

ELINT 방향탐지 시스템에 적용되는 밀리미터파 대역 레이돔에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Millimeter Wave Band Radome for ELINT Directional Finding System

김 태 현*	박 범 준*	이 정 훈*	이 병 남*
Tae-Hyun Kim	Boem-Jun Park	Jung-Hoon Lee	Byung-Nam Lee

Abstract

In this paper, we have experimentally studied on phase characteristics of airborne radome for ELINT directional finding system, because it is difficult to find theoretical solutions for phase error of the radome. Especially, we described the millimeter wave band radome that was fabricated with cyanate-ester material and its thickness was 2mm. We presented the phase error about millimeter band radome. That phase error is about 30 degrees for parallel and perpendicular polarization in the K~Ka band. That is reasonable value for the ELINT directional finding system.

Keywords : Radome(레이돔), Millimeter Wave(밀리미터파)

1. 서 론

ELINT(Electronic Intelligence) 시스템은 적의 전자 정보 즉 레이더 신호를 획득하여 분석함으로써 적 위협을 식별하게 해 준다. 따라서 이러한 ELINT 시스템은 전쟁시 아군이 절대적으로 유리한 입장이 되도록 하며, 아군의 생존율을 높이는 데 큰 기여를 하게 된다. 위협 식별을 위해서는 위협의 주파수, 스캔주기 및 형태, 펄스폭, 펄스간 간격, 펄스내 변조 등의 특성을 알아야 한다. 그런데, 여기에 더불어 위협의 방향을 알게

되면 ELINT 시스템의 효과는 더욱 증대되게 된다. 위협의 방향은 위협을 식별하는 하나의 변수로 사용될 수 있으며, 대부분 위협(레이더)들은 쉽게 자신의 위치(방향)를 바꿀 수 없기 때문에 매우 중요한 변수가 된다. 방향탐지 방법은 여러 개의 안테나를 이용하여, 들어오는 방향에 대해 안테나 패턴에 의해 발생하는 진폭 크기 차이를 비교하거나 입사되는 방향에 따라 발생하는 배열 안테나들 사이의 위상 차이를 비교하여 수행된다. ELINT 시스템이 방향탐지를 수행할 때 진폭 또는 위상 어느 비교방법을 사용하더라도 레이돔은 큰 영향을 미치는 부품 중 하나이다. 레이돔은 일반적으로 안테나가 외부에 노출되는 것을 막아 눈, 비, 압력 등의 외부 환경으로부터 보호해 주는 중요한 역할을 한다. 이러한 레이돔은 꼭 필요한 물건이지만 전기적

† 2012년 1월 19일 접수~2012년 3월 23일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 김태현(thkimc@add.re.kr)

으로는 없는 것이 시스템의 특성에 유리하다. 따라서 레이돔은 사용되는 외부환경에 잘 견디면서, 얼마나 공기와 유사하게 만들어져야 하는지가 관건이다.

방향탐지 시스템에서 발생하는 위상오차는 배열안테나 및 레이돔에서 발생하는 오차와 수신기에서 발생하는 오차로 분리할 수 있다. 수신기에서 발생하는 오차는 안테나 뒷 단의 수신기 입력단에 신호를 주입해 보상해 줄 수 있어 시험이 간단하다. 그러나 레이돔, 안테나, 안테나에서 수신기 입력단까지 연결되는 케이블은 전자파 무반사실에서 주파수, 방위각별로 측정하여 보정해 주어야 하기 때문에 시험이 복잡하고 시간과 노력이 많이 필요로 한다. 앞서 언급한 수신기에서 발생하는 오차는 후자인 레이돔과 안테나에서 발생하는 오차보다는 적게 랜덤하여 위상을 보정하는 것이 더 쉽다. 이는 레이돔 제작이 수신기 부품 제작보다 덜 정교하다는 것을 의미한다. 다시 말해서 레이돔 제작 수율이 적다고 볼 수 있다.

레이돔을 주로 미사일, 항공기 등에 사용되는 썸 모양의 형태로 연상할 수 있으나, 본 논문에서는 전투기에 장착되는 포드 모양의 ELINT 장비의 측면에 장착되는 평면 레이돔에 대해 연구되었다.

