭스에서 발생하는 큰 후엽 레벨과 급전 손실에 대한 문제 해결을 위해 평판 위에 4~6개의 나선을 배열로 사용했다. 과거 군 통신 위성은 안정된 자세 제어 시스템이 탑재되어 있지 않았기 때문에 고이득과 무지향성 빔 패턴을 갖기 위해 헬릭스에 많은 권선을 사용했다. 이 구조는 위성의 부피 증가로 발사 시 문제가 되었다^{[2],[3]}. 또한, 헬릭스 안테나는 지상국에서 GPS 신호 수신용으로 차량, 선박, 교통, 모바일 시스템에 많이 활용되었다. GPS 수신용 헬릭스는 탑재에 유리하고, 안정된 신호 및 다중 목표물을 탐지하기 위해 소형, 경량화, 내환경성을 보유한 유전체 구조를 사용했다^[4].

현재 운용되는 위성들은 안정된 3축 자세 제어 시스템 기반에 TT&C, 통신, 제어 임무를 동시에 수행 가능한 위성 안테나를 활용하고 있다. 즉, 위성이 궤도상에서 안정된 목표물과 준 안전성 목표물을 스캐닝하고 있는 3축 안정화 자세 제어가 가능하다는 뜻이다. 다중 목표물을 요구하는 위성의 임무를 수행하기 위해서는 빠른 전기적 빔 스캐닝이 가능한 고효율, 저손실 안테나를 요구한다. 이러한 특징을 갖

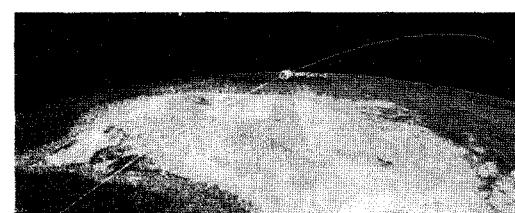
는 안테나로는 위상 배열 안테나와 도파관을 활용한 반사체 안테나가 있다. 위상 배열 구조는 소형, 경량화에 유리하고, 빠른 빔 스캐닝이 가능하지만 비싸고, 광대역 안테나 모델링이 어렵다. 반면 반사체 구조의 안테나는 무겁고, 빔 스캐닝이 느리다는 단점이 있지만, 저비용으로 구조가 단순하기 때문에 고체 및 수리가 쉽고, 광대역 모델링에 우수한 특징을 가지고 있어 위성에서 많이 활용되고 있다^[5].

그림 1은 위성 자세 안정도에 따라 다른 지향성 패턴을 갖는 위성 안테나 필요성에 대한 가상 시나리오이다. 그림 1(a)는 위성 자세가 불안정한 상태를 구현하여 무지향성 안테나로 넓은 커버리지 관제를 통해 임무를 수행하는 시나리오이다. 그림 1(b)는 고성능 자세 제어로 위성 자세가 안정된 상태를 구현하여 고지향성 안테나로 특정 목표물에 대한 빠른 빔 스캐닝을 하는 시나리오이다. 이는 차세대 개발 위성에 탑재된 안테나의 다목적 빔 스캐닝에 따라 통신 대역 변화를 예측해 보는 시나리오를 가상으로 구현한 것이다. 다중 목표물을 요구하는 위성에서는 빠른 전기적 빔 스캐닝이 가능한 안테나를 요구하게



(a) 위성 자세 불안정, 무지향성 안테나 필요

(a) Satellite attitude unstable, demand for omni-directional antenna



(b) 위성 자세 안정, 고지향성 안테나 필요

(b) Satellite attitude stable, demand for high-directivity antenna

그림 1. 위성 자세에 따른 빔 스캐닝 시나리오 설계(STK)

Fig. 1. Beam scanning scenario design versus satellite attitude(STK).

되는데, 이는 시스템의 대형화로 이어진다.

비교적 저용량의 데이터 전송을 처리하는 S 밴드의 위성 관제 통신에서는 안테나의 이득 향상보다는 지상국과의 통신이 반드시 확보되는 안정성이 중요했으나, 최근에는 위성의 자세 제어 기능이 향상됨에 따라 무지향성 안테나를 고이득의 지향성 안테나로 대체되는 경향을 보이고 있다. 이 경우, 관제 데이터를 처리하는 동시에 기존의 X 밴드에서 처리하던 고속 대용량 통신을 대체하거나 지원하는 역할을 수행할 수 있게 된다. 대형의 위성과는 달리 비교적 임무가 가벼운 소형 위성에서는 위성체의 무게와 전력 소비에 불리한 X 밴드 송신 대신 S 밴드 송신기를 활용하는 것이 유리할 수 있다. 또한, 위성의 임무에 따른 가변적인 통신 링크를 구성한다면 소형 위성체를 경량화, 소형화에 큰 기여를 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 저궤도 위성 TT&C 안테나로 광대역에서 가변 커버리지 특성을 갖고, 동 주파수 대역에서 위성 자세에 따라 가변 범 스캐닝이 가능한 헬리克斯-도파관 반사체 결합 구조를 제시한다. 이 결합 구조는 헬리콘 안테나로 소형, 경량화 특징을 갖고, 위성 탑재에 유리한 내환경성, 내충격성 및 내마모성을 갖도록 위성 안테나용 재료를 선별한다. 또한, 헬리콘 안테나에 대한 이득, 원형 편파 구현, 지향성 패턴 변화와 가변 범 스캐닝에 대한 연구 결과를 소개한다. 마지막으로 설계된 안테나 실제 저궤도 위성에 장착될 경우 활용 가능한 성능의 범위를 제시한다.

