

# 유전 알고리즘을 이용한 패치 안테나 형상 설계

## Patch Antenna Shape Design Using the Genetic Algorithm

송성문\*, 김철웅\*\*, 임희승\*\*, 유정훈†

Sung Moon Song, Cheolwoong Kim, Heeseung Lee and Jeonghoon Yoo

(2014년 9월 12일 접수; 2014년 9월 19일 심사완료; 2014년 9월 23일 게재확정)

### Abstract

This study deals with obtaining the optimal shape of a patch antenna via the topology optimization method in order to enhance its radiation efficiency. The genetic algorithm scheme is proposed for the optimization process to satisfy the design objective. As a result, the optimal patch shape through the proposed process shows highly improved radiation efficiency and reduced scattered effects. Commercial package COMSOL and Matlab programming are employed for the entire optimization and analysis processes.

**Key Words :** Patch antennas (패치 안테나), finite element method (유한요소법), genetic algorithm (유전 알고리즘), radiation efficiency (방사효율)

### 1. 서론

기술의 발전에 따라 통신장비의 크기는 점점 작아지면서 보다 향상된 성능을 보이고 있으며, 그 주요 부품 중의 하나인 패치 안테나(patch antenna)는 항공기, 우주선, 위성, 핸드폰 등에 널리 사용되고 있다 [1]. 전통적인 사각 형상을 가진 패치 안테나는 다른 안테나들 보다 상대적으로 낮은 방사 효율과 좁은 대역폭을 지니나, 작은 크기와 편파(polarization), 임피던스, 제조상의 이점을 가지고 있어 [2] 지금까지의 많은 연구들이 대역폭 향상에 초점이 맞춰져 있었다. Chiu 등은 급전, 형상, 배열의 방식을 바꾸면서 좀 더 넓은 대역폭과 다중 대역폭을 갖는 패치안테나 설계안을 제시하였다 [3]. U-slot 패치 안테나는 약 30% 향상된 대역폭을 제시하고 있으며 [4], Satthamsakul 등은 인셋(inset) 급전과 수정된 접지 평면에 대한 연구에서

일반적인 접지 평면과 다른 형상을 사용하여 대역폭을 증가시켰다 [5].

패치 형상의 변화는 패치안테나의 성능을 향상시키는데 효과적이기 때문에 다양한 구조설계 방식이 적용되어 왔다. 확률 과정을 이용하는 유전 알고리즘(genetic algorithm)은 최적 패치 형상을 얻기 위한 유용한 방법으로 널리 사용되어 왔으며 [6], 설계 변수가 적은 최적화 문제에서는 민감도에 기반한 최적설계가 효과적인 반면에, 설계 변수가 많은 경우엔 유전 알고리즘도 효율적으로 사용될 수 있다 [7]. 민감도에 기반한 최적 설계 방법 중 하나인 밀도법은 이미 대역폭 향상을 위해 패치안테나의 유전체 기판 설계에 적용된 바 있다 [8]. 민감도를 기반으로 한 최적설계는 설계 변수 변화에 대한 목적함수의 민감도 계산이 요구되나, 비선형 문제에서는 이러한 값의 도출이 쉽지 않으며, 유전 알고리즘이 전역적 최적해를 찾는 반면 민감도 기반의 최적설계는 국소 최적해를 찾는 차이점이 있다. 유전 알고리즘 적용의 유용성은 사각형이 아닌 형상을 갖는 다중 대역폭 패치 안테나 설계를 통해 입증된 바 있다 [9]. 또한 유전 알고리즘과 담금질 기법(simulated annealing)을 결합하여 컨포멀 안테나(conformal antenna)의 대역폭

† School of Mechanical Engineering, Yonsei University

E-mail : yoojh@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-2859

\* Mando Corporation

\*\* Graduate School of Mechanical Engineering, Yonsei Univ.

