

유선형 레이돔의 설계 및 구현

델겔 오트건بات*¹, 표수련*², 김상기*³, 손원국*⁴, 김선각**⁵, 류충한*⁵, 안병권***⁵, 안병철****⁵

Design and Implementation of a Streamlined Radome

Otgonbat Delger*¹, Purevsuren Baatarkhuu*², Sang-Gi Kim*³, Won-Kuk Son*⁴, Sun Kak Kim**⁵, Choonghan Ryu*⁵, Byoung-Kwon Ahn***⁵, and Bierng-Cheal Ahn****⁵

이 논문은 충북대학교 국립대학육성사업(2022)지원을 받아 작성되었음

요 약

본 논문에서는 상용 소프트웨어인 CST Studio Suite V2023을 이용하여 유선형 레이돔 내부의 안테나 이득 패턴 왜곡을 최소화하는 설계 방법을 제시하고 이를 실험적으로 확인하였다. 탄젠트 오자이브 형상의 레이돔 초기 두께를 이론적으로 결정하였다. 레이돔 내부에 설치된 사각도파관 안테나의 레이돔에 의한 이득 패턴 변화를 시뮬레이션 툴을 이용하여 계산하여 레이돔 높이별로 초기 두께를 소폭 조정하여 이득 패턴 변화를 최소화하였다. PEEK 재료를 이용하여 설계한 레이돔을 CNC 가공으로 정밀하게 제작하였다. 제작된 레이돔을 시험용 안테나에 적용하여 레이돔의 성능을 확인하였다. 실험 결과에 의하면 설계한 레이돔은 중심주파수를 기준으로 5% 대역폭 내에서 0.8dB 이하의 삽입손실을 초래하였으며 부엽준위를 2-4dB 증가시켰다.

Abstract

This paper presents a method for minimizing the gain pattern degradation of an antenna installed in a streamlined radome using a commercial simulation tool CST Studio Suite V2023. The initial thickness of a tangent ogive radome is theoretically determined. The change in the gain pattern of a rectangular waveguide antenna is calculated using a simulation tool. Based on this simulation, the gain pattern change is minimized by adjusting the radome thickness for each range of the radome height. The designed radome is fabricated in PEEK material using precision CNC machining. The performance of the fabricated radome has been verified using a test antenna. According to measurements, the designed radome introduced 0.8dB insertion loss in 5% bandwidth around the center frequency and 2-4dB increase in the sidelobe level.

Keywords

radome design, simulation-based, radome loss, gain pattern, sidelobes

* 충북대학교 대학원 전자통신공학전공

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0001-7364-9984>

- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0009-4773-2296>

- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0007-2909-0184>

- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0002-0173-3957>

- ORCID⁵: <https://orcid.org/0009-0008-6185-5615>

** (주)네오세미텍 대표이사

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4120-4792>

*** 충남대학교 자율융합시스템공학과 교수

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0339-6069>

**** 충북대학교 정보통신공학부 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-7977-8760>

• Received: Oct. 29, 2023, Revised: Nov. 16, 2023, Accepted: Nov. 19, 2023

• Corresponding Author: Bierng-Chaerl Ahn

Dept. of Information and Communication Engineering, Chungbuk

National University

Tel.: +82-43-261-3194, Email: bician@cbnu.ac.kr

1. 서 론

비행체 전단에 설치되는 레이돔은 유선형 형상을 가지며 이 경우 레이돔 표면에 걸쳐 전자파의 입사각이 다르므로 레이돔 두께를 입사각에 대응하여 설계하여야 한다[1][2]. 유선형 레이돔에 있어서 저손실 특성을 유지하면서 안테나 이득 패턴 왜곡이 최소가 되도록 설계하는 것이 중요하다[3][4].

레이돔을 통과하는 안테나의 이득 패턴은 흔히 자체 방사 특성을 등가 전원으로 환산하여 계산한다[5]. 안테나를 포함한 레이돔의 크기가 일반적으로 50파장 이상인 경우, 기하광학법 혹은 물리광학법 등의 근사기법이 주로 이용된다[6]. 이와 같은 광학적 근사기법은 곡률 반경이 파장에 비해 크지 않은 레이돔의 침투 부분 모델링에 제한이 있다. 이 경우 레이돔 끝 부분의 경우에는 유한 요소법[7] 혹은 모멘트법[8]이 적용된다. 이와 같은 방법들은 전체 레이돔 해석에 적용할 경우, 많은 셀의 개수를 요구하므로 계산 시간이 크게 증가한다. 최근에는 다양한 전파추적법, GTD 등의 근사적인 방법과 모멘트법 등이 혼용된 방법들이 사용된다[9]-[12].

