

절곡된 타원형 도체평판 급전부를 갖는 포물선 반사판 안테나 설계

김병문* · 윤리호* · 홍재표**

Design of the Parabolic Reflector Antenna with Bended Elliptical Conductor Plate Feed

Byung-Mun Kim* · Li-Ho Yun* · Jae-Pyo Hong**

요약

제안된 지향성 펜슬빔 안테나는 절곡된 타원 도체평판을 갖는 도파관 급전부와 포물형 곡면 반사판으로 구성되어 있다. 반사판 뒤에서 삽입된 급전 도파관의 중단 부근 광벽에 위치한 두 개의 사각형 개구는 반사판 초점에 위치하며, 절곡된 타원 평판으로 전자파 에너지를 방출시킨다. 이 평판은 전자파 에너지를 일차 반사시키며, 주 반사판을 향하도록 설계되어 있다. 도파관 중단에 위치한 두 사각형 개구는 안테나 시스템의 임피던스 정합을 위해서 안쪽으로 돌출된 탭을 가지는데, 탭의 형태는 잘려진 타원형이다. 제안된 포물형 반사판 안테나의 반사판의 직경은 400 mm, 초점은 134.23 mm 이며, 사용 중심주파수 16.5 GHz에서 안테나이득은 33.68 dBi, 3 dB 빔폭은 3.3°, 반사손실 -15 dB 사용대역폭은 1.0 GHz 이상이 되도록 설계하여, HFSS-IE를 사용하여 검증하였다.

ABSTRACT

The proposed directional pencil beam antenna consists of a waveguide feeder with bended elliptical conductor plate feed and a parabolic curved reflector. Two rectangular apertures located at the broad wall near the end of the feed waveguide inserted from behind the reflector are located at the focus of the reflector and emit electromagnetic energy with bended elliptical conductor plate. This plate is designed to reflect electromagnetic energy primarily and to face the main reflector. The two rectangular apertures located at the waveguide end have inwardly protruding tabs for impedance matching of the antenna system, the shape of the tabs is a truncated oval. The proposed parabolic reflector antenna has a diameter of 400 mm and a focal length of 134.23 mm. The antenna gain is 33.68 dBi at the center frequency of 16.5 GHz, the beam width is 3.3° and the reflection loss is -15 dB. Using the HFSS-IE, simulation results are performed to validate the proposed antennas.

키워드

Parabolic Reflector Antenna, Elliptical Plate, Pencil Beam
포물형 반사판 안테나, 타원형 평판, 펜슬 빔

* 경북도립대학교 전기전자과
(kimbyte@gpc.ac.kr, lhyun@gpc.ac.kr)

** 교신저자 : 경일대학교 전자공학과

• 접수일 : 2017. 09. 21
• 수정완료일 : 2017. 11. 02
• 게재확정일 : 2017. 12. 15

• Received : Sep 21, 2017, Revised : Nov 02, 2017, Accepted : Dec 15, 2017

• Corresponding Author : Jae-Pyo Hong
Dept. of Electronics, Kyungil University,
Email : jphong@kiu.kr

1. 서 론

지향성 마이크로파 안테나는 추적용 레이더 시스템 및 위성 방송, 통신, 감시 용 등에서 사용할 수 있도록 특별히 채택되어진 펜슬 빔 패턴을 제공한다. 특히 레이더 및 위성에서 사용하는 안테나는 통상적으로 고해상도를 달성하기 위해 상대적으로 높은 이득과 좁은 빔폭을 채택하도록 되어 있다. 이러한 성능을 갖는 대구경 안테나는 반사기 또는 어레이로만 만들 수 있으며 반사기는 어레이보다 훨씬 간단하다. 이 어레이는 많은 응용에서 필요한 것보다 더 많은 자유도를 줄 수 있지만 충분한 공간과 느린 스캔 속도를 가져도 무방한 경우 반사기는 어레이보다 우수한 설계를 할 수 있다. 또한 어레이는 정교한 피드 네트워크를 필요로 하는 반면, 반사기는 피드 네트워크로 간단한 피드와 여유 공간을 필요로 한다[1-2].

