

## PSO 알고리즘을 이용한 이동통신용 마이크로스트립 패치 안테나 설계에 관한 연구

김명동 · 박병호\* · 성현경

### A Study on Design of Mobile Communication Microstrip Patch Antenna using PSO algorithm

Myung-dong Kim · Byeong-ho Park<sup>1</sup> · Hyeon-kyeong Seong

School of Computer, Information and Communication Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 IE3D를 기반으로 하는 새로운 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 사용해 이동통신용 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 본 논문의 목적은 이동통신용 급전 사각형 마이크로스트립 안테나를 설계하고, 대역폭의 복사 매개변수에 대한 안테나 크기(길이, 폭) 및 기판 매개변수 상대 유전 상수( $\epsilon_r$ ), 기판 두께의 영향을 연구하여 이동통신용에 적합한 안테나를 설계하는 것이다. 안테나 설계 프로그램인 IE3D에 PSO알고리즘을 적용하여 안테나의 낮은 입력저항, 대역폭, 안테나의 이득 등을 개선하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, a novel particle swarm optimization method based on IE3D is used to design a mobile communication microstrip patch antenna. The aim of the paper is to design and fabricate an inset fed rectangular microstrip antenna and study the effect of antenna dimensions length (L), width (W) and substrate parameters relative dielectric constant ( $\epsilon_r$ ), substrate thickness on radiation parameters of band width. PSO algorithm was applied to IE3D, low resistance against, band width and advantage, were improved.

**키워드** : 마이크로스트립 패치 안테나, 이동통신 안테나, PSO, CWP

**Key word** : Microstrip Patch Antenna, Mobile Communication Antenna, PSO, CPW

접수일자 : 2013. 04. 08 심사완료일자 : 2013. 05. 29 게재확정일자 : 2013. 06. 12

\* **Corresponding Author** Byeong-ho Park(E-mail:eden200@sangji.ac.kr, Tel:+82-33-738-7703)

School of Computer, Information and Communication Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.8.1796>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

안테나의 소형화는 그 동안 마이크로 스트립 안테나 분야를 통해 실현되어 왔으며 현재 여러 분야에서 괄목할 만한 성과를 보이고 있다[1-3]. 안테나의 소형화 방법으로는 유전체를 사용하는 방법이 있지만 이 방법은 안테나 대역폭과 방사효율 등의 안테나 특성이 저하되기 때문에 소형화에는 한계가 있어 안테나 구조를 변경하는 소형화 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 안테나를 소형화시키면 안테나 복사 패턴은 무지향성에 가까운 특성을 갖게 되고 안테나 이득도 낮아진다. 또한 안테나 입력 저항은 매우 작아지고 리액턴스는 매우 커져서 안테나의 대역폭이 매우 좁아지게 된다[4-6]. 이러한 문제점을 극복하면서 크기가 소형인 안테나를 개발하는 것은 결코 쉬운 일이 아니다. 임피던스를 매칭시켜 특성을 유지하면서 크기를 소형화하는 것은 소형 안테나의 과제라 할 수 있다. 본 논문에서는 적층 제작이 용이한 이동통신 단말기용 소형 마이크로스트립 패치 안테나를 안테나 설계 프로그램인 IE3D에 PSO(Particle Swarm Optimization)알고리즘을 적용하여 설계하였다. 특히 이동통신용 안테나의 경우 대역폭 확보 및 성능이 중요하기 때문에 안테나 위상배열이 용이하도록 CPW(Coplanar Waveguide)급전 방식을 이용하였다.

## II. 관련연구

### 2.1. 직사각형 CPW 급전

더욱 가볍고 집적도가 높은 소자를 구성하기 위한 평면 전송선로로서 동일평면 도파관(CPW : Coplanar Waveguide) 선로가 최근 많이 사용되고 있다[7]. CWP는 기판에 hole을 뚫지 않고도 안테나나 소자의 연결이 가능하며, 특성 임피던스가 기판의 두께에 민감하지 않아 비교적 두꺼운 기판을 사용할 수 있다. 또한, 인쇄기술을 사용하므로 제조 공정이 간단하다는 장점을 가지고 있다[8].

