

항공기 및 미사일용 레이돔 설계에 관한 연구

나 형 기, 박 창 현*

* LG정밀 연구소

전화 : (0331) 288-9295 / 팩스 : (0331) 285-0199

A Design Study of Radomes for Airplanes and Missiles

Hyung-Gi Na *, Chang-Hyun Park *

LG Precision Co, LTD.

E-mail : hkna@lgp.co.kr

Abstract

In this paper, a method of Radome design is considered. The shape is similar to tangent-ogive, and the antenna is a waveguide broad-wall slot array antenna. The characteristic of the Radome material is obtained by measuring test samples. By analyzing the transmission efficiency of the flat plate, Radome wall thickness is determined firstly. And then, the detailed characteristics of the Radome are analyzed by using GO-PO approximation technique. Several simple parameters of the designed Radome are tested and compared with the simulation results.

I. 서론

현대적인 항공기나 유도미사일에서는 레이더 또는 레이더 탐색기를 많이 장착하게 된다. 이러한 경우, 레이더는 주로 비행체의 첨두에 위치하게 되는데, 이 때에 레이돔은 비행체의 속도에 의한 공기저항 및 비, 우박, 습기, 먼지 등으로부터 안테나와 레이더 시스템을 보호하고, 레이더 송신기로부터 송신되는 레이더 신호와 목표물에 의한 에코(echo)신호가 레이돔을 통해서 잘 통과할 수 있도록 하는 역할을 한다.

이러한 레이돔은 기술의 발전에 따라 여러 가지 재질로 만들어져 왔는데, 본 연구에서는 FRP (Fiber

Reinforced Plastic) 재질을 가정하였다. 정해진 재질은 7mm 동축 구조(Coaxial Airline)에 넣을 수 있는 링(ring)모양, 또는 표준 도파관 크기에 맞는 판 구조의 샘플로 만들어서, 재질의 비유전율(Relative Permittivity)과 비투자율(Relative Permeability)을 측정한다. 재질 특성이 정해지면, 평판구조에서의 투과효율을 고려해서 대략적인 레이돔 벽 두께를 정하게 된다. 이렇게 대략적으로 정해진 벽 두께에서, 실제적인 레이돔 안테나 구조에서의 투과손실, BSES(Boresight Error Slope), 복사패턴 등을 고려해서 레이돔 벽 두께를 최종적으로 정하게 된다.

이 논문에서는 실제적인 레이돔 안테나 구조에서의 레이돔 특성 해석을 위해서 GO-PO 근사 방법을 사용하였다. 본 논문에서의 단위 안테나는 도파관 광벽 슬롯은 PWS(Piece-wise Sinusoidal) 모드로 모델되는데, 배열 안테나에서는 각 단위 슬롯은 공진이 되도록 설계되므로, 각 슬롯의 PWS 모드는 두 개의 점전원(Point source)으로 모델 될 수 있다. 이러한 방법으로 이 논문에서는 안테나로부터의 복사과정을 GO(Geometrical Optics)에 기반해서 더 사실적으로 모델 하였다. 모델에 의해 각 점전원으로 부터의 복사파는 레이돔 투과 영향을 고려해서 레이돔 바깥 표면에서의 전자파를 구하고, 레이돔 바깥 표면에서는 다시 안테나로부터 복사된 전자기파를 구하고, 레이돔 바깥 표면에서는 다시 안테나로부터 복사된 전자기파에 의한 등가적인 전기전류(electric current)와 자기전류(magnetic current)를 계산해서 이로부터 레이돔-안테

나의 복사패턴을 구하게 된다. 본 논문에서는 이 방법에 따른 실제 결과와, 실제 제작된 레이돔의 간단한 특성 인자를 보였다.