고이득과 좁은 빔폭을 갖는 펜슬 빔 패턴의 가장 일반적인 형태는 마이크로파 반사경 안테나 시스템이며 그림 1(a)와 같이 포물형 반사판과 반사판의 초점에 위치한 원형 또는 피라미달(Pyramidal) 급전 혼으로 구성되어 있다. 안테나 시스템은 포물형 반사판에서 얻어진 에너지가 포물형 반사판 개구면에서 위상차 없이 테이퍼링 분포되어 주어진 방위각과 고각 방향으로 펜슬 빔(Pencil beam)을 생성한다. 이러한 안테나는 고지향성 및 고이득 특성을 나타내고 있으나 급전 혼을 지지하는 삼각 또는 사각 구조물을 별도로 만들어 사용해야 하는 단점을 가지며, 또한 급전 혼이 있는 지점까지 케이블 또는 도파관을 연결해야 하며 이러한 구조물은 반사판 개구면의 전자파 에너지를 차단하여 원거리 빔 패턴이 원치 않는 부엽준위 증가 같은 문제점이 나타난다[1-3].

이러한 문제점을 해결하기 위해서 그림 1(b)와 같이 반사판의 후미에서 삽입하여 중심에서 급전부까지 도파관으로 연결하고 도파관의 끝 부분에 개구를 가지도록 한다. 그 도파관 또는 유전체에 의해 지지되는 스플래시(splash) 평판은 반사판으로 전자파 에너지를 반사시키는데 효과적이기 때문에 반드시 필요한 부분이다[4-9]. 이러한 안테나 시스템은 레이더 및 위성 방송 및 통신에 사용되는 TWT 및 클라이스트론 등의 송신관이 안테나에서 반사되는 에너지에 너무 민감하기 때문에 반사 손실 즉, VSWR(Voltage

standing wave ratio)이 낮아야 한다. 지향성 마이크로파 안테나의 일반 커틀러(Cutler) 급전부는 상대적으로 높은 VSWR를 가지고 있어서 마이크로웨이브 통신 시스템의 송신부 안으로 상당한 에너지를 반사시키고 있다. 이 반사된 에너지는 송수신 시스템 설계 측면에서 제약이 되며, 레이더시스템의 자동 주파수 제어회로는 반사된 방해신호의 불규칙적인 위상 때문에 원하는 신호를 유지하지 못하게 되는 결과를 초래한다.

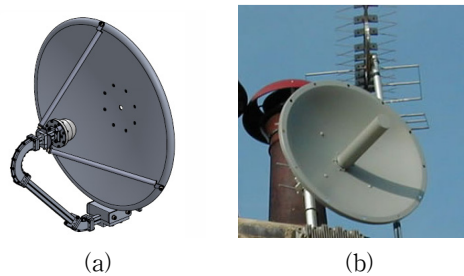


그림 1. 포물형 반사판 안테나 : (a) 일반 급전혼 형
(b) 자체 지지대를 갖는 급전부 형
Fig. 1 Parabolic reflector antenna : (a) Conventional feed horn type (b) Self supported feed type

이와 같이 커틀러 급전부와 연관되어진 반사에너지의 어려움을 해결하기 위해서 안테나 도파관내에 동조 스테브를 삽입하여 안테나 시스템을 구성하는 것이 일반화 되어 왔다. 이러한 동조 스테브의 위치가 주파수에 따라 민감하여, 일반 커틀러 급전부 시스템을 개선한 동조 커틀러 시스템이 출현되었다고는 하나, 시스템이 너무 협대역인 단점을 여전히 갖고 있다. 더욱이 포물형 반사판 위치가 한 곳에서 다른 곳으로 조금이라도 바뀌게 되면 전체적으로 시스템의 반사에너지의 편차가 발생한다. 이 편차는 스테브 동조형 커틀러 급전부를 포함한 모든 커틀러 급전부 안테나에서 나타나고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서, 지지 급전 도파관 종단에 위치하는 두 개의 사각형 개구에 임피던스 정합용 탭(Tab)을 추가하였다. 탭의 형태는 사각 또는 잘려진 원형이다[10]. 성능은 잘려진 원형이 더 우수하나 설계 시 다소 불편한 점이 있다.