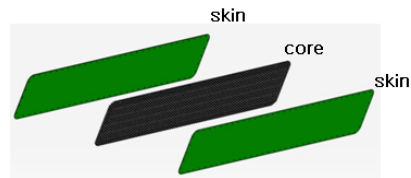
참고문헌 [1]에서는 S, C, X 대역에 대해서 레이돔을 해석하고 시제품을 만들어 측정하였으며 이는 실험적인 단계이었다. 참고문헌 [2]에서는 S, C, X, 그리고 Ku 대역까지 레이돔에 대해 해석하고 수직, 수평편파에 대한 위상오차를 연구하였다. 본 논문에서는 밀리미터 대역 레이돔의 위상 특성에 관하여 실험적인 연구 내용을 언급하고자 한다.

해외의 연구자료들로는 참고문헌 [3]에서 돔모양의 레이돔에 대해 37GHz에서 낮은 부엽을 가지는 송신 안테나의 랜덤 위상오차 효과가 분석되었고, 참고문헌 [4]에서는 마이크로파 및 밀리미터파 대역에서의 전력 손실이 수치해석으로 구해졌다. 또한 참고문헌 [5]에서는 밀리미터파 대역의 카세그레인 모노펄스 안테나를 덮고 있는 레이돔에 대하여 분석되어졌다. 이들 자료들은 주로 레이돔의 전력손실 특성과 협대역에서 수행되어 졌다. 본 논문에서 연구하고자 하는 위상특성 변화에 대한 실험적인 연구는 그다지 발표되지 않았다.

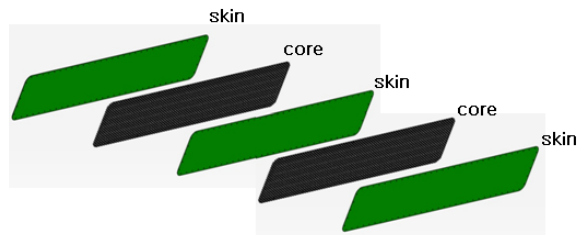
2. 레이돔의 구조

레이돔은 그 강도를 고려하여 다층구조로 제작하는

것이 일반적이고 이러한 레이돔의 구조의 일례로 A 샌드위치, C 샌드위치 2가지 구조를 Fig. 1에 보였다^[2]. A 또는 C 샌드위치 어느 구조를 선택할 것인지는 레이돔의 강도, 전송손실, 대역폭 등을 고려하여 결정되어 진다. 스킨(Skin), 코어(Core)의 물질로 무엇을 사용할 것인지는 레이돔 사용환경 온도, 전송손실 등에 따라 결정되어 진다. 이는 다음 장에 자세히 언급될 것이다.



(a) A sandwich



(b) C sandwich

Fig. 1. Structure of radome

이전 논문에서는 S~Ku 대역 레이돔을 A 샌드위치로 설계하고 제작하였다^[2]. 본 논문에서는 여러 스킨층만을 겹쳐 제작한 밀리미터파 대역의 레이돔에 대해 분석하고 실험을 수행하였다.

3. 레이돔 설계

레이돔의 설계는 구조, 스킨 및 코어재료의 선정, 그리고 이들 각각의 두께 선정으로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫 번째로 레이돔 구조는 강도와 투과특성을 고려하여 선택되어야 한다. 여러 겹의 샌드위치 형태를 취할 경우, 강도는 우수해지게 되는데, 두께에 대한 공진특성을 고려하여 전파 투과 손실이 결정되는 것을 감안해야 한다. 두 번째로 스킨 및 코어의 재료는 레이돔 사용의 최고 온도와 전파 투과특성에 관계가 있다. 스킨은 보강재와 레진으로 나누어지는데 Quartz와

