

표적감지 신관센서용 W-대역 카세그레인 안테나

A W-band Cassegrain Antenna of the Target Detecting Fuze Sensor

정명숙* 엄원영* 김완주*
 Jung, Myung-Suk Uhm, Won-Young Kim, Wan-Joo

ABSTRACT

This paper describes the design, fabrication, and measured results of a W-band Cassegrain antenna suitable for the target detecting fuze sensor. The Cassegrain antenna is designed using MATLAB and MWS of CST. We use the multi-mode horn antenna as a feeder. The measurement results are as follows: The gain is about 41dB; SLL is 17.7dB; 3dB beamwidth is about 1.51° in E-plane and 1.45° in H-plane. The magnitude of leakage signals is about 43.5mVpp when the fabricated antenna and the transceiver of the fuze sensor are combined. As a result, the designed W-band Cassegrain antenna could be quite applicable to the target detecting fuze sensor.

주요기술용어(주제어) : W-band(W-대역), Cassegrain Antenna(카세그레인 안테나)

1. 서론

지상에 존재하는 표적을 무력화시키기 위한 센서감응형(sensor-fuzed) 지능탄(smart munitions)이란 외부의 도움 없이 스스로 표적을 탐지/파괴할 수 있는 발사 후 망각(fire and forget) 특성을 가진 탄으로써 탄내에 표적탐지 센서와 표적 파괴장치가 같이 결합되어 있는 시스템이다. 이러한 지능탄은 그 크기가 매우 작기 때문에 협소한 공간에 표적탐지 센서를 구현하여야 하며 특히, 전파를 사용하여 표적을 탐지하는 경우 다양한 지면 클러터가 존재하므로 고이득의 안테나를 구현하는 기술이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 기존의 Ka-대역보다 적은 안테나 크기로

도 고이득을 구현할 수 있는 W-대역에서, 탄의 단면적을 최대한 이용하여 손실이 적고 지능탄의 운용에 적합한 회전대칭형 카세그레인 안테나를 제시한다. 제시된 카세그레인 안테나는 두 개의 반사경을 가지고 있으며, 급전혼이 주반사판의 중심에 존재하기 때문에 안테나 뒤쪽의 표적 파괴장치의 내부에 존재하는 송수신 장치로의 연결이 용이하고, 전면의 부반사판을 레이돔에 지지하여 좁으므로써 탄의 운행에도 적합한 구조를 가지게 된다. 본 논문은 먼저 W-대역 카세그레인 안테나의 설계 내용을 다루고 제작된 안테나의 측정 및 W-대역 지상표적탐지용 신관센서의 송수신장치와 연결에 대해 언급한다.

2. 안테나 설계

카세그레인 안테나의 구조는 그림 1과 같으며, 이

† 2006년 4월 19일 접수~2006년 6월 13일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : mungdol@add.re.kr

때 각 변수를 결정하는 수식은 (1)~(5)와 같고^[1~3], Matlab을 이용하여 설계 초기치를 추출하였다.

$$\phi_p = 2 \tan^{-1} \left(\frac{D_m}{4F} \right) \quad (1)$$

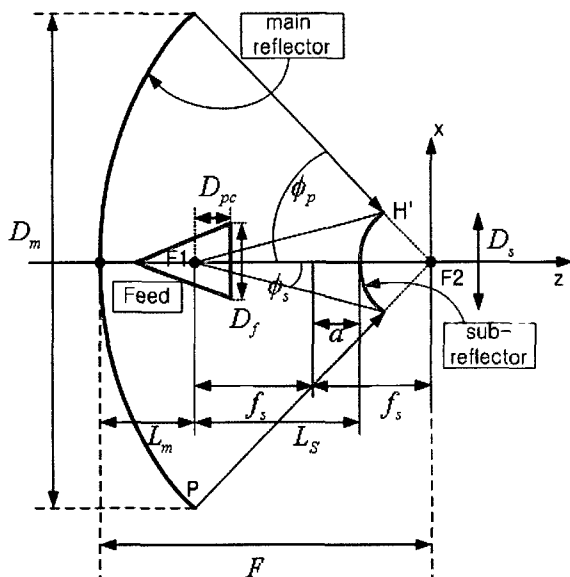
$$f_s = \frac{D_b \min}{4} \left(\frac{1}{\tan(\phi_s)} + \frac{1}{\tan(\phi_p)} \right) \quad (2)$$