향상을 위한 형상 최적화 연구가 수행된 바 있다 [10]. Neyestanak 등은 유전 알고리즘을 동축 급전선을 갖는 W-shape 패치안테나의 형상 최적설계에 적용했고 퍼지 추론 시스템(fuzzy inference system)을 도입하여 설계 매개변수를 제어하는 연구를 수행하였다 [11]. 본 연구에서는 유전 알고리즘에 기반한 위상최적설계의 방법을 이용하여 방사효율(radiation efficiency)의 극대화를 위한 패치 안테나의 형상 설계를 수행하였다.

## 2. 설계 문제의 정의

패치 길이 10mm를 갖는 안테나 초기 형상은 주파수 6.0GHz부터 6.4GHz에서 작동한다. Fig.1(a)에서는 상용 패치지 COMSOL을 이용한 유한요소 해석을 위한 3차원 모델 형상을 나타내고 있다. 패치는 유전율 5.23을 갖는 기판 위에 위치하고 있고 입력 전력은 17mW 이다. 패치 안테나는 perfect electric condition으로 가정하였고 흡수( absorbing)경계 조건이 모델의 경계에 적용되었다.

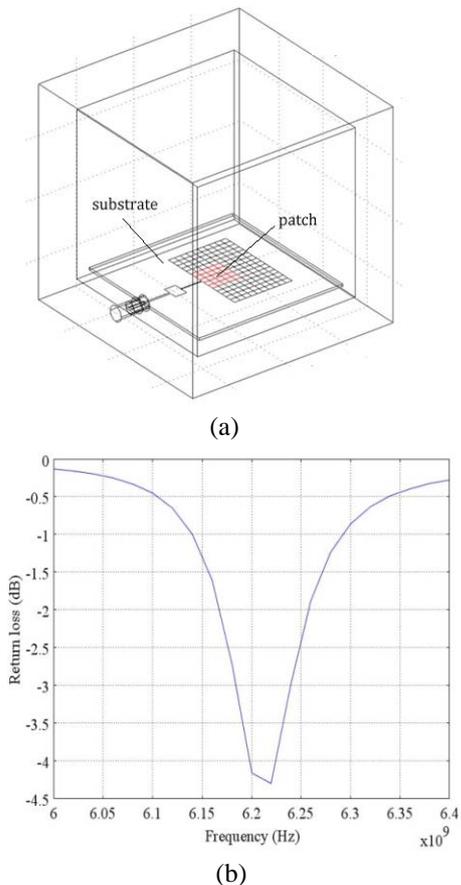


Fig. 1. Initial patch antenna model: (a) 3D entire model and (b) return loss of the model.

해석에 따른 반사 손실(return loss)은 Fig.1(b)에서와 같이 -4.365dB을 보이고 있다.

패치 형상의 설계는 방사효율의 최대를 목표로 하고 있으며, 방사효율의 최대는 반사손실의 최소화, 즉 반사손실 절대값의 최대화를 의미한다. 따라서 설계의 목적함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Maximize} \left( |S_{11}| = \left| 20 \log \sqrt{1 - \frac{P_{out}}{P_{in}}} \right| \right) \quad (1)$$

여기서  $|S_{11}|$ 은 반사손실의 절대값을 데시벨(dB) 스케일로 표현된 것을 나타내고  $P_{out}$ 과  $P_{in}$ 은 출력과 입력 전력을 나타낸다. 목표 주파수는 6.2GHz로 설정되었고, 위상 최적설계의 부피 제한조건은 최대 50%로써 이는 설계 영역의 50%는 재료로 구성되게 되며 이 부분이 패치 영역이 됨을 의미한다

## 3. 최적화 방법

유전 알고리즘에 기반한 최적화 방법은 민감도의 계산을 요구하지 않고 설계의 초기 형상에 영향을 받지 않으므로, 전역적 최적해를 찾을 수 있다. 최적화 방법은 Matlab 프로그래밍으로 구현하였다.

