

# PSO 알고리즘과 VBA를 이용한 Waveguide tee Junction의 최적설계 인터페이스 개발

## Development of Optimal Design User Interface for Waveguide tee Junction using PSO Algorithm and VBA

박 현 수\*, 변 진 규\*\*, 이 달 호\*\*\*, 이 향 범\*\*

Hyun-Soo Park, Jin-Kyu Byun, Dal-Ho LEE, and Hyang-Beom Lee

### Abstract

We developed an optimal design interface based on VBA(Visual Basic Application) that takes advantage of API(Application Program Interface) function of commonly used EM analysis software. The developed interface is adopted for an optimal design of a septum in a waveguide tee junction using PSO(Particle Swarm Optimization) algorithm. The objective function of the optimal design is defined by  $S_{11}$ -parameter of the waveguide tee junction. Design variables are established as position of the septum, that are changed to satisfy the design goal. Using the developed design interface and PSO algorithm, the objective function converged to the smallest value, showing the validity of the proposed method. The design interface was developed using Microsoft Excel software, enabling easy control of design parameters for user. Also, various analysis parameters can be set in the Excel interface, including waveguide input mode and frequency. After completion of the design, field solutions at user-specified positions can be extracted to the output files in complex number form.

**Keywords** : Optimal Design, Waveguide Tee Junction, Visual Basic Application, PSO(Particle Swarm Optimization) Algorithm

### 1. 서 론

마이크로파 기술은 첨단산업분야에서 그 응용의 잠재적 적용범위가 매우 넓기 때문에 선진 외국에서는 이미 이 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으며, 민간 기업뿐 아니라 범국가적인 차원에서 조직적인 연구가 이루어지고 있다. 더욱이 첨단 정보시대인 오늘날 팽창하고 있는 지식과 정보활동 등을 볼 때 마이크로파가 갖는 광대역성과 고속성에 그 성능을 기대하지 않을 수 없으며 마이크로파 기술은 정보전송에 중요한 매체로서 그 역할이 훌륭히 수행될 것이다[1].

마이크로파 에너지를 전송하는 가장 대표적인 선로는 도파관이다. 도파관의 성능은 전자파 에너지를 입력부에서 출력부까지 최소한의 손실을 갖고 전송하는 능력으로 평가될 수 있다. 본 논문에서는 마이크로파 에너지를 분리하거나 합치는 경우 사용되는 T형 분기 도파관(waveguide tee junction) 내에 존재하는 Septum의 최적설계를 위한 인터페이스를 마이크로소프트사의 엑셀과 3차원 유한요소 해석 프로그램인 HFSS를 통하여 개발하였다. 최적설계의 목적함수는 T형 분기 도파관의 반사계수인  $S_{11}$ 의 함수로 설정

하고, 이 목적함수를 최소화 시키는 T형 분기 도파관 내의 Septum의 위치를 설계변수로 설정하여 목적함수의 값을 최소로 하는 최적의 해를 도출한다. 최적의 해를 찾는 방법은 성능의 유용성과 우수성이 입증된 PSO(Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 이용하였다.

전자기 수치해석의 지배방정식은 맥스웰 방정식을 사용한다. 맥스웰 방정식은 모든 거시적인 전자기적 현상을 표현할 수 있는 방정식으로 이루어져있다. 맥스웰 방정식에 경계조건을 대입하여 문제에 적용하면 그 문제를 해석할 수 있게 된다. 시변계에서 적용되는 맥스웰 방정식 중 가우스 법칙과 암페어 법칙을 표현 하면 각각 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \nabla \cdot D &= \rho \\ \nabla \times H &= J + \frac{\partial D}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

변위전류의 발산은 전하의 축적으로 나타나는데, 자유전하는  $10^{-6}$ sec 이내에 소멸된다. 따라서  $10^5$ Hz 이하의 주파수에서는 변위전류의 변화율을 무시할 수 있으며 이는 모델 해석의 계산량을 감소시킬 수 있다. 하지만 마이크로파를 이용한 전자기 문제 해석 시 사용되는 주파수는  $10^9$ Hz 정도가 되어 변위전류 변화율을 무시할 수 없다. 이는  $10^5$ Hz 이하의 전자기 문제 해석 보다 수식이 복잡하게 되며 계산량의 증가로 이어진다. 이러한 마이크로파를 이용한 전자기 문제의 해결을 위해서 사용자가 Solver를 구현하여 해석 하는 방법은 상당히 어려운 방법이며 상용

