

논문 2012-50-5-5

유한한 기판 크기가 H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성에 미치는 영향

(Effect of Finite Substrate Size on the Radiation Characteristics of
H-plane Linear Array Antennas)

윤영민*, 김부균**

(Young-Min Yoon and Boo-Gyoun Kim[©])

요약

유한한 기판 크기가 H-평면 마이크로스트립 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 서로 다른 유전상수를 가지는 기판을 이용하여 여러 가지 안테나 소자 간 간격과 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 빔 주사각도에 따른 방사 특성을 살펴보았다. H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성이 향상되는 단위 안테나의 중심에서 E-평면 기판 가장자리까지의 거리를 도출하였다.

Abstract

The effect of the finite substrate size on the radiation characteristics of H-plane linear microstrip array antennas is investigated. The radiation characteristics versus scan angle are systematically analyzed for 5-element H-plane linear array antennas with various substrate sizes and element spacings for the substrates with different dielectric constants. The distance between the antenna center and the substrate edge on the E-plane for the enhancement of the radiation characteristics of the array antenna is presented.

Keywords : Microstrip patch antenna, phased array antenna, finite grounded substrate, mutual coupling, radiation pattern.

I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 배열 안테나 설계 시 유전상수가 크거나 두꺼운 기판을 사용하는 경우 접지된 유전체 기판을 따라 진행되는 표면파의 크기

가 커진다^[1]. 표면파는 단위 안테나 간의 상호 결합을 발생시키거나 기판 가장자리에서 회절되어 배열 안테나의 방사 특성을 저하시킬 수 있다^[2]. 안테나 간의 상호 결합을 줄이기 위한 방법으로 표면파의 전파를 억제시키는 EBG (electromagnetic bandgap) 구조 또는 DGS (defected ground structure)에 대한 연구 내용이 다수 발표되었다^[3-6]. 표면파는 E-평면 방향으로 진행되는 성분의 크기가 H-평면 방향보다 크기 때문에 E-평면 선형 배열 안테나의 경우 안테나 소자 사이에 EBG 구조 또는 DGS를 삽입하여 접지된 유전체 기판을 따라 진행되는 표면파를 차단함으로써 안테나 소자 사이의 상호 결합을 효과적으로 억제시킬 수 있다.

그러나 H-평면 선형 배열 안테나의 경우 인접 안테나 소자로 직접 전달되는 표면파뿐만 아니라 E-평면 기

* 학생회원, ** 평생회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부

(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0023144)과 방송통신위원회의 방송통신인프라 원천기술개발사업(KCA-2013-(12-911-01-102))의 연구결과로 수행되었음

© Corresponding Author(E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr)
접수일자 2013년1월16일, 수정완료일 2013년4월23일

판 가장자리에서 반사되어 인접 안테나 소자로 전달되는 표면파도 무시할 수 없기 때문에 EBG 구조 또는 DGS를 이용한 표면파의 효율적인 억제에 어려울 수 있다. 이에 본 연구팀에서는 기판 크기를 조절하여 H-평면 선형 배열 안테나의 상호 결합을 효율적으로 줄일 수 있는 연구 결과를 발표하였다^[7]. 그러나 이 연구 내용을 포함하여 대부분의 EBG 구조 또는 DGS에 관한 연구에서는 안테나 소자 간 상호 결합을 줄이기 위한 방법에만 초점이 맞추어져 있고 배열 안테나의 방사 특성 향상에 관한 내용은 매우 부족하다.

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나를 이용하여 유한한 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나를 설계하고 기판 크기가 배열 안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 전산모의 실험을 통해 살펴보았다. 또한 기판 크기에 따른 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 인접 안테나 간 상호 결합 특성을 살펴보고 상호 결합으로 인한 기생방사와 기판 가장자리 회절이 배열 안테나의 방사 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 전산모의에는 Ansys 사의 HFSS가 이용되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 서로 다른 유전상수를 가지는 기판을 이용한 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 기판 크기에 따른 평균 능동소자패턴(active element pattern: AEP) 특성을 분석한다. 제 III 장에서는 기판 크기에 따른 상호 결합 특성을 살펴본다. 제 IV 장에서는 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 빔 주사각도에 따른 주빔 이득, SLL(side lobe level) 특성을 분석한다. 마지막으로 제 V 장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 기판 크기에 따른 평균 AEP 특성

1. 안테나 특성이 크게 달라지지 않는 최소 기판 크기

그림 1에는 동축 프로브 급전 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 구조도를 보인다. 그림 1에서 패치 안테나의 길이와 폭은 각각 L 과 W , 패치 안테나 중심에서 동축 프로브 급전 위치까지의 거리는 x_f 로 나타내었다. 논문 기술의 편의를 위해 패치 안테나 소자의 중심 간 거리는 d , 패치 안테나 소자의 중심에서 E-평면(x - z 평면) 방향 기판 가장자리까지의 거리는 d_E , H-평면(y - z 평면) 방향 기판 가장자리까지의 거리는 d_H 로 나타내었다. 유전상수(ϵ_r)가 서로 다른 기판을 이용하여 동작 주파수가 5 GHz 인

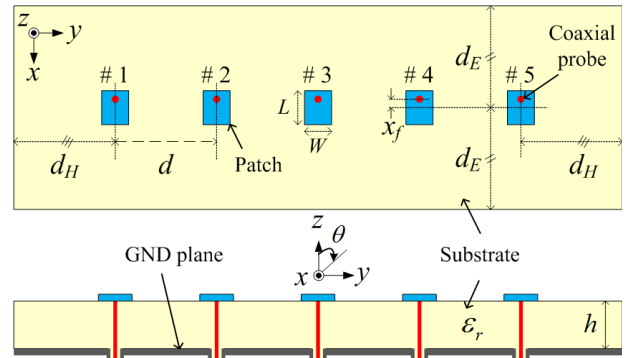


그림 1. 동축 프로브 급전 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 구조도

Fig. 1. Schematic diagram of a five-element H-plane linear microstrip patch array antenna.

마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 설계에 사용된 기판은 유전상수가 각각 10.8과 2.2인 Taconic 사의 CER-10과 TLY-5로 기판의 두께는 3.2 mm로 동일하다. 유전상수가 10.8(2.2)인 CER-10 (TLY-5) 기판을 이용하여 설계한 5 GHz 마이크로스트립 패치 안테나의 패치 크기는 $L \times W = 7.2 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ ($18 \text{ mm} \times 17 \text{ mm}$)이고 $x_f = 1.12 \text{ mm}$ (3.8 mm)이다.