$$L_m = F - 2f_s \quad (3)$$

$$D_s = \frac{FD_f}{2f_s} \quad (4)$$

$$L_s = \frac{2D_m f_s}{D_m + 4F \tan(\phi_s/2)} \quad (5)$$

여기서, ϕ_p 는 주반사판과 초점에 의해 결정되는 반치각, D_m 은 주반사판의 직경, F 는 주반사판의 초점 거리, $2f_s$ 는 주반사판의 초점과 급전혼의 위상중심까지의 거리, $D_b \min$ 은 부반사판과 급전혼의 개구부에 의해 결정되는 차폐영역의 직경, ϕ_s 는 부반사판과 급



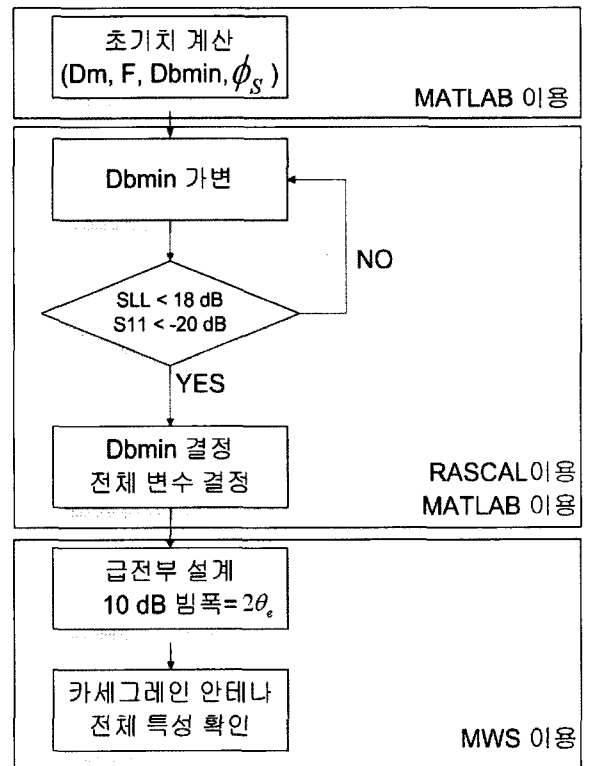
[그림 1] 카세그레인 안테나의 구조

전혼의 위상중심점에 의해 결정되는 반치각으로 이는 또한 급전혼의 10dB 반치빔폭과 동일하다. 여기서 기준 수치 10dB는 설계자에 의해 그 이상의 값으로도 정할 수 있다. L_m 은 주반사판의 중심점과 급전혼의 위상중심과의 거리, D_s 는 부반사판 직경, D_j 는 급전혼의 개구부 직경, L_s 는 부반사판의 중심점과 급전혼의 위상중심과의 거리를 의미한다.

$D_b \min$ 은 급전혼과 부반사판의 차폐효과를 고려한 식 (6)을 적용하여 계산하였다^[4]. 여기서, λ_0 는 운용주파수에서의 파장을 의미한다.

$$D_b \min \approx \sqrt{2F\lambda_0} \quad (6)$$

계산된 초기치를 바탕으로 설계과정을 순서대로 나타내면 그림 2와 같고, 최종 결정된 설계변수는 표 1에 제시하였으며, 제시된 설계변수는 CST사의 MWS를 사용한 전산해석으로 결과를 확인하였다.



