

차량 측후방 레이더 센서용 직사각형 도파관 안테나 설계

Design of a Rectangular Waveguide Antenna for Automotive Side and Rear Radar Sensor Applications

이재민*
(Jae-Min Lee)

류홍균**
(Hong-Kyun Ryu)

우종명***
(Jong-Myung Woo)

구본희****
(Bon-Hee Koo)

요약

본 논문에서는 UWB (Ultra Wide Band) high 대역 (중심 주파수 : 9.5 GHz, -10 dB 대역폭 : 600 MHz, 6.4 %)의 차량 측후방 레이더 센서용 도파관 안테나를 설계 및 제작하였다. 안테나는 대역폭이 넓고 구조가 간단한 프로브 급전 구형 도파관을 이용하였다. 본 연구의 차량 레이더 시스템에 있어서 송수신 안테나의 큰 격리도 특성을 얻는 것이 설계의 중요한 변수이다. 따라서 두 도파관 안테나를 E-면과 H-면 배열하였을 시 격리도 특성을 시뮬레이션 하였다. 그 결과 도파관 안테나의 TE₁₀ 모드에 의하여 E-면 배열 보다 H-면 배열의 격리도 특성이 우수한 것을 확인하였다. 따라서 H-면 배열된 송수신 도파관 안테나를 T-형 레이더 모듈에 장착하여 안테나의 특성을 검출하였다. T-형 모듈에 장착된 송수신 안테나의 -10 dB 대역폭은 각각 1000 MHz (10.52 %)와 1090 MHz (11.47 %)로 측정되었고 격리도 (S₂₁)는 요구 대역 내에서 -50 dB 이하로 측정되었다. 송수신 안테나의 최대이득은 각각 7.65 dBi와 7.26 dBi로 나타났으며 H-면 빔폭은 64°, 65°로 측정되어 차량 측후방 레이더 센서용 안테나로 적합함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a waveguide antenna is designed and fabricated for side and rear radar sensor of vehicles in UWB (Ultra Wide Band) high band (center frequency : 9.5 GHz, -10 dB bandwidth : 600 MHz (6.4 %)). For the radar antenna, a probe fed rectangular waveguide antenna having simple structure and wide bandwidth is used. An important performance factor in this antenna is the isolation between transmitting (TX) and receiving (RX) waveguide antennas because this radar system uses TX and RX antennas separately. Thus the isolation between two antennas was simulated for E-plane and H-plane array. As a result, it was verified that the isolation of the H-plane array of the antennas is better than E-plane array, due to the TE₁₀ mode. Therefore, H-plane arrayed waveguide antennas were mounted on a T-shaped radar module and performance of antennas was investigated. The -10 dB bandwidth of the TX and RX antenna mounted on T-shaped radar module was measured as 1000 MHz (10.52 %) and 1090 MHz (11.47 %) respectively and the isolation is less than -50 dB in the operation band. The peak gain is 7.65 dBi for the TX antenna and 7.26 dBi for the RX antenna and the beamwidth of H-plane of TX and RX antenna was measured as 64° and 65° respectively. Consequently, we verified that the proposed waveguide antenna is appropriate for a vehicle radar applications.

Key words : vehicle radar, waveguide antenna, isolation

* 주저자 : 충남대학교 전파공학과 석사과정

** 공저자 : 충남대학교 전파공학과 박사과정

*** 공저자 및 교신저자 : 충남대학교 전파공학과 교수

**** 공저자 : (주)에드모텍 이사

† 논문접수일 : 2011년 9월 9일

† 논문심사일 : 2011년 11월 16일

† 게재확정일 : 2011년 12월 19일

I. 서론

차량용 전방 감시 레이더는 전방에 있는 차량이나 장애물의 유무를 감지하여 전방의 차량과 자동으로 일정거리를 유지할 수 있게 하는 등 여러 가지 정보를 운전자에게 제공함으로써 사전에 차량 간 충돌을 예방할 수 있어 최근 고급 차량 위주로 장착되고 있다.

차량용 레이더의 사용 주파수는 국내 기준으로 77 GHz (대역폭: 1 GHz, 1.3 %) 와 24 GHz (대역폭: 200 MHz, 0.8 %) 대역이 할당되어 있으며 77 GHz 대역은 주로 충돌 방지 전방 감시 레이더로 사용되고 전방 30 m 이상 떨어져 있는 차량을 검출하고자 한다. 이러한 시스템은 기본적으로 측정 목표 차량과의 거리가 멀기 때문에 고 이득을 갖는 안테나가 요구된다[1-3]. 24 GHz 대역 레이더는 탐지 거리가 짧아 차량의 측후방 레이더로 사용되어지고 있다. 하지만 200 MHz의 대역폭만을 허용하고 있어 정밀한 탐지를 위해서는 더 넓은 대역폭이 요구된다[4]. 반면에 UWB (Ultra Wide Band) 방식의 레이더는 대역폭이 넓어 거리 분해능이나 거리 정확도면에서 우수한 특성을 가질 수 있다[5].

따라서 본 논문에서는 UWB high 대역 (중심 주파수 : 9.5 GHz, -10 dB 대역폭 : 600 MHz, 6.4 %) 의 차량 측후방 레이더 센서용 안테나에 대해 연구하였다. 레이더 센서용 안테나는 구조가 간단하여 설계 및 제작이 용이하고 대역폭이 넓으며 실제의 시스템 모듈로부터 직접 급전이 가능한 프로브 급전 직사각형 도파관 안테나[6]를 이용하여 설계하였으며, 안테나가 케이스에 내장되도록 작고 간단한 최적화된 모듈을 선택하였다.

