
도플러 레이더용 마이크로스트립 패치 배열 안테나의 설계에 관한 연구

강중순* · 손병문**

A Study on the design of the Microstrip Patch Array Antenna for Doppler Radar

Joong-soon Kang* · Byung-moon Son**

요 약

본 논문에서는 이동 목표물의 속도를 측정하기 위한 도플러 레이더용 중심 주파수 10.525GHz인 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 설계 및 제작하였다. 이동용 레이더 시스템에 적용하기 위해서 비교적 충격에 강한 단일기판을 사용하였고, 원하는 특성을 얻기 위하여 급전회로망은 incorporated 3-dB amplitude taper를 이용하여 4 X 8로 배열하였다. 또한 정사각형의 패치 소자를 사용하여 원편파를 이용할 수 있도록 하였다.

설계 및 제작된 안테나는 반사계수(S_{11}) -53.498dB, 수평 빔폭 10°, 수직 빔폭 18.8°, 이득 21dBi 및 SLL(Side Lobe Level) -17.5 dB 이하, 220MHz의 VSWR 1.5 이하 대역폭을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a microstrip patch array antenna for a Doppler radar at 10.525GHz is designed and fabricated. To be used for mobile radar system, the antenna is fabricated on a single layer laminate to resist a fire impact and is covered with the Teflon foam. To obtain the desired characteristics, the array antenna is designed 4x8 array using a corporate 3-dB amplitude taper. Also, using square patch elements, the antenna can be converted to a circular polarized antenna later. The designed and fabricated array antenna has the reflection coefficient(S_{11}) -53.498dB, the horizontal beam width of 10°, the vertical beam width of 18.8°, the gain of 21dBi, the bandwidth of 220MHz for VSWR<1.5 and a side lobe level of less than -17.5dB.

키워드

안테나, 마이크로스트립, 도플러

1. 서론

도플러 레이더는 기상관측 및 항공기 관제 등 이동 목표물의 탐지 및 위치, 속도 측정을 위해 널리 사용되고 있다. 도플러 레이더에는 일반적으로 파라볼라 안테나를 사용하지만, 운용으로는 무게와 부피가 작아

이동이 용이하고 소자의 집적화와 부착력이 탁월한, 경제적인 마이크로스트립 안테나가 많이 이용되고 있다. 본 논문에서 제작한 안테나는 이동 목표물 속도 측정용 센서로서 전차의 포탑에 장착되는 형태의 도플러 레이더에 사용하려는 목적으로 설계 및 제작되었다.

* 울산과학기술대학교 전기전자학부 부교수

** 홍익대학교 박사과정

수평 이동 목표물 탐지 센서로 이용되기 위해서는 일반적으로 수평 방향으로 좁고, 수직 방향으로 넓은 빔 폭을 가져야 한다. 또한 이동 목표물이 비행할 수 있는 어느 정도의 먼 거리까지 전파의 송수신이 가능하도록 20dBi 이상의 이득이 요구된다[1]. 더불어 이동 목표물에서 반사되는 신호를 제외한 원치 않는 신호의 수신을 최소화하기 위해서는 낮은 Side lobe level(SLL) 특성이 필요하다. 본 논문에서는 이용 특성상 유지보수가 쉬워야 하고 소형이 되도록 최대한 구조를 간단히 하기 위해 단층기판을 사용하였고, 급전점 수를 가능한 한 적게 하기 위해 송수신용으로 각각 하나의 안테나만 사용하도록 설계하였다. 설계 요구 사항 중 안테나의 면적은 200mm X 200mm이므로 안테나 하나에 이용할 최대 면적은 200mm×100mm가 된다[2]. 하지만 두 안테나 사이의 coupling을 방지하기 위해서는 좀더 작은 면적을 갖는 게 좋다. 위의 조건을 만족시키기 위해서는 단일소자의 E-plane과 H-plane의 빔 폭을 미리 설정하여 배열하는 것이 유리하지만, 원 편파를 이용할 수 있도록 정사각형 소자를 이용하였기 때문에 배열의 수와 소자간의 간격을 조정하여 원하는 빔 폭으로 설계하였다. 20dBi 이상의 이득과 빔 폭을 가지면서 설계요구상의 크기에 맞추기 위하여 4 X 8의 배열 수를 정하였다. 낮은 SLL을 위해서는 일반적으로 Chebychev 급전 방식이나 binomial 급전 방식을 이용하지만, 많은 수의 배열을 할 경우 지나치게 급전 방식이 복잡해지고 차지하는 면적이 커져 원치 않는 복사가 많이 일어날 수 있다[3][4]. 따라서 간단한 방식의 incorporated 3-dB amplitude taper 급전 구조를 이용하여 -18dB 정도의 SLL을 구현하였다. 3-dB amplitude taper 급전 구조는 uniform amplitude taper 급전 구조보다는 낮은 SLL을 가진다. 또한 대역폭을 늘리고 마이크로스트립 표면의 보호를 위해 foam을 덮는 구조를 이용하였다.