그림 1에서와 같이 유전체 기판위에 중심 스트립이 있고, 중심 스트립 양쪽의 접지면이 동일 평면상에서 중심 스트립과 평행하게 놓여 있는 구조이다. 선로 횡단면의 전계는 선로의 중심 스트립에서 양쪽 측면의 접

지면으로 향하는 대칭 구조이다. CPW 선로는 중심 스트립의 양쪽으로 두 개의 간극이 있으므로 두 개의 결합된 슬롯 라인으로 생각할 수 있다. 따라서 비평행 모드로 결합된 슬롯 라인 모드가 CPW 선로에 여기될 수도 있다[8].

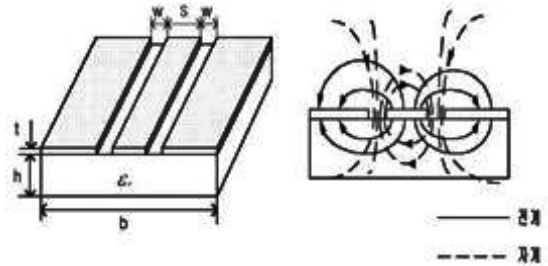


그림 1. CPW 선로의 구조와 횡단면의 전자계 분포도  
Fig. 1 CPW line structure and the cross-section of the electromagnetic field distribution

### 2.2. PSO 알고리즘

PSO 알고리즘은 자연선택의 진화 메커니즘이 아닌 생체군집의 사회적 행동양식을 바탕으로 하고 있다. PSO 알고리즘은 병렬처리 특징을 가지며, 각 입자는 최적의 해를 얻기 위해 다차원 탐색공간을 날아다니고 그들 자신과 그들 이웃의 경험에 대한 정보를 이용하여 최적의 위치로 이동해 간다. 또한 PSO 알고리즘은 파라미터의 조절을 통해 입자의 전역탐색과 지역탐색 능력의 균형을 유지한다.

일반적으로 PSO 알고리즘은 이론의 간결성, 구현의 용이성, 연산의 효율성과 같은 장점을 가지고 있고, 짧은 계산시간 안에 최적의 해를 생성할 수 있다. 또한 다른 확률적인 방법보다 안정적인 수렴특징을 나타내고 있다[9-10]. PSO 알고리즘 연산과정의 1 단계로 d차원 해 공간상에서 위치와 속도를 랜덤하게 가진 입자들을 초기화 한다. n개의 입자를 탐색 공간 내에서 랜덤하게 생성하는데 이들이 초기 군집이 된다. 마찬가지로 초기 입자 속도를  $[-v_{jmax}, v_{jmax}]$  내에서 랜덤하게 생성한다. 초기 군집의 각 입자는 목적함수를 이용하여 평가되고, 이들 모두는 pbest로 설정한다. 초기 입자 중 최적의 값은 다시 gbest로 선정된다.

2 단계로 각 입자들에 대해 적합도를 평가한다. 관성하중 값을 계산하고, j번째 입자의 속도를 계산한다. 제한조건  $[-v_{jmax}, v_{jmax}]$ 을 확인한다. 3 단계는 각 입자들

의 적합도를 그 입자의 pbest와 비교하여 적합도가 더 크면 그 값이 pbest가 된다. 4 단계는 각 입자들의 적합도를 gbest와 비교한다. 현재 값이 gbest보다 크면 그 값이 gbest가 된다. 5 단계에서는 식 (1)에 따라 속도와 위치를 계산하여 업데이트한다. 새로운 위치정보를 가진 입자들은 목적함수에 의해 평가된다. 각 입자들의 적합도는 이전 pbest의 적합도와 비교되며 pbest를 재설정한다. pbest의 입자 중 최적해를 가지는 입자의 적합도와 이전 gbest의 적합도를 비교하여 최적 위치정보를 가진 입자를 gbest로 재설정한다.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 \text{rand}_1(\dots) x(pbest_i - x_i^k) + c_2 \text{rand}_2(\dots) x(gbest^k - x_i^k) \quad (1)$$

