

논문 2009-46TC-12-7

# 핀 배열 안테나를 단위 안테나로 사용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성

(The Radiation Characteristics of a Linear Phased Array Antenna using a Pin Array Patch Antenna as an Element)

김 태 영\*, 김 군 수\*, 김 부 균\*\*

(Tae-Young Kim, Gun-Su Kim, and Boo-Gyoun Kim)

## 요 약

핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성을 일반적인 패치안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나와 방사 특성을 비교하였다. 핀 배열 안테나를 이용한 위상 배열 안테나는 단위 안테나간의 상호결합이 작게 발생하기 때문에 일반적인 패치안테나를 이용한 위상 배열 안테나의 성능보다 향상되었다. 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나는 주 빔의 방향에 따른 이득과 side lobe level 의 변화가 적은 우수한 방사 특성을 가진다.

## Abstract

The radiation characteristics of a pin array patch antenna phased array are compared to those of a conventional patch antenna phased array. The performance of a pin array patch antenna phased array is much improved than that of a conventional patch antenna phased array because the mutual coupling between the adjacent pin array patch antennas is very small compared to that between the adjacent conventional patch antennas. The radiation characteristics of a pin array patch antenna phased array show the superior performance such as low variation of the gain of the main beam and the side lobe level for the variation of the direction of the main beam.

**Keywords:** Phased array antenna, Mutual coupling, Active element pattern. Microstrip patch antennas, Suppressed radiation in horizontal directions.

## I. 서 론

최근 휴대용 컴퓨터 및 휴대폰으로 장소에 상관없이 무선 네트워크 망에 접속하고자 하는 요구가 늘어나면서 무선 LAN, WiBro (Wide Broadband internet), WiMAX (Worldwide Interoperability For Microwave

Access)에 대한 관심이 급증하고 있다. 또한 IT 기술의 방위 산업에 적용이 급격히 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 특히 급전되는 전류의 위상을 조절하여 전자적으로 방사패턴의 형태와 주 빔의 방향을 조절하는 위상 배열 안테나는 군사용 레이더 분야에 많이 응용되고 있다<sup>[2]</sup>.

위상 배열 안테나의 단위 안테나로 많이 사용되는 패치안테나는 가격이 저렴하고, 제작이 쉬우며, Low-profile이기 때문에 집적화가 가능하다는 장점을 가지나, 대역폭이 좁고 효율이 낮다는 단점이 있다<sup>[3]</sup>. 대역폭을 증가시키는 간단한 방법은 기판의 두께를 증가시키는 것이지만 기판의 두께가 증가하게 되면 표면파의 발생으로 인하여 안테나의 상호결합 (mutual coupling)이

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

※ 이 논문은 지식경제부의 산업기술개발사업(핵심기반기술개발사업 內 시스템집적반도체기반기술개발사업, 과제번호: 10030554-2008-02)의 지원으로 수행된 연구임.

접수일자: 2009년11월6일, 수정완료일: 2009년12월14일

증가하여 효율이 저하되는 단점이 있다<sup>[4]</sup>.

인접 패치 안테나 사이의 상호결합 현상을 발생시키는 주요 원인은 패치안테나의 패치에서 발생하여 기판을 따라 전달되는 표면파와 패치 안테나의 패치 밑에 존재하는 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사이다. 기판을 따라 전달되는 표면파와 수직방향의 편파전류에 의한 수평방향으로의 방사를 줄이기 위하여 패치와 접지면 사이에 핀 배열을 가지는 패치 안테나(핀 배열 안테나)에 관한 연구가 진행되고 있다<sup>[5~7]</sup>.

이러한 핀 배열 안테나를 이용하여 5 GHz 대역의 위상 배열 안테나를 설계하고 안테나의 방사 특성에 관하여 연구하였다. 또한 일반적인 패치안테나를 이용한 위상 배열 안테나의 방사 특성과 비교하였다. 본 논문에서 전산모의에 사용된 기판은 Taconic 사의 CER-10으로 유전상수가 10이고 loss tangent 는 0.0035이며 기판 두께는 3.2 mm이다. Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하여 특성을 전산모의 하였다. 제 II장에서 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나가 각각 2개 있을 때, 단위 안테나 중심 간의 거리에 따른 상호결합과 단위 안테나 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리가 상호결합에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. 제 III장에서 각각 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나를 단위 안테나로 7개 이용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성을 비교하였고 제 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리와 기판 모서리까지의 거리에 따른 상호결합

### 2.1. 두 개의 패치안테나 중심 간의 거리에 따른 상호 결합

패치안테나 중심간의 거리 축을 E-plane 상에 놓고 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나 중심 간의 거리를 증가시키면서 안테나간의 상호결합 특성을 살펴보았다. 기판의 크기는 폭 방향은  $\lambda_0$  (60 mm)로 고정하고 패치안테나의 중심 간의 거리를  $0.5 \lambda_0$ 부터  $1.0 \lambda_0$ 까지  $0.05 \lambda_0$  간격으로 증가시켜가며 특성을 전산모의 하였다. 이 때 패치안테나의 중심에서 모서리까지의 거리는  $0.5 \lambda_0$ 로 고정하였다.