본 논문은 포물형 반사판 안테나에서 타원형의 정

합용 탭을 갖는 도파관에 의해 자체 지지되는 절곡된 타원형 평판 급전부를 제안하고자 한다. 이 급전부 설계의 적합함을 검증하기 위해서 포물형 반사판안테나의 도체 반사판은 직경 400 mm, 초점 134.23 mm 이며, 이 반사판의 초점 근처에 급전부의 절곡된 타원형 평판을 위치시키고, 중심주파수 16.5 GHz, 대역 1GHz 에서 안테나 이득 33 dBi, 3 dB 빔폭 3.3°, 반사손실 최소 15dB의 성능을 갖는 파라볼라 안테나를 설계하여 상용 Full wave EM 해석 툴인 Ansys사의 HFSS-IE[11]를 사용하여 검증하였다.

II. 본 론

2.1 제안 구조

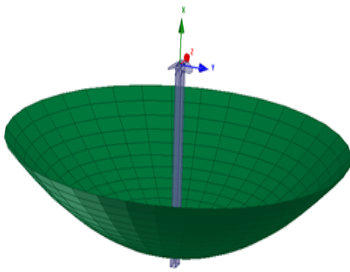


그림 2. 제안된 포물형 반사판 안테나 구조
Fig. 2 Structure of proposed antenna

그림 2는 제안된 안테나 시스템의 개략도이며, 포물형 반사판과 절곡된 타원형 평판을 갖는 도파관으로 구성되어 있다. 포물형 반사판은 수직 또는 수평방향으로 레이더 빔을 주사할 수 있게 피벗 포인트를 중심으로 회전할 수 있도록 설계할 수 있다. 레이더 송신기에서 출력되는 전자파 에너지는 급전 도파관을 통해 안테나 쪽으로 진행되며 급전 도파관의 광벽 중단 개구를 통해 방출되고, 절곡된 타원형 평판 내면에 1차 반사되어 포물형 반사판의 내부표면 방향으로 전환하고, 전자파는 반사판에서 2차 반사된 후 목표물로 향하게 된다. 목표물로부터 반사된 전자파 에너지는 포물형 반사판에 부딪히고 반사판의 초점에 위치하는 절곡된 타원형 평판으로 방향을 전환하여 모이게 되며, 이 에너지들은 도파관을 통하여 레이더 수신

부로 도달하게 된다. 도파관 광벽 중단부의 두 개구는 절곡된 타원형 평판에 인접해 있고, 이 평판에 의해서 모아진 에너지는 도파관을 여기 시켜 에너지가 수신되게 하는 역할을 한다.

그림 3에서 필드 점 P의 직교좌표(x,y,z)에 방향 코사인($u, v = \sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi$)을 도입하여 반사판 안테나의 개구면 전개분포에 대한 복사장은 다음과 같이 표현할 수 있다.

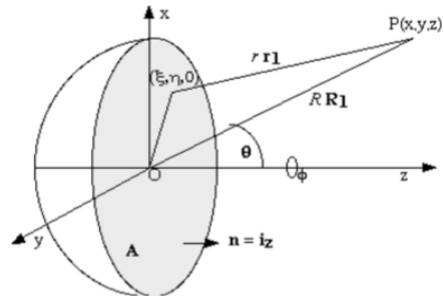


그림 3. 반사판 안테나의 좌표계
Fig. 3 Coordinates of parabolic reflector antenna

$$f_p(u, v) = \frac{e^{jkR}}{R} \iint F(\xi, \eta) \exp(ik(\xi u + \eta v)) d\xi d\eta \quad (1)$$

점 P에서 복사장 세기 $f_p(u, v)$ 과 개구에서 분포 함수 $F(\xi, \eta)$ 간에 푸리에 변환 관계가 있음을 알 수 있다. 적분 기호 앞의 항을 무시하면 역 푸리에 변환은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F(\xi, \eta) = \iint f(u, v) \exp(-ik(u\xi + v\eta)) du dv \quad (2)$$

여기서 원칙적으로 복소수 복사장에 대한 적분은 반사판 안테나의 개구를 둘러싸는 폐곡면에 대해서 수행되어야 한다. 따라서 원거리 복사장의 세기는 안테나 개구부의 진폭 및 위상 정보를 통해서 예측이 가능하다. 반사판 안테나의 개구부의 복사장 분포는 급전 혼의 복사 패턴에 의해서 개략적으로 결정되어지며 제안된 시스템 경우는 그림 4의 절곡된 타원형 평판 급전부에 의한 복사패턴에 의해서 반사판 안테나의 개구면 전개 분포가 결정되고, 이 분포로부터 반사판 안테나의 원거리 복사패턴을 결정하게 된다 [1-2].

