

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.4.41
JIIBC 2019-4-7

마이크로스트립 패치 안테나 설계에서 타구치 직교배열표의 유용성 분석

Analysis for Usefulness of Taguchi's Orthogonal Array in Microstrip Patch Antenna Design

김재연*, 장대순**, 허정*

Jae-Yeon Kim*, Tae-Soon Chang**, Jung Hur*

요약 타구치 직교배열표를 활용하여 마이크로스트립 패치 안테나 설계를 효율적으로 수행 가능한지를 분석하였다. 비교 및 분석을 위하여 U-슬롯 마이크로스트립 패치 안테나에서 U-슬롯의 모양과 변형된 급전부의 요소를 파라미터로 정했다. 해당 파라미터들의 스윙을 통해 도출된 모든 시뮬레이션의 결과와 타구치의 직교배열표를 이용하여 도출된 축소 시뮬레이션 결과를 비교분석하였다. 파라미터 스윙을 이용하여 진행된 19,683회의 시뮬레이션을 타구치의 직교배열표를 이용한 27번의 시뮬레이션으로 대폭 축소하였으며, 파라미터 스윙과 직교배열표를 이용한 시뮬레이션의 평균 10dB 대역폭은 3.7%의 오차를 가진다. 따라서, 시뮬레이션 횟수를 줄이고도 효율적으로 안테나 파라미터 특성을 파악할 수 있음을 확인했다.

Abstract This paper is analysis on usefulness of Microstrip patch antenna design using Taguchi's Orthogonal array. For comparison, the shape of U-slot and Feed line elements are decided as a parameter in Microstrip patch antenna. And all the possible result of 19,683 times simulation using parameter sweep and the result of Taguchi's orthogonal arrays are compared. The simulation of Parameter sweep and Orthogonal arrays has 3.7% error on 10dB Bandwidth. Finally, It is identified that 19,683 times parameter sweep simulation can be reduced to 27 times with Taguchi's orthogonal arrays but still it represents antenna parameter characters well.

Key Words : Microstrip patch Antenna, Taguchi, Orthogonal Array, U-slot

1. 서 론

기존의 파라미터 스윙을 통해서 안테나를 설계한 것과 타구치의 직교배열표를 활용하여 안테나를 설계한 결과를 비교분석하였다^{[1]-[6]}. 먼저 U-슬롯 마이크로스트립 패

치 안테나에서 슬롯의 길이, 슬롯의 폭, 슬롯의 위치, 급전부의 여러 요소를 파라미터로 두고 모든 파라미터의 경우의 수에 대해 시뮬레이션을 진행했다. 다음으로 타구치의 직교배열표를 이용하여 동일한 파라미터를 가지고 경우의 수가 대폭 감소된 시뮬레이션을 진행했으며 앞선

*준회원, 건국대학교 전기전자공학부

**정회원, 서울대학교 정보통신공학과(교신저자)

*정회원, 건국대학교 전기전자공학부

접수일자 2019년 4월 5일, 수정완료 2019년 7월 2일
게재확정일자 2019년 8월 2일

Received: 5 April, 2019 / Revised: 2 July, 2019 /

Accepted: 2 August, 2019

**Corresponding Author: jds6205@hanmail.net

Dept. of Information and Communication Engineering, Seoil University, Korea

결과와 비교분석하였다. 최소한의 시뮬레이션을 통해서도 파라미터 스윕의 결과에 비해서 각각의 파라미터가 안테나의 속성에 어떤 영향을 미치는지를 대략적으로 파악가능한지를 파악하고자 한다. 안테나의 시뮬레이션은 안테나 분석툴인 HFSS(High-Frequency Structure Simulator)를 사용하였다.

II. 마이크로스트립 패치 안테나 설계

본 연구를 위해 기본적으로 설계한 것은 U-slot과 급전부의 변형이 없는 마이크로스트립 패치 안테나이다^[7]. 그림 1(a)에서 마이크로스트립 패치 안테나의 기본 설계를 볼 수 있다. 패치의 크기는 가로 38.04mm, 세로 29.44mm이며 급전선은 가로 1.8mm, 세로 25mm이다. 패치 밑 유전체는 FR4 epoxy로 상대유전율은 4.4이며 두께는 1.6mm이다. 전체 기판의 크기는 50mm × 59.72mm이다. 그림 1(b)에서 안테나의 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다. 그림 1(b)의 시뮬레이션 결과를 보면 중심주파수는 2.4GHz이며, 10dB 대역폭은 42MHz이다.

