
X대역 마이크로스트립 배열 안테나 설계

김민준* · 천이환** · 김주현**

A Design of X-Band Microstrip Array Antenna

Min Joon Kim* · I Hwan Cheon** · Ju Hyun Kim**

이 논문은 2006학년도 동의대학교 교내 연구비에 의해 연구되었음(2006AA150)

요 약

본 논문에서는 X-band FMCW Radar용 Microstrip Array Patch Antenna를 설계하여 제작하였으며 적층 구조를 채택하여 대역폭 특성을 개선하였다. 배열 안테나는 비유전율 2.33인 기판에 설계하였고, 적층 패치는 비유전율 4.6인 기판을 사용하였다. 배열 안테나와 적층 패치 사이에는 일정한 간격을 유지하기 위하여 공기와 유전율이 비슷한 폼(foam)을 삽입하였다. 배열 안테나 제작 결과 설계 주파수 9GHz에서 반 전력 빔 폭은 10.6°, 이득은 18.70dBi, 대역폭은 1.25GHz의 특성을 얻었다. 배열 안테나에 적층 구조를 추가한 결과 반 전력 빔 폭은 15.17°, 이득은 15.85dBi, 대역폭은 2GHz의 특성을 얻었고, 향후 X-Band FMCW Radar에 응용하기 위해서는 배열 안테나의 대역폭은 유지한 채 이득을 개선할 필요가 있다.

ABSTRACT

In this paper, we designed the array antenna for FMCW radar in X - band frequency, and we chose stacked structure for improvement of narrow bandwidth. The array antenna is implemented on the circuit board which is relative permittivity 2.33 and the stacked patches are designed on the circuit board which is relative permittivity 4.6. A Foam which has a similar permittivity of air is added to keep the particular gap between array antenna and the stacked patch. The result of array antenna has characteristics that a half-power beam width is 10.6 ° and antenna gain is 18.70 dBi and bandwidth is 1.25GHz at the design frequency of 9GHz. The result of the array antenna with the stacked structure has that the half power beam width is 15.17 ° and the antenna gain is 15.85dBi and bandwidth is 2GHz. It is needed to improve the antenna gain as keeping bandwidth in same level.

키워드

FMCW radar, Array, Stacked structure, Dolph-Chebyshev, Parasitic patch

* 동의대학교 정보통신공학과
** 한라레벨(주)

접수일자 2009. 02. 24
심사완료일자 2009. 04. 27

I. 서 론

본 논문에서는 선박용 레벨 트랜스미터용으로 개발하기 위한 목적의 마이크로스트립 배열 패치 안테나를 설계하고 구현하였다. 마이크로스트립 안테나는 두께가 얇고, 소형이며 평면 또는 곡면에 부착이 용이하고 제작이 간편하여, MIC 설계에 적합하다. 또한 제작비용이 저렴한 장점들이 있다. 하지만 저 효율, 저 전력, 높은 Q 값으로 인하여 대역폭이 좁고, 비교적 낮은 지향성을 갖고 있으며, 급전 선로에서 불요 방사가 발생하는 것 등의 단점이 있다. 주요 단점인 협대역 특성을 개선하는 방법으로 기생소자를 패치에 적층시킨 구조가 제작의 효율성 등을 고려해볼 때 상대적으로 매우 우수한 방법으로 알려져 있다.

본 논문에서는 안테나 크기가 19×19cm의 정사각형의 제한이 있었으며, X-band Radar용 안테나로 높은 이득과 넓은 대역폭이 요구되었다. 따라서 이러한 설계 조건을 만족하기 위하여 여러 개의 방사소자를 공간적으로 배치시켜 방사소자 군을 형성하는 배열 안테나를 사용하였고, 기생 패치를 배열 안테나 위에 적층하여 광대역 특성을 얻었다. 급전회로는 비균일 급전 방식인 Dolph-Chebyshev 방식을 선택하였으며 급전 방식으로는 마이크로스트립 라인-프로브 방식으로 급전하였다.[1][2]