마이크로스트립 패치 안테나에서 E-평면 방향 기판 크기가 패치의 유효 길이($L+2\Delta L$)에 가까워질 경우 입력 임피던스가 변화하여 안테나의 공진주파수와 임피던스 대역폭에 큰 영향을 미칠 수 있다. 여기서 ΔL 은 프링징 효과(fringing effect)로 인해 증가된 패치의 유효 길이로 TLY-5와 CER-10 기판을 이용한 5 GHz 패치 안테나의 경우 ΔL 은 각각 $0.03 \lambda_0$ 와 $0.02 \lambda_0$ 로 계산된다^[8]. 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 단위 안테나 소자의 공진주파수 f_r 와 대역폭이 크게 달라지지 않는 최소 기판 크기를 살펴보았다. 패치 가장자리에서 E-평면과 H-평면 방향 기판 가장자리까지의 거리를 각각 증가시키며 공진주파수 변화 Δf_r 이 2%보다 작은 최소 기판 크기와, 단일 안테나 소자의 임피던스 대역폭 BW_0 를 기준으로 모든 포트의 평균 임피던스 대역폭 BW_{avg} 가 $0.9 BW_0$ 보다 큰 최소 기판 크기를 살펴보았다. 그 결과 $\Delta f_r < 2\%$ 인 최소 기판 크기보다 $BW_{avg} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기가 더 크게 나타났다. 그 이유는 기판 크기에 따라 공진 주파수가 변화하지 않더라도 E-평면 방향 기판 크기가 작은 경우 안테나의 Q 값이 증가하여 대역폭이 감소하기 때문이라 생각된다. 표 1에는 서로 다른 유전체 기판과 안테나 사

표 1. 서로 다른 유전체 기판과 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나에서 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기

Table 1. Minimum substrate sizes at which the average impedance bandwidth is more than $0.9 BW_0$ for 5-element H-plane linear array antennas with different substrates and element spacings.

유전체 기판 (ϵ_r)	$\frac{L}{2}$ [λ_0]	$\frac{W}{2}$ [λ_0]	ΔL [λ_0]	ΔW [λ_0]	d [λ_0]	$BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기 [λ_0]	
						d_L	d_W
TLY-5 (2.2)	0.15	0.14	0.03	0.03	0.5	0.15	0
					0.7	0.09	0
CER-10 (10.8)	0.06	0.05	0.02	0.02	0.5	0.12	0
					0.7	0.10	0

이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기를 보인다.

표 1에서 d_L 과 d_W 는 패치 가장자리에서 각각 E-평면과 H-평면 기판 가장자리까지의 거리이다. 표 1에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기 d_L 은 안테나간 거리가 $0.5 \lambda_0$ ($0.7 \lambda_0$)일 때 TLY-5기판의 경우 $5\Delta L$ ($3\Delta L$)로 나타났으며 CER-10 기판의 경우 $6\Delta L$ ($5\Delta L$)로 나타났다. $d_E = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기 d_W 는 안테나간 거리와 유전상수에 관계없이 모두 0으로 H-평면 기판 크기가 패치의 폭 길이와 동일하더라도 임피던스 대역폭 변화는 크지 않게 나타났다. 표 1에서 유전상수에 관계없이 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우가 $d = 0.7 \lambda_0$ 인 경우보다 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기 d_L 이 크게 나타나는 이유는 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우가 인접 안테나 간 상호 결합으로 인한 입력 임피던스의 변화가 더 크기 때문으로 생각된다. 또한 유전상수와 관계없이 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 최소 기판 크기 d_L 이 d_W 보다 크게 나타나는 것으로 보아 E-평면 기판 크기가 H-평면 기판 크기보다 유효 유전상수 변화에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 표 1의 결과로부터 패치 가장자리에서 기판 가장자리까지의 거리가 E-평면 방향으로 $6\Delta L$ 보다 클 때 두께가 3.2mm인 TLY-5와 CER-10 기판을 이용한 H-평면 선형 배열 안테나의 임피던스 대역폭이 크게 감소하지 않음을 알 수 있다.

2. 기판 크기에 따른 평균 AEP 특성

패치 안테나의 공진 주파수와 임피던스 대역폭이 크

게 변화하지 않는 최소 기판 크기보다 큰 기판 크기를 가지는 경우에 기판 크기 d_E 에 따른 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 평균 AEP 특성을 살펴보았다. 여기서 능동소자패턴은 하나의 안테나 소자만 급전시키고 나머지 다른 안테나 소자는 정합된 부하로 중단시킨 경우의 방사패턴으로 안테나 간 상호 결합 효과가 포함된 방사패턴이다^[9]. 배열 안테나를 구성하는 안테나 소자의 수가 적은 경우에도 평균 AEP를 모든 안테나 소자의 AEP로 대체하여 배열 요소와 곱하면 높은 정확도로 배열 안테나의 방사패턴 특성을 예측할 수 있기 때문에 기판 크기를 변화시켜 가며 H-평면 선형 배열 안테나의 평균 AEP 특성을 살펴보았다^[10].

H-평면 선형 배열 안테나에서 배열 방향인 H-평면 기판 가장자리 효과 (edge effect)는 최외각 소자들과 그 인접 안테나에만 큰 영향을 미치기 때문에 단위 안테나 소자의 개수가 커질수록 배열 안테나의 방사 특성에 미치는 영향은 감소한다. 그러나 배열의 수직 방향인 E-평면 기판 가장자리 효과는 모든 단위 안테나 소자에 동일하게 영향을 미치기 때문에 단위 안테나 소자의 개수와 상관없이 전체 배열 안테나의 방사 특성에 미치는 영향이 상대적으로 크다. 또한 접지된 유전체 기판을 따라 진행되는 표면파는 E-평면 방향으로 진행되는 표면파의 크기가 H-평면 방향보다 크기 때문에 E-평면 기판 가장자리 회절에 의한 방사가 H-평면 기판 가장자리 회절에 의한 방사보다 배열 안테나의 방사패턴에 미치는 영향이 크다. 이에 따라 본 절에서는 d_H 를 $0.5 \lambda_0$ 로 고정시키고 d_E 에 따른 배열 안테나의 평균 AEP 특성을 살펴보았다.

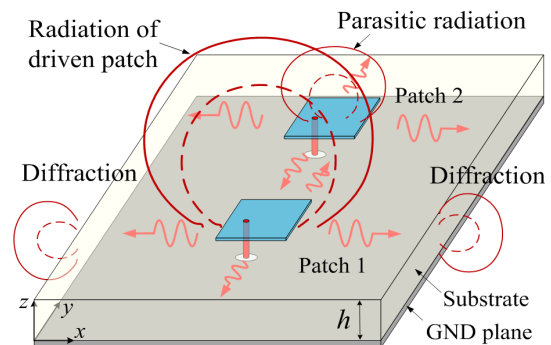


그림 2. 마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 2소자 H-평면 배열 안테나에서 여러 가지 방사 원인으로 구성되는 패치 안테나 1의 H-평면 AEP 개념도

Fig. 2. Schematic diagram of various radiation sources for patch antenna 1 of a two-element H-plane array antenna.

그림 2에는 2소자 H-평면 마이크로스트립 패치 배열 안테나에서 여러 가지 방사 원으로 구성되는 패치 안테나 1의 H-평면 AEP 개념도를 보인다. 그림 2에서 패치 안테나 1의 H-평면 AEP는 직접 급전된 안테나 소자의 방사, E-평면 기판 가장자리에서의 회절에 의한 방사, 상호 결합에 의한 인접 안테나 소자의 기생방사 등의 간섭에 의해 결정됨을 알 수 있다. 안테나 소자의 개수가 증가하여도 단위 안테나 소자의 AEP는 그림 2의 패치 안테나 1과 마찬가지로 위 3가지 방사 원에 의해 주로 결정된다.

