

## 타원 반사면 구조를 이용한 Low Profile Ku밴드 파라볼라 안테나의 설계

# A Design of Low Profile Ku Band Parabolic Antenna using Elliptical Reflector Shape

류다운<sup>1</sup> · 이경순<sup>2</sup> · 박대길<sup>1</sup> · 구경현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>인천대학교 전자공학과

<sup>2</sup>에이앤피테크놀로지

Daun Ryu<sup>1</sup> · Kyung-Soon Lee<sup>2</sup> · Dae-Kil Park<sup>1</sup> · Kyung Heon Koo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electronics Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012, Korea

<sup>2</sup>A&P Technology, 19-2, Jorimi-ro, Gimpo-si, Gyeonggi-do, 10110, Korea

### [요 약]

SOTM(satellite communication on the move)는 이동 중 위성통신을 하기 위한 장치이다. 차량이나 무인항공기 외부에 장착하는 물체의 크기 및 중량 제한으로 SOTM 용 안테나의 소형화가 필요하며, 이를 위하여 마이크로스트립, 도파관, 어레이 안테나 등 다양한 형태의 안테나에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 안테나들은 구조적으로 편파조정이 어렵다는 문제점이 있어 본 논문에서는 파라볼라 안테나 형태를 사용하여 연구를 진행하였으며, 안테나의 소형화를 위하여 일반적인 원형 형태의 파라볼라 안테나의 반사면을 상하로 잘라 크기 및 높이를 감소시켰다. 그로 인하여 입사된 전자파를 받아들일 수 있는 반사면의 면적이 줄어들어 이득의 저하 및 Spill-over로 인한 G/T지수의 감소로 수신안테나의 성능이 저하하게 되며, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 부 반사면의 형태를 변형하여 안테나의 면적대비 효율 및 이득을 향상시킬 수 있는 형태로 설계하였다.

### [Abstract]

SOTM is a device for the satellite communication on the move. Many studies are conducted on microstrip, waveguide and array antenna for the low profile of the SOTM's antenna. But those antennas have a problem that is difficult to adjust the polarization, and for that reason we have studied the parabolic antenna structure. The general form of parabolic reflector structure is circular, but we used cut-off shape reflector by cutting the upper and lower reflector for low profile antenna. Accordingly, this results in the decrease of reflector area which causes reduced gain and G/T ratio. In order to solve this problem, we have transformed and designed the sub reflector for improving the efficiency and gain of the cut-off shape parabolic antenna.

**Key word** : Parabolic, Antenna, Spill over, Satellite communication on the move, Very small aperture terminal.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.5.466>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 19 August 2017; Revised 17 September 2017  
Accepted (Publication) 12 October 2017 (30 October 2017)

\*Corresponding Author ; Kyung Heon Koo

Tel: +82-32-835-4766

E-mail: khkoo@inu.ac.kr

## I. 서론

글로벌 운송수단인 선박, 항공기, 장거리 차량 등에서는 실시간 통신을 위해 위성 통신망을 접속할 수 있는 이동 위성 단말기를 사용하여 각종 정보검색 및 명령전달 체계를 구축하고 있다. 현재 동적 환경에서는 안정적인 통신망을 구축하기 위해서는 중대형 안테나(직경 80 cm, 중량 40Kg이상)를 장착한 이동 위성 단말기를 사용하고 있으며, 중소형 선박, 무인항공기, SUV(sport utility vehicle) 차량 등에서는 외부에 장착하는 물체의 크기 및 중량의 제한으로 인하여 소형 안테나(직경 50 cm, 중량 20 kg이하)를 장착한 VSAT(very small aperture terminal) 제품을 사용하고 있다[1]-[2].

하지만 사용자 측에서는 더욱 작은 형태의 제품을 원하고 있으며, 이에 따라 소형화 할 수 있는 마이크로스트립, 도파관, 어레이 안테나 등의 연구가 활발하게 진행되고 있다[3]-[5].

이러한 안테나들은 구조적으로 편파 조정이 어렵다는 문제가 있다. 본 논문에서는 파라볼라 안테나를 사용하여 편파 문제를 해결하고, 시장에서의 초소형화 요구에 따라 이전에 VSAT를 더욱 소형화한 초소형 안테나(직경 35 cm, 중량 10 kg 이하)에 대한 연구를 진행하려 한다.

