

# 평면형 패치 안테나의 최적설계를 위한 PSO와 APSO 알고리즘 비교 연구

## A Comparative Study on the PSO and APSO Algorithms for the Optimal Design of Planar Patch Antennas

김 군 태\* · 김 형 석†  
(Koon-Tae Kim · Hyeong-Seok Kim)

**Abstract** - In this paper, stochastic optimization algorithms of PSO (Particle Swarm Optimization) and APSO (Adaptive Particle Swam Optimization) are studied and compared. It is revealed that the APSO provides faster convergence and better search efficiency than the conventional PSO when they are adopted to find the global minimum of a two-dimensional function. The advantages of the APSO comes from the ability to control the inertia weight, and acceleration coefficients. To verify that the APSO is working better than the standard PSO, the design of a 10GHz microstrip patch as one of the elements of a high frequency array antenna is taken as a test-case and shows the optimized result with 5 iterations in the APSO and 28 iterations in th PSO.

**Key Words** : Optimization, Particle swarm optimization, Adaptive PSO, Precision approach radar

### 1. 서 론

최근에 항공기의 이착륙에서 사고가 빈번히 일어나고 있다. 이러한 사고를 방지하기 위하여 활주로 진입하는 항공기의 진입경로를 유도하는 지상관제진입방식의 레이더 시스템이 있다. 진입유도 시스템은 계기 착륙 장비를 갖추지 않은 항공기 또는 관련 장비가 고장난 항공기의 관제에 널리 사용된다. 현재 군용 비행장에서 많이 사용되며 국내에서는 김해, 광주, 포항, 대구 공항 등에 설치되어 있다. 진입유도 시스템에서 항공기의 진입유도에 필요한 정도의 정밀한 위치관측을 위하여 10GHz의 전파를 사용하고 있다[1].

이러한 정밀한 위치관측에 사용되는 레이더 시스템에서 가장 중요한 요소는 안테나 소자이다. 안테나 소자는 소형화 되고 복잡한 구조로 설계되고 있다. 대부분의 복잡한 구조 소자 설계는 설계자의 경험에 의한 시행착오적인 방법으로 설계되고 있어 정교하고 체계적인 설계가 어렵다. 최근 이를 해결하고 설계시간의 단축의 효과를 얻기 위해서 최적화 알고리즘을 적용하여 부품소자 개발을 수행하는 연구가 활발히 진행되고 있다[2]~[7].

최적화 알고리즘에는 크게 결정론적 방법과 확률론적인 방법으로 구분할 수 있다. 결정론적 방법은 목적함수의 설계변수에 대한 미분 정보를 이용하여 설계 하는 방법으로 빠른 수렴속도의 장점을 가지고 있으나 국부최소점이 있는 경우 전역최소점을 찾기가 어렵다는 문제가 있다. 반면에

확률론적 방법은 자연계의 생태 현상이나 움직임을 모방한 알고리즘으로 구현이 쉽고 전역최소점을 찾을 가능성이 높다는 장점을 가지고 있다[8].

확률론적 방법에서 PSO 알고리즘은 곤충의 집단이 서로의 정보를 공유하여 집단으로 움직이는 방법을 사용하여 다 목적함수의 최적화에 적용성이 우수한 솔루션으로 보고되고 있다[9]. 그러나 PSO 알고리즘도 설계자의 경험에 의해 가속도 상수와 가중치 상수를 결정해야하는 문제가 있다. PSO의 단점을 보완하고 장점을 극대화하려는 변형 알고리즘 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[10]~[15]. 변형 알고리즘 중에서 현재 상태의 상황을 판단하여 가중치 상수와 가속도 상수를 변화 시키는 APSO 알고리즘이 최근에 연구되었다[16].

안테나 최적화 설계는 전자장 해석 프로그램과 최적화 알고리즘이 결합하여 설계가 된다. 따라서 전자장 해석 프로그램의 해석 횟수를 최소화 할 수 있어야만 설계 시간의 단축을 할 수 있다. 이는 최적화 알고리즘의 수렴속도가 좌우하게 된다. 따라서 최적화 알고리즘의 수렴속도 비교는 매우 중요한 성능비교 항목이 된다.