배열 안테나를 구성하는 단위 안테나의 공진 주파수와 임피던스 대역폭이 크게 변화하지 않는 최소 기판 크기를 기본 기판 크기로 정의하고 기판 크기 d_E 를 기본 기판 크기에서 $1 \lambda_0$ 까지 변화시켜 가며 평균 AEP의 전방 방사 이득 특성을 살펴보았다. 기본 기판 크기는 표 1에 보인 $BW_{avg.} > 0.9 BW_0$ 인 기판 크기보다 다소 크게 설정하였다.

표 2는 서로 다른 유전체 기판과 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 기본 기판 크기를 보인다. 평균 AEP의 전방 방사 이득은 기본 기판 크기에서 기판 크기가 증가할수록 점차 증가하여 최대가 된다. 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판크기 d_E 는 안테나 사이의 간격에 관계없이 TLY-5 기판을 이용하는 경우 $0.5 \lambda_0$, CER-10 기판을 이용하는 경우 $0.35 \lambda_0$ 에서 나타났다. 전방 방사 이득이 최대인 기판 크기보다 큰 경

표 2. 서로 다른 유전체 기판과 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 기본 기판 크기
Table 2. Simulated substrate sizes for the maximum broadside gain of average AEP and the basic operation of the array antenna for the 5-element H-plane linear array antennas with different substrates and element spacings at d_H of $0.5 \lambda_0$.

유전체 기판	$d [\lambda_0]$	기판 크기 $d_E [\lambda_0]$	
		기본 기판 크기	전방 이득 최대
TLY-5	0.5	0.30	0.50
	0.7	0.24	0.50
CER-10	0.5	0.18	0.35
	0.7	0.16	0.35

우 평균 AEP의 전방 방사 이득은 d_E 가 증가할수록 급격히 감소하다가 최소가 된 후 다시 증가하는 특성을 보인다. 평균 AEP의 전방 방사 이득이 감소하는 이유는 패치 안테나로부터 방사되는 전자파와 E-평면 기판 가장자리에서 회절되어 방사되는 전자파가 상쇄간섭을 일으키기 때문으로 생각된다^[11].

III. 기판 크기에 따른 상호 결합

본 장에서는 서로 다른 유전상수를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 E-평면 방향 기판 크기 d_E 에 따른 상호 결합 특성을 살펴본다.

그림 3은 서로 다른 유전체 기판과 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 기판 크기 d_E 에 따른 인접 안테나 간 평균 상호 결합이다. 그림 3에서 유전상수가 큰 경우가 작은 경우에 비해 표면파의 크기가 크기 때문에 기판 크기 d_E 에 따른 상호 결합 변화가 큼을 볼 수 있다. 그림 3에서 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기 $d_{E,min}$ 은 TLY-5 기판을 이용한 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 경우 $d = 0.5 \lambda_0 (0.7 \lambda_0)$ 일 때 $0.55 \lambda_0 (0.6 \lambda_0)$ 로 나타났으며 CER-10 기판을 이용한 경우에는 $d = 0.5 \lambda_0 (0.7 \lambda_0)$ 일 때 $0.4 \lambda_0 (0.5 \lambda_0)$ 로 나타났다. H-평

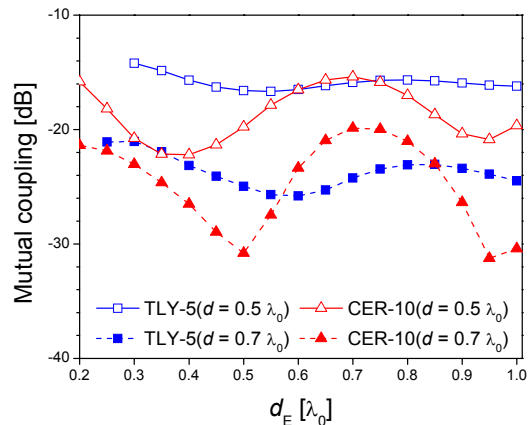


그림 3. 서로 다른 유전체 기판과 안테나 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 기판 크기 d_E 에 따른 인접 안테나 간 평균 상호 결합

Fig. 3. Average mutual coupling between adjacent antenna elements versus the substrate size d_E for the 5-element H-plane linear array antennas with different substrates and element spacings at d_H of $0.5 \lambda_0$.

표 3. 서로 다른 유전체 기판과 안테나 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기에서의 평균 상호 결합 크기

Table 3. Substrate size d_E and average $|S_{21}|$ for the maximum broadside gain of average AEP and minimum average mutual coupling for 5-element H-plane linear array antennas with different substrates and element spacings at d_H of $0.5 \lambda_0$.

유전체 기판	d [λ_0]	평균 AEP 전방 방사 이득 최대		평균 상호 결합 최소	
		d_E [λ_0]	avg. $ S_{21} $ [dB]	$d_{E,min}$ [λ_0]	avg. $ S_{21} $ [dB]
TLY-5	0.5	0.50	-16.60	0.55	-16.67
	0.7	0.50	-24.96	0.60	-25.80
CER-10	0.5	0.35	-22.13	0.40	-22.20
	0.7	0.35	-24.64	0.50	-30.80

면 선형 배열 안테나에서 상호 결합이 최소가 되는 E-평면 기판 크기 $d_{E,min}$ 은 인접 안테나로 직접 전달되는 표면과 성분과 E-평면 기판 가장자리에서 반사되어 인접 안테나로 결합되는 표면과 성분의 경로 차이로 인한 위상 차이가 180° 가 되는 기판 크기로 볼 수 있다^[7].

표 3에 서로 다른 유전체 기판과 안테나 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기에서의 평균 상호 결합 크기를 정리하였다. 표 3에서 유전상수에 관계없이 안테나 사이의 간격이 작은 경우에 상호 결합 크기가 큼을 볼 수 있다. 상호 결합이 최소인 기판 크기를 가지는 경우 유전상수가 2.2인 기판을 이용한 H-평면 선형 배열 안테나의 상호 결합 크기가 유전상수가 10.8인 기판을 이용한 경우보다 더 크게 나타났다. 그 이유는 유전상수가 작은 기판을 이용하는 경우 패치의 크기가 상대적으로 크기 때문에 패치의 중심간 거리가 같아도 패치 가장자리 사이의 거리가 더 짧기 때문이다^[4].