유전 알고리즘은 자연적 진화 연산기법이고 확률적 분포를 기본으로 한다 [12]. 이 방법은 효율적으로 전역적 최적해를 찾는 것으로 알려져 있으며 [13], 이것은 보편적인 함수의 최적화뿐만 아니라 구조나 전자기 문제 같은 최적화 문제에도 사용된다. 특히, 전자기장 내의 구조 설계 문제에서의 목적함수가 비선형인 경우가 많고 민감도 계산에 어려움이 많기 때문에 유전 알고리즘이 효율적으로 적용될 수 있다. 더욱이 안테나 거동 해석과 같은 전자기 문제의 해석에서는 일반적으로 대량의 컴퓨터 연산을 필요로 함을 고려할 필요가 있다 [14].

유전 알고리즘에서, 개체(individual)는 해(solution) 후보 중의 하나를 의미하고 이 개체들이 인구(population)를 구성하는데, 이때 인구는 해의 후보군을 의미한다. 연산이 진행되는 동안, 초기 인구가 무작위로 생성이 된다. 인구의 각 구성원 즉, 개체는 0과 1로 구성된 유전자를 가지고 있고 최적화 문제의 설계 변수로 정해진다. 인구는 선택(selection), 교차(crossover), 변이(mutation), 적합도 함수 평가(fitness function evaluation) 같은 주요 연산 과정을 거쳐 최적의 해를 도출하게 된다. Fig. 2는 유전 알고리즘의 일반적인 흐름도를 보여주고 있다.

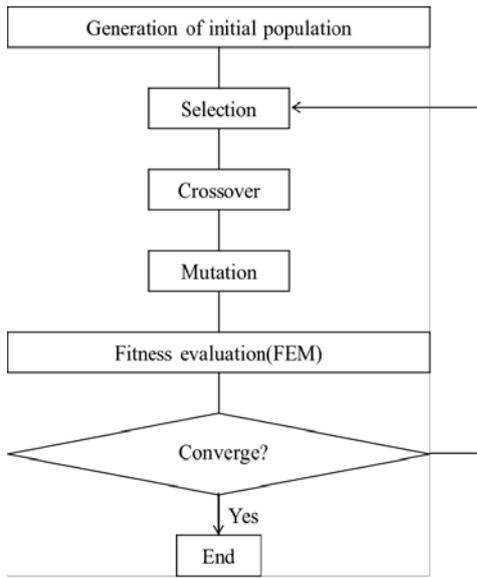


Fig. 2. Flowchart of the general GA process

최적화의 과정에서 개체들은 적합도 함수(fitness function)를 통해 평가되고 알고리즘은 높은 적합도 함수 값을 갖는 것들을 찾아낸다 [15]. 적합도 함수는 일반적으로 설계 목적함수와 유사하고 각 세대에서 반복적으로 수행된다. 특정한 개인들은 다음 세대를 위해 선택 과정을 통해 부모(parents)로서 선택된다. 선택적 방법에는 룰렛휠 선택 (roulette wheel selection, RWS)이 사용되었다. 룰렛휠 선택은 특정한 확률에 기반을 둔 높은 적합도 함수 값을 갖는 개체를 선택한다. 다시 말하면, 높은 적합도 값을 갖는 개체들은 부모가 될 수 있는 확률이 높다. 이렇게 선택된 부모들은 후손들을 생성하는 교차 과정을 거친다. 2차원 형상의 교차 연산은 Fig. 3과 같이 적용된다 [16]. 각각의 사각형들이 설계 영역에 생성되고 가중치 값들은 겹쳐진 사각 요소에 할당 된다(Fig. 3(a)). 설계 영역은 홀수와 짝수값의 영역으로 나뉘고 부모가 된다(Fig. 3(b)). Fig. 3(c)에 나타난 후손들은 영역들의 기저(base)로부터 생성된다. 각 요소들은 1과 0의 값을 갖는데 이것은 각각 재료와 빈 공간을 나타낸다. 후손의 유전자는 특정한 확률로 돌연변이 현상에 의해 바뀔 수 있으며 부모가 후손에게 물려주지 못한 다른 유전 정보를 가질 수 있다.