본 논문은 확률론적 방법인 PSO 알고리즘과 APSO 알고리즘을 구현하고 성능비교를 통해 안테나 최적설계에 적합한 알고리즘을 결정하였다. 또한 구현된 알고리즘을 전자장 해석 프로그램과 연계하여 항공기 진입유도 시스템에 사용되는 10GHz의 레이더용 평면형 패치 안테나를 최적설계 하여 알고리즘 성능 비교를 검증하였다.

† Corresponding Author : School of Electrical and Electronics Eng., Chung-Ang University, Korea  
E-mail : kimcaf2@cau.ac.kr

\* School of Electrical and Electronics Eng., Chung-Ang University, Korea

Received : September 22, 2013; Accepted : October 23, 2013

### 2. 최적화 알고리즘

#### 2.1 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO 알고리즘은 벌이나 개미와 같은 곤충 집단의 움직임

에 대한 연구로부터 발달이 되었다. 각 집단이 꽃의 꿀과 같은 먹이에 대한 정보를 집단 전체에 공유하고 공유된 정보를 기초로 집단의 개체가 움직인다는 개념을 최적화 알고리즘으로 변형한 것이다[9].

PSO 알고리즘에서 각 개체를 particle이라 하고 각 particle의 위치에서의 문제의 해를 구하여 최적의 해를 찾는다. 각 particle은 최적의 해에 대한 정보를 서로 공유하고 공유된 정보를 바탕으로 각 particle의 최적의 해 장소로 모여든다. PSO 알고리즘의 구현은 크게 4가지 단계로 나타낼 수 있다. 그림 1은 APSO 알고리즘을 간략히 나타내고 있다.

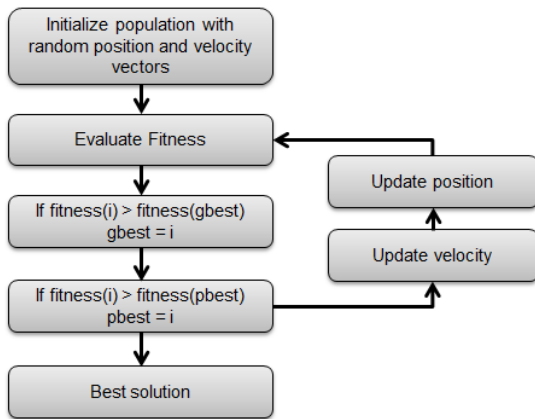


그림 1 PSO 알고리즘 순서도  
Fig. 1 The flow chart of PSO

1) 정의 및 변수

PSO 알고리즘에서 설계 변수 집합인 각각의 particle은 개별적으로 이동하지만, 이동하는 자신과 다른 particle의 정보를 공유한다. 각 particle은 주어진 목적 함수 F에서 가장 좋은 결과의 정보를 공유한다. 이때 각 particle은 자신의 이동 경로 중에서 최고의 해를 P<sub>best</sub>라고 정의 한다. 그리고 모든 particle의 무리 중에서 최고의 해를 갖는 particle의 위치를 G<sub>best</sub>라고 정의한다.

P<sub>best</sub>와 G<sub>best</sub>는 최적화의 반복과정에서 계속하여 업데이트되며, 각 particle의 이동은 G<sub>best</sub>의 정보를 바탕으로 움직이게 된다. n개의 particle이 있다면, 비교하는 해의 개수는 n이고, m 설계 변수가 있는 경우, 입자의 위치의 크기가 m의 벡터로 표현이 된다. 반복의 정지 기준은 모든 입자의 솔루션의 최소 표준 편차가 주어진 값보다 작을 경우이다.

2) 초기화

해석 공간에서 최적의 위치에 대한 검색을 시작하려면 각 particle은 무작위의 초기속도로 가지고 임의의 장소에서 시작된다. 초기에 시작되는 각 particle의 위치는 유일한 위치 정보를 갖고 있기 때문에 각 particle의 위치는 P<sub>best</sub>가 된다. 그림 다음 초기 위치의 정보 중에서 첫 G<sub>best</sub>가 결정 된다.

