

# Particle Swarm Optimization을 이용한 다층 구조 레이돔 설계

## Design of Multilayer Radome with Particle Swarm Optimization

이경원 · 홍익표\* · 박범준\*\* · 정영철 · 육종관

Kyung-Won Lee · Ic-Pyo Hong\* · Beom-Jun Park\*\* · Yeong-Chul Chung · Jong-Gwan Yook

### 요 약

본 논문에서는 PSO(Particle Swarm Optimizaation)를 이용하여 다층 구조(c-sandwich) 레이돔을 설계하고, 레이돔 특성을 분석하였다. PSO를 이용한 레이돔 설계는 두 경우를 바탕으로 설계되었다. 첫 번째는 c-sandwich 레이돔의 skin과 core의 물질이 정해진 상태에서 PSO를 이용하여 각 층들의 최적의 두께를 결정하였으며, 두 번째는 양쪽 skin의 물질과 두께는 고정하고, 가운데 3개의 층에 대해 물질 상수와 두께를 PSO를 이용하여 최적의 값을 결정하였다. 설계된 두 레이돔 모두 0.1 GHz에서 15 GHz 관심 주파수 대역 중, X-band에서 삽입 손실이 -0.3 dB 이내의 우수한 성능을 가짐을 알 수 있었다. 레이돔 설계에 PSO를 적용함으로써 빠르고 정확하게 설계 업무를 수행할 수 있음을 보였으며, 경사 입사에 대한 경우에도 최적의 레이돔을 설계할 수 있음을 보였다. 또한 다양한 파라미터의 조합에서도 요구 성능에 부합하는 최적의 값이 결정됨을 보였다. 본 논문의 결과로부터 레이돔을 설계하기 위한 복잡하고 많은 계산을 생략할 수 있으며, 다양한 성능을 가지는 레이돔 설계 및 개발에 활용할 수 있다.

### Abstract

In this paper, the design of multilayer radome within, the insertion loss, -0.3 dB in X-band with PSO was carried out based on two cases. The first is that, deciding material constant of skin and core, each layer thickness of c-sandwich radome with PSO is found and the second is that, deciding material constant and thickness of the skins of both sides, the material constant and thickness of three layers between skins of both sides using PSO is decided. The performance of the designed radome almost agreed with the required performance. It was showed that the radome design applying PSO algorithm is easy and fast and the optimum radome is also designed in combination of the various parameters of radome. From these results, the radome having various performance can be designed except the tedious calculation and also be applied to various radome structure.

Key words : Microwave Radome Design, PSO(Particle Swarm Optimization), Boundary Value Method, Multilayer Radome

### I. 서 론

레이돔에 관한 연구는 2차 세계 대전 이후 레이더 시스템의 발달과 더불어 다양하게 수행되었다. 레이

돔이란 레이더(radar)와 돔(dome)의 합성어로서 내부 통신 시스템을 외부의 기계적 열적, 환경적 요소들로부터 보호하기 위해 제작된 유전체 덮개를 말하며, 레이돔의 주파수 대역, 구조와 용도에 따라 다양

「본 논문은 국방과학연구소 연구용역과제(계약번호: UD070087KD)에 의하여 수행된 연구 결과입니다.」

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Yonsei University)

\*공주대학교 정보통신공학부(Dept. of Information and Communication Engineering, Kongu University)

\*\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20100323-029

· 교신저자 : 육종관(e-mail : jgyook@yonsei.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 7월 7일