논문의 구성으로, II 장에서는 안테나의 설계 사양을 설명하였고, 도파관 안테나의 기본적인 파라미터 특성을 시뮬레이션 하여 설계 주파수에 맞는 도파관 안테나를 설계 및 제작하였다. 다음으로 III 장에서는 본 연구의 레이더 시스템이 바이스테틱 레이더를 사용하고 있어 설계된 도파관 안테나간 격리도 특성을 E-면 배열과 H-면 배열에 대해서 시뮬레이션 하였다. 그리고 IV 장에서는 격리도가 좋

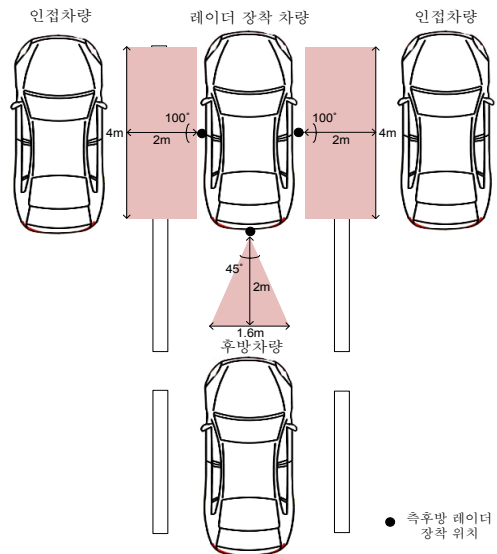
은 H-면 배열을 이용하여 설계된 도파관 안테나를 레이더 모듈에 장착하였을 경우 모듈형상에 따른 격리도 특성에 대해 설명하였다.

II. 도파관 안테나 설계

1. 차량 측후방 레이더용 안테나 설계 목표

본 연구의 차량용 측후방 레이더 안테나 설계 중심 주파수는 UWB high 대역의 9.5 GHz 이며, -10 dB 대역폭은 600 MHz (6.4 %)이다. 그리고 바이스테틱 레이더 시스템을 사용하기 때문에 송수신 안테나가 분리되어 있어 높은 격리도 특성을 요구한다. 따라서 충분한 SNR(Signal to Noise Ratio) 확보를 위해 송수신 안테나 간 요구 격리도는 45 dB 이상으로 설정하였다.

<그림 1>에는 레이더 안테나의 빔폭 결정을 위한 차량의 크기 및 차량 간 간격을 나타내었다. 여기에서 차량의 크기를 보통 중형 세단 (1.6 × 4 m²) 의 크기로 가정하였으며, 이때 최대 레이더의 탐지 거리를 2 m로 상정하면 요구되는 측방의 안테나 빔



<그림 1> 안테나 빔폭 결정을 위한 차량 간격과 크기
(Fig. 1) Vehicle gap and size for determining beamwidth of a radar antenna

폭은 100°, 후방의 빙폭은 45°가 된다. 따라서 레이더 안테나의 요구 빙폭을 이 두 빙폭의 중간 정도인 60° ~ 70°로 결정하였다. 또한 안테나의 이득을 5 dBi 이상으로 결정하였다. 안테나가 장착될 레이더 모듈의 크기는 150 × 100 × 20 mm³ 이다. 레이더 안테나로 사용될 안테나는 대역폭이 넓고 구조가 간단한 프로브 급전 구형 도파관 안테나를 선택하였다. <표 1>에는 레이더 안테나의 설계 목표 설정 사양을 정리하였다.

<표 1> 안테나 설계 목표 사양
<Table 1> Design specifications of the radar antenna

Items	Specifications
Center frequency [GHz]	9.5
-10 dB bandwidth [MHz]	600 (6.4 %)
HPBW [°]	60 ~ 70
Gain [dBi]	>5
Isolation between TX and RX antenna [dB]	>45
Radar module size [mm ³]	150 × 100 × 20

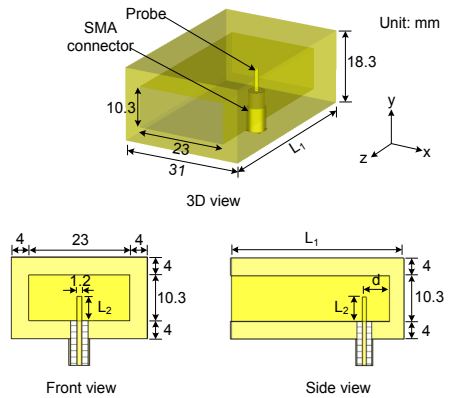
2. 구형 도파관 안테나의 파라미터 특성 및 제작된 안테나

본 절에서는 레이더 안테나로 사용될 구형 도파관 안테나의 파라미터 변화에 따른 임피던스 매칭 특성을 시뮬레이션 하였으며, 레이더의 송신과 수신 안테나를 위해 동일한 구형 도파관 안테나 2개를 제작하였다.

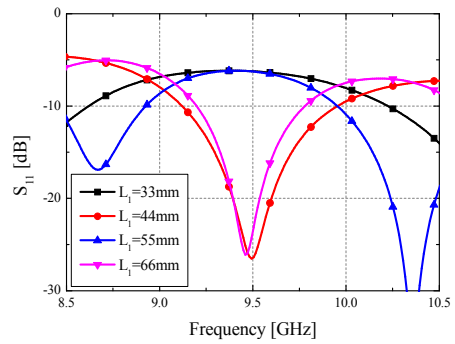
1) 구형 도파관 안테나의 파라미터 특성

<그림 2>에는 구형 도파관 안테나의 구조 및 파라미터를 나타내었다. 구형 도파관 안테나는 동축 프로브로 급전이 되며 X 대역 표준 도파관인 WR-90 (도파관 내부 크기: 23 × 10.3 mm²)을 이용하였고 도파관의 한쪽이 개방된 구조를 가지고 있다. 도파관의 두께는 안테나의 견고성 및 레이더 모듈에 장착시 스크류 나사를 이용할 수 있도록 4 mm의 두께로 설정하였다.