3) 속도 업데이트

현재의 위치 정보 및 속도 정보를 바탕으로 P<sub>best</sub>와 G<sub>best</sub>의 위치 정보를 이용하여 다음 속도가 업데이트 된다.

particle의 속도는 P<sub>best</sub>와 G<sub>best</sub>의 상대적 위치에 따라 변경된다. 식 3을 이용하여 다음 속도를 얻을 수가 있다.

$$v_n(i+1) = w(i) \cdot v_n(i) + c_1 \cdot r_1 \cdot (P_{best,n}(i) - x_n(i)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (G_{best,n}(i) - x_n(i)) \quad (1)$$

여기서 v<sub>n</sub>(i)는 각 입자의 속도이고 x<sub>n</sub>(i)는 각 입자의 위치 크기 m에서의 위치를 나타낸다. 그리고 w(i)는 초기속도 가중치이며 c<sub>1</sub>과 c<sub>2</sub>는 각 입자가 P<sub>best</sub>와 G<sub>best</sub>로 향하는 확률적인 가속의 가중치를 표현한다. r<sub>1</sub>과 r<sub>2</sub>는 각각 0과 1 사이의 랜덤변수이다. 과거의 수많은 연구 결과에서 w(i)는 0.729, c<sub>1</sub>과 c<sub>2</sub>는 1.49로 설정 하였을 경우 가장 좋은 수렴도를 보여주었기에 본 연구에서는 위와 같이 설정 하였다.

4) 위치 업데이트

갱신된 속도를 바탕으로 현재위치 정보를 업데이트 하게 된다. 식 4를 이용하여 다음 위치의 정보를 얻을 수가 있다.

$$x_n(i+1) = x_n(i) + v_n(i+1) \quad (2)$$

$$x_n^{min} \leq x_n(i+1) \leq x_n^{max}$$

이후 업데이트 된 위치 정보에서의 문제의 해를 계산하고 2)의 과정에서 다시 시작하여 반복 수행하게 된다. 최종적으로 G<sub>best</sub>의 결과가 목표로 하는 문제의 해에 만족하거나 일정 수렴조건 이내에 만족했을 경우 최적화 과정이 끝나게 된다.

2.2 Adaptive Particle Swarm Optimization (APSO)

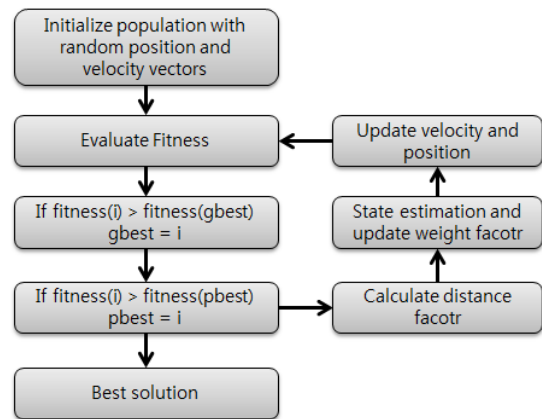


그림 2 APSO 알고리즘 순서도  
Fig. 2 The flow chart of APSO

APSO는 PSO 알고리즘에서 변형된 알고리즘으로 빠른 수렴속도를 얻기 위해서 개발된 알고리즘이다. 기본적인 알고리즘 흐름 및 위치 업데이트 방식은 동일하지만 PSO 알고리즘에 각 particle의 위치에 따른 탐험(exploration), 개발(exploitation), 수렴(convergence), 도약(jumping out)의 4가지 경우의 조건을 추가한 알고리즘이다. 각 추가된 경우에 따라서 속도 업데이트 과정의 가속도 계수를 변화를 시

켜서 수렴속도를 개선한 알고리즘이다. 그림 2는 APSO 알고리즘을 간략히 나타내고 있다[16].

1) 거리 인자 계산

우선 각 particle과  $G_{best}$  위치의 거리를 계산한다. 그리고 가장 큰 거리 차와 가장 근소한 거리 차의 정보를 바탕으로 현재  $G_{best}$ 가 위치한 곳의 정보를 구분한다. 이를 거리 인자로 하고 식 3에 의해 결정된다.

$$f = \frac{d_g - d_{min}}{d_{max} - d_{min}} \quad (3)$$

2) 가속도 상수 제어

식 3에 의해 결정된 거리 인자를 바탕으로 현재 상태를 구분하게 된다. 상태는 탐험, 개발, 수렴, 도약의 4가지로 구분되며 각각의 경우에 따라 가속도 상수를 증가, 감소(0.1)와 약간증가, 약간감소(0.05) 하게 된다.