식 (1)에서  $v_i^k$ 는  $k$  반복 시  $i$  에이전트의 속도를 나타내며,  $c_j$ 는 무게의 요소를 나타낸다. rand는 0과 1사이의 랜덤한 값을 가지며  $x_i^k$ 는  $k$ 번째 반복 시  $i$  에이전트의 위치를 나타낸다.  $pbest_i$ 는  $i$  에이전트의 pbest를 표현하며  $gbest^k$ 는 군집의 gbest를 나타낸다. 그림 2는 속도와 위치를 업데이트 하는 방식을 표현한 것이다. 6 단계에서는 특정 임계 값에 도달하면 탐색과정을 종료하고, 그렇지 않으면 2단계부터 반복한다. 최종적으로 생성된 gbest는 최적의 경로를 가진다.

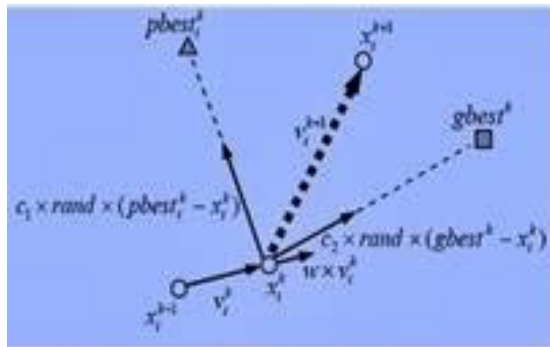


그림 2. 속도와 위치를 업데이트하는 방식  
Fig. 2 Method updating velocity and position

### 2.3. IE3D에 PSO를 적용한 알고리즘

IE3D는 순간방식을 기반으로 하는 전파 전자파 시뮬레이터이다. IE3D는 일반적인 형태의 3D 및 다층 구조

를 분석하고, 널리 다른 RF, 무선 안테나 및 무선 마이크, RFICs, 패치 안테나, 와이어 안테나의 설계에 사용되고 있다. IE3D는 S11 매개 변수를 계산하고, VSWR, 방사 패턴에 사용할 수 있지만, IE3D에 의해 정의된 변수는 방향과 범위에 의해 제어되기 때문에 고정 비율에 의해 다른 한개만 연결이 가능하며, 변수 사이에 더 복잡한 관계는 설정할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 또한 너비와 패치, 수직 슬롯에 대한 수평선 위치의 최적화와 같은 복잡한 변형과 최적화의 경우 IE3D 자체에서 문제가 중복되어 발생될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 IE3D와 PSO를 결합하여 마이크로스트립 패치 안테나의 매개 변수를 추출하고 그것을 바탕으로 안테나를 설계하였다. PSO는 군집의 움직임과 지능을 기반으로 하며 이해와 실행이 아주 쉬운 강력한 확률론적 진화 계산 기법이며, 본 논문에서 사용된 PSO는 다음의 식에 따라 조작된다.

$$v_{id} = w \cdot v_{id} + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (p_{id} - x_{id}) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (p_{gd} - x_{id}) \quad (2)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id}$$

여기서  $x_{id}$ 는  $d$ 번째 차원 상의  $i$ 번째 입자의 위치,  $v_{id}$ 는  $d$ 번째 차원 상의  $i$ 번째 입자의 속도,  $p_{id}$ 는  $d$ 번째 차원 상의  $i$ 번째 입자의 위치,  $p_{gd}$ 는  $d$ 번째 차원 상의 전역 위치,  $c_1$ 과  $c_2$ 는 양의 상수, rand()는 범위 (0, 1)의 랜덤 함수이며,  $w$ 는 관성 중량이다.