인구는 이러한 연산 과정들을 반복적으로 수행하게 되고 그에 따라 최적해가 결정된다. 이번 연구에서는 10개의 개체가 하나의 인구조로 지정되었고 총 50번의 세대 생성 과정을 갖도록 유전 알고리즘을 설정하였다.

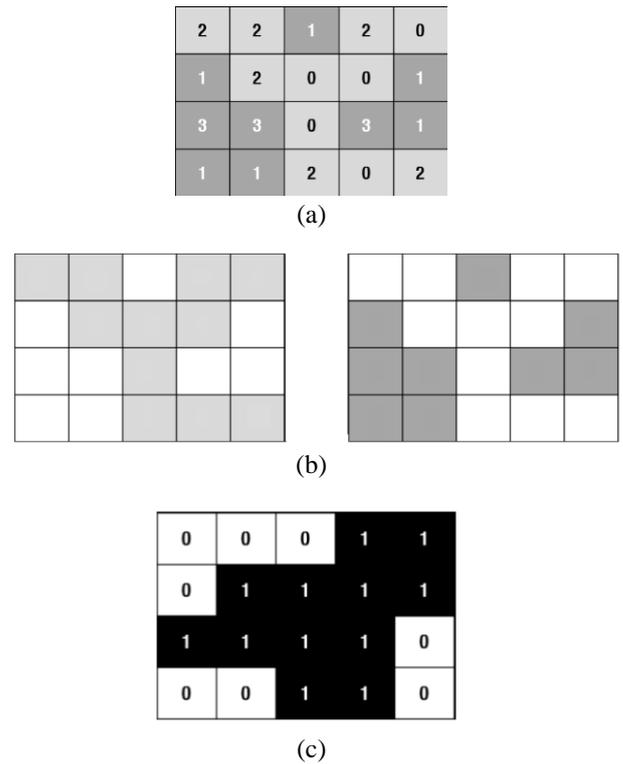


Fig. 3. Simple 2D crossover: (a) numbering into the design domain with even number region and odd number region, (b) parents in each region and (c) an offspring.

#### 4. 유전 알고리즘을 이용한 최적화 결과

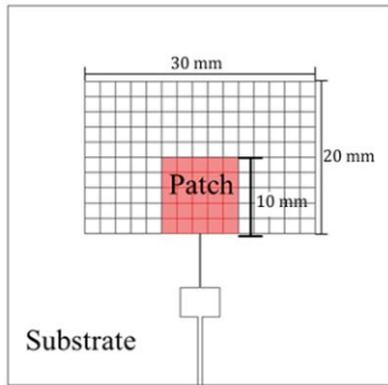
초기 유전자 값 1 또는 0은 유전 알고리즘 수행 전에 설계 영역에 사상(mapping)된다. 설계 영역은 Fig. 4 (a)에 나타내었듯이 향상된 결과를 얻기에 충분히 크게 지정되었다. Fig. 4(b)는 초기 유전 배열 분포가 패치 영역을 포함한 30x20mm 영역에 사상된 것을 보여주고 있다. 설계 영역은 15x10 요소들로 구성되어 있으며, 만약 요소가 1의 값을 갖는다면 그 부분은 금속(패치)으로 채워지고, 0의 값을 갖게 되면 기판의 재료로 채워지게 된다.

과정의 첫 번째 단계에서, 유전 알고리즘은 Fig. 5(a)에서 보여지는 것과 같이 확률적인 방식으로 10개의 개체들로 구성된 인구를 생성한다. 그림의 각 형상은 패치 해들의 후보들이고 이 형상들은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 적합도 함수 평가, 선택, 교차, 변이 연산을 거친다. 이번 연구에서는 유전 알고리즘 과정이 50세대로 제한되어 있으며 적합도 함수는 다음과 같이 정의되었다.