하게 분류된다<sup>[1]</sup>. 레이돔을 설계하기 위해서는 주파수 대역, 삽입 손실(IL: Insertion Loss), 삽입 위상 지연(IPD: Insertion Phase Delay), 측면 레벨(SLL: Side Lobe Level), boresight error 등과 같은 다양한 성능 파라미터들 고려해야 한다<sup>[2]</sup>. 이러한 성능 파라미터들은 레이돔을 구성하는 물질과 두께에 따라 특성이 변하기 때문에 적절하게 선택되어야 한다. 일반적으로 평평한 다층 구조 레이돔을 해석하기 위해서는 recursive 방법과 boundary value solution 방법의 두 가지 방식이 있다. 2003년 H. Cory와 C. Zach는 recursive 방법을 이용하여 유전체로 구성된 다층 구조와 메타-유전체로 구성된 다층 구조를 해석하였다<sup>[3]</sup>. 또한, 2006년 A. Kedar와 U. K. Revankar는 boundary value solution을 이용하여 다층 구조 레이돔 파라미터들에 따른 삽입 손실(insertion loss)과 삽입 위상 지연(insertion phase delay)을 분석하였다<sup>[4],[5]</sup>.

PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘은 유전자 알고리즘과 같은 진화 알고리즘으로 1995년 Kennedy와 Everhart에 의해 제안되었다. PSO는 개체들을 군집으로 관리하면서 이들이 상호간의 네트워크를 통해 진화를 하도록 하는 방식이다. 즉, 새들이 먹이를 찾아 무리지어 이동하거나 벌들이 꽃이 많은 지역으로 이동하는 것과 같다. PSO 알고리즘은 유전자 알고리즘의 복잡한 과정(교배, 선택, 변이)을 거치지 않고 쉽고 빠르게 최적화를 할 수 있다. 2002년 Jacob Robinson과 Yahya Rahmat-Samii는 혼안테나의 물리적인 특성에 영향을 미치는 파라미터와 전기적 특성에 영향을 미치는 파라미터들을 PSO를 이용하여 최적화 하였고, 2004년에는 전자기적 관점에서 PSO를 정리하고 설명하였다<sup>[6]</sup>. 2006년 S. K. Goudos와 J. N. Sahalos는 Pareto front를 생성하는 Multi-Objective PSO(MPSO)를 이용하여 다층 구조 흡수체를 설계하였다<sup>[7]</sup>. 2009년 Yilmaz와 Kuzuogul은 FSS(Frequency Selective Surface)의 등가 모델을 파라미터들을 PSO를 이용하여 최적의 파라미터 값을 구하여 최적의 FSS 구조를 디자인하였다<sup>[10]</sup>.

본 논문에서는 PSO 알고리즘을 이용하여 다층 구조 레이돔의 한 종류인 c-sandwich 레이돔을 설계하였다. 첫 번째 설계는 각 층의 두께를 파라미터로 하여 최적화 하였으며, 두 번째는 양쪽 스킨을 고정하고 내부의 3개 층의 물질과 두께를 파라미터로 하여

최적화 하였다. 그리고 최적화된 파라미터를 boundary value solution 방법에 이용하여 각 경우의 레이돔을 분석하였다. 따라서 본 논문을 통해서 서로 다른 종류의 파라미터(두께, 물질 상수)를 PSO에 적용하여 입사각 0도, 30도, 60도에서도 삽입 손실 0.3~0.5 dB 이내의 값을 쉽고 빠르게 레이돔을 설계할 수 있음을 보였다.

## II. 다층 구조 해석

그림 1은 다층 구조 레이돔을 Boundary Value Solution<sup>[4]-[7]</sup> 방법을 이용한 전파 해석을 나타낸 것이다. 이 방법은 레이돔의 각 층을 2x2 행렬로 구현하여 전체 구조를 하나의 행렬로 표현할 수 있다. 따라서 slab이 추가되면 그에 해당되는 행렬만 추가하면 되기 때문에 직관적으로 이해하고 계산하기 쉽다. 그림 1의 메커니즘을 식으로 표현한 것이 식 (1)과 같다.