안테나 제작에 사용한 기판은 유전율이 낮고 높이가 높은 Rogers社의 RT Duroid 5880 62mil 기판을, foam으로는 Teflon社의 5mil 기판을

칭하여 유전체 부분만 사용하였다. 급전 선로 부분은 HP社의 ADS를 이용하여 결과를 예측하고, 방사 소자부분과 결합한 결과는 Ansoft社의 Ensemble 5.1을 사용하여 모의 설계를 하였다. 마지막으로 제작된 안테나의 특성을 측정하고 결과를 분석하였다.

II. 마이크로스트립 배열안테나 설계

마이크로스트립 배열 안테나를 설계하는 데는 단일 마이크로스트립 안테나 소자만을 가지고 설계할 때보다 각 소자 사이의 상호결합 효과로 인해 단일 안테나 소자로 최초로 설계하였던 중심 주파수와 입력임피던스, 복사패턴이 변화하며, 급전선로의 구조가 복잡해지고 이로부터의 원치 않는 복사가 증가하여 빔 패턴의 왜곡이 발생하게 되므로 이의 정확한 고찰이 필요하다.

2.1 1 X 2 부 배열 안테나 설계

마이크로스트립 배열 안테나가 레이더용 센서로 이용되기 위해서는 표1의 설계 규격과 같이 수평방향으로 좁고 수직방향으로는 넓은 빔폭이 필요하다. 즉, E-plane을 빔폭이 좁도록 배열을 더 많이 하여야 한다. 표 1의 규격에 의해 2 대 1의 비율로 배열 수를 정하고, 한정된 공간에 소자의 개수를 맞추려면 4 X 8로 소자를 배열하는 것이 적당하다.

단일 마이크로스트립 안테나 소자[3][5]에 대한 이론을 바탕으로 그림 1과 같은 1 X 2 부 배열 구조를 설계 하였다.

표 1. 안테나 규격

특성		규격
중심주파수		10.525 GHz
대역폭		10.525 GHz±7 MHz
빔폭	수평	10. @ 3dB points
	수직	20. @ 3dB points
VSWR		1.5 이하
이득		20 ~ 21 dB

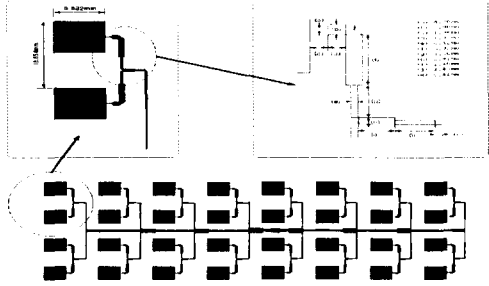


그림 1. 1×2 부 배열 안테나

단일 소자의 E-plane을 지면에 평행하게 배열하게 되면, 급전 구조의 위치상 90°로 bending하여야 한다. bending한 후 T-junction을 이용하여 연결하였다. 이때 소자간의 간격은 $1\lambda_g$ 정도로 하여 소자간의 위상차를 없애야 하는데, 구조상 다시 90°로 bending하여 급전 쪽으로 향하게 하였다. 그림 1처럼 T-junction의 중앙에 discontinuity를 이용 reactance를 보상해 줄 수 있다 [5].

2.2 4 X 4 부 배열 안테나 설계

4 X 8 배열 안테나의 급전 지점을 가운데로 설정하였기 때문에 1 X 2 부 배열 안테나가 서로 마주보는 형태를 가지면서 소자간에 같은 간격을 가져야 한다. 이런 모양의 1 X 4 부 배열 안테나를 만들려면 T-junction으로 연결하여야 한다. 이때 임피던스를 살펴보면 소자와 소자 사이에 있는 급전선에 coupling이 일어나는 면과 안 일어나는 면이 서로 다르게 된다. 이를 해결하려고 1 X 2 부 배열의 급전선을 좀더 길게 하여 소자에서의 coupling을 줄이려고 한다면 수직방향의 소자 간격이 틀려져서 안테나의 방사 패턴이 달라지게 된다. 또한 1 X 2 부 배열을 90° bending하지 않은 상태에서 다시 T-junction으로 연결한다면 수평방향의 간격이 $1\lambda_g$ 보다 훨씬 커지므로 소자간의 위상차가 생기게 된다. 따라서 지연선로를 삽입하여야 한다. 이는 원치 않는 복사를 일으킬 수 있고, 수평방향으로 전체 배열 안테나의 크기가 너무 커지게 된다. 따라서

급전점을 중심으로 수평방향으로 4 X 4 부 배열 안테나를 따로 설계하는 방법이 더 유리하다.