그림 1(a)와 (b)는 각각 길이 방향으로 배열된 두 개의 일반적인 패치안테나와 두 개의 5x2 핀 배열 안테나

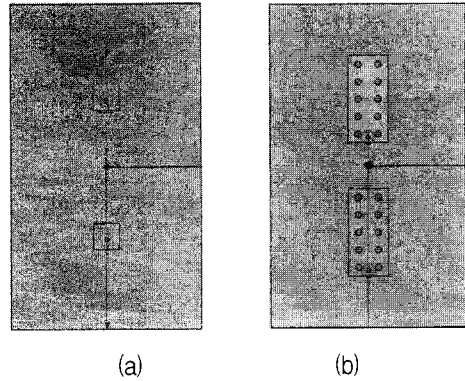


그림 1. 길이 방향으로 배열된 (a)두 개의 일반적인 패치안테나와 (b) 두 개의 5x2 핀 배열 안테나의 구조도.

Fig. 1. Schematic diagram of (a) a pair of conventional patch antennas and (b) a pair of 5x2 pin array patch antennas along the length direction.

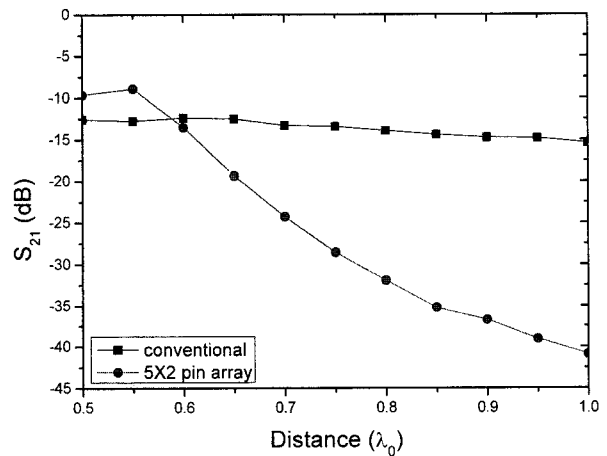


그림 2. 두 개의 일반적인 패치안테나와 두 개의 핀 배열 안테나의 중심 간의 거리에 따른 상호결합.

Fig. 2. Mutual coupling between a pair of conventional patch antennas and a pair of 5x2 pin array patch antennas versus the distance between the antenna centers.

의 구조도를 나타낸다. 5 GHz 에서 동작하는 일반적인 패치안테나의 패치 크기는 7.3 mm x 6 mm이며 5x2 핀 배열 안테나의 패치크기는 27.5mm x 12.2 mm이다. 단일 안테나인 경우 일반적인 패치안테나의 이득은 4.81 dBi이고 10 dB 대역폭은 4.6 %이며, 5x2 핀 배열 안테나의 이득은 8.92 dBi이고 10 dB 대역폭은 3 %이다. E-평면 방향으로의 수평방사는 핀 배열 안테나가 일반적인 패치안테나보다 약 10 dB 이상 작았다.

그림 2는 두 개의 일반적인 패치안테나와 두 개의 핀 배열 안테나의 중심 간의 거리에 따른 상호결합 특성을 보인다. 일반적인 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$

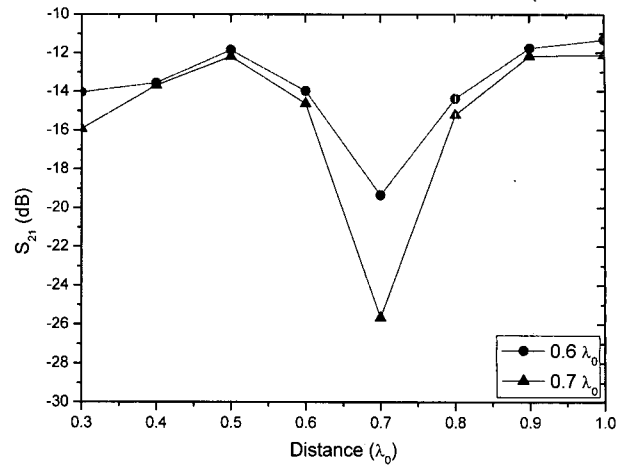
에서  $1.0 \lambda_0$ 로 두 배 증가할 때 상호결합이 약 2.79 dB 감소하였다. 핀 배열 안테나의 경우 패치의 길이가 27.5 mm로 크기 때문에 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$  미만에서는 근접장의 영향에 의하여 상호결합이 일반적인 패치안테나의 상호결합보다 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 그러나  $0.6 \lambda_0$  이상에서는 일반적인 패치안테나의 경우보다 상호결합이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 핀 배열 안테나 중심 간의 거리가  $0.5 \lambda_0$ 에서  $1.0 \lambda_0$ 로 두 배 증가할 때 상호결합이 약 31.24 dB 감소하였다.

