

자동 주행 차량을 위한 24 GHz 3-Beam Scan 안테나의 제작

。 원영진*, 이영주*, 공영균*, 김영수*

*포항공과대학교 전자전기공학과

E-mail : etwas21@postech.ac.kr

Fabrication of 24 GHz 3-Beam Scan Antenna for ACC Applications

。 Young Jin Won*, Young Ju Lee*, Young Kyun Kong*, Young Soo Kim*

* Department of Electronic and Electrical Engineering

Pohang University of Science and Technology

E-mail : etwas21@postech.ac.kr

Abstract

For driver's convenience, the ACC (Adaptive Cruise Control) requires a system which controls the vehicle to keep the distance among the automobiles constant. This paper describes the microstrip array antennas designed to operate at 24GHz, and used as a direction indicator of moving vehicles. 8×2 transmit array antenna with wide beamwidth, 8×4 receive center array antenna, and two 8×8 receive array antennas with narrow beamwidth were designed. The measured result shows that the designed array antennas are suitable for detecting 3 directions of the vehicle when the scan angle is within the restricted area.

I. Introduction

자동차의 급격한 증가로 인한 사고 및 피해가 증가함에 따라 선진국을 중심으로 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transportation System)의 도입이 적극적으로 추진되고 있다.

지능형 교통 시스템에서 자동차의 제어를 위해 주행중인 자동차에 전 후방 및 측방의 주변환경에 대한 정보를 제공할 수 있는 센서가 요구되며 이를 위해 초음파, 적외선, 레이저, 밀리미터파 레이더 및 화상센서 등이 고려된다. 이 중에서 온도와 습도에 대한 영향이 적으며 정확한 거리 및 상대 속도 측정이 가능한 밀리미터파 레이더 방식이 선호되는데, 밀리미터파 레이더 방식 중 비교적 설계가 간단하며 정확한 거리 및 속도 정보를 제공하는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식이 적합하며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 주파수 표준은 미국과 일본 및 유럽을 중심으로 24GHz, 60GHz, 77GHz 대역에서 연구 중에 있다. 그 중에서 근거리 용으로는 24GHz 가, 장거리 용으로는 77GHz 대역이 표준화 되는 추세에 있다[1].

현재 각국의 기술적인 연구경향은 소형화 및 대량생산을 위한 MMIC(Monolithic Microwave

Integrated Circuit) 제작기술 및 low profile 과 multi-beam 평판 안테나 제작 기술에 맞춰져 있다. 안테나 제작 기술에 있어서 주로 쓰이는 안테나는 slotted waveguide 배열 안테나, lens 안테나, 마이크로스트립 배열 안테나 등이다. Slotted waveguide 안테나는 단면이 낮으며 효율이 높지만 대량생산이 어렵고, lens 안테나는 역시 효율이 높지만 자동차에 장착하기에는 부피가 크며, 마이크로스트립 배열 안테나의 경우 단면이 낮으며 제작이 용이하여 대량 생산이 가능하므로 자동차에 장착하기에 가장 적합하다고 하겠다[2]. 그리고 안테나 제작 기술에서 실제 도로 환경은 도로에서의 곡률이 고려되어야 하며 multi-target 과 주변 환경에 대한 간섭이 존재하므로 beam-scan 방식의 안테나를 구현한다. Scan 방식으로는 기계적인 조작에 의한 mechanical-scan 방식과 안테나의 feed point 를 switch 하는 switched-beam scan 방식, 그리고 위상가변에 의한 electronical-beam scan 방식이 주로 사용된다. Switched-beam scan 방식은 간단한 구조로 구현될 수 있어서 안테나의 크기를 줄일 수 있지만 분해능이 낮으며, mechanical-beam scan 방식은 폭이 좁은 패턴을 생성하여 높은 분해능을 유지할 수 있지만 기계적인 신뢰도가 선행되어야 하며 안테나의 크기가 커진다는 단점이 있다[3].

본 논문에서는 근거리에서 전방 3 개의 차선을 scan 할 수 있는 3-beam switched-beam scan 방식의 aperture coupled 마이크로스트립 배열 안테나를 구현하였다.