도파관 안테나의 임피던스 매칭은 주로 도파관

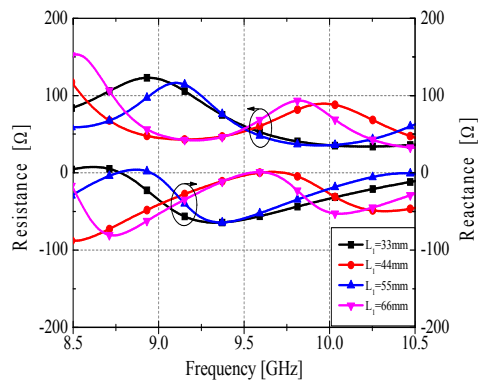


<그림 2> 구형 도파관 안테나의 구조 및 파라미터
<Fig. 2> Structures and parameters of the rectangular waveguide antenna



(a) S₁₁

(a) S₁₁

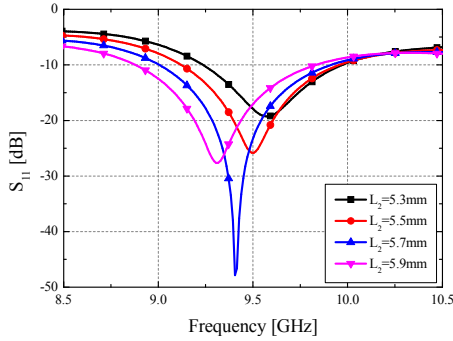


(b) 입력 임피던스

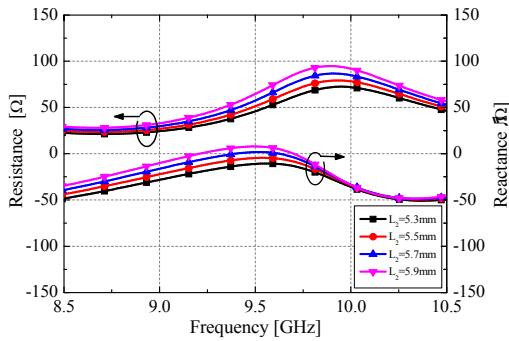
(b) Input impedance

<그림 3> L₁ 변화에 따른 도파관 안테나의 S₁₁과 입력 임피던스 특성

<Fig. 3> Characteristics of S₁₁ and input impedance by varying L₁



(a) S_{11}
(a) S_{11}

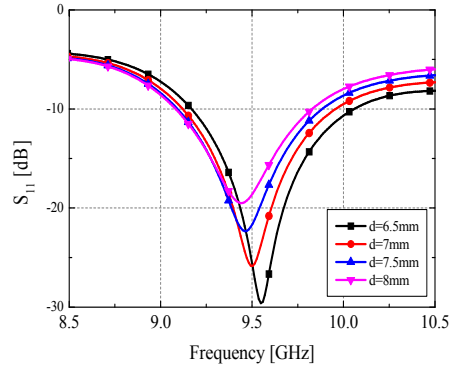


(b) 입력 임피던스
(b) Input impedance

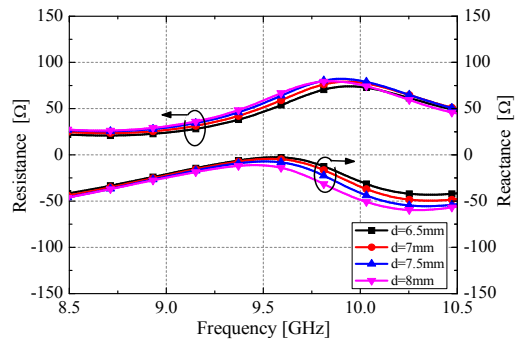
<그림 4> L_2 변화에 따른 도파관 안테나의 S_{11} 과 입력 임피던스 특성
<Fig.4> Characteristics of S_{11} and input impedance by varying L_2

의 길이 L_1 , 동축 프로브의 길이 L_2 , 그리고 프로브와 도파관 내벽의 거리 d 로 결정된다. 따라서 세가지 파라미터 변화에 대해서 시뮬레이션하여 그 특성을 확인하였다.

<그림 3>에는 도파관 안테나의 길이 L_1 변화에 따른 S_{11} 특성과 입력 임피던스 특성을 나타내었다. 길이 L_1 을 33 ~ 66 mm ($0.76 \sim 1.52\lambda_g$, 관내파장 λ_g : 43.4 mm)까지 11 mm ($0.25\lambda_g$) 간격으로 변화시켰다. 여기서 L_2 는 5.5 mm, d 는 7 mm로 고정시켰다. 이때 L_1 이 $0.25\lambda_g$ 주기로 특성이 변화하는 것을 알 수 있으며, $1\lambda_g$ 와 $1.52\lambda_g$ 에서 50 Ω에 임피던스 매칭이 되었다. 그 이유는 도파관 안테나를 전송선로로 가정하면 급전부 쪽 끝단을 단락된 전송선로로 볼 수 있으며, L_1 이 $1\lambda_g$ 와 $1.5\lambda_g$ 일 때 급전점은 단락으



(a) S_{11}
(a) S_{11}



(b) 입력 임피던스
(b) Input impedance

<그림 5> d 변화에 따른 도파관 안테나의 S_{11} 과 입력 임피던스 특성
<Fig. 5> Characteristics of S_{11} and input impedance by varying d

로부터 거리 d 만큼 offset되어 있어 50 Ω 임피던스 매칭이 가능하기 때문이다. 그리고 급전 프로브의 길이에 따라서도 임피던스가 변화하여 본 논문에서는 안테나의 길이를 작게 할 수 있는 길이인 $1\lambda_g$ (44 mm)로 안테나의 최적 길이를 설정하였다.