[그림 2] 카세그레인 안테나 설계 과정

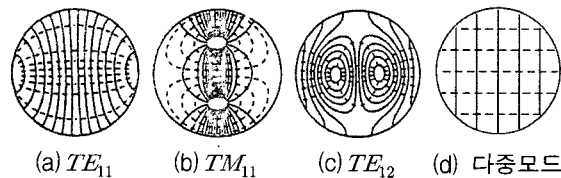
[표 1] 계산된 설계변수

설계변수	수치	설계변수	수치
$D_m(\lambda_0)$	45.440	$D_s(\lambda_0)$	8.836
$F(\lambda_0)$	15.416	$L_m + L_s(\lambda_0)$	11.907
$\phi_p(^{\circ})$	72.765	$\phi_s(^{\circ})$	16.000

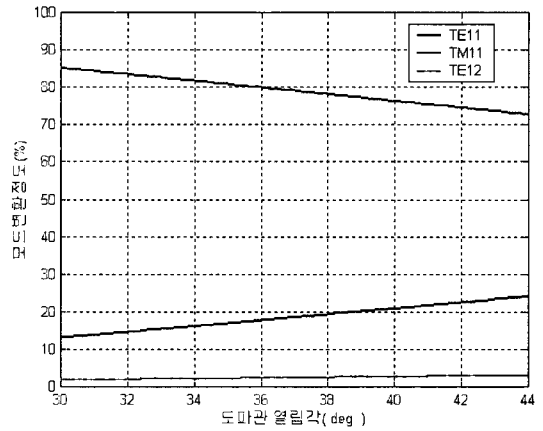
급전혼은 표 1에 제시된 설계변수에 따라 10dB 반치 빔폭이 16°이고, 회전대칭적인 특성을 가지며, 낮은 부엽레벨을 가져야 한다. 이러한 특성을 갖는 것은 반사경 안테나의 급전혼으로 많이 사용되는 다중모드 혼과 주름(Corrugated) 혼 등이 있다. 다중모드 혼은 도파관의 dominant 모드와 고차모드의 비를 적절히 조정하여 회전대칭인 방사패턴과 낮은 교차편파 특성 및 낮은 부엽준위 특성을 구현하는 혼 안테나를 말하며, 주름 혼은 혼의 내부에 주기적인 주름을 만들고 주름의 깊이와 주기를 조절하여 회전대칭인 방사패턴을 구현하는 안테나를 말한다. 본 논문에서는 제작이 용이한 다중모드 원형 혼을 급전혼으로 사용하였으며, 그림 3과 같이 3개의 모드를 사용하고 열림각에 의해 각 모드 비를 조정하는 형태로 구현하였다.

이때 다중모드혼의 열림각과 각 모드비의 관계는 그림 4와 같다. TE_{11} 과 TM_{11} 의 모드비가 약 84.3 : 15.6을 만족할 때 가장 회전대칭적인 빔을 얻을 수 있기 때문에, 그림 4를 바탕으로 열림각을 약 32°로 하였다^[6-8]. 이를 바탕으로 CST사의 MWS를 사용하여 10dB 반치 빔폭이 약 16°가 되도록 설계된 급전혼의 구조는 그림 5와 같다.

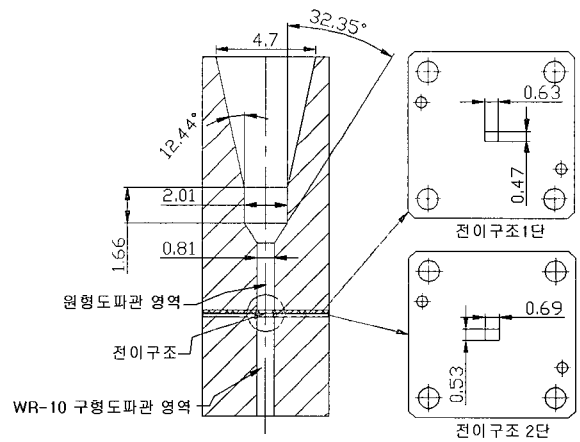
급전혼의 입력단은 동시에 카세그레인 안테나의 입력단도 되기 때문에 송수신 장치의 입/출력단과 동일 형태로 제작되어야 한다. 송수신 장치의 입/출력단이