본 논문에서는 레이돔 내벽에서의 입사각 변화에 따른 안테나 패턴 왜곡 형상을 분석하여 레이돔의 벽 두께 설계하였다. 안테나 패턴 왜곡이 최소화된 레이돔 형상을 얻기 위하여 상용 소프트웨어인 CST Studio Suite™ V2023을 이용하였다. 설계된 레이돔의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 다음으로 레이돔을 제작하여 내부에 안테나를 설치하여 레이돔에 의한 삽입손실과 이득패턴 변화를 근접전계 측정법으로 측정하였다. 측정결과 레이돔에 의해 0.8dB의 삽입손실이 발생하였으며 부엽준위가 2-4dB 증가함을 확인하였다.

II. 레이돔 설계

그림 1은 유선형 레이돔과 내부에 설치된 안테나의 배치 구조를 보인 것이다. 좌표 원점은 레이돔 기저부(베이스) 중심이며 z 축은 레이돔 축과 일치한다. 레이돔 내부의 전자파 센서는 안테나, RF 송수신 모듈 및 각종 전자회로 보드로 구성된다. 흔히

안테나는 레이돔 내부에 별도의 금속 방해물 없는 공간에 위치하고 RF 송수신 모듈 및 전자회로 보드는 금속 몸체 내부에 설치된다.

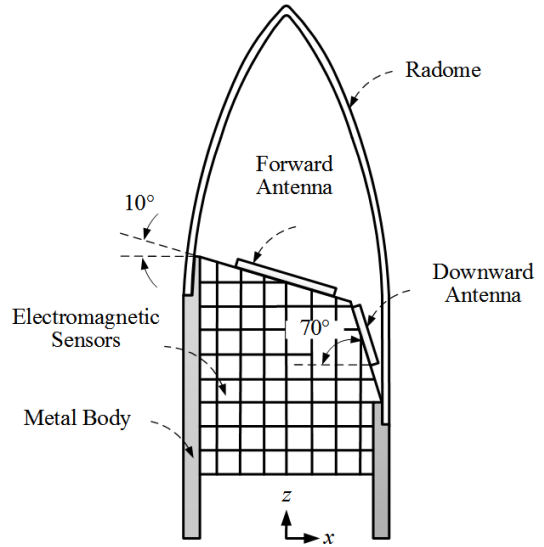


그림 1. 유선형 레이돔 및 내부 구성
Fig. 1. Streamlined radome and its inner structure

비행체에 탑재된 전자파 센서의 설치 공간은 제한적이므로 동시에 다수의 기능을 갖는다[13][14]. 따라서 전자파 센서와 연결되는 안테나의 수가 증가하면서 주변 효과에 의한 영향을 충분히 고려할 필요가 있다. 그림 1에서 전자파 센서용 안테나는 Forward 안테나와 Downward 안테나로 구성된다. Downward 안테나는 내부 벽면과 유사한 경사각을 갖는 금속 벽면에 설치되므로 레이돔에 의한 영향이 비교적 적다. 반면에 Forward 안테나는 곡률 반경이 작은 레이돔 상단의 끝부분을 통과할 뿐만 아니라 벽면과 형성되는 입사각이 크게 변화하므로 안테나 패턴 왜곡이 많이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 등가 전송선 모델[15]을 기반으로 유선형 레이돔 형상을 1차적으로 설계하였다. 다음으로 레이돔의 전체 벽 두께를 증감시키면서 입사각에 따른 안테나 패턴 왜곡 현상을 분석하였다. 상용 프로그램에 의한 레이돔 분석 결과를 토대로 최종 레이돔의 형상을 결정하였다.

본 논문에서는 레이돔의 내벽을 설계한 후 개별 높이에서의 벽 두께를 결정하였다. 레이돔의 내벽은 밀면 직경이 110mm이고 높이가 200mm인 탄젠트 오자이브 곡면을 갖는다.

전체 레이돔 높이 중에서 상부 5mm는 타원 형상을 적용하여 레이돔 끝부분을 부드럽게 처리하였다. 레이돔 재료로는 저손실 고온용 플라스틱 재료인 PEEK를 이용하였다. 적용된 유전체는 3.10의 유전율과 0.004의 손실 탄젠트를 갖는다[15]. 레이돔 표면 기준 베이스 부분의 직경은 60mm, 레이돔 높이는 200mm로 하였다[13]. 레이돔 내면의 좌표 (x, z)는 다음 식과 같이 표현된다.

$$(x + R - D/2)^2 + z^2 = R^2 \quad (1)$$

$$R = D[(L/D)^2 + 1/4] \quad (2)$$

여기서 D는 레이돔 기저부 직경이며, L은 레이돔 기저부에서부터 레이돔 끝 지점까지의 높이이다. 좌표 원점은 레이돔 기저면의 중심이다.

