

차량 레이다용 밀리미터파 광대역 직렬-갭 급전 배열 안테나 설계

Gap-Coupled Series-Fed Millimeter-Wave Array Antenna for Automotive Radar Applications

이영표 · 이종민 · 방재식 · 정태용 · 이종선 · 이동환 · 류현상 · 황금철

Young Pyo Lee · Jong Min Lee · Jae Sik Bang · Tae Yong Jung · Jong Seon Lee ·
Dong Hwan Lee · Hyun Sang Lyu · Keum Cheol Hwang

요 약

본 논문에서는 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안테나의 광대역 특성을 구현하기 위해 주파수에 따른 빔 틸팅 특성을 억제하는 갭 커플링 직렬 급전 마이크로스트립 배열 단일 안테나를 설계하였다. 이를 바탕으로 79 GHz 밀리미터파 대역 차량 레이다용 안테나로 적용할 수 있도록 광대역 갭 커플링 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안테나로 확장하였다. 79 GHz 대역에서 시뮬레이션 및 실험 결과를 서로 비교함으로써 설계한 안테나의 성능을 검증하였다.

Abstract

In this paper, the design of a gap-coupled series-fed microstrip array antenna, which suppresses beam tilting characteristics to realize the broadband, is presented. Based on the unit antenna, this application is extended to a gap-coupled series-fed microstrip array antenna to be applied to an antenna for a 79-GHz millimeter-wave band vehicle-based radar. Measurements were performed to validate the designed antennas for use in automotive radar applications.

Key words: Series-Gap Fed Microstrip Array, Millimeter-Wave

I. 서 론

차량용 레이다 기술이란 레이다를 차량에 장착하여 전후방 및 측방의 주변 환경에 관한 정보를 운전자에게 제공하고, 필요한 경우에는 차량을 제어하여 운전자의 안전한 주행을 돕는데 응용되는 기술이다. ITU(international telecommunication union)는 차량 충돌 방지 레이다를 고려하여 76~81 GHz 대역을 무선탐지 업무로 분배하였다. 이에 맞추어 국내에서도 첨단 운전자 보조 시스템(advanced driver assistance system: ADAS) 등 자율주행차 기능 구현 및 주파수 국제조화를 위해 77~81 GHz 대역을 차량 충돌

방지 레이다용으로 분배하였다^[1]. 차량 레이다용 안테나는 크게 반사판 안테나, 도파관 슬롯 배열 안테나 및 마이크로스트립 배열 안테나로 나눌 수 있다. 반사판 안테나는 일반적으로 손실이 매우 작지만 반사를 위한 층과 입사를 위한 여기 안테나가 따로 필요하기 때문에, 두께가 두꺼울 뿐만 아니라, 대역폭이 좁다는 단점이 있다. 도파관 슬롯 배열 안테나는 고효율이며 개구면 전력 분배가 용이하고 구조적으로도 견고하지만, 79 GHz의 높은 주파수에서는 제작이 어렵고, RF 모듈과의 결합 시 천이부 손실로 인한 안테나 성능 저하가 발생하는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해서 반사판 안테나와 도파관 슬롯

「이 연구는 2014년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2014R1A5A1011478).」

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

· Manuscript received March 03, 2020 ; Revised March 18, 2020 ; Accepted March 18, 2020. (ID No. 20200303-019)

· Corresponding Author: Keum Cheol Hwang (e-mail: khwang@skku.edu)

배열 안테나보다 이득이 낮지만, 무게 및 제작 측면에서 유리한 마이크로스트립 배열 안테나 구조를 적용하여 작은 공간에 실장이 가능하며, 제작이 용이한 차량 충돌 방지용 안테나 설계가 필요하다.

II. 안테나 설계

본 논문에서는 광대역 갭 커플링 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안테나 설계를 위해 상호 간섭을 고려한 단일 마이크로스트립 배열 소자 모델을 분석하고, 이를 바탕으로 복사소자의 크기 및 소자 간의 간격을 조절하는 마이크로스트립 배열 안테나 설계 기법을 정립했다. 이를 위해 상호 간섭을 고려한 단일 마이크로스트립 배열 소자 모델에 대한 분석이 필요하다. 갭 커플링 마이크로스트립 단일 배열 소자의 형상 및 전류 분포는 그림 1과 같다. 급전을 위한 마이크로스트립 선로, 급전선로와 일정 간격을 두고 위치한 사각 형태의 패치 복사소자 및 연결 선로 끝단에 입·출력 포트를 구현하였다. 또한, 상호 간섭에 의한 영향을 고려하기 위해서 두 포트가 위치하는 면의 경계 조건을 주기 배열 구조로 설정하였다^{[2]~[6]}.