① 탐험 : 가속도 상수  $c_1$  증가,  $c_2$  감소

$$S_1 = \begin{cases} 0 & 0 \leq f \leq 0.4 \\ 5 \times f - 2 & 0.4 \leq f \leq 0.6 \\ 1 & 0.6 \leq f \leq 0.7 \\ -10 \times f + 8 & 0.7 \leq f \leq 0.8 \\ 0 & 0.8 \leq f \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

② 개발 : 가속도 상수  $c_1$  약간증가,  $c_2$  약간감소

$$S_2 = \begin{cases} 0 & 0 \leq f \leq 0.2 \\ 10 \times f - 2 & 0.2 \leq f \leq 0.3 \\ 1 & 0.3 \leq f \leq 0.4 \\ -5 \times f + 3 & 0.4 \leq f \leq 0.6 \\ 0 & 0.6 \leq f \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

③ 수렴 : 가속도 상수  $c_1$  약간증가,  $c_2$  약간증가

$$S_3 = \begin{cases} 1 & 0 \leq f \leq 0.1 \\ -5 \times f + 1.5 & 0.1 \leq f \leq 0.3 \\ 0 & 0.3 \leq f \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

④ 도약 : 가속도 상수  $c_1$  감소,  $c_2$  증가

$$S_4 = \begin{cases} 1 & 0 \leq f \leq 0.7 \\ 5 \times f - 3.5 & 0.7 \leq f \leq 0.9 \\ 0 & 0.9 \leq f \leq 1 \end{cases} \quad (7)$$

3) 가중치 상수 제어

1)에서 계산된 거리 인자를 이용하여 가중치 상수도 업데이트를 달리한다. 적응형 가중치 상수 계산은 식 8에 의해 계산된다.

$$w(f) = \frac{1}{1 + 1.5e^{-2.6f}} \in [0.4, 0.9] \quad (8)$$

위와 같이 개선된 가속도 상수와 가중치 상수를 이용하여 식 1의 속도 업데이트를 수행하고 이에 따른 다음 particle

의 위치를 업데이트하게 된다. 이후 일련의 과정은 기본적인 PSO와 동일하다.

2.3 알고리즘의 성능 비교

앞에서 언급한 각 확률론적 방법의 최적화 알고리즘은 서로 장단점을 가지고 있어 비교하기란 어렵다. 그러나 본 논문에서는 향후 전자장 해석 프로그램과 연계한 부품 최적 설계를 위해서 보다 빠른 수렴속도의 알고리즘이 요구된다. 따라서 알고리즘의 계산속도 및 수렴속도, 계산량 등의 다양한 알고리즘 특성 중에서 수렴속도로 각 알고리즘의 성능을 비교하였다.

최적화에 사용된 개체 수는 50개 이며 설계변수는 2차원으로 수행하였다. 검색 영역은  $[20, -20]$ 으로 하고 초기 수렴속도의 차이를 비교하기 위하여 최대 반복 계산은 50으로 설정하였다. 또한 상대적인 비교를 위해서 초기 발생하는 무작위 개체는 동일하게 하였다.