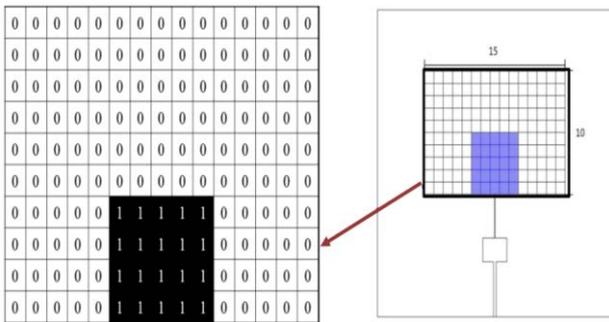
$$Fitness\ function = \left| 20 \log \sqrt{1 - \frac{P_{out}}{P_{in}}} \right| \quad (2)$$

적합도 함수의 정의는 식 (1)에 있는  $IS_{11}$  값의 향상을 위한 설계의 목적 함수와 같다. Fig. 5(b)는 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래 방향으로 가장 향상된 성능을 보여주는 최종 패치 형상을 나타내고 있고, 각 형상들은 분산된 섬(scattered island)의 구조를 가지고 있다. Fig. 5(c)는 설계의 각 단계에서의 목적함수 값의 변화를 나타내고 있다.

Fig. 6은 Fig. 5(b)의 왼쪽 위에 위치한 최적 형상(Fig. 6(a))과 해석을 통한 반사손실(return loss) 값을 주파수 대역에 따라 나타내고 있다 (Fig. 6(b)). 해석에 의한 반사 손실은 목표 주파수인 6.2GHz에서  $-20.28\text{dB}$ 을 갖고 있고, 약 99.06%의 방사효율을 보여주고 있다. Fig. 1(b)의 초기 모델의 해석과 비교할 때 이 결과는 약 300% 반사손실의 향상을 보여주고 있다.



(a)

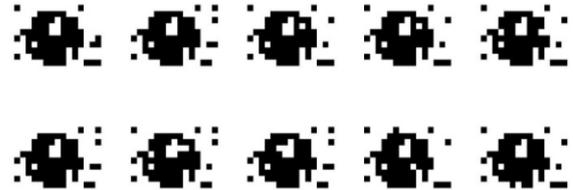


(b)

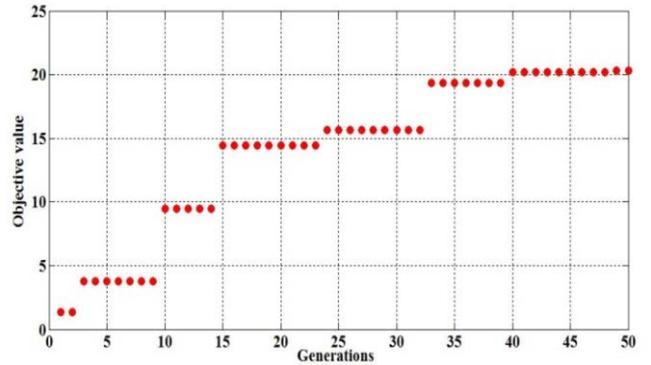
Fig. 4. Design set up: (a) design domain definition and (b) initial gene distribution.



(a)

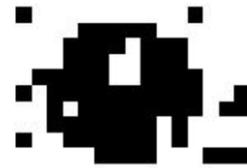


(b)

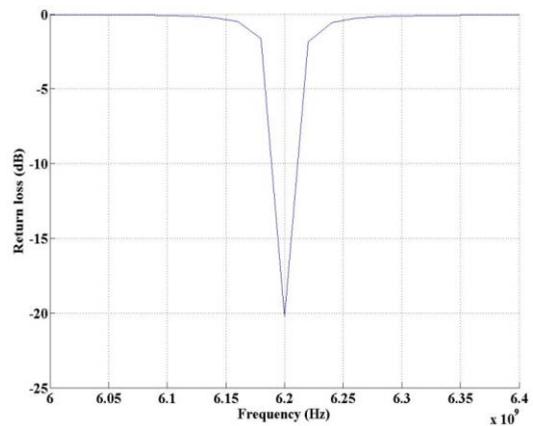


(c)

Fig. 5. Patch design results by the GA process: (a) initial population, (b) final shapes after 50 generations and (c) its convergence history.