다음으로 <그림 4>에는 급전 프로브 길이 L_2 변화에 따른 S_{11} 특성과 임피던스 특성을 나타내었다. 급전 프로브 길이는 5.3 ~ 5.9 mm, 2 mm 간격으로 변화시켰으며, 여기서 $L_1=44$ mm, $d=7$ mm로 고정시켰다.

<그림 4 (a)>에 나타내었듯이 급전 프로브의 길이 L_2 가 증가함에 따라 공진 주파수가 하향 이동하는 것을 볼 수 있다. 이것은 도파관 내부에서 급전 프로브가 모노폴 안테나와 유사한 특성을 갖기 때

문에 급전 프로브 길이가 늘어날수록 공진 주파수가 하향되는 것이다. 또한 <그림 4 (b)>의 입력 임피던스도 프로브의 길이가 증가할수록 모노폴 안테나 특성과 같이 저항 및 인덕턴스 성분이 증가되는 것을 확인할 수 있다.

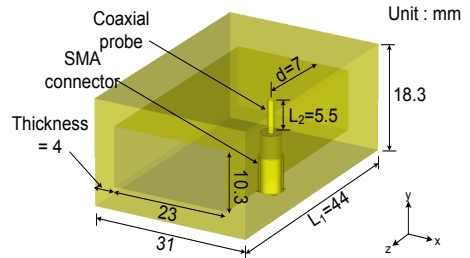
<그림 5>에 급전 프로브와 도파관 내벽 사이의 거리 d 변화에 따른 S_{11} 특성과 입력 임피던스 특성을 나타내었다. $L_1=44$ mm, $L_2=5.5$ mm로 고정시키고, 급전 프로브와 도파관 내벽 사이의 거리 d 를 6.5 mm에서 8 mm 까지 0.5 mm 간격으로 변화시켰다.

그 결과 급전 프로브와 도파관 내벽 사이의 거리 d 가 멀어질수록 <그림 5 (a)>에 나타내었듯이 공진주파수가 하향 이동하며 임피던스 매칭 특성이 안 좋아지는 경향을 볼 수 있다. 그 이유는 급전 프로브가 도파관 단락벽에서 멀어지면서 관내파장 분포상 50 Ω에 적합한 급전 위치가 정해지므로 d 가 커질수록 이 위치가 낮은 주파수 파장에 위치되기 때문이다. 이러한 특성은 <그림 5 (b)>에서 확인할 수 있다.

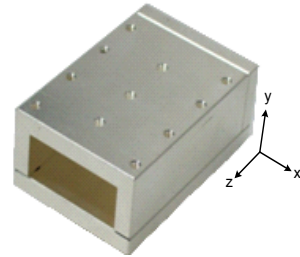
2) 제작된 직사각형 도파관 안테나

앞 절의 도파관 파라미터 시뮬레이션 결과를 이용하여 설계 주파수 9.5 GHz로 도파관 안테나를 설계 제작하였다.

<그림 6>에는 설계 및 제작된 구형 도파관 안테나의 구조와 치수를 나타내었다. 9.5 GHz에서 설계된 도파관 안테나의 파라미터는 $L_1=44$ mm, $L_2=5.5$ mm, $d=7$ mm로 결정되었다. 본 연구의 차량용 레이더 시스템에서는 송신용 안테나와 수신용 안테나로 나누어 사용되기 때문에 도파관 안테나 2개를 설계 및 제작하였다. <그림 7>에는 제작된 도파관 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 S_{11} 을 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션과 측정 결과는 잘 일치하였으며 시뮬레이션된 S_{11} 은 설계 주파수 9.5 GHz에서 -26.4 dB이고, -10 dB 대역폭은 834.2 MHz (8.78 %)이다. 측정된 안테나의 S_{11} 은 9.5 GHz에서 송신 안테나와 수신 안테나 각각 -24.07 dB, -27.54 dB로 나타났고 -10 dB 대역폭은 1000 MHz (10.52 %), 1090 MHz (11.47 %)로 측정되었다. 측정 결과 설계 목표 대역



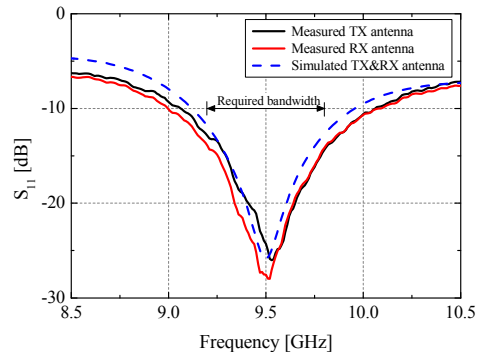
(a) 안테나 치수
(a) Antenna dimensions



(b) 제작된 안테나
(b) Fabricated antenna

<그림 6> 9.5 GHz로 설계된 도파관 안테나의 구조 및 치수

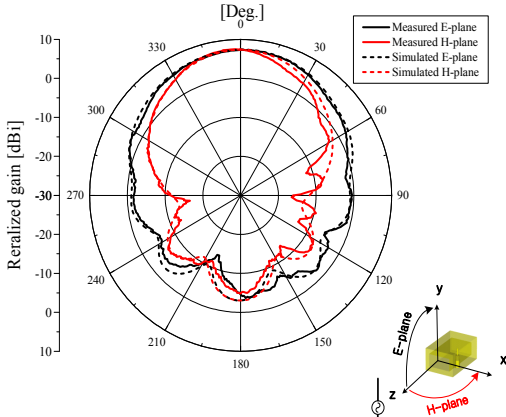
<Fig. 6> Structure and dimensions of the designed waveguide antenna at 9.5 GHz



<그림 7> 제작된 구형 도파관 안테나의 S_{11}
<Fig. 7> S_{11} of the fabricated waveguide antenna

폭을 만족시키는 것으로 나타났다.