특정 복사 패턴을 형성하는 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안테나 설계를 위해서는 특정 분포를 형성하는 배열 안테나의 설계 변수 도출이 필수적이다. 갭 커플링 급전 단일 배열 소자의 경우 사각 패치 복사소자와 급전 선로 사이의 간격과 배열 소자에서의 복사 전력 크기가 비례한다. 따라서 간격에 따른 단일 배열 소자의 나머지 설계 변수를 결정한다. 단일 배열 소자 모델의 설계 변수는 반사 계수와 투과 계수 시뮬레이션 결과로부터 도출한다.

단일 소자 모델의 동작주파수는 그림 2(a)와 같이 투과 계수 시뮬레이션 결과로부터 확인 가능하다. 동작주파수에서 단일 소자에서 복사하는 에너지의 양이 가장 크기 때문에 투과 계수 크기가 가장 작다. 또한, 직렬 급전 배

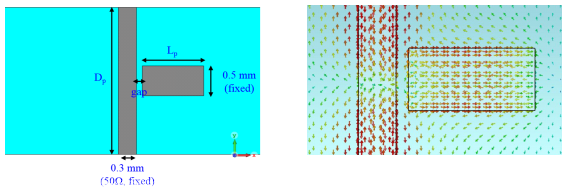


그림 1. 단일 마이크로스트립 배열 모델 및 전류 분포
Fig. 1. Microstrip array unit model & current distribution.

열 안테나의 모든 배열 소자가 동위상으로 동작하기 위해 단일 마이크로스트립 배열 소자 모델의 투과 계수 위상은 그림 2(b)와 같이 특정 주파수 f_c 에서 0° 를 만족해야 한다. 특정 주파수에서 동작하도록 최적 설계된 단일 배열 소자의 복사 전력 계산은 식 (1)을 통해 계산 가능하다^[7].

$$\text{Radiation Power} = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 \quad (1)$$

따라서 설계 목표에 따른 이득 및 복사 패턴을 만족하기 위한 소스 분포로부터 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안테나에 대한 설계 변수 도출이 가능하다.

단일 배열 소자를 기반으로 1×18 선형 배열 안테나를 설계하였다. 부엽 준위를 낮추기 위해 20 dB Taylor 가중치 분포를 적용하였다^[8]. 배열 안테나 형상은 그림 3과 같으며, Isola사의 AstraMT77 기판($\epsilon_r=3$, $\tan \delta=0.0017$, 기판 두께 $t=0.127$ mm)을 적용하여 설계하였다. 설계된 배열 안테나의 설계 변수는 표 1과 같고, 배열 안테나의 마지막 배열 소자와 급전 선로의 개방 단면과의 간격은 정현파 조건을 만족하기 위해 중심 주파수의 $0.5 \lambda_g$ 길이와 가깝게 설계하였다. 또한, 입력단의 급전선로인 50-Ω의 마이크로스트립 선로와 배열 안테나 사이의 임피던스 정합을 위해 마이크로스트립 변환기를 삽입하였다.

설계된 안테나의 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. 반

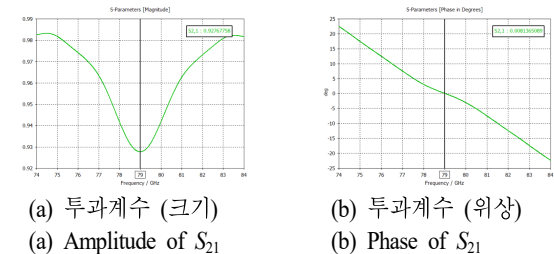


그림 2. 단일 배열 소자 모델의 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulation result of Microstrip array unit model.

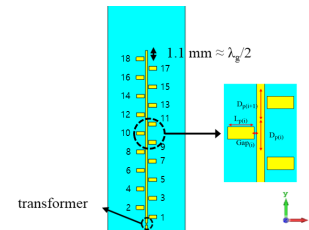


그림 3. 선형 마이크로스트립 배열 안테나 형상
Fig. 3. Linear microstrip array antenna design.

표 1. 안테나 파라미터(mm)

Table 1. Antenna parameter(mm).