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

여기서,  $t_i$ 는  $i$  번째 층의 두께,  $\gamma_i$ 는  $i$  번째 층에서의 전파상수,  $R_i$ 와  $T_i$ 는  $i$  번째 층 자유공간에서의 Fresnel 반사계수와 투과 계수를 나타낸 것이

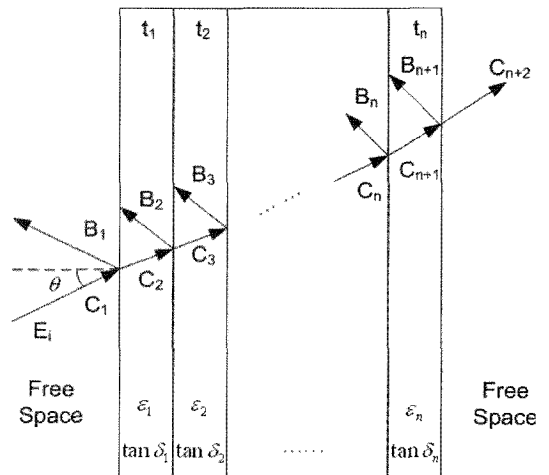


그림 1. 경계값 행렬 방법

Fig. 1. Boundary value solution method.

다. 그리고  $C_i$  와  $B_i$  는 각각 앞으로 진행하는 전파와 뒤로 진행하는 전파를 나타낸 것이다. 식 (1)의 각 층의 행렬을 모두 곱하면 식 (2)와 같은 간단한 행렬을 구할 수 있으며, 이 행렬을 이용하여 다층 구조 레이돔의 반사계수와 투과 계수를 구할 수 있다. 식 (3)은 다층 구조의 반사계수와 투과 계수를 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{N+2} \\ B_{N+2} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R = \frac{B_1}{C_1} \quad (B_{N+2}=0) = \frac{A_{21}}{A_{11}} \quad (3a)$$

$$T = \frac{B_{N+2}}{C_1} \quad (B_{N+2}=0) = \frac{1}{A_{11}} \quad (3b)$$

### III. Particle Swarm Optimization

PSO는 확률론적 최적화 기법이며, 집단을 이루는 구성요소들의 사회성 기반으로 최적화를 수행한다. 즉, 앞에서 언급한 것처럼 꿀이 많은 곳에 벌이 모이거나 먹이가 많은 곳에 물고기 떼가 몰리는 것과 같다. 개체들(particles)은 탐색 공간 내에서 최적의 장소로 이동하며, 각각의 개체(particle)의 위치는 두 개의 최적의 값을 통하여 업데이트 되어 새로운 위치 값을 갖게 된다. 첫 번째는 각 개체들이 수행해온 목적 함수 값들 중에서 좋은 값을 말하며,  $pbest$ 라 정의한다. 두 번째는 모든 개체들 중에서 목적 함수가 가장 좋은 값이며,  $gbest$ 라 정의한다. 즉, 매 반복(iteration)이 진행되면서  $pbest$ 는 개체 수만큼,  $gbest$ 는 하나가 존재하게 된다. 이 값들을 이용해 각 개체들의 속도( $v_n$ )는 다음과 같이 계산된다.

$$v_n = \omega v_n + c_1 rand() (pbest_n - x_n) + c_2 rand() (gbest_n - x_n) \quad (4)$$

여기서  $c_1$ 과  $c_2$ (일반적으로 2.0<sup>[11]</sup> 또는 1.49<sup>[8]</sup>)는 일반적으로 같은 값을 가지며,  $rand()$ 은 0과 1 사이의 임의의 값을 가진다.

$$x_n = x_n + \Delta t v_n \quad (5)$$

계산된 속도 값을 이용하여 식 (5)를 이용하여 각 개체들의 위치를 업데이트하게 된다. 여기서  $\Delta t$ 는

시간 스텝으로서 일반적으로 1로 놓는다.  $x$ 의 초기 값은 랜덤한 값으로 시작한다.