II. 본 론

본 논문에서 설계된 마이크로스트립 배열 안테나의 요소 안테나는 보편적으로 많이 사용하는 사각 패치 구조를 사용하였으며 그림 1과 같다. 전체적인 안테나의 배열은 비유전율이 2.33인 Rogers사의 RT Duroid 5870으로 손실탄젠트는 0.0012인 기판에 설계하였으며, 안테나의 지향성과 이득을 향상시키기 위하여 여러 개의 방사소자를 공간적으로 배치시켜 방사소자 군을 형성하였다. 또한 광대역 특성을 위하여 비유전율이 4.6인 FR-4 기판을 사용하여 기생 패치를 설계하였다. 광대역 특성을 얻기 위한 방법으로는 여러 가지 방법이 있으나, 본 논문에서 적층방법을 응용한 이유로는 레벨 트랜스미터가 선박의 Hazardous Zone에 설치되므로 기본 배열 안테나를 보호하는 목적과 동시에 광대역 특성을

도출해내기 위하여 응용되었다. 기생 패치를 이용한 광대역 안테나는 1978년에 H. Pues에 의해서 처음 제시된 방법으로써 주 패치의 주위에 크기가 다른 기생 패치를 둠으로써 기생 패치 각각의 서로 다른 공진과 패치간의 결합 특성에 의해서 10~20% 정도의 광대역 특성을 얻는 방법이다. 주 패치 주위에 두 개의 기생 패치를 둘 경우 약 15%의 대역폭 증가가 발생하며, 네 개의 기생 패치를 둘 경우 대역폭을 20%까지 증가시킬 수 있다. 현재는 이러한 기생 구조를 이용한 광대역 방법에 적층구조를 이용한 광대역 방법과 그 밖의 다른 광대역 방법을 첨가함으로써 좀 더 넓은 광대역 특성을 얻는 연구가 진행 중에 있다. 하지만, 기생 구조를 이용한 광대역 방법은 부피가 증가하는 단점과 배열로 확장이 어렵다는 단점이 있다. 본 논문에서는 적층구조에 기생 패치를 첨가하는 방법을 응용하였다. 배열 안테나와 기생 패치 사이의 간격을 일정하게 유지하기 위하여 공기와 유전율이 비슷한 폼(foam)을 삽입하였다. 그림 2에 프로브 급전방식을 채택한 적층 구조 배열 안테나의 구조를 나타내었다.[3][4][7][8]

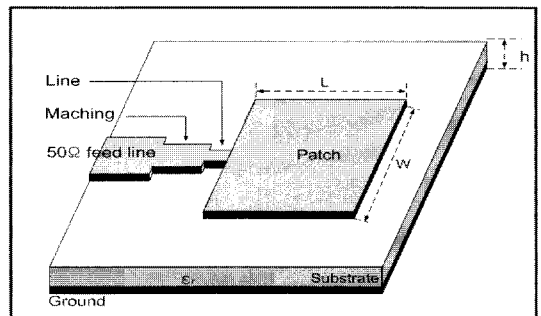


그림 1. 마이크로스트립 패치 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of microstrip patch antenna.

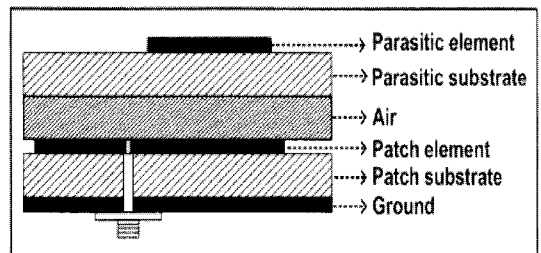


그림 2. 적층 구조 배열 안테나
Fig. 2. Array antenna of stacked structure.

선박용 레벨 트랜스미터의 최대 측정거리 40m와 거리분해능을 위해 채택한 안테나의 이득과 반 전력 빔 폭 및 대역폭에 대한 설계사양은 표 1 과 같다. 설계 시물레이션에는 Ansoft사 Ensemble 7.0 소프트웨어를 사용하였다.

표 1. 안테나 설계 사양
Table 1. Design of antenna parameters.

안테나 설계 사양	
중심 주파수	9GHz
대역폭	약 1GHz
이득	약 20dBi
반 전력 빔 폭	약 10°
전압 정재파비	2 이하

단일 패치 안테나의 폭(W)과 길이(L)는 식(1) ~ (4)에 의해 계산된다. 설계에 사용된 유전체 기판의 특성은 유전율 $\epsilon_r=2.33$, 높이 $h=1.575$ 이다.

$$W = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \tag{1}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \tag{2}$$

$$\Delta L = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} h \tag{3}$$

$$L = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \tag{4}$$

표 2. 계산된 패치안테나의 폭(W)과 길이(L)
Table 2. The calculated width and length of patch antenna calculated.