II. 접이식 헬리콘 반사체 설계

2-1 헬리克斯 안테나 동작 원리

헬리克斯 구조는 광대역 안테나로서 2:1의 넓은 대역폭에 걸쳐 원형 편파를 얻을 수 있으며, 특히, 축 모드에서는 한 번 감은 권선 길이가 한 파장 전·후가 된다.

권선 수 2~3회에서는 다음 식 (1)에 대응하는 주파수 범위에서 좋은 성능을 나타내고, 식 (2)의 대역폭 비를 만족한다^[7].

$$\frac{3}{4}\lambda \leq C \leq \frac{4}{3}\lambda \quad (1)$$

$$B_r = \frac{f_U}{f_L} = \frac{c/\lambda_U}{c/\lambda_L} = \frac{4/3}{3/4} = 1.78 \quad (2)$$

설계 변수로 C 는 나선의 원주 길이로 공진 주파수를 결정한다. 1.78:1의 대역폭은 동작 주파수 범위의 상한값(λ_U)과 하한값(λ_L)에 의해 결정된다. 감겨진 나선에 대해 균일한 전류 분포를 갖는 정상 모드 헬리克斯와 대조적으로 축 모드 헬리克斯에 흐르는 전류 위상은 진행파의 특성인 나선을 따라서 연속천이하는 특징을 지닌다. 나선을 따라서 진행하는 전파는 나선 축을 따라 엔드파이어 범 패턴을 만들고, 이는 지향성이 증가된 한센-우드야드 배열 원리에 대응하게 된다^[7].

2-2 위성용 헬리克斯 안테나 재료 분석

위성용 헬리克斯 안테나는 세라믹, 폴리머 원통 위에 베릴륨·구리 재질로 나선을 설계하고, 은을 코팅하여 패턴을 형성한다. 또한, 코팅된 헬리克斯 외부에 외부 열에 민감한 위성 헬리克斯 안테나에 무광택, 고 반사용 백색 및 검은색 페인트로 표면처리를 통해 -145~140 °C 정도의 넓은 열 전달 극복 범위를 갖도록 한다. 베릴륨, 구리 도선 표면처리 가공 기법은 공기 중에 발생하는 산화 반응 영향을 최소화하고, 도체 표면 마모 현상을 제거하기 때문에 우주용 나선 안테나 재료로 많이 사용되고 있다. 베릴륨-구리 소자는 기존 코일, 스프링에 사용되었던 알루미늄, 태프론 재료에 비해 우수한 강도와 내마모성 및 내구성을 갖기 때문에 위성용 안테나 재료로 탁월하다. 또한, 준 유연성 동축선 재료와 레이돔 커버를 이용해 설계한 반사체는 헬리克斯 안테나 성능에 영향이 없도록 내충격성, 내환경성을 보유하게 된다. 제안된 헬리콘 안테나는 초지향성과 신호 위상의 안정성을 제공하기 위해 열 변형에 견고하고, 정밀한 자세 제어로 낮은 출력에서도 고성능 동작이 가능하다. 하지만, 위성체에 안테나를 배치할 때와 표면 처리 가공 시 발생하는 공간 미세 입자들은 안테나 코일로 전도되어 순간적으로 150 kW의 높은 전력을 발생시켜, 탑재체 자체 위험 요소가 되기 때문에 배치 및 가공에 유의해야 한다^{[7]~[9]}.

2-3 코니컬 헬리콘 구조 및 접이식 가변 반사체 설계

동작 주파수 대역은 2.2~3.2 GHz로 S 밴드에서 한 파장의 길이가 136.37 mm가 되도록 도선을 설계하고 테이퍼를 적용한다. 권선은 13°의 최적 피치 조건을 적용하고, 4턴에서 7.58 dBi로 근사되는 이득과 축비 1.125 dBi 대역에서 우 선회 원형 편파(RHCP)가 구현되도록 설계한다. 또한, 급전 손실 최소화를 위해 N 타입 RG-58/U 동축 케이블을 이용해 50 Ω 임피던스 정합을 구현한다. 테이퍼된 도선은 시작 권선에서 전류 분포를 집중시킨다. 도선 표면에 흐르는 변위 전류는 급전 손실을 최소화시켜 임피던스 정합을 유리하게 조절한다. 창살 모양의 반사체 내부, 최적 피치 및 권선 수로 제한된 헬릭스를 통해 빔 폭을 제어한다. 코니컬 도선 구조는 부엽 레벨이 작아 광대역 커버리지 확보에 용이한 반면, 큰 후방 방사로 임피던스 정합에 불리하고, 급전 손실이 크다는 단점을 갖고 있다.

