

논문 2014-51-7-6

급전 기판의 유전상수 및 두께가 개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나의 특성에 미치는 영향

(Effects of the Dielectric Constant and Thickness of a Feed Substrate on the Characteristics of an Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna)

박혜린*, 구환모*, 김부균*

(Hye-Lin Bak, Hwan-Mo Koo, and Boo-Gyoun Kim[©])

요약

개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나(aperture coupled microstrip patch antenna; ACMPA)의 급전 기판의 유전상수와 두께가 안테나 대역폭과 방사특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 급전 기판의 두께가 같은 여러 가지 유전상수의 급전 기판을 가지는 ACMPA의 최적화된 반사손실 대역폭은 방사특성의 저하 없이 급전기판의 유전상수가 감소할수록 대역폭이 증가한다. MMIC(monolithic microwave integrated circuit)와 집적화가 가능한 높은 유전상수($\epsilon_r = 10$)를 가지는 급전 기판을 사용한 ACMPA의 최적화된 반사손실 대역폭은 방사특성의 저하 없이 급전 기판의 두께가 감소할수록 대역폭이 증가한다. 따라서 ACMPA는 MMIC와 집적화하기에 좋은 구조를 가진 패치 안테나이다.

Abstract

Effects of the dielectric constant and thickness of a feed substrate on the bandwidth and radiation characteristics of an aperture coupled microstrip patch antenna (ACMPA) are investigated. The optimized return loss bandwidth of an ACMPA increases without the degradation of radiation characteristics as the feed substrate dielectric constant increases for the same feed substrate thickness. The optimized return loss bandwidth of an ACMPA with the dielectric constant of a feed substrate of 10, which is compatible with the high dielectric constant monolithic microwave integrated circuit (MMIC) materials, increases without the degradation of radiation characteristics as the thickness of a feed substrate decreases. The ACMPA configuration is suitable for integration with MMICs.

Keywords : microstrip patch antenna, aperture coupling, feed substrate, Integration with MMIC, bandwidth

I. 서론

* 학생회원, ** 평생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A2009708)

© Corresponding Author(E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr)
접수일자: 2014년04월04일, 수정일자: 2014년06월10일
수정완료: 2014년06월23일

차세대 기지국 안테나와 레이더에 사용되는 안테나는 각 안테나 소자에 송수신 능동 증폭기가 장착되는 능동 배열 안테나 구조가 될 것으로 예상된다. 따라서 사용되는 안테나가 RF module의 front end와 집적화가 가능해야 구조가 간단해지고 가격이 저렴해진다^[1]. 마이크로스트립 패치 안테나는 크기가 작고 구조가 간단하

며 제작이 쉽고 MMIC(Microwave Monolithic Integrated Circuit)-based module의 front end와 집적화가 가능하기 때문에 많은 응용분야에 이용되고 있다^[2].

MMIC는 주로 Si나 GaAs 같은 유전상수가 큰 기관($\epsilon_r > 10$)을 사용하여 제작된다. 따라서 MMIC와 집적화가 가능한 안테나는 유전상수가 큰 기관위에 설계되어야 한다. 최근에 MMIC와의 집적화를 염두에 두고 여러 가지 급전 방법을 사용하여 유전상수가 큰 급전 기관에 마이크로스트립 패치 안테나를 구현하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다^[3-7].

개구면 결합 급전 방법은 급전부분과 안테나부분이 접지면을 사용하여 분리되어 각 부분의 설계 조건에 맞는 서로 다른 유전상수를 가지는 기관을 사용할 수 있는 장점이 있다. 이러한 특성은 특히 MMIC-based module의 front end에 안테나를 집적시킬 때 다른 급전 방법보다 유리하다^[3]. 또한 마이크로스트립 패치 안테나의 단점 중 하나인 좁은 대역폭을 증가시키기 위해 방사패치 위에 기생 방사패치를 적층하거나 개구면 공진을 이용하거나, 급전 선로에 병렬 스텐더를 삽입하는 방법이 보고되었다^[8-14].

마이크로스트립 패치 안테나에 사용되는 기관의 유전상수가 커질수록 안테나의 이득과 대역폭이 작아지는 단점을 가지게 된다^[2]. 패치 안테나를 MMIC에 집적할 때 급전기관의 두께가 얇을수록 집적화가 용이하다^[3]. 또한 패치 안테나의 전후방방사비가 커야 안테나에서 방사되는 전자파가 MMIC 특성에 미치는 영향을 줄일 수 있는 장점이 있다^[1].

기생 방사패치와 개구면 공진을 모두 이용하는 구조를 사용하는 기생 방사패치를 가지는 개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나 (aperture stacked patch antenna; ASPA) 에서 급전 기관의 유전상수 및 두께가 안테나 특성에 미치는 영향에 대한 전산모의 연구 결과가 발표되었다. 이 연구에서 MMIC와 집적화가 가능한 급전 기관의 유전상수가 10.2인 경우 ASPA의 반사손실 대역폭이 급전 기관의 두께가 감소할수록 감소한다^[3]. 중심 주파수가 약 8 GHz인 ASPA는 참고문헌 3에서 보고된 가장 얇은 급전 기관의 두께 0.254 mm에서 27%의 반사손실을 가지나 중심 주파수가 4 GHz 이하로 낮아지게 되면 넓은 반사 손실 대역폭을 제공하는 급전 기관의 두께가 커져 MMIC와 집적화하는데 어려

움이 있을 것이라고 보고하였다^[3].