폭 (W)	12.92 mm
길이 (L)	9.98 mm

설계 중심주파수 9GHz에서 계산된 패치 안테나의 설계 값을 표 2에 나타내었다. 표 2의 데이터를 이용하여 배열 안테나를 설계한 결과 약 19cm의 정사각형 형태의 크기 제한으로 인해 급전 회로들이 서로 인접하여 패치와 급전선의 간섭에 의한 문제점들이 발생하였다. 패치와 급전 회로간의 상호 간섭을 줄이기 위하여 폭은 10mm, 길이는 9mm로 조정하였다.

임피던스 정합을 하기 위하여 Dolph-Chebyshev 방식에 의해 구해진 각 소자의 전류진폭에 따른 급전을 하기 위해 전력분배기의 폭을 좌우 비대칭으로 하여 임피던스를 다르게 설계하였다. 이 배열 방식은 Dolph가 처음 제안한 배열 방식으로서 균일 배열과 바이노미얼 배열을 절충한 배열 방식이다. 부엽이 없는(SLL=∞dB) Dolph-Chebyshev 배열은 바이노미얼 배열로 된다.[6]

Dolph-Chebyshev 배열 안테나를 설계하기 위해서는 Chebyshev 다항식을 이용하여 AF(array factor)를 구해야 한다. 본 논문에서는 8×8 배열 안테나를 위해 안테나를 4개의 element를 대칭적으로 배열하여 구현하였다. 사이드 로브의 레벨을 26dB로 설정하여 배열요소를 구하는 과정은 표 3과 같다.

표 3. 배열요소
Table 3. Array factor.

M=8, SLL=26dB

$$AF_8 = a_1 \cos(u) + a_2 \cos(3u) + a_3 \cos(5u) + a_4 \cos(7u)$$

$$u = \frac{\pi d}{\lambda} \cos\theta, \cos(u) = \frac{z}{z_0} = \frac{z}{1.1421}$$

$$R_0 (dB) = 26 = 20 \log R_0 \Rightarrow R_0 \approx 20$$

$R_0 = T_7(z)$ 를 만족하는 z_0 를 구한다.

$$20 = T_7(z) = \cosh(7 \cosh^{-1}(z_0))$$

z_0 를 구하기 위해 양변을 정리하면

$$z_0 = \cosh\left(\frac{1}{7} \cosh^{-1}(20)\right) = 1.1421$$

$$AF_8 = a_1 \cdot \cos(u) + a_2 \cdot \cos(3u) + a_3 \cdot \cos(5u) + a_4 \cdot \cos(7u)$$

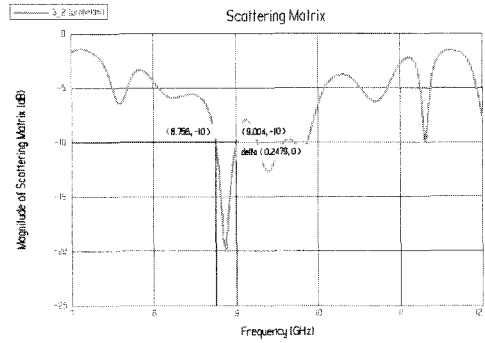
$$\begin{aligned}
 &= a_1 \cdot \frac{z}{z_0} \\
 &+ a_2 \left(4 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^3 - 3 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right) \right) \\
 &+ a_3 \left(16 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^5 - 20 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^3 + 5 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right) \right) \\
 &+ a_4 \left(64 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^7 - 112 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^5 + 56 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^3 - 7 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right) \right) \\
 &= 64 \cdot z^7 - 112z^5 + 56z^3 - 7z \\
 \\
 &64a_4 \left(\frac{z}{z_0} \right)^7 = 64z^7 \Rightarrow a_4 = z_0^7 = 2.5339 \\
 &(16a_3 - 112a_4) \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^5 = -112z^5 \Rightarrow a_3 = 4.138 \\
 &(4a_2 - 20a_3 + 56a_4) \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^3 = 56z^3 \Rightarrow a_2 = 6.0687 \\
 &(a_1 - 3a_2 + 5a_3 - 7a_4) \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right) = -7z \\
 &\Rightarrow a_1 = 7.2593
 \end{aligned}$$