1 X 4 부 배열에서 2 X 4 부 배열로의 확장을 할 경우 3-dB amplitude taper의 장점은 1 X 4 부 배열의 입력 임피던스를 1 X 2 부 배열의 입력 임피던스의 0.5로 맞추면 되는 것이다. 여기서 1 X 2 부 배열의 입력 임피던스가 커야만 1 X 4 부 배열의 급전선의 폭이 좁아지게 된다. 만약 입력 임피던스가 작다면 3 X 4 부 배열로 확장할 경우 quarter wave length transformer의 폭이 지나치게 커져서 원치 않는 복사를 일으키게 되고, 4 X 4 부 배열로의 확장시에는 더욱 커지게 된다.

그림 2(a)에서는 급전 프루브의 위치에서 왼쪽의 4 X 4 부 배열을, 그림 2(b)에서는 오른쪽의 4 X 4 부 배열을 나타내었다.

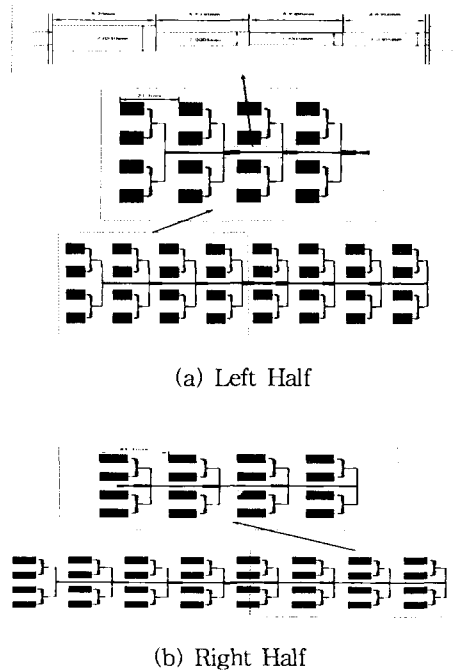


그림 2. 4 X 4 부 배열 안테나

2.3 4 X 8 배열 안테나 설계

설계한 두 개의 4 X 4 부 배열 안테나를 결합

하여 4 X 8 배열 안테나를 설계할 때 급전 방법을 선택해야 한다. 급전 방법에 따라 안테나의 전기적 특성과 형태가 달라진다[6][7]. 본 논문의 설계에서는 최종적으로 foam을 덮는 구조를 선택하였는데 만약 마이크로스트립 급전을 하게 되면 foam의 압착이 힘들어지고, 또한 폭이 넓은 50Ω 급전선로의 경우 원치 않는 복사가 일어나게 된다. 따라서 본 논문에서는 실제로 레이더에 적용할 수 있는 프루브 급전 방법을 선택하였다.

프루브 급전은 위치에 따라 입력 임피던스가 변하므로 위치의 설정을 가지고 임피던스 정합을 할 수 있다. 하지만 여기서 설계한 것과 같은 구조에서는 위치 변경을 하게 되면 4 X 4 부 배열 안테나의 설계가 다른 관계로 안테나의 패턴이 틀려지게 된다. 따라서 4 X 4 부 배열 안테나의 임피던스를 변화시켜서 프루브의 위치를 가능한 한 중앙에 위치하게 하는 것이 중요하다. 이러한 문제를 해결 하기 위하여 그림5에 확대하여 표시한 바와 같이 중앙부분을 육각형 형태로 설계하였다. 4 X 4 부 배열 안테나 임피던스의 실수 부분은 좁은 부분에서, 허수 부분은 넓은 부분에서 정합 하도록 폭을 정하여 급전 프루브 결합 시에 가장 낮은 반사계수(S₁₁)를 갖도록 하였다. 전체적인 안테나의 layout은 그림 3과 같으며, 전체 크기는 수평방향으로 163.522mm, 수직방향으로 63.932mm이다.