본 논문에서는 개구면 결합 급전 방법을 사용하는 마이크로스트립 패치 안테나의 가장 기본적인 형태인 기생 방사 패치를 가지지 않는 개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나(aperture coupled microstrip patch antenna; ACMPA)의 급전 기관의 유전상수와 두께가 안테나 특성에 미치는 영향을 full-wave simulator인 Ansys사의 HFSS를 사용하여 연구한 전산모의 결과를 보고한다. 본 논문에서 연구한 ACMPA의 패치 형태는 본 연구 결과를 이중 편파를 가지는 안테나 연구에도 사용하기 위하여 정사각형 형태를 가진다. 또한 안테나 구조 파라미터가 특성에 미치는 연구 시 사용되는 파라미터의 수를 줄이기 위하여 ACMPA의 개구면 길이와 폭의 비는 많은 연구에서 사용한 1/10으로 정하였다^[15]. 급전기관의 유전상수가 10인 경우 ACMPA의 반사손실 대역폭은, 기생 방사패치를 가지는 개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나 (ASPA)의 반사손실 대역폭이 급전 기관의 두께가 감소할수록 감소한다는 참고문헌 3의 결과와는 달리, 급전 기관의 두께가 감소할수록 증가됨을 보고하며 그 이유를 설명하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 X-band에서 동작하는 개구면 공진을 이용하여 반사손실 대역폭이 확장된 기본 ACMPA를 설계하고 그 특성을 살펴보았다. 제 III장에서는 여러 가지 급전 기관의 유전상수와 두께에서 ACMPA의 주파수에 따른 입력 저항 특성을 살펴보았다. 제 IV장에서는 MMIC-based module의 front end와 집적시켰을 때 안테나의 특성을 알아보기 위하여 높은 유전상수($\epsilon_r = 10$)를 가지는 급전 기관을 사용한 ACMPA의 여러 가지 급전 기관 두께에서 반사손실 대역폭을 최적화 한 후 대역폭 및 방사 특성을 살펴보았다. 제 V장에서는 급전 기관의 두께를 0.8 mm로 고정하고 여러 가지 유전상수를 가지는 급전 기관에서 ACMPA의 반사손실 대역폭을 최적화 한 후 대역폭 및 방사 특성을 살펴보았다. 마지막으로 제 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 개구면 공진을 이용하여 대역폭이 확장된 ACMPA

본 장에서는 개구면 공진을 이용하여 대역폭이 확장된 기본 ACMPA를 설계하고 반사손실 대역폭 및 방사

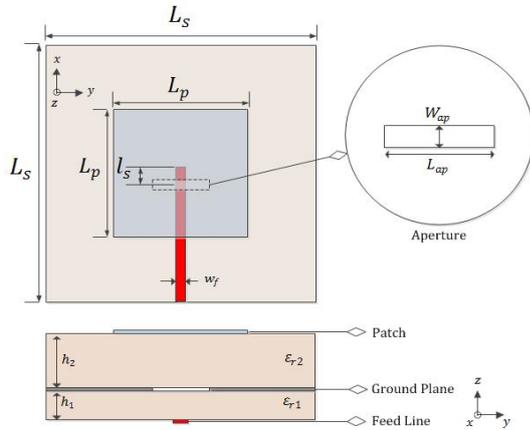


그림 1. 일반적인 ACMPA의 구조도
Fig. 1. Geometry of a conventional ACMPA.

특성을 살펴보았다.

그림 1에 일반적인 ACMPA의 구조도를 보인다. 설계한 ACMPA는 중심 주파수가 10 GHz이고 기판은 한 변의 길이, L_s ,가 30 mm인 정사각형 형태이다. ACMPA는 안테나 부분과 급전 부분이 개구면을 포함하는 접지 평면을 기준으로 나누어져 구성된다. 안테나 부분은 접지면을 기준으로 상부에 위치한다. 안테나 기판의 두께는 h_2 로 나타내었으며, 방사 패치는 안테나 기판의 상부에 위치하며 한 변의 길이가 L_p 인 정사각형 형태이다. 급전 부분은 접지면을 기준으로 하부에 위치하며 급전 기판의 두께는 h_1 으로 나타내었다. 급전 선로의 폭 w_f 는 급전 선로가 50 Ω 의 특성 임피던스를 가지도록 설계하였다. 접지 평면에 식각된 개구면의 형태는 길이 L_{ap} 와 폭 W_{ap} 를 가지는 직사각형이다.

개구면의 길이 L_{ap} 가 커질수록 결합 크기가 커져 안테나의 입력 저항이 커진다. 입력 저항이 커질수록 스미스 도표 상의 주파수에 따른 입력 임피던스 곡선이 이루는 궤적의 크기가 커지게 된다. 급전 선로 끝 종단이 개방된 직렬 스테브는 종단에서 개구면의 중심까지의 길이 l_s 를 가지며 입력 임피던스의 리액턴스를 조절할 수 있다^[14]. 개구면의 길이 L_{ap} 와 직렬 스테브의 길이 l_s 를 조절하여 10 GHz를 중심주파수로 가지는 X-band에서 동작하는 ACMPA를 설계하였다. 설계 시 사용된 기판은 MMIC-based module의 front end와의 집적화를 고려하여 급전 기판은 유전상수가 10이고 loss tangent가 0.0035인 Taconic사의 CER-10 기판을 사용하였다. 안테나 기판은 사용되는 기판의 수를 최소

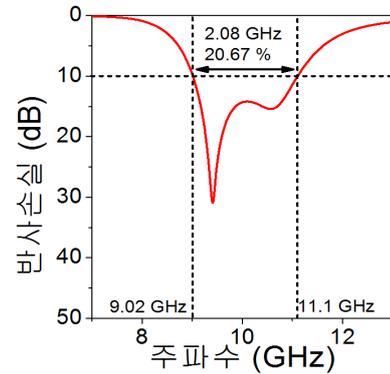


그림 2. 표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 주파수에 따른 반사손실
Fig. 2. Return loss versus frequency of the ACMPA with the dimensions shown in Table 1.

표 1. ACMPA의 설계 파라미터
Table 1. Design parameters of an ACMPA.

ϵ_{r1}	ϵ_{r2}	L_s	h_1	h_2	L_p	L_{ap}	W_{ap}	l_s	W_f
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
10	2.2	30	0.8	3.18	7.2	5.6	0.56	0.7	0.7

화하고 대역폭 확장과 방사특성 향상을 위하여 3.18 mm의 두께를 가지는 유전상수가 2.2이고 loss tangent가 0.0009인 Taconic사의 TLY-5 기판을 사용하였다. 설계한 ACMPA의 파라미터를 표 1에 보인다.

그림 2는 표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 주파수에 따른 반사손실을 보인다. 설계된 ACMPA는 X-band에서 동작하며, 10 dB 반사손실 대역폭은 최소주파수 9.02 GHz부터 최대주파수 11.1 GHz로 2.08 GHz이다. 중심주파수는 약 10 GHz로서 대역폭 비는 20.67%이다.

그림 3은 표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 10 dB 반사손실 대역폭 내의 여러 가지 주파수에서 방사패턴을 보인다. 전방방사 이득은 $\theta=0^\circ$ 에서의 방사이득으로, 후방방사 이득은 $150^\circ \leq \theta \leq 210^\circ$ 인 후방영역에서 방사이득의 최댓값으로 정의하였다^[1]. 전방방사($\theta=0^\circ$) 이득의 경우 최대 주파수인 11.1 GHz에서 7.41 dBi로 최대이고 최소 주파수인 9.02 GHz에서 6.65 dBi로 최소이다.