## III. 이동통신용 마이크로스트립 패치 안테나

### 3.1. 시뮬레이션 환경

이동 통신 시스템은 2.1 ~ 5.6GHz의 주파수 범위를 사용하기 때문에 안테나 설계는 이 주파수 범위 안에서 작동할 수 있어야 하며, 본 논문에서는 2.2~3.5GHz의 주파수 동작 범위를 갖는 안테나를 설계하였다. 본 논문의 설계를 위한 공진 주파수는 2.4GHz 이고, 기판의 유전상수( $\epsilon_r$ )는 2.45이다. 이와 같이 기판과 낮은 유전상수를 선택하게 되어 안테나의 면적이 줄게 되었다. 유전체 기판의 높이 ( $h$ )는 휴대폰에 사용되는 마이크로스트립 패치 안테나의 경우, 안테나가 크지 않는 것

이 필수이기 때문에 유전체 기판의 높이가 1.58mm로 설정하였다. 위의 시뮬레이션 환경을 적용하여 아래와 같이 총 7단계에 따라 각각의 값을 구하였으며 구해진 값에 의해 설계하게 하였다[10].

- 1 단계 : 폭( $W$ )

위의 시뮬레이션 환경에서 주어진 공진 주파수( $f_o$ ) 2.4GHz, 유전상수( $\epsilon_r$ ) 2.45를 적용하여 안테나의 폭을 계산하기 위해서는 식 (3)에 따라 계산되며 47.5mm의 값을 얻게 된다.

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (3)$$

- 2 단계 : 유효 유전상수( $\epsilon_{reff}$ )

유효 유전상수( $\epsilon_{reff}$ )는 가장자리와 라인에서 웨이브 전파에 대한 필드가 있지만 유전체 기판에 국한되지 않기 때문에 효과적인 유전체 상수의 값이 유전체 기판의 상수보다 적어야하기 때문에 유효 유전상수는 식 (4)와 같다. 식 (4)에서 유전상수( $\epsilon_r$ )이 2.45, 패치안테나의 폭이 47.5mm이고 유전체 기판 높이( $h$ )가 1.58mm일 때 유효 유전상수( $\epsilon_{reff}$ )는 2.3368로 나타난다.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

- 3단계 : 안테나의 유효길이( $L_{eff}$ )

안테나의 유효길이( $L_{eff}$ )는 식 (5)에 따라 계산되며 유효 유전상수( $\epsilon_{reff}$ )가 2.3368일 때, 40.625mm로 나타난다.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (5)$$

- 4단계 : 패치 길이 확장( $\Delta L$ )

위에서 주어진 조건을 적용하였을 때 패치길이 확장( $\Delta L$ )의 계산식을 나타낼 수 있는데 길이 패치길이 확장( $\Delta L$ )의 계산식은 식 (6)과 같다.

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (6)$$

- 5단계 : 패치의 실제 길이( $L$ )

패치의 실제 길이( $L$ )는 식 (7)에 계산되며, 계산된 패치의 실제 길이는 39mm로 나타난다.

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (7)$$

- 6단계 : GP(Ground Plane)치수

전송선로 모델은 기본적으로 무한 GP에 적용이 되지만 현실적으로 소형 안테나 설계 시 전송선로 모델을 적용하게 될 경우 유한 GP를 갖는 것이 될 수 있다. 만약 GP가 패치의 크기보다 주변 기판 두께가 거의 6배 정도 되면 유한 GP와 무한 GP는 비슷한 결과 값을 얻을 수 있다[11]. 따라서 본 논문에서 사용되는 안테나의 GP치수는 식 (8), (9)와 같은 GP크기로 하였다.

$$L_g = 6th + L = 6(1.5) + 39 = 48mm \quad (8)$$

$$W_g = 6th + W = 6(1.5) + 47.5 = 56.5mm \quad (9)$$

- 7 단계 : Inset Feed 깊이의 결정 ( $y_0$ )