1) Sphere :  $f_1(x) = x^2 + y^2$

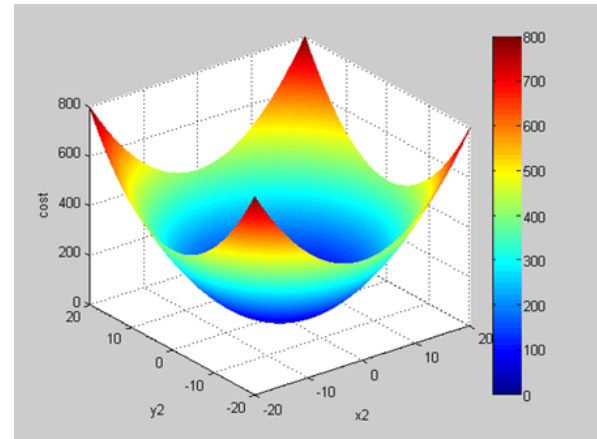


그림 3 2차원의 Sphere 함수

Fig. 3 The sphere function of 2-dimension

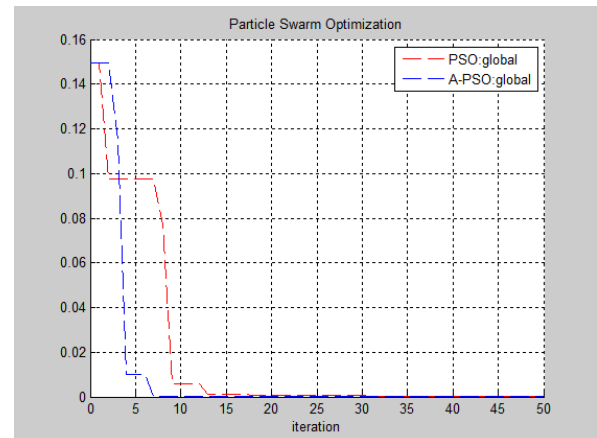


그림 4 Sphere 함수의 전역최소점

Fig. 4 The global minimum of sphere function

Sphere 함수는 (0,0)에서 최소값 0을 갖는다. 최적화 결과

PSO는 2.88e-6, APSO는 1.73e-8으로 수렴하여 APSO가 최소값에 근사한 결과를 얻은 것을 확인할 수 있다. 또한 전역 최소점의 업데이트 과정이 APSO가 PSO보다 빠르게 수렴하는 것을 그림 4을 통하여 확인할 수 있다.

2) Sinc :  $f_5(x) = -((\sin(x)/x) \times (\sin(y)/y))$

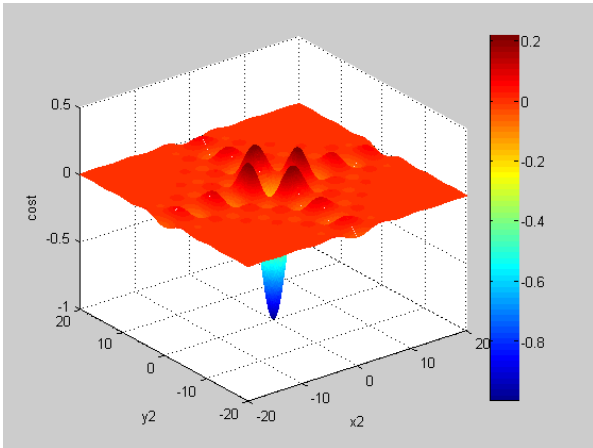


그림 5 2차원의 Sinc 함수  
Fig. 5 The sinc function of 2-dimension

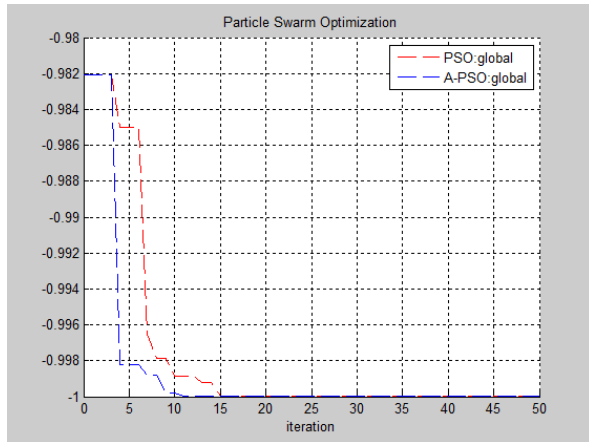


그림 6 Sinc 함수의 전역최소점  
Fig. 6 The global minimum of sinc function

Sinc 함수는 (0,0)에서 최소값 -1을 갖는다. 이전의 함수와는 달리 Sinc 함수는 지역 최소점의 함정을 가지고 있다. 본 함수를 통해서 지역 최소점으로 빠지지 않고 전역 최소점으로 얼마나 빠르게 수렴하는지를 비교하였다. 최적화 결과 PSO는 -9.99e-1, APSO는 -1.00으로 수렴하였다. 그림 6에서 최종 수렴은 APSO가 잘 찾아가는 것을 확인할 수 있었다. 수렴도 역시 이전의 결과와 마찬가지로 빠른 수렴 속도를 나타내었다. 그러나 전체 개체들의 평균을 구한 그림 5의 그래프 결과를 보면 PSO가 APSO보다 더 빠르게 모여드는 것을 알 수 있다.