<그림 8>에 설계된 도파관 안테나의 측정된 방사패턴을 시뮬레이션과 비교하였다. 측정된 안테나의 방사패턴은 송신 안테나의 방사패턴으로 수신 안테나와 동일한 안테나이므로 측정된 송신 안테나의 방사패턴만 시뮬레이션과 비교하여 나타내었다.



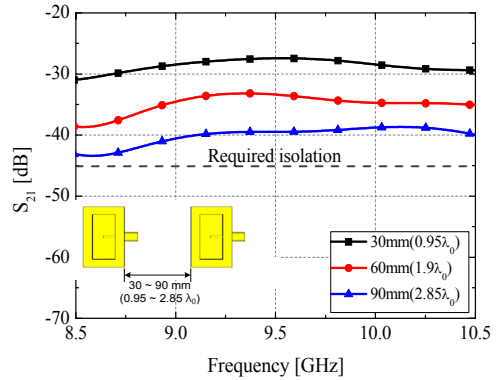
〈그림 8〉 시뮬레이션과 측정된 구형 도파관 안테나의 방사패턴
 〈Fig. 8〉 Simulated and measured radiation patterns of the waveguide antenna

이론적으로 계산된 안테나의 지향성과 시뮬레이션된 이득, 그리고 측정된 이득은 각각 7.7 dBi, 7.2 dBi, 7.4 dBi으로 서로 유사한 값을 나타내었다. 시뮬레이션 E-면과 H-면의 빔폭은 각각 92.6°, 62.9°의 특성을 보였고, 제작된 송신 안테나는 E-면은 80°, H-면은 50°로 측정되었다. H-면 빔폭이 목표보다 낮지만 본 연구에서는 레이더 시스템 모듈에 장착시도 고려했기 때문에 제작된 구형 도파관 안테나를 이용하였다. E-면의 빔폭에 비해 H-면의 빔폭이 좁은 것은 구형 도파관 안테나의 기본모드인 TE₁₀ 모드로 동작하여 H-면의 개구 길이가 크기 때문이다.

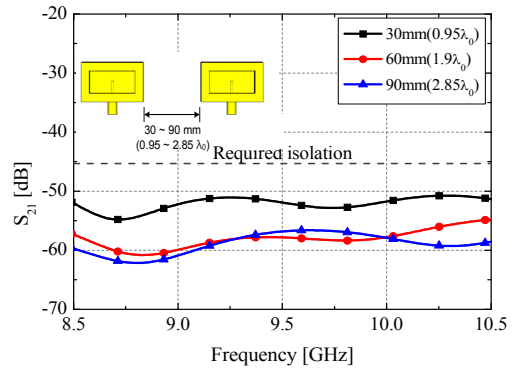
III. 도파관 안테나의 격리도 특성

본 연구에서 레이더는 바이스테틱 레이더를 사용하기 때문에 송수신 안테나가 분리되어 있어 송수신 안테나 간 격리도 특성이 중요한 설계 파라미터이다. 따라서 본 장에서는 송수신 도파관 안테나의 E-면 배열 및 H-면 배열에 따른 격리도 특성을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

<그림 9>에는 시뮬레이션된 E-면 및 H-면 격리도 (S_{21}) 특성을 나타내었다. E-면 격리도는 도파관 안테나의 전계 방향을 수평으로 두 안테나를 수평 배열한 경우이고, H-면 격리도는 전계의 방향을 수직



(a) E-면 격리도
 (a) Isolation of E-plane



(b) H-면 격리도
 (b) Isolation of H-plane

〈그림 9〉 E-면과 H-면의 격리도 특성
 〈Fig. 9〉 Characteristics of isolation for E-plane and H-plane

으로 두 안테나를 수평 배열한 구조이다. 두 격리도 특성 모두 30 ~ 90 mm (0.95 ~ 2.85λ₀, λ₀ : 자유공간 파장)까지 30 mm (0.95λ₀)간격으로 변화시켰다.

먼저 <그림 9 (a)>의 E-면 격리도 특성은 두 안테나간의 거리가 멀어질수록 커지는 것을 볼 수 있다. 하지만 두 안테나 간의 거리가 90 mm (2.85λ₀) 되어도 목표 격리도인 -45 dB까지 작아지지 않는 것으로 나타났다.

반면, <그림 9 (b)>의 H-면 격리도 특성은 두 안테나의 거리 30 mm (0.95λ₀) 이상에서 격리도가 -45 dB 이하를 만족하였으며, 거리가 멀어질수록 격리도 특성이 좋아지는 특성을 보였다. 이는 도파관 안

테나의 개구에서 도파관의 기본 모드인 TE_{10} 모드가 형성되기 때문에 E-면 방향의 전계 분포가 일정하고 H-면 방향의 전계 분포가 cosine 형태의 분포를 가지고 있기 때문이다. 또한, 60 mm ($1.9\lambda_0$)와 90 mm ($2.85\lambda_0$)의 격리도 변화가 거의 없는 이유는 60 mm ($1.9\lambda_0$)가 격리도의 포화점이기 때문이다. 이와 같은 시뮬레이션 결과를 이용하여 본 연구에서는 도파관 안테나를 H-면으로 배열하여 레이더 모듈에 배치시켰다.

