

## Evolution strategy 기법을 이용한 삼중대역 PIFA 최적 설계

고재형\*, 백현\*, 김군대\*, 김태성\*, 박도현\*, 안창희\*\*, 김형석\*  
 중앙대학교 전자전기공학부\*, 영남대학교 전자정보공학부\*\*

### Optimum design of Triple-band PIFA using Evolution strategy

Jae-Hyeong Ko\*, Hyun Paek\*, Koon-Tae Kim\*, Tae-Seong Kim\*, Doh-Hyeon Park\*, Chang-Hoi Ahn\*\*, Hyeong-Seok Kim\*  
 School of Electrical and Electronics Eng., Chung-Ang University\*  
 School of Electronic and Communication Engineering and Computer Science, Yeungnam University\*\*

**Abstract** - In this paper, designed triple-band antenna of PIFA(Planar Inverted-F Antenna) structure with U-slot. We designed optimal PIFA structure using Evolution Strategy(ES) about two U-slot parameters. We materialized API(Application Program Interface) about EM simulator and Excel using VB(Visual Basic). The result of ES for triple-band PIFA are resonant frequency of 430MHz, 910.5MHz, 2458.5MHz.

#### 1. 서 론

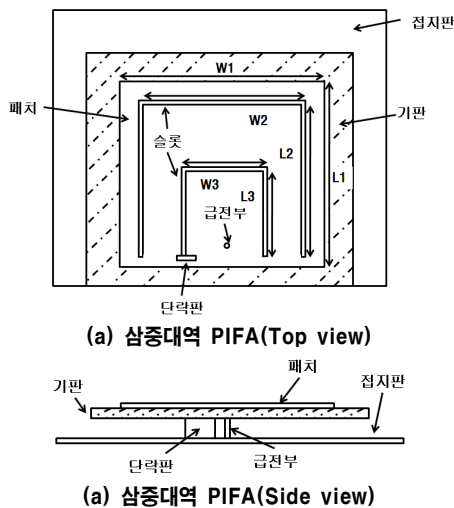
무선 통신 시장의 급격한 성장에 따라서 이동 통신 단말기의 다양한 발전이 이루어지고 있다. 휴대용 전화를 비롯한 각종 기기들은 점점 소형화, 다기능화, 정량화되는 추세이며 특히 디자인을 개선하고 전체 단말기의 크기를 줄이는 것이 일반적인 흐름이다. 안테나는 작고, 고효율, 다중대역, 광대역, 적은 비용의 특징으로 설계되어야 한다. 이러한 시장의 방향에 맞추어 안테나 개발이 필수적인 요소가 되었다. 또한 하나의 안테나로 여러 대역을 사용할 수 있는 다중대역 및 광대역 안테나의 중요성도 점점 부각되고 있다. 이에 PIFA 구조를 통해 안테나의 소형화에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 다중대역에 대한 기법으로 L형 및 U형 슬롯(slot)을 이용하는 방법[1] 등이 있다. 일반적으로 U형 슬롯 방법에서는 슬롯의 넓이와 길이에 따라 공진 주파수가 결정된다[2]. U형 슬롯 설계에 있어 많은 경우 설계자의 직관과 경험을 통해 설계가 이루어지고 있으며 설계과정마다 많은 시간과 비용이 소요되는 어려움이 있다.

이에 본 논문에서는 ES[3]를 이용하여 U형 슬롯이 있는 삼중대역 PIFA를 설계하였다. VB를 이용하여 EM 해석 프로그램의 script를 활용하여 U형 슬롯의 최적 구조를 설계하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 삼중대역 PIFA 구조 설계

본 논문에서는 RFID 대역인 433MHz, 912MHz 및 2.45GHz 대역의 공진 주파수를 갖는 PIFA 구조의 삼중대역 안테나를 그림 1과 같이 설계하였다.



〈그림 1〉 설계된 삼중대역 PIFA 구조

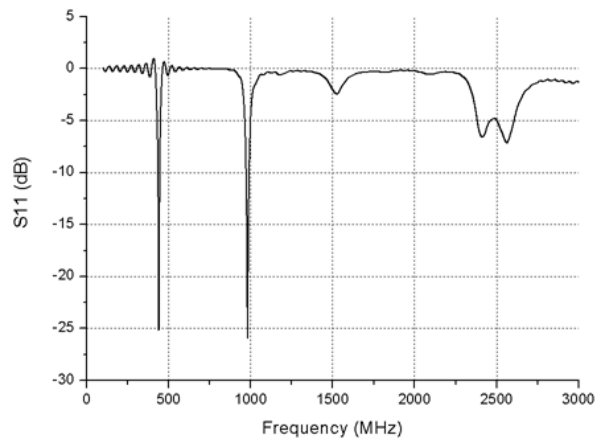
패치에 2개의 U형 슬롯을 이용하여 세 개의 공진 주파수를 형성할 수 있도록 설계하였다. PIFA 구조에서 낮은 공진 주파수는 식 (1)과 같이 기본 패치의 길이  $l$ 와 넓이  $w$ 에 의해 결정된다[2].

