

# X-대역 4혼 삼중 모드 모노펄스 급전기 설계

## A Design on the Four-Horn Triple-Mode Type Monopulse Feeder at X-Band

김 찬 흥 · 김 승 각

Chan-Hong Kim · Seung-Gak Kim

### 요 약

모노펄스 급전기는 공간 급전 방식을 사용하는 다기능 레이더 또는 추적 레이더의 복사 패턴 특성에 가장 큰 영향을 미친다. 세 개의 모노펄스 채널에 대해 최적 개구면 분포를 가지는 삼중 모드 방식 모노펄스 급전기의 설계 및 측정 결과에 관해 본 논문에서 기술하였다. 측정 결과 설계 및 제작된 급전기는 최적 개구면 분포 특성을 만족할 뿐만 아니라 X-대역의 10 % 대역폭에서 매우 낮은 반사 손실 특성을 보였다. 급전기의 이러한 특성은 적용될 안테나가 저부엽 특성과 높은 모노펄스 기울기 특성을 보유함을 의미한다.

### Abstract

A monopulse feeder gives the most important impact upon the radiation pattern characteristics of a multi-function radar or a tracking radar which uses the space feed. It is described that the triple-mode type monopulse feeder which possesses the optimum aperture illumination for three monopulse channels is designed and measured in this paper. The measured results show that the designed feeder has not only the characteristics of the optimum aperture illumination in each channel and also very low return loss over the 10 % of fractional bandwidth at X-band. This means that the feeder provides the antenna system with low sidelobe level and high monopulse slope characteristics.

Key words : Radar, Monopulse, Feeder, Multi-Mode

### I. 서 론

일반적으로 분류되는 안테나의 급전 방식은 폐쇄 급전(constrained feed) 방식과 공간 급전(space feed) 방식으로 구분할 수 있다. 폐쇄 급전 방식은 전송 선로로 이루어진 급전 회로망으로 구성되며, 분기되는 방식에 따라 병렬과 직렬 급전으로 구별된다. 공간 급전 방식은 일상에서 흔히 접할 수 있는 급전 혼과 파라볼릭 곡면의 반사경과 같이 급전 혼에서 복사된 전자파 에너지를 자유 공간을 통해 안테나에 공급해주는 방식이다. 공간 급전 방식은 초점 거리(focal

length) 확보를 위해 공간을 많이 차지하고 유실 손실(spill-over loss)과 같은 부가적인 손실이 있는 단점이 있으나 폐쇄 급전 방식에 비해 설계 및 구현이 용이하며, 급전 회로망을 구성하기 위한 전송 선로가 자유공간이므로 전송 선로 손실을 줄일 수 있다. 따라서 주파수 대역이 높을수록 손실 측면에서 공간 급전 방식이 폐쇄 급전 방식에 비해 유리하다. 공간 급전 방식이 적용된 대표적인 다기능 레이더에는 미국의 페트리어트용 레이더(MPQ-53), 프랑스의 SAMP/T용 레이더(Arabel), 그리고 러시아의 S300-PMU1의 교전 레이더(Flap Lid) 등이 있다<sup>[1]</sup>.

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20100318-024

· 교신저자 : 김찬흥(e-mail : chkim@add.re.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 5월 18일

표적의 정확한 2차원(방위각/고각) 정보를 추출하여 표적을 정밀 추적하기 위해 필요한 추적 레이더용 모노펄스 방식의 안테나는 합(sum,  $\Sigma$ ), 방위각차(azimuth difference,  $\Delta_{az}$ ), 고각 차(elevation difference,  $\Delta_{el}$ )의 세 채널이 필요하며, 안테나 성능을 최대화하기 위해 각 채널의 복사 패턴은 낮은 부엽 준위(sidelobe level)를 가져야 하고, 모노펄스 기울기(monopulse slope)는 클수록 좋다. 모노펄스 안테나가 전술한 성능을 가지기 위해서 급전기가 지녀야 할 최적 개구면 조사 특성은 P. W. Hannan의 논문에 잘 기술되어 있으며, 급전기 차 채널의 개구면 크기가 합 채널의 개구면 크기의 약 2배가 되어야 가능하다<sup>[2]</sup>. 이러한 특성을 만족하는 급전기의 구성은 4혼 삼중 모드 방식(four-horn triple mode type), 5혼 방식(five-horn type), 그리고 단일 혼 다중 모드 방식(single horn multi-mode type) 등이 있다<sup>[3],[4]</sup>.