총 2개의 함수에 대한 PSO와 APSO의 최적화 결과를 비교한 결과 전체적으로 APSO가 빠른 수렴속도를 가지고 있

는 것을 확인하였다.

### 3. 평면형 패치 안테나 최적 설계

#### 3.1 평면형 패치 안테나 설계

본 논문에서는 10GHz의 공진주파수를 갖는 평면형 패치 안테나를 설계하였다. 설계에 사용된 기판은 유전율 2.2, 두께 0.775mm의 RT/Duroid 5880을 사용하였다.

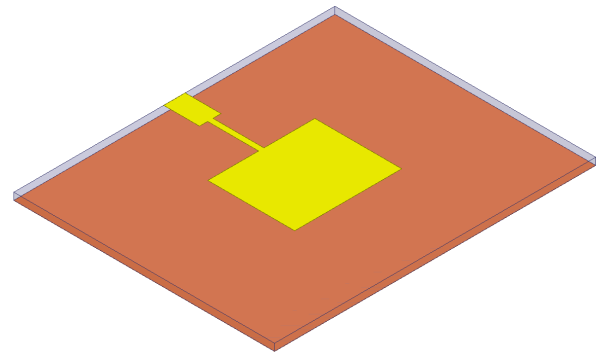


그림 7 평면형 패치 안테나의 구조  
Fig. 7 The structure of planar patch antenna

먼저 패치 안테나의 크기는 공진 주파수  $f$ 에 따라 패치의 폭과 길이를 식 9~12에 따라 계산한다.

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \tag{9}$$

$$L = \frac{1}{2f \sqrt{\epsilon_{re}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \tag{10}$$

$$\Delta L = 0.412 \times h \frac{\epsilon_{re} + 0.3}{\epsilon_{re} - 0.258} \frac{(W/h) + 0.264}{(W/h) + 0.8} \tag{11}$$

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-1/2} \tag{12}$$

기본적인 패치 안테나의 경우 임피던스 정합을 위해 트랜스포머가 추가된다. 패치 안테나의 임피던스와 입력 포트의 50ohm의 임피던스 정합을 위한 트랜스포머를 계산하고 마이크로스트립 라인의 폭과 길이 계산에 따라 설계 변수를 표 1과 같이 결정하였다.

표 1 평면형 패치 안테나의 설계 변수

Table 1 The design parameter of planar patch antenna

설계변수	초기 설계
W	11.86 mm
L	9.63 mm
feed_w	0.59 mm
feed_l	5.65 mm
port_w	2.39 mm

#### 3.2 패치 안테나 최적 설계

평면형 패치 안테나의 폭과 길이의 계산식 (5)~(8)을 통해 설계된 안테나는 이상적인 경우에서의 계산결과이기 때문에

실제 필드의 결과에서 차이를 나타내게 된다. 따라서 실제 필드분포와 3D 구조물의 경우 등을 고려한 전자장 해석 프로그램 통해 설계되어야 한다.

하지만 설계변수에 따라 안테나 특성의 변화는 비선형적이며 설계목표에 맞게 설계하기란 쉽지가 않기 때문에 본 논문에서 구현되고 비교 연구한 PSO와 APSO 알고리즘을 통해 최적설계를 수행하고 두 알고리즘의 성능 비교를 통해 검증하였다. 안테나는 사용 목적의 공진주파수로 설계되어야 하기 때문에 설계 목적함수를 식 13과 같이 정의하였다.

$$F_1 = (f_o - f_i)^2 \tag{13}$$

여기서  $f_o$ 는 목표 공진주파수로 10GHz이며,  $f_i$ 는 반복계산 결과의 공진주파수이다.

식 13과 같은 목적함수를 바탕으로 PSO와 APSO를 MS excel의 Visual Basic으로 구현하고 상용 전자장 해석 프로그램 HFSS와 연계하여 최적 설계를 수행하였다. 최적화에 사용된 PSO와 APSO의 particles의 개수는 총 10개이며 5개의 설계변수를 최적 설계 하였다.