레이돔 초기 설계에서는 모든 내벽의 경계면에서 전파가 레이돔 축 방향으로 진행할 경우 레이돔 면에서의 입사각 ϕ_i 를 계산하고 다음 식을 이용하여 위치별로 레이돔의 두께를 결정하였다.

$$d = (\lambda_0/2) / (\epsilon_r - \sin^2 \phi_i)^{1/2} \quad (3)$$

다음으로 레이돔 내부에서 그림 1의 Forward 안테나에 의해 입사되는 각을 계산한 후 각도별 패턴 왜곡 특성을 분석하였다. 마지막으로 전체 레이돔의 벽 두께를 일정하게 증감하면서 안테나 특성이 가장 우수한 두께를 높이별로 선정하였다.

레이돔의 성능을 그림 2와 같은 사각 도파관 안테나를 적용하여 확인하였다. 사각 도파관 안테나 개구면 크기는 수신 안테나의 크기와 동일한 10.0×48.0mm로 하였다. 사각 도파관 개구의 중심 좌표는 $x = 0, z = 94\text{mm}$ 이다.

CST Studio Suite™ V2023을 기반으로 레이돔에 의한 안테나의 패턴 특성을 얻기 위하여 미리 계산된 사각 도파관 안테나의 근접전계 계산 결과를 이용하였다. 사각 도파관 안테나의 근접전계 계산 결과는 레이돔 해석 단계에서 입사파로 인가된다. 레이돔 벽 두께에 따른 안테나 이득 패턴 계산을 위해 상용 프로그램에서 공급하는 적분방정식 해석 툴을 이용하였다. 그림 3은 시뮬레이션 툴에서 사용

한 레이돔의 모델링 형상이다.

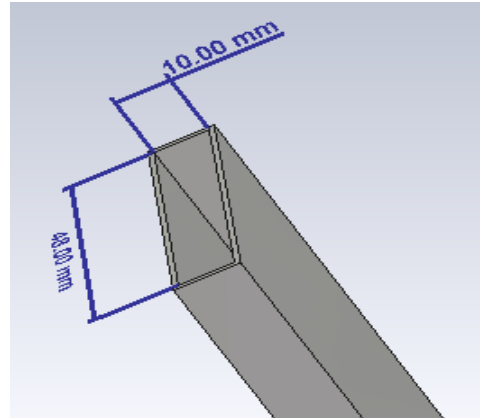


그림 2. 사각도파관 안테나
Fig. 2. Rectangular waveguide antenna

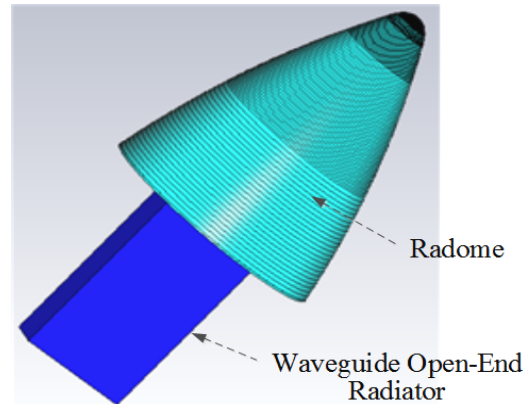


그림 3. 레이돔 해석 모델
Fig. 3. Radome simulation model

레이돔 최적 설계에서는 앞서 설계된 레이돔의 벽 두께를 일정하게 증감하면서 개별 입사각에서의 안테나 패턴 변화를 분석하였다. 실제 레이돔이 없는 경우와 벽 두께 변화에 따른 레이돔 내부의 안테나 패턴을 비교함으로써 레이돔 각 부위의 최적 벽 두께를 선정하였다.

그림 4는 레이돔 내부에 도파관 중심축이 레이돔 중심축과 일치하며 사각 도파관 개구 중심이 $(x, z) = (0, 94\text{mm})$ 에 위치할 경우 레이돔 벽 두께에 따른 이득 패턴의 변화이다. 그림 4에서 T0는 식 (3)을 사용하여 구한 레이돔의 초기 벽 두께이다. 그림 4의 범례 중에서 "T=T0+0.3"과 "T=T0-0.5"는 앞서 구한 레이돔의 벽 두께를 균일하게 0.3mm를 추가하거나, 0.5mm를 줄인 후의 이득 패턴 계산 결과이다.