본 논문에서는 Inset-Feed 형태의 Feed가 사용된다. Feed 깊이가  $y_0$ 에 의해 주어지고, Feed지점은 입력 임피던스가 50Ω 인 공진주파수의 패치 지점에 위치해야 한다. 이 경우에 반환손실(RL)이 가장 부정적, 즉 최소 값일 때 최고의 Feed지점을 얻기 위해 PSO를 사용하였다. 최소 반환손실을 주는 패치의 길이에 따라 포인트가 존재한다.

$$Rin(y = y_0) = Rin(y = 0) \cos^4(\pi * y_0 / L) \quad \text{일 때,}$$

$$Rin(y = 0) = 0.5 * (G_1 \pm G_2) \quad (10)$$

이며,

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[ \frac{8h + \frac{W_o}{4}}{W_o} \right] & \frac{W_o}{h} \leq 1 \\ \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left[ \frac{W_o + 13.93 + 0.667 \ln \left( \frac{W_o}{h} + 1.444 \right)}{h} \right] & \frac{W_o}{h} \geq 1 \end{cases} \quad (11)$$

일때,

$$G_1 = \begin{cases} \frac{1}{90} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right)^2 & W \ll \lambda_0 \\ \frac{1}{120} \left( \frac{W}{\lambda_0} \right)^2 & W \gg \lambda_0 \end{cases} \quad (12)$$

이고,

$$G_2 = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[ \frac{\sin \left( \frac{k_0 W}{2} \cos \theta \right)}{\cos \theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin \theta) \sin^3 \theta d\theta \quad (13)$$

이다.

첫 번째 방정식에서  $R_{in}(y=y_0) = 50 \Omega$ 인 것을 사용하여  $y_0 = 13.2mm$ 의 값을 얻었다. 위의 계산 결과를 통해 설계된 패치안테나는 다음 그림 3과 같다.

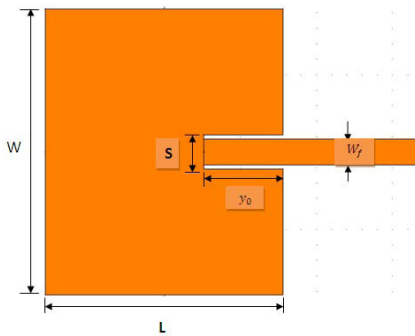


그림 3. 설계된 안테나의 구조  
Fig. 3 Designed antenna structure

### 3.2. 시뮬레이션 결과

안테나 설계 시 IE3D에 사용된 삽입 피드는 깊이 13.2mm, 5.6mm의 피드 선 폭 및 피드 경로의 길이가 37mm로 설계 될 수 있도록 하며, 2.2 ~ 3.5GHz의 주파수 범위가 선택될 수 있도록 하였다. PSO를 사용하여 나타나는 반사손실은 그림 4와 같이 -27dB로 나타났다.

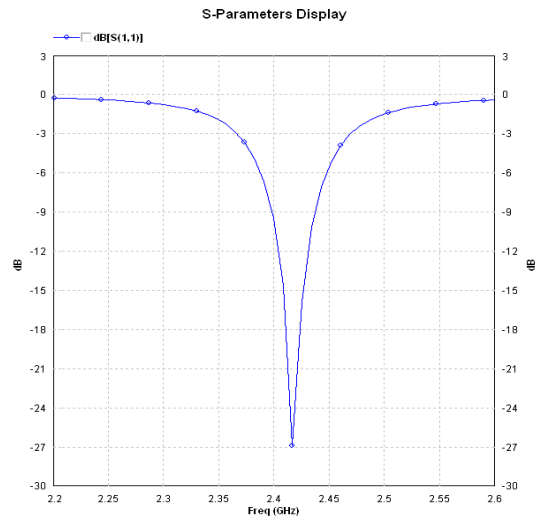


그림 4. 반사손실 v/s 주파수의 s-파라미터  
Fig. 4 S-parameter plot for Return loss v/s frequency