이에 그림 2와 같이 테이퍼된 코니컬 헬릭스를 접지에 고정하고, 접지 측면에 접이식 부채꼴 반사체를 장착하여 소형화를 유도하고, 가변 빔 스캐닝 동작에 수월하도록 한다. 즉, 도파관 혼-헬릭스 결합 구조로 두 타입의 안테나 특성을 모두 갖게 하여 각 타입별 단점을 보상하게 한다. 이 구조는 테이퍼를 적용한 접이식 가변 반사체로 위성에서 전파 중계 커버리지 통신 대역을 제어한다. 가용 목격에 따라 부채꼴의 각 로드 반사체 접이각과 입구 직경이 조절되고, 데이터 송신률을 높이기 위해 빔 조향 패턴이 제어된다. 천막 및 창살 구조의 반사체는 동축선 내부에서 인가된 스위치 모드 동작을 하도록 접힘과 펼침을 반복하여 데이터 통신률과 커버리지 대역을 조절한다. 헬리콘의 경우, 균일 선전원의 전류 분포가 선전원의 양단에서 제어되기 때문에, 부엽 레벨과 반전력 빔 폭(HPBW)을 조절에 용이하다. 이는 헬리콘의 가변 빔 스캐팅 모드 구현에 적용되며, 초기향성 및 무지향성 조건을 동시에 갖게 한다.

각도 단위에서 반전력 빔 폭(HPBW)은 식 (3)과 같이 근사된다^{[7]~[9]}.

$$HPBW = \frac{65^\circ}{\frac{C}{\lambda} \sqrt{N(\frac{S}{\lambda})}} \quad (3)$$

반전력 빔 폭에 사용된 파라미터 중, C 는 나선의 원주 길이로 설계된다. 권선 수(N)와 권선 간격(S)은

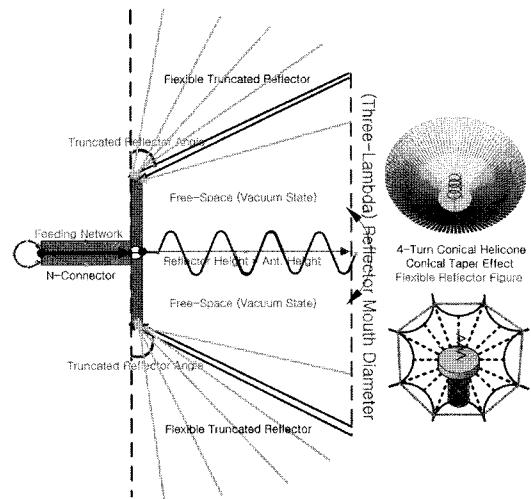


그림 2. 접이식 헬리콘 안테나 구조 사시도

Fig. 2. Fold type helicon antenna structure prespective view.

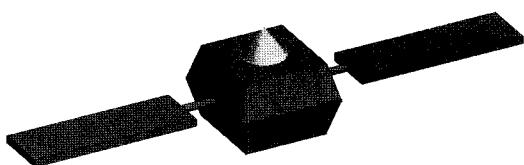
한 파장 λ 에 의해 결정된다. 개발 안테나의 규격이 결정되면, 식 (4)와 같이 나선 안테나 송신 이득(Gain)을 구할 수 있다^{[7]~[9]}.

$$Gain = \frac{26000}{(HPBW)^2} = 6.2 \left(\frac{C}{\lambda} \right)^2 N \left(\frac{S}{\lambda} \right) \quad (4)$$

이 근사식은 실제적인 위성 탑재 안테나 이득을 추출 가능하게 한다. 대부분 헬릭스 구조는 접지에 고정된다. 접지는 다양한 형태를 갖지만, 주로 $3/4 \lambda$ 의 원통 알루미늄 판으로 설계하여 후방 방사를 제어한다^{[8]~[9]}. 이는 헬리콘 반사체 주 빔 조향 원리와 대응된다. 빔 패턴은 용도에 따라 내부 헬릭스 축에 대응된 가변 반사체 높이를 조절하여 조향된다.