같은 보강재는 유전율이 작아 손실이 적으나 가격은 비싸다. 반면 Glass는 유전율이 커 손실이 많고 가격은 저렴하다. 레진의 경우 Epoxy는 유전율이 높아 손실이 크며 150℃이하 저온에서 사용된다. 반면 Cyanate ester는 Epoxy 보다 비유전율이 낮아 손실이 작고 300℃이하의 고온에 적용해 사용될 수 있다. 주로 사용되는 코아는 Honeycomb, Foam이 있는데 Honeycomb은 Foam보다 물에 약한 단점이 있다. 반면에 Foam은 Honeycomb보다 강도가 약해 부서지기 쉽고 또한 충격, 피로에 약한 단점이 있다. 그리고 Foam 코아는 성형과정에서 가격이 비싸고 시간이 걸리는 제작이 요구된다. 세 번째로 스킨과 코아의 두께 결정이다. 이는 주파수, 대역폭, 편파, 투과손실 등을 고려하여 시뮬레이션을 통해 결정될 수 있다. 이론적인 연구는 다층 구조에서 고전적인 전자파의 전파특성을 분석하는 것이다. 이 경우 모든 층들의 두께 가공이 정밀하다는 것을 전제로 하고 있다. 이론적으로 각 층들의 두께가 균일하다고 고려하지만 실제로는 그렇지 못한 것이 현실이다. 또한 샌드위치 속 즉, 내부의 층에서 발생하는 가공 오차를 측정하기가 불가능한 것이 문제이다. 따라서 레이돔의 가공에 있어서 얼마나 정밀해야 하는지 하는 문제를 해결하기 위해서 품질관리가 매우 중요한 요소로 대두된다. 이러한 현실은 레이돔의 개발을 어렵게 하는 요인으로 작용하여, 레이돔 개발은 여러 번 반복하여 제작하고 측정하는 방법으로 스펙에 맞는 것을 추출하는 방식의 개발 형태가 된다. 레이돔은 제작도 오래 걸리지만 전자파 측정도 오래 걸린다. 따라서 레이돔을 초음파 스캔하는 방법을 통해 내부에 레진의 분포가 잘 되어 있는지 확인할 수 있다. 초음파 스캔 중에 결함의 크기정도를 검사할 수 있는 C 스캔으로 Honeycomb에 레진이 잘 함유되었는지 검사할 수 있으나, Foam으로 제작된 레이돔은 조사할 수 없는 단점이 있다. 궁극적으로 레이돔은 제작 후 표면의 기포 발생 유무 및 표면 페인트 마감 상태, 나사홀 마감 상태, 두께의 균일함 등을 검사해야 한다. 즉 물리적인 검사 후에 전자파 측정을 통해 그 특성을 파악해야 한다.

4. 평면 레이돔 해석

레이돔의 해석은 Fig. 2와 같은 다층 구조에서 전자파의 투과 특성을 확인하면 된다. 그 특성을 나타내는

수식은 아래의 식 (1)과 같고, 참고문헌 [2], [6], [7]에서 상세히 설명하고 있다.

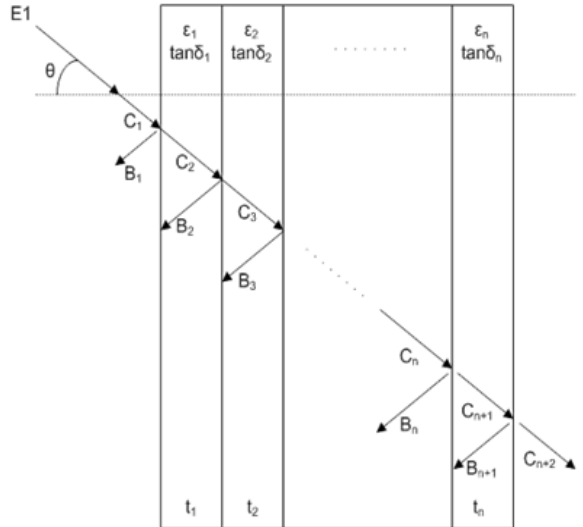


Fig. 2. Transmission of electromagnetic wave in multi-layer structure

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \prod_{i=1}^N \frac{1}{T_i T_{N+1}} \begin{bmatrix} e^{j\gamma_i t_i} & R_i e^{-j\gamma_i t_i} \\ R_i e^{j\gamma_i t_i} & e^{-j\gamma_i t_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & R_{N+1} \\ R_{N+1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{N+2} \\ B_{N+2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

- 여기서, C_1 : 자유공간과 1 번째 층 사이에서 순방향 진행파
- C_{N+2} : N+1 번째 층과 자유공간 사이에서 순방향 진행파
- B_1 : 자유공간과 1 번째 층 사이에서 역방향 진행파
- B_{N+2} : N+1 번째 층과 자유공간 사이에서 역방향 진행파
- t_i : i 번째 층의 두께
- R_i : i 번째 층의 반사계수
- T_i : i 번째 층의 투과계수
- γ_i : i 번째 층에서 전파상수

여기서 언급된 레이돔 해석은 레이돔만을 고려하였다. 실제 시스템에서는 레이돔이 장착되기 위해 주변에 금속 프레임이 놓이게 되고, 센서인 안테나들이 배

치되게 된다. 이로 인하여 이론적인 레이돔 해석은 많은 오차가 발생되게 된다. 현재 이러한 복잡한 구조를 해석하기에 많은 어려움이 따른다. FEKO와 같이 하이브리드 방법을 이용하여, 또는 GEMS와 같이 여러 컴퓨터를 병렬 연동하여 전기적으로 큰 구조체의 해석이 가능한 EM(Electro Magnetic) 시뮬레이션 툴(Tool)이 개발되어 사용되고 있지만, 여전히 EM 해석은 쉽지 않다. 주로 광대역에 적용되는 여러 개의 스파이럴안테나 해석, 주변 금속 모델링, 특히 레이돔의 모델링 등이 그 해석을 어렵게 한다.