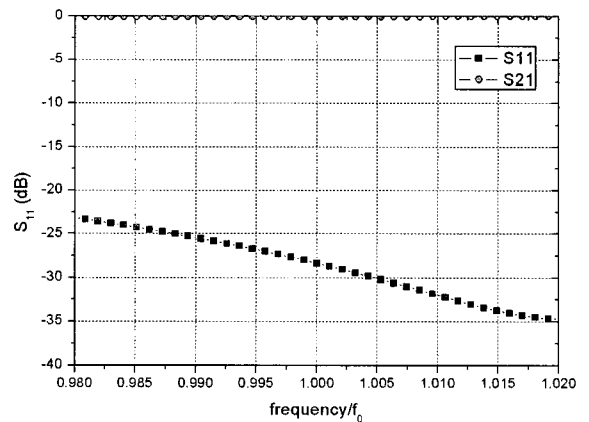
[그림 3] 다중 모드 원형 혼 안테나의 전계분포^[5]



[그림 4] 다중모드 급전혼의 열림각에 따른 모드변환



[그림 5] 설계된 다중모드 급전혼(단위 : λ_0)



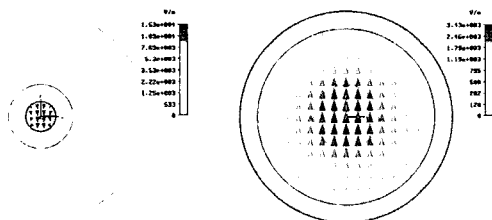
[그림 6] 전이구조의 시뮬레이션 특성

WR-10의 구형 도파관으로 되어 있으므로 원형 도파관으로 되어 있는 안테나의 입력단과 맞춰주기 위해 중간에 전이구조(transition)가 필요하다. 이를 위해 그림 5와 같이 2단 Chebyshev 방식의 임피던스 정합기 형태로 Ansoft사의 HFSS를 사용하여 각 단의 등가 특성임피던스 값을 기준으로 설계하였으며, 각 단은 슬릿 형태로 개별 제작하여 급전흔과 WR-10사이에 삽입하여 체결하는 방식으로 제작하여 가공 및 조립이 용이하도록 하였다. 설계된 전이구조의 설계 구조는 그림 5의 오른쪽과 같고, 전산해석된 특성은 그림 6과 같다.

설계된 전이구조를 적용한 다중모드 급전흔의 개구면에서의 전계분포는 그림 7과 같으며, 이로부터 개구면에서의 다중모드가 잘 여기되었음을 알 수 있다. 반사계수 특성은 그림 8과 같이 운용주파수에서 -24dB의 값을 가지며, 방사패턴 특성은 그림 9와 같이 10dB 빔폭이 약 32°로 회전대칭적인 특성을 가짐을 알 수 있다.

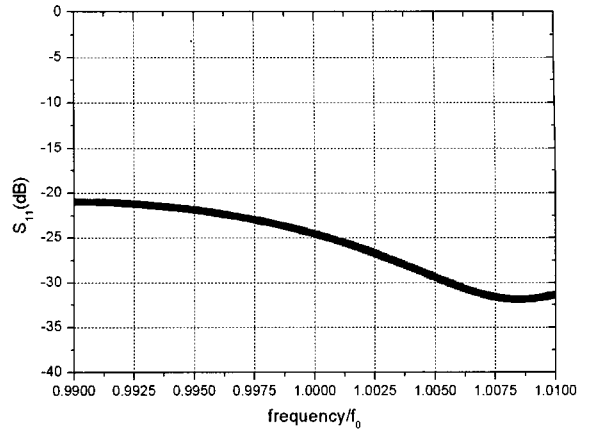
다중모드 급전흔을 적용한 카세그레인 안테나의 방사계수는 CST사의 MWS로 전산해석한 결과 그림 10과 같이 운용주파수에서 -25.73dB로 나타난다.

방사패턴 특성은 CST사의 MWS로 전산해석하기에는 파장에 대한 구조가 너무 커서 정확한 해석이 불가능하여 Matlab을 이용하여 간단한 ray tracing 방법으로 계산하였다^[4]. 이때 방사패턴에서 차폐영역에 의한 효과를 고려하기 위해 개구부에 의한 등가 전류분포를 주반사판만 있을 경우의 등가 전류분포에서 부 반사판 및 급전흔에 의한 차폐영역의 등가 전류분포를 단순히 빼어주는 형태로 계산하였다. 그림 11은 Matlab의 계산 결과이며 이득은 42.08dB, 빔폭은 1.4°, SLL은 17.55dB로 나타난다.