$$f_0 = \frac{c}{4(w+l)} \quad (1)$$

높은 주파수는 U형 슬롯 내부 패치의 넓이와 길이에 의해 결정된다. 유전율 4.4의 FR4기판을 사용하여 433MHz의 주파수를 갖는 PIFA 구조에 두 개의 U형 슬롯을 통해 각각 912MHz와 2.45GHz를 갖도록 U형 슬롯을 설계하였다. U형 슬롯의 초기 설계치와 EM 시뮬레이션 결과를 표 1과 그림 2에 나타내었다.

〈표 1〉 초기 설계변수와 특성

설계변수	단위	초기치		
W2	mm	41		
L2	mm	41		
W3	mm	15		
L3	mm	15		
Frequency	MHz	439.5	981.5	2563
S <sub>11</sub>	dB	-25.15	-15.90	-7.13



〈그림 2〉 초기 PIFA 설계 결과

표 1에서 U형 슬롯의 초기 설계치가 설계하고자 하는 삼중 대역의 주파수에서 공진 하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이에 U형 슬롯의 설계치를 구하기 위해 ES 기법을 이용하여 최적의 설계치를 구하였다.

##### 2.2 Evolution Strategy 최적 설계

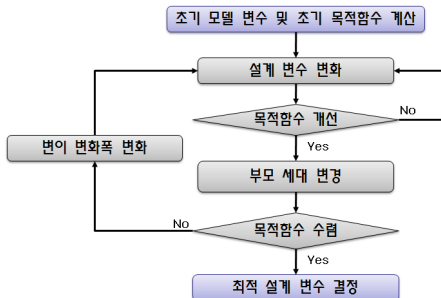
확률론적 최적화 방법 중 하나인 ES 기법에서 미리 정한 설계 변수 집합이 첫 번째 부모세대가 된다. 이 부모 세대로부터 일정한 범위내에서 확률 변수를 발생시켜 식 (2)와 같이 다음 세대를 생성시킨다. 생성된 세대는 부모세대와 구분하여 자식세대라 한다.

$$Xc(i) = Xp(i) + \alpha(i) \times R(i) \quad (2)$$

여기서  $Xp(i)$ 와  $Xc(i)$ 는 각각 부모세대와 자식세대이고,  $\alpha(i)$ 는 변

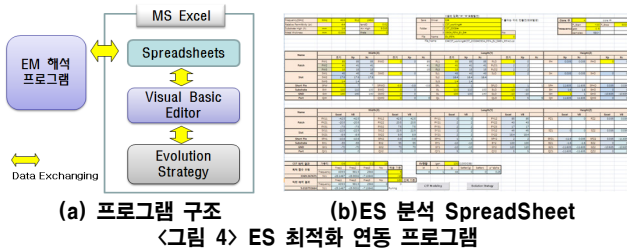
화 가능폭이며  $R(i)$ 는 평균이 0인 난수이다.

부모세대와 자식세대 전체를 전체를 통해 원하는 목적함수 값에 가장 적합한 변수 집합을 택하여 다음 부모 세대를 구성한다. 이런 반복 과정을 거치면서 변이의 변화폭을 조절하면서 목적함수에 가장 부합되는 최적 설계 변수들을 구하는 방법이다. 그림 3에 ES의 알고리즘을 나타내었다.



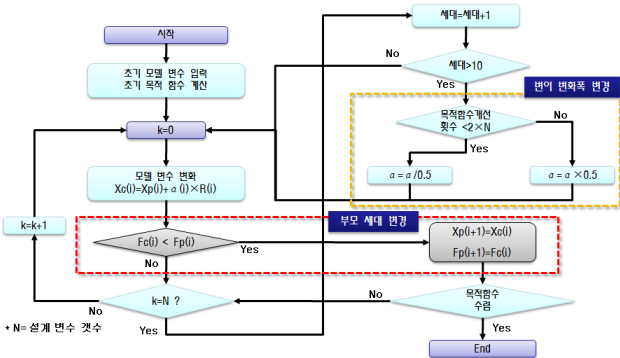
〈그림 3〉 Evolution Strategy 알고리즘

VB를 이용하여 ES 기법을 PIFA구조에 적용하기 위해 EM 해석 프로그램과 연동하는 인터페이스를 Excel로 구현하였다. 그림 4에 Excel과 EM 해석 프로그램 연동 인터페이스 환경을 나타내었다.