II. Antenna Specification

일반적인 FMCW 레이더는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 주파수를 시간에 따라 선형적으로 변조시켜 송신하고 표적에 대해 반사된 수신 주파수와 송신 주파수와의 차 주파수에 의해 거리 및 상대 속도 정보를 산출해 낸다[4].

그림 1 은 24 GHz 대역의 FMCW 레이더 시스템의 block diagram 이다[5].

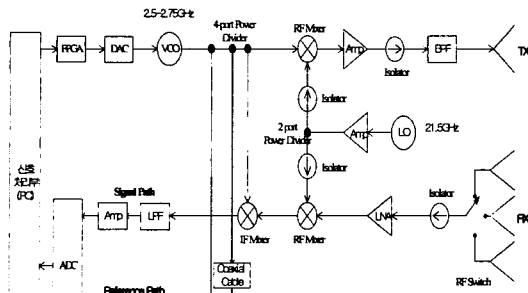


그림 1. FMCW 레이더 시스템 block diagram

그림 1 에서 보면 250MHz 의 대역을 가지는 신호를 넓은 빔 폭을 가지는 송신안테나에서 송신된 후, 좁은 빔 폭을 가지는 3 개의 수신 안테나를 RF switch 로써 switching 하여 전방 차량이나 장애물의 방향과 거리를 측정할 수 있게 시스템을 설계하였다. 즉 3 개의 switching 빔이 자기 자신의 차선과 인접한 두 개의 차선을 관측할 수 있다. 그림 2 에서 보면 도로 1 차로의 일반적인 폭을 3.25 m 라고 하고(한국도로공사 규격) 전방차량과의 거리를 10 m 라고 했을 때 가운데 차선의 중심에서 인접 차선의 중심까지는 약 18° 정도 빔이 tilt 되며 가운데 빔의 3dB 빔 유효 영역은 약 20°, 좌 우 beam 의 3dB 빔 유효 영역은 약 15° 임을 알 수 있다. 따라서 azimuth 방향으로는 송신안테나의 빔폭은 52°, 수신안테나의 빔폭은 center 배열 안테나가 20°로 left, right 배열 안테나가 각각 15°의 빔폭으로 설계하고, elevation 방향으로는 각각 지면으로부터의 반사파의 영향을 줄이기 위하여 10° 정도의 빔폭을 목표로 설계한다. 이득은 송신의 경우 15dBi 이상, 수신은 각각 20dBi 이상으로 설계하며 불필요한 간섭신호의 제거를 위해 sidelobe level 은 20dB 이하를 목표로 설계한다.

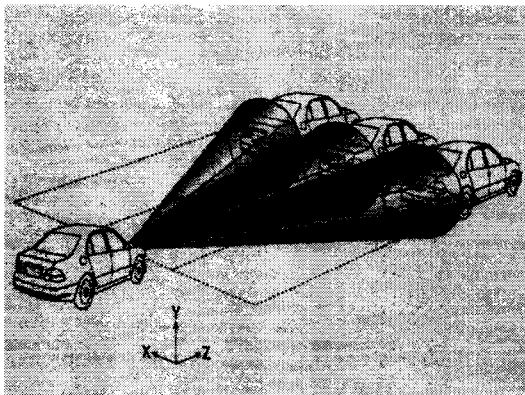


그림 2. 구성도

이상을 정리하여 안테나의 설계목표 사양을 정리하면 표 1 과 같다.

표 1. 안테나 설계 목표 사양

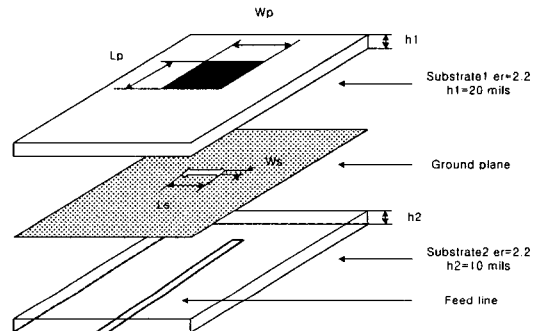
Parameter	Tx Array	Rx Array
Freq. Band	24GHz ~ 24.25GHz	
Az. Beam No.	1	3
Beam overlapping level	-	-3 dB
Az. Beamwidth	52°	15°, 20°, 15° (L, C, R)
El. Beamwidth	10°	10°
Gain	>> 15dBi	>> 20dBi
Sidelobe level(SLL)	< -20dB	< -20dB

III. Antenna Design

자동차용 레이더의 경우 미리 결정된 field-of-view(FOV) 안에서 전방 차량의 방향을 결정할 수 있어야 하므로 높은 방향성과 불필요한 간섭신호의 제거를 위해 낮은 sidelobe level 이 요구되며 차량에 장착하기 위해서 low profile 이어야 한다[6].