접수일자 : 2009년 08월 14일  
 최종완료 : 2009년 08월 14일  
 \*충실대학교 전기공학과 대학원  
 \*\*충실대학교 전기공학과  
 교신처자, E-mail : hyang@ssu.ac.kr  
 \*\*\*경원대학교 전자공학과

소프트웨어를 사용하는 방법이 대안이 될 수 있다[2].

본 논문에서는 최적설계를 위해 범용 마이크로파 해석 프로그램인 HFSS를 사용하였으며, T형 분기 도파관의 사용자 편의성을 위한 Geometry 모델링과 결과 데이터의 저장을 위해 엑셀 프로그램의 VBA(Visual Basic Application)을 사용하여 인터페이스를 설계하였다.

## II. 본론

### 1. PSO 알고리즘

PSO(Particle Swarm Optimization)는 새로운 진화연산 기법의 일종으로 1995년 J. Kennedy와 R. Eberhart에 의해 제안되었다. PSO는 확률 최적화 알고리즘의 한 종류로 새의 무리나 벌 떼와 같은 생체 군집의 움직임이나 행동에 기초로 하여 만들어졌다. PSO 알고리즘은 복잡하고 불확실한 영역에서의 탐색이 가능하기 때문에 기존의 알고리즘보다 유연하고 강인하다는 장점이 가지고 있다. 또한 기존의 확률 최적화 알고리즘은 초기값의 설정에 알고리즘의 성능이 많은 영향을 끼쳤으며 수렴된 값이 확실한 전역 최소점인지 확인하는 작업이 필요했다. 하지만 PSO 알고리즘은 초기값을 설정하지 않아도 되며 수렴된 값은 항상 전역 최소점에 위치하는 장점이 있다. 이러한 PSO 알고리즘의 장점으로 기존의 알고리즘에 비하여 빠른 수렴과 탐색능력을 강화할 수 있는 특징을 갖는다[3].

PSO의 원리는 swarm이라 표현된 무리 또는 집단이 입자로 구성되어 있다고 가정한다. 새의 무리에서 한 마리의 새가 생활하기 좋은 위치를 찾을 때 전체무리를 움직이는 것처럼 각각의 입자들은 반복 계산을 통하여 함수 내에서 자신의 위치를 결정한다. 이 과정에서 한번의 계산을 통하여 얻어진 모든 입자의 위치 정보 중에서 가장 최적의 위치를 Gbest로 설정하고, 입자 자신의 경험 중 최적의 위치를 Pbest로 선정한다. 이렇게 설정된 두 가지의 정보와 이전 반복 계산의 입자 속도를 고려하여 전체의 입자는 목적 함수와 적합도가 가장 높아지는 위치로 이동하게 된다[2].

식 (2)는 PSO 알고리즘의 차원을 나타낸다. PSO 알고리즘에서 무리의 각각의 입자들은 n-차원의 공간을 이동하며 특정 반복 계산 i 에서의 위치는 좌표 x의 벡터에 의해 결정된다.

$$X(i) = (x_1(i), x_2(i), x_3(i), \dots, x_n(i)) \quad (2)$$

PSO에서 각 입자들은 현재의 위치 벡터와 속도 벡터, 그리고 Pbest와 Gbest를 이용하여 식 (3)과 식 (4)에 의해 이동한다[3].