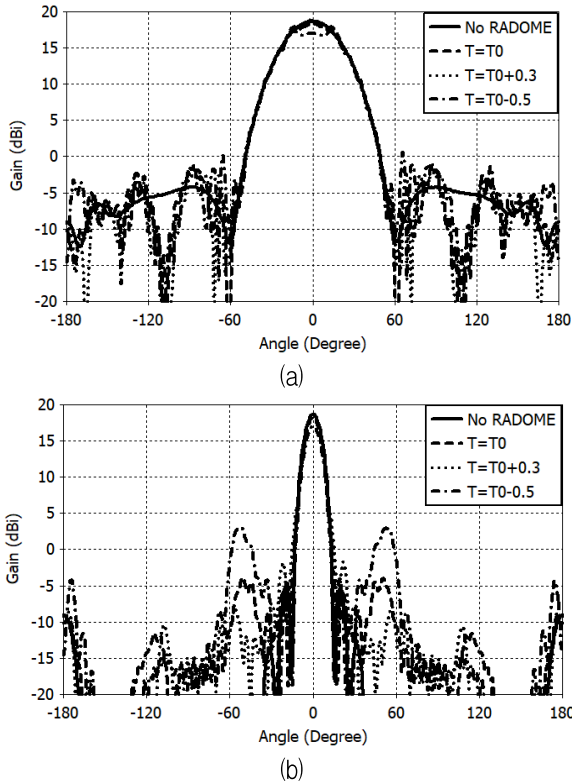


그림 4. 기울어지지 않은 사각도파관 안테나 이득 패턴에 대한 레이돔의 영향 (a) 전계면 패턴, (b) 자계면 패턴
 Fig. 4. Radome effect on the gain pattern of an untilted rectangular waveguide antenna (a) E -plane pattern and (b) H -plane pattern

그림 4(a)는 전계면에서의 레이돔 효과를 보인 것이다. T_0 , $T_0+0.3$, $T_0-0.5$ 의 모든 경우 레이돔에 의해 60° 부근에서 부엽이 추가로 발생하며 기존 부엽의 크기가 3-4dB 증가함을 알 수 있다. 두께를 0.5mm 감소시킨 경우($T_0-0.5$), 빔축 방향에서의 이득이 2dB 가량 감소한다.

그림 4b는 자계면에서의 레이돔 효과를 보인 것이다. 이 경우 입사면에 전기장 벡터가 수직으로 입사되어 전계면에서의 레이돔 효과와 다른 특성을 보인다. 특히 레이돔에 의해 부엽이 크게 증가함을 알 수 있다. 레이돔 두께를 0.3mm 만큼 증가시켰을 때 부엽특성이 더 우수함을 확인할 수 있다.

그림 5는 안테나가 레이돔 내부에서 사각 도파관 안테나를 $x = 0\text{mm}$ 에서 $x = -24\text{mm}$ 위치로 평행 이동시킨 후 전계면 방향으로 10° 틸트시킨 경우의 이득 패턴이다. 그림 5a는 안테나가 전계면 방향으로 10° 기울어진 경우, 전계면에서의 레이돔 효과를 보인 것이다. $0^\circ-180^\circ$ 에서는 레이돔 표면으로의 전

파 입사각이 증가하여 레이돔에 의한 이득 패턴 변화가 큼을 알 수 있다. 그림 5b는 안테나가 전계면 방향으로 10° 기울어진 경우, 자계면에서의 레이돔 효과를 보인 것이다. 레이돔에 의해 부엽이 증가됨을 확인할 수 있다. 레이돔 두께를 0.3mm 증가시켰을 때 부엽 특성이 가장 양호함을 알 수 있다.

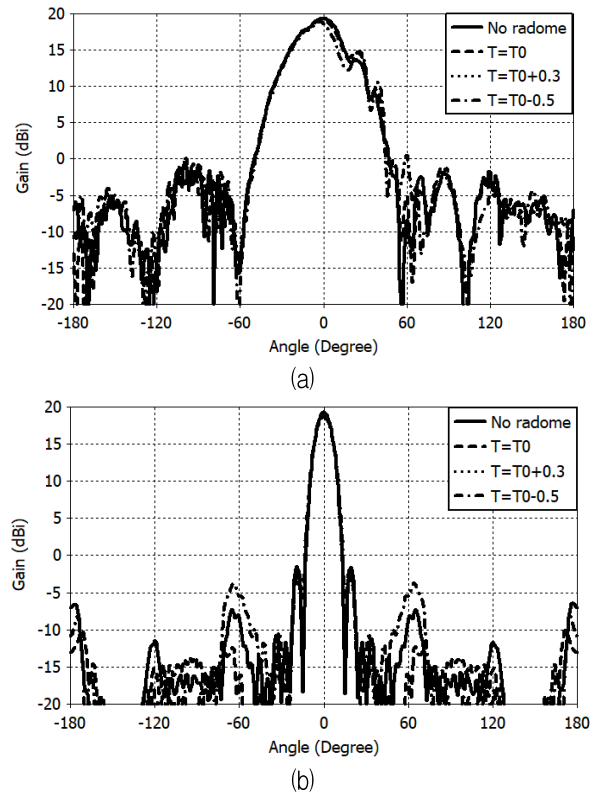


그림 5. 기울어진 사각 도파관 안테나 이득 패턴에 대한 레이돔의 영향 (a) 전계면 패턴, (b) 자계면 패턴
 Fig. 5. Radome effect on the gain pattern of a tilted rectangular waveguide antenna (a) E -plane pattern and (b) H -plane pattern