## 2.2. 패치안테나 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리에 따른 두 개의 패치안테나간의 상호결합

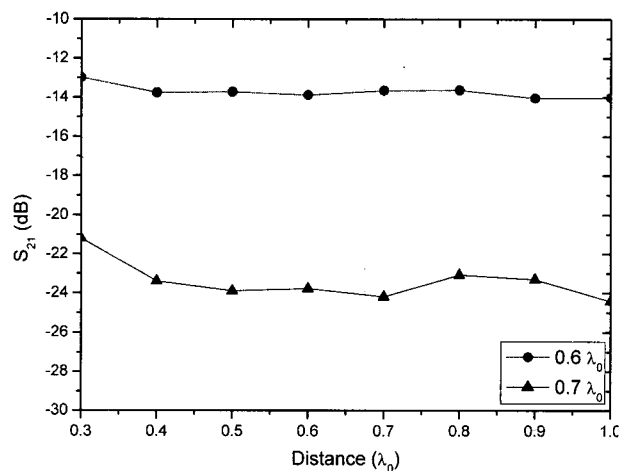
단위 안테나의 중심 간의 거리를 각각  $0.6 \lambda_0$ 와  $0.7 \lambda_0$ 로 고정하고 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나의 중심과 기판 모서리까지의 거리를  $0.3 \lambda_0$ 부터  $1.0 \lambda_0$ 까지  $0.1 \lambda_0$  간격으로 증가시키면서 상호결합 특성을 전산모의 하였다.

그림 3(a)와 (b)는 각각 두 개의 일반적인 패치안테나와 두 개의  $5 \times 2$  핀 배열 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$ 와  $0.7 \lambda_0$ 일 때 안테나 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리를  $0.3 \lambda_0$ 부터  $1.0 \lambda_0$ 까지 증가시키면서 전산모의한 상호결합 특성을 나타낸다. 그림 3(a)는 일반적인 패치안테나의 경우로 패치안테나의 중심과 기판 모서리까지의 거리가  $0.3 \lambda_0$ 에서  $1.0 \lambda_0$ 까지 변화할 때 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$  ( $0.7 \lambda_0$ ) 일 때 상호결합의 크기는 약 8 dB (13.5 dB) 변화하였다. 패치안테나 중심 간의 거리가 멀수록 기판 모서리까지의 거리가 상호결합의 크기에 큰 영향을 주는 것을 볼 수 있다. 패치안테나의 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리가  $0.7 \lambda_0$ 인 경우 상호결합이 가장 작게 발생하였다.

그림 3(b)는 핀 배열 안테나의 경우로 핀 배열 안테나의 중심과 기판 모서리까지의 거리가  $0.3 \lambda_0$ 에서  $1.0 \lambda_0$ 까지 변화할 때 패치안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$  ( $0.7 \lambda_0$ ) 일 때 상호결합의 크기는 약 1 dB (3.2 dB) 변화하였다. 핀 배열 안테나를 이용한 경우가 일반적인 패치 안테나를 이용하는 경우와 비교하여 상호결합 크기가 패치안테나의 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리에 따른 영향을 작게 받는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 핀 배열 안테나의 수평 방향으로의 방사가 일반적인 패치안테나에 비하여 매우 작기 때문이라 생각된다.



(a)



(b)

그림 3. (a)두 개의 일반적인 패치안테나와 (b)두 개의  $5 \times 2$  핀 배열 안테나의 중심 간의 거리가 각각  $0.6 \lambda_0$ 와  $0.7 \lambda_0$ 일 때 패치안테나의 중심과 기판 모서리까지의 거리에 따른 상호결합.

Fig. 3. Mutual coupling between (a) a pair of conventional patch antennas and (b) a pair of  $5 \times 2$  pin array patch antennas versus the distance between the antenna center and the substrate edge when the distance between the antenna centers are  $0.6 \lambda_0$  and  $0.7 \lambda_0$ .

## III. 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성

그림 4(a)와 (b)는 각각 일반적인 패치안테나와  $5 \times 2$  핀 배열 안테나를 길이 방향으로 같은 간격을 가지고 7 개씩 배열한 선형 위상 배열 안테나의 구조도를 보인다. 기판의 크기는 폭 방향은  $\lambda_0$ 로, 단위 안테나의 중심에서 모서리까지의 거리는  $0.7 \lambda_0$ 로 고정하였다. 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$ 와  $0.7 \lambda_0$ 인 경우에 선

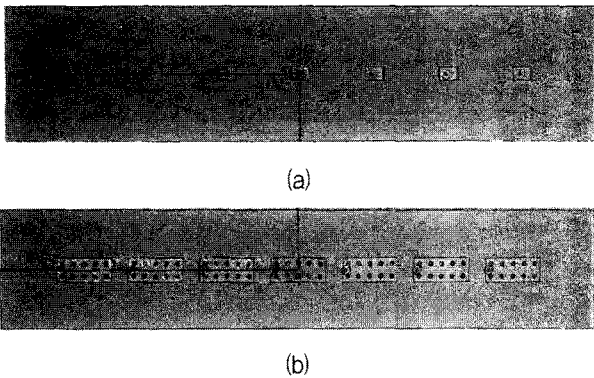


그림 4. (a) 일반적인 패치안테나와 (b) 5×2 핀 배열 안테나를 길이 방향으로 같은 간격을 가지고 7개씩 배열한 선형 위상 배열 안테나의 구조도.