## II. 파라볼라 안테나 설계

### 2-1 파라볼라 안테나의 반사면 설계

파라볼라 안테나는 이득이 매우 높은 형태의 안테나이며, 빔 패턴이 가장 샤프해서 위성통신용으로 널리 사용된다. 파라볼라 면에 수직으로 입사된 전자파는 반사되어 쌍곡선의 초점부위에 모이므로, 모아진 신호는 LNA(Low noise amplifier)를 통해 저 잡음 증폭되는 구조이다. 보통은 원형 형태의 파라볼라 안테나를 사용한다[6].

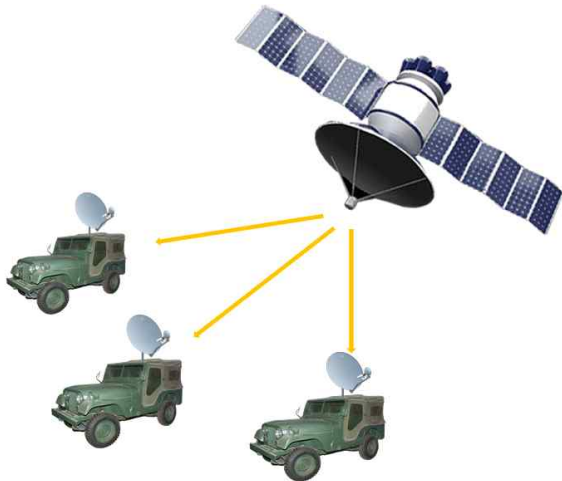


그림 1. 차량용 SOTM  
Fig. 1. Vehicular SOTM.

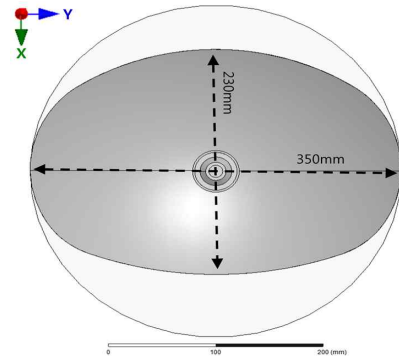


그림 2. 컷오프형 파라볼릭 반사면(X-Y 평면)  
Fig. 2. Cut-off parabolic (X-Y plate).

하지만 일반적인 원형 형태의 파라볼라 안테나는 크고 무겁다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 소형화를 위하여 좌우 반사면의 크기를 잘라내어 cut-off 형태의 파라볼라 반사면을 적용하여 높이 및 크기가 줄어든 파라볼라 안테나를 사용하였다.

그림 2와 같은 형태는 반사면의 축소로 높이를 낮출 수 있지만 동일 직경의 원형 파라볼라 안테나에 비해 입사된 전자파를 받아들일 수 있는 반사면의 면적이 줄어들어 이득의 저하 및 잘린 부분에서의 후방복사(Spill-over) 발생으로 인해 사이드 로브 레벨이 나빠져, 전체 성능지수인 이득 대 온도(G/T; gain to temperature)지수의 감소로 수신안테나의 성능이 저하되게 된다는 문제가 있다[7]. 이런 문제점을 해결하기 위한 방안으로 파라볼라 전면으로 입사하는 전자파의 방해부분을 최소화하기 위해 2차 반사면의 형태를 다양한 형태로 변화시키고 편파 Skew를 보정하기 위해 회전하는 LNA 부분과의 결합을 위해 저 손실 원형도파관을 사용하여 이를 통해 파라볼라 안테나의 면적 대비 효율 및 이득을 향상시키고자 하였다.

### 2-2 파라볼라 안테나의 부 반사면 설계

소형화를 위하여 cut-off 형태의 반사면을 사용하게 됨으로 생기는 문제점을 보완하기 위하여 그림3과 같은 부 반사면을 다양한 형태로 변형하였다.

또한 그림 5와 같이 부 반사면에서 파라볼라 주 반사면 방향으로 후방복사패턴을 원형패턴이 아닌 타원형 패턴으로 조절하여 Spill-over를 최소화 하여, 이득을 높이고 사이드 로브 레벨을 낮추어 G/T 성능을 개선시키고자 하였다[8].