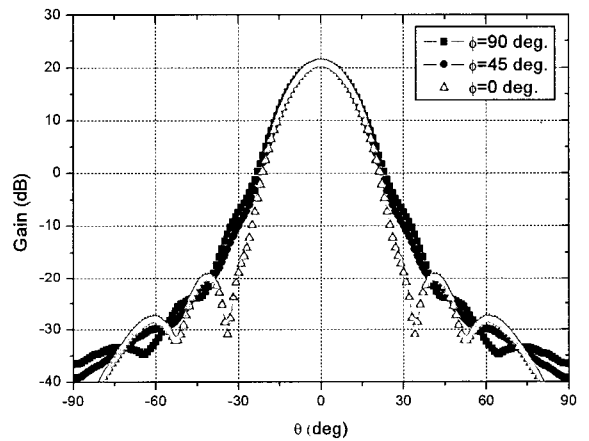


(a) TE_{11} 모드 (b) 다중 모드

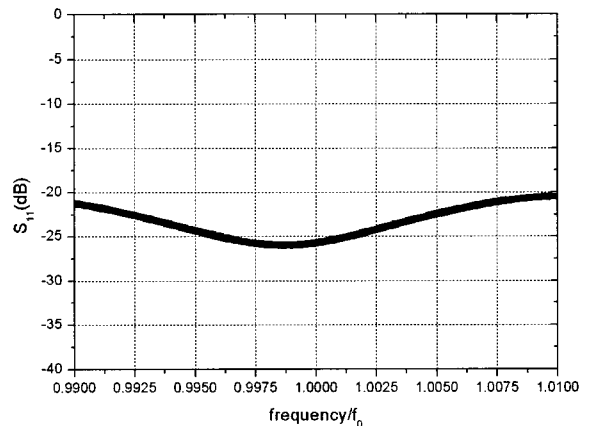
[그림 7] 각 개구면에서의 전계 분포



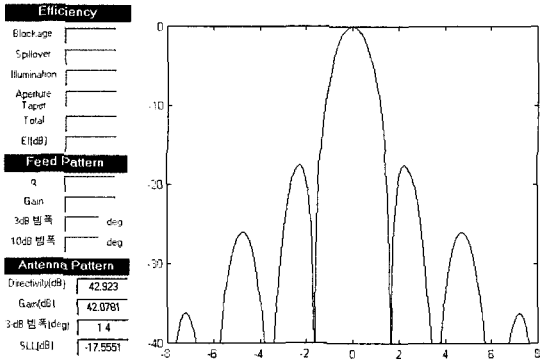
[그림 8] 다중모드 급전흔의 반사계수 특성



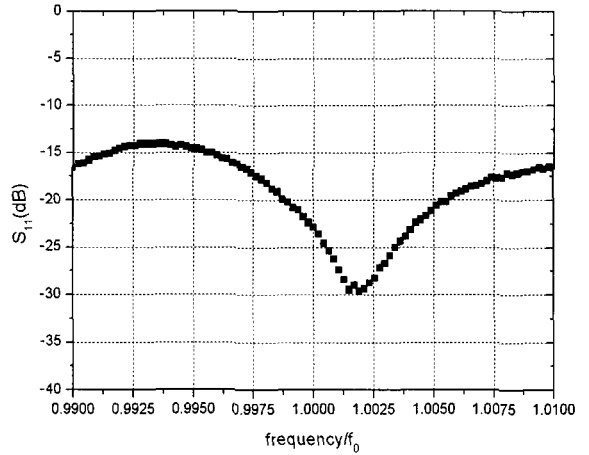
[그림 9] 다중모드 급전흔의 방사패턴 특성



[그림 10] 카세그레인 안테나의 반사계수 특성



[그림 11] 카세그레인 방사패턴 특성



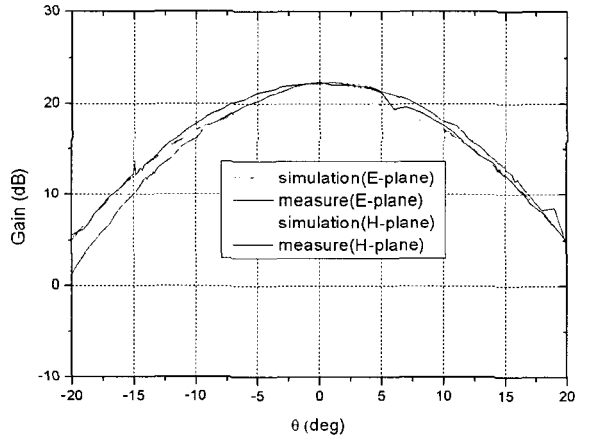
[그림 13] 반사계수 측정 결과

3. 카세그레인 안테나 제작 및 측정 결과

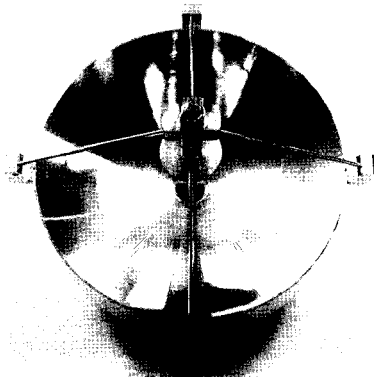
그림 12는 가공 공차 $6.3e-3\lambda_0$ 의 CNC 가공으로 제작된 W-대역의 카세그레인 안테나이다. 제작시 부 반사판을 지지하기 위해 4개의 지지대를 사용하였으며, 부-반사판의 고정부에는 나사구조를 사용하여 필요시 위치조정이 가능하도록 하였다.