Fig. 4. Schematic diagram of a linear 7-element phased array antenna equidistantly positioned along the length direction with (a) a conventional patch antenna and (b) a 5×2 pin array patch antenna as an antenna element.

형 위상 배열 안테나의 특성을 살펴보았다.

단위 안테나 중심 간의 거리가 증가할수록 grating lobe가 발생되지 않는 조향각의 범위는 작아지나 배열 안테나의 지향성은 증가하며 주 빔의 폭은 좁아진다<sup>[8]</sup>. 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$ 와  $0.7 \lambda_0$  일 때 grating lobe가 발생되지 않는 조향각의 범위는 각각  $\pm 41.81^\circ$ 와  $\pm 25.37^\circ$ 이다. 선형 위상 배열 안테나의 중심에 위치한 단위 안테나 (중심 안테나)의 active element 패턴을 살펴보았다. Active element 패턴은 중심 안테나의 포트에 신호를 인가하고 다른 단위 안테나의 포트는 모두 중단시킨 후 전산모의한 선형 위상 배열 안테나의 방사패턴이다. 선형 위상 배열 안테나의 모든 단위 안테나의 포트에 신호를 인가하여 발생하는 방사패턴의 각도에 따른 이득은 active element 패턴의 각도에 따른 이득에 비례한다<sup>[9-10]</sup>. 따라서 large array인 경우 active element 패턴에 AF (array factor)를 곱하여 계산한 방사패턴을 가지고 선형 위상 배열 안테나의 모든 단위 안테나의 포트에 신호를 인가하여 발생하는 방사패턴을 예측할 수 있다<sup>[9-10]</sup>.

그림 5(a)와 (b)는 각각 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$ 인 경우 7개의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 active element 패턴과 H-평면 active element 패턴을 나타낸다. E-평면 active element 패턴에서 수평방향 ( $\pm 90^\circ$ )으로 방사하는 핀 배열 안테나를 이용한 위상 배열 안테나가 일반적인 패치안테나를 이용한 위상 배열 안

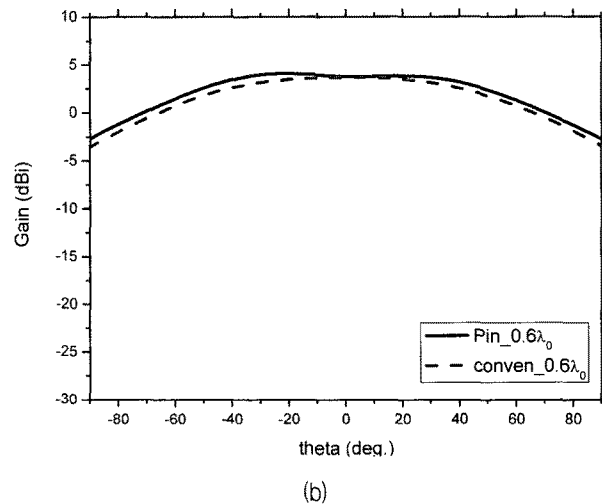
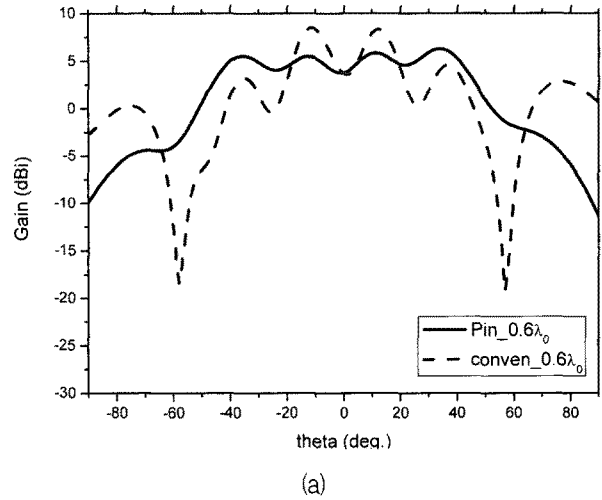


그림 5. 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$ 인 경우 각각 7개의 단위 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 (a) E-평면 active element 패턴과 (b) H-평면 active element 패턴.

Fig. 5. (a) Active E-plane radiation patterns and (b) active H-plane radiation patterns of the center element in a conventional patch antenna phased array and in a pin array patch antenna phased array when the distance between the antenna centers is  $0.6 \lambda_0$ .