이상과 같은 이득 패턴 계산 결과를 바탕으로 최종 조정된 레이돔의 벽 두께는 다음과 같다. 레이돔의 밑면으로부터 높이 80mm까지는 입사각 0° 기준으로 설계된 기준 레이돔과 동일하게 하였다. 다음으로 안테나의 패턴 왜곡을 최소화하기 위하여 1.0mm에서 0.0mm까지 순차적으로 줄인 후 높이 180-200mm 부위에서 최대 0.3mm까지 증가시켰다. 그림 7은 최종 설계된 레이돔의 외벽 곡면과 내벽 곡면을 도시한 것이다.

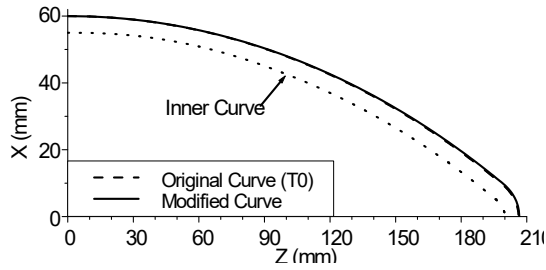


그림 6. 레이돔 단면 곡선
Fig. 6. Radiome cross-sectional curve

III. 레이돔 제작 및 성능 측정

최적화된 벽 두께가 반영된 PEEK 레이돔은 CNC 정밀 가공 방식을 통해 그림 7과 같이 제작하였다. 그림 7은 제작된 레이돔과 각종 RF 보드가 내장되고 그 위에 레이돔 효과 시험용 안테나가 설치된 금속 몸체의 모습이다. 본 논문에서는 기존의 Forward 안테나를 이용하여 레이돔 효과를 측정하였다.

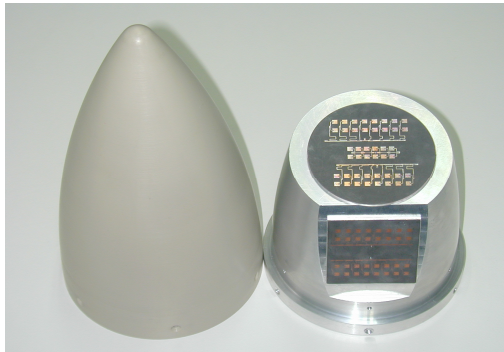
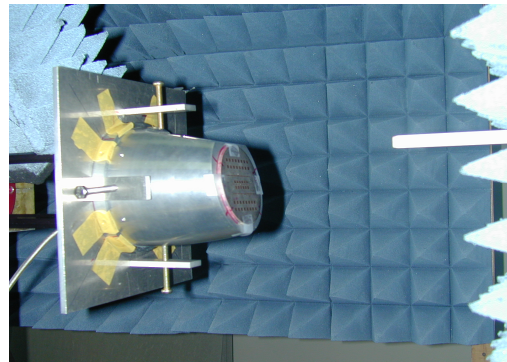


그림 7. 제작된 레이돔과 레이돔 영향 시험용 안테나
Fig. 7. Fabricated radome and an antenna for testing the radome effect

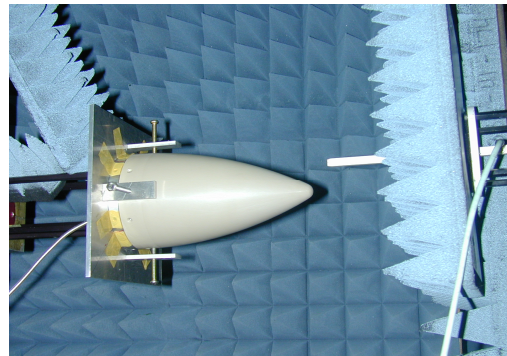
본 논문에서 사용한 Forward 안테나의 형상은 그림 7과 같다. 중앙에 1개의 송신 안테나가 위치하고 위, 송신 안테나 상부와 하부에 각각 1개의 수신 안테나가 배치된다. 송신 안테나는 동위상으로 급전되는 2x1 배열 안테나를 방위각 방향으로 6개 배열한 후 직렬급전 방식으로 급전된다. 상부 및 하부 수신 안테나의 경우 동위상을 갖는 2x1 배열 안테나가 각각 자계면 방향으로 +10° 및 -10° 방향에서 최대 빔이 형성되도록 구성되었다. Forward 안테나는 그림 1에서 보인 것과 같이 금속몸체 위에 레이돔 중

심축을 기준으로 전계면 방향으로 10° 경사지게 설치된다.