또한 앞에서 언급하였듯이 샌드위치 구조의 레이돔 제작 상태(각층의 균일한 두께, 레진 등의 고른 분포)를 정확히 알 수 없어 큰 오차를 발생시킨다. 따라서 식 (1)의 고전적인 레이돔 해석 이론을 통해 레이돔을 설계한 후, 레이돔이 안테나 조립체와 결합될 때 발생하는 부가적인 요소들은 실험적으로 고려되어야 한다. 단지 레이돔이 균일하게 제작되어 위상이 고르게 변화 되도록 만들어 졌는지는 실험적인 방법으로 판단 가능하다.

5. 밀리미터파 대역 레이돔

밀리미터파 대역은 다른 저주파수 대역에 비해 물리적인 길이가 전기적으로 매우 커지게 되기 때문에, 이 대역에서 레이돔은 더욱 정교하게 만들어져야 한다. 또한 측정도 정교하게 이루어져야 오차를 최소화 할 수 있다.

레이돔은 아래의 Fig. 3과 같이 한 판으로 제작되어 있는데, 실제 2개의 레이돔이 제작되어 있는 구조이다. 즉, 기계적으로는 1개이지만, 전기적으로는 2개의 레이돔이다. S~Ku 대역의 저 대역 레이돔과 K~Ka 대역의 밀리미터파 대역인 고 대역 레이돔으로 구성되어 있다. 저 대역 레이돔에 대해서는 참고문헌 [2]에서 다루어졌고, 본 논문에서는 고 대역 레이돔에 대해 언급 할 것이다.

고 대역 즉 밀리미터파 대역 레이돔은 유전율 3.1, 탄젠트 손실 0.007인 cynate-ester의 재질로 2mm 두께를 가지는 단층으로 제작하였다. 단층으로 제작한 이유는 여러 층으로 제작하였을 경우에 비해 레이돔이 균일한 두께 분포 특성을 가지도록 만들 수 있기 때문이다. 이는 실험적인 경험을 통해 확인할 수 있었다. 레이돔은 전대역에서 삽입손실은 1dB 이하로 설계되

었으나 2dB로 측정되었고, 이는 본 시스템과 같이 위상비교를 통해 방향탐지를 하는 경우에 수신감도에 영향이 없는 중요한 요소는 아니다. 또한 삽입 위상 지연도 상대적 값이 중요한 요소가 된다. 즉 각각의 안테나에 도달하여 레이돔을 통과할 때, 발생하는 상대위상이 레이돔 성능을 좌우하는 매우 중요한 요소이다. 궁극적으로 위상비교 방식을 사용하는 시스템에서는 레이돔의 두께를 정밀하게 제작하는 것이 매우 중요한 요구사항이 된다.

Table 1은 제작의 정밀 정도를 확인하기 위해 Fig. 3에 표기한 위치별로 두께를 측정한 수치를 보이고 있다.



Fig. 3. Fabricated radome

Table 1. Thickness of fabricated radome

위 치	두 께 (mm)
1	1.93
2	1.96
3	1.94
4	1.95
5	1.94
평 균	1.94

Fig. 4에 4개의 안테나를 이용하여 위상비교 방향탐지를 수행하는 것을 도시하였다. 안테나들 사이에 간격 때문에 입사각도에 따라 발생하는 위상차 1, 2, 3이 사용 주파수에 대해 레이돔이 없을 때와 있을 때 변화가 없어야 한다. 그러나 레이돔이 있을 때와 없을 때 위상차 1, 2, 3은 차이가 발생하게 되고, 그 차이는 입사하는 방위각에 대해 균일한 값을 가지고 있어야 우

수한 성능을 가진 레이돔이 된다. 또한 더 나아가서 시스템에서 보정을 하는데 용이하도록 레이돔 유, 무시에 수직편파에 대하여 위상차 1, 2, 3과 수평편파에 대한 위상차 1, 2, 3 사이의 차이가 적어야 우수한 시스템 성능을 보장할 수 있다. 물론 이는 시스템에서 보정을 수행할 때 편파에 대해 구분을 수행하지 않을 경우에 해당된다. 우리가 구현한 방향탐지 시스템은 편파변별기가 없어 이에 속하게 되고, 앞서 언급하였듯이 위상차 1, 2, 3이 수직편파와 수평편파에 대해 차이가 최소화 되어야 한다.