본 연구에서는 기본적인 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 중에서 패치 부분에 U-slot을 삽입하고, 급전부 구조의 변형을 통해 10dB 대역폭을 늘리는 것을 목표로 했다.

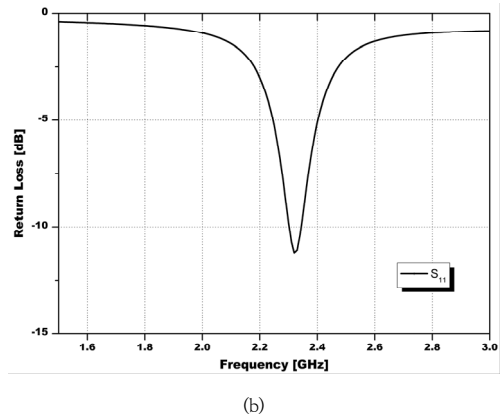
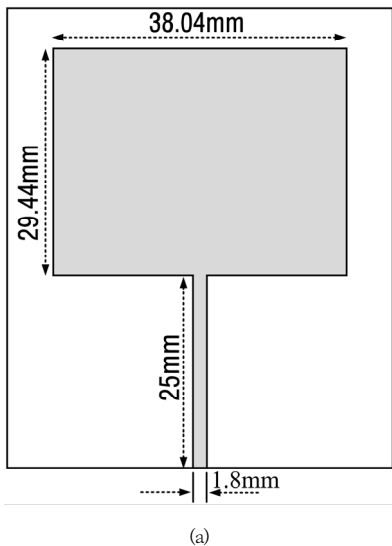


그림 1. 원형 마이크로스트립 패치 안테나와 시뮬레이션 결과
Fig. 1. Microstrip Patch Antenna and Simulation result

그림 2는 10dB 대역폭을 늘리기 위해서 그림 1(a)의 원형 마이크로스트립 패치 안테나의 구조를 바꾼 것으로, U-Slot과 급전부의 구조 변형을 추가하였다. U-Slot에 관련된 파라미터는 Lx, Ly, Wx, Wy, Py의 5개가 있으며, 급전부의 구조 변형에 관련된 파라미터는 Fx, Fy, Gx, Gy의 4개로 변수가 되는 파라미터는 총 9개이다. 만약 각각의 파라미터에 대하여 3번의 시뮬레이션을 반복한다면 총 실험횟수는 $3^9=19,683$ 회가 필요하다.

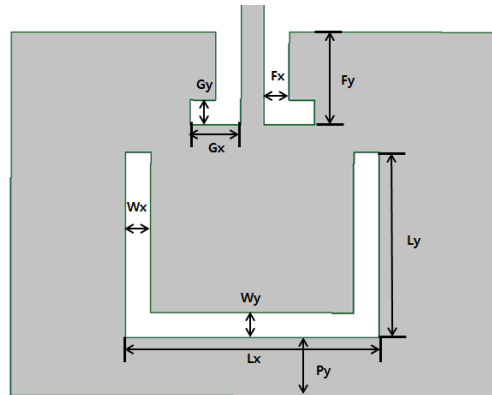


그림 2. 변형된 급전부의 구조를 가지는 U-slot 마이크로스트립 패치 안테나
Fig. 2. U-slot Microstrip patch antenna with modified Feed line

III. 타구치의 직교배열표

타구치가 고안한 직교배열표(Orthogonal Arrays)는

표 1. L27(3¹³)형 직교배열표

Table 1. L27 Orthogonal Arrays

실험 번호	열번호(변수)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

기술적으로 의미가 없다고 판단되는 고차의 교호작용에 관한 정보를 희생시켜, 실험횟수를 적게 할 수 있는 실험계획을 짤 수 있도록 만들어 놓은 표이다. 따라서 변수의 종류 및 횟수가 많은 본 설계와 같은 경우에 타구치의 직교배열표가 적용가능하다고 판단되었다. 직교배열표는 사용하는 변수의 개수와 그 수준수에 따라 여러 가지 종류가 있는데, 본 설계에서는 인자의 수준수가 3인 실험에 대하여 최대 13개의 변수를 사용할 수 있는 L27(3¹³)형 직교배열표를 이용하였다.