$$v_{jk}(i+1) = w \times v_{jk}(i) + C_1 \times rand() \times (P_{best,jk}(i) - x_{jk}(i)) + C_2 \times rand() \times (G_{best,k}(i) - x_{jk}(i)) \quad (3)$$

$$x_{jk}(i+1) = x_{jk}(i) + v_{jk}(i) \times \Delta t \quad (4)$$

$v_{jk}(i)$  : i 번째 반복 계산에서 k 차원 j 입자의 속도

w : 관성 가중치

$C_1, C_2$  : 가속 상수

$P_{best,jk}(i)$  : i 번째 반복 계산에서 j 입자의 최적 위치

$G_{best,k}(i)$  : i 번째 반복 계산에서 전체 입자의 최적 위치

rand() : 0과 1 사이의 임의의 수 생성

식 (3)에서 i+1 번째의 새로운 속도는 실제 속도와 Pbest에 의한 속도 정보와 Gbest에 의한 속도 정보의 합으로 결정된다. 실제 속도는 관성 가중치 w에 의하여 조정되어 새로운 속도를 결정하게 된다. 만약 j 번째 입자의 위치와 입자 자신이 반복 계산을 통해 얻었던 위치 중 가장 좋은 위치와 상당히 떨어져 있다면 새로운 입자의 속도는 커지며 마찬가지로 전체 입자의 최적의 위치와 상당히 떨어져 있다면 새로운 속도 또한 커지게 된다. i 번째 반복 계산의 현재 속도는 관성 가중치 w에 의하여 조정되는데 w의 값은 0 ~ 1 사이의 값을 가지며 반복 계산 초기에는 1에 가까운 값으로 선택하여 빠른 속도로 차원의 탐색을 가능하게 하고 반복 계산 말기에는 0에 가까운 값을 선택하여 정확한 최적의 위치를 찾을 수 있게 한다[4].

### 2. PSO 알고리즘을 이용한 최적설계

PSO 알고리즘을 이용한 최적설계 수행 절차는 다음과 같다.

- Step1) 설계 변수의 개수에 1을 더한 값을 PSO의 차원으로 설정한다. 각 입자들은 설계 변수가 가질 수 있는 최대값 및 최소값 사이에 랜덤하게 생성된다.
- step2) 초기 랜덤하게 생성된 입자의 위치에서 상용 소프트웨어를 이용하여  $S_{11}$ 를 계산한 후 이들 모두를 Pbest로 설정한다.
- step3) 모든 Pbest 중에 가장 작은 값을 갖는 입자를 Gbest로 설정한다.
- step4) 관성 가중치 값을 계산한다.
- step5) 식 3에 의해 각 입자들의 속도벡터를 갱신 한 뒤 식 4에 의해 각 입자들의 위치벡터를 갱신한다.
- step6) 갱신된 위치 정보를 갖는 입자의 위치에서 상용 소프트웨어를 이용하여  $S_{11}$ 를 계산한 후 각 입자들의 Pbest를 재설정하고 Pbest의 입자들 중 가장 작은 값을 입자의 적합도와 초기 선정된 Gbest의 적합도를 비교해서 Gbest를 재설정한다.
- step7) 종료조건을 만족하면 최종적으로 생성된 Gbest가 최적해를 나타내며 탐색과정을 종료한다. 종료조건을 만족하지 않으면 Step4부터 반복한다.

아래는 소스 코드의 일부이다.

```

For i = 1 To particles
  For j = 1 To variables
    If par[i,j]>=maxdomain Then
      par[i,j] = maxdomain
    End If
    If(par[i,j]<=mindomain)
  
```

```

par(i,j) = mindomain
End If
Next j
Next i ,

```

위의 코드는 랜덤 한 위치에 생성된 입자가 도파관의 최대 위치를 벗어난 경우 최대값으로 고정하며, 최소 위치를 벗어나는 경우 최소값으로 고정한다.

관성 상수는 다음과 같은 규칙에 의해서 결정된다.

$$w = (\text{iteration} - \text{curiter}) / \text{iteration}$$

여기서 iteration은 사용자가 미리 정한 최대 반복 계산 수를 의미하며 curiter는 현재 반복 계산수를 의미한다.

각 입자의 속도 갱신은 다음과 같은 규칙에 의해서 갱신한다.

```

Range("P2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1="=MIN(R{3}C{1}:R{3}C{5})"
temp=Range("P2").value
If(temp<globalcost) Then
    globalpar = par(1,i)
    globalcost = temp
End If

```

반복 계산이 진행되면서 입자의 S<sub>11</sub>의 값은 엑셀 시트의 Q5 ~ U5에 저장된다. 이 값 중 최소값을 찾아 temp 변수에 저장한 후 Gbest와 비교하여 temp의 값이 작은 경우 Gbest를 업데이트 하고 S<sub>11</sub>의 최소값을 갖는 입자의 Pbest를 갱신한다.