No.	Weight	Gap	L_p	D_p
1, 18	0.5963	0.1552	1.0245	1.221
2, 17	0.5975	0.1550	1.0245	1.221
3, 16	0.6173	0.1513	1.0243	1.221
4, 15	0.6725	0.1417	1.0236	1.221
5, 14	0.7605	0.1282	1.0223	1.221
6, 13	0.8576	0.1155	1.0206	1.221
7, 12	0.9358	0.1066	1.0191	1.221
8, 11	0.9818	0.1018	1.0182	1.221
9, 10	1	0.1	1.0179	1.221

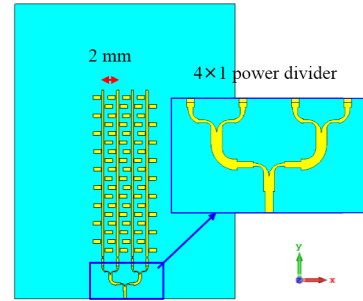


그림 5. 4×18 평면 배열 안테나의 형상

Fig. 5. 4×18 planar array antenna design.

나를 결합하여 중거리 레이더용 송신 배열 안테나인 4×18 평면 배열 안테나를 설계하였다. 이때, 설계된 배열 안테나의 각 선형 배열 안테나(1×18 선형 배열 안테나)의 중심 간격은 2 mm로 동일하다.

설계된 배열 안테나를 시뮬레이션을 통해 성능 검증하였으며, 배열 안테나의 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같다.

Ⅲ. 시뮬레이션, 측정 결과 비교

설계된 배열 안테나의 성능을 검증하기 위해 배열 안테나를 그림 7과 같이 제작하였으며, 배열 안테나의 성능을 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

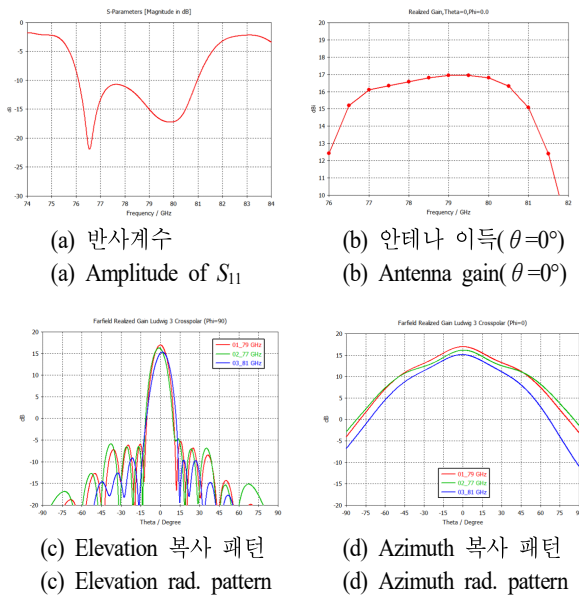


그림 4. 1×18 선형 배열 안테나 시뮬레이션 결과

Fig. 4. Simulation result of 1×18 linear array antenna.

사계수 특성은 77~81 GHz 대역 내에서 -10 dB 이하를 만족하였다. Taylor 가중치 적용으로 주엽 대비 부엽이 20 dB 차이가 발생하였으며, 79 GHz 정면방향 이득은 16.9 dBi이다.

앞서 설계한 광대역 갭 커플링 선형 배열 안테나를 기반으로 하여 중거리 탐지 레이더용 송신 배열 안테나를 설계하였다. 레이더의 탐지 거리를 늘리기 위해서는 배열 안테나의 이득 증가가 필수적이다. 이를 위해 그림 5와 같이 4×1 전력 분배기와 기 설계한 1×18 선형 배열 안테

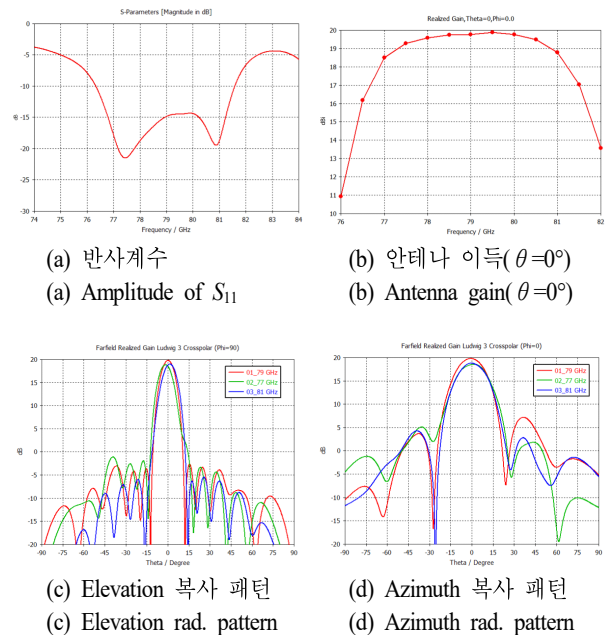


그림 6. 4×18 평면 배열 안테나 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Simulation result of 4×18 planar array antenna.