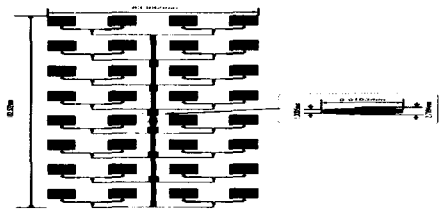


그림 3. 4X8 전체 배열 안테나의 layout

그림 4는 주파수의 변화에 따른 반사계수(S₁₁)와 이득의 모의실험 결과로 중심 주파수 10.525GHz에서 반사계수는 -32.4867dB, 이득은 21.59dBi를 나타내었다.

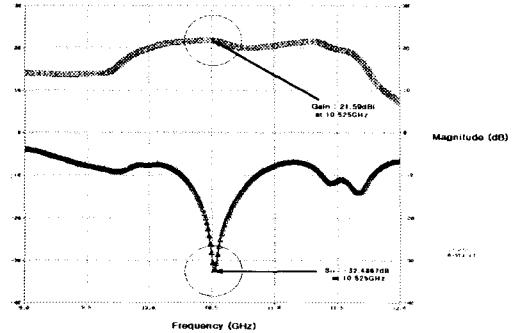


그림 4. 4 X 8 배열 안테나의 반사계수와 이득

그림 5는 프루브 급전점에서의 주파수에 따른 임피던스(Z₁₁) 변화의 모의실험 결과로 중심 주파수 10.525GHz에서 기준 임피던스가 50Ω일 때 실수 부분은 1.0436, 허수 부분은 0.03372를 얻었다.

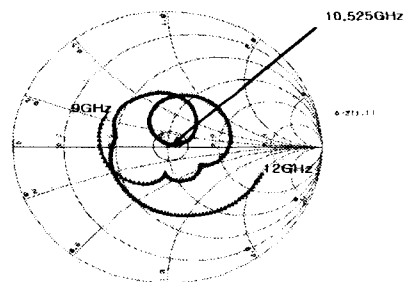


그림 5.설계된 4 X 8배열 안테나의 임피던스

그림 6은 주파수 변화에 따른 VSWR으로 1.5 이하 대역폭 360MHz로 설계 규격상의 14MHz보다 훨씬 넓은 대역폭을 얻었다.

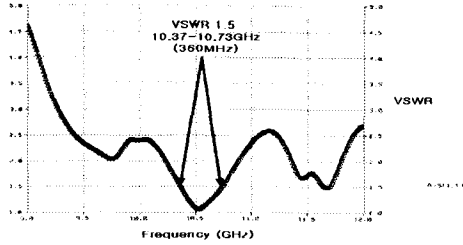
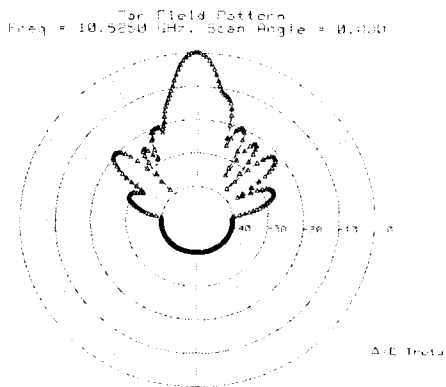
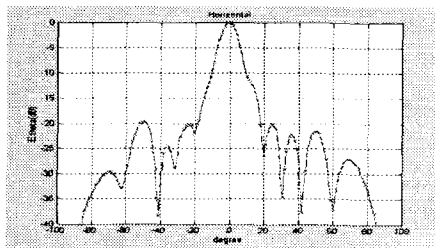


그림 6. VSWR

그림 7는 중심 주파수 10.525GHz에서의 극 좌표와 직각 좌표에 따른 E-plane 패턴이고, 그림 8은 H-plane의 패턴이다. 3-dB 빔폭은 수평 (E-plane) 10°, 수직(H-plane) 19.26°이고, SLL은 -20dB 이하의 특성을 얻었다.