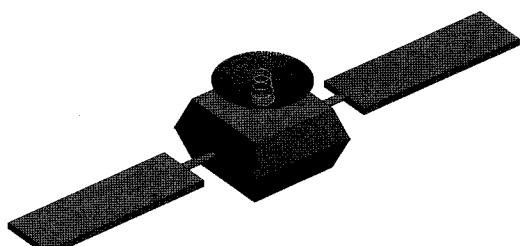
그림 3과 같이 위성에 장착된 헬리콘은 두 경우의 빔 스캐닝 모드를 갖는다. 펼쳐진 반사체는 입구 직경이 넓어지고, 접이각이 생겨, 내부 헬릭스 성능에 따라 고지향성 빔 스캐닝 모드로 동작한다. 반면, 접혀진 반사체는 접이각이 커서 콘 타입 반사체 모양을 갖고, 무지향성 빔 스캐닝 모드로 동작된다. 이 가변 요소들은 자세 제어가 고정된 행성 탐사 및 심우주용 위성체에서 송신 안테나 이득을 조절하여 고속 데이터 통신 임무 수행을 위해 사용되었던 도파관-기생 소자 모노풀 안테나 원리에서 차안되었다.

헬리콘의 접이식 반사체의 초기향성 빔 스캐닝 모드는 광대역 커버리지 제어, 고성능 자세 제어 기



(a) 시험 위성에 장착(반사체 접침, 무지향성 범 스캐닝 모드)

(a) Equipped test satellite(folded reflector, omni-directional beam scanning mode)



(b) 시험 위성에 장착(반사체 펼침, 고지향성 범 스캐닝 모드)

(b) Equipped test satellite(unfolded reflector, high-directivity beam scanning mode)

그림 3. 위성체 장착 및 반사체 접이식 동작

Fig. 3. Satellite mount and reflector folding operation.

술 제원 및 TT&C, 데이터 통신 임무에 적용된다. 설계 변수는 $0 \sim 45^\circ$ 접이각을 갖는 가변 반사체와 $2\lambda \sim 4\lambda$ 범위의 입구 직경 및 3λ 전·후로 최적화된 입구 직경을 통해 광대역과 원형 편파를 구현한다. 제안된 구조는 유연한 설계 변수로 인해 광대역에서 가변 커버리지 범 특성을 갖고, 다목적 임무에 맞도록 주파수를 선택, 활용할 수 있는 안테나로 동작하게 된다^[10].

III. 모의실험 결과

3-1 반사 손실 특성

일반적인 헬릭스 배열 구조의 정재파비 기준 대역폭은 표 1과 같다.

보통 배열 헬릭스를 사용하였을 경우, 25 % 이상의 광대역을 확보하게 된다. 일반적인 관제용 안테나의 대역폭은 광대역을 요구하는 것은 아니지만, 본 논문에서는 위성의 임무 시나리오에 따라 가변적으로 설계하도록 하였다.

표 1. 정재파비 대비 임피던스 대역폭 확보 기준

Table 1. Impedance bandwidth secure criterion versus VSWR(Voltage Standing Wave Ratio).

정재파비	임피던스 기준 대역폭	
	50Ω	140Ω
$< 2 : 1$	40 %	70 %
$< 1.5 : 1$	25 %	40 %
$< 1.2 : 1$	12 %	20 %

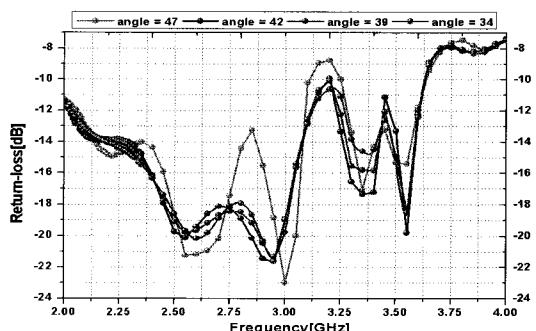


그림 4. 반사체 각도별($30 \sim 50^\circ$) 반사 손실 패턴 결과

Fig. 4. Return-loss pattern result versus reflector angle ($30 \sim 50^\circ$).

그림 2의 접이식 헬리콘 구조에서 반사체 각도를 변화시킴에 따라 나타나는 안테나의 반사 손실 계산 값을 그림 4에 표시하였다. 반사체의 각도가 45° 를 넘어서면서 반사 손실의 변화가 뚜렷이 나타남을 확인할 수 있다.

전반적으로 반사체 입구 직경 및 접이각 제어로 평균 17 %의 광대역 안테나로 동작한다는 것을 볼 수 있다.

단일 축 모드 헬릭스와 비교해 대역폭은 평균 4 % 이상 향상되었으며, 이러한 효과는 두 가지 측면에서 설명할 수 있다. 먼저, 권선 간 커플링 현상을 줄이기 위해 테이퍼를 적용한 것과 S 밴드에서 우수한 임피던스 정합 특성을 갖는 N타입 RG-58/U 커넥터로 성능을 조절한 것이다. 2:1의 임피던스 대역폭을 가지는 헬릭스의 권선 구조적 특징도 광대역 안테나로 동작이 가능하게 한다.

정재파비 대비 대역폭 변화 패턴은 표 2에 정리하였다. 반사체 헬리콘 구조는 안테나 자체의 손실을 최소화하고, 대역폭을 증가시켜, 보다 고성능 탑재 장치로 동작하게 한다^[10].