표 1에서 볼 수 있는 L27형 직교배열표는 최대 3¹³=1,594,323회의 실험을 27회로 줄일 수 있으며, 본 설계에서는 수준수가 3인 실험에 대하여 9개의 변수를 사용, 4개의 변수에 대한 열을 공백으로 둠으로서 3⁹=19,683회의 실험을 27회로 간략화하였다.

IV. 결과 및 분석

시뮬레이션은 표 2의 3수준 실험계획에 따라 시행하였으며, 9개의 변수(Lx, Ly, Wx, Wy, Py, Fx, Fy, Gx,

Gy)에 대한 각각 3회의 시뮬레이션으로 전체 횟수는 총 3⁹=19,683회이다. 변수 중 U-slot 또는 급전부의 폭을 결정하는 Fx, Fy, Gx, Gy, Wx, Wy는 수준1의 수치를 0.1 mm로 놓음으로서 폭이 0 mm일 때의 대역폭과 비교하고자 하였다.

표 2. 3수준 실험계획

Table 2. 3-level Simulation plan

인자 \ 수준	수준1	수준2	수준3
Lx	10	15	20
Ly	10	15	20
Fx	0.1	0.55	1
Fy	0.1	5.05	10
Gx	0.1	5.05	10
Gy	0.1	0.55	1
Py	10	12	14
Wx	0.1	0.55	1
Wy	0.1	0.55	1
전체 단위는 [mm]			

표 3의 3수준 실험결과는 표 2의 3수준 실험계획을 표 1의 L27형 직교배열표에 적용하여, 총 27회의 시뮬레이션에 대한 결과를 도출한 것이다. 더불어서 비교분석을

위해 해당 파라미터들의 스왑을 통해 19,683회의 시뮬레이션 결과를 얻었고, 각각의 경우에 대해 10dB 대역폭을 정리했다. 이를 토대로 표 3의 직교배열표를 적용한 27회 각각의 안테나 디자인에 대한 대역폭이 전체 19,683회의 시뮬레이션에서 어느 위치에 있는지를 확인하기 위하여, 순위(rank)를 매겼다. 순위는 2.2~2.6GHz 사이의 10dB 이하의 대역폭의 크기를 기준으로 하였으며, 10dB 이하의 대역폭을 가지더라도 관심대역인 2.2~2.6GHz 사이에 있지 않으면 대역폭이 0인 것으로 계산하여 정확성을 더했다.

먼저 19,683회의 파라미터 스왑을 통해 도출된 2.2~2.6GHz 대역에 대한 평균 10dB 대역폭은 27.68MHz로 나타났으며, 대역폭이 0인 것은 8940번으로 전체 중 45.4%이다. 또한 같은 조건의 직교배열표 27회시뮬레이션에 대한 평균 대역폭은 26.70MHz이며 이 중 대역폭이 0인 것은 총 14번으로 51.9%이다.

결과적으로 파라미터 스왑과 직교배열표를 이용한 실험에 따른 평균 10dB 대역폭은 3.7%의 오차를 가지며 대역폭이 0인 횟수의 비율은 6.5%의 오차를 보이는 것을

확인했다. 따라서 직교배열표를 통한 27회의 실험계획이 전체 19,683회의 시뮬레이션에 대한 결과를 잘 반영한다고 볼 수 있다.

표 3에서 볼 수 있듯이 직교배열표 27회의 실험 중 가장 대역폭이 큰 것은 22번 실험으로 69.52MHz이다. 마이크로스트립 패치 안테나의 구조는 그림 3(a)이며 U-slot 및 급전부 구조의 파라미터는 표 4에서 볼 수 있다. 그 외 나머지 부분인 패치의 크기는 38.04mm × 29.44mm이며 급전선은 가로 1.8mm, 세로 25mm, 전체 기판의 크기는 50mm × 59.72mm이다.