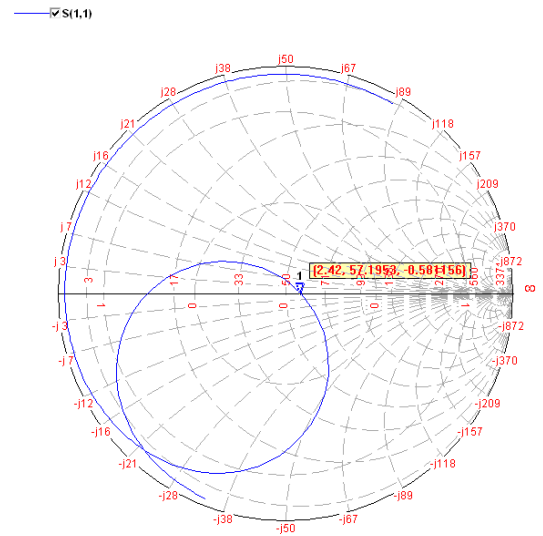


그림 5. 스미스 차트  
Fig. 5 Smith Chart

이 경우, 그림 5의 스미스차트에 나타나듯이 안테나 중심주파수가 2.42GHz 일 때 임피던스가 57.1953 - j0.581156으로 나타났다.

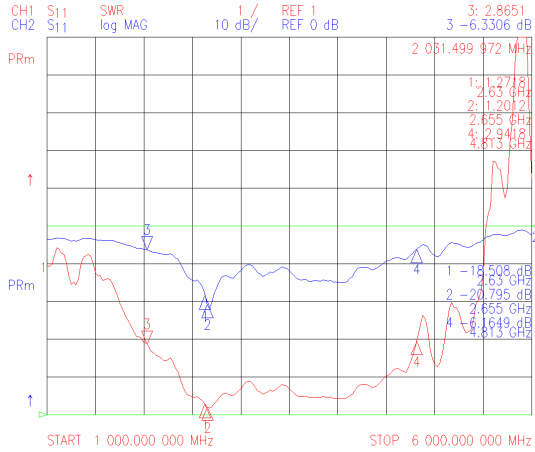


그림 6. 제작된 패치 안테나의 S11 측정결과  
Fig. 6 S11 measurement results of design patch

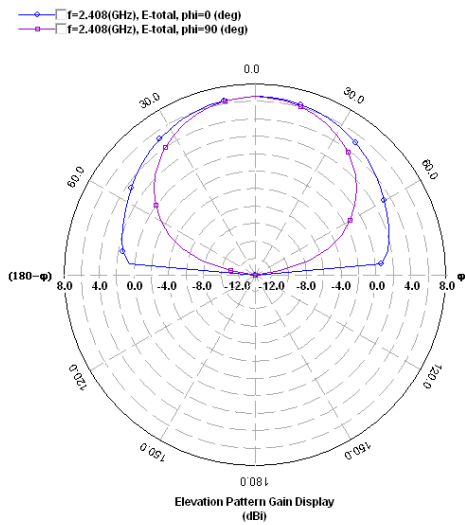


그림 7.  $\phi = 0$  와  $\phi = 90$ 도에 대한 고도 패턴  
Fig. 7 Elevation Pattern for  $\phi = 0$  and  $\phi = 90$  degrees

또한 패치에서 적용되는 각 라인의 임피던스가 각각 다르기 때문에 W의 길이를 조절함으로써 임피던스의 정합을 조절함과 동시에 안테나의 대역폭을 조절 할 수 있었다. 제작된 패치안테나의 반사손실을 측정 한 결과 2.2GHz에서 3.5GHz 까지 VSWR이 3이하의 주파수 범위를 나타내고 있다.