후방방사 이득은 최소 주파수인 9.02 GHz에서 E-평면인 경우와 H-평면인 경우 모두 $\theta=180^\circ$ 에서 발생하였으며 -0.27 dBi의 크기를 가진다. 중간 주파수인 10.06 GHz에서 H-평면인 경우는 $\theta=180^\circ$ 에서 -7.23 dBi의 후방방사 이득을 가지나 E-평면인 경우는 후방방사

이득이 $\theta=180^\circ$ 가 아닌 $\theta=210^\circ$ 에서 -3.51 dBi를 가진다. 최대 주파수인 11.1 GHz에서 H-평면인 경우는 여전히 $\theta=180^\circ$ 에서 후방방사 이득을 가지나 그 크기는 -18.21 dBi로 매우 작음을 볼 수 있다. E-평면인 경우는 중간 주파수의 경우와 마찬가지로 후방방사 이득이 $\theta=180^\circ$ 가 아닌 $\theta=210^\circ$ 에서 -3.39 dBi를 가지나 $\theta=180^\circ$ 에서의 방사 이득과 $\theta=210^\circ$ 에서의 방사 이득의 차이가 중간 주파수인 경우보다 커짐을 볼 수 있다.

따라서 전후방방사비는 E-평면인 경우 최소 주파수인 9.02 GHz에서 6.92 dB로 최소이고 중간 주파수인 10.06 GHz에서 10.88 dB로 최대이다. H-평면인 경우

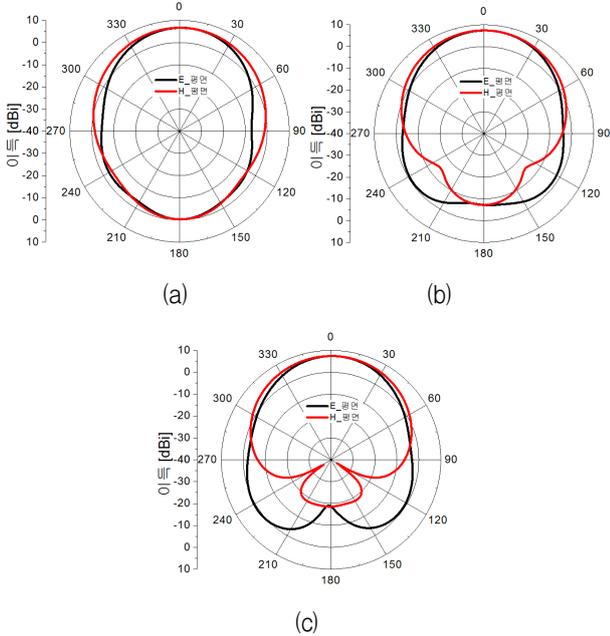


그림 3. 표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 여러 가지 주파수에서의 방사패턴 (a) 9.02 GHz, (b) 10.06 GHz, (c) 11.1 GHz.

Fig. 3. Radiation patterns at various frequencies of the ACMPA with the dimensions shown in Table 1. (a) 9.02 GHz, (b) 10.06 GHz, and (c) 11.1 GHz.

표 2. 표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 방사특성

Table 2. Radiation characteristics of the ACMPA with the dimensions shown in Table 1.

주파수 [GHz]	전방방사 [dBi]	E-평면		H-평면	
		후방방사 [dBi]	전후방방사비 [dB]	후방방사 [dBi]	전후방방사비 [dB]
9.02	6.65	-0.27	6.92	-0.27	6.92
10.06	7.37	-3.51	10.88	-7.23	14.6
11.1	7.41	-3.39	10.8	-18.21	25.62

최소 주파수인 9.02 GHz에서 6.92 dB로 최소이고 최대 주파수인 11.1 GHz에서 25.62 dB로 최대이다. 대역폭 내에서 동작 주파수에 따른 H-평면의 전후방방사비 변화가 E-평면의 전후방방사비 변화보다 매우 큼을 볼 수 있다.

그 이유는 그림 3에서 보듯이 동작 주파수에 따라 후방영역의 방사패턴 특성이 다르기 때문이다. 동작 주파수에 따라 후방영역의 방사패턴 특성이 달라지는 이유는 최소 주파수에서는 패치 공진에 의한 방사가 방사패턴 특성에 큰 영향을 미치나 동작 주파수가 높아질수록 개구면 공진에 의한 영향이 커져 최대 주파수에서는 개구면 공진에 의한 방사가 방사패턴 특성에 큰 영향을 미치기 때문이라 생각된다. 표면파의 회절 성분에 의한 영향을 무시할 수 있는 무한 접지 평면을 가지며 패치가 없이 개구면 만에 의한 방사패턴은 H-평면인 경우는 전방영역과 후방영역의 모양 및 크기가 비슷하나 주파수가 높아질수록 후방영역의 방사 크기가 작아진다. 그 이유는 주파수가 높아질수록 급전선로 폭과 길이의 전기적 길이의 증가로 후방방사가 급전 선로로 인해 줄어들기 때문이라 생각된다. 그림 3의 방사패턴에서 주파수가 높아질수록 H-평면에서 개구면을 통하여 발생하는 후방방사의 크기와 영역이 더욱 작아지는 이유는 개구면에 의한 후방방사와 패치에 의한 후방방사가 상쇄 간섭을 일으키기 때문이라 생각된다. 패치가 없이 개구면만 있는 경우의 방사패턴은 E-평면인 경우는 주파수가 높아질수록 후방방사영역에서 각도에 따른 이득의 차이가 작아짐을 볼 수 있다. 또한 주파수가 높아질수록 기판의 전기적 길이가 커져 기판을 따라 진행하는 표면파가 기판 끝에서 회절되어 후방방사영역에 미치는 영향 때문에 후방방사 이득이 발생하는 각도가 $\theta=180^\circ$ 에서 $\theta=210^\circ$ 로 이동하여 후방방사 이득 크기가 동작 주파수의 영향을 작게 받기 때문이라 생각된다^[17]. 표 2에 표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 방사 특성을 요약하였다.

III. 급전 기판의 유전상수와 두께에 따른 ACMPA의 입력 저항 특성

표 1과 같은 설계 파라미터를 가지는 ACMPA의 급전 기판의 유전상수 ϵ_{r1} 과 급전 기판의 두께 h_1 을 변화시켜가며 주파수에 따른 입력 저항 특성을 살펴보았다.

하나의 설계 파라미터 값을 변화 시킬 때 다른 파라미터 값은 표 1의 파라미터 값으로 고정하였다.