표 3에서 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기 d_E 와 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기 $d_{E,min}$ 은 서로 다름을 알 수 있다. $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 유전상수와 상관없이 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기의 차이는 모두 $0.05 \lambda_0$ 로

큰 차이가 나지 않았다. $d = 0.5 \lambda_0$ 이고 TLY-5 (CER-10) 기판을 이용하는 경우 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기에서 평균 상호 결합 크기는 -16.60 dB (-22.13 dB)로 상호 결합이 최소가 되는 경우와 비교할 때 그 차이는 모두 0.07 dB 로 매우 작게 나타났다. $d = 0.7 \lambda_0$ 이고 TLY-5와 CER-10 기판을 이용한 배열 안테나의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기 d_E 와 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기 $d_{E,min}$ 의 차이는 각각 $0.1 \lambda_0$ 와 $0.15 \lambda_0$ 로 차이가 발생했다. $d = 0.7 \lambda_0$ 이고 TLY-5 (CER-10) 기판을 이용하는 경우 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기에서 평균 상호 결합 크기는 -24.96 dB (-24.64 dB)로 매우 작고 상호 결합이 최소가 되는 경우와 비교할 때 그 차이는 0.84 dB (6.16 dB)로 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우보다 크게 나타났다. $d = 0.7 \lambda_0$ 이고 CER-10 기판을 이용하는 경우에 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기 d_E 와 평균 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기 $d_{E,min}$ 의 차이가 가장 크고 두 기판 크기에서 평균 상호 결합 크기 차이도 가장 크게 나타났다.

IV. 빔 주사 특성

본 장에서는 표 2에서 보인 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대인 기판 크기(이하 전방 이득 최대 기판 크기)를 포함하여 패치 안테나의 공진 주파수와 임피던스 대역폭이 크게 변화하지 않는 최소 기판 크기(기본 기판 크기), 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 주 빔 이득과 SLL 특성을 분석하였다. 여기서 빔 주사각도 θ_0 는 배열 요소의 최대 이득이 발생하는 각도이다. 먼저 균일 급전 5소자 배열 안테나의 기판 크기 d_E 에 따른 전방 방사 이득 변화를 살펴봄으로써 기판 가장자리 회절이 배열 안테나의 전방 이득에 미치는 영향을 살펴본다.

그림 4는 서로 다른 유전상수를 가지는 기판을 이용하고 $d = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.7 \lambda_0$ 인 경우 d_E 에 따른 5소자 H-평면 배열 안테나의 전방 방사 이득과 평균 AEP의 전방 방사 이득이다. 그림 4에서 5소자 H-평면 선형 배열 안테나 빔 주사각도 θ_0 는 0° 인 경우이다. 그림 4에서 유전상수가 큰 경우가 유전상수가 작은 경우보다 기판 가장자리 회절에 의한 영향을 더 많이 받기 때문에

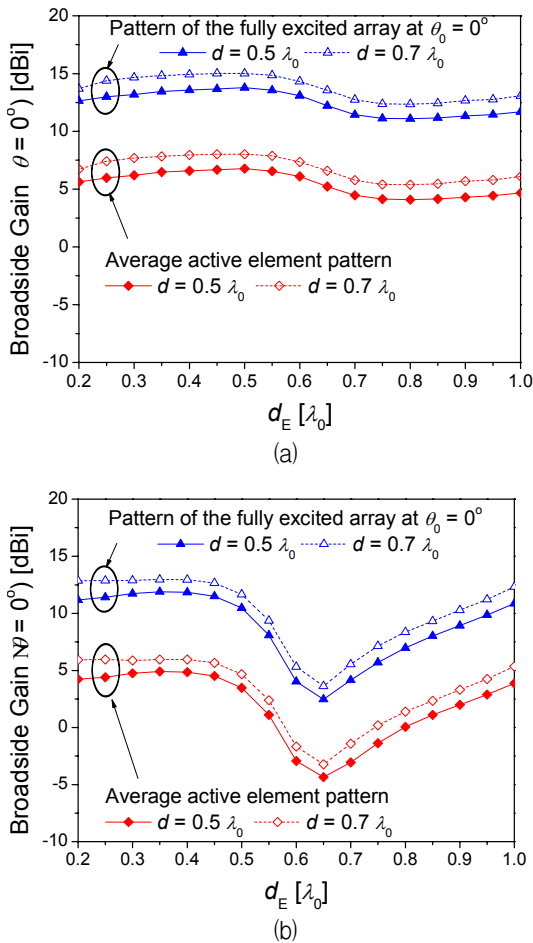


그림 4. $d = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.7 \lambda_0$ 인 경우 d_E 에 따른 5소자 배열 안테나와 평균 AEP의 전방 방사 이득 (a) $\epsilon_r = 2.2$ 인 경우, (b) $\epsilon_r = 10.8$ 인 경우

Fig. 4. Broadside gain of the fully excited arrays and that of the average active element pattern versus the quantity d_E for 5-element H-plane linear array antennas with different substrates and element spacings in the case of (a) $\epsilon_r = 2.2$, and (b) $\epsilon_r = 10.8$.

d_E 에 따른 전방 이득 변화가 큼을 볼 수 있다. 또한 H-평면 선형 배열 안테나의 E-평면 기판 가장자리 효과는 모든 단위 안테나 소자에 동일하게 영향을 미치기 때문에 안테나 소자간 거리와 상관없이 기판 크기 d_E 에 따른 전방 방사 이득 변화가 유사함을 볼 수 있다.

모든 안테나 소자의 AEP가 동일한 경우 빔 주사각도가 θ_0 인 배열 안테나의 방사 패턴은 AEP에 직접적으로 비례한다^[12]. 또한 모든 안테나 소자의 AEP가 동일하지 않은 경우 배열 안테나의 방사 패턴은 평균 AEP에 비례하여 나타난다^[10]. 그림 4에서 $\theta_0 = 0^\circ$ 인 5소자 배열 안테나의 기판 크기 d_E 에 따른 전방 이득 변화는 평균 AEP의 전방 방사 이득 변화에 비례하여

표 4. 서로 다른 유전체 기판과 안테나 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 여러 가지 기판 크기 d_E 에서의 전방 방사 이득

Table 4. Broadside gain for $0.5 \lambda_0$ and $0.7 \lambda_0$ spaced 5-element H-plane linear array antennas printed on substrates with different dielectric constant having various substrate sizes of d_E and d_H of $0.5 \lambda_0$.

유전체 기판	d [λ_0]	기판 크기 d_E [λ_0] / 전방 방사 이득 [dBi]		
		기본 기판 크기	전방 이득 최대	상호 결합 최소
TLY-5	0.5	0.30 / 13.19	0.50 / 13.77	0.55 / 13.56
	0.7	0.25 / 14.39	0.50 / 15.00	0.60 / 14.32
CER-10	0.5	0.20 / 11.17	0.35 / 11.89	0.40 / 11.84
	0.7	0.20 / 12.85	0.35 / 12.96	0.50 / 11.65

나타남을 볼 수 있다. 안테나 소자의 개수가 5개인 경우 배열 요소에 의한 방사 이득은 7 dB이기 때문에 그림 4에서 평균 AEP의 전방 방사 이득과 $\theta_0 = 0^\circ$ 인 5소자 배열 안테나의 전방 방사 이득 간 차이가 7 dB 발생함을 볼 수 있다.

그림 4에서 5소자 배열 안테나의 전방 방사 이득은 유전상수와 안테나 소자 간 간격에 관계없이 기판 크기 d_E 가 증가함에 따라 서서히 증가하여 최대 이득 값을 갖는다. 5소자 배열 안테나의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기는 $\epsilon_r = 2.2$ ($\epsilon_r = 10.8$)인 경우 안테나 소자 간 간격에 관계없이 $0.5 \lambda_0$ ($0.35 \lambda_0$)로 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 동일하게 나타났다. d_E 가 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기보다 커짐에 따라 전방 방사 이득은 감소하다가 최소가 된 후 다시 증가함을 볼 수 있다.