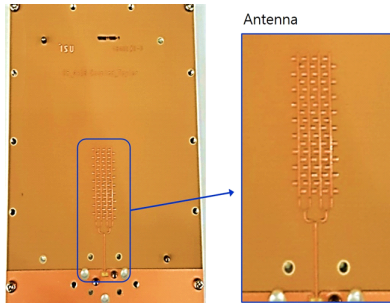


그림 7. 제작된 안테나의 형상
Fig. 7. Fabricated antenna PCB.

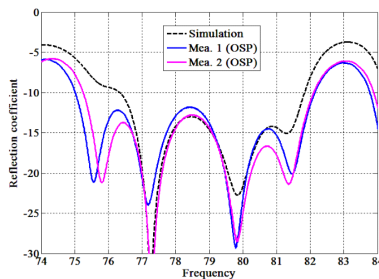


그림 8. 시뮬레이션과 제작된 안테나의 S_{11}
Fig. 8. S_{11} of simulation and fabricated antenna.

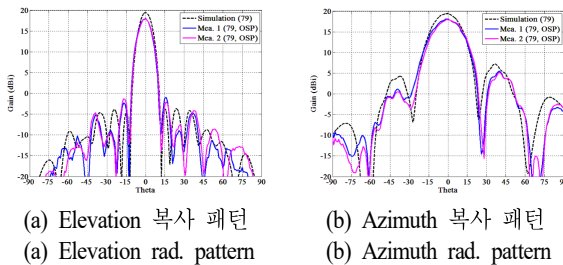


그림 9. 제작된 안테나의 측정 결과(79 GHz)
Fig. 9. Measured beam pattern of antenna(79 GHz).

측정 결과와 시뮬레이션 결과가 서로 일치함을 확인하였다. 배열 안테나의 측정 및 시뮬레이션 복사 패턴은 그림 8 및 9와 같다. 77~81 GHz 대역 내에서 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 대체적으로 서로 일치함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 79 GHz 밀리미터파 대역 차량 충돌 방지 레이더로 사용하기에 알맞은 배열 안테나를 제안하였다. 광대역 갭 커플링 직렬 급전 마이크로스트립 배열 안

테나 설계 기법을 정립하고, 안테나를 설계 및 제작하여 성능을 검증하였다.

References

- [1] G. W. Min, H. S. Son, "Current status of vehicle radar sensors and R&D trends," *The Magazine of the IEIE*, vol. 40, no. 6, 28-38, Jun. 2013.
- [2] E. J. Park, I. S. Jung, "Design of series-fed microstrip patch array antennas for monopulse radar sensor application," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 21, no. 11, pp. 1248-1258, Nov. 2010.
- [3] J. H. Kim, K. C. Hwang, and J. H. Shin, "Series-fed microstrip array antenna for millimeter-wave application," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 22, no. 12, pp. 1176-1179, Dec. 2011.
- [4] S. Sugawa, K. Sakakibara, N. Kikuma, and H. Hirayama, "Design of microstrip comb-line antenna array composed of elements with matching circuit," in *The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation(ISAP 2009)*, Bangkok, Oct. 2009, pp. 652-655.
- [5] D. Wu, Z. Tong, R. Reuter, H. Gulan, and J. Yang, "A 76.5 GHz microstrip comb-line antenna array for automotive radar system," in *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP)*, Lisbon, 2015, pp. 1-3.
- [6] J. Massen, M. Frei, W. Menzel, and U. Möller, "A 79 GHz SiGe short-range radar sensor for automotive applications," *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, vol. 5, no. 1, pp. 5-14, Feb. 2013.
- [7] Y. Hayashi, K. Sakakibara, M. Nanjo, S. Sugawa, N. Kikuma, and H. Hirayama, "Millimeter-wave microstrip comb-line antenna using reflection-canceling slit structure," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 2, pp. 398-406, Feb. 2011.
- [8] Z. Chen, S. Otto, "A taper optimization for pattern synthesis of microstrip series-fed patch array antennas" in *2009 European Wireless Technology Conference, Rome*, Sep. 2009, pp. 160-163.