3.1 급전 기판의 유전상수에 따른 ACMPA의 주파수에 따른 입력 저항 특성

그림 4는 표 1의 설계 파라미터에서 급전기판의 유전상수 값만 변화시킨 후 전산모의한 주파수에 따른 정규화된 입력 저항을 보인다. 급전 기판의 유전상수가 증가할수록 패치 공진의 크기는 증가하지만 패치의 공진 주파수는 거의 변화하지 않음을 볼 수 있다. 반면에 개구면 공진의 주파수는 감소하여 급전 기판의 유전상수가 증가할수록 패치 공진과 개구면 공진 사이에 발생하는 상호공진영역이 줄어들게 된다. 급전 기판의 유전상수가 증가할수록 개구면 공진의 주파수가 감소하는 이유는 개구면에서의 유효유전율이 증가하여 개구면의 전기적 길이가 길어졌기 때문이라 생각된다.

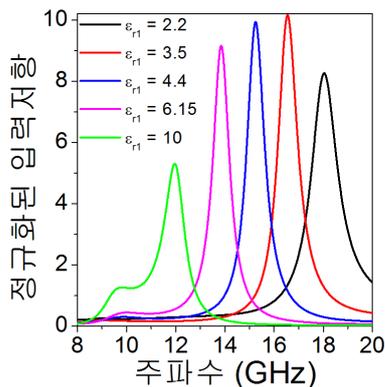


그림 4. 여러 가지 유전상수를 가지는 급전 기판을 사용한 ACMPA의 주파수에 따른 정규화된 입력 저항

Fig. 4. Normalized input resistance versus frequency of ACMPAs with various feed substrate dielectric constants.

3.2 급전 기판의 두께에 따른 ACMPA의 주파수에 따른 입력 저항 특성

그림 5는 표 1의 설계 파라미터에서 급전 기판의 두께 h_1 값만 변화시킨 후 전산모의한 주파수에 따른 정규화된 입력저항을 보인다. 급전 기판의 두께가 두꺼워질수록 개구면 공진의 주파수가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 급전 기판의 두께가 두꺼워질수록 개구면의 유효유전율이 증가하여 개구면의 전기적 길이가

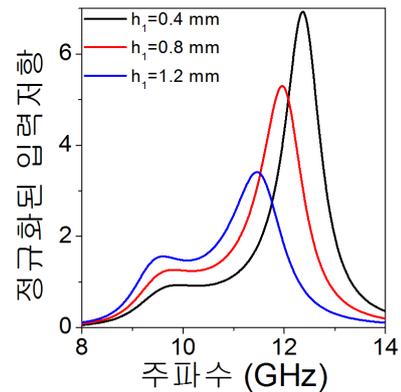


그림 5. 급전 기판의 두께 h_1 에 따른 ACMPA의 주파수에 따른 정규화된 입력 저항

Fig. 5. Normalized input resistance versus frequency of ACMPAs with various feed substrate thicknesses h_1 .

증가하기 때문이라 생각된다. 반면에 패치 공진의 주파수는 거의 변화하지 않아 급전 기판의 두께가 두꺼워질수록 패치 공진 주파수와 개구면 공진 주파수 사이에 발생하는 상호공진영역이 줄어들게 된다.

IV. 높은 유전상수를 가지는 급전 기판의 두께에 따른 ACMPA의 반사손실 대역폭과 방사 특성

III장에서 급전 기판의 유전상수와 두께를 각각 변화시키며 주파수에 따른 ACMPA의 입력 저항 특성을 살펴보았다. 높은 유전상수($\epsilon_{r1} = 10$)를 가지는 급전 기판의 기판 두께가 얇아질수록 패치 공진 주파수와 개구면 공진 주파수가 멀어지게 되어 상호공진영역의 범위가 넓어짐을 볼 수 있었다.

이번 장에서는 MMIC-based module의 front end와 집적화가 가능한 높은 유전상수($\epsilon_{r1} = 10$)를 가지는 급전 기판의 여러 가지 두께에서 반사손실 대역폭을 최적화 한 후 반사손실 대역폭과 방사특성을 살펴보았다. 전산모의에 사용한 급전 기판은 유전상수가 10이고 loss tangent가 0.0035인 Taconic사의 CER-10이다. 여러 가지 급전 기판의 두께 h_1 에서 설계 파라미터를 조절하여 10 dB 반사손실 대역폭의 중심주파수가 10 GHz이며 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 반사손실 대역폭과 방사 특성을 살펴보았다. 여러 가지 급전 기판의 두께에서 최적화된 대역폭을 가지는 ACMPA의 설계 파라미터를 표 3에 보인다.

표 3. 높은 유전상수($\epsilon_{r1} = 10$)를 가지는 급전 기판의 여러 가지 두께에서 최적화된 대역폭을 가지는 ACMPA의 설계 파라미터

Table 3. Design Parameters of ACMPAs with optimized bandwidths for various feed substrate thicknesses with a high dielectric constant of $\epsilon_{r1} = 10$.

ϵ_{r1}	ϵ_{r2}	h_1 [mm]	h_2 [mm]	L_p [mm]	L_{ap} [mm]	W_{ap} [mm]	ℓ_s [mm]	W_f [mm]
10	2.2	0.1	3.18	7.2	6.8	0.68	0.87	0.08
10	2.2	0.2	3.18	7.2	6.4	0.64	0.8	0.18
10	2.2	0.4	3.18	7.2	5.9	0.59	0.8	0.36
10	2.2	0.8	3.18	7.2	5.6	0.56	0.7	0.7
10	2.2	1.2	3.18	7.2	5.4	0.54	0.65	0.98
10	2.2	1.6	3.18	7.2	5.3	0.53	0.52	1.235

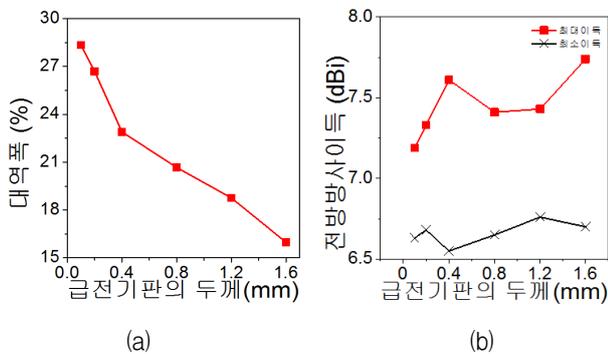


그림 6. 여러 가지 급전 기판의 두께에서 최적화된 ACMPA의 (a) 반사손실 대역폭 (b) 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득

Fig 6. (a) Return loss bandwidths and (b) Maximum and minimum forward antenna gains of the optimized ACMPAs for various feed substrate thicknesses.