이 구조에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 3(b)로 10dB 대역폭이 69.52MHz로 나타났다. 이는 19,683회 중 24등으로 상위 0.12%에 속한다. 22번 실험 결과는 U-slot 과 급전부의 구조 변형이 없었던 원형의 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭인 42MHz에서 약 166%로 대역폭이 확장된 결과이다. 이를 통해 직교배열표를 이용해서 훨씬 적은 횟수의 시뮬레이션을 통해서도 효율적으로 안테나의 파라미터 특성을 파악할 수 있음을 확인했다.

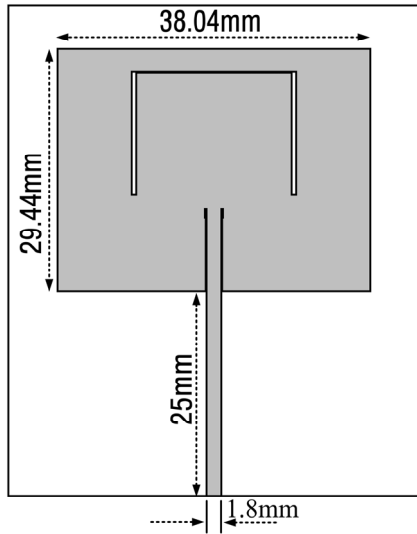
표 3. 3수준 실험결과

Table 3. 3-level Simulation result

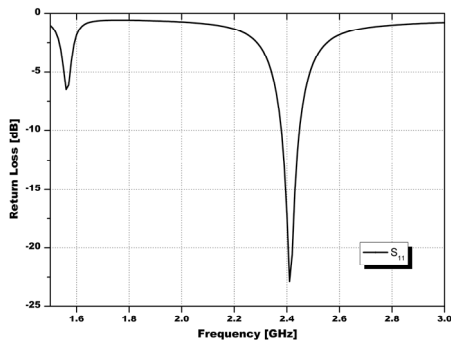
실험 번호	열번호(번수)									10dB BW[MHz] (2.2-2.6GHz)	Rank
	1(Lx)	2(Ly)	3(Fx)	4(Fy)	5(Gx)	6(Gy)	7(Py)	8(Wx)	9(Wy)		
1	10	10	0.1	-0.1	0.1	0.1	-10	0.1	0.1	40.4983	8463
2	10	10	0.1	-0.1	5.05	0.55	-12	0.55	0.55	39.5702	8581
3	10	10	0.1	-0.1	10	1	-14	1	1	45.6483	7562
4	10	15	0.55	-5.05	0.1	0.1	-10	0.55	0.55	0	10744
5	10	15	0.55	-5.05	5.05	0.55	-12	1	1	0	10744
6	10	15	0.55	-5.05	10	1	-14	0.1	0.1	0	10744
7	10	20	1	-10	0.1	0.1	-10	1	1	0	10744
8	10	20	1	-10	5.05	0.55	-12	0.1	0.1	0	10744
9	10	20	1	-10	10	1	-14	0.55	0.55	0	10744
10	15	10	0.55	-10	0.1	0.55	-14	0.1	0.55	68.9338	59
11	15	10	0.55	-10	5.05	1	-10	0.55	1	0	10744
12	15	10	0.55	-10	10	0.1	-12	1	0.1	0	1044
13	15	15	1	-0.1	0.1	0.55	-14	0.55	1	58.3071	4466
14	15	15	1	-0.1	5.05	1	-10	1	0.1	66.3203	582
15	15	15	1	-0.1	10	0.1	-12	0.1	0.55	48.5313	6929
16	15	20	0.1	-5.05	0.1	0.55	-14	1	0.1	54.417	5624
17	15	20	0.1	-5.05	5.05	1	-10	0.1	0.55	0	10744
18	15	20	0.1	-5.05	10	0.1	-12	0.55	1	0	10744
19	20	10	1	-5.05	0.1	1	-12	0.1	1	0	10744
20	20	10	1	-5.05	5.05	0.1	-14	0.55	0.1	53.8886	5781
21	20	10	1	-5.05	10	0.55	-10	1	0.55	0	10744
22	20	15	0.1	-10	0.1	1	-12	0.55	0.1	69.5214	24
23	20	15	0.1	-10	5.05	0.1	-14	1	0.55	0	10744
24	20	15	0.1	-10	10	0.55	-10	0.1	1	0	10744
25	20	20	0.55	-0.1	0.1	1	-12	1	0.55	63.8477	1810
26	20	20	0.55	-0.1	5.05	0.1	-14	0.1	1	61.2755	3292
27	20	20	0.55	-0.1	10	0.55	-10	0.55	0.1	50.2186	6617