이것은 안테나가 사용될 수 있는 주파수의 범위가 약 2.630GHz로 광대역의 특성을 보여주는 것이다. 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴플롯은 패치 표면의 정상적인 방사 때문에,  $\phi = 0$ 과  $\phi = 90$ 의 상승 패턴이 중요하다. 아래의 그림 8에서는  $\phi = 0$ 과  $\phi = 90$ 에 대한 2.630GHz/2.655GHz의 안테나 이득을 나타냈으며, 최대 이득은 현측 방향으로 얻은 것 이며, 모두 1.87dBi,  $\phi = 0$ 과  $\phi = 90$ 도로 측정되었다.

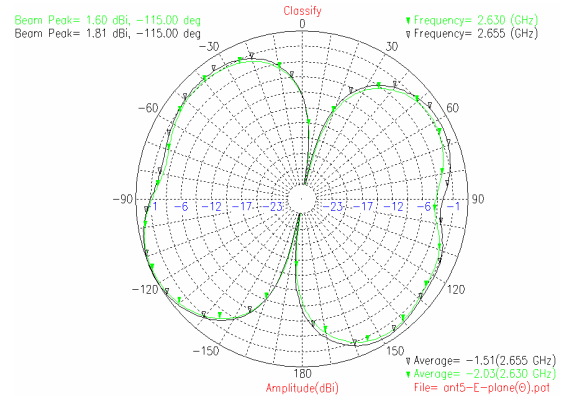


그림 8. E-영역의 방사패턴  
Fig. 8 E-field radiation pattern

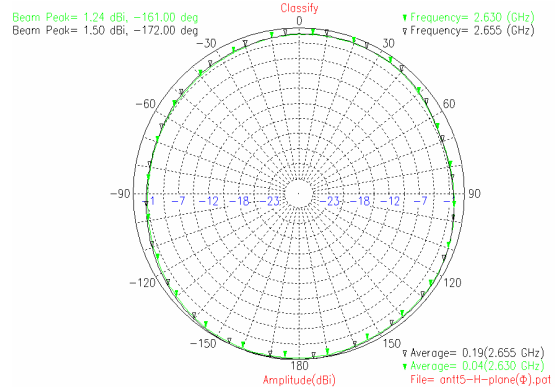


그림 9. H-영역의 방사패턴  
Fig. 9 H-field radiation pattern

그림 8은 안테나의 E-영역 방사 패턴을 나타낸다. 안테나가 사용될 수 있는 2.630대역에서 1.60dBi, 2.655 GHz에서는 1.81dBi가 나타났다 H-영역 방사패턴은 2.630에서는 1.24dBi 2.655에서는 1.50dBi가 나타났다.

그림 9는 패치 안테나의 H-영역 방사패턴을 나타낸 것으로 2.63GHz에서는 1.24dBi, 2.655GHz에서는 1.50dBi가 나타났다. 이것은 기존 안테나에 비해 지향성이 있는 것으로 판단할 수 있으나, 방사패턴을 보면 전 방향에서의 수신이 가능하기 때문에 이동통신용으로 적합하다는 것을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