테나보다 약 10 dB 이상 작게 발생하는 것을 볼 수 있다. H-평면 active element 패턴은 단위 안테나간의 상호결합이 작게 발생하여 리플이 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 일반적인 패치안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 active element 패턴을 보면  $\pm 26^\circ$  근처에서 blind spot이 발생되며 각도에 따른 이득 변화가 큼을 볼 수 있다. 따라서 일반적인 패치안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 패턴은  $\pm 26^\circ$  근처에서 scan blindness가 발생하고 grating lobe가 발생하

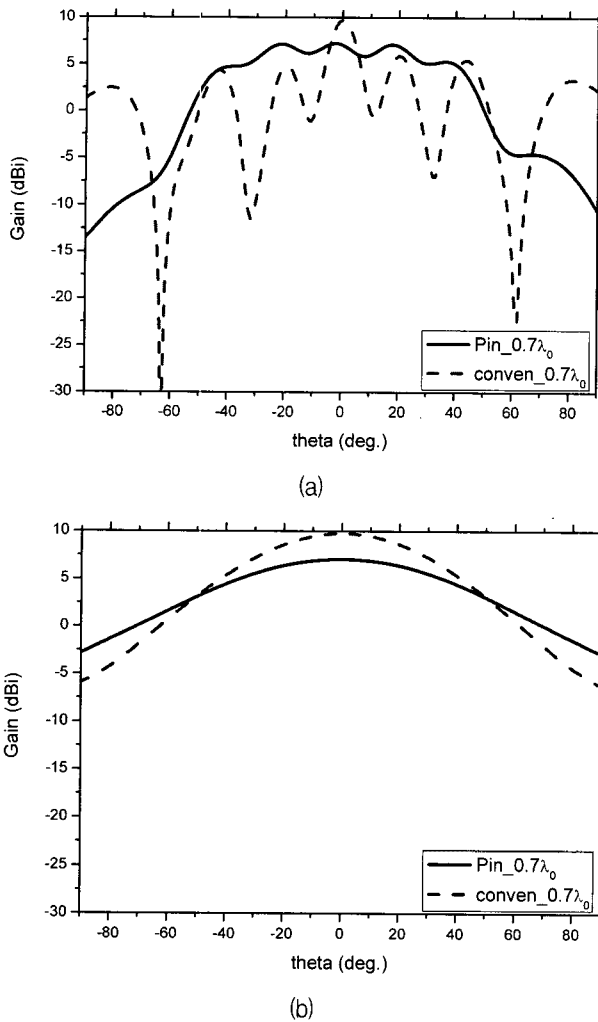


그림 6. 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.7 \lambda_0$  인 경우 각각 7개의 단위 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 (a) E-평면 active element 패턴과 (b) H-평면 active element 패턴.

Fig. 6. (a) Active E-plane radiation patterns and (b) active H-plane radiation patterns of the center element in a conventional patch antenna phased array and in a pin array patch antenna phased array when the distance between the antenna centers is  $0.7 \lambda_0$ .

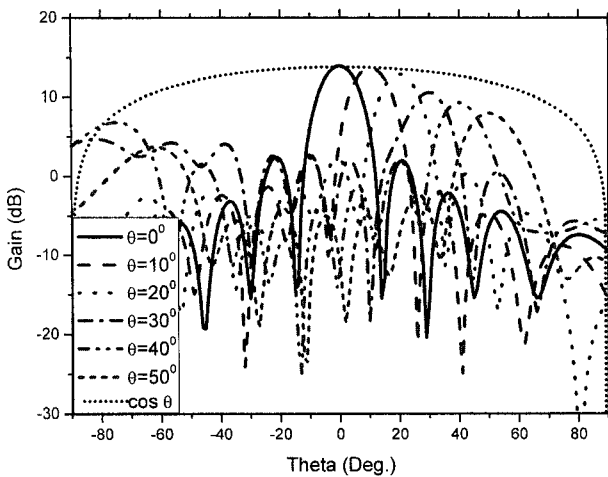
지 않는 조향각내( $\pm 41.81^\circ$ )에서 주 빔의 이득 변화가 크며 SLL (Side Lobe Level) 이 클 것으로 예상된다. 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 active element 패턴을 보면 blind spot이 발생하지 않고 각도에 따른 이득 변화가 작음을 볼 수 있다. 따라서 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 패턴은 grating lobe가 발생하지 않는 조향각내에서 scan blindness가 발생하지 않고 주 빔의 이득 변화가 적으며 SLL 이 작을 것으로 예상된다.

그림 6(a) 와 (b)는 각각 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.7 \lambda_0$  인 경우 7개의 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 active element 패턴과 H-평면 active element 패턴을 나타낸다. E-평면 active element 패턴에서 수평방향( $\pm 90^\circ$ )으로 방사는 핀 배열 안테나를 이용한 위상 배열 안테나가 일반적인 패치안테나를 이용한 위상 배열 안테나보다 약 10 dB 이상 작게 발생하는 것을 볼 수 있다. H-평면 active element 패턴은 단위 안테나간의 상호결합이 작게 발생하여 리플이 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 일반적인 패치안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 active element 패턴을 보면  $\pm 11^\circ$  근처에서 blind spot이 발생되며 각도에 따른 이득 변화가 큼을 볼 수 있다. 따라서 일반적인 패치안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 패턴은  $\pm 11^\circ$  근처에서 scan blindness가 발생하고 grating lobe가 발생하지 않는 조향각내( $\pm 25.37^\circ$ )에서 주 빔의 이득 변화가 크며 SLL이 클 것으로 예상된다. 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 active element 패턴을 보면 blind spot이 발생하지 않고 각도에 따른 이득 변화가 작음을 볼 수 있다. 따라서 핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 방사 패턴은 grating lobe가 발생하지 않는 조향각내에서 scan blindness가 발생하지 않고 주 빔의 이득 변화가 적으며 SLL 이 작을 것으로 예상된다.