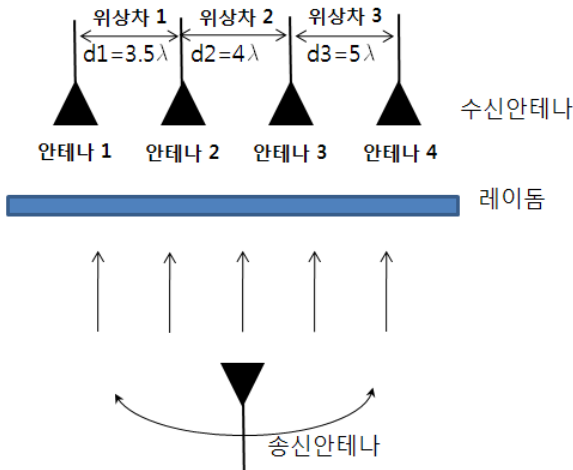


Fig. 4. Phase comparison direction finding using array antenna

Fig. 5는 Fig. 4에 주어진 안테나 사이의 간격에 대해, 입사각($\theta = -60\text{도} \sim +60\text{도}$)에 따라 임의의 주파수에서 위상차를 도시하였다. 여기서 위상차 1(ϕ_1), 위상차 2(ϕ_2), 위상차 3(ϕ_3)은 식 (2)~식 (4)와 같다.

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} d_1 \sin\theta \quad (2)$$

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} d_2 \sin\theta \quad (3)$$

$$\phi_3 = \frac{2\pi}{\lambda} d_3 \sin\theta \quad (4)$$

수식 (2)~(4)에서 알 수 있듯이 위상차를 가지고 방향탐지는 이루어진다. 각 점들은 입사각(θ)에 따라 고

유한 위상차 1(ϕ_1), 위상차 2(ϕ_2), 위상차 3(ϕ_3)을 가지는 것을 보이고 있고, 예로 배열안테나를 통해 받은 고주파 신호의 위상차 1 = 위상차 2 = 위상차 3 = 0이라면 입사각(θ) = 0이기 때문에 정면에서 들어온 것으로 방향을 판별할 수 있다. 입사되는 신호의 방향에 따라 발생하는 위상차 1, 2, 3을 알면 해당되는 점을 구할 수 있고, 이 점의 θ 값이 바로 입사신호의 방향이 된다. 궁극적으로 위상차 1, 2, 3이 각각 얼마인지에 따라 입사되는 신호의 방향을 알 수 있다.

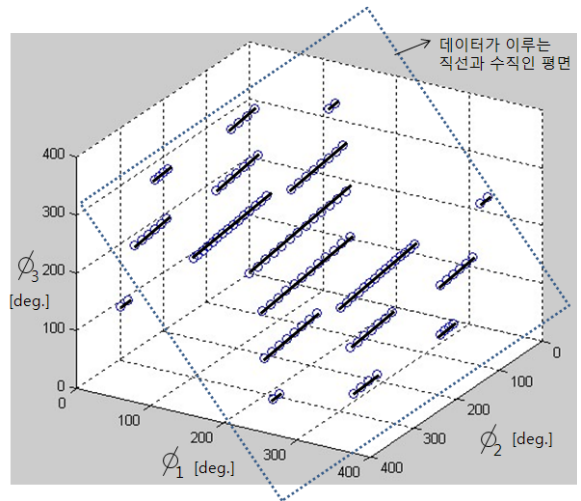


Fig. 5. 3-dimensional phase difference according to incident angle

Fig. 5에서 직선으로 표시된 데이터들을 직선에 수직인 평면으로 투영하여 도시할 수 있다. 이를 Fig. 6에 나타내었고 직선을 형성하는 데이터가 오차가 없는 경우에는 일직선이 되어 하나의 점으로 보이게 된다. 실제의 경우, Fig. 7~10에 보이듯이 레이돔 위상특성의 불균형에 의한 오차가 발생하여 여러 점들의 군이 형성되게 된다. Fig. 6의 Ψ_1 과 Ψ_2 는 Fig. 5에 보인 직선들과 수직인 평면에서 위상 변위를 나타내는 축이 된다.