a_1, a_2, a_3, a_4 를 정규화하여 나타내면

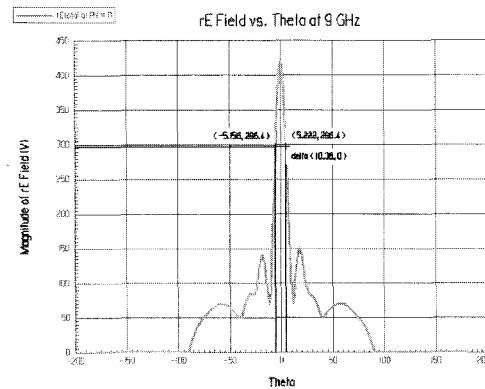
$$a_1 = 0.349, a_2 = 0.57, a_3 = 0.836, a_4 = 1$$

$$\begin{aligned}
 \therefore AF_8 &= \\
 &0.349\cos(u)+0.57\cos(3u)+0.836\cos(5u)+\cos(7u)
 \end{aligned}$$

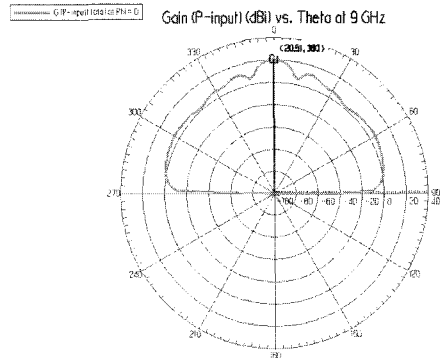
그림 3은 설계된 배열 안테나의 특성에 대한 시뮬레이션 결과이다. 대역폭은 약 248MHz(8.75 GHz~9.04GHz), 반 전력 빔 폭 10.38°@9GHz, 이득20.51 dBi@9GHz의 결과를 얻었다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 배열 안테나 시뮬레이션
 (a) 반사 손실 (b) 반 전력 빔 폭 (c) 이득
 Fig. 3. Simulation of array antenna.
 (a) Return loss (b) Half-power beamwidth (c) Gain

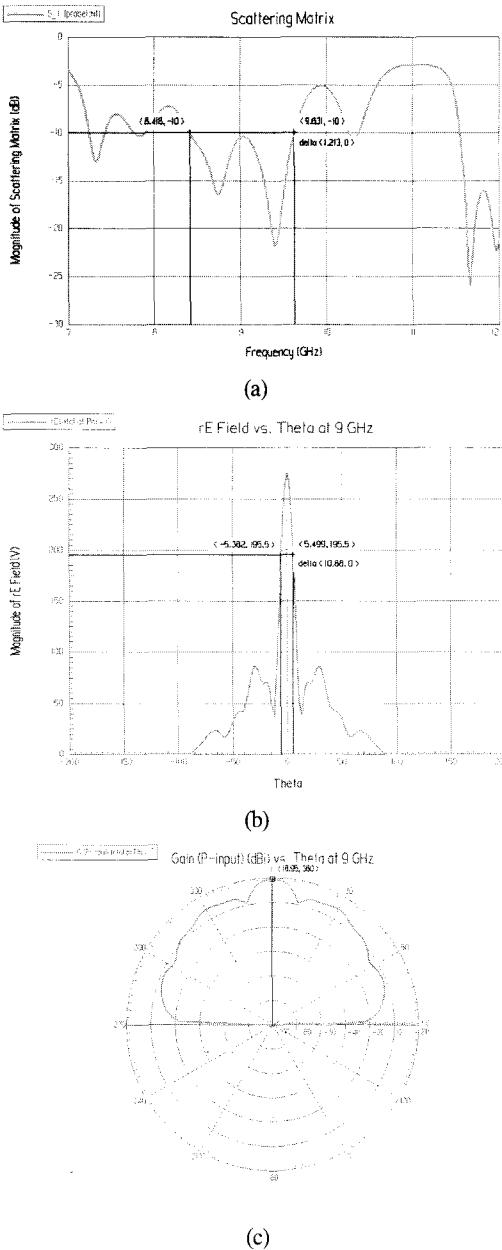


그림 4. 적층 구조 배열 안테나 시뮬레이션
(a) 반사 손실 (b) 반 전력 빔 폭 (c) 이득

Fig. 4. Simulation of stacked structure array antenna.
(a) Return loss (b) Half-power beamwidth (c) Gain