표 2. 반사체 각도별 헬리콘 대역폭 비교

Table 2. Helicone bandwidth comparison versus reflector angle.

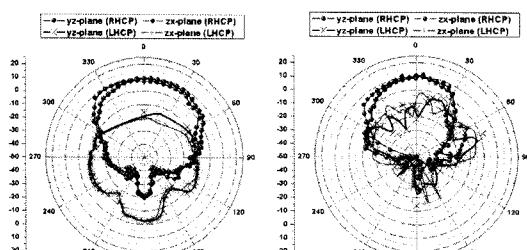
안테나 타입	정재파비	임피던스 대역폭
47° 반사체 타입	2 : 1	13.69 %
	1.49 : 1	9.02 %
42° 반사체 타입	2 : 1	18.74 %
	1.49 : 1	8.02 %
39° 반사체 타입	2 : 1	18.75 %
	1.49 : 1	8.81 %
34° 반사체 타입	2 : 1	18.72 %
	1.49 : 1	8.87 %

3-2 가변 커버리지 빔 스캐닝 패턴

3-2-1 무지향성 빔 스캐닝 모드

헬리콘 구조는 우선회 원형 편파(RHCP) 구현에 용이하도록 소형화되었으며, 그 구간에서 최대 주엽 레벨을 갖도록 설계되었다. 또한, TT&C 임무에 적합하도록 각 위상에서 3 dB_i의 축비 마진을 갖도록 유도하였다.

0° 접이각, 헬릭스와 반사판 직경이 성능을 조절하는 경우인 그림 5(a)에서는 내부 3/4 λ 접지 헬릭스는 약 9 dB_i 이득과 15 %의 편파 축비를 갖는 정상 모드로 동작한다. 최대 주·후엽 레벨의 편파 이득 차이는 대략 40 dB_i로 65.5°의 반전력 빔 폭 구간



(a) 0° 반사체 접이각을 갖는 헬리콘 방사 패턴
(b) 30° 반사체 접이각을 갖는 헬리콘 방사 패턴
(a) Helicone radiation pattern with 0° reflector fold angle
(b) Helicone radiation pattern with 30° reflector fold angle

그림 5. 무지향성 빔 스캐닝 헬리콘 방사 패턴

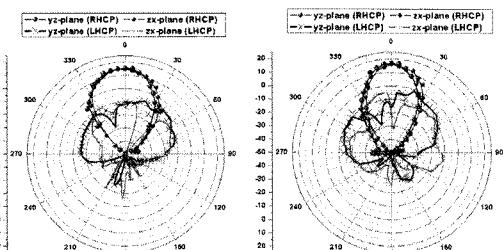
Fig. 5. Omnidirectional beam scanning helicone radiation pattern.

에서 순도가 좋은 평균 2 dB_i의 축비 마진을 갖는다. 이는 반사체 영향이 작은 것으로 내부 헬릭스의 성능이 중요하다. 따라서, 위성 플랫폼 오차가 크고, 자세 제어가 불안정한 상태에서 활용 가능성이 높다. 위성의 불안정한 자세에서 요구되는 무지향성 빔 스캐닝 모드는 헬리콘 접이각 0~30°와 45° 이상에서 평균 빔 폭 60°, 이득 분포 10~14 dB_i를 갖는다. 0°와 비교해 30°는 후엽 레벨이 제거되어 유사한 최대 주 빔 패턴을 보인다. 하지만, 그림 5(b)에서 보이는 최대 주·후엽 레벨이 yz-axis polar 0~30°에서 약 29 dB_i의 차이를 보인다. 이 부분에서 좌선희원형 편파 열화가 발생하며, 빔 패턴이 한 방향으로 치우치게 되는 문제가 발생한다. 또한, -10 dB_i의 낮은 순도의 축비 마진을 보인다. 추후, 30° 접이각에서 라인 손실 및 포인팅 에러를 개선하여 축비를 확보해야 할 것으로 본다^{[11],[12]}.

3-2-2 고지향성 빔 스캐닝 모드

차세대 다목적 위성에서는 고성능 3축 안정화 자세 시스템이 구축되어 위성의 지향성이 우수하기 때문에 TT&C 임무 수행에서도 고지향성의 안테나를 사용할 수 있다. 접이식 헬리콘은 가변 반사체의 접이각을 제공하여 고지향성 빔 스캐닝을 가능하게 한다.

그림 6에서는 접이각 30~39°와 42~45° 범위에서 반사체 영향으로 주 빔이 예리해지고, 최대 부엽 레



(a) 42° 반사체 접이각을 갖는 헬리콘 방사 패턴
(b) 39° 반사체 접이각을 갖는 헬리콘 방사 패턴
(a) Helicone radiation pattern with 42° reflector fold angle
(b) Helicone radiation pattern with 39° reflector fold angle

그림 6. 고지향성 빔 스캐닝 헬리콘 방사 패턴

Fig. 6. High-directivity beam scanning helicone radiation pattern.