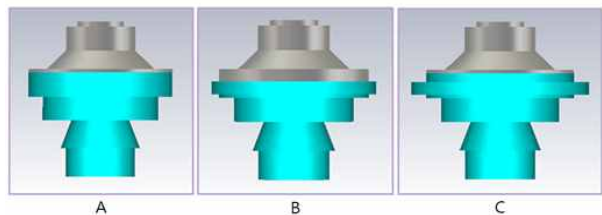


그림 3. 다양한 형태의 부 반사면  
Fig. 3. Various shape of sub reflector.

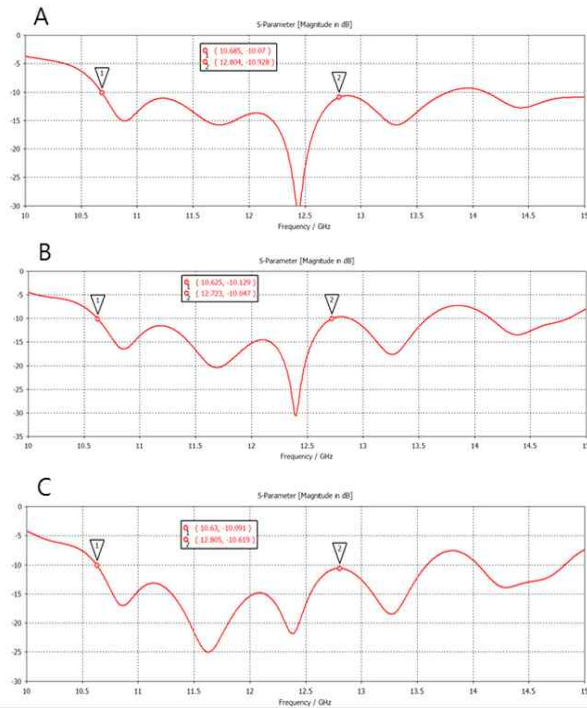


그림 4. 부 반사면 형태에 따른 S11  
 Fig. 4. S11 according to Sub reflector shape.

표 1. 다양한 형태에 따른 시뮬레이션 결과

Table 1. Simulation result of various shape.

|                      | Freq[GHz] | A     | B     | C     |
|----------------------|-----------|-------|-------|-------|
| S11[dB]              | 10.7      | -10.1 | -10.0 | -10.9 |
|                      | 12.8      | -10.0 | -10.9 | -10.6 |
| Gain [dBi]           | 10.7      | 28    | 28.3  | 28.2  |
|                      | 12.8      | 28.7  | 28.3  | 28.4  |
| Sidelobe level [dBc] | 10.7      | -17.1 | -18.6 | -17.5 |
|                      | 12.8      | -10.4 | -11   | -9.8  |
| Beamwidth [deg]      | 10.7      | 7.3   | 7.3   | 7.3   |
|                      | 12.8      | 5.6   | 6     | 5.8   |

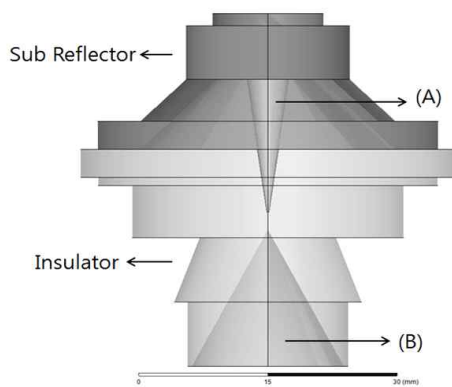


그림 5. 부 반사면  
 Fig. 5. Shape of sub reflector.

그림 3의 시뮬레이션 결과는 그림4와 표1에 나타내었다. 그림 4는 X축은 주파수 Y축은 dB 단위이다. 형태 A 즉 유전체와 부 반사면의 지름이 동일한 경우 lower frequency쪽이 양호한 특성을 가지는 것을 확인하였다.