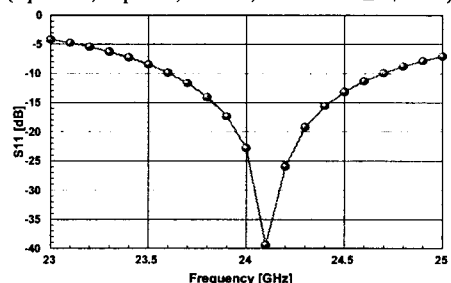
이를 위해 마이크로스트립 안테나로 설계하였고 그 중에서도 aperture coupled 방식을 사용하였다. 이것은 radiating element 와 feed element 를 분리함으로써 독립성을 유지하며 feed 에 의한 불필요한 radiation 을 막으며 향후 능동소자들과의 집적화를 위함이다[7].

Aperture coupled 방식의 기본 안테나 구조는 radiating element 는 직사각형 patch 를 사용하였고, coupling 을 개선하기 위하여 dog-bone 형태의 aperture 를 사용하였다. 그림 3 은 설계한 24GHz 단일 안테나의 구조와 단일 안테나의 반사계수 및 복사패턴의 simulation 결과이다.

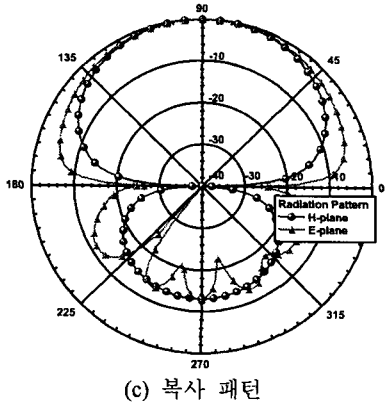


(a) 단일 안테나의 구조

(Lp=3.44, Wp=2.7, Ls=2.0, Ws=0.25 단위 mm)



(b) S₁₁



(c) 복사 패턴

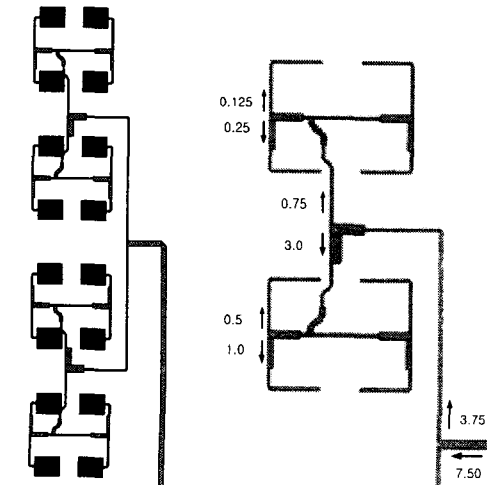
그림 3. Aperture Coupled Single Patch

반사계수 특성을 보면 VSWR 2 이하의 대역폭을 기준으로 약 1GHz 이므로 공진주파수에 대해 약 4% 정도의 대역폭을 가진다.

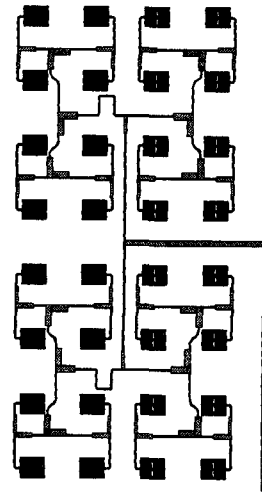
송 수신 배열안테나의 급전 방식은 FMCW 방식을 사용하므로 series feeding 보다는 주파수의 영향을 덜 받는 corporate feeding 방식을 채택하였으며 밀리미터파 대역에서의 높은 impedance에서의 손실을 최소화하기 위하여 최대 feed line impedance를 100Ω으로 제한하였다.