단일 혼 다중 모드 방식은 E-면과 H-면 모두 다중 모드를 사용하여 각 채널에 필요한 급전 혼의 최적 개구면 분포를 얻을 수 있으나 설계가 복잡하고 주파수 대역폭이 약 7% 이하인 정도로 알려져 있다<sup>[4]</sup>. 5혼 방식은 단일 모드로 동작하는 5개의 혼을 사용하여 각 채널의 필요에 따라 선택적으로 사용함으로써 최적 개구면 분포를 구현하는 방식으로 혼의 설계는 단순하나, 모노펄스 급전 회로망(비교기)의 설계가 복잡하다. 4혼 삼중 모드 방식은 H-면 방향으로는 세 개의 모드 조합에 의해 합/차 채널의 최적 개구면 분포를 구현하고, E-면 방향으로는 단일 모드 분포를 가지는 4개의 혼을 합/차 채널에 따라 선택적으로 사용하는 방식이며, 단일 혼 다중 모드 방식과 5혼 방식의 중간적인 형태를 가진다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 X-대역에서 동작하고 10% 이상의 주파수 대역폭을 가지는 다기능 레이더용 수동 위상 배열 안테나에 적용할 수 있는 공간 급전 방식의 4혼 삼중 모드 모노펄스 급전기의 설계 결과에 대해 기술하였다. 2장에서 삼중 모드 혼과 모노펄스 비교기의 기본 설계 및 상용 소프트웨어(CST Microwave Studio)를 이용한 계산 결과에 대해 기술하였다. 많은 부품으로 구성된 급전기의 자세한 설계 결과는 본 논문에 모두 기술하기에는 방대한 분량이므로 생략하였다. 3장에서 결합된 모노펄스 급전기의 시뮬레이션 결과와 제작한 급전기의 측정 결과를 비교

분석하였다.

## II. 설 계

4혼 삼중 모드 모노펄스 급전기의 전체적인 구성도는 그림 1과 같다. 도파관 밴드류(waveguide bends)를 제외하고 E-면 folded magic-tee 3개, H-면 folded magic-tee 4개, 전력분배기 1개로 모노펄스 급전 회로망이 구성되고, 4개의 동일한 다중 모드 혼으로 혼 클러스터 안테나가 구성된다. 그림 1에는 표시되어 있지 않으나 전력분배기는 1:1의 분배 비율을 가지는 E-면 folded magic-tee의 합 채널을 사용하였으며, 전력 분배기에 연결되는 도파관은 전체 주파수 영역에서 각기 다른 경로 길이 및 불연속을 가지는 분기 경로(branch line path)의 위상 보정 도파관이 부가된다.

다중 모드 혼 안테나의 설계는 H-면 합/차 채널 개구면 분포와 2개로 이루어진 입력단의 정합 특성의 최적화를 목표로 이루어졌다.

그림 2에 설계할 다중 모드 혼 안테나의 채널별 동작 모드 및 혼의 개구면 분포를 나타내었다. 합 채널과 방위각 차 채널에서는 가운데 2개의 혼만을 사용하며, 합 채널에서는 TE<sub>10</sub>과 TE<sub>30</sub> 모드를 사용하여 원하는 개구면 분포를 얻고, 방위각 차 채널에서는