표 4. U-slot 및 급전부 구조의 파라미터
 Table 4. parameter of structure of U-slot and feeder

변수	Lx	Ly	Fx	Fy	Gx	Gy	Py	Wx	Wy
값 (mm)	20	15	0.1	10	0.1	1	12	0.55	0.1



(a)



(b)

그림 3. 22번 디자인과 시뮬레이션 결과
 Fig. 3. Design and Simulation result of No.22

V. 결론

본 연구에서는 U-slot과 급전부의 구조 변형을 통한 광대역 마이크로스트립 패치 안테나를 설계함에 있어 타구치의 직교배열표를 이용하여 그 실험 횟수를 최소화 하는 것과 동시에 최대의 대역폭을 갖는 파라미터를 도

출하고자 하였다.

비교분석을 위하여 9가지의 파라미터에 대한 19,683 회의 전체 시뮬레이션을 진행하였고, 직교배열표를 이용한 27회의 실험과 비교하였다. 비교 결과는 2.2~2.6GHz 사이의 평균 대역폭이 19,683회 전체 시뮬레이션은 27.68MHz, 27회 직교배열표는 26.70MHz로 전체의 결과를 잘 나타내고 있었다. 또한, 직교배열표를 통한 시뮬레이션 중 22번 실험은 전체 시뮬레이션 중 상위 0.12% 69.52MHz의 대역폭을 가지는 것을 확인하였다. 이는 U-slot과 급전부의 구조변형이 없는 원형의 마이크로스트립 패치 안테나가 가졌던 42MHz의 대역폭에 비해 166% 증가된 결과이다. 본 설계에서는 L27형 직교배열표를 이용하여 19,683회를 27회로 줄였으나, 크기가 다른 직교배열표를 이용하면 더 적거나 많은 횟수의 변수에 대해서도 적용이 가능하다.

이를 통하여 많은 파라미터에 대한 여러 번 반복된 시뮬레이션이 요구되는 설계에 있어, 타구치의 직교배열표를 이용하여 그 시뮬레이션 횟수를 획기적으로 줄일 수 있다는 것을 확인하였다.

References

- [1] G. Taguchi, *System of Experimental Design*, New York : Unipub/Kraus International Publication, 1987.
- [2] Byrne D. M., S. Taguchi, *The Taguchi approach to parameter design*, Quality Progress, Vol. 20 (12), pp. 19-26, 1987.
- [3] B. Babayigit, E. Senyigit and G. Mumcu, "Optimum broadband E-patch antenna design with Taguchi method", *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, Vol. 30, No. 7, pp. 915-927, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/09205071.2016.1164631>
- [4] S.-M. Moon, J.-M. Woo, "A Study on Radiation Characteristics of Electrically Small Antenna for Low-VHF Band Direction Finding according to Tank Mounting Position", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 14, No. 2, pp. 127-134, Apr. 2014.
- [5] G.-S. Chae, J.-S. Lim, "A printed antenna for WLAN applications", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 5, No. 2, pp. 123-127, 2004.
- [6] C.-H. Lee, P. Xu, B.-C. Ahn, J.-H. Kim, J.-H. Bang, "Design of a Monopulse Reflector Antenna for W-Band Seeker Applications", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 16, No. 2, pp. 75-82, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2018.16.2.75>

[7] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Third Edition, WILEY, 2005.

저 자 소 개

김 재 연(준회원)



- 2011년 : 건국대학교 전자공학부 공학사
- 2018년 ~ 현재 : 건국대학교 전자정보통신 공학과 석사과정 재학
- 주관심분야 : 안테나 및 레이더 등

장 대 순(정회원)



- 2001년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 2월 ~ 2011년 11월 : (주) 유니스트립 근무
- 2012년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신공학과 조교수
- 주관심분야 : 안테나 설계, UWB system, 무선전력전송 등

허 정(정회원)



- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
- 1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 1991년 4월 ~ 현재 : 건국대학교 전기전자공학부 교수
- 주관심분야 : 안테나 및 마이크로파 회로, 무선전력전송, EMI Shield Coating 등