이러한 시뮬레이션 결과로부터 지향성과 이득에서는 설계 목표치를 만족하나 대역폭에 있어서는 설계 목표치에 많이 부족한 것을 알 수 있다. 이를 개선시키기

위해 기생 패치를 적층시킨 구조의 안테나를 설계하였다. 그림 4는 기생 패치를 적층시킨 적층 구조 배열 안테나의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 대역폭이 약 1.21GHz(8.418GHz~9.631GHz)로 적층 구조를 통하여 대역폭 특성은 개선되었으나 반 전력 빔 폭 10.88° @9GHz와 이득 18.95dBi@9GHz는 적층 구조로 인해 조금 나빠진 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상이 발생한 이유는 기생 패치를 적층시킨 유전체 기판의 유전율이 높아 적층 유전체 기판에 의한 반사의 영향으로 대역폭의 특성은 개선되었으나, 방사되는 신호가 높은 유전율의 유전체 기판에 의하여 방사특성이 저하된 것이 반 전력 빔 폭과 이득 특성 저하의 결과로 귀결된다.

그림 5는 설계한 적층 구조 배열 안테나의 제작을 위한 AutoCad 변환 제작 필름이고, 그림 6은 제작된 적층 구조 배열 안테나이다.

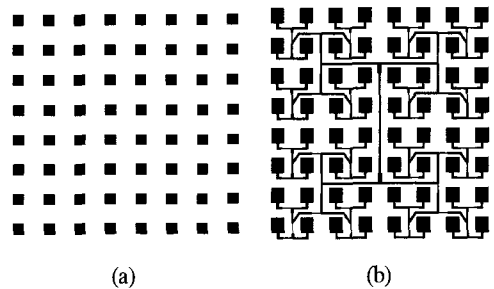


그림 5. 배열 안테나의 제작 필름
(a) 기생 패치 (b) 배열 안테나
Fig. 5. The design film of array antenna.
(a) Parasitic patch (b) Array antenna

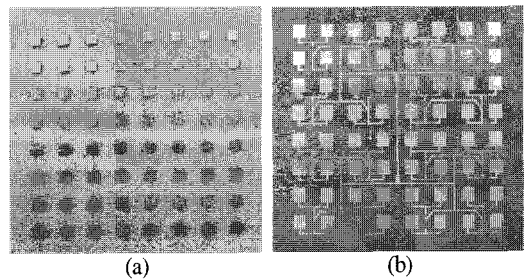
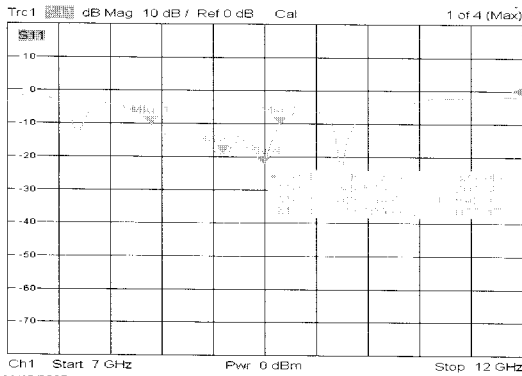


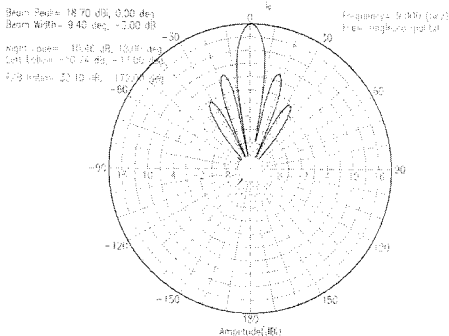
그림 6. 제작한 적층 구조 배열 안테나
(a) 기생 패치 (b) 배열 안테나
Fig. 6. Manufactured array antenna for stacked structure. (a) Parasitic patch (b) Array antenna

제작한 안테나의 대역폭 특성은 ROHDE & SCHWARZ 사 ZVA24 Network Analyzer로 측정하였다.