그림 4는 제안된 절곡된 타원형 평판 급전부의 상세도를 보여주고 있다. 그림 4(a)는 도파관 급전부의 상측면도로서 상부의 절곡된 타원형 평판을 보여주며, 그림 4(b)는 도파관 급전부의 좌측면도로 측면의 절곡된 타원형 평판을 보여주고, 그림 4(c)는 타원형 정합 탭이 적용된 두 개의 최적화된 개구를 보여주는 도파관 종단의 정면도 이다.

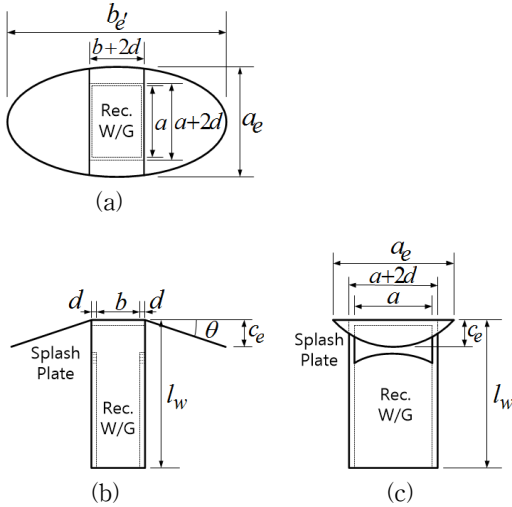


그림 4. 절곡된 타원형 평판 급전부 : (a) 상측면도 (b) 좌측면도 (c) 정면도
 Fig. 4 Bended elliptical conductor plate feed (a) Top view (b) Left view (c) Front view

중심주파수 16.5GHz에서 안테나 시스템에 사용된 도파관의 내부 폭 a는 12.594 mm, 높이 b는 5 mm이며, 두께 d는 1.0 mm이며, 도파관 길이 l_w는 실제 포물형 곡면의 초점 길이 F인 134.23 mm 보다 커야 하지만 급전부 설계를 위한 모의실험에서는 길이를 50.0 mm로 채택하였다. 도파관 종단의 두 개구는 종단으로부터 1.0 mm 간격을 두고서 높이 3.61 mm, 폭 12.594 mm 이다. 이 논문에서 잘린 타원형 정합 탭은 도파관 폭의 중심에 위치하며, 그림 4(c)의 정면도에 잘 나타나 있다. 타원의 중심은 도파관 종단으로부터 6.15 mm이며, 장축은 16.6 mm이고, 단축은 4.8 mm 이다.

절곡된 타원형 평판은 그림 4(a)에서 보는 바와 같이 급전 도파관 종단에 위치하며, 장축 b'_e이 30.0

mm, 단축 a_e가 18.0 mm인 타원형 평판이며, 이를 도파관의 양 끝에 맞추어 절곡 각도 theta 18.0 °로 굽혔다. 상측면도에서 평판의 폭 b'_e는 28.8743 mm이고, 좌측면도에서 평판의 높이 c_e는 7.1074 mm이다. 이 평판의 기능은 E-면의 빔을 반사판으로 집중시키는 기능을 한다.

2.2 급전부의 모의실험 결과

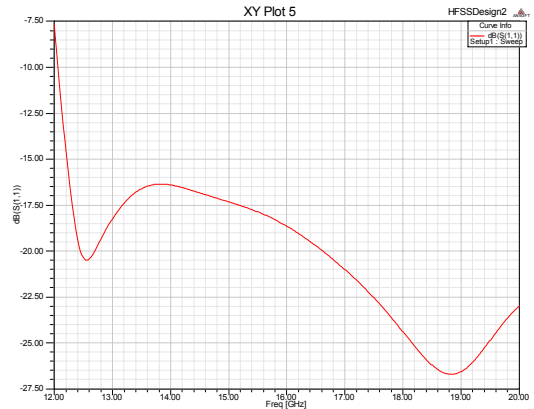


그림 5. 급전부의 반사손실 : S₁₁ [dB]
 Fig. 5 Return loss of feed : S₁₁ [dB]