레이돔의 효과는 레이돔의 유무에 따라 전달계수를 측정하여 레이돔 손실을 산출하고, 레이돔 유무에 따른 이득 패턴을 비교함으로써 확인하였다. 그림 8은 근접 전계 측정법으로 레이돔의 성능을 시험하는 모습이다. 금속 몸체에 안테나를 배치하고 맞은편에 근접 전계 측정 프로브를 설치하였다. 레이돔 투과손실은 자유공간법 전달계수를 측정하여 확인하였다. 레이돔에 의한 이득 패턴 변화는 근접 전계 측정법을 이용하여 확인하였다[15].



(a)



(b)

그림 8. 레이돔 효과 시험 (a) 시험 안테나, (b) 레이돔 및 내부에 설치된 시험 안테나

Fig. 8. Test of the radome effect (a) Test antenna and (b) Radome with test antenna installed inside

그림 9는 자유공간법을 이용하여 Forward 상부 안테나와 Forward 하부 안테나의 전달계수를 측정하는 것이다. 레이돔이 없는 경우에 회로망 분석기에서 Response Calibration을 수행함으로써 안테나와 측정용 근접 전계 프로브 사이의 전달계수를 0dB의 값으로 설정하였다.

다음으로 안테나 위에 레이돔을 설치한 후 전달 계수를 측정하였다. Forward 상부 안테나는 레이돔이 덮여질 경우 주파수 $0.975f_c - 1.029f_c$ 범위에서 0.5dB 이하의 이득 감소가 관측되었으며 Forward 하부 안테나는 0.7dB 이하의 이득 감소를 보였다. 여기서 f_c 는 중심 주파수이다.

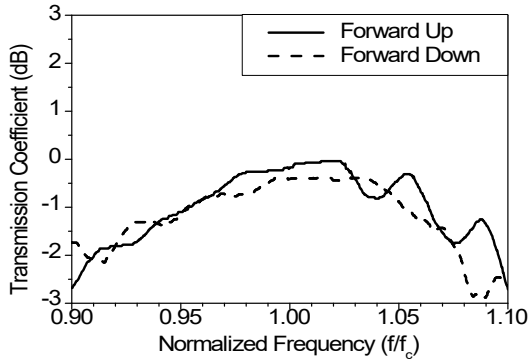


그림 9. 측정된 레이돔의 전달계수
Fig. 9. Measured radome transmission coefficients

그림 10은 중심주파수에서 측정된 레이돔 유무에 따른 Forward 상부 안테나의 이득 패턴이다. 이 안테나의 방위각 패턴은 왼쪽으로 10° 만큼 조향되도록 설계되었다. 레이돔이 포함되는 경우 방위각 패턴에서는 최대 이득점의 위치에는 변화가 없으나 3dB 빔폭이 감소하고 부엽 레벨이 소폭으로 변화됨을 알 수 있다. 고각 패턴에서는 3dB 빔폭 내에서 최대 이득점 위치가 조정되었고 -40° 이하의 각도 범위에서 부엽 레벨이 증가함을 알 수 있다.

그림 11은 Forward 하부 안테나의 이득 패턴 측정 결과이다. 이 안테나의 방위각 패턴은 오른쪽으로 10° 만큼 조향되도록 설계되었다. 방위각의 경우 전체 범위에서 이득 패턴이 잘 일치하며 레이돔에 의해 부엽이 약간 증가함을 알 수 있다. 고각 방향에서는 -20° 에서 -5° 범위에서 이득이 약간 줄어드는 결과를 보이며 -40° 이하의 각도 범위에서 부엽 레벨이 증가함을 알 수 있다. 그림 10과 그림 11로부터 본 논문에서 제안된 유선형 레이돔에 의한 안테나 패턴 왜곡이 작으며, 따라서 레이돔의 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

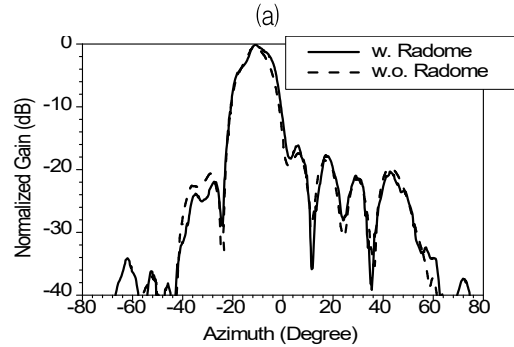
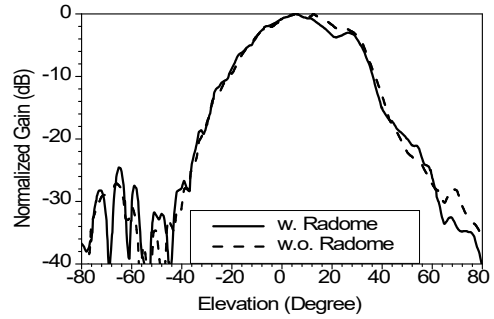