그림 4는 1 개의 송신 안테나와 2 개의 수신 안테나의 구조 및 feed 구조이다.

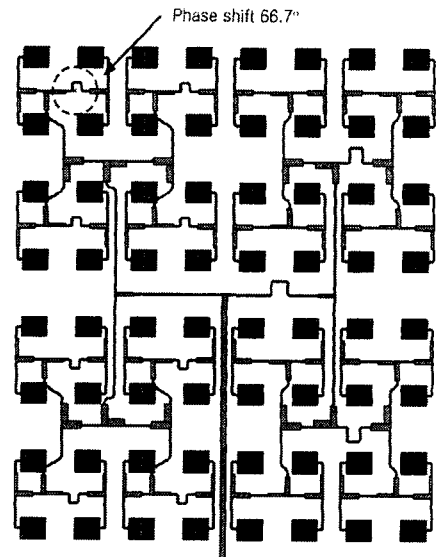
송신 배열 안테나의 경우 azimuth 방향으로는 52°의 넓은 빔폭을 elevation 방향으로는 10°의 좁은 빔폭을 얻어내기 위해 8×2 배열로 설계하였고 넓은 azimuth 빔폭을 얻어내기 위한 방사소자간 공간(0.5λ₀)의 협소함을 극복하고 대역폭을 넓히기 위해 mirroring 기법을 사용하였으며 이때 발생하는 방사 소자간 cross polarization을 제거하기 위해 180°의 위상 차를 주는 feeding 기법을 사용하였다[8]. 그리고 elevation의 좁은 빔폭(10°)과 20 dB 이하의 sidelobe level을 얻기 위해 전력 분배 특성을 1 : 2 : 4 : 8 : 8 : 4 : 2 : 1로 설계하였다.



(a) Tx Array & Feed Structure (11.42mm×63.6mm)



(b) Rx Center Array (31.3mm×63.6mm)



(c) Rx Left Array (57.42mm×63.6mm)

그림 4. 송 수신 배열 안테나 및 급전구조

수신 배열 안테나에서 center 안테나는 20°의 azimuth 빔폭과 10°의 elevation 빔폭을 위해 8×4 배열로 설계하였고, azimuth 방향으로는 1 : 4 : 4 : 1로 전력을 분배하였고 elevation 방향은 송신안테나와 동일하게 설계하였다. Left, right 안테나는 15°의 azimuth 빔폭과 10°의 elevation 빔폭으로 ±18°만큼 빔이 tilt 되게 설계하였다. 이 때 원하는 빔폭을 얻기 위해 8×8 배열로 설계하였다. 빔 tilt를 위한 left, right 배열의 방사소자간 위상차는 ±66.7°이며 이를 위해 급전길이를 simulation을 통하여 가변하였다. Right 배열 안테나는 left 배열 안테나의 대칭 형태이므로 생략하였다.

IV. Fabrication and Measurement

제작한 안테나는 HP사의 8722ES vector network analyzer를 이용하여 입력반사계수와 입

력 임피던스 및 VSWR 을 측정하였으며 포항공대의 compact range 에서 복사패턴 및 이득을 측정하였다.

그림 5 는 최종 제작한 안테나의 사진이다. 안테나의 실제 제작 크기는 송신 배열 안테나는 57.0mm × 96.9mm 이고 3 개의 안테나를 합친 수신 배열 안테나는 236.22mm × 96.9mm 이다. 실제 안테나의 측정은 주파수 대역 K-band 에서 SMA 커넥터의 특성의 저하가 나타나므로 40 GHz 까지 사용 가능한 K 커넥터를 사용하였고 이를 안테나와 접합하기 위한 jig 는 설계 제작하였다.