밸을 통해 고지향성 빔 스캐닝 모드가 구현되는 안테나 패턴을 보여준다. 특히 39° 의 접이각 반사체에서는 Polar yz-axis 0° 방향에서 최대 16.83 dBi의 편파 이득을 갖는다. 최대 주·후엽 레벨은 47 dBi의 차이를 보이며, 28.2° 범위에서 1 dBi의 우수한 축비 마진을 확보한다. 하지만 yz-axis polar $0\sim30^\circ$ 범위에서 약 15 dBi의 차이를 보이고 좌선회 원형 편파(LHCP) 열화가 발생하며, 빔 패턴이 한 방향으로 치우치게 된다. 42° 접이각 구조에서는 보다 넓은 38.6° 의 빔 폭을 갖지만, 3 dBi 빔 폭 구간에서 안정된 16.2 dBi의 이득과 1 dBi의 순도 높은 축비 특성을 확보한다. 두 경우의 빔 스캐닝 모드 결과, 교차 편파 열화 현상이 적은 무지향성 0° 접이각 구조와 고지향성 42° 접이각 구조에서 안정된 편파 이득과 축비가 확보된다는 것을 확인하였다. 따라서, 접이식 반사체는 위성 자세 및 지향성에 따라 0° 와 40° 근방에서 최적 성능을 갖는다^{[11],[12]}.

3-2-3 다운 링크 헬리콘 이득과 축비 특성

그림 7에서는 반사체의 접이각을 변화시켰을 때, 최대 안테나 이득과 축비 특성을 알아보는 모의 실험 결과를 보여주는데, 접이각 39° 에서 최대 이득과 축비를 갖는다.

반사체 타입 별 성능 변화는 표 3에서 정리한다.

기존 TT&C 안테나의 이득은 7~9 dBi에서 분포

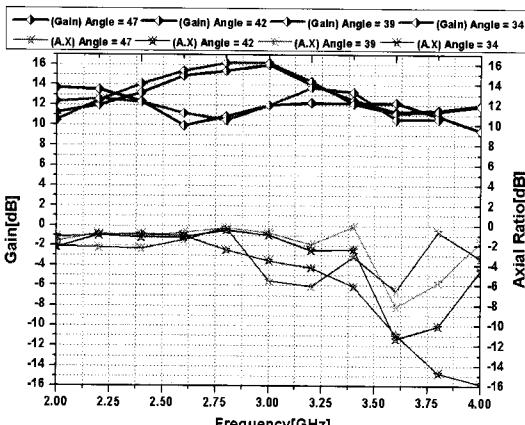


그림 7. 반사체 접이각 조절, 안테나 이득, 축비 패턴 변화

Fig. 7. Reflector fold angle control, antenna gain, axial ratio variation.

표 3. 반사체 접이각 당 이득, 빔 폭, 축비 패턴 비교
Table 3. Gain versus reflector fold angle, beamwidth, axial ratio comparison.

타입	이득 분포	반전력빔 폭	축비 분포
반사체	10~14 dBi	무지향성	2~2.87 GHz
	12.15 dBi max	60.1°	8.7 % 확보
반사체	11~16.32 dBi	고지향성	2~3.3 GHz
	16.24 dBi max	38.6°	13 % 확보
반사체	11.5~16.83 dBi	고지향성	2~3.5 GHz
	16.83 dBi max	28.2°	15 % 확보
반사체	10~14 dBi	무지향성	2~2.72 GHz
	12.02 dBi max	57.2°	7.2 % 확보
반사체	8.5~11.54 dBi	무지향성	2.3~3.8 GHz
	9.54 dBi max	65.5°	15 % 확보

하는데 반해, 접이식 가변 반사체 구조는 소형화가 가능한 혼-헬릭스 결합 안테나로 11~17 dBi의 고이득이 분포한다.

특히 최대 공진 2.8 GHz 대역에서 3λ 입구 직경과 39° 의 접이각을 갖는 헬리콘은 28.2° 의 협소한 빔 조향 패턴으로 최대 이득 16.83 dBi가 가능하다. 이는 위성이 관측 플랫폼 위에 위치하는 경우로 통신 가능 시간 및 데이터 전송량 또한 우수한 특성을 갖게 된다.

그에 반면, 57° 이상의 넓은 빔 폭을 갖는 접이각 반사체에서는 위성체 자세가 불안정한 경우에서 활용도가 높다. 설계안은 우선회 원형 편파를 요구하는 CP(Circular Polarization) 안테나로 축비 0.5 dBi 전·후에서 10 % 대역폭 마진이 확보된다. 1.2 dBi 전·후의 축비 마진을 갖는 일반 관제용 안테나와 비교해 설계안은 내부 테이퍼 효과를 적용해 보다 우수한 원형 편파 특성을 유지하게 된다. 접이식 헬리콘은 멀티 빔 스캐닝 모드로 관제 및 탐사, 자세 제어, 데이터 전송 등의 다기능을 갖는 다목적 위성 탑재체로 활용 가능성이 높다^{[11]~[16]}.