#### 3-1 목적 함수

다층 구조 레이돔의 한 종류인 c-sandwich 레이돔을 설계하기 위해 식 (6)과 같은 목적 함수를 정의하였다. 식 (6)의 목적 함수  $T$ 는 다층 구조의 perpendicular polarization 투과 계수(식 (3b))를 나타낸 것이다. 일반적으로 레이돔의 삽입 손실은 수직 입사를 기준으로 입사각도가 커질수록 TE mode(perpendicular polarization)일 경우, 삽입 손실이 커지며 TM mode(parallel polarization)일 경우, 삽입 손실이 작아지기 때문에 목적 함수로 TE mode의 수직 입사와 60도 입사에 대한 투과 계수가 사용되었다.  $N_{pass}$ 는 관심 주파수의 통과 주파수 대역이며,  $N_{stop}$ 은 차단 주파수 대역을 나타낸다. 그래서 통과 주파수 대역의 기준 삽입 손실은 -0.3 dB이며, 차단 주파수 대역의 기준 삽입 손실은 -1 dB이다.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N_{pass}} W_{-0.3dB} |T_{i\_Normal} + 0.3| + \sum_{j=1}^{N_{stop}} W_{-1dB} |T_{j\_Normal} + 1| + \sum_{i=1}^{N_{pass}} W_{-0.3dB} |T_{i\_60} + 0.3| + \sum_{j=1}^{N_{stop}} W_{-1dB} |T_{j\_60} + 1| \quad (6)$$

식 (7)과 (8)은 목적 함수에 사용되는 weighting factor는 다음과 같이 정의된다.

$$W_{-0.3dB} = \begin{cases} 0 & \text{if } T_i \geq -0.3 \text{ dB } passband \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (7)$$

$$W_{-1dB} = \begin{cases} 0 & \text{if } T_i \leq -1 \text{ dB } stopband \\ 1 & \text{others} \end{cases} \quad (8)$$

### IV. PSO를 적용한 레이돔 설계

일반적으로 c-sandwich 레이돔은 5층으로 구성되며, skin-core-skin-core-skin의 물질의 형태로 구성된다. Core는 공기의 유전율과 가까운 값을 가지며, skin은 core에 비해 높은 유전율의 값을 가진다. PSO를 이용한 c-sandwich 레이돔 설계는 두 가지 경우에 대

해 수행하였다. 첫 번째는 skin의 물질과 core의 물질을 정하고 5층의 두께에 대한 최적화를 수행하였다. 두 번째는 c-sandwich 레이돔의 양쪽 skin 물질을 고정하고 안쪽의 3개의 층에 대한 물질과 두께에 대하여 최적화를 수행하였다. PSO에 사용된 개체 수는 50개이며, 반복 횟수(iteration)는 300으로 하였다. PSO 경계 조건은 반사 경계면(reflecting wall)이 사용되었으며, 각 설계의 최적화 된 파라미터들의 값은 최적화를 50번 수행하여 얻은 값들의 평균값을 사용하였다. 전체 테스트 주파수 대역은 0.1 GHz에서 15 GHz로서 0.1 GHz 스텝으로 150개의 스텝 크기를 가지며, 레이돔의 패스 주파수 대역은 X-band(8~12 GHz)로 하였다.

4-1 레이돔 설계 1(파라미터: 두께)

그림 2는 c-sandwich 레이돔 구조의 최적화될 파라미터를 나타낸 것이며,  $D$ (각 층의 두께)로 표시하였다. 최적화 될 파라미터는 각 층의 두께들이다. 레이돔 core 물질은 유전율 1.08과 손실 탄젠트 0.005로 skin 물질은 유전율 3.1과 손실 탄젠트 0.003으로 고정하였다. 표 1은 각  $D$ 의 최적화 범위를 나타낸 것이다.