그림 10. Forward 상부 안테나 이득 패턴의 레이돔 효과
(a) 고각(전계면) 패턴, (b) 방위각(자계면) 패턴
Fig. 10. Radome effect on the forward upper antenna
(a) Elevation(E -plane) pattern and (b) Azimuth(H -plane)

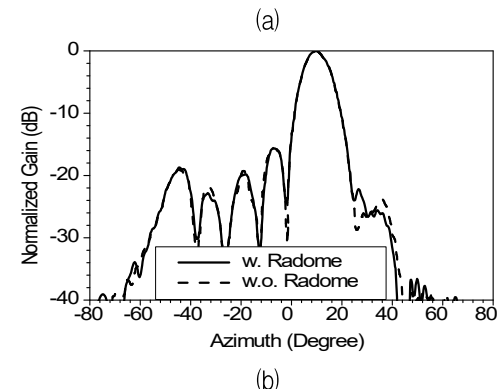
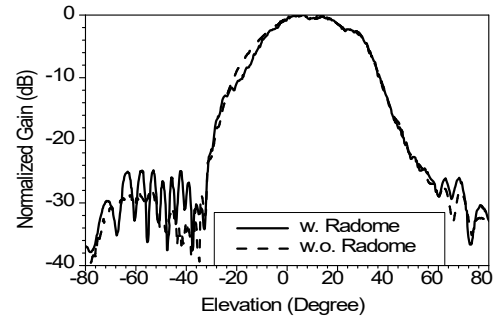


그림 11. Forward 하부 안테나 이득 패턴의 레이돔 효과
(a) 고각(전계면) 패턴, (b) 방위각(자계면) 패턴
Fig. 11. Radome effect on the gain patterns of the forward bottom antenna (a) Elevation(E -plane) pattern and (b) Azimuth(H -plane) pattern

IV. 결 론

본 논문에서는 유선형 레이돔의 설계와 구현을 다루었다. 레이돔의 높이별로 벽 두께를 조정하여 내부 안테나의 패턴 왜곡을 최소화하였다. 레이돔 형상으로 침두부를 부드럽게 타원면으로 변형한 탄젠트 오자이브를 적용하였다. 레이돔의 초기 두께는 이론에 의해 입사각 효과가 반영된 반파장으로 이론적으로 결정하였다. 레이돔의 이론적 설계를 확인하기 위해 사각 도파관 안테나를 이용하여 레이돔 유무에 따른 이득 패턴을 비교하였다. 이를 토대로 안테나의 이득 패턴 변형이 최소가 되는 레이돔 두께 증감량을 레이돔 높이별로 결정하였다. 설계된 레이돔을 제작 측정하여 시험용 안테나를 사용하여 레이돔이 안테나의 이득 패턴에 미치는 영향을 확인하였다. 실험 결과에 의하면 중심주파수를 중심으로 5% 대역폭 내에서 레이돔의 최대 삽입손실을 0.8dB이었다. 이득 패턴에 있어서 부엽 레벨이 2-4dB 증가됨을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 유선형 레이돔이 설계기법은 다양한 곡면형상의 레이돔 최적 설계에 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다.