표 4에는 서로 다른 유전체 기판과 안테나 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 여러 가지 기판 크기 d_E 에 따른 전방 방사 이득을 정리하였다. 표 4에 정리한 여러 가지 기판 크기 d_E 는 배열 안테나의 방사 특성이 좋을 것으로 예상되는 전방 이득 최대, 상호 결합 최소 기판 크기와 기본 기판 크기이다. 세 가지 기판 크기를 가지는 H-평면 선형 배열 안테나에서 빔 주사각에 따른 방사 특성을 자세히 분석하였다.

1. 유전상수가 2.2인 기판

그림 5에 유전상수가 2.2이고 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사 특성을 보인다. 그림 5에서 세 가지 기판 크기 d_E 는 각각 기본 기판 크기 ($d_E = 0.3 \lambda_0$), 전방 이득 최대 기판 크기($d_E = 0.5 \lambda_0$), 상호 결합 최소 기판 크기($d_E = 0.55 \lambda_0$)에 해당한다. 그림 5(a)는 θ_0 에 따른 주 빔 이득, 그림 5(b)는 θ_0 에 따른 SLL을 나타낸다. 그림 5(a)에서 θ_0 에 따른 최대 주 빔 이득은 $d_E = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 $\theta_0 = 0^\circ$ 일 때 13.8 dBi로 가장 크게 나타났다. $d_E = 0.3 \lambda_0$ 와 $0.55 \lambda_0$ 인 경우 θ_0

에 따른 최대 주 빔 이득은 θ_0 가 0° 와 17° 일 때 각각 13.2 dBi와 13.6 dBi로 나타났다. 이에 따라 유전상수가 2.2이고 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 5소자 H-평면 선형 배열 안테나가 가질 수 있는 최대 주 빔 이득 값(13.8 dBi)을 기준으로 이득이 3 dB 감소하는 빔 주사각 범위를 Gain BSR (beam scanning range)이라고 정의하였다. 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 최대 주 빔 이득을 기준으로 한 Gain BSR은 $d_E = 0.55 \lambda_0$ 인 경우 $135^\circ(-68^\circ \sim 67^\circ)$ 로 가장 크게 나타났으며 $d_E = 0.3 \lambda_0$ 와 $0.5 \lambda_0$ 인 경우 각각 $113^\circ(-57^\circ \sim 56^\circ)$ 와 $133^\circ(-67^\circ \sim 66^\circ)$ 로 나타났다. 그림 5(b)에서 θ_0 에

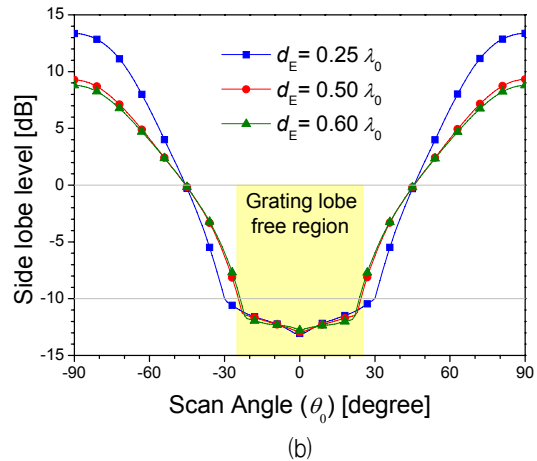
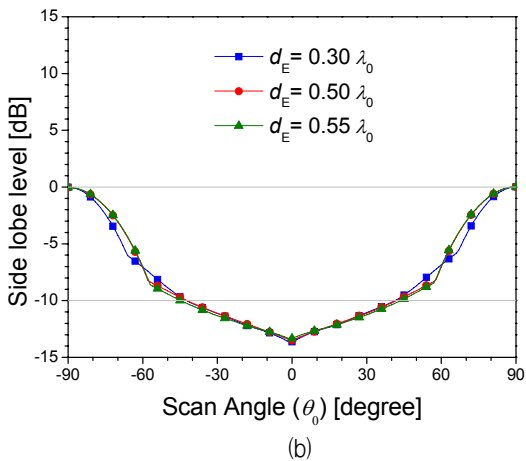
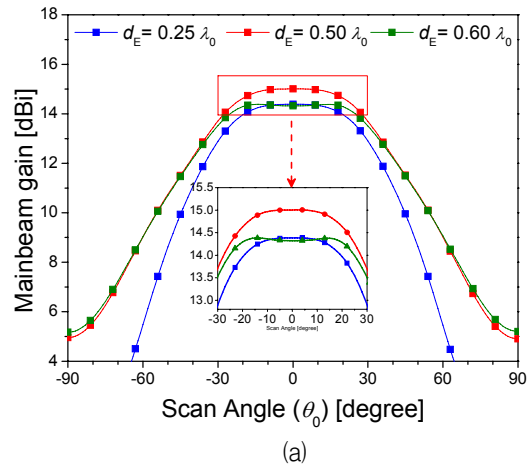
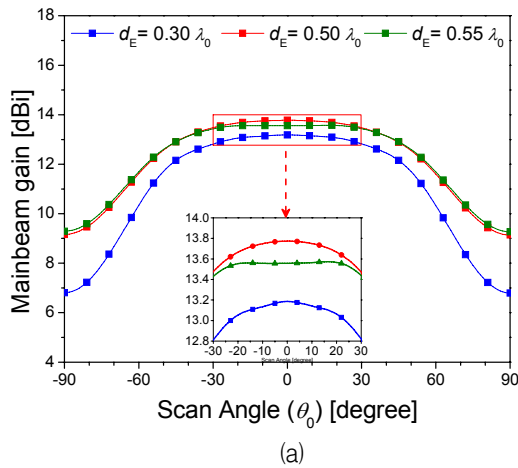


그림 5. 유전상수가 2.2이고 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사특성 (a) 주 빔 이득과 (b) SLL

Fig. 5. Radiation characteristics versus scan angle for $0.5 \lambda_0$ spaced 5-element H-plane linear array antennas printed on a TLY-5 substrate with various substrate sizes of d_E . (a) main beam gain and (b) SLL.

그림 6. 유전상수가 2.2이고 $d = 0.7 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 H-평면 방향 5소자 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사특성 (a) 주 빔 이득과 (b) SLL

Fig. 6. Radiation characteristics versus scan angle for $0.7 \lambda_0$ spaced 5-element H-plane linear array antennas printed on a TLY-5 substrate with various substrate sizes of d_E . (a) main beam gain and (b) SLL.