표 2는 최적화 알고리즘을 50회 수행하여 얻은 값들을 평균한 최적화 된 각 층의 두께를 나타낸 것이다.  $D_3$ 를 기준으로 양쪽 core와 skin의 두께가 대칭 구조임을 알 수 있다. 표 2의 결과 값을 이용하여 레이돔의 삽입 손실을 평가하였다. 그림 3은 0.1 GHz에서 15 GHz까지 주파수 대역에서 수직 편파에 따

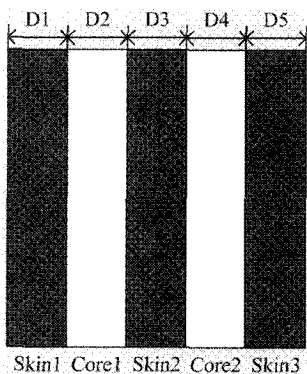


그림 2. 레이돔 최적화 파라미터(두께)  
Fig. 2. Radome optimization parameter(thickness).

표 1. 레이돔 각 층( $D$ )의 최적화 범위  
Table 1. The optimization range of each layer.

파라미터 (두께: mm)	최적화 범위
$D_1$	0.3 mm $\leq$ skin 1 $\leq$ 0.9 mm
$D_2$	2.0 mm $\leq$ core 1 $\leq$ 9.0 mm
$D_3$	2.0 mm $\leq$ skin 2 $\leq$ 9.0 mm
$D_4$	2.0 mm $\leq$ core 2 $\leq$ 9.0 mm
$D_5$	0.3 mm $\leq$ skin 3 $\leq$ 0.9 mm

표 2. 최적화 된 각 층의 두께(mm)  
Table 2. The optimized thickness of each layer.

구분	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$D_5$
두께	0.882	3.521	8.425	3.390	0.896

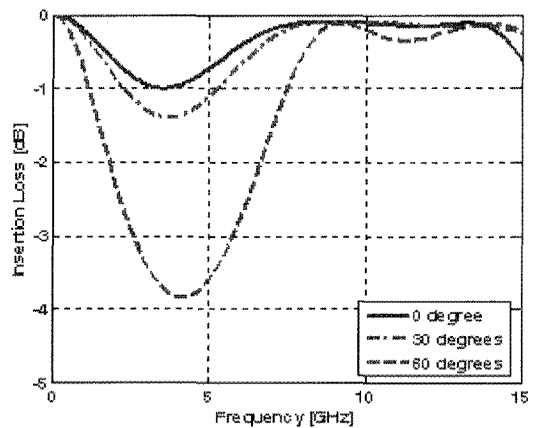


그림 3. 0.1 GHz에서 15 GHz 주파수 대역에서의 레이돔의 삽입 손실(수직 편파)

Fig. 3. Radome insertion loss in frequency band between 0.1 GHz and 15 GHz(perpendicular polarization).

른 레이돔의 삽입 손실을 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 관심 주파수 대역은 X-band이기 때문에 그림에서 알 수 있듯이 약 8 GHz를 중심으로 고역 통과 필터 형태임을 알 수 있다. 그림 4와 5는 관심 주파수 대역인 X-band에 대하여 각각 perpendicular polarization과 parallel polarization을 나타낸 것이다. 그림 4에서는 삽입 손실이  $-0.4$  dB 이내, 그림 5에서는  $-0.3$  dB 이내 값들을 가짐을 알 수 있다.

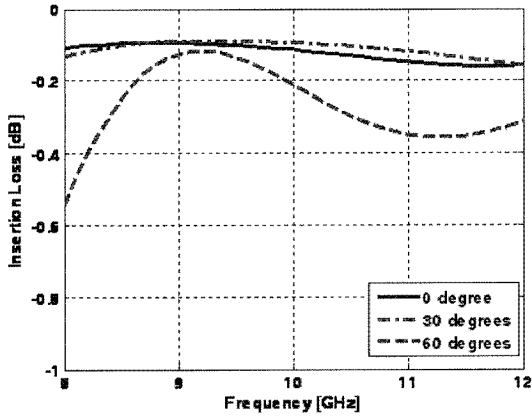


그림 4. X-band에서의 레이돔 삽입 손실(수직 편파)  
Fig. 4. Radome insertion loss in X-band(perpendicular polarization).