Fig. 6에서 점과 점사이의 간격은 안테나들 사이의 간격(d_1, d_2, d_3)을 어떻게 배치하느냐에 따라 결정된다. 점들 사이에 서로 겹치는 경우에는 방향탐지시 모호성이 발생하게 되어 어느 방향에서 입사되었는지 판별할 수가 없다. 안테나 간격의 배치에 따라 수식 (2)~(4)를 이용하여 Fig. 5를 도시할 때, $d_3 > d_2 > d_1$ 인 경우, 위상차는 $\phi_3 > \phi_2 > \phi_1$ 가 된다. 이 때 위상 특

정상 360도가 몇 번 넘었는지 구분할 수가 없어 입사각 범위가 클수록 여러 개의 직선이 생기게 되고, 또한 주파수가 증가할수록 여러 개의 직선이 생기게 된다. Fig. 6에서는 여러 개의 점이 생기게 된다. 궁극적으로 Fig. 5에서 직선간의 간격은 안테나 간격의 배치에 따라 다르게 된다.

Fig. 6에서 원의 반지름 r 내에 모든 오차(레이돔에 대한 오차와 수신기에 대한 오차)가 포함되어야 한다. 전체시스템을 고려할 때 경험적으로 레이돔에 대한 오차는 $(2/3) \times r$ 을 넘어서는 안 된다.(이 이유는 본 시스템을 개발하여 얻은 경험치 이다.) 물론 앞서 언급하였듯이 실제의 경우 레이돔 및 수신기 시스템의 위상 불균형에 의한 오차를 포함하여 위상차를 도시하면 Fig. 5의 직선은 완전한 직선이 되지 않아 Fig. 6으로 바꾸어 도시할 때 여러 개의 점들의 군으로 보이게 된다.

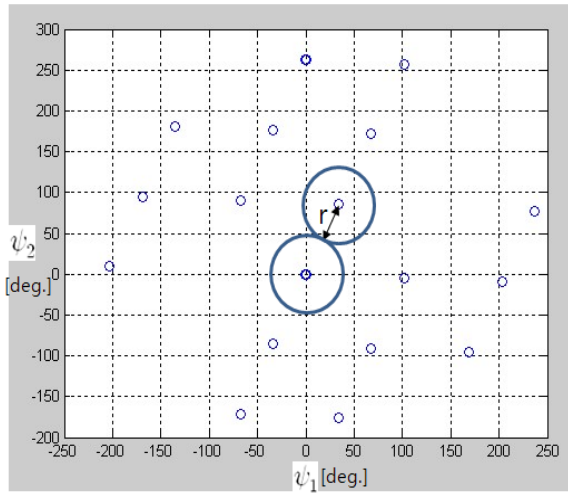


Fig. 6. 2-dimensional phase difference according to incident angle

Fig. 7~10에 주파수별로 입사각($\theta = -60^\circ \sim +60^\circ$)에 따라 레이돔의 위상오차를 반영하여 측정된 위상차 값을 수평 및 수직편파에 대해 Fig. 6과 같이 2차원으로 위상차 값을 도시하였다. 전술하였듯이 레이돔의 위상이 균일하지 않기 때문에 하나의 점으로 보이지 않고 점들의 군으로 보이게 된다. 즉 Fig. 5와 같이 입사각에 대해 도시할 경우 정확한 직선이 되지 않기 때문이다.

Fig. 7~10을 보면 앞에서 설명하였듯이 주파수가 커

질수록 Fig. 5와 같은 3차원 도시에서는 여러 개의 직선이 생기고 따라서 Fig. 6에서는 여러 개 점들의 군들이 생기게 된다. 실제 점들의 수는 같고 단지 점들의 군 수만 적은 것이다. 즉 Fig. 7의 18GHz의 경우 Fig. 10의 36GHz에 비해 일부 데이터가 빠진 것처럼 보이게 된다.