그림 5는 전절에서 제시된 치수를 사용한 절곡된 타원형 평판을 갖는 도파관 급전부를 HFSS [12-14]를 활용하여 모의 실험한 반사손실과 관련된 산란계수 (S11 : 반사계수)를 주파수대역 12.0 GHz ~ 20.0 GHz 대하여 도시하였다. 사용 주파수 대역 16.0 GHz ~17.0 GHz 전체만 만 아니라 12.5 GHz ~ 20.0 GHz에서 15dB이하로 우수한 반사손실 특성을 나타낸다. 그리고 산란계수를 식 (3)을 활용하여 dB 단위로 표시할 수 있으며, 여기서 P_i 입사전력, P_{ref} 반사전력을 나타낸다.

$$dB = 10 \times \text{Log}_{10} \frac{P_{ref}}{P_i} \tag{3}$$

$$\text{Real value} = 10^{-(dB/10)} \tag{4}$$

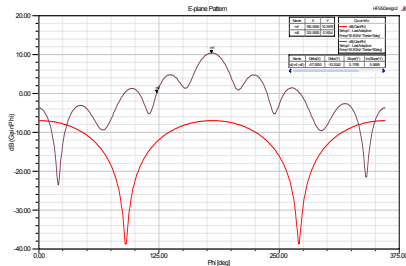
식 (4)를 활용하여 중심주파수 16.5GHz에서 반사손실 18.65 dB를 실수로 계산하면 0.0136이며, 입사전력

대비 약 1.36% 반사된다는 것을 의미한다.

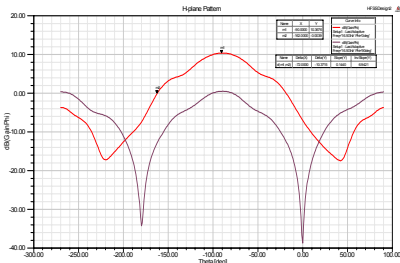
그리고 전압정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)는 다음과 같다.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (5)$$

여기서 Γ 는 반사계수이며, 중심주파수 16.5GHz에서 VSWR은 약 1.027 이다.



(a)



(b)

그림 6. 절곡된 타원형 평판 급전부의 복사패턴 : (a) E-평면 빔패턴 (b) H-평면 빔패턴

Fig. 6 Radiation patterns of bended elliptical conductor plate feed (a) E-plane beam pattern (b) H-plane beam pattern

그림 6은 절곡된 타원형 평판 급전부의 복사패턴을 나타내며, 중심주파수 16.5GHz에서 이득은 10.37 dBi이다. 그림 6(a)는 E-면의 복사패턴을 도시하였으며, 이 패턴에 영향을 주는 요소는 두 개의 개구와 절곡된 타원형 평판의 장축의 크기와 절곡 각도에 의해서 영향을 많이 받는다. 포물형 반사판 안테나의 성능에 영향을 가장 크게 미치는 10 dB 빔폭은 114°이다. 이 폭이 좁으면 안테나 시스템의 E-면 빔폭은 조금 확대되고, 부엽준위는 내려가며, 그리고 안테나 이득 또한 조금 내려간다.

그림 6(b)는 H-면의 복사패턴을 도시하였으며 10dB 빔폭은 144°이다. 이 패턴에 영향을 주는 요소는 두 개의 개구와 타원형 평판의 단축 크기에 의해서 영향을 많이 받는다.

2.3 포물형 반사판 안테나의 모의실험 결과

지향성 펜슬빔 안테나의 포물형 반사판 설계는 다음 식 (6)을 활용한다.

$$z^2 = 4Fx \quad (6)$$

여기서 F는 반사판의 초점이다.

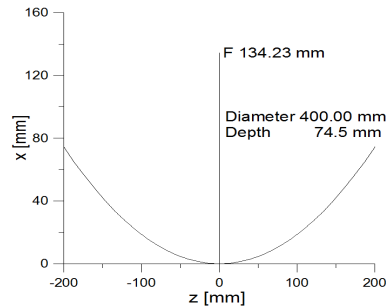


그림 7. 적용된 포물형 반사판 구조
Fig. 7 Geometry of applied parabolic reflector

그림 7에 도시된 바와 같이 본 논문에 적용된 반사판의 직경은 400.0 mm, 깊이는 74.5 mm, 초점은 134.23 mm 이다. 초점을 좌표계의 중심과 일치시키며, 이 지점에 절곡된 타원형 평판 중심을 위치시킨다. 앞에서 HFSS를 이용하여 구한 절곡된 타원형 평판 급전부에 의한 그림 6의 복사패턴을 가지고 그림 7의 포물형 반사판 안테나에 대하여 HFSS-IE를 활용하여 모의 실험하였다.