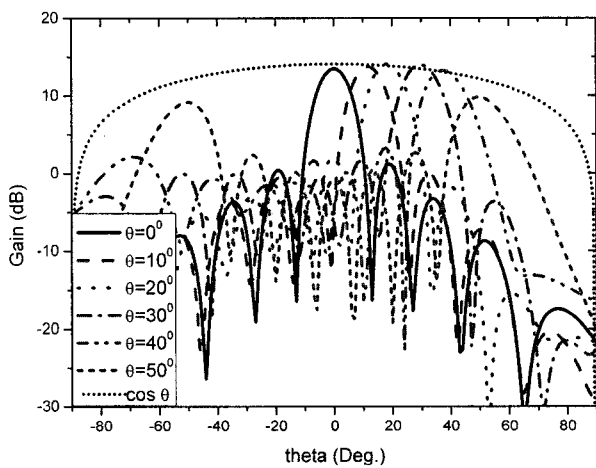
인접 안테나에 주입되는 신호의 위상 차이와 인접 안테나간의 거리에 따른 주 빔의 각도는 다음 식으로 주어진다<sup>[7]</sup>.

$$\theta_0 = \sin^{-1}\left(\frac{\alpha}{\beta d}\right) \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는 인접 안테나에 주입되는 신호의 위상 차이,  $\beta$ 는 전파상수,  $d$ 는 인접 안테나 중심 간의 거리이다. 인접 안테나 중심 간의 거리가 증가할수록 인접 안테나에 주입되는 신호의 위상 차이가 주 빔의 각도 변화에 미치는 영향이 작아진다. 선형 위상 배열 안테나의 주 빔의 각도에 대응하는 인접 단위 안테나에 주입되는 신호의 위상 차이를 수식 (1)을 이용하여 구하였다. 이렇게 얻어진 위상 차이를 가지는 신호를 선형 위상 배열 안테나의 모든 단위 안테나에 인가하여 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성을 전산모의 하였다.



(a)



(b)

그림 7. 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$  인 경우 주 빔의 방향이  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$  일 때 (a) 일반적인 패치안테나와 (b)  $5 \times 2$  핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 방사 패턴.

Fig. 7. Simulated radiation pattern of a fully excited array in E-plane for the direction of the main beam of  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$  of (a) a conventional patch antenna phased array and (b) a pin array patch antenna phased array when the distance between the antenna centers is  $0.6 \lambda_0$ .

그림 7(a)와 (b)는 단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$  인 경우 각각 일반적인 패치안테나와  $5 \times 2$  핀 배열 안테나를 길이 방향으로 7개씩 배열한 선형 위상 배열 안테나의 주 빔의 방향에 따른 E-평면 방사 패턴을 나타낸다. 그림에서 dot로 표시한 선은  $\cos\theta$  패턴으로 scan loss 스펙트럼<sup>[11]</sup>이라고도 불리며 이상적인 위상 배열 안테나의 주 빔의 이득을 나타낸다. 그림 7(a)는

일반적인 패치안테나를 이용한 경우로 주 빔의 방향이  $0^\circ$  일 때 주 빔의 이득이 약 13.96 dBi 이고 주 빔의 방향이  $40^\circ$  일 때 주 빔의 이득은 약 9.28 dBi로 약 4.7 dB이상 감소되는 것을 볼 수 있고 주 빔의 각도가  $30^\circ$  이상부터  $\cos\theta$  패턴과 차이가 발생하였다. 이는 active element 패턴의 이득이 급격히 감소하는  $26^\circ$ 와 비슷한 각도임을 알 수 있다. 주 빔의 각도가  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ 로 증가할수록 SLL이 각각 -11.59 dB, -11.65 dB, -10.65 dB, -5.88 dB, -2.75 dB로 증가하는 것을 볼 수 있다. 주 빔의 이득이 급격히 감소하는 주 빔 각도  $30^\circ$  이상에서 SLL이 크게 증가하였다.

그림 7(b)는 핀 배열 안테나를 이용한 경우로 주 빔의 방향이  $0^\circ$  일 때 주 빔의 이득이 약 13.49 dBi 이고 주 빔의 방향이  $40^\circ$  일 때 약 13.25 dBi로 주 빔의 이득 변화가 거의 없고 주 빔의 이득이  $\cos\theta$  패턴을 따라 변화하는 것을 볼 수 있다. 주 빔의 각도가  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ 로 증가할 때 SLL이 각각 -13.7 dB, -12.09 dB, -11.96 dB, -12.4 dB, -10.02 dB로 큰 변화가 없었고 grating lobe가 발생되지 않는 조향각내에서 SLL이 -10 dB 이하인 방사 패턴을 얻을 수 있었다.