그림 7에 배열 안테나의 대역폭, 이득 및 반 전력 빔 폭의 측정결과를 나타내었다. 그림 7-(a)는 측정된 배열 안테나의 대역폭으로 약 1.25GHz(8.39 GHz~9.64GHz)이다. 이는 시뮬레이션 결과 값에 비해 약 1GHz가 넓어진 것을 알 수 있다. 그림 7-(b)에 나타난 반 전력 빔 폭 $9.4^\circ @ 9\text{GHz}$, 이득 $18.70\text{dBi} @ 9\text{GHz}$ 로 시뮬레이션 결과 값보다 1.8dBi 감소한 것을 확인할 수 있다. 반사손실 및 대역폭이 시뮬레이션 결과와 큰 차이를 보이는 이유는 프로브가 급전되는 부위와 각 소자에 전달되는 경로의 급전선에서 원하지 않는 방사에 의한 손실이 커서 나타난 결과이다.



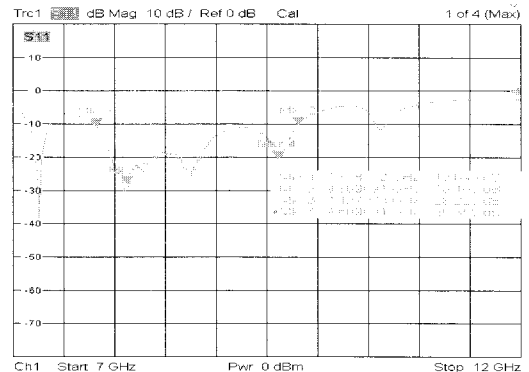
(a)



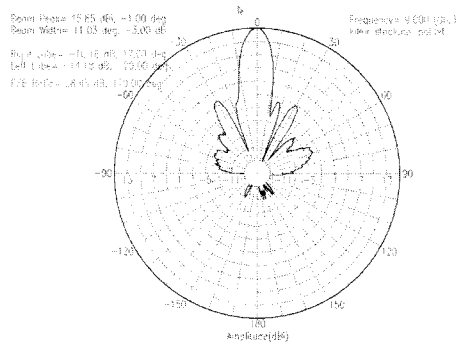
(b)

그림 7. 배열 안테나 측정결과
(a) 반사 손실 (b) 이득 및 반 전력 빔 폭
Fig. 7. The result of Array antenna measurement.
(a) Return loss (b) Half-power beam width and gain

그림 8에 적층 구조 배열 안테나의 대역폭, 이득 및 반 전력 빔 폭의 측정결과를 나타내었다. 그림 8-(a)는 적층 구조 배열 안테나의 대역폭을 나타내고 있다. 대역폭이 약 2GHz(7.82GHz~9.8GHz)로 시뮬레이션 결과 값에 비해 약 800MHz가 넓어진 것을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 설명한 것과 같은 원인으로 인한 결과이다. 그림 8-(b)에 나타난 반 전력 빔 폭 $11.03^\circ @ 9\text{GHz}$, 이득 $15.85\text{dBi} @ 9\text{GHz}$ 로 시뮬레이션 결과 값보다 3dBi 감소한 것을 확인할 수 있다. 방사패턴이 시뮬레이션 결과와 큰 차이를 보이는 이유는 2차 방사 역할을 하는 적층 패치의 유전체 기관의 유전율이 높아 안테나의 방사특성을 저해하고, 시뮬레이션 환경과 제작된 안테나의 실제적인 환경의 차이가 방사특성을 저해하는 요인으로 볼 수 있다.