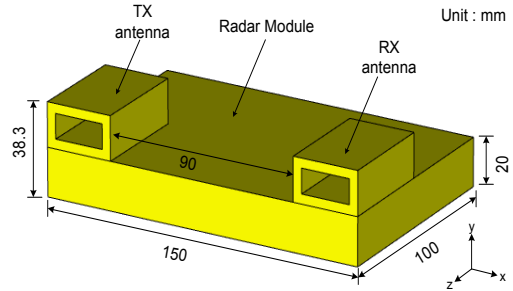
IV. 레이더 모듈에 장착된 도파관 안테나

본 장에서는 앞서 설계된 도파관 안테나를 격리도가 좋은 H-면으로 배열하였다. 그리고 직육면체 형태의 레이더 모듈에 장착된 경우, 플레이트가 도파관 안테나 사이에 부착된 경우, 그리고 T-형 모듈에 장착되었을 경우에 대해 각각 안테나의 특성을 연구하였다.

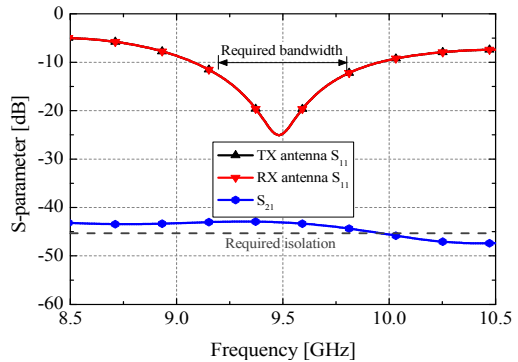
1. 직육면체 모듈에 장착된 도파관 안테나

<그림 10 (a)>에 직육면체 모듈에 장착된 구형 도파관 안테나를 나타내었다. 직육면체 레이더 모듈에는 레이더 회로들이 내장되며, 모듈의 크기는 $150 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$ 이다. 모듈 위에 장착 되었을 경우 시뮬레이션된 송신 안테나와 수신 안테나의 S_{11} 및 격리도 특성을 <그림 10 (b)>에 나타내었다. 송수신 안테나의 S_{11} 은 9.5 GHz에서 -24.6 dB이고, -10 dB 대역폭은 870 MHz (9.15 %)로 목표했던 대역폭을 만족하였으며 모듈에 장착하기 전과 비교해 볼 때 대역폭이 다소 감소하였으나 요구 대역폭을 수용하였다.

하지만 격리도 특성은 설계 주파수 9.5 GHz에서 -43.08 dB로 상승하여 요구 격리도를 만족시키지 못했다. 그 이유는 모듈상면 표면으로 방사되는 전류가 유기되기 때문이다. 따라서 격리도를 향상시키기 위해 도파관 안테나 사이에 플레이트를 추가하였다.



(a) 구조
(a) Structure



(b) S-parameter
(b) S-parameter

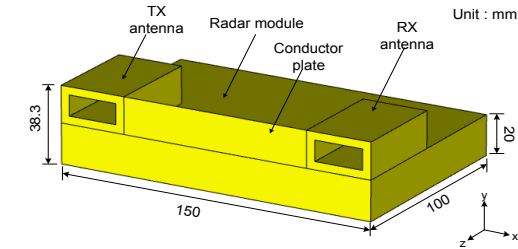
<그림 10> 직육면체 모듈에 장착된 구형 도파관 안테나의 구조 및 특성

<Fig. 10> Structure and characteristics of the waveguide antenna mounted on the parallelepiped rectangular module

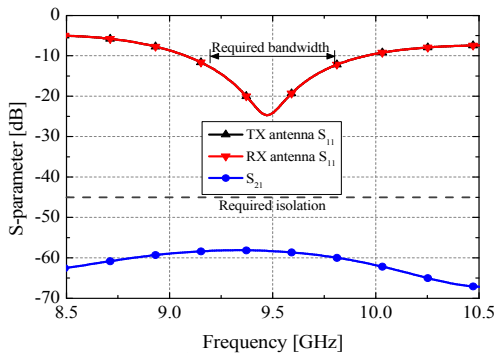
2. 플레이트 부착 직육면체 모듈에 장착된 도파관 안테나

<그림 11>에는 레이더 모듈에 장착된 도파관 안테나의 격리도를 향상시키기 위해 송수신 안테나 사이에 도체 플레이트를 추가한 구조를 나타내었다. 레이더 모듈의 크기는 앞의 모듈과 같으며 $90 \times 18.3 \text{ mm}^2$ 의 도체 플레이트를 추가하였다. 그 이유는 레이더 모듈상면으로 유기되는 전류를 차단하기 위해서이다. 이러한 구조의 레이더 모듈과 도파관 안테나를 시뮬레이션 하여 그 결과를 <그림 11 (a)>에 나타내었다.

송수신 안테나의 S_{11} 은 9.5 GHz에서 -24.15 dB,



(a) 구조
(a) Structure



(b) S-parameter
(b) S-parameter

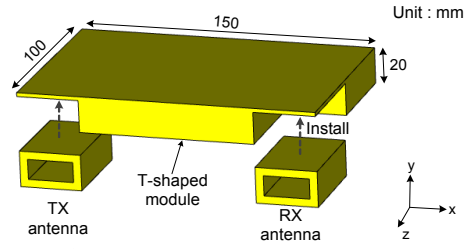
〈그림 11〉 플레이트 부착된 직육면체 모듈에 장착된 도파관 안테나의 구조 및 특성
(Fig. 11) Structure and characteristics of the waveguide antenna with a plate on the rectangular parallelepiped module

-10 dB 대역폭은 880 MHz (9.26 %)로 나타났고, 격리도 (S_{21})는 -58.34 dB로 목표했던 -45 dB이하를 만족시켰다.