3-4 헬리콘 안테나 통신 링크 분석

표 4는 저궤도 소형 위성을 가정한 인공위성 시스템의 통신 파라미터로 TT&C 헬리콘 안테나와 지상국간의 통신 링크 분석을 위해 설정된 데이터이다. S 밴드에서 기상 조건 및 시스템의 불안정성을 고려

표 4. 저궤도 위성의 다운 링크 통신 규격 예시

Table 4. Down-link communication standard example with LEO(Low Earth Orbit) satellite.

통신 규격	사용 값
동작 주파수 대역	S-band(2.245 GHz)
통신 최대거리	2,367 km
B.E.R	10^{-6}
위성체 송신 평균 전력	3 W
Required E_b/N_0	13.5 dB
수신단 안테나 이득	34 dBi
E_b/N_0	9.5 dBi
Link margin	5 dBi

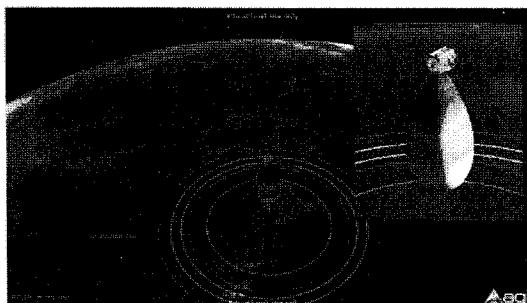


그림 8. 헬리콘 통신 링크 분석을 위한 위성 탑재 시나리오 설정

Fig. 8. Satellite mount scenario design for helicone communication link analysis.

하여 5 dB의 링크 마진을 갖도록 요구하였다. 헬리콘 안테나와 수신국과의 다운 링크 통신 규격은 송신단과 수신단의 링크 버짓을 이용하여 구현한다. E_b/N_0 는 수신된 반송 전력 대비 잡음 밀도를 데이터 통신 속도로 나눈 것으로서 한 비트 당 에너지 대비 잡음 밀도를 표시한다. 수신단으로는 기존의 반경 3 m의 접시 안테나를 갖는 인공위성 지상국을 가정하였다.

그림 8은 헬리콘의 통신 링크 분석을 위한 위성 탑재 가상 시나리오이다. 이는 위에서 추출된 링크 버짓 파라미터를 이용하여 위성 탑재 가상 시나리오를 설정하여, 다목적 실용 위성과 동급 위성에 안테나가 탑재되었을 때의 통신 대역 예측 및 빔 스캐닝 모드를 예상한다.

표 5는 논문에서 제시한 헬리콘 안테나 송신부 통신 링크를 링크 버짓으로 구현한 결과이다. 유효 등방성 방사 전력(EIRP)은 위성의 전력 이득과 송신

표 5. 헬리콘 안테나 통신 링크 분석

Table 5. Helicone antenna communication link analysis.

	무지향 모드	고이득 모드
안테나 이득 [dBi]	7	17
EIRP [dBm]	14.77	21.77
최대 전송 속도 [Mbps]	5.5	55

전력의 곱으로 계산된다. 자료 전송률은 안테나 이득과 출력, 수신단의 이득 등을 고려한 링크 마진 방정식을 통해 구한다. 동일한 출력 조건에서 무지향 성 스캐닝 모드에서는 최대 5.5 Mbps의 데이터 전송 속도를 갖는 것으로 나타났다. 반면, 고지향성 모드에서는 동일한 링크 마진에서 55 Mbps의 자료 전송률을 갖는데 이는 결국 10 dBi의 안테나 이득이 가져다 준 결과이다. 따라서 동일한 안테나를 사용하더라도 접이식 모드의 구조 변화에 따라 기존의 관제용 시스템을 고속의 데이터 전송 시스템으로 활용하는 것이 가능함을 확인할 수 있다. 고도 600 km에서 운용되는 저궤도 위성과 지상국과의 접속 가능 시간을 최대 약 640초라고 가정할 때 S 밴드 통신의 고속 모드에서 한 번에 전송될 수 있는 최대 데이터 전송량은 약 4.4 Gbyte가 된다.

IV. 결 론

헬릭스 안테나는 광대역에서 우수한 원형 편파 및 축비를 갖고 있고 위성에서 저속의 관제용 통신에 주로 사용되어 왔다. 위성 장착을 위해 헬릭스의 권선 수를 줄여 구조를 단순화하게 되면 안테나 이득 및 편파 특성이 저하될 수 있다. 이를 보상하기 위해 도파관 혼 구조를 결합할 경우, 낮은 권선 수의 헬릭스에서 손실된 지향성과 이득, 편파 특성을 향상시킬 수 있고 아울러 광대역 임피던스 대역폭도 유지할 수 있다. 본 논문에서는 헬릭스와 혼 구조의 보상 특성을 결합한 안테나를 제안하여 각각의 안테나 특징을 동시에 갖도록 설계하였다. 도파관 부채 꼴형 반사체는 구조체의 반사면을 변화시켜 동일 안테나에 대한 이득을 증대시킬 수 있다. 제안된 반사체 구조는 후엽 레벨이 제거되어, 고이득·고성능 위성에 적합하다는 것을 확인하였다. 접이식 반사체는 준 유연성 동축선 및 형상 기억 합금강 창살 구조