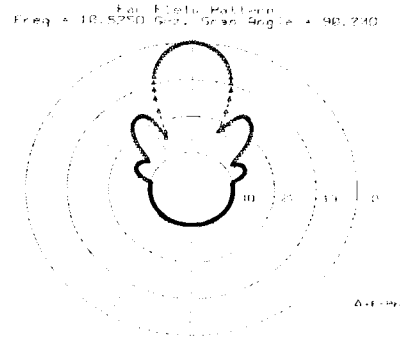


(a) 극 좌표

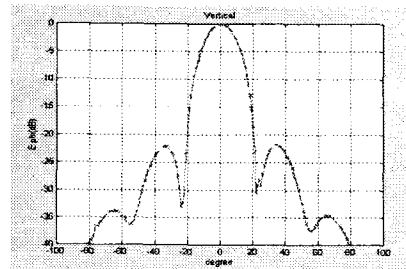


(b) 직각 좌표

그림 7. E-plane 패턴



(a) 극좌표



(b) 직각좌표

그림 8. H-plane 패턴

III. 측정 및 검토

그림 9는 제작된 4X8 배열 안테나로 radome을 부착하지 않은 상태이다. 안테나의 특성은 네트워크 분석기(HP 8510C)로 측정하였고, 안테나 방사패턴은 표준 혼 안테나를 이용, 네트워크 분석기의 time gating 기능을 적용하여 측정하였다.

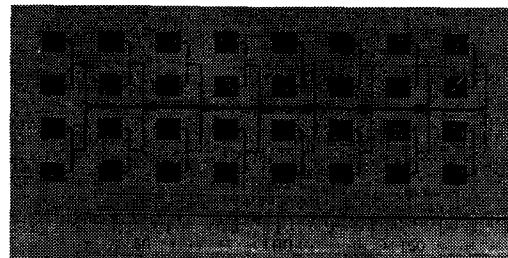
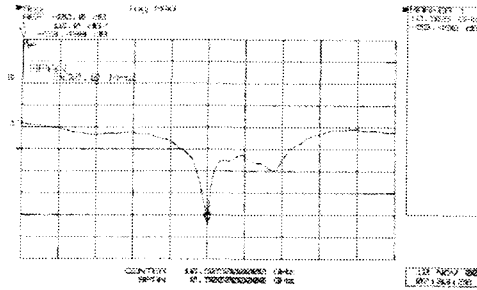
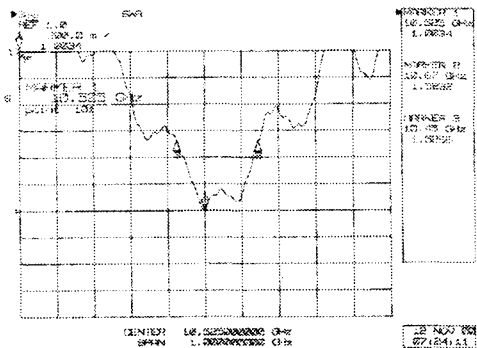


그림 9. 제작된 안테나

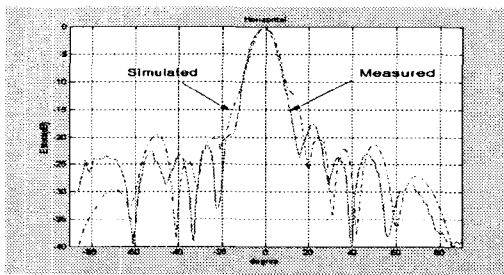
그림 10(a)에서 주파수의 변화에 따른 반사계수(S_{11})의 측정결과를 보였다. 500MHz span으로 중심 주파수 10.525GHz에서 -53.498dB를 얻었다.



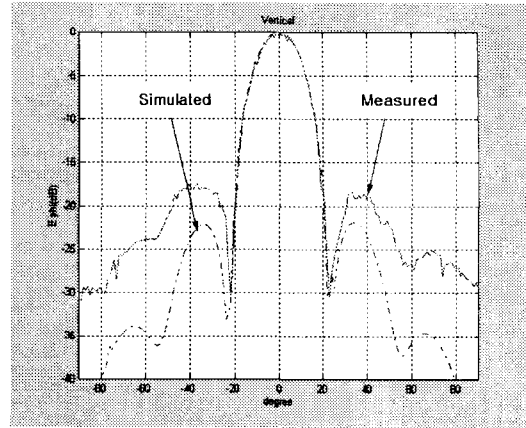
(a) 반사계수(500 MHz span)



(b) VSWR



(c) E-plane 패턴



(d) H-plane 패턴

그림 10. 측정 결과

그림 10(b)는 주파수의 변화에 따른 VSWR로 1GHz span에서 약 220 MHz(10.45~10.67GHz)의 VSWR 1.5 이하 대역폭을 보였다.