II. 레이돔 구조

레이돔은 그림 1에 보인 바와 같이 유선형의 레이돔 구조 안에 짐발에 의해 방향 제어가 가능한 안테나가 위치하고 있다. 안테나는 그림 2에서와 같이 도파관 광벽 종방향 슬롯 모노폴스 배열 안테나이다. 이 레이돔 안테나 구조에서는, 안테나가 평면형이고, 얇으며, 짐발과 공간적으로 효율적이도록 조립되므로, 안테나와 레이돔 벽면과의 거리는 5mm 내외의 좁은 간격을 두고 움직인다. 따라서 이런 경우는 안테나 복사소자들의 근접전계(Near field) 성분을 주의해서 처리할 필요가 있다.

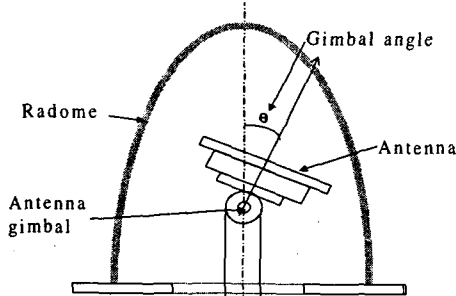


그림 1 : 레이돔 안테나 구조
Fig. 1 : Radome Antenna Geometry

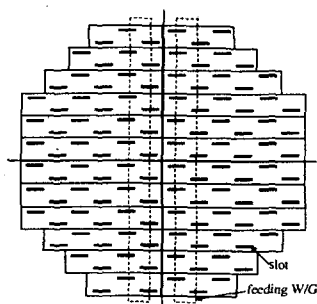


그림 2. 안테나 구조.
Fig 2. Antenna Structure.

III. 레이돔 평면근사 설계

레이돔 설계에 앞서서, 레이돔 재질은 제작과정에서 그 특성과 형태가 바뀌고, 사용 주파수에 따라 전기적 특성이 바뀔수 있으므로, 설계전에 재질의 특성을 규명할 필요가 있다. 본 개발에서는 판 형태로 제작된 샘플을 가공해서 7mm 동축구조(Coaxial Airline)에 넣어서, 재질의 비유전율과 비투자율을 측정하였다. 또한 재질 샘플을 표준 도파관 크기에 맞게 직육면체의 구조로 가공해서 도파관 실험을 통하여 유사한 계산 방법으로 재질의 특성을 측정하였다. 본 연구에서는 유리섬유와 에폭시(Epoxy)를 사용하였는데, 비유전율이 4.1, 손실탄젠트(loss tangent)는 0.017 정도가 됨을 확인하였다.

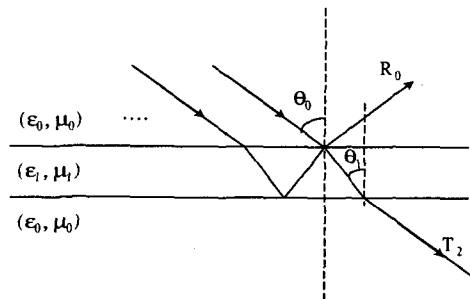


그림 3 : 평면 근사 해석
Fig. 3 : Flat Plate Analysis

레이돔 벽면의 대략적인 설계를 위해서, 그림3에서와 같이 가정할 수 있다. 그리고 짐발의 운용 각도 범위를 고려해서 전자파의 최대 입사각도를 정한 뒤, 벽 두께를 변화시키면서 주어진 각도 범위내에서 투과 손실이 가장 적은 두께를 정할 수 있다[1]. 비행체 탑재용의 레이돔 벽두께는 반파장 두께에서 정하는 것이 일반적인이다. 그러나 운용환경과 구조적인 강도 특성

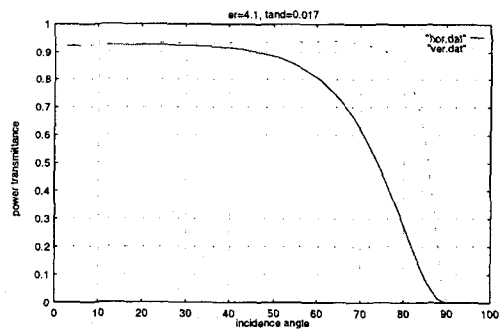


그림 4 : 평면근사에서의 투과계수
Fig. 4 : Flat Plate Transmission Coefficient
의 요구에 따라, 벽두께를 반파장의 정수배에서 정해

야되는 경우도 있다. 본 연구에서는 재질의 특성을 고려해서 $0.254 \lambda_0$ 두께의 벽두께를 선택하였으며, 그 결과를 그림 4에서 보였다.