로 탄소강 플라스틱 재질을 이용해 레이돔을 구성한다. 이는 도선 피치, 반사체 접이각, 입구 및 도선 직경을 가변화시켜 통신 커버리지 영역을 광대역에 걸쳐 유연하게 선택할 수 있게 한다. 안테나 이득의 변화에도 불구하고 범 패턴과 축비 성능은 유지됨에 따라 위성 자세에 따른 가변적인 범 조향 기능을 수행할 수 있을 것으로 분석된다. 특히 기존의 단순 관제용으로 사용되는 시스템을 송신단의 출력을 높이지 않고서도 안테나 이득을 높여 대용량의 데이터 전송에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 접이식 헬리콘의 가변 범 스캐닝 특성은 향후 발사될 다목적 소형 위성, 탐사 및 통신 위성에 활용 가능성 을 높일 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Timothy Pratt, Charles Bostian, and Jeremy Allnutt, *Satellite Communication*, Wiley, pp. 60-70.
- [2] Chuck Morrison, "A helical antenna for fltsatcom reception", *Satellite Technical Forum, Satellite Times*, Dec. 1994.
- [3] "Skynet 5 - has the world covered with secure, flexible and pinpoint accurate communications", http://www.paradigmsservices.com/our_services/skynet5.
- [4] L. Vaillon, B. Taffet, J. Degeselle, L. Giulicchi, and A. Pasetti, "Attitude determination using GPS: multipath reduction through GPS antenna design", *Matra Marconi Space France 31, European Space Agency, Keplerlaan 1-Postbus 299*.
- [5] Gilbert A. Morin, Lyle Wagner, "Study of future antenna technologies for shipboard satellite communications", *Defence Research Establishment Ottawa*, May 1997.
- [6] Idine Ghoreishian, "The spiro-helical antenna", *Blacksburg, Virginia Tech.*, Aug. 1999.
- [7] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, pp. 225-239.
- [8] Ron Schulze, Robert E, Robert K. Wallis, "Enabling antenna systems for extreme deep-space mission application", *IEEE, Johns Hopkins Univ.*, vol. 95, no. 10, Oct. 2007.
- [9] J. Back, J. Zackrisson, M. Ohgren, and P. Ingvarsson, "A new quadrifilar helix antenna family with flexible coverage for space applications", *ESA EuCAP 2007, Saab, SE-405*, Nov. 2007.
- [10] P. Bengtsson, P. Rinous, "Wide coverage antennas for telemetry tracking and command applications", *ESA Preparing for the Future*, vol. 7, no. 4, pp. 4-5, Dec. 1997.
- [11] D. J. Angelakos, D. Kajfez, "Modification of the helicone - A circularly polarized antenna with low sidelobe level", *Proc. IEEE*, vol. 55, pp. 558-559.
- [12] John D. Kraus, J. A. Marsh, "Modifications on the axial-mode helical antenna", *National Science Foundation under Grant GK-676*.
- [13] John D. Kraus, "Helical beam antennas for wide-band applications" *Electronics*, vol. 20, pp. 109-111.
- [14] S. Martinsson, J. Zackrisson, "Wide coverage satellite antennas", *TTC 98, ESA WPP-153, Ch 6.1*, Jun. 1998.
- [15] Hisamatsu Nakano, Yuji Samada, and Junji Yamuchi, "Axial mode helical antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-34, no. 9, Sep. 1986.
- [16] 김아름, 이상민, 이후경, "달 탐사 위성의 통신 링크 분석", *한국통신학회*, 39, p. 301, 2009년 6월.

이 상 민



2009년 2월: 한국항공대학교 항공
전자공학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 한국항공대학교
항공전자공학과 석사과정 (위성
전자연구소)
[주 관심분야] 위성전자시스템, 위
성통신시스템, 이동통신시스템, 위
성용 안테나 설계, 마이크로파 및 초고주파, 안테나공
학, 인공위성 시스템 설계, EMI/EMC

이 우 경



1994년: 한국과학기술원 전자공학
과 (공학사)
1996년: 한국과학기술원 전자공학
과 (공학석사)
1999년: 영국 런던대학교 전자공학
과 (공학박사)
1999년: 한국과학기술원 인공위성
센터 선임연구원, 연구교수
2003년 1월~2004년 8월: 삼성종합기술원 책임연구원
2004년 9월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신
공학부 조교수
[주 관심분야] 인공위성 전자시스템, 무선통신시스템, 레
이다 신호처리, 광대역 신호시스템 (UWB), 센서 네트워
크, 마이크로파 및 초고주파