중앙에 있는 유전체가 부 반사면보다 지름이 큰 B의 경우 middle frequency쪽이 양호한 특성을 가지며, 형태 C는 higher frequency쪽이 양호한 특성을 가진다. 따라서 최종 파라볼라 안테나는 middle frequency쪽이 양호한 특성을 가지는 경우로 시뮬레이션과 실험특성 비교를 진행하였다.

그림 5는 부 반사면의 내부 단면구조를 나타낸 것으로 성능 개선을 위해 그림 5의 (A) 부분 중 중심 핀의 구조를 원추형 구조(x축 반지름 = y축 반지름)가 아닌 수평반경과 수직 반경(x축 반지름 ≠ y축 반지름)이 다른 원추형 구조로 변경하여 부 반사면에서 타원 구조의 파라볼라 주 반사면으로의 후방복사 패턴이 원형이 아닌 타원형 패턴을 이루게 함으로 수직편파와 수평 편파에 대한 복사 성능이 차이가 나지 않도록 설계하여 전체 주파수 대역에서 성능이 향상 되도록 하였다.

또한 그림 5의 (B) 원형 도파관 종관부와 (A)부분이 만나는 유전체 부분의 아래쪽을 접속부 구조를 역 원추 형태로 설계하여 도파관의 급전단 방향으로의 반사손실을 최소화 하였다.

### 2-1 파라볼라 안테나 설계 시뮬레이션 결과

부 반사면과 피드 혼의 형태를 변형하여 최종적으로 그림 6과 같은 파라볼라 안테나를 설계하였다. 위성에서 전달된 편파는 지상에서 수신을 받았을 때 수신 받는 위치에 따라 파의 형태가 수직 또는 수평으로 변하게 되며, 이에 따른 안테나의 성능을 확인하기 위하여 그림 7과 같이 편파를 각각 0deg, 45deg, 90deg 일 때를 가정하여 시뮬레이션을 진행하였다[7-8]. 그림 6의 파라볼라 안테나의 크기는 350 mm \* 230 mm \* 115mm (x\*y\*z)의 크기로 제작되었다.

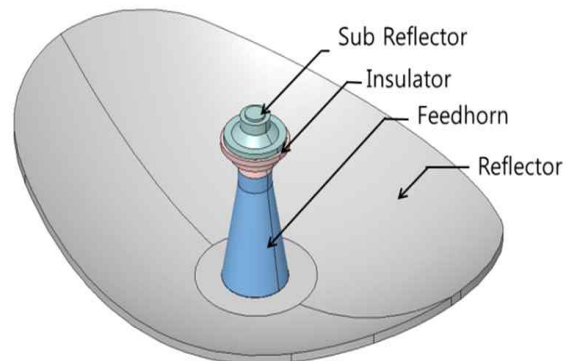


그림 6. 컷오프형 파라볼릭 안테나(시뮬레이션)  
 Fig. 6. Cut-off parabolic antenna(simulation).

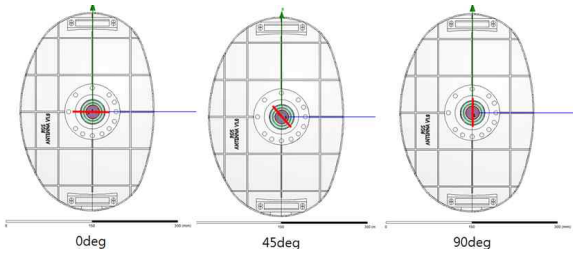


그림 7. 편파  
Fig. 7. Polarization.

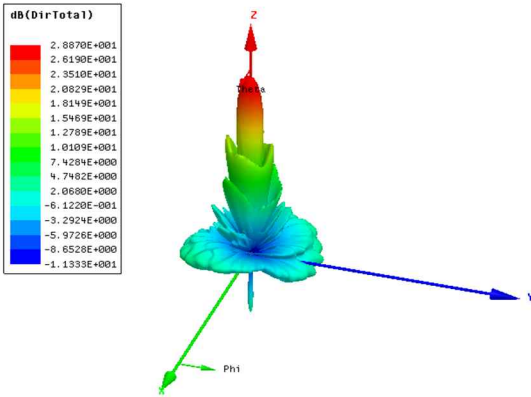


그림 8. 방사패턴(12.5 GHz)  
Fig. 8. Radiation Pattern(12.5 GHz).