이동통신용 마이크로스트립 패치 안테나는 이동 통신 시스템에서 사용되어야하기 때문에 안테나의 공진 주파수( $f_0$ )를 2.4GHz로 설정하였고, 논문에서 사용되는 기판의 유전상수( $\epsilon_r$ )는 2.45로 설정하였으며, 유전체 기판의 높이( $h$ )는 1.58mm로 선정하여 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 결과 안테나의 피드의 깊이는 -27dB일 때 13.2mm로 나타났다. 안테나의 반사손실은 2.2GHz~3.5GHz까지의 VSWR이 3이하의 주파수 범위를 나타내어 광대역의 특성을 볼 수 있었고, 또한 안테나의 최대 이득은 안테나의 공진주파수인 2.4GHz에서 1.87dBi로 나타나 우수한 특성을 갖는 것으로 나타났다. 또한 안테나 E-영역에서의 방사 패턴은 안테나가 사용될 수 있는 2.630GHz에서 1.60dBi, 2.655GHz에서는 1.81dBi가 나타났고, H-영역의 방사 패턴은 2.630GHz에서는 1.24dBi, 2.655GHz에서는 1.81dBi로 나타나 이동통신용으로 적합하다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 본 논문에서 제시하는 IE3D를 통한 PSO 알고리즘을 이용한 이동통신용 마이크로스트립안테나 설계는 마이크로스트립패치의 설계에 적합한 것을 확인하여, 앞으로 마이크로스트립 안테나 제작에 적용될 것으로 판단되며, MIMO나 스마트 안테나에 응용 될 것으로 생각된다. 또한 설계한 이동통신용 마이크로스트립 패치 안테나는 제조상의 편리, 광대역 특성을 갖게 되므로, 앞으로 개발되는 스마트폰의 안테나 소자 제작에 활용 가능할 것이다.

#### REFERENCES

- [ 1 ] R. J. Mailoux, "On the Use of Metallized Cavities in Printed Slot Arrays with Dielectric Substrates," IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. AP-35, No.5, pp. 477-487, May 1987.
- [ 2 ] F. Zavosh and J. T. Aberle, "Infinite Phased Arrays of Cavity-Backed Patches," IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. AP-42, No.3, pp. 390-398, March 1994.
- [ 3 ] K. Finkenzeller, "RFID Handbook, 2nd Edition," John Wiley & Sons Ltd, England, 2003.
- [ 4 ] Misao Haneishi, Megumi Konno, "Dual-polarized planar antenna fed by dog-bone slots," in IEEE 11th Int, Conf, of Antenna and Propagation, pp. 45-48, April 2001.
- [ 5 ] S. D. Targonski, D. M. Pozar, "Dual-band dual polarised printed antenna element," Electronics Letter 12th, Vol. 34, No. 23, pp. 2193-2194, November 1998.
- [ 6 ] G. A. Deschamp, "Microstrip Microwave Antennas," presented at the Third USAF Symposium on Antennas, 1953.
- [ 7 ] K. C. Gupta, "Microstrip Lines and Slotlines, Arted House," etal, 1996.
- [ 8 ] C.P WEN "Coplanar Waveguide : A surface strip transmission line suitable for nonreciprocal gyrometric device applications," IEEE Trans. Microwave Theopy Tech, vol. MTT-17, pp. 1087-1090, Dec 1969.
- [ 9 ] P.S Shelokar "Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization," Applied Mathematics and Computation 188, pp. 129-142, 2007
- [ 10 ] J. Kennedy and R.Eberhart, "Particle swarm optimization," Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, pp. 1942-1948, 1995.
- [ 11 ] I. Lier and K. R. Jakobsen, "Rectangular Microstrip Patch Antennas with Infinite and Finite Ground-Plane Dimension," IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. AP-31, No.6, pp. 978-984, November 1983.



**김명동(Myung-Dong Kim)**

상지대학교 컴퓨터정보공학과(공학석사)  
상지대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정(수료)  
인하공업전문대학교 겸임교수  
(주)코스모티어 대표  
※관심분야 : RFID, USN, WSN, T-DMB, AT-DMB, LTE 등



**박병호(Byeong-Ho Park)**

상지대학교 컴퓨터정보공학과(공학석사)  
상지대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정(수료)  
상지대학교 외래교수  
신안산대학교 외래교수  
※관심분야 : RFID, USN, WSN, T-DMB, AT-DMB, LTE 등



**성현경(Hyeon-Kyeong Seong)**

인하대학교 대학원 전자공학과 공학박사  
상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수  
※관심분야 : Multiple-Valued Logic Design, Computer Architecture Design, Information & Coding Theory, Cryptography Theory & Security, RFID/WSN 설계 및 응용 등