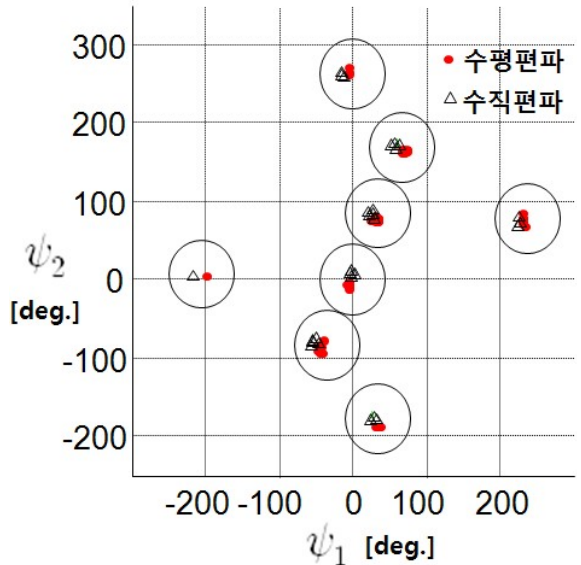


Fig. 7. Measured phase error of radome at 18GHz

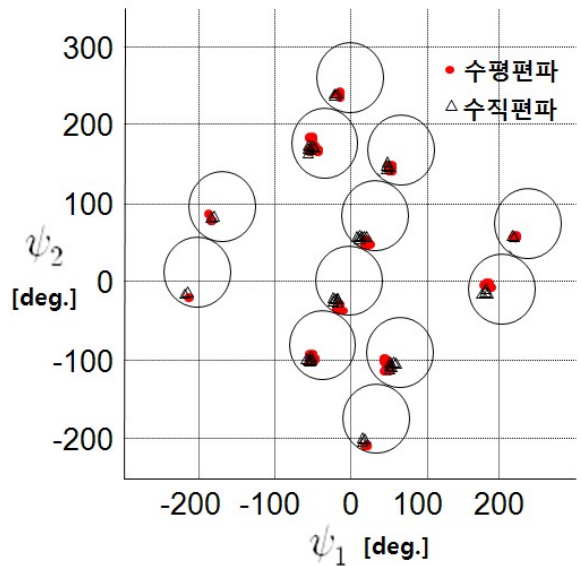


Fig. 8. Measured phase error of radome at 24GHz

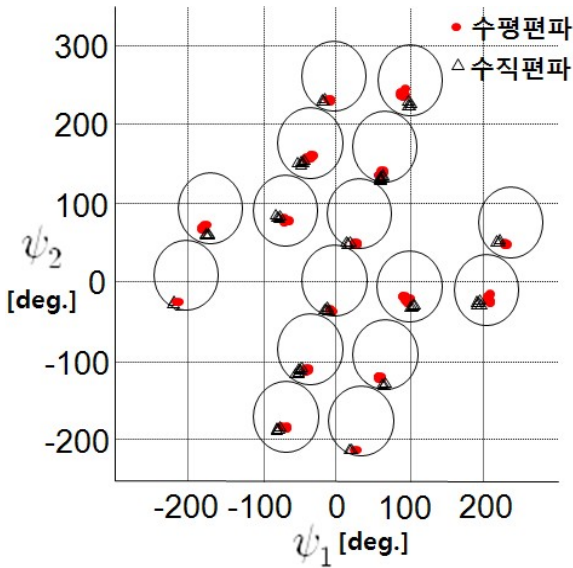


Fig. 9. Measured phase error of radome at 30GHz

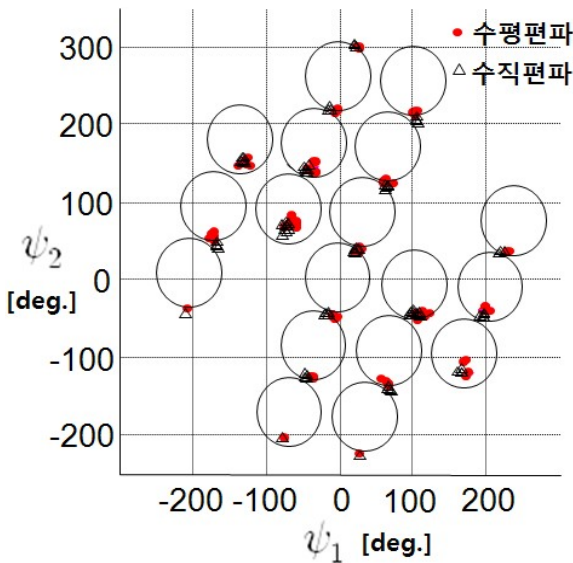


Fig. 10. Measured phase error of radome at 36GHz

Fig. 7~10에서 큰원의 중심은 이론적인 정답이며 측정된 값은 레이돔이 제작상 위상 오차를 가지기 때문에 3차원에서 정확한 직선이 되지 않고, 2차원으로 도시하였을 때 여러 개의 점으로 보이고 있다. 또한 입사하는 파의 수직 및 수평편파에 대해 측정하여 도시하였다. Fig. 7에 보이듯이 밀리미터파 대역에서 제작된 레이돔의 위상 오차는 저주파수인 18GHz에서는 이