표 2. 편파에 따른 시뮬레이션 결과  
Table 2. Simulation result of polarization.

| polarization = 0 deg |           |       |       |       |       |
|----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Freq[GHz]            |           | 10.7  | 11.75 | 12.5  | 12.8  |
| Gain                 |           | 28.4  | 28.8  | 28.8  | 28.7  |
| Sidelobe level       | $\phi=0$  | -22.1 | -18.7 | -16.5 | -15.3 |
|                      | $\phi=45$ | -20.5 | -26.7 | -17.4 | -15.4 |
|                      | $\phi=90$ | -16.6 | -15.1 | -13.7 | -13.6 |
| beam width           | $\phi=0$  | 5.4   | 4.8   | 4.5   | 4.5   |
|                      | $\phi=45$ | 6.2   | 5.9   | 5.2   | 5.2   |
|                      | $\phi=90$ | 7.4   | 6.3   | 5.8   | 6.1   |

| polarization = 45 deg |           |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Freq[GHz]             |           | 10.7  | 11.75 | 12.5  | 12.8  |
| Gain                  |           | 28.3  | 28.8  | 28.8  | 28.7  |
| Sidelobe level        | $\phi=0$  | -26.5 | -18.7 | -16.3 | -15.2 |
|                       | $\phi=45$ | -21.1 | -24.7 | -17.5 | -15.2 |
|                       | $\phi=90$ | -17.1 | -15.1 | -13.5 | -13.3 |
| beam width            | $\phi=0$  | 5.5   | 4.8   | 4.5   | 4.5   |
|                       | $\phi=45$ | 5.9   | 5.8   | 5.2   | 4.9   |
|                       | $\phi=90$ | 7     | 6.3   | 5.8   | 5.8   |

| polarization = 90 deg |           |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| Freq[GHz]             |           | 10.7  | 11.75 | 12.5  | 12.8  |
| Gain                  |           | 28.3  | 28.9  | 28.8  | 28.8  |
| Sidelobe level        | $\phi=0$  | -26.3 | -17.7 | -16.2 | -14.5 |
|                       | $\phi=45$ | -29.6 | -26.6 | -17.5 | -16   |
|                       | $\phi=90$ | -17.6 | -16.3 | -13.7 | -13   |
| beam width            | $\phi=0$  | 5.4   | 4.8   | 4.5   | 4.5   |
|                       | $\phi=45$ | 6.3   | 5.8   | 4.7   | 4.9   |
|                       | $\phi=90$ | 7.1   | 6.4   | 5.8   | 5.6   |

그림 8은 12.5GHz에서의 3D 방사패턴이며, 각각의 주파수에 따른 값을 정리한 것이 표 2다. 편파에 따른  $\phi$  값이 0 deg, 45 deg, 90 deg일 때 각각의 far field(directivity)에 대한 시뮬레이션 결과를 확인하였다. 시뮬레이션 결과 각각의 편파에 따라 S11은 -10dB를 만족하며, Gain은 28 dB(10.7 GHz - 12.8 GHz) 이상, HPBW는 6 deg(12.5 GHz) 이하, sidelobe level은 -15 dBc( = 0, 45deg) 이상 값을 가지는 것을 확인하였다.

### III. 측정 및 결과 비교

제작한 안테나는 무반사실에서 반대편에 Tx 안테나를 배치하고 파라볼라 안테나의 편파에 따른 결과를 그림 9과 같이 구성하고 측정 진행하였다. 측정 시 결함을 위하여 저 손실 원형 도파관 rotary joint를 사용하여 측정을 진행하였다.



그림 9. 시험 장면(정면 및 측면)  
Fig. 9. Test scene(front and side).



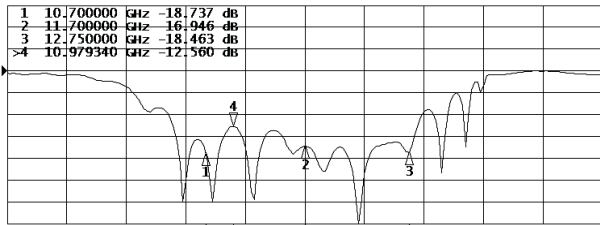


그림 10. S11 결과  
**Fig. 10.** Result of S11.