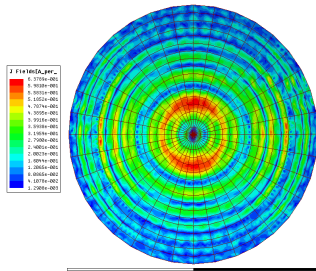
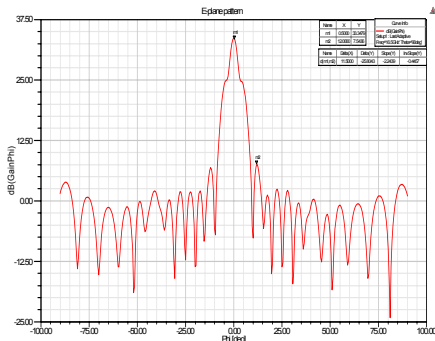


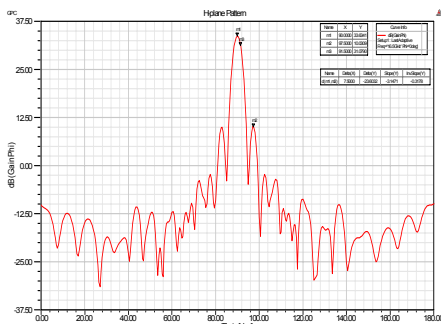
그림 8. HFSS-IE에 의한 포물형 반사판에서 전류 분포

Fig. 8 Current distribution on the proposed parabolic reflector antenna using HFSS-IE

그림 8은 포물형 도체 반사판의 전류분포 크기를 도시하였다. 이 포물형 반사판 전류 분포에 의한 반사판 안테나의 복사 패턴은 HFSS-IE로 모의 실험하여 그림 9에 도시하였다.



(a)



(b)

그림 9. 제안된 포물형 반사판 안테나의 복사패턴 : (a) E-평면 빔패턴 (b) H-평면 빔패턴

Fig. 9 Radiation patterns of the proposed parabolic reflector antenna (a) E-plane beam pattern (b) H-plane beam pattern

그림 9는 E-평면과 H-평면 원거리 복사 빔 패턴을 도시한 것으로 안테나의 이득은 33.68 dBi이다. 그림 9(a)는 반사판안테나의 E-평면 복사 패턴이며 3 dB 빔폭은 약 3°이며, 첫 번째 부엽준위는 25.80 dB이고, E-평면 주엽에 솔더가 나타난다. 이는 급전 도파관의 종단에 두 개의 개구가 도파관을 중심으로 나누어 있기 때문이며, 또한 절곡된 타원형 평판의 영향을 받은 효과이기도 하다. 그림 9(b)는 안테나의 H-평면 복사 패턴이며 3 dB 빔폭은 약 3.3°이며, 첫 번째 부엽준위는 23.60 dB이다.

그림 10은 포물형 반사판 안테나의 3차원 이득 패턴으로서 펜슬 빔 형상이다.

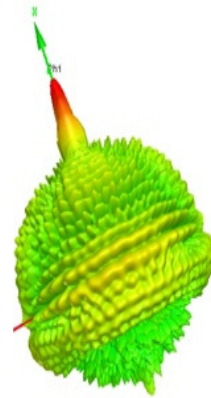


그림 10. 제안된 반사판 안테나의 3차원 이득 패턴
Fig. 10 3D gain pattern of the proposed antenna

III. 결론

본 논문에서는 포물형 반사판 안테나의 급전흔을 지지하는 구조물을 제거하기 위하여 절곡된 타원형 평판 급전부를 도입하였으며, 급전부의 종단에 두 개의 개구를 내어서 전자파 에너지가 분출되어 절곡된 타원형 평판에서 반사되어 포물형 반사판에 입사되도록 하였다. 이때 절곡된 타원형 평판을 지지하는 도파관에서 반사손실을 개선하기 위해서 타원형의 정합 탭을 적용하였으며, Ansys HFSS로 모의실험한 결과 -15 dB 이하 반사손실 대역폭은 12.5 GHz에서 20GHz이상 까지로 광대역 특성을 나타냈다. 제안된 절곡된 타원형 평판 급전부를 포물형 반사판 안테나

의 반사판 직경 400 mm, 반사판 깊이 74.5 mm, 초점 134.23 mm 적용하여 모의실험한 결과 안테나 이득 33.68 dBi이며, E-면 3 dB 빔폭은 약 3°이며, 첫 번째 부엽준위는 25.80 dB이다. 그리고 H-면 3 dB 빔폭은 약 3.3°이며, 첫 번째 부엽준위는 23.60 dB이다.