반사계수 측정은 회로망분석기(Network Analyzer)를 사용하여 측정하였으며, 외부반사에 의한 영향을 줄이기 위해 안테나 전면에 흡수체를 두고 실험하였다. 측정결과는 그림 13과 같으며, 운용주파수에서 약 -22.93dB의 값을 가진다.

본 논문에서 설계/제작한 안테나는 운용 대역이 일반적으로 잘 사용되지 않는 W-대역이기 때문에 방



[그림 14] 다중모드 급전혼의 방사패턴 특성

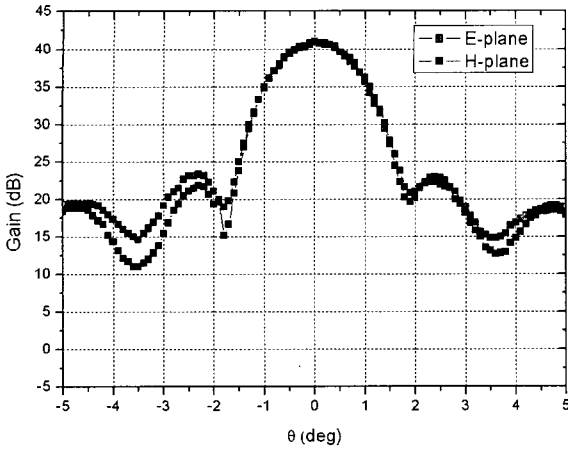


[그림 12] 제작된 안테나

사패턴을 측정할 수 있는 시설이 국내에 존재하지 않는다. 따라서 방사패턴을 측정하기 위해 간이 측정 장치를 자체 제작하였으며, 이를 사용하여 야외에서 원장전계(Far-field) 측정법으로 측정하였다.

급전혼은 방사패턴만을 측정하여 10dB 빔폭을 확인하였다. 그 결과는 그림 14이며, 10dB 빔폭은 H-plane 방향에서 약 28.8°, E-plane 방향에서 약 29.5°로 사양인 32°보다 좁게 나타났다. 이는 주반사판이 부착된 상태에서 부반사판과 지지대 만을 제거하고 방사패턴을 측정하였기 때문에 주반사판의 영향으로 빔폭이 좀 더 좁게 측정된 것으로 생각된다.