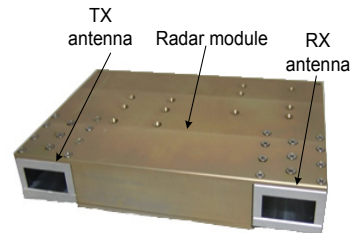
도체 플레이트를 송수신 안테나 사이에 추가하면 송수신 안테나의 S_{11} 및 대역폭에는 변화가 없었으며 격리도가 향상되었다. 그 이유는 플레이트가 E-면 패턴의 수평면 회절성분에 의해 유기되는 모듈 상면 반사 전류를 차단하고 방사되는 필드를 플레이트 반대편으로 반사시키기 때문이다.

하지만 이러한 구조는 차량용 레이더의 높이를 증가시키는 단점이 있다. 따라서 상기 결과들로부터 레이더 모듈의 크기를 줄이고, E-면 패턴의 수평면 회절성분에 의한 결합 영향을 줄이고자 T-형 레이더 모듈 구조를 고안하여 도파관 안테나를 장착하였다.

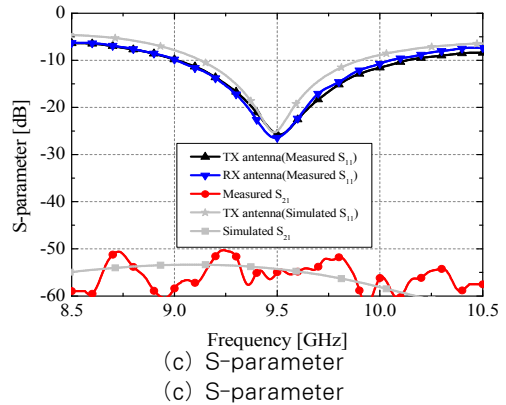
3. T-형 모듈에 장착된 도파관 안테나



(a) T-형 모듈에 장착된 도파관 안테나
(a) Waveguide antenna on the T-shaped module



(b) 제작된 T-형 모듈에 장착된 도파관 안테나
(b) Fabricated waveguide antenna on the T-shaped module



(c) S-parameter
(c) S-parameter

〈그림 12〉 T-형 모듈에 장착된 도파관 안테나의 구조 및 특성
(Fig. 12) Structure and characteristics of the waveguide antenna mounted on the T-shaped module

차량용 레이더 모듈의 높이를 줄이면서 격리도를 향상시킬 수 있도록 본 절에서는 T-형 레이더 모듈 구조를 고안하여 도파관 안테나를 장착하였다.

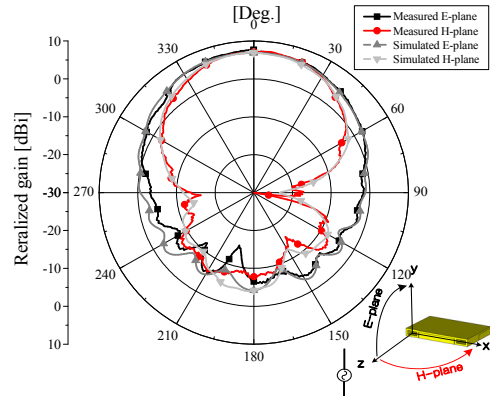
〈그림 12 (a), (b)〉에 나타낸바와 같이 T-형 레이더 모듈 구조와 제작된 안테나를 모듈의 양 끝에

내장하였다. 이렇게 설계함으로써 레이더 모듈의 높이를 줄일 수 있으며, 전 절에서 기술된 바와 같이 안테나 사이에 도체가 존재하여 격리도를 향상시킬 수 있었다. 여기서 모듈의 크기는 <그림 11 (a)>의 모듈의 크기와 같이 $150 \times 100 \times 20 \text{ mm}^3$ 로 제작되었다.

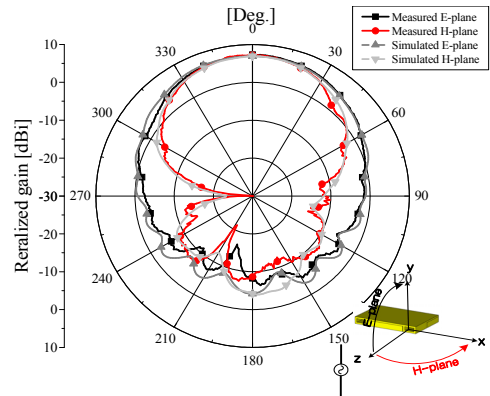
<그림 12 (c)>에는 이렇게 제작된 안테나의 S_{11} 및 격리도 특성을 시뮬레이션과 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션과 측정은 잘 일치하였으며 시뮬레이션된 안테나의 S_{11} 은 송수신 안테나 모두 9.5 GHz 에서 -25 dB, -10 dB 대역폭은 778 MHz (8.19 %)이다. 측정된 도파관 안테나의 S_{11} 은 송신 안테나의 경우 9.5 GHz에서 제작된 송신용 안테나의 S_{11} 은 -24.27 dB, -10dB 대역폭은 1000 MHz (10.52 %)로 측정되었다. 그리고 제작된 수신용 안테나의 S_{11} 은 -27.54 dB, -10 dB 대역폭은 1090 MHz (11.47 %)로 측정되어 두 개의 안테나 모두 요구 -10 dB 대역폭을 만족시키는 것을 확인하였다. 격리도 (S_{21}) 특성은 직사각형 모듈에서 도파관 안테나의 크기만큼 잘라낸 부분에 안테나를 장착하였으므로 두 안테나 간 격리도를 향상시킬 수 있었으며 요구되는 대역폭 내에서 모두 -50 dB 이하로, 목표했던 -45 dB 이하의 값을 만족시켰다. 격리도 측정 시 실제 환경을 고려하여 자유공간에서 측정을 하였고, 격리도가 매우 낮은 레벨값을 가지기 때문에 측정 결과에 굴곡이 나타났다.