향후 과제는 개구에 이물질 방지 테프론 테이프가 적용된 상태에서 반사손실 특성을 개선하며, E-면 복사패턴에서 급전부의 위상 중심을 고려하여 주엽 슬더를 최소화하도록 설계 제작한 후 실험된 결과와 비교 검토하고자 한다.

본 논문은 2016년도 한국전자통신학회 봄철 종합학술대회 발표논문을 확장한 논문임.

References

- [1] T. A. Milligan, *Modern Antenna Design*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] J. W. M. Baars, *The Paraboloidal Reflector Antenna in Radio Astronomy and Communication*. New York : Springer Science, 2007.
- [3] Elite Antennas, *Wideband Antenna for Jamming and Surveillance : Model EW 7-18 / 90436*, Nov, 2017.
- [4] mWAVE Industries, *Parabolic Antenna : Model RPCR2-36-N, leaflet : ds036spcp-041117.doc*.
- [5] A. Moldsvor, M. Raberger, and P. Kildal, "An efficient rectangular hat feed for linear polarization and low sidelobes," *Digest of 1993 IEEE Antenna Propagation Int. Symp.*, Ann Arbor, USA, vol. 1, June, 1993, pp. 270-273.
- [6] J. Hansen, A. Kishk, P. Kildal, and O. Dahlstö, "High performance reflector hat antenna with very low sidelobes for radio-link applications," *Proc. 1995 IEEE Antenna Propagation Int. Symp.*, Newport Beach, California, USA " June, 1995, pp. 893-896.
- [7] J. Yang and P. Kildal, "FDTD design of a Chinese hat feed for shallow mm-wave reflector antennas," *Proc. of 1998 IEEE Antenna Propagation Int. Symp.*, Atlanta, USA, June, 1998, pp. 2046-2049.
- [8] M. Yousefnia, A. Pirhadi, and M. Hakkak, "Analysis and design of parabolic hat feed antenna", *Proceedings of 2005 IEEE Antenna Propagation Int. Symp.*, vol. 3A, Washington, DC, USA, July, 2005. pp. 650- 653.
- [9] E. Ekmekci and G. Sayan, "A Novel dual-band metamaterial structure," *Progress in Electromagnetics Research Symp.* Moscow, Russia, Aug., 2009, pp. 87-90.
- [10] C. Cutler, "Directional microwave antenna," *United States Patent*, no. 2422184, June 17, 1947.
- [11] ANSYS, Inc., HFSS ver. 13 : HFSS Integral Equation (IE) Solver, <http://www.ansys.com>.
- [12] J. Yoon, D. Im, D. Lee, and C. Park, "Design of VHF Antenna for Marin Communication," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, 2014, pp. 567-574.
- [13] J. Hong, B. Kim, and H. Son, "Fabrication of CSLR-loaded Inset Fed Patch Antenna with a Conducting Reflector," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 11, 2016, pp. 1047-1052.
- [14] Y. Park, "Study on the Array Type Antenna of 1.8GHz," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 10, 2016, pp. 929-934.

저자 소개



김병문(Byung-Mun Kim)

1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 경북대학교 대학원 전자공학 졸업(공학석사)

2015년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1990년~1997년 LG정밀 선임연구원

1997년~현재 경북도립대학교 전기전자과 교수

※ 관심분야 : 레이더시스템, 마이크로파 부품 및 탐침 등



윤리호(Li-Ho Yun)

1989년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1998년~현재 경북도립대학교 전기전자과 교수

※ 관심분야 : 안테나, 마이크로파 부품 및 전자파산란 등



홍재표(Jae-Pyo Hong)

1981년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1990년~현재 경일대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 평면 안테나 설계, 전자파 산란