IV. 레이돔 수치해석

도파관 슬롯에서는 전계 분포는 등가적으로 길이방향의 자기전류 다이폴(Magnetic dipole)로 모델하는 경우가 많다. 이 경우를 그림 5와 같이 가정할 때, 전류 모드는 PWS(Piece-Wise Sinusoidal)를 흔히 사용하고, 이 모드에 의한 복사파는 z-방향 성분의 경우 아래와 같이 주어진다[2].

$$E_z = -j30I_m \left(\frac{e^{-jkR_1}}{R_1} + \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} - 2 \cos kd \frac{e^{-jkd}}{r} \right) \quad (1)$$

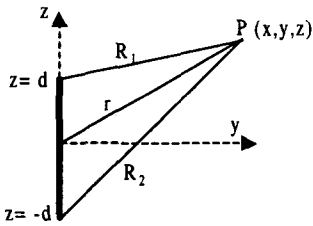


그림 5 : 슬롯 구조
Fig. 5 : Slot geometry

PWS 전류 모드에 의한 복사파는 3개의 점전원에 의한 영향으로 나타내어짐을 알 수 있다. 그리고 실제 설계에서는 슬롯들의 길이가 반파장에 가깝고, 전기적으로는 슬롯들이 공진이되게 설계하므로, 식 (1)에서 $\cos kd$ 는 영에 가까울 것이다. 따라서 각 슬롯에 의한 복사파는 두 끝점에서의 점전원으로 모델될 수 있고 아래와 같이 나타내어진다.

$$E_z = -j30I_m \left(\frac{e^{-jkR_1}}{R_1} + \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} \right) \quad (2)$$

이 방법에 따라 안테나 복사면에 있는 N 개의 복사 소자는 2N 개의 점전원으로 모델되고, 이들 각 전원에 의한 복사파는 레이돔 벽면을 거치면서 투과계수가 곱해진 다음 레이돔 바깥 면에서 다른 점전원에 의한 복사파 성분과 합해져서, 레이돔 바깥 면에서의 전자기파 분포가 계산된다.

레이돔 바깥면에서는 등가의 전류를 가정해서 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$\vec{J} = \hat{n} \times \vec{H} \quad (3)$$

$$\vec{M} = -\hat{n} \times \vec{E} \quad (4)$$

여기서 \hat{n} 는 레이돔 표면에서의 법선벡터이다.

이렇게 레이돔 표면에서의 등가전류원이 계산되면, 자유공간으로의 복사 전자기파는, 이 전류원으로부터 계산될 수 있다[3].

V. 수치해석 결과

3장에서 설계한 두께를 약간씩 변화시키면서 4장에서의 방법에 따라 BSE(BoreSight Error)와 투과손실 등을 계산해본 결과, 3장에서 설계한 $0.254 \lambda_0$ 의 두께가 적절한 것으로 나타났다. 이 때의 투과손실, BSE, 복사패턴은 그림 6,7,8에서 보였다.

실제 제작된 레이돔의 측정을 통해서 0.5에서 1.0dB 까지의 투과손실이 있는 것을 확인하였다. 그림 9에서는 근접전계 측정 장비에서의 측정 결과를 보였는데, 아직은 레이돔 특성을 측정하기 위한 시설이 완비되지 않아서, 충분한 정밀도의 결과를 확보하지는 못하였다.