그림 6(a)는 여러 가지 급전 기판 두께에서 최적화된 ACMPA의 반사손실 대역폭을 보인다. 급전 기판의 두께 h_1 이 각각 0.1 mm, 0.2 mm, 0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm, 1.6 mm인 경우 10 dB 반사손실 대역폭은 각각 28.34%, 26.69%, 22.9%, 20.67%, 18.76%, 15.98%이다. 급전 기판의 두께가 증가할수록 반사손실 대역폭이 감소함을 볼 수 있다. 그 이유는 급전 기판의 두께가 두꺼워질수록 개구면의 유효유전율이 증가하여 개구면 공진 주파수가 감소하여 패치 공진 주파수에 가까워짐으로써 정규화된 입력 임피던스의 크기가 1 근처인 상호공진영역의 주파수 범위가 줄어들기 때문이라 생각된다. 그림 6(b)는 급전 기판의 두께 h_1 이 0.1 mm에서 1.6 mm 까지 변화할 때 각 급전 기판의 두께에서 최대

표 4. 여러 가지 급전 기판의 두께에서 최적화된 ACMPA의 최대 전방방사 이득 과 최소 전방방사 이득 및 두 전방방사 이득의 차이

Table 4. Maximum and minimum forward antenna gains, and the difference of the two antenna gains of the optimized ACMPAs for various feed substrate thicknesses.

급전기판의 두께[mm]	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6
최대전방방사이득[dBi]	7.19	7.33	7.61	7.41	7.43	7.74
최소전방방사이득[dBi]	6.63	6.68	6.55	6.65	6.65	6.7
최대전방방사이득 - 최소전방방사이득[dBi]	0.56	0.65	1.06	0.76	0.67	1.04

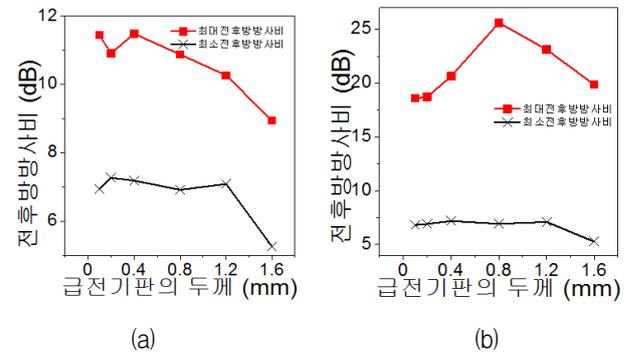


그림 7. 여러 가지 급전 기판의 두께에서 최적화된 ACMPA의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비 (a) E-평면 (b) H-평면

Fig. 7. Maximum and minimum front-to-back ratios of the optimized ACMPAs for various feed substrate thicknesses. (a) E-Plane and (b) H-Plane.

대역폭을 가지는 ACMPA의 대역폭 내에서의 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득을 보인다. 급전 기판의 두께가 1.6 mm 일 때 최대 전방방사 이득이 최댓값 7.74 dBi를 가짐을 볼 수 있다. 급전 기판의 두께에 따른 최대 전방방사 이득은 7.19 dBi에서 7.61 dBi 사이 값을 가짐을 볼 수 있다. 최소 전방방사 이득은 급전 기판의 두께가 1.2 mm일 때 최댓값 6.76 dBi를 가짐을 볼 수 있다. 급전 기판의 두께에 따른 최소 전방방사 이득은 6.55 dBi에서 6.7 dBi 사이 값을 가짐을 볼 수 있다. 대역폭 내에서 주파수에 따른 전방방사 이득의 평탄도를 나타내는 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득의 차이는 두께가 0.1 mm일 때 0.56 dB로 가장 작고 두께가 0.4 mm일 때 1.06 dB로 가장 큼을 볼 수 있다.

표 4는 급전 기관의 유전상수가 10인 경우 여러 가지 급전 기관의 두께에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 대역폭 내에서의 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득 및 두 방사이득의 차이를 급전기관의 두께에 대하여 정리한 결과를 보인다.

그림 7(a)와 (b)는 각각 E-평면과 H-평면에서 급전 기관의 두께 h_1 이 0.1 mm에서 1.6 mm까지 변화할 때 각 급전 기관의 두께에서 반사손실 대역폭 내에서의 최대 및 최소 전후방방사비를 도시한 그림이다. 최대 전후방방사비는 H-평면이 E-평면보다 크나 최소 전후방방사비는 두 평면이 거의 같은 값을 가짐을 볼 수 있다. E-평면의 최대 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 증가할수록 대체적으로 감소하며 8.95 dBi에서 11.45 dBi사이 값을 가짐을 볼 수 있다. E-평면의 최소 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 0.2 mm인 경우 최댓값 7.27 dBi를, 두께가 1.6 mm인 경우 최솟값 5.26 dBi를 가짐을 볼 수 있다.

H-평면의 최대 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 0.8 mm인 경우 최댓값 25.62 dBi를, 두께가 0.1 mm인 경우 최솟값 18.6 dBi를 가짐을 볼 수 있다. H-평면의 최소 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 0.8 mm인 경우 최댓값 7.19 dBi를, 두께가 1.6 mm인 경우 최솟값

표 5. 여러 가지 급전 기관의 두께에서 최적화된 ACMPA의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비 및 두 전후방방사비의 차이

Table 5. Maximum and minimum front-to-back ratios, and the difference of the two front-to-back ratios of the optimized ACMAs for various feed substrate thicknesses.

Plane	h_1 [mm]	최대전 후방방 사비 [dB]	최소전 후방방 사비 [dB]	최대전 후방방사비 - 최소전 후방방사비 [dB]
E	0.1	11.45	6.95	4.5
	0.2	10.91	7.27	3.64
	0.4	11.49	7.19	4.3
	0.8	10.88	6.92	3.96
	1.2	10.27	7.09	3.18
	1.6	8.95	5.26	3.69
H	0.1	18.6	6.81	11.79
	0.2	18.72	6.91	11.81
	0.4	20.65	7.19	13.46
	0.8	25.62	6.92	18.7
	1.2	23.13	7.09	16.04
	1.6	19.87	5.27	14.6

5.27 dBi를 가짐을 볼 수 있다.