### 3. 해석모델

해석에 사용된 간략화 된 T형 분기 도파관 모델은 그림 1과 같다.

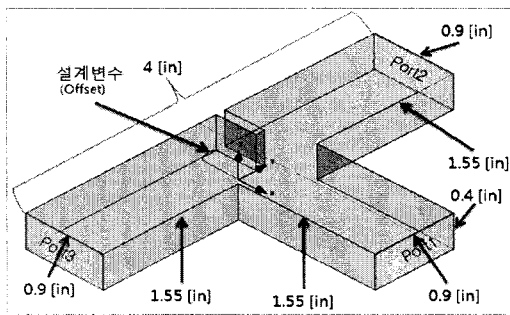


그림 1. 해석에 사용된 간략화 된 T형 분기 도파관  
Fig. 1. Simple waveguide tee junction used analysis

마이크로파의 진행은 Port1(- $\hat{a}_x$ )에서 입사하여 Port2(- $\hat{a}_y$ )와 Port3( $\hat{a}_y$ ) 방향으로 출력 되게 된다. 입사하는 파의 반사계수를 조절하기 위해서  $\hat{a}_y$  방향에 Septum을 설치하였다. 해석에 사용된 T형 분기 도파관의 크기는  $4 \times 4 \times 0.4$  [in]이고 Septum의 두께는 0.1 [in]로 설계 하였다.

### 4. 최적화 해석 결과

해석에 사용된 설계 변수는 Septum의 위치이다. 따라서 PSO 알고리즘의 차원은 2차원으로 설정하였다. 또한 해석 시간을 줄이기 위하여 사용된 입자의 수는 5개로 한정 하였다. PSO 알고리즘의 특성상 계산의 반복을 위해서는 상용 소프트로 계산된 목적함수의 값이 필요하다. 입자의 수가 5개일 때 한 번의 반복 계산을 위해서 상용 소프트웨어는 5번의 계산이 필요하게 되어 형상이 복잡한 문제에서는 입자의 수가 많아질수록, 설계 변수의 수가 많아질수록 최적 해를 도출하는데 걸리는 시간은 증가하게 된다.

본 논문에서 최적의 해를 얻는데 걸린 반복 계산 횟수는 13번으로 5개의 입자를 사용하였을 때 상용 소프트웨어의 계산 횟수는 65번이다. 본 논문에서 제시한 문제에서 상용 소프트웨어가 1번 계산하는데 걸리는 시간은 약 50 Sec로 65번의 계산을 위해 걸린 시간은 51 min 이다.

표 1은 PSO 알고리즘을 사용하여 얻은 데이터로 입자의 위치와 그에 따른 S<sub>11</sub>의 크기를 표로 작성 하였다.

표 1. 반복 계산에 따른 입자의 위치와 S<sub>11</sub>-Parameter의 값  
Table 1. The position of particle and S<sub>11</sub>-Parameters's value running reiterate calculation

Iteration	입자의 위치[in]	S <sub>11</sub> -Parameter
1	0.17461327	0.104680091
	0.35941365	0.159067494
	0.42649453	0.280790851
	0.60184651	0.717821841
	0.63941696	0.8238751
2	0.24561322	0.023898439
	0.26931218	0.01015937
	0.35513542	0.15879813
	0.45645123	0.34570290
	0.49465132	0.4330055
⋮	⋮	⋮
12	0.26326854	0.001083069
	0.26326766	0.0015516
	0.26326655	0.00081245
	0.26326621	0.000812921
	0.26326541	0.000814019
13	0.26326650	0.000866723
	0.26326674	0.00112194
	0.26326655	0.000808509
	0.26326648	0.002085137
	0.26326651	0.00081251
입자의 값 차이가 1e-5 이하이므로 iteration 종료		

위의 결과에서 음영을 썬은 부분은 각 반복 계산에서 입자의 최소값을 나타낸다. 이 값은 각 반복 계산에서 Gbest로 저장되고 이전의 Gbest와 비교하여 더 작은 값이

최종적으로 설정된다.