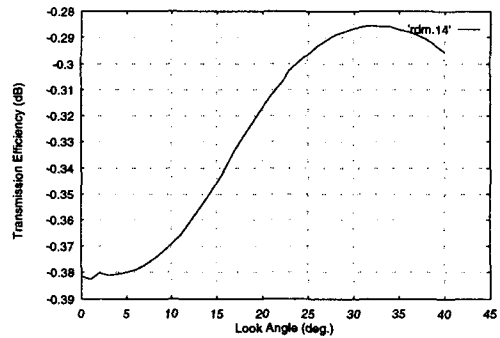


그림 6 : 수치해석 결과 (투과 효율)
Fig. 6 : Transmission Efficiency

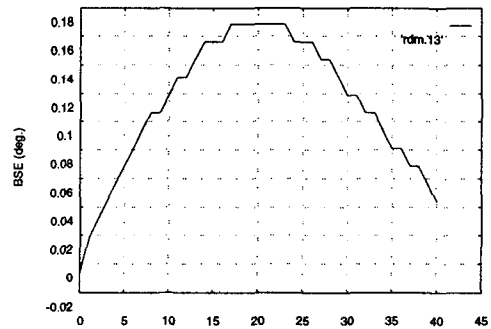


그림 7 : 수치해석 결과 (BSE)
Fig. 7 : BoreSight Error

VI. 결론

본 논문에서는 레이돔 설계를 위해서, 레이돔 재질의 특성 측정방법, 레이돔 벽면의 평면 근사에 의한 레이돔 벽면의 대략적인 설계방법, GO-PO 방법을 이용한 상세 설계 방법에 대해서 생각하였으며, 설계 결과를 제작하여 간단한 측정을 하였다.

레이돔 특성을 측정하기 위한, 측정 시설이 완비되지 않아서, 아직은 간단한 인자만의 측정을 하고 있으며, 앞으로는 보다 정밀한 측정이 가능한 시설을 확보하여, 레이돔 특성을 측정하는 과제가 있다.

참고문헌

- [1] J.D. Walton, Jr., "Radome Engineering Handbook," Marcel Dekker, Inc., 1970
- [2] R.S. Elliott, "Antenna Theory and Design," Prentice-Hall Inc., 1981
- [3] 박창현, 박천석, "표면적분 기법을 이용한 미사일 레이돔 해석," 춘계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, vol.21, no.1, 1997
- [4] 서태일, 김효태, "레이돔 해석을 위한 시뮬레이터 개발" 한국 전자파 학회 종합학술발표회 논문집, 1998년 11월 28일, 경희대학교, pp. 333-337

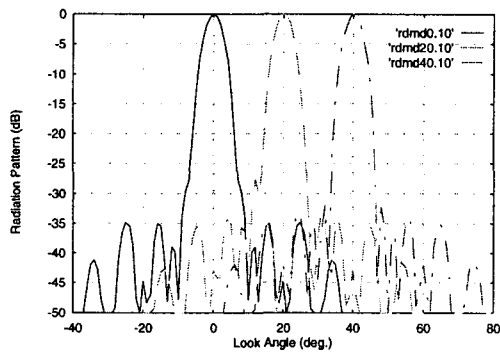


그림 8 : 수치해석 결과 (복사패턴)

Fig. 8 : Radiation Pattern

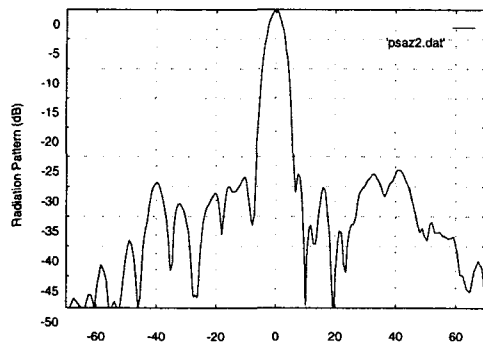


그림 9 ; 실험결과 (복사패턴)

Fig. 9 : Radiation Pattern