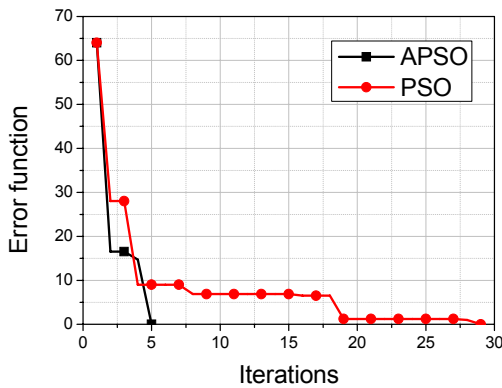


그림 8 목적 함수의 수렴도  
Fig. 8 The convergence of objective function

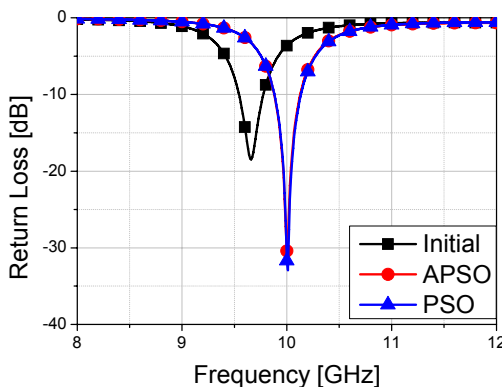


그림 9 안테나 공진주파수 결과  
Fig. 9 The result of resonance frequency

최적설계 결과 PSO는 총 28번의 반복계산 결과 그림 8에서와 같이 목적함수가 1이하로 수렴하였으며 최적 설계된

안테나의 공진주파수는 10.01GHz에서 -32.905dB의 반사손실로 목표에 근사한 결과를 얻을 수 있었다. 반면에 APSO는 총 5번의 반복계산 결과 목적함수가 0으로서 수렴하였으며 최종 결과의 공진주파수는 10GHz에서 -30.398dB의 반사손실을 나타내어 목표값에 일치하는 결과를 얻을 수 있었다.

평면형 패치 안테나의 최적설계에서 확인할 수 있듯이 2차원 함수에서와 유사하게 수렴도 특성에서 APSO가 PSO보다 빠른 수렴속도를 보였으며 최적설계 결과도 두 알고리즘 모두 목표설정 값을 모두 만족하는 결과를 얻어내었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 PSO 알고리즘과 APSO 알고리즘의 수렴 속도 및 전역최소점 탐색의 성능을 비교하였다. 5가지의 함수에 대해서 동일한 조건으로 비교하였다. 전역최소점 탐색 및 수렴속도가 PSO보다 APSO가 빠르다는 것을 확인하였다. 지역최소점의 존재하는 함수에서도 APSO가 지역최소점으로 빠지지 않고 전역최소점을 빠르게 찾아 가는 것을 확인하였다. 기본 알고리즘에서 가중치 상수 및 가속도 상수 제어기가 빠른 수렴속도를 얻을 수 있는 매우 중요한 요소이며 변형 알고리즘 개발에 핵심 요소라 할 수 있다. 향후 변형 알고리즘 개발은 가중치 상수와 가속도 상수 제어 방법 및 정보 수집 방법 연구가 이루어 질 것으로 사료된다.

또한 PSO와 APSO의 성능을 검증하기 위해서 진입유도 시스템에 사용되는 10GHz의 평면형 패치 안테나에 대한 최적설계를 수행하였다. PSO는 28번, APSO는 5번의 계산 결과 수렴을 하였다. 두 알고리즘 모두 최적설계에서 목표값을 모두 만족을 하였으나 수렴도에서 APSO가 빠르게 수렴한 것을 확인할 수 있었다. 본 논문을 통해 설계된 평면형 패치 안테나는 항공기 진입유도 레이더설계에 유용하게 쓰일 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A2007758).

#### References

- [1] "precision approach radar", doopedia, [http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do?\\_method=view&MAS\\_IDX=101013000834494](http://www.doopedia.co.kr/doopedia/master/master.do?_method=view&MAS_IDX=101013000834494), 2013. 10. 28. search
- [2] K-T. Kim, J-H. Ko, K Choi, H-S. Kim, "Optimum Design of Wideband Bandpass Filter With CSRR-Loaded Transmission Line Using Evolution Strategy," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 48, no. 2, pp. 811-814, 2012.
- [3] K-T. Kim, S-H. Kwon, J-H. Ko, H-S. Kim, "An Optimal Design of a 19.05GHz High Gain 4X4 Array Antenna Using the Evolution Strategy," The

Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 60, No. 4, pp. 811~816, 2011.