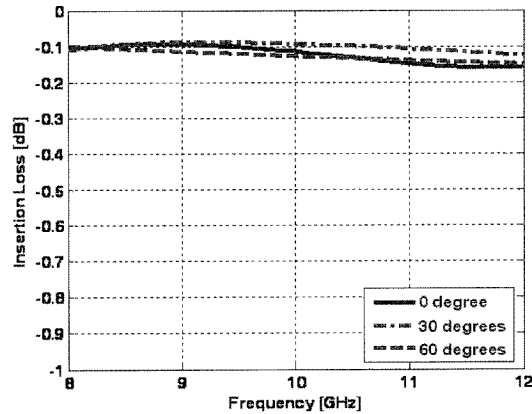


그림 5. X-band에서의 레이돔 삽입 손실(수평 편파)  
Fig. 5. Radome insertion loss in X-band(parallel polarization).

4-2 레이돔 설계 2(파라미터: 두께와 물질 상수)

레이돔 설계 2에서는 1에서와는 달리 물질정보에 대한 최적화를 추가하였다. 그림 6은 c-sandwich의 최적화 파라미터들을 나타낸 것이며,  $D_i$ (가운데 3개 층의 두께)와  $M_i$ (가운데 3개 층의 물질 상수)로 표시하였다. 레이돔의 양쪽 skin의 물질 상수는 유전율 3.1, 손실 탄젠트 0.003, 두께 0.5 mm를 유지하고, 내부의 3개의 층에 대해 물질 상수(가운데 skin의 경우 손실 탄젠트 0.003, core의 경우 손실 탄젠트 0.005 유지)와 두께에 대하여 최적화를 수행하였다. 실제 레이돔에 사용되는 유전 물질을 바탕으로 최적화 범위를 정하고, 두께의 경우, 요구 조건에 따라 달라지

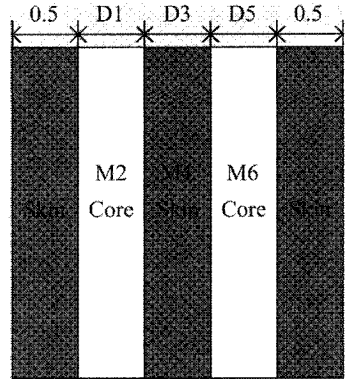


그림 6. 레이돔 최적화 파라미터(두께 & 물질 상수)  
Fig. 6. Radome optimization parameter(thickness & permittivity).

표 3. 레이돔의 최적화 범위

Table 3. The range of radome optimization.

파라미터	최적화 범위
$D_1$ (core 1 두께: mm)	$1.0 \leq S_1 \leq 7.0$
$M_2$ (core 1 물질 상수)	$1.0 \leq S_2 \leq 1.5$
$D_3$ (skin 두께: mm)	$2.0 \leq S_3 \leq 9.0$
$M_4$ (skin 물질 상수)	$2.0 \leq S_4 \leq 5.0$
$D_5$ (core 2 두께: mm)	$1.0 \leq S_5 \leq 7.0$
$M_6$ (core 2 물질 상수)	$1.0 \leq S_6 \leq 1.5$

기 때문에 본 논문에서는 임의로 정하였으며, 표 3에 각  $S_i$ 의 최적화 범위를 나타내었다.

표 4는 최적화된 결과 값들을 나타낸 것이다. 표에서 알 수 있듯이  $S_3$ 인 skin의 두께를 기준으로 대칭구조임을 알 수 있다. 그림 7은 그림 3과 같이 8 GHz를 기준으로 고역 통과 필터의 특성을 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 8과 9 역시 앞의 그림 4, 5와 마찬가지로 X-band에서 수직 편파, 수평 편파에 대한 레이돔의 삽입 손실을 나타낸 것이다. 수직 입사, 30도 입사에 대해 삽입 손실이 약 -0.2 dB임을 알 수 있으며, 60도 입사에서 -0.5 dB 이내에 있음을 알 수 있다.