PSO 알고리즘은 랜덤 수 발생 함수를 사용하여 같은 최적설계를 반복 하더라도 과정의 수치는 같지 않다. 하지만 결과의 수치는 PSO 알고리즘이 전역 최소값으로 수렴하기 때문에 항상 같은 결과를 갖는다[5].

### III. 결 론

본 논문에서는 상용 3D 유한요소 프로그램인 HFSS와 상용 전자파해석 소프트웨어의 API(Application Program Interface) 기능을 활용하는 VBA(Visual Basic Application) 기반의 최적 설계 인터페이스 확률 최적설계 알고리즘인 PSO 알고리즘을 이용하여 개발 하였다. Septum의 T형 분기 도파관 내의 위치를 설계 변수로 하였을 때 계산된 Septum의 위치는 도파관의 중심에서 0.26326655[in]에 위치하는 지점이 최적 설계 인터페이스를 통하여 설계되었다.

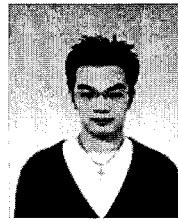
본 논문에서 진행된 최적 설계 방법은 확률 최적설계 알고리즘으로 설계 변수가 많아지거나 입자의 수가 증가되는 경우 해석 시간이 길어진다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하는 방법으로 민감도를 이용한 최적설계 기법이 이미 많은 논문을 통해 소개되었고 연구되고 있다. 연속체 민감도 해석에서는 E Field 또는 H Field의 데이터를 필요로 한다. 본 논문에서 설계된 최적설계 인터페이스에서는 사용자가 필요한 Field 데이터를 결과 데이터로 얻을 수 T형 분기 도파관(waveguide tee junction)의 Septum의 최적 설계 뿐만 아니라 차후 연속체적 민감도 해석에도 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원(2009T100100596) 주관으로 수행된 과제임.

#### [ 참고 문헌 ]

- [1] 통신시스템연구조합, "Waveguide 및 Filter 제조기술 개발", 과학기술처 1차년도 연차보고서, 1993
- [2] 박현수, 변진규, 이향범, "RF소자의 최적설계를 위한 인터페이스 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2009.
- [3] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, vol. IV, pp. 1942-1948, 1995
- [4] J. Robinson, S. Sinton, and Y. Rahmat-Samii, "Particle swarm, genetic algorithm, and their hybrids: optimization of a profiled corrugated horn antenna," in *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. Dig.*, vol. 1, 2002. pp. 314-317.
- [5] Simone Genovesi, "Particle Swarm Optimization for the Design of Frequency Selective Surfaces", *IEEE Antennas and wireless propagation letters*, vol.5, 2006



#### 박 현 수

2009년 숭실대학교 전기공학과 졸업  
 2009년~현재 숭실대학교 전기공학과 석사 과정  
 <관심분야> 전자기기 최적설계, 전자장  
 수치해석, RF 소자 최적설계  
 <e-mail> zssampak@ssu.ac.kr



#### 변 진 규

1995년 서울대학교 전기공학과 졸업  
 1997년 서울대학교 전기공학과(공학석사)  
 2001년 서울대학교 전기공학과(공학박사)  
 2008년~현재 한국전자파학회 전자장파  
 생체관계 연구회 위원  
 2008년~현재 숭실대학교 조교수  
 <관심분야> 전자기 최적설계, 생체 전기  
 <e-mail> jkbyun@ssu.ac.kr



#### 이 달 호

1982년 서울대학교 제어계측공학과 졸업  
 1984년 서울대학교 제어계측공학과 졸업 (공학석사)  
 1992년 서울대학교 제어계측공학과 졸업 (공학박사)  
 1992년~현재 경원대학교 전자공학부 교수  
 <관심분야> 영상압축, 비디오처리  
 <e-mail> dhlee@mail.kyungwon.ac.kr



#### 이 향 범

1989년 서울대학교 전기공학과 졸업  
 1991년 서울대학교 전기공학과(공학석사)  
 1995년 서울대학교 전기공학과(공학박사)  
 1998년~현재 숭실대학교 전기공학부 교수  
 <관심분야> 전자기기, 비파괴검사, 전자장  
 수치해석 및 설계, 전자기 센서 설계 및 개발  
 <e-mail> hyang@ssu.ac.kr