T-형 모듈에 장착된 안테나의 방사패턴을 <그림 13>에 시뮬레이션과 측정을 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션과 측정은 잘 일치하였으며 측정된 송신 및 수신 안테나의 이득은 각각 7.65 dBi, 7.26 dBi로 측정되었다. 그리고 안테나의 빔폭은 송신의 경우 E-면 80.5°, H-면 64°로 측정되었고 수신 안테나의 측정된 E-면 82°, H-면 65°로 측정되어 요구 이득 및 빔폭을 만족시켰다.

한편, 송신 안테나의 H-면 90°에서 null이 형성된 것을 확인하였고, 수신 안테나의 H-면 270°에 null이 형성된 것을 확인할 수 있었다. 이는 T-형 모듈 양단에 두 도파관 안테나를 장착시킴으로써 송수신 안테나 사이에 반사판이 형성되기 때문이며 격리도



(a) 송신용 도파관 안테나의 방사패턴
(a) Radiation patterns of mounted TX antenna



(b) 수신용 도파관 안테나의 방사패턴
(b) Radiation patterns of mounted RX antenna

<그림 13> T-형 모듈에 장착된 도파관 안테나의 방사패턴
<Fig. 13> Radiation pattern of the waveguide antenna mounted on the T-shaped module

<표 2> 안테나의 제 특성
<Table 2> Characteristics of designed antennas

	Specifications	Simulation	Measurement(TX)
Center freq. [GHz]	9.5		
S_{11} [dB]	<-10	-25	-24.27
-10 dB bandwidth. [MHz]	600 (6.4 %)	778 (8.19 %)	1000 (10.52 %)
Gain [dBi]	>5	7	7.65
Isolation [dB]	>45	53	50
HPBW[°]	E-plane	-	80.5
	H-plane	60~70	64

또한 향상되었다.

<표 2>에는 설계, 제작된 안테나의 특성을 비교하여 나타내었다.

V. 결 론

본 논문에서는 UWB high 대역 (중심 주파수 : 9.5 GHz, 대역폭 : 600 MHz (6.4 %))의 차량 측후방 레이더 센서용 도파관 안테나를 연구하였다. 먼저 구형 도파관 안테나의 임피던스 매칭 파라미터를 시뮬레이션하여 그 특성을 확인하였고 9.5 GHz에서 구형 도파관 안테나 2 개를 설계 제작하였다. 그리고 E-면과 H-면 격리도 특성을 시뮬레이션 하여 격리도 특성이 좋은 H-면 배열을 채택하여 도파관 모듈에 장착하였다. 도파관 모듈은 격리도 향상과 레이더 모듈의 높이를 줄일 수 있는 구조로 T-형 모듈을 최종적으로 선택하였다. 송수신 안테나의 특성을 시뮬레이션 및 측정을 통하여 확인하였다. 그 결과 설계된 차량 측후방 레이더 안테나가 설정한 요구특성을 만족시켰다.

따라서 설계된 도파관 안테나는 구조가 간단하고 견고하여 차량용 측후방 레이더용 안테나로 유용할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

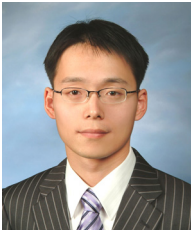
- [1] Thomas Binzer, Michael Klar and Volker Grob "Development of 77 GHz Radar Lens Antennas for Automotive Applications Based on Given Requirements," *INICA 2007 International Conference on Antennas*, pp.205-209, Munich, Germany, March 2007.
- [2] Xu Feng, Chen Xu and Wang Xin'an, "K-band micro-strip antenna array applied in anti-collision radar," *12th IEEE International Conference on Communication Technology*, Nanjing, China, pp.1240-1243, Nov. 2010.
- [3] 함형석, "차량용 Radar Antenna의 기술 동향," *2010 한국전자과학기술회 안테나 기술 워크샵*, 2010년 4월 22일.
- [4] 정보통신부, "24 GHz 물체감지센서용 주파수 분배방안 연구," *정보통신부 최종연구개발 결과보고서*, pp.3~12, 2007년 12월 31일.
- [5] 장지영, 남상욱 "차량용 레이더 기술의 최근 발전 동향," *대한전자공학회 전자공학회지*, 제37권, 제5호, pp.500~511, 2010년 5월.
- [6] 이재민, 류홍균, 우종명 "차량 측후방 레이더 센서용 도파관 안테나," *춘계 마이크로파 및 전파 전파 학술대회*, 제34권, 제1호, pp.169, 2011년 5월 27일.

저자소개



이 재 민 (Lee, Jae-Min)

2011년 3월 ~ 현 재 : 충남대학교 전파공학과 석사과정
2011년 2월 : 경기대학교 전자공학과(공학사)



류 홍 균 (Ryu, Hong-Kyun)

2008년 3월 ~ 현 재 : 충남대학교 전파공학과 박사과정
2007년 2월 : 충남대학교 전파공학과(공학석사)
2005년 2월 : 목원대학교 정보통신공학과(공학사)



우 중 명 (Woo, Jong-Myung)

1996년 9월 ~ 현 재 : 충남대학교 전파공학과 교수
1996년 3월 : 일본 니혼대학 전자공학과(공학박사)
1993년 3월 : 일본 니혼대학 전자공학과(공학석사)
1990년 2월 : 건국대학교 전자공학과(공학석사)
1985년 2월 : 건국대학교 전자공학과(공학사)



구 본 희 (Koo, Bon-Hee)

2000년 5월 ~ 현 재 : (주)에드모텍 이사
1990년 7월 ~ 2000년 5월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
1990년 8월 : 경북대학교 전파공학과(공학석사)