표 4. 최적화된 결과 값

Table 4. Optimization results.

$D_1$	$M_2$	$D_3$	$M_4$	$D_5$	$M_6$
4.803	1.492	6.548	4.208	4.819	1.495

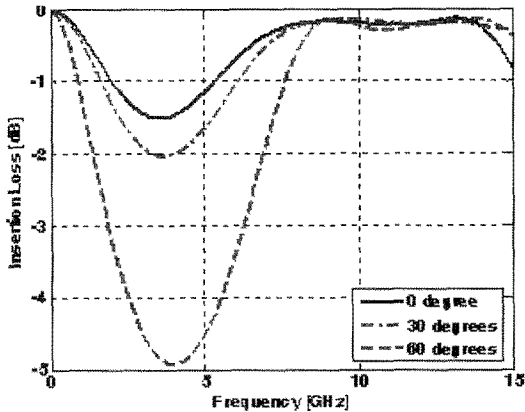


그림 7. 0.1 GHz에서 15 GHz 주파수 대역에서의 레이돔의 삽입 손실(수직 편파)

Fig. 7. Radome insertion loss in frequency band between 0.1 GHz and 15 GHz(perpendicular polarization).

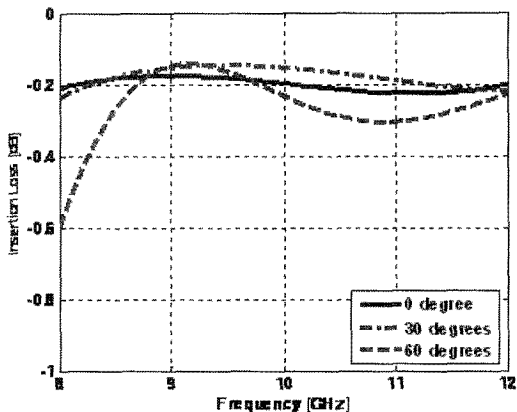


그림 8. X-band에서의 레이돔 삽입 손실(수직 편파)

Fig. 8. Radome insertion loss in X-band(perpendicular polarization).

## V. 결 론

본 논문에서는 c-sandwich 레이돔에 PSO를 적용하여 두 가지 경우에 대해 최적의 삽입 손실을 갖는 레이돔을 설계하였다. 첫 번째는 5개 층의 물질들을 결정하고, 각각의 두께들을 최적화 파라미터들로 사용한 경우이며, 두 번째는 양쪽 skin 물질과 두께를 결정하고 내부 3개 층의 물질 상수와 두께를 최적화 파라미터들로 사용하였다. 최적화된 레이돔의 각 파라미터 값들을 이용하여 관심 주파수 대역인 X-band에서 우수한 삽입 손실 특성을 갖는 레이돔을 설계

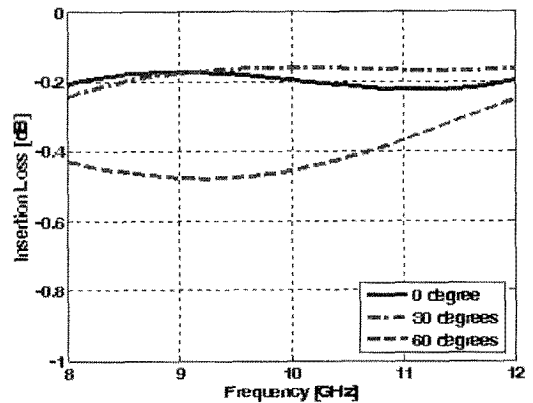


그림 9. X-band에서의 레이돔 삽입 손실(수평 편파)

Fig. 9. Radome insertion loss in X-band(parallel polarization).