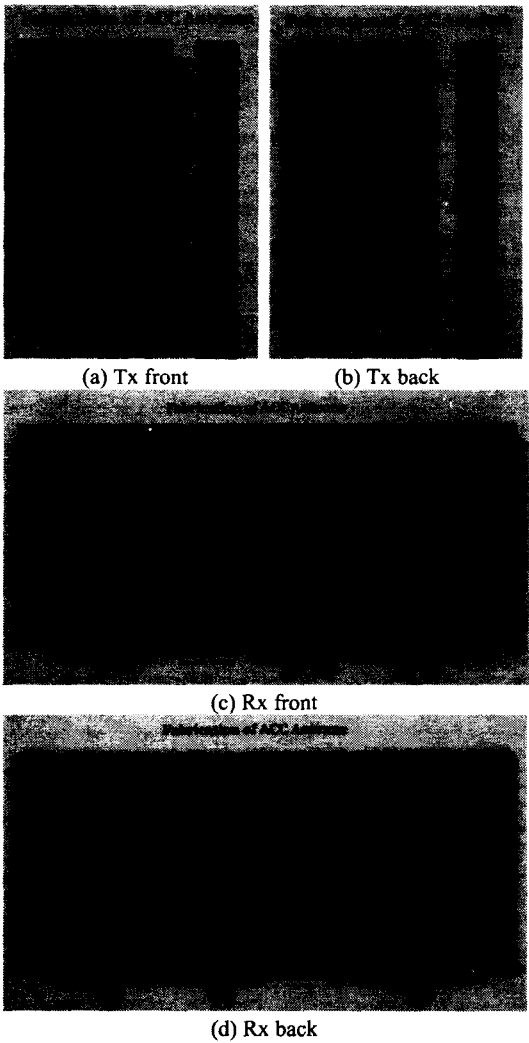


그림 5. 최종제작 안테나

그림 6 은 최종제작 안테나의 측정 결과이다. 입력 반사계수는 21GHz ~ 26GHz 의 주파수 범위로 측정되었으며 복사패턴은 23GHz ~ 25GHz 의 주파수 범위로 측정되었으며 복사패턴 결과는 24 GHz 에서의 결과이다.

그림 6-(a) 의 입력 반사계수를 보면 24GHz~ 24.25GHz 의 250MHz 대역폭에서 송신 및 수신

center 배열 안테나는 잘 만족함을 알 수 있으며 수신 left 및 right 배열 안테나는 아주 좋은 광대역 특성을 나타냄을 알 수 있다.