(a)



(b)

Fig. 6. Final results after GA only process: (a) 2D patch shape and (b) return loss of the model.

## 5. 결론

본 연구에서는 일반적인 사각형 패치 안테나의 낮은 방사효율을 향상시키기 위한 패치 형상의 설계를 수행하였다. 유전 알고리즘을 이용한 위상최적화 방법을 초기 모델에 적용하여 최적의 형상을 도출하였고, 해석의 결과 약 300%의 방사효율의 증가를 확인하였다.

## 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0017512).

## REFERENCES

[1] C. A. Balanis, 1997, *Antenna Theory: Analysis and Design*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[2] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, 1997, *Antenna Theory and Design* Wiley, New York: John Wiley & Sons.

[3] C. Y. Chiu, K. M. Shum, C. H. Chan and K. M. Luk, 2003, "Bandwidth enhancement technique for quarter-wave patch antennas", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, Vol. 2, pp. 130–132.

[4] G. F. Khodaei, J. Nourinia and C. Ghobadi, 2008, "A practical miniaturized U-slot patch antenna with enhanced bandwidth", *Progress Electromag. Research B*, Vol. 3, pp. 47–62.

[5] S. Sathamsakul, N. Anantrasirichai, C. Benjangkaprasert and T. Wakabayashi, 2008, "Rectangular patch antenna with inset feed and modified ground-plane for wideband antenna", in *SCIE Annu. Conf.* Tokyo, pp. 3400–3403.

[6] R. Chelouah and P. Siarry, 2000, "A continuous genetic algorithm designed for the global optimization of multimodal function", *Journal of Heuristics*, Vol. 6, No. 2, pp. 191–213.

[7] R. Haupt, 1995, "Comparison between genetic and gradient-based optimization algorithms for solving electromagnetics problem", *IEEE Trans. Magnet.*, Vol. 31, No. 3, pp. 1932–1935.

[8] G. Kiziltas, D. Psychoudakis, J. L. Volakis and N. Kikuchi, 2003, "Topology design optimization of dielectric substrates for bandwidth improvement of a patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 51, No. 10, pp. 2732–2743.

[9] H. Choo and H. Ling, 2002, "Design of multiband microstrip antenna using a genetic algorithm", *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, Vol. 12, No. 9, pp. 345–347.

[10] Z. Li, Y. E. Erdemli, J. L. Volakis and P. Y. Papalambros, 2002, "Design optimization of conformal antennas by integrating stochastic algorithms with the hybrid finite-element method", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, Vol. 50, No. 5, pp. 676–684.

[11] A. A. L. Neyestanak, F. H. Kashani and K. Barkeshli, 2007, "W-shaped enhanced-bandwidth patch antenna for wireless communication", *Wireless Personal Communications*, Vol. 43, No. 4, pp. 1257–1265.

[12] D. Whitley, 1994, "A genetic algorithm tutorial", *Statistics and Computing*, Vol. 4, No. 2, pp. 65–85.

[13] E. Cantu-Paz, 2000, *Efficient and Accurate Parallel Genetic Algorithms*, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishes.

[14] D. S. Weile and E. Michielssen, 1997, "Genetic algorithm optimization applied to electromagnetics: a review", *IEEE Trans. Magnet.*, Vol. 45, No. 3, pp. 343–353.

[15] W. N. Martin and W. M. Spears, 2001, *Foundation of Genetic Algorithm 6*, London, UK: Academic Press.

[16] C. H. Im, H. K. Jung and Y. J. Kim, 2003, "Hybrid genetic algorithm for electromagnetic topology optimization", *IEEE Trans. Magnet.*, Vol. 39, No. 5, pp. 2163–2169.