카세그레인 안테나의 방사패턴은 그림 15와 같이



[그림 15] 카세그레인 안테나의 방사패턴

[표 2] 전산해석과 측정 결과 비교

		전산해석	측정
이득(dB)		42.08	40.28
빔폭 (°)	E-plane	1.4	1.49
	H-plane	1.4	1.51
SLL (dB)	E-plane	17.55	17.83
	H-plane	17.55	17.16
반사계수(dB)@ f_0		-25.73	-22.926

측정되었으며, 이득은 40.998dB이고 SLL은 E-plane 방향에서는 18.66dB, H-plane 방향에서는 17.67dB이다. 또한 3dB 빔폭은 E-plane 방향에서 1.515°, H-plane 방향에서 1.44°이다. 측정결과를 전산해석 결과와 비교하여 나타내면 표 2와 같으며, 측정결과가 전산해석 결과와 유사함을 확인할 수 있다.

4. 송수신장치와의 결합 시험 및 결과

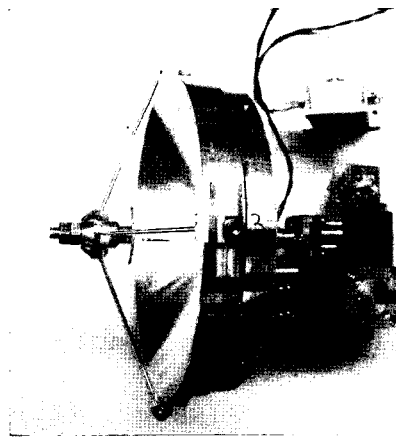
본 논문에서 적용하고자 하는 표적탐지용 신관센서의 경우 단일 안테나를 사용하는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 레이더방식을 사용하기 때문에 사용하는 안테나의 유한한 반사계수 및 Circulator의 유한한 격리도에 의해서 송신 전력의

일부가 수신부로 누설되어 레이더의 주파수 혼합기(Mixer) 출력부에 원치 않는 누설신호를 발생시킨다^[9]. 본 절에서는 제작된 안테나에 의한 수신단 시간지연특성을 확인하고 이로 인해 발생하는 송신 누설 신호의 특성을 관찰하였다.

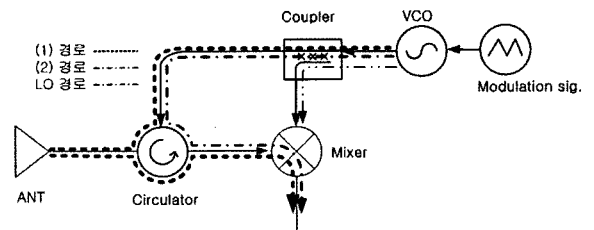
안테나를 장착한 지상표적탐지용 신관센서의 송수신장치의 사진과 그 블록도는 그림 16과 같다.

그림 16에서 송신누설경로는 coupler와 안테나, circulator에 의해서 시간지연특성이 결정되며, 이는 회로망분석기를 사용하여 S_{21} 특성의 시간 영역에서 측정함으로써 송신누설경로의 시간지연 특성을 얻을 수 있다. 측정된 시간지연 특성은 그림 17과 같다.

이때 1번 마커에 의한 것은 circulator의 유한 격리도에 의한 것이며, 2번은 안테나와 circulator의 접합부에서의 반사에 의한 것이고, 4번은 안테나의 내부에서의 급전흔 개구부에서의 반사에 의한 것이다. 각각의 시간지연 특성과 LO경로의 시간지연의 차이에