그림 8(a)와 (b)는 인접 안테나 중심 간의 거리가  $0.7 \lambda_0$  인 경우 각각 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나를 길이 방향으로 7개씩 배열한 선형 위상 배열 안테나의 주 빔의 방향에 따른 E-평면 방사 패턴을 나타낸다. 그림에서 dot로 표시한 선은  $\cos\theta$  패턴이다. 그림 8(a)는 일반적인 패치안테나를 이용한 경우로 주 빔의 방향이  $0^\circ$  일 때 주 빔의 이득이 약 13.51 dBi 이고 주 빔의 방향이  $30^\circ$  일 때 주 빔의 이득은 약 9.66 dBi로 약 3.8 dB이상 감소되는 것을 볼 수 있고 주 빔의 각도가  $10^\circ$  이상부터  $\cos\theta$  패턴과 차이가 발생하였다. 이는 active element 패턴의 이득이 급격히 감소하는  $11^\circ$ 와 비슷한 각도임을 알 수 있다. 주 빔의 방향이  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 로 증가할수록 SLL이 각각 -12.74 dB, -8.25 dB, -3.44 dB, -3.88 dB로 증가하는 것을 볼 수 있다. 주 빔의 이득이 급격히 감소하는 주 빔 각도  $20^\circ$  이상에서 SLL이 크게 증가하였다.

그림 8(b)는 핀 배열 안테나를 이용한 경우로 주 빔의 방향이  $0^\circ$  일 때 주 빔의 이득이 약 15.17 dBi로  $0.6 \lambda_0$  인 경우보다 약 1.7 dB 증가하였고 주 빔의 방향이  $30^\circ$  일 때 약 13.89 dBi로 주 빔의 이득이 변화가 약 1.3 dB로 일반적인 패치안테나를 이용한 위상 배열 안테나보다 매우 작게 발생하였고 주 빔의 이득이  $\cos\theta$

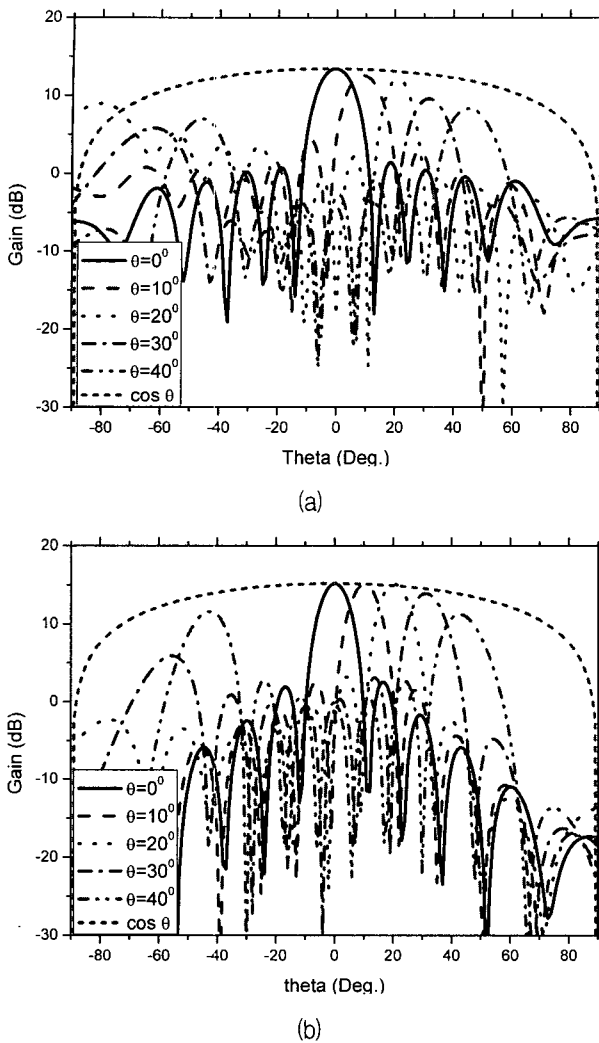


그림 8. 인접 안테나 중심 간의 거리가  $0.7 \lambda_0$  인 경우 주 빔의 방향이  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  일 때 (a) 일반적인 패치안테나와 (b)  $5 \times 2$  핀 배열 안테나를 이용한 선형 위상 배열 안테나의 E-평면 방사 패턴.

Fig. 8. Simulated radiation pattern of a fully excited array in E-plane for the direction of the main beam of  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  of (a) a conventional patch antenna phased array and (b) a pin array patch antenna phased array when the distance between the antenna centers is  $0.7 \lambda_0$ .

패턴을 따라 변화하는 것을 볼 수 있다. 주 빔의 각도가  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 로 증가할 때 SLL이  $-13.25$  dB,  $-12.56$  dB,  $-11.91$  dB,  $-8.03$  dB로 큰 변화가 없었고 grating lobe가 발생되지 않는 조향각내에서 SLL이  $-10$  dB 이하인 방사 패턴을 얻을 수 있었다.