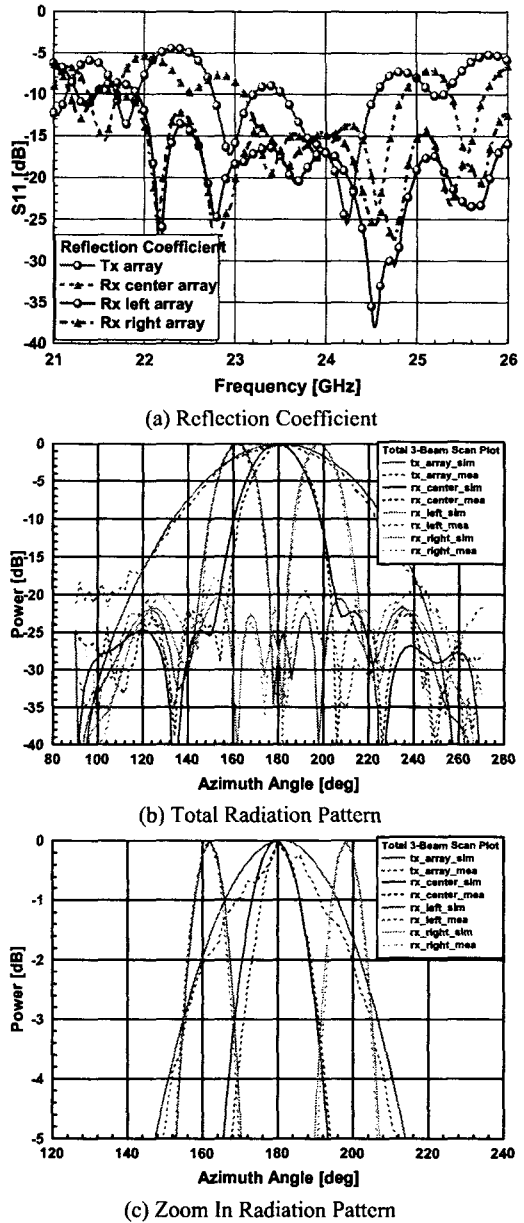


그림 6. 최종 제작 안테나의 측정 결과

그림 6-(b) 의 azimuth 복사패턴을 보면 3 개의 수신 배열 안테나가 sidelobe level 약 20dB 이하를 잘 만족함을 알 수 있으며 수신 right 의 경우 약간 올라가는 것은 제작상의 오차로 보인다. 그림 6-(c) 의 확대된 azimuth 복사패턴을 보면 넓은 빔폭의 송신안테나를 3 개의 좁은 빔폭의 수신 안테나가 잘 커버함을 알 수 있다. 그리고 송신과 수신 배열 안테나의 elevation 복사패턴은 설계 목표인 빔폭 10° 와 sidelobe level 20 dB 이하를 잘 만족하였으므로 그림에서 생략하였다. 마지막으로 aperture coupled 방식의 특징 중 하나인

front-to-back ratio는 -15 dB 정도로 측정되었으며 최종 측정 결과를 정리해 보면 표 2와 같다.

표 2. 최종 측정 결과
(괄호 안은 목표 사양)

	Tx Array	Rx Center	Rx Left	Rx Right
Azimuth (degrees)	50 (52)	20 (20)	13 (15)	13 (15)
Elevation (degrees)	12 (10)	10 (10)	10 (10)	10 (10)
Gain (dBi)	16.7 (15)	20.2 (20)	22.2 (20)	22.0 (20)
SLL (dB)	-	-21 (-20)	-19 (-20)	-18 (-20)
Return loss max(dB)	-17 (-10)	-14 (-10)	-17 (-10)	-15 (-10)

V. Conclusion

Aperture Coupled 방식을 사용한 마이크로스트립 배열 안테나로써 자동 주행 차량을 위한 24 GHz switched beam 방식의 3-beam scan 안테나를 제작하였다. 안테나의 설계에는 Ansoft사의 Ensemble 5.1을 사용하였으며 측정에는 HP사의 8722ES vector network analyzer와 포항공대의 compact range를 이용하였다.

제작된 안테나의 특성을 측정한 결과 입력반사계수 -10 dB 미만의 주파수 대역폭은 24 GHz ~ 24.25 GHz의 대역을 모두 만족하였고 원하는 패턴 특성을 얻음을 확인하였다. 안테나의 이득은 송신, 수신 center, left, right 각각 16.7 dBi, 20.2 dBi, 22.2 dBi, 22.0 dBi를 얻었고, sidelobe level 역시 -20 dB 이하를 잘 만족함을 알 수 있다. 제작한 안테나를 실제 FMCW 레이더 시스템과 RF switch를 사용하여 적용시켜 본 결과 만족스러운 결과를 얻었다.

향후 RF switch를 안테나에 집적하거나 위상 배열기법을 적용하면 본 논문에서 설계 제작한 안테나의 좋은 응용분야가 될 것이다.

References

- [1] IEEE MTT-S 2002 Microwave Symposium Workshop Notes
Automotive Radars & Prospective Circuit/ Antenna Technologies From "Car Collision Avoidance" To "Autonomous Driving"
- [2] Hideo Iizuka et al., "Millimeter-Wave Microstrip Array Antenna with High Efficiency for Automotive Radar Systems"
R & D Review of Toyota CRDL Vol.37 No.2
- [3] Mark E. Russel et al., "Millimeter-Wave Radar Sensor for Automotive Intelligent Cruise Control (ICC)", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol.45, no. 12, Dec 1997.
- [4] M.I. Skolnik, Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, 1981.
- [5] 김찬현, 김수범, 공영균, 김영수, "차량용 근거리 계측을 위한 고분해능 FMCW 레이더의 구현", 한국전자파학회 종합학술발표회 논문집 Vol.11, pp 324-327, 2001
- [6] F. Kolak et al., "A low profile 77 GHz three beam antenna for automotive radar", Microwave Symposium Digest, IEEE MTT-S International, Vol.2, pp 1107-1110, 2001.
- [7] R. Garg et al., Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House, 2001.
- [8] J. Huang, "A parallel-series-fed microstrip array with high efficiency and low cross polarization", Microwave Opt Technol Lett 5, pp 230-233, 1992.
- [9] C.A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, Wiley, 1997.
- [10] W.L. Stutzman, G.A. Thiele, Antenna Theory and Design, Wiley, 1998.