표 5는 급전 기관의 유전상수가 10인 경우 여러 가지 급전 기관의 두께에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 E-평면과 H-평면의 대역폭 내에서의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비 및 두 전후방방사비의 차이를 급전기관의 두께에 대하여 정리한 결과를 보인다. E-평면과 비교하여 H-평면의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비의 차이가 매우 큼을 볼 수 있다. 이는 반사손실 대역폭 내에서 H-평면의 후방방사 크기 변화가 E-평면의 후방방사 크기 변화보다 매우 큼을 의미한다.

V. 여러 가지 유전상수를 가지는 급전 기관의 두께가 0.8 mm인 경우 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 급전 기관의 유전상수에 따른 반사손실 대역폭과 방사 특성

이번 장에서는 급전 기관의 두께가 0.8 mm일 때 여러 가지 급전 기관의 유전상수에서 ACMPA의 설계 파라미터를 조절하여 10 dB 반사손실 대역폭의 중심주파수가 10 GHz일 때 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 반사손실 대역폭과 방사 특성을 살펴보았다. 여러 가지 급전 기관의 유전상수에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 설계 파라미터를 표 6에 보인다.

그림 8(a)는 여러 가지 급전 기관 유전상수에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 반사손실 대역폭을 보인다. 급전 기관의 유전상수 ϵ_{r1} 이 각각 2.2, 3.5, 4.4, 6.15, 10인 경우 10 dB 반사손실 대역폭은 각각 35.95%, 32.22%, 31.86%, 26.32%, 20.67%이다. 급전 기관의 유전상수가 증가할수록 반사손실 대역폭이 감소함을 볼 수 있다. 그 이유는 급전 기관의 유전상수가 커질수록 개구면의 유효유전율이 증가하여 개구면 공진 주파수가 감소하여 패치 공진 주파수에 가까워짐으로써 정규화된 입력 임피던스의 크기가 1 근처인 상호공진영역의 주파수 범위가 줄어들기 때문이라 생각된다.

그림 8(b)는 여러 가지 급전 기관 유전상수에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 반사손실 대역폭 내에서의 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득을 보인다. 급전 기관의 유전상수가 4.4인 경우 최대 전방방사 이득은 6.64 dBi로 최솟값을 가진다. 유전상수 4.4를 제외

표 6. 여러 가지 유전상수를 가지는 급전 기판의 두께가 0.8 mm인 경우 최적화된 대역폭을 가지는 ACMPA의 설계 파라미터

Table 6. Design Parameters of ACMPAs with optimized bandwidths for various feed substrate dielectric constants with a thickness of 0.8 mm.

ϵ_{r1}	ϵ_{r2}	h_1 [mm]	h_2 [mm]	L_p [mm]	L_{ap} [mm]	W_{ap} [mm]	ℓ_s [mm]	W_f [mm]
2.2	2.2	0.8	3.18	7.2	8	0.8	1.8	2.36
3.5	2.2	0.8	3.18	7.2	7.4	0.74	1.4	1.72
4.4	2.2	0.8	3.18	7.2	7.1	0.71	1.2	1.45
6.15	2.2	0.8	3.18	7.2	6.5	0.65	1.1	1.1
10	2.2	0.8	3.18	7.2	5.6	0.56	0.7	0.7

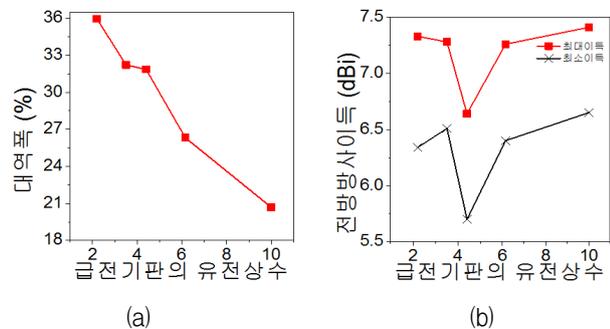


그림 8. 여러 가지 급전 기판의 유전상수 ϵ_{r1} 에서 최적화된 ACMPA의 (a)반사손실 대역폭 (b) 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득

Fig 8. (a) Return loss bandwidths (b) Maximum and minimum forward antenna gains of optimized ACMPAs for various feed substrate dielectric constants.

한 다른 유전상수 값에서 최대 전방방사 이득은 7.26 dBi에서 7.41 dBi 사이 값을 가져 거의 비슷함을 볼 수 있다. 최소 전방방사 이득도 급전 기판의 유전상수가 4.4 인 경우 최솟값 5.7 dBi를 가진다. 유전상수 4.4를 제외한 다른 유전상수 값에서 최소 전방방사 이득은 6.34 dBi에서 6.65 dBi 사이 값을 가져 거의 비슷함을 볼 수 있다. 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득의 차이는 유전상수가 2.2 일 때 0.99 dB로 가장 크고, 유전상수가 10 일 때 0.76 dB로 가장 작다.

표 7은 여러 가지 급전 기판 유전상수에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 반사손실 대역폭 내에서의 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사 이득 및 두 방사 이득의 차이를 급전기판의 유전상수에 대하여 정리한 결과를 보인다.

그림 9(a)와 (b)는 여러 가지 급전 기판 유전상수에

표 7. 여러 가지 급전 기판의 유전상수 ϵ_{r1} 에서 최적화된 ACMPA의 최대 전방방사 이득 과 최소 전방방사 이득 및 두 전방방사 이득의 차이

Table 7. Maximum and minimum forward antenna gains, and the difference of the two antenna gains of optimized ACMPAs for various feed substrate dielectric constants ϵ_{r1} .

ϵ_{r1}	2.2	3.5	4.4	6.15	10
최대전방방사이득 [dBi]	7.33	7.28	6.64	7.26	7.41
최소전방방사이득 [dBi]	6.34	6.51	5.7	6.4	6.65
최대전방방사이득 - 최소전방방사이득 [dBi]	0.99	0.77	0.94	0.86	0.76

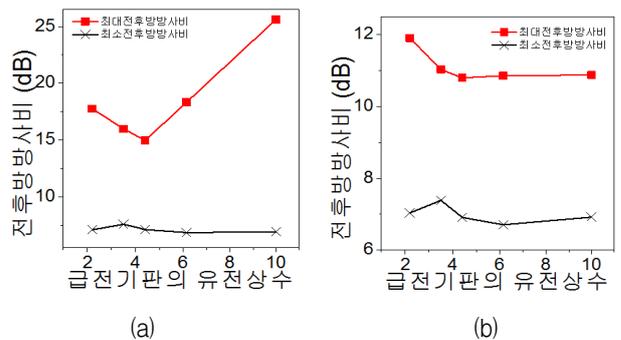


그림 9. 여러 가지 급전 기판의 유전상수에서 최적화된 ACMPA의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비 (a) E-평면, (b) H-평면

Fig. 9. Maximum and minimum front-to-back ratios of optimized ACMPAs for various feed substrate dielectric constants. (a) E-Plane and (b) H-Plane.