(a)



(b)

그림 8. 적층 구조 배열 안테나 측정결과
(a) 반사 손실 (b) 이득 및 반 전력 빔 폭
Fig. 8. The result of stacked structure array antenna measurement. (a) Return loss (b) Half-power beam width and gain

III. 결 론

참고문헌

본 논문에서는 X-band FMCW Radar용 안테나를 설계하여 제작하였다. 제작의 용이함과 안테나의 경량화를 위해서 마이크로스트립 패치 안테나를 선택하였다. 마이크로스트립 패치 안테나의 단점으로 지적되고 있는 저 지향성, 저 이득, 좁은 대역폭의 단점을 개선하기 위하여 적층 구조 배열 안테나를 채택하였다. 마이크로스트립 패치 안테나를 배열함으로써 안테나의 이득과 지향성 특성을 개선하였으며, 적층 구조의 기생 패치를 사용하여 광대역 특성을 얻었다.

제작된 안테나는 설계 주파수 9GHz에서 대역폭은 약 1.25GHz(8.39GHz~9.64GHz), 반 전력 빔 폭 9.4°@9GHz, 이득 18.70dBi@9GHz의 특성을 나타내었다. 대역폭이 약 1GHz 이상 넓어진 이유는 제작과정에서의 설계 값과 제작 치수 사이의 오차로 인한 손실과 제작 시 사용된 프로브 급전방식에서 비롯된 급전선에서 원하지 않는 방사에 의한 손실이 원인으로 생각된다. 대역폭 특성 개선을 위해 제작된 적층 구조 배열 안테나의 측정결과는 대역폭이 약 2GHz(7.82GHz~9.8 GHz), 반 전력 빔 폭 11.03°@9GHz, 이득 15.85dBi @9GHz의 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 결과에 비해 설계 안테나의 이득 특성이 저하된 원인은 프로브가 급전되는 부위와 각 소자로 신호를 전달하는 급전선에서 원하지 않는 방사가 발생하여 안테나 효율이 저하된 것이 안테나의 이득저하로 귀결된 것 같다. 이러한 문제는 2차 방사 역할을 하는 적층 패치의 유전율이 높은 것과 시뮬레이션 환경과 제작 환경의 차이에 의한 것으로 판단된다. 결과적으로 약 1GHz 대역폭의 특성은 배열 안테나만으로 구현 가능하나 더 넓은 대역폭을 위해서는 적층구조가 적합함을 알 수 있었다. 향후 X-band FMCW Radar를 응용한 레벨 트랜스미터의 측정 해상도를 개선하기 위하여 넓은 대역폭과 높은 이득 특성을 위한 지속적인 연구가 필요하다.

본 논문에서 제작된 안테나의 측정은 (주)에이스안테나의 지원으로 이루어졌다.

[1] Warren L Stutzman, Gary A, Thiele "Antenna Theory and Design", Wiley, pp. 261-270, 1998
 [2] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory (Analysis and Design)", Wiley, pp. 771-829, 2005
 [3] Kin-Lu Wong "Compact and Broadband Microstrip Antennas", Wiley, 2002
 [4] I.J.Bahl, P.Bhartia "Microstrip Antennas", Artech House, pp. 1-80, 1982
 [5] James Hall Wood "Microstrip Antenna Theory and Design"
 [6] Kraus, Jhon D, "Antennas, 3/E : For All Applications", McGraw-Hill, pp. 126-140, 2001
 [7] 윤영중, 김연정, "광대역 안테나 기술", 연세대학교, 한국통신학회 논문지, 1999
 [8] 최원규, 이범선, "광대역 특성을 갖는 개구 결합 적층 마이크로스트립 배열 안테나의 설계와 제작", 서울대학교, 한국통신학회논문지, 1993

저자소개

김민준 (Min-Joon Kim)



1980. 2 아주대학교 전자 공학과 (공학사)
 1982. 2 고려대학교 전자 공학과 (공학석사)

1988. 2 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1986. 3~ 현재 동의대학교 정보통신공학과 교수
 ※관심분야: 마이크로파 회로 설계, 안테나 설계

천이환 (I-Hwan Cheon)



2006. 2 동의대학교 정보통신 공학과 (공학사)
 2008. 2 동의대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2008. 2 ~ 현재 한라레벨(주) 주임 연구원
 ※관심분야: 마이크로파 회로 설계, 안테나 설계



김 주 현 (Ju_Hyun Kim)

2006. 2 동의대학교 정보통신
공학과 (공학사)

2008. 2 동의대학교
정보통신공학과 (공학석사)

2008. 2 ~ 현재 한라레벨(주) 주임 연구원

※관심분야: 마이크로파 회로 설계, 신호처리