론값인 원의 중심에 위치해 있음을 알 수 있다. 이는 레이돔의 위상의 균일성이 좋음을 나타내고 있다. Fig. 8의 24GHz에서는 큰원의 중심값(이론적인 정답 값)에서 전체적으로 측정된 값들이 흩어져 있음을 알 수 있다. 이는 레이돔의 위상오차 불균일성이 랜덤하지 않고 제작에 의한 두께 오차에 의해 약간 흩어져 있다고 말하는 것을 말하고 있다. Fig. 9와 10에서 볼 수 있듯이 더 높은 주파수에서는 흩어짐의 정도가 더욱 심해 짐을 알 수 있다. 이는 물리적으로 작은 변화가 낮은 주파수보다 높은 주파수에서는 큰 위상 차이를 보이는 것을 말하고 있다. 이와 같이 치수에 대한 제작상의 오차에 의한 전체적인 흩어짐은 방사보정을 통해 쉽게 보정이 가능한 부분이다.

실험적으로 측정된 레이돔의 위상차 오차는 밀리미터대역(18~36GHz)에서 전체적으로 30도($\approx(2/3) \times \pi$) 이하의 위상오차를 보이며, 전술하였듯이 수신기에서 발생하는 오차를 감안하여 시스템에서 요구되는 레이돔 요구 성능을 잘 만족하고 있다.

6. 결론

레이돔이 사용된 위상비교 방향탐지 시스템을 구현하기 위해, 전자파가 각각의 안테나에 도달하여 레이돔을 통과할 때 발생하는 위상 변화의 상대적인 차를 알아야 한다. 이러한 차이는 레이돔 표면 전체의 제작 상태가 얼마나 균일한 지에 따라 심한 변화를 보이게 된다. 따라서 레이돔은 기계적인 제작상태가 검사되어야 하고 전자파적인 실험을 통해 그 성능이 입증되어야 한다. 레이돔의 제작상태를 모두 균일하게 간주하는 이론을 통해서만 상대적인 위상차를 알 수 없어 레이돔 성능을 파악할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 방향탐지 시스템에 사용되는 밀리미터파 대역의 레이돔에 대하여 실험적인 방법을 통해 그 특성을 확인하고 성능 점검을 수행하였다. 그리고 레이돔을 제작하여 그 기계적 제작치수를 명시하였고, 위상 오차 특성을 제시하였다. 또한 수직, 수평 편파를 구별하지 않는 시스템에 대해서 편파사이에 상대적인 위상차이가 크지 않아야 보정이 쉽게 될 수 있음을 언급하였다. 궁극적으로 밀리미터파 대역에서 제작된 레이돔의 위상 오차는 전체적으로 흩어짐이 있음을 알 수 있었고, 이는 보정을 통해 제거될 수 있기 때문에 문제가 되지 않는다.

본 논문에서는 18~36GHz까지 방향탐지 모호성을 보이지 않으며 위상오차 30도 정도를 갖는 밀리미터파 대역의 레이돔을 성공적으로 개발되었다.

레이돔은 도전적인 분야이며, 실험적 즉 경험적으로 개발이 되어야함을 간과할 수 없다.

References

- [1] 이병남, 이규송, 김태현, 오경현, 김동석, 한인희, “비행체 탐재용 방탐안테나를 위한 광대역 레이돔 설계”, 제12차 통신/전자 학술대회, pp. 109~109, 2008.
- [2] 김태현, 이규송, 이병남, “항공용 전자전 포트에 사용되는 평면형 레이돔 설계 연구”, 한국군사과학기술 학술대회, p. 96, 2010.
- [3] T. M. Joseph, “Effects of Random Phase Errors at Ka Band Resulting from a Composite Material Radome”, IEEE Trans. Antennas and Propagat., pp. 356~365, May 1976.
- [4] K. Noguch, M. Mizusawa, S.-I. Betsudan, and T. Katagi, “A Five-Layer Radome Panel for Simultaneous Use of Microwave and Millimeter Wave Bands”, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 4, 2003.
- [5] M. Hongfu, D. Wenbin, and Y. Kai, “Analysis of Antenna-Radome System at Millimeter Wave Band”, Millimeter Waves Global Symposium, GSMM 2008.
- [6] Dennis J. Kozakoff, Analysis of Radome-Enclosed Antennas, Artech House, 1997.
- [7] J. D. Walton, Radome Engineering Handbook Design and Principles, Marcel Dekker Inc., 1970.