서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 반사손실 대역폭 내에서 각각 E-평면과 H-평면의 급전 기판의 유전상수에 따른 최대 및 최소 전후방방사비를 도시한 그림이다. H-평면의 최대 전후방방사비는 E-평면의 최대 전후방방사비보다 크을 볼 수 있으나 최소 전후방방사비는 H-평면과 E-평면이 거의 비슷함을 볼 수 있다.

E-평면의 최대 전후방방사비는 급전 기판의 유전상수가 2.2인 경우 최댓값 11.91 dB를 가지며 유전상수가 4.4인 경우 최솟값 10.8 dB를 가짐을 볼 수 있다. 나머지 세 유전상수에서 10.86 dB에서 11.03 dB 사이 값을 가져 거의 비슷함을 볼 수 있다. E-평면의 최소 전후방방사비는 급전 기판의 유전상수가 3.5인 경우 최댓값 7.39 dB를 가지며 유전상수가 6.15인 경우 최솟값 6.71

표 8. 여러 가지 급전 기관의 유전상수 ϵ_{r1} 에서 최적화된 ACMPA의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비 및 두 전후방방사비의 차이

Table 8. Maximum and minimum front-to-back ratios, and the difference of the two front-to-back ratios of optimized ACMPAs for various feed substrate dielectric constants ϵ_{r1} .

Plane	ϵ_{r1}	최대전 후방방 사비 [dB]	최소전 후방방 사비 [dB]	최대전후방방사비 - 최소전후방방사비 [dB]
E	2.2	11.91	7.04	4.87
	3.5	11.03	7.39	3.64
	4.4	10.8	6.91	3.89
	6.15	10.86	6.71	4.15
	10	10.88	6.92	3.96
H	2.2	17.76	7.09	10.67
	3.5	15.98	7.58	8.4
	4.4	14.97	7.11	7.86
	6.15	18.33	6.85	11.48
	10	25.62	6.92	18.7

dBi를 가진다.

H-평면의 최대 전후방방사비는 급전 기관의 유전상수가 10 인 경우 최댓값 25.62 dBi를 가지며 유전상수가 4.4인 경우 최솟값 14.97 dBi를 가짐을 볼 수 있다. H-평면의 최소 전후방방사비는 급전 기관의 유전상수가 3.5인 경우 최댓값 7.58 dBi를 가지며 유전상수가 6.15인 경우 최솟값 6.85 dBi를 가진다. 나머지 세 유전상수에서는 6.92 dBi에서 7.11 dBi 사이 값을 가져 거의 비슷함을 볼 수 있다.

표 8은 여러 가지 급전 기관 유전상수에서 최대 대역폭을 가지는 ACMPA의 E-평면과 H-평면의 대역폭 내에서의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비 및 두 전후방방사비와의 차이를 급전기관의 유전상수에 대하여 정리한 결과를 보인다. E-평면과 비교하여 H-평면의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비의 차이가 매우 큼을 볼 수 있다. 이는 반사손실 대역폭 내에서 H-평면의 후방방사 크기 변화가 E-평면의 후방방사 크기 변화보다 매우 큼을 의미한다.

VI. 결 론

본 논문에서는 개구면 결합 급전 방법을 사용하는 마이크로스트립 패치 안테나의 가장 기본적인 형태인 기

생 방사 패치를 가지지 않는 개구면 결합 마이크로스트립 패치 안테나(ACMPA)의 급전 기관의 유전상수와 두께가 안테나의 반사손실 대역폭과 방사특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

급전 기관의 두께가 같은 여러 가지 유전상수를 가지는 급전 기관을 사용한 ACMPA의 최적화된 반사손실 대역폭은 참고문헌 3의 결과와 비슷하게 급전 기관의 유전상수가 감소할수록 대역폭이 증가한다. 본 연구진이 연구한 급전 기관의 두께가 0.8 mm인 경우 급전 기관의 유전상수가 가장 작은 2.2인 경우 ACMPA의 반사손실 대역폭은 약 36% 이었고 유전상수가 가장 큰 10인 경우 ACMPA의 반사손실 대역폭은 약 21% 이었다. 급전 기관의 유전상수가 작아질수록 대역폭이 넓어지는 이유는 개구면의 유효유전율이 감소하여 개구면의 공진 주파수가 증가하여 정규화된 임피던스 값이 1 근처인 상호공진영역 주파수 범위가 넓어지기 때문이라 생각된다.

급전 기관의 유전상수가 4.4 인 경우 최대 전방방사 이득과 최소 전방방사이득은 각각 6.64 dBi 와 5.7 dBi 로 다른 유전상수가 갖는 전방방사 이득 중 최솟값을 가진다. 나머지 유전상수에서는 최대 전방방사 이득은 7.2 dBi 이상, 최소 전방방사 이득은 6.3 dBi 이상을 가짐을 볼 수 있었다. E-평면의 최대 전후방방사비는 유전상수가 2.2인 경우 최댓값인 11.91 dBi를 가진다. 다른 유전상수 값을 가지는 경우 최대 전후방방사비는 10.8 dBi에서 11.03 dBi로 거의 비슷함을 볼 수 있었다. E-평면의 최소 전후방방사비는 6.92 dBi 값을 중심으로 변화함을 볼 수 있었다. H-평면의 최대 전후방방사비는 14.9 dBi 이상을 가짐을 볼 수 있었다. H-평면의 최소 전후방방사비도 7.09 dBi 값을 중심으로 변화함을 볼 수 있었다.

MMIC-based module의 front end와 집적화가 가능한 높은 유전상수($\epsilon_r = 10$)를 가지는 급전 기관을 사용한 ACMPA의 급전 기관 두께에 따른 최적화된 반사손실 대역폭은 참고문헌 3의 결과와는 달리 급전 기관의 두께가 감소할수록 대역폭이 증가한다. 본 연구진이 연구한 급전 기관의 두께가 가장 얇은 0.1 mm인 경우 반사손실 대역폭은 약 28% 이었고 가장 두꺼운 1.6mm인 경우 반사손실 대역폭은 약 16% 이었다. 급전 기관의 두께가 얇아질수록 대역폭이 넓어지는 이유는 개구면에서의 유효유전율이 감소하여 개구면의 공진 주파수

가 증가하여 정규화 된 임피던스 값이 1 근처인 상호공진영역 주파수 범위가 넓어지기 때문이라 생각된다.