(a) 프로그램 구조 (b) ES 분석 Spreadsheet  
〈그림 4〉 ES 최적화 연동 프로그램

그림 1의 패치 및 U형 슬롯의 설계 변수에서 주요 변수인 W2, L2, W3, L3를 ES를 이용하여 최적 설계 값을 구하였다. ES의 최적 설계 프로그램의 순서도를 그림 5에 나타내었다.



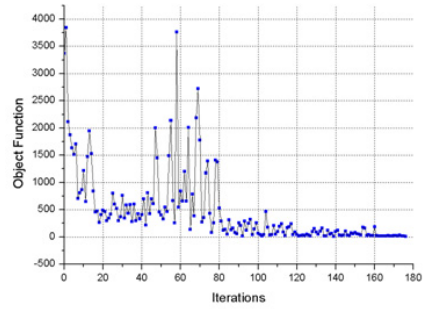
〈그림 5〉 ES 최적 설계 프로그램 순서도

$Fp(i)$ 와  $Fc(i)$ 는 각각 부모세대와 자식세대의 목적함수 계산 결과로 식 (3)과 같이 삼중 대역 PIFA의 설계 주파수인 433MHz, 912MHz와 2.45GHz를 목적함수와 공진 주파수에서의 S11을 구조조건으로 설정하였다.

$$\text{Minimize } F = \sum_{i=1}^3 \alpha_i (f_i - f_{oi})^2 \quad (3)$$

$$\text{Subject to } S_{11}(f_i) \leq -15\text{dB}$$

여기서  $\alpha_i$ 는 가중치이고  $f_i$ 는 수행한 결과의 주파수이며  $f_{oi}$ 는 목표 주파수이다. 그림 6에 목적함수 수렴도를 나타내었다.

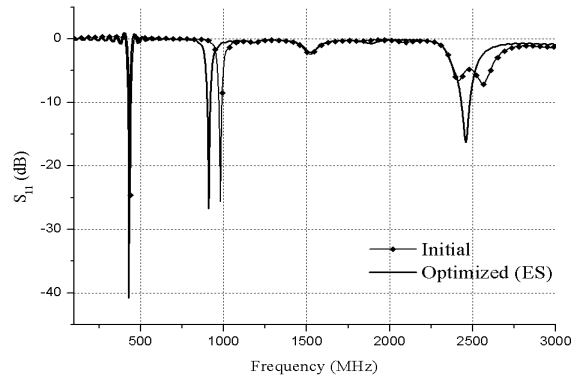


〈그림 6〉 목적함수 수렴도

그림 5를 통해 177회 반복 실험후에 수렴하는 것을 알 수 있다. ES 최적 설계 결과를 표2와 그림 7에 나타내었다.

〈표 2〉 최적 설계변수와 특성

설계변수	단위	최적 설계치		
W2	mm	50		
L2	mm	43		
W3	mm	13		
L3	mm	16		
Frequency	MHz	430	910.5	2458.5
S <sub>11</sub>	dB	-40.82	-27.22	-16.24



〈그림 7〉 초기 설계와 ES 최적 설계 결과 비교

### 3. 결 론

본 논문에서는 PIFA 구조의 삼중대역 안테나를 설계하기 위하여 ES 기법을 이용하여 최적 설계를 하였다. 또한, ES 분석을 위한 VB와 EM 해석 프로그램과의 연동 프로그램을 구현하였다. ES 최적 기법을 이용하여 PIFA의 최적 구조를 설계하여 430MHz, 910.5MHz 및 2458.5MHz의 공진주파수를 갖고 각각의 주파수에서 -40.82dB, -27.22dB, -16.24dB의 S11을 갖는 것을 확인하였다. ES 기법을 이용한 안테나 최적 설계를 통해 향후 다양한 안테나의 최적 설계 방법으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 〈감사의 글〉

본 연구는 2008년 중소기업 산학협력실 지원사업의 지원에 의해 수행 되었습니다.

### 〈참 고 문 헌〉

[1] P. Salonen, etc., "New slot configurations for dual-band planar inverted-F antenna," Microwave Optical Tech. Lett., vo.28, pp.293-298, March 5, 2001.  
 [2] Z. D. Liu, P. S. Hall, and D. Wake, "Dual-frequency planar inverted-F antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 45, pp. 1451 - -1458, Oct.1997.  
 [3] T. Back, Evolutionary Algorithms in Theory and Practice. Oxford, U.K.: Oxford Univ. Press, 1996.