따른 최소 SLL은 $d_E = 0.3 \lambda_0$ 인 경우 -13.7 dBi로 가장 작게 나타났다. $d_E = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.55 \lambda_0$ 인 경우 θ_0 에 따른 최소 SLL은 각각 -13.5 dBi와 -13.4 dBi로 나타났다. 이에 따라 유전상수가 2.2 이고 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 5소자 H-평면 선형 배열 안테나가 가질 수 있는 최소 SLL(-13.7 dBi)을 기준으로 SLL이 3 dB 증가하는 빔 주사각 범위를 SLL BSR이라고 정의하였다. 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 최소 SLL을 기준으로 한 SLL BSR은 $d_E = 0.55 \lambda_0$ 인 경우 73° ($-37^\circ \sim 36^\circ$)로 가장 크게 나타났으며 $d_E = 0.3 \lambda_0$ 와 $0.5 \lambda_0$ 인 경우 각각 69° ($-35^\circ \sim 34^\circ$)와 68° ($-34^\circ \sim 34^\circ$)로 비슷하게 나타났다. 그림 5(b)에서 SLL 특성은 $|\theta_0|$ 가 60° 보다 커짐에 따라 grating lobe의 크기 증가로 인해 급격히 나빠짐을 볼 수 있다.

그림 6에 유전상수가 2.2 이고 $d = 0.7 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사 특성을 보인다. 그림 6에서 세 가지 기판 크기 d_E 는 각각 기본 기판 크기 ($d_E = 0.25 \lambda_0$), 전방 이득 최대 기판 크기($d_E = 0.5 \lambda_0$), 상호 결합 최소 기판 크기($d_E = 0.6 \lambda_0$)이다. 그림 6(a)에서 θ_0 에 따른 최대 주 빔 이득은 $d_E = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 θ_0 가 0° 일 때 15 dBi로 가장 크게 나타났다. $d_E = 0.25 \lambda_0$ 와 $0.6 \lambda_0$ 인 경우 θ_0 에 따른 최대 주 빔 이득은 θ_0 가 0° 와 -14° 일 때 14.4 dBi로 동일하게 나타났다. Gain BSR은 $d_E = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.6 \lambda_0$ 인 두 경우 모두 82° ($-41^\circ \sim 41^\circ$)로 가장 크게 나타났으며 $d_E = 0.25 \lambda_0$ 인 경우 70° ($-35^\circ \sim 35^\circ$)로 나타났다. 그림 6(b)에서 θ_0 에 따른 최소 SLL은 $d_E = 0.25 \lambda_0$ 인 경우 -13.1 dBi로 가장 작게 나타났다. $d_E = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.6 \lambda_0$ 인 경우 θ_0 에 따른 최소 SLL은 각각 -13.0 dBi와 -12.8 dBi로 나타났다. SLL BSR은 $d_E = 0.3 \lambda_0$ 인 경우 58° ($-29^\circ \sim 29^\circ$)로 가장 넓게 나타났으며 $d_E = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.6 \lambda_0$ 인 경우에는 각각 48° ($-24^\circ \sim 24^\circ$)와 46° ($-23^\circ \sim 23^\circ$)로 비슷하게 나타났다. 그림 6(b)에서 SLL 특성은 $|\theta_0|$ 가 25° 보다 커짐에 따라 grating lobe의 크기 증가로 인해 급격히 나빠짐을 볼 수 있다.

그림 5와 6으로부터 유전상수가 2.2인 경우 안테나 소자 간격에 관계없이 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 주 빔 이득은 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기를 가질 때 가장 크게 나타났으며, Gain BSR 특성은 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되

표 5. TLY-5 기판을 이용하고 서로 다른 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 여러 가지 기판 크기 d_E 에서의 방사 특성

Table 5. Radiation characteristics for the 0.5 and 0.7 λ_0 spaced 5-element H-plane linear array antennas printed on a TLY-5 substrate with various substrate sizes of d_E .

d [λ_0]	0.5			0.7		
	기본 기판 크기	전방 이득 최대	상호 결합 최소	기본 기판 크기	전방 이득 최대	상호 결합 최소
d_E [λ_0]	0.30	0.50	0.55	0.25	0.50	0.60
Max. Gain [dB]	13.2	13.8	13.6	14.4	15.0	14.4
Gain BSR [degree]	113 (-57~56)	133 (-67~66)	135 (-68~67)	70 (-35~35)	82 (-41~41)	82 (-41~41)
Min. SLL [dB]	-13.7	-13.5	-13.4	-13.1	-13.0	-12.8
SLL BSR [degree]	69 (-35~34)	68 (-34~34)	73 (-37~36)	58 (-29~29)	48 (-24~24)	46 (-23~23)

는 기판 크기와 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기를 가질 때 넓은 범위에서 우수하게 나타났다. SLL 특성은 $d = 0.5 \lambda_0$ 와 $0.7 \lambda_0$ 인 경우 차례대로 상호 결합 최소와 기본 기판 크기를 가질 때 가장 향상되었다.

빔 주사 특성을 종합적으로 검토해볼 때 유전상수가 2.2인 기판을 이용한 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성이 가장 향상되는 기판 크기는 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기로 판단된다. 그러나 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기 차이는 $0.05 \lambda_0$ 로 작고 방사 특성 차이도 매우 근소하게 나타났다. $d = 0.7 \lambda_0$ 인 경우 방사 특성이 가장 향상되는 기판 크기는 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기로 판단된다. 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기에서 배열 안테나의 방사 특성이 좋은 이유는 안테나 사이의 상호 결합이 작을 뿐만 아니라 기판 가장자리 회절의 영향도 작기 때문이라고 생각된다. 표 5에는 TLY-5 기판을 이용하고 서로 다른 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 선형 배열 안테나에서 $d_H = 0.5 \lambda_0$ 일 때 여러 가지 기판 크기 d_E 에서의 방사 특성을 정리하였다.

2. 유전상수가 10.8인 기판

그림 7에 유전상수가 10.8 이고 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5 소자 H-평면 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사 특성을 보인다. 그림 7에서 세 가지 기판 크기 d_E 는 각각 기본 기판 크기 ($d_E = 0.2 \lambda_0$), 전방 이득 최대 기판 크기($d_E = 0.35 \lambda_0$), 상호 결합 최소 기판 크기($d_E = 0.4 \lambda_0$)이다. 그림 7(a)에서 θ_0 에 따른 최대 주 빔 이득은 $d_E = 0.35 \lambda_0$ 인 경우 θ_0 가 -9° 일 때 11.9 dBi로 가장 크게 나타났다. $d_E = 0.2 \lambda_0$ 와 $0.4 \lambda_0$ 인 경우에는 θ_0 가 10° 와 -6° 일 때 각각

11.3 dBi와 11.8 dBi로 다소 작게 나타났다. 최대 주 빔 이득 값을 기준으로 한 Gain BSR은 $d_E = 0.35 \lambda_0$ 인 경우 $170^\circ(-86^\circ \sim 84^\circ)$ 로 가장 넓게 나타났으며 $d_E = 0.2 \lambda_0$ 와 $0.4 \lambda_0$ 인 경우 각각 $111^\circ(-55^\circ \sim 56^\circ)$ 와 $168^\circ(-85^\circ \sim 83^\circ)$ 로 $d_E = 0.2 \lambda_0$ 인 경우가 가장 좁게 나타났다. 그림 7(b)에서 θ_0 에 따른 최소 SLL은 $d_E = 0.35 \lambda_0$ 인 경우 -11.9 dBi로 가장 작게 나타났다. $d_E = 0.2 \lambda_0$ 와 $0.4 \lambda_0$ 인 경우 θ_0 에 따른 최소 SLL은 각각 -9.0 dBi와 -11.6 dBi로 나타났다. 최소 SLL을 기준으로 한 SLL BSR은 $d_E = 0.2 \lambda_0$ 인 경우 $4^\circ(-2^\circ \sim 2^\circ)$ 로 작게 나타났으며 d_E