References

- [1] D. J. Kozakoff, "Analysis of Radome Enclosed Antennas", Artech House, New York, 1988.
- [2] J. Liu, L. Li, H. Chen, and S. Ni, "Analysis of performance degradation introduced by radome for high-precision GNSS antenna", *International Journal of Antennas Propagation*, pp. 1-13, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1529656>.
- [3] A. Mousavi, "Evaluation of Radome Effects on Radiation Properties for a 24 GHz Phased Array Antenna", Master Thesis, Lund University, 2020.
- [4] H. U. Tahseen, L. Yang, and X. Zhou, "Design of FSS-antenna-radome systems for airborne and ground applications", *IET Communications*, Vol. 15, No. 13, pp. 1691-1699, Aug. 2021. <https://doi.org/10.1049/CMU2.12181>.
- [5] H.-S. Lee and H. Park, "Prediction of radome bore-sight errors using a projected image of source distributions", *Progress in Electromagnetics Research, PIER*, Vol. 92, pp. 181-194, Apr. 2009. <https://doi.org/10.2528/PIER09033105>.
- [6] H. Shin, D. Yoon, D.-Y. Na, and Y. B. Park, "Analysis of radome cross section of an aircraft equipped with a FSS radome", *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 33704-33712, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3162262>.
- [7] R. K. Gordon and R. Mittra, "Finite element analysis of axisymmetric radomes", *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, Vol. 41, No. 7, pp. 975-981, Jul. 1993. <https://doi.org/10.1109/8.237631>.
- [8] Y. Zou, Q. Liu, and J. Guo, "Fast analysis of body-of-revolution radomes with method of moments", *Journal of Electromagnetic Waves Applications*, Vol. 21, No. 13, pp. 1803-1817, Apr. 2012. <https://doi.org/10.1163/156939307781890987>.
- [9] A. M. Raynal, D. F. Dubbert, B. L. Burns, and W. H. Hensley, "Radome effects on coherent change detection radar system", in *Proc. of the SPIE*, Vol. 9461, pp. 1-15, May 2015. <https://doi.org/10.1117/12.2179180>.
- [10] Z. Shen and J. L. Volakis, "A hybrid physical optics-moment method for large nose radome antennas", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Orlando, FL, USA*, pp. 255-2557, Jul. 1999. <https://doi.org/10.1109/APS.1999.789330>.
- [11] R. Orta, R. Tascone, and R. Zich, "Performance degradation of dielectric radome covered antennas", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 36, No. 12, pp. 1707-1713, Dec. 1988. <https://doi.org/10.1109/8.14392>.
- [12] M. A. A. Moneum, Z. Shen, J. L. Volakis, and O. Graham, "Hybrid PO-MoM analysis of large axi-symmetric radomes", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 49, No. 12, pp. 1657-1666, Dec. 2001. <https://doi.org/10.1109/8.982444>.

[13] K.-D. Hong, X. Zhang, Z. Chen, and T. Yuan, "A millimeter-wave radome with variable thickness for improvement of radiation patterns", 2021 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium, Chengdu, China, Jul. 2021. <https://doi.org/10.23919/ACES-China52398.2021.9582007>.

[14] J.-H. Bang, B. Enkhbayar, D.-H. Min, and B.-C. Ahn, "A compact GPS antenna for artillery projectile applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 10, pp. 266-269, Apr. 2011. <https://doi.org/10.1109/LAWP.2011.2135830>.

[15] B.-C. Ahn, W.-P. Lee, X. Songyuan, and J.-Y. Lim, "Design and measurement of a radome for protecting autonomous navigation system sensors", Journal of KIIT, Vol. 21, No. 2, pp. 93-101, Feb. 2023. <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.2.9>.

저자소개

델겔 오트건뵈 (Otgonbat Delger)



2014년 1월 : Mongolian University of Science and Technology, 전기공학(석사)
 2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학 박사과정
 관심분야 : 안테나, RF, 초고주파

표수련 (Purevsuren Baatarkhuu)



2018년 6월 : ACH Medial University(학사)
 2023년 9월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 석사과정
 관심분야 : 안테나, RF, 안테나 측정기술

김상기 (Sang-Gi Kim)



2006년 2월 : 충북대학교 전기전자 컴퓨터공학부(공학사)
 2008년 2월 : 충북대학교 전파공학과(공학석사)
 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 박사수료
 2017년 ~ 현재 : (주)이앤씨

연구소장

관심분야 : IoT 응용, Multi Band 안테나, RFID 안테나, 능동회로 및 수동회로 설계

손원국 (Won-Kuk Son)



2006년 2월 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부(공학사)
 2008년 8월 : 충북대학교 전파통신공학과(공학석사)
 2011년 2월 : 충북대학교 전파통신공학과(박사수료)
 2018년 7월 ~ 현재 : 한빛EDS(주)

과장

관심분야 : IoT, RF회로, Antenna, 에너지하베스트

김선각 (Sun Kak Kim)



1995년 8월 : 충북대학교 경영학과(학사)
 2016년 2월 : 충북대학교 나노반도체공학(석사)
 2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 박사과정
 2015년 5월 ~ 현재 :

(주)네오세미텍 대표이사

관심분야 : 전자회로, 유무선통신, 반도체

류충한 (Choonghan Ryu)



2006년 3월 : 성균관대학교 화학공학/고분자공학부(학사)
 2008년 3월 : 성균관대학교 화학공학/고분자공학부(석사)
 2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 박사과정
 관심분야 : 고주파 반도체, 통신

안 병 권 (Byoung-Kwon Ahn)



1999년 ~ 2000년 : 한국해양연구원
해양시스템안전연구소
2005년 4월 : University of
Cambridge Dept. of Eng.(박사)
2005년 ~ 현재 : 충남대학교
자율운항시스템공학과 교수
관심분야 : 유동소음, 캐비테이션제어

안 병 철 (Bierng-Chearl Ahn)



1992년 12월 : University of
Mississippi 전기전자공학과(박사)
1992년 ~ 1994년 : 국방과학연구소
선임연구원
1995년 ~ 현재 : 충북대학교
전파통신공학과 교수
관심분야 : 안테나, 전자파 응용