그림 10(c)에서는 E-plane 패턴의 측정치와 모의실험 결과를 비교하였다. 3-dB 빔폭은 10°로 모의실험 결과와 유사하고 SLL은 -17.5dB 이하로 다소 높게 측정되었으며 이는 전체적으로 패턴의 level이 높은 것으로 보아서 패턴 측정시 유한한 거리에서 생기는 송·수신 안테나 사이의 결합 및 다중반사, 주변 물체 및 벽면, 안테나 지지대 등에서 발생하는 반사파에 의한 것으로 추정할 수 있다.

그림 10(d)는 H-plane 패턴으로 3-dB 빔폭은 18.8°로 모의실험 결과보다 좁게 측정되었지만, 전체적인 SLL이 다소 높은 형태를 보이고 있다. 이득은 약 21dBi로 측정되었다. 표 2에 설계 규격, 모의실험 결과치, 그리고 측정 결과를 비교 정리하였다.

표 2. 결과 비교

4 X 8 배열 안테나		설계 규격	모의 실험	측정 결과
반사계수(S_{11} : dB)		N/A	-32.4867 dB	-53.498 dB
빔폭 @ 3-dB points	수평 (°)	10	10	10
	수직 (°)	20	19.26	18.8
이득(dBi)		20~21 dBi	21.59 dBi	21 dBi
SLL(dB)		N/A	-20 이하	-17.5 이하
VSWR 1.5 이하		14 MHz	360 MHz	220 MHz

참 고 문 헌

- [1] "SL-520M Radar Antenna Maintenance Manual Revision 006", Weibel Scientific, pp. 7-21, 1994.
- [2] Nadav Levanon, "Radar Principle", John Wiley & Sons, Inc., pp. 2, 96-98, 1988.
- [3] Contantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design 2nd edition", John Wiley & Sons, Inc., pp. 724-823, 1997.
- [4] D. Pozar, D. Schaubert, "Comparison of Three Series Fed Microstrip Array Geometries", IEEE AP-S/URSI Sym. Digest, pp. 728-731, June 1993.
- [5] I.J. Bahl, P. Bhartia, "Microstrip Antennas", Artech House, Inc., Chapter. 2. 1982.
- [6] K.C Gupta, "Two-Dimensional Analysis of Microstrip Circuit and Antennae", J. IEEE, Vol.28, No. 7, pp. 346-364, 1982.
- [7] B.M. Alarjani and J.S. Dahale, "Feed Reluctance of a Rectangular Microstrip Patch Antenna with Probe Feed", European Microwave Week, Munich, Germany, 4-8 October 1999.
- [8] E. Levine, G. Malamud, S. Shrikman, "A Study of Microstrip Array Antennas with the Feed Network", IEEE Trans. Antennas Propagation. Vol. 37 pp. 426-434, April 1989.

V. 결 론

마이크로스트립 패치 배열 안테나를 이용하여, 이동식 도플러 레이더에 사용할 수 있는 안테나를 제작하였다.

마이크로스트립 패치 배열 안테나는 수식에 의한 방사 소자의 이론 값 산출 및 원하는 특성을 얻기 위한 급전 회로망의 형태를 결정한 후 field simulator를 이용하여 부 배열 안테나를 설계하고, 이를 바탕으로 하여 주 배열 안테나를 설계 및 제작하여 완성하였다. 군용 레이더 시스템에 적용하기 위해서 비교적 충격에 강한 단일 기판을 사용하였고, 거친 사용 환경에서의 마이크로스트립 표면의 보호를 위해 foam을 덮는 구조를 이용하여 radome으로 사용하였다. 또한 정사각형의 패치 소자를 사용하여 원 편파를 사용하는 레이더 시스템에 변용 할 수 있게 하였다.

중심 주파수 10.525GHz에서 21.59dBi의 이득과 -53.498dB의 반사계수, VSWR 1.5 이하의 대역폭 220MHz, 수평 빔폭 10°, 수직 빔폭 18.8°, 이득은 약 21dBi의 특성을 얻었다. 그러나 SLL -17.5dB로 일반적으로 요구되는 -20~-30dB에 미치지 못하여 이 부분에 대한 추가적인 개선을 위한 연구가 이루어진다면 도플러 레이더용 안테나로 사용될 수 있을 것이다.

저 자 소 개



강중순(Joong-soon Kang)

1983년 울산대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1991년~현재 울산과학기술대학교 전기전자학부 교수

※관심분야 : 무선통신, 초고주파 통신, 이동통신



손병문(Byung-moon Son)

1989년과 졸업(공학사)

1992년 홍익대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992년~1994년 LG 정밀연구소 근무

1994년~1997년 진성연구소 근무

1998년~현재 홍익대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

※관심분야 : 무선통신, 초고주파통신, 레이더