- [4] S. Kahng, "Genetic algorithm-based complex images for magnetic dipoles in parallel plates," *Electronics Letters*, vol.39, no.8, pp. 667- 668, 17 April 2003
- [5] S. Kahng, "GA-optimized decoupling capacitors damping the rectangular power-bus' cavity-mode resonances," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.16, no.6, pp. 375- 377, June 2006
- [6] S. Kahng, "The Rectangular Power-Bus With Slits GA-Optimized to Damp Resonances," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.55, no.6, pp.1892-1895, June 2007.
- [7] S. Kahng, and J. Kim, "GA Optimized S-Band Quadrafilar Antenna with the Lowest Back Radiation for a Communication Satellite", *Journal of the Korean Institute of Electronic Engineering and Science*, vol. 9, no. 4, pp. 223-228, 2009.
- [8] J-N Kim, H-B. Lee, C-Y. Cheon, H-S. Kim, H-K. Jung, S-Y. Hahn, "A Study on Numerical Design Schemes of Waveguide Component Using Vector Finite Element Method," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 44, No. 9, pp. 1219~1227, 1995.
- [9] J. Robinson, Y. Rahmat-Sami, "Particle Swarm Optimization in Electromagnetics," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 397-407, Feb. 2004.
- [10] M. S. Mohamad, S. Omatu, S. Deris, M. Yoshioka, "A Modified Binary Particle Swarm Optimization for Selecting the Small Subset of Informative Genes From Gene Expression Data," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 15, no. 6, pp. 813-822, Nov. 2011.
- [11] N. Jin, Y. Rahmat-Samii, "Hybrid Real-Binary Particle Swarm Optimization (HPSO) in Engineering Electromagnetics," *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. 58, No. 12, pp. 3789-3794, Dec. 2010.
- [12] Po-Hung Chen, "Pumped-Storage Scheduling Using Evolutionary Particle Swarm Optimization," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 23, No. 1, pp. 294-301, Mar. 2008.
- [13] T. O. Ting, M. V. C. Rao, C. K. Loo, "A Novel Approach for Unit Commitment Problem via an Effective Hybrid Particle Swarm Optimization," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 23, No. 1, pp. 294-301, Feb. 2006.
- [14] S-Y. Ho, H-S. Lin, W-H. Liauh, S-J. Ho, "OPSO: Orthogonal Particle Swarm Optimization and Its Application to Task Assignment Problems," *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics Part A*,

vol. 38, No. 2, pp. 288-298, Mar. 2008.

- [15] F. Tao, D. Zhao, Y. Hu, Z. Zhou, "Resource Service Composition and Its Optimal-Selection Based on Particle Swarm Optimization in Manufacturing Grid System," *IEEE Trans. on Industrial Informatics*, vol. 4, No. 4, pp. 315-327, Nov. 2008.
- [16] Z-H Zhan, J. Zhang, Y. Li, H. S-H. Chung, "Adaptive Particle Swarm Optimization," *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics Part B*, vol. 39, No. 6, pp. 1362-1381, Dec. 2009.

## 저 자 소 개



### 김 군 태 (金君泰)

2008년 서경대학교 정보통신공학 공학사, 2010년 중앙대학교 전자전기공학부 공학석사, 2010년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 부품 설계, 안테나 설계, 최적화 알고리즘 및 최적설계, 무선전력전송 기술



### 김 형 석 (金炯碩)

1985년 서울대학교 전기공학 공학사, 1987년 서울대학교 전기공학 공학석사, 1990년 서울대학교 전기공학 공학박사, 1990~2002년 순천향대학교 정보기술공학부 교수, 1997~1998년 R.P.I ECSE, USA 방문교수, 2002년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

[주 관심분야] 전자장수치해석, 전기기기 및 소자 해석 및 설계, 전력설비 모니터링 시스템, SoC 응용회로, EMI/EMC, RFID 응용 기술