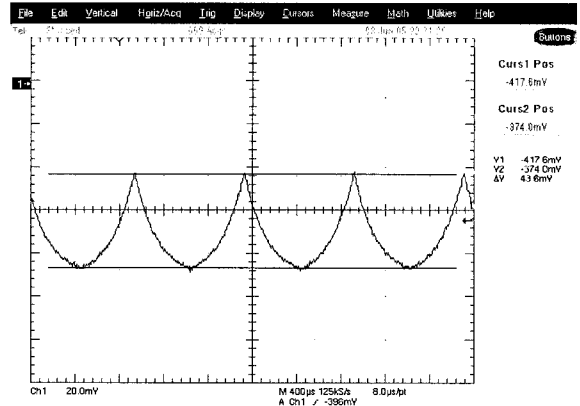


(a) 안테나 및 송수신 장치



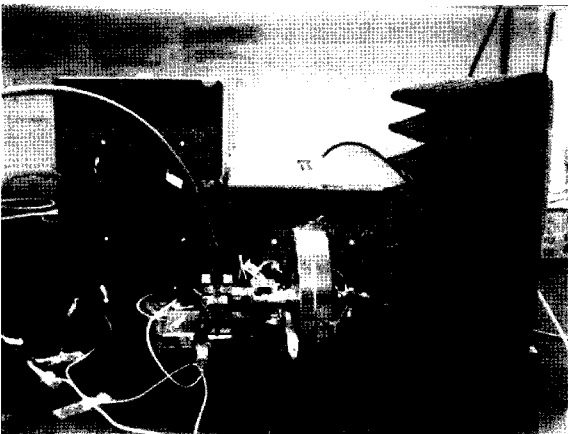
(b) 블록도

[그림 16] 송수신장치에 결합된 안테나 및 블록도



[그림 19] 송신 누설 신호

[그림 17] 안테나에 의한 수신단의 시간지연 특성



[그림 18] 안테나에 의한 송신누설신호 측정 장면

의해 송신누설신호가 결정되며, 이때 다중경로들의 영향으로 그 모양 및 크기가 결정된다. 송신누설 신호의 크기를 줄이기 위해서는 이러한 각각의 시간 지연 중 송신누설 잡음에 가장 영향이 큰 신호를 기준으로 LO경로의 시간 지연값을 결정하여 주면 된다. 이러한 방법으로 LO 경로를 결정하여 결정된 송수신 장치에 의해 나타나는 송신누설신호는 그림 16의 안테나 및 송수신 장치를 구동하고 표적에 의한 신호를 배제하기 위해 안테나 전면에 흡수체를 사용하여 순수한 송신누설 신호를 측정하였다. 측정 장면은 그림 18과 같고, 그 결과는 그림 19와 같다.

그 결과 송신누설 신호는 약 43.5mVpp로 표적탐지용 신관센서에 적용하는데 아주 양호함을 확인하였다.

5. 결론

본 논문에서는 표적탐지용 신관센서의 안테나로 적합한 W-대역 카세그레인 안테나의 설계 및 제작, 그리고 측정결과를 제시하고, 이를 송수신장치와 연결하였을 경우 안테나 반사에 의한 송신누설신호에 대한 결과를 나타내었다.

설계 제작된 카세그레인 안테나는 이득이 약 41dB 이고 SLL은 E-plane 방향에서는 18.66dB, H-plane 방향에서는 17.7dB이며, 3dB 빔폭은 E-plane 방향에서 1.51°, H-plane 방향에서 1.45°이다. 또한, 송수신 장치와 결합 시 발생하는 송신누설 신호는 약 43.5 mVpp로 매우 양호한 성능을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] Christophe Granet, "Designing Axially Symmetric Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of Prescribed Geometric Parameters", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-40, No. 2, pp.76~82, April 1998.
- [2] Christophe Granet, "Designing Axially Symmetric Cassegrain or Gregorian Dual-Reflector Antennas from Combinations of

- Prescribed Geometric Parameters, Part 2: Minimum Blockage Condition While Taking into Account the Phase-Center of the Feed”, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-40, No. 3, pp.82~85, June 1998.
- [3] 정명숙, 노진입, 윤성준, 김완주, 곽병석, 안병철, “W-대역 카세그레인 안테나 설계 및 제작”, *유도무기학술대회 논문집*. 12권, pp.616~620, 2003.
- [4] Peter W. Hannan, “Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope”, *IRE Trans. Antennas Propagat.*, AP-9, pp.140~153, March 1961.
- [5] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, 1938.
- [6] P. D. Potter, “A New Horn Antenna with Suppressed Sidelobes and Equal Beamwidths”, *Microwave J.*, Vol. 6, pp.71~78, June 1963.
- [7] Richard C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, 3rd Edition, McGraw Hill, 1993.
- [8] 허민호, 이병무, 박경순, 윤영중, “초고출력 마이크로파 다중 모드 원형 혼 안테나에 관한 연구”, *유도무기학술대회 논문집*. 12권, pp.152~155, 2003.
- [9] 박정동, “지면 클러터 환경에서 금속표적감지를 위한 W-대역 FMCW 레이더의 설계 및 제작”, *군사과학기술학회 논문지*, 제7권, 제3호, pp.93~100, Sep. 2004.