#### IV. 결 론

2개의 단위 안테나의 중심 간의 거리와 단위 안테나 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리에 따른 상호결합 특성과 길이 방향으로 7개의 단위 안테나가 배열된 선형 위상 배열 안테나의 방사 특성에 대하여 살펴보았다. 수평평면으로의 방사가 억제된 핀 배열 안테나간의 상호결합은 일반적인 패치안테나간의 상호결합보다 단위 안테나간의 거리가 증가할수록 상호결합이 급격히 작아지고 단위 안테나 중심으로부터 기판 모서리까지의 거리에 따른 상호결합의 변화도 작음을 볼 수 있었다.

단위 안테나 중심 간의 거리가  $0.6 \lambda_0$  와  $0.7 \lambda_0$  인 경우 일반적인 패치안테나와 핀 배열 안테나를 길이 방향으로 7개씩 배열한 선형 위상 배열 안테나의 주 빔의 방향에 따른 E-평면 방사 패턴은 active element 패턴으로 예상한 결과와 비슷하였다. 일반적인 패치안테나를 이용한 위상 배열안테나는 표면파의 영향으로 상호결합 효과가 커 주 빔의 각도가 증가할수록 주 빔의 이득이 감소하여 주 빔의 이득이  $\cos\theta$  패턴과 차이가 커지고 부엽의 크기가 커져서 SLL이 급격히 커지는 것을 볼 수 있었다.

핀 배열 안테나를 이용한 위상 배열 안테나는 상호결합이 억제되어 grating lobe가 발생되지 않는 조향각내에서는 주 빔의 이득 변화가 작게 발생하여 주 빔의 이득이  $\cos\theta$  패턴을 따라 변화하였다. 또한 부엽의 크기도 작아 SLL이  $-10$  dB 이하인 방사 패턴을 얻을 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 유정훈, 조정호, 권오주, 박귀순, "Mobile WiMAX 기반의 전술이동통신체계 테스트베드 성능분석," 한국통신학회지, 제26권, 제3호, pp. 9-15, 2009년, 2월.
- [2] 이석곤, 박대성, 신상진, 이정수, 이종민, "탐지 추적 레이더의 마이크로스트립 배열 안테나 설계," 제 16회 지상무기 학술대회, 포스터 1-34, 2008년, 11월.
- [3] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, "Microstrip Antenna Design Handbook," 2nd edition, Boston:London, Artech House, 2000.
- [4] M. A. Khayat, J. T, Williams, D. R. Jackson, and S. A. Long, "Mutual Coupling Between Reduced Surface-Wave Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 48, no. 10, pp. 1581-1593, Oct. 2000.

- [5] Marija M. Nikolić, Antonije R. Djordjević, and Arye Nehorai, "Microstrip Antennas With Suppressed Radiation in Horizontal Directions and Reduced Coupling," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, no. 11, pp. 3469-3476, Nov. 2005.
- [6] 이우람, 김태영, 김부균, 신종덕, "패치와 접지면 사이에 삽입된 핀 배열을 가지는 안테나의 방사특성에 핀 반경이 미치는 효과," *전자공학회논문지*, 제45권, TC편, 제10호, pp. 80-89, 2008년, 10월.
- [7] 조명기, 김태영, 김부균, "기관 두께에 따른 핀 배열을 가지는 패치 안테나의 특성," *2009년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집*, 제32권, 제1호, pp. 131, 2009년, 5월.
- [8] Warren L. Stutzman and Garay A. Thiele, "Antenna Theory and Design," 2nd edition, *John Wiley & Sons*, 1998.
- [9] D. M. Pozar, "The Active Element Pattern," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, no. 8, pp. 1176-1178, Aug. 1994.
- [10] Zeev Iluz, Reuven Shavit, Reuven Bauer, "Microstrip Antenna Phased Array With Electromagnetic Bandgap Substrate," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 52, no. 6, pp. 1446-1453, June. 2004.
- [11] Robert J. Mailloux, "Phased Array Antenna Handbook," 2nd edition, *Boston·London, Artech House*, 2005.

— 저 자 소 개 —



김 태 영(학생회원)  
2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
2005년 숭실대학교 전자공학과 석사  
2007년 숭실대학교 전자공학과 박사 수료

<주관심분야 : Microstrip Antennas, EBG, THz signal generation, Phase Array Antennas>



김 군 수(학생회원)  
2009년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학과 학사  
2009년 3월~현재 숭실대학교 전자공학과 석사 과정.

<주관심분야 : Microstrip Antennas, EBG, Phase Array Antennas >



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

1993년 IBM Almaden 연구소 방문 연구원  
1997년~1998년 Univ. of California at Santa Barbara 방문 부교수  
2004년~2006년 산자부 산업기술발전심의회 위원  
1981년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수  
2008년~현재 숭실대학교 IT대학장  
<주관심분야 : 위상 배열 안테나, SiP, 광통신 및 광네트워크용 소자>