급전 기관의 두께에 따른 최대 전방방사이득은 7.19 dBi에서 7.74 dBi 사이의 값을 가지며 최소 전방방사이득은 6.55 dBi에서 6.76 dBi 사이의 값을 가진다. 급전 기관의 두께가 얇아질수록 E-평면에서의 최대 전후방방사비는 증가하며 7.82 dB에서 10.1 dB사이의 값을 가짐을 볼 수 있었다. E-평면의 최소 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 0.4 mm인 경우 최댓값 9.21 dB를 가지며 두께가 1.6 mm인 경우 최솟값 5.83 dB를 가짐을 볼 수 있었다. H-평면의 최대 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 0.8 mm인 경우 최댓값 14.99 dB를 가지며 두께가 1.6 mm인 경우 최솟값 12.47 dB를 가짐을 볼 수 있었다. H-평면의 최소 전후방방사비는 급전 기관의 두께가 1.2 mm인 경우 최댓값 9.73 dB를 가지며 두께가 1.6 mm인 경우 최솟값 5.84 dB를 가짐을 볼 수 있었다. E-평면과 비교하여 H-평면의 최대 전후방방사비와 최소 전후방방사비의 차이가 매우 큼을 볼 수 있다. 그 이유는 대역폭 내에서 주파수가 높아질수록 H-평면의 후방방사 이득이 급격히 감소하기 때문이라 생각된다.

MMIC-based module의 front end와 집적화가 가능한 높은 유전상수($\epsilon_r = 10$)를 가지는 급전 기관을 사용한 ACMPA의 급전 기관 두께에 따른 최적화된 반사손실 대역폭은 급전 기관의 두께가 감소할수록 대역폭이 증가한다. 또한 집적화를 위하여 중요한 방사 특성인 전방방사 이득과 전후방방사비도 급전 기관의 두께가 얇을 때가 두꺼울 때보다 더 좋은 특성을 보인다. 따라서 ACMPA는 MMIC front-end module과 집적화하기에 좋은 구조를 가진 패치 안테나라고 생각된다.

REFERENCES

- [1] Z. N. Chen and K. M. Luk, "Antennas for Base Stations in Wireless Communications," New York, McGraw-Hill, 2009.
- [2] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," 2nd edition, Boston-London, Artech House, 2000.
- [3] W. S. T. Rowe, R. B. Waterhouse, "Theoretical Investigation on the Use of High Permittivity Materials in Microstrip Aperture Stacked Patch Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 9, pp. 2484 - 2486, Sep. 2003.
- [4] R. B. Waterhouse and W. Rowe, "MMIC compatible printed antennas," *Electronics Lett.*, Vol. 39, No. 21, pp. 1493-1495, October 2003.
- [5] R. B. Waterhouse, "Stacked Patches Using High and Low Dielectric Constant Material Combinations," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, Vol. 47, No. 12, pp. 1767-1771, December 1999.
- [6] K. Hettak, G. Delisle, and M. Boulmalf, "A Novel Integrated Antenna for Millimeter-Wave Personal Communication Systems," *IEEE Trans. on Antennas and Propag.*, Vol. 46, No. 11, pp. 1757-1758, November 1998.
- [7] R. B. Waterhouse and D. Novak, "Design of Patch Antennas for Integration in OEICs for Optical Fiber Picocellular Systems," *IEEE/LEOS RF Optoelectron. Symp.* Kyoto, Japan, pp. 89-92, December 1996.
- [8] F. Croq and D. M. Pozar, "Millimeter wave design of wide-band aperture-coupled stacked microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 39, no. 12, pp. 1770 - 1776, Dec. 1991.
- [9] J.-F. Zurcher, "The SSFIP: a global concept for high-performance broadband planar antennas," *Electron. Lett.*, Vol. 24, No. 23, pp. 1433 - 1435, Nov. 1988.
- [10] F. Croq and A. Papiernik, "Large bandwidth aperture-coupled microstrip antenna," *Electron. Lett.*, Vol. 26, No. 16, pp.1293 - 1294 , Aug. 1990.
- [11] Y. Lu, H. Wang and D. G. Fang, "A Novel Wideband Aperture-Coupled Circularly Polarized Stacked Patch Antenna," *The 2006 4th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics*, pp. 904-907, August, 2006.
- [12] S. K. Pavuluri, C. Wang, and A. J. Sangster, "High Efficiency Wideband Aperture-Coupled Stacked Patch Antennas Assembled Using Millimeter Thick Micromachined Polymer Structure," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 11, pp. 3616 - 3621, Nov. 2010.
- [13] HM Koo, YM Yoon, BG Kim, "Bandwidth Enhancement of an Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna Using a Shunt Stub," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea-TC*, Vol. 49, no. 2, pp. 39-49, Feb, 2012.
- [14] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, and D. M.

- Pozar, "Design of Wide-Band Aperture-Stacked Patch Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 9, pp. 1245 - 1251, Sep. 1998.
- [15] D. M. Pozar, "A review of aperture coupled microstrip antennas: History, operation, development, and applications," University of Massachusetts at Amherst [Online]. Available: <http://www.ecs.umass.edu/ece/pozar/aperture.pdf> May 1996.
- [16] P. L. Sullivan and D. H. Schaubert, "Analysis of an Aperture Coupled Microstrip Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 34, no. 8, pp. 977 - 984, August. 1986.
- [17] TY Kim, JW Park, BG Kim, "Impact of a Square Grounded Dielectric Substrate on the Radiation Characteristics of a Rectangular Microstrip Patch Antenna," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea-TC*, Vol. 46, no. 6, pp 118-127, June 2009.

— 저 자 소 개 —



박 혜 린(학생회원)
2014년 숭실대학교 정보통신전자
공학부 학사 졸업.
2014년~현재 숭실대학교
전자공학과 석사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, 위상 배열
안테나>



구 환 모(학생회원)
2011년 숭실대학교 정보통신전자
공학부 학사 졸업.
2013년 숭실대학교
전자공학과 석사 졸업.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, 위상 배열
안테나>



김 부 균(평생회원)
1979년 서울대학교 전자공학과
(공학사)
1981년 KAIST 전기및전자공학과
(공학석사)
1989년 University of Southern
California, 전자공학과
(공학박사)

2011년~2013년 중앙전파관리소 전파관리위원회
자문위원

2011년~2014년 산업기술연구회 이사

2008년~2010년 숭실대학교 IT대학 학장

1981년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
교수

<주관심분야 : 위상 배열 안테나, 마이크로스트립
안테나, EMC>