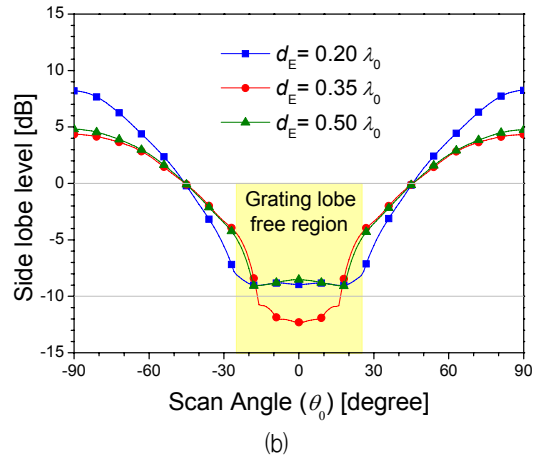
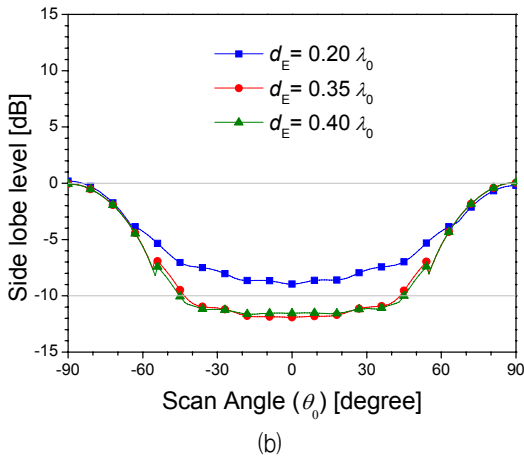
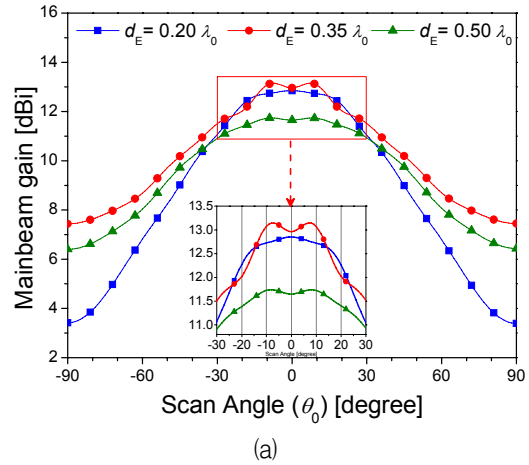
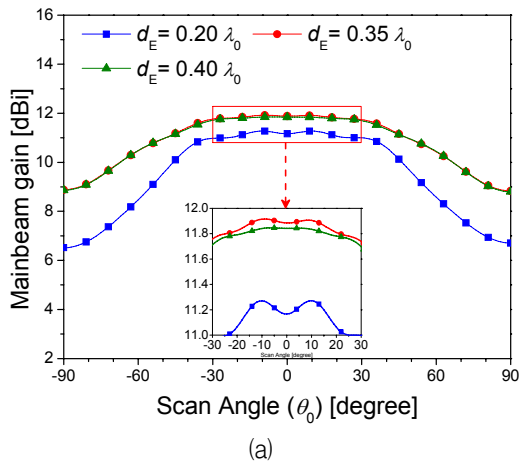


그림 7. 유전상수가 10.8이고 $d = 0.5 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5 소자 H-평면 선형 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사 특성 (a) 주 빔 이득, (b) SLL

Fig. 7. Radiation characteristics versus scan angle for $0.5 \lambda_0$ spaced 5-element H-plane linear array antennas printed on a CER-10 substrate with various substrate sizes of d_E . (a) main beam gain and (b) SLL.

그림 8. 유전상수가 10.8이고 $d = 0.7 \lambda_0$ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5 소자 H-평면 선형 배열 안테나의 빔 주사각도 θ_0 에 따른 방사 특성 (a) 주 빔 이득, (b) SLL

Fig. 8. Radiation characteristics versus scan angle for $0.7 \lambda_0$ spaced 5-element H-plane linear array antennas printed on a CER-10 substrate with various substrate sizes of d_E . (a) main beam gain and (b) SLL.

= 0.35 λ₀와 0.4 λ₀인 경우에는 각각 93°(-46°~47°)와 96°(-48°~48°)로 d_E = 0.4 λ₀인 경우가 가장 크게 나타났다.

그림 8에 유전상수가 10.8 이고 d = 0.7 λ₀ 인 경우 여러 가지 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나의 빔 주사각도 θ₀에 따른 방사 특성을 보인다. 그림 8에서 세 가지 기판 크기 d_E는 각각 기본 기판 크기 (d_E = 0.2 λ₀), 전방 이득 최대 기판 크기(d_E = 0.35 λ₀), 상호 결합 최소 기판 크기(d_E = 0.5 λ₀)이다. 그림 8(a)에서 θ₀에 따른 최대 주 빔 이득은 d_E = 0.35 λ₀인 경우 θ₀가 7°일 때 13.1 dBi로 가장 크게 나타났다. d_E = 0.2 λ₀와 0.5 λ₀인 경우 θ₀에 따른 최대 주 빔 이득은 θ₀가 0°와 -8°일 때 각각 12.8 dBi와 11.7 dBi로 나타났다. 최대 주 빔 이득 값을 기준으로 한 Gain BSR은 d_E = 0.35 λ₀인 경우 90°(-45°~45°)로 가장 넓게 나타났으며 d_E = 0.2 λ₀와 0.5 λ₀인 경우 각각 74°(-37°~37°)와 80°(-40°~40°)로 d_E = 0.2 λ₀인 경우가 가장 좁게 나타났다. 그림 8(b)에서 θ₀에 따른 최소 SLL은 d_E = 0.35 λ₀인 경우 -12.3 dBi로 가장 작게 나타났다. d_E = 0.2 λ₀와 0.5 λ₀인 경우 θ₀에 따른 최소 SLL은 각각 -9.0 dBi와 -9.1 dBi로 크게 나타났다. d_E = 0.35 λ₀인 경우 최소 SLL을 기준으로 한 SLL BSR은 34°(-17°~17°)로 나타났으며 d_E = 0.2 λ₀와 0.5 λ₀인 경우에는 0°로 나타

표 6. CER-10 기판을 이용하고 서로 다른 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나에서 d_H = 0.5 λ₀일 때 여러 가지 기판 크기 d_E에서 방사 특성

Table 6. Radiation characteristics for the 0.5 and 0.7 λ₀ spaced 5-element H-plane array antennas printed on a CER-10 substrate with various substrate sizes of d_E.

d [λ ₀]	0.5			0.7		
구분	기본 기판 크기	전방 이득 최대	상호 결합 최소	기본 기판 크기	전방 이득 최대	상호 결합 최소
d _E [λ ₀]	0.20	0.35	0.40	0.20	0.35	0.50
Max. Gain [dB]	11.3	11.9	11.8	12.8	13.1	11.7
Gain BSR [degree]	111 (-55~56)	170 (-86~84)	168 (-85~83)	74 (-37~37)	90 (-45~45)	80 (-40~40)
Min. SLL [dB]	-9.0	-11.9	-11.6	-9.0	-12.3	-9.1
SLL BSR [degree]	4 (-2~2)	93 (-46~47)	96 (-48~48)	-	34 (-17~17)	-

났다. 표 6에는 CER-10 기판을 이용하고 서로 다른 안테나 사이의 간격을 가지는 5소자 H-평면 배열 안테나에서 d_H = 0.5 λ₀일 때 여러 가지 기판 크기 d_E에 따른 방사 특성을 정리하였다.