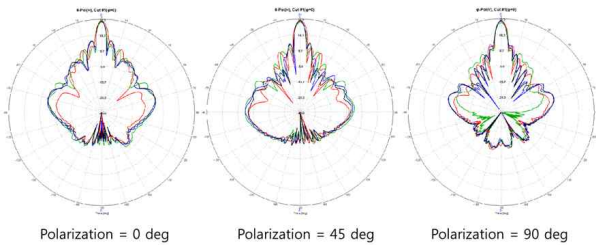


그림 11. 방사패턴  
**Fig. 11.** Radiation Pattern.

표 3. 결과 요약 (측정)  
**Table 3.** Summarized result (measurement).

| polarization = 0 deg |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Freq[GHz]            | 10.7  | 11.75 | 12.5  | 12.7  |
| Gain [dB]            | 28.4  | 27.93 | 28.76 | 28.57 |
| Sidelobe level [dBc] | -25.6 | -19.1 | -26.8 | -25.5 |
| beam width [deg]     | 5.35  | 4.55  | 4.25  | 4.26  |

| polarization = 45 deg |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Freq[GHz]             | 10.7  | 11.75 | 12.5  | 12.7  |
| Gain [dB]             | 28.31 | 27.54 | 28.6  | 28.57 |
| Sidelobe level [dBc]  | -20.8 | -20.1 | -34.1 | -34.9 |
| beam width [deg]      | 5.98  | 5.31  | 4.93  | 4.87  |

| polarization = 90 deg |       |       |       |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Freq[GHz]             | 10.7  | 11.75 | 12.5  | 12.7  |
| Gain [dB]             | 28.13 | 26.95 | 28.28 | 28.45 |
| Sidelobe level [dBc]  | -25.3 | -21.4 | -30.2 | -30.2 |
| beam width [deg]      | 5.38  | 5.62  | 4.81  | 4.83  |

표 4. 제작 파라볼라 안테나 결과  
**Table 4.** Result of designed parabolic antenna.

|   | Parameter | Unit | Result          |
|---|-----------|------|-----------------|
| 1 | Shape     |      | cut-off antenna |
| 2 | Size      | mm   | 350*230이하       |
| 3 | Freq      | GHz  | 10.7 - 12.75    |
| 4 | S11       | dB   | < -10           |
| 5 | Gain      | dBi  | > 28            |
| 6 | HPBW      | deg  | < 6             |
| 7 | Side lobe | dBc  | < -15           |

그림 10의 S parameter 측정 결과 10.7 GHz - 12.75 GHz 내에서 가장 큰 S11값이 10.97 GHz에서 -12.56 dB를 가짐을 확인하였다. 그림 11은 실측 방사패턴이며, 편파에 따른  $\theta$  값이 0 deg, 45 deg, 90 deg일 때 각각의 far field(directivity)에 대한 결과를 모아둔 것이다. 그림 11의 결과를 표로 정리 한 것이 표 3 이다. 표 3 값은 시뮬레이션 값과 유사하며 약간의 차이는 시뮬레이션에서 사용하지 않았던 circle to rectangle 형태의 저 손실 도파관을 측정 시 연결을 위하여 사용하였으며 그로 인하여 오차가 발생한 것으로 예상 할 수 있다.

시뮬레이션 결과 표 4와 같은 특성을 가지는 소형화된 파라볼라 안테나를 제작하였다.