하였다. 본 논문을 통하여 PSO를 이용한 레이돔 설계는 장시간의 계산없이 다양한 성능을 가지는 레이돔을 설계할 수 있으며, 최적화된 파라미터들이 같은 종류의 조합이 아닌 다른 종류 조합에 대해서도 요구 성능에 부합하는 레이돔을 설계할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 경사입사(0도, 30도, 60도)에서도 일정한 레이돔의 성능을 얻을 수 있음을 보였다. PSO 알고리즘을 이용하여 레이돔, FSS 구조, 안테나 설계 및 다양한 전자기 구조에 유용하게 사용될 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. D. Walton, Jr., *Radome Engineering Handbook - Design and Principles*, Marcel Dekker, Inc, 1970.
- [2] Dennis J. Kozakoff, *Analysis of Radome Enclosed Antennas*, Artech House, 1977.
- [3] H. Cory, C. Zach, "Wave propagation in metamaterial multi-layerd structures", *Microwave and Optical Letters*, vol. 40, no. 6, Mar. 2004.
- [4] A. Kedar, U. K. Revankar, "Parametric study of flat sandwich multilayer radome", *Progress In Electromagnetics Research, PIER* 66, pp. 253-265, 2006.
- [5] A. Kedar, K. S. Beenamole, and U. K. Revankar, "Performance appraisal of active phased array antenna in presence of a multilayer flat sandwich radome", *Progress in Electromagnetics Research, PI-*

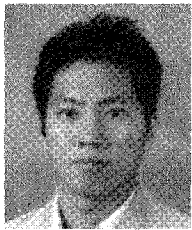
ER 66, pp. 157-171, 2006.

- [6] 이경원, 홍익표, 정영철, 육종관, "손실 특성의 메타 물질이 포함된 다층 구조 slab의 특성 분석", 한국전자과학회논문지, 19(12), pp. 1384-1393, 2008년 12월.
- [7] 이경원, 홍익표, 박범준, 정영철, 육종관, "메타 물질 코어를 갖는 A-sandwich 레이돔 전파 특성 해석", 한국전자과학회논문지, 20(11) pp. 1161-1170, 2009년 11월.
- [8] Jacob Robinson, Yahya Rahmat-Samii, "Particle swarm optimization in electromagnetics", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no.

2, Feb. 2004.

- [9] S. K. Goundos, J. N. Sahalos, "Microwave absorber optimal design using multi-objective particle swarm optimization", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 48, no. 8, Aug. 2006.
- [10] Yilmaz, Kuzuoglu, "Design of the square loop frequency selective surfaces with particle swarm optimization via the equivalent circuits model", *Radioengineering*, vol. 18, no. 2, Jun. 2009.
- [11] J. Kennedy. R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization", *Proc IEEE Conf Neural Networks IV 4* 1942~1948, 1995.

## 이 경 원



2003년 2월: 대전대학교 전자공학과 (공학사)  
 2005년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
 2005년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 마이크로파 해석

## 박 범 준



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
 2000년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2001년 1월~현재: 국방과학연구소 연구원  
 [주 관심분야] 수동소자 설계, 초고주파 수신기 설계

## 홍 익 표



1994년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1996년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2000년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)  
 2000년 3월~2003년 2월: 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원

2006년 2월~2007년 2월: Texas A&M University, Visiting Scholar

2003년 3월~현재: 공주대학교 정보통신공학부 부교수  
 [주 관심분야] 전자기 수치 해석, 스펙트럼 관리, 이동 통신

## 정 영 철



2001년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 4월~현재: 국방품질관리소 선임연구원  
 2002년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로파 수치해석

육 종 관



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1998년: University of Michigan 전기 전자공학과 (공학박사)

1997년 1월~1998년 10월: University of Michigan Research Fellow

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer

1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수

2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

[주 관심분야] 마이크로파 구조 해석 및 설계, RF MEMS, 박막공진 구조