그림 7과 8의 결과를 정리하면 유전상수가 10.8 인 경우 안테나 소자 간격에 관계없이 5소자 H-평면 배열 안테나의 최대 주 빔 이득, Gain BSR, 최소 SLL 특성은 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기를 가질 때 가장 향상되었다. SLL BSR은 d = 0.5 λ₀와 0.7 λ₀인 경우 차례대로 상호 결합 최소 기판 크기와 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대인 기판 크기를 가질 때 가장 향상되었다. 유전 상수가 큰 경우에는 작은 경우보다 표면파의 크기가 크기 때문에 기판 크기에 따른 방사 특성 차이가 상대적으로 크게 나타났다. 빔 주사 특성을 종합적으로 검토해볼 때 유전 상수가 10.8인 기판을 이용한 H-평면 배열 안테나의 방사 특성이 가장 향상되는 기판 크기는 d = 0.5 λ₀와 0.7 λ₀인 경우 모두 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기로 판단된다. 그러나 d = 0.5 λ₀인 경우 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 상호 결합이 최소가 되는 기판 크기에서의 방사 특성 차이는 매우 근소하다. 유전 상수가 큰 경우 H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성은 상호 결합이 최대가 되는 기판 크기를 가질 때 가장 향상되는 것이 아니라 기판 가장자리 회절에 의한 영향으로 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기에서 가장 향상됨을 알 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 5 GHz 대역에서 동작하는 마이크로스트립 패치 안테나를 이용하여 유한한 기판 크기를 가지는 5소자 H-평면 선형 위상 배열 안테나를 설계하고 기판 크기에 따른 방사 특성을 분석하였다. 접지된 유전체 기판이 패치의 길이 방향으로는 패치 가장자리보다 3ΔL보다 클 때, 패치의 폭 방향으로는 패치 폭 크기보다 클 때 두께가 3.2 mm인 TLY-5와 CER-10 기판을 이용한 H-평면 선형 배열 안테나는 기판 크기에 따라 공진주파수가 크게 변화하지 않았다.

두께가 3.2 mm인 TLY-5와 CER-10 기판을 이용한 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기판 크기와 상호 결합이 최소가 되는 기

판 크기가 서로 다른 것을 알 수 있었다. 안테나 소자 간 간격이 $0.5 \lambda_0$ 인 경우 유전 상수에 관계없이 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기관 크기와 상호 결합이 최소가 되는 기관 크기의 차이는 $0.05 \lambda_0$ 로 매우 작으며 두 기관 크기에서 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성이 크게 향상되었다. 안테나 소자 간 간격이 $0.7 \lambda_0$ 인 경우 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기관 크기와 상호 결합이 최소가 되는 기관 크기는 유전 상수가 2.2와 10.8일 때 각각 $0.1 \lambda_0$ 와 $0.15 \lambda_0$ 로 서로 다르며 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대가 되는 기관 크기에서 5소자 H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성이 크게 향상되었다. 유전 상수가 큰 경우 H-평면 선형 배열 안테나의 방사 특성은 상호 결합이 최소가 되는 기관 크기를 가질 때 가장 향상되는 것이 아니라 기관 가장자리 회절에 의한 영향으로 평균 AEP의 전방 방사 이득이 최대인 기관 크기에서 가장 향상됨을 알 수 있었다.

5소자 H-평면 선형 위상 배열 안테나에서 방사 특성이 가장 우수하게 나타난 기관 크기 d_E 는 안테나 소자 간 간격에 상관없이 TLY-5 기관을 이용하는 경우 모두 $0.5 \lambda_0$ 근처에서 나타났으며 CER-10 기관을 이용하는 경우 모두 $0.35 \lambda_0$ 근처에서 나타났다.

참 고 문 헌

[1] A. K. Bhattacharyya, "Analysis of circular patch antennas on electrically thick substrates," *Comput. Phys. Commun.*, vol. 68, issues 1-3, pp. 485-495, Nov. 1991.

[2] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, "Scan blindness in infinite phase arrays of printed dipoles," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 32, no. 6, pp. 602-610, 1984.

[3] M. Coulombe, S. F. Koodiani, and C. Caloz, "Compact elongated mushroom (EM)-EBG structure for enhancement of patch antenna array performances," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 4, Apr. 2010.

[4] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "Microstrip antennas integrated with electromagnetic band-gap(EBG) structures: a low mutual coupling design for array applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no.10, pp. 2936-2946, Oct. 2003.

[5] M. Salehi and A. Tavakoli, "A novel low mutual coupling microstrip antenna array design using

defected ground structure," *Int. J. Electron. Commun.*, vol. 60, pp. 718-723, 2006.

[6] D. N. Elsheakh, H. A. Elsadek, E. A. Abdallah, M. F. Iskander, and H. Elhenawy, "Low mutual coupling 2x2 microstrip patch array antenna by using novel shapes of defected ground structure," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 52, no. 5, May, 2010.

[7] 김군수, 김태영, 김부균, "유한한 기관 크기가 H-평면상에 배열된 두 개의 패치안테나간의 상호 결합에 미치는 영향," 제 47권 TC편, 제 10호, 67-73, 2010년 10월

[8] S. Chattopadhyay, M. Biswas, J. Y. Siddiqui, and D. Guha, "Rectangular microstrips with variable air gap and varying aspect ratio: improved formulations and experiments," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 51, no. 1, pp. 169-173, May, 2009.

[9] D. M. Pozar, "A relation between the active input impedance and the active element pattern of a phased array," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 9, pp. 2486-2489, Sep. 2003.

[10] R. L. Haupt, *Antenna arrays: a computational approach*, Wiley, pp. 339-400, 2010.

[11] 김태영, 박재우, 김부균, "유한한 정사각형 기관을 가지는 마이크로스트립 패치 안테나의 방사 특성," 전자공학회논문지, 제 46권 TC편, 제 6호, 118-127, 2009년 6월

[12] D. M. Pozar, "The Active Element Pattern," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, no. 8, pp. 1176-1178, Aug. 1994.

저 자 소 개

윤 영 민 (학생회원)
전자공학회논문지
제 49권 제 12호
pp. 110 참조.

김 부 균 (평생회원)
전자공학회논문지
제 49권 제 12호
pp. 110 참조.