#### IV. 결 론

본 연구는 위성용 안테나의 초소형화 추세에 맞춰 파라볼라 안테나의 소형화 설계에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위해 설계 주파수 10.7 GHz ~ 12.75 GHz에서 cut-off된 반사면(350 mm\*230 mm)를 사용하였다. 이를 통해 높이 및 크기가 작아진 안테나를 얻을 수 있었으나, 이에 따른 동일 직경 파라볼라 안테나에 비해 낮은 이득, 후방복사로 인한 사이드 로브 레벨이 나빠져 전체 성능 지수인 이득 대 온도 특성이 나빠지며, 수직 편파 및 수평편파를 사용하는 경우에 각 편파의 복사 성능에 차이가 발생하기 때문에 전체 성능에 부합하기 어려워진다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 반사면의 hat-fed 부분의 중심핀을 타원구조로 변경하였으며 원형도파관 종단부와 hat-fed 부분이 만나는 유전체 부분의 접속부 구조를 역원추 형태로 설계하였다. 이와 같이 형태를 변경하여 측정한 결과 ku밴드 주파수 내에서 |S11| 10 dB이하, 이득 28 dBi이상, 사이드 로브 레벨 -15dB이하, 3dB 빔폭 6 deg이하(12.5 GHz)의 값을 가지는 것을 확인하였다. 이를 통해 사이드로브가 작고 빔폭이 좁은 펜슬 빔을 생성하는 설계를 통해 안테나의 성능을 증대시킨 소형화된 SOTM용 파라볼라 안테나를 제작하였다.

#### References

[1] D. A. Ryu, K. S. Lee, and K. H. Koo, "A study on miniaturization of Ku band parabolic antenna," in *Microwave and Radio Propagation Joint Conference*, Incheon, 93(1), pp. 39, Apr. 2016.

[2] D. A. Ryu, K. S. Lee, and K. H. Koo, "A design of Ku band parabolic antenna considering polarization adjustment," in *Korea Institute of Electromagnetic Engineering and Science (KIEES) Annual Summer Conference*, Jeju, 4(1), pp. 333, Jun. 2016.

[3] M. M. Sharma, S. Yadav, A. Kumar, Y. Ranga and D. Bhatnagar, "Compact elliptical microstrip patch antenna

with slotted ground for Ku-bands applications,” in *IEEE Electro Magnetics Conference*, pp. 1-3, Aug. 2014.

[4] H. Guodong, Y. Bing, W. Wet and D. Biao, “A novel hybrid dual polarized waveguide phased array antenna for mobile satellite communication,” *General Assembly and Scientific Symposium*, pp. 1-4, Aug. 2014.

[5] S. Vaccaro, D. L. Rio, J. Radilla and R. Baggen, “Low cost Ku-band electronic steerable array antenna for mobile satellite communication,” in *Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation*, pp. 2362-2366, Apr. 2011.

[6] RFDH, Antenna, <http://www.rfdh.com/>

[7] G. J. Lim, “An analysis of the figure of merit depending on the cut-off size of a small reflector for satellite broadcast receiving antenna,” *Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology*, 6(3), pp. 152-155, Sep. 2013.

[8] Parabolic dish formulas, <http://www.radartutorial.eu/06.antennas/Parabolic%20Antenna.en.html>

[9] R. Dybdal, *Communication Satellite Antennas*, McGraw-Hill, 2009.

[10] L. J. Ippolito, *Satellite Communications System Engineering : Atmospheric Effects, Satellite Link Design, and system performance*, John Willey & Sons, 2017.



**류 다 운 (Daun Ryu)**

2014년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
 2017년 2월 : 인천대학교 전자공학과 석사과정  
 ※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 위성안테나, 무선전력전송



**이 경 순 (Kyung-Soon Lee)**

1993년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 8월 : 연세대학교 경영학과 (경영학석사)  
 2012년 9월 ~ 현재: (주)에이앤피테크놀로지 연구소  
 2015년 9월 ~ 현재: 인천대학교 전자공학과 박사과정  
 ※ 관심분야 : 초고주파 회로, 위성통신단말기, 항행전자 시스템 설계



**박 대 길 (Dae-Kil Park)**

2014년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
 2016년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2016년 3월 ~ 현재: 인천대학교 전자공학과 박사과정  
 ※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선통신 시스템, 무선전력전송



**구 경 현 (Kyung Heon Koo)**

1981년 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 : 서울대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2016년 : 한국항행학회 이사, 연구회 위원장, 부회장  
 1987년 ~ 현재 : 인천대학교 전자공학과 교수  
 2017년 ~ 현재 : 한국항행학회 회장  
 ※ 관심분야 : RF 회로 및 모듈설계, 무선통신 시스템, 차세대 항행시스템 등

1983년 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1999년 ~ 2000년 : UC San Diego 방문학자