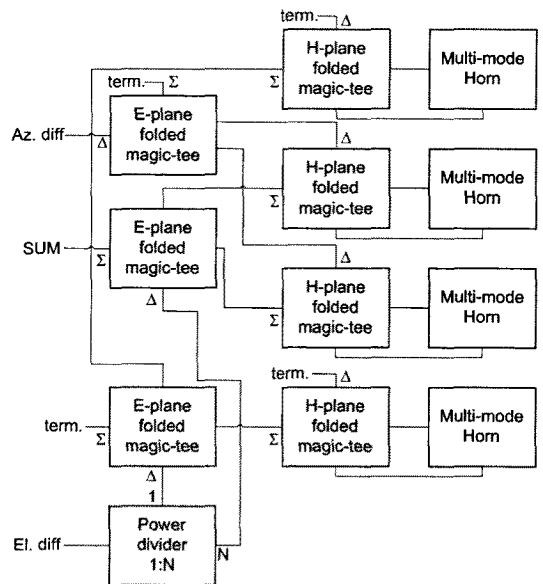


그림 1. 4혼 삼중 모드 모노펄스 급전기의 구성도  
Fig. 1. Block diagram of a 4-horn triple mode monopulse feeder.

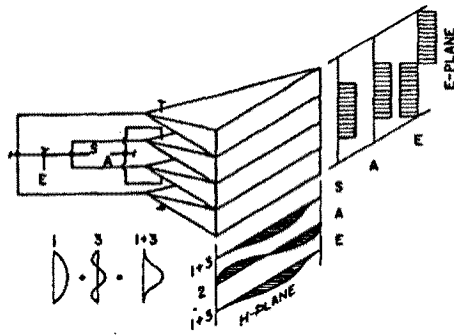


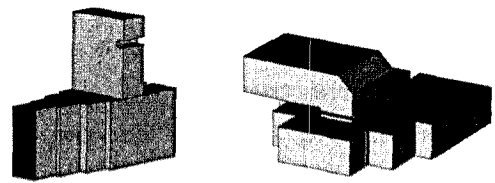
그림 2. 4혼 삼중 모드 모노펄스 급전기의 개구면 분포

Fig. 2. Aperture distribution of a 4-horn triple mode monopulse feeder.

TE<sub>20</sub> 모드를 사용한다. 고각 차 채널에서는 4개의 혼을 모두 사용하며, TE<sub>10</sub>과 TE<sub>30</sub> 모드를 사용한다. 합 채널과 고각 차 채널에서 두 개의 모드를 사용하는 이유는 급전기가 사용될 안테나의 최적 복사 패턴 특성을 위해 급전기의 H-면 개구면을 축소 사용하기 위해서이다. 상기 두 개의 모드를 조합할 경우, TE<sub>10</sub> 모드에 비해 혼 개구면에서 전자계 분포 크기가 줄어드는 효과가 있어 방위각 차 채널에서 TE<sub>20</sub> 모드가 사용되는 것에 비해 개구면을 작게 사용하게 된다.

모노펄스 비교기의 설계는 그림 3과 같은 주요 부품인 E/H-면 folded magic-tee 및 필요한 도파관 밴드류를 개별적으로 설계하고, 각각의 구성품들을 결합한 후 채널별로 필요한 위상을 정합하였다. 그림 3(a)의 E/H-면 folded magic-tee는 4개의 입출력단으로 구성되며, 합/차 채널을 제공하여 모노펄스 비교기의 성능을 구현하는 기본 소자로 사용된다.

설계는 합/차 출력단의 입력 정합 특성을 최적화하기 위한 임피던스 정합부 설계에 중점을 두고 수행하였으며, E-면 folded magic-tee의 반사계수 시뮬레이션 결과는 그림 4에 나타내었고, H-면 folded magic-tee의 시뮬레이션 결과는 그림 5에 보였다. E-면 folded magic-tee의 경우, 구조의 대칭성을 보유하고 있으므로 진폭 및 위상 전달 특성은 대칭적인 특성을 보이나, H-면 folded magic-tee의 경우 조립성을 고려하여 차 채널 입력단을 90도 구부려 놓은 비대칭성으로 인해 그림 5(b)와 같이 진폭 전달 특성이 정확히 -3 dB가 아니라 약 0.2 dB의 차이가 있다. 그



(a) E/H-면 폴디드 매직 티  
(a) E/H-plane folded magic-tee



(b) 위상 기울기 및 크기 보정용 도파관  
(b) Waveguides for dispersion compensation

그림 3. 모노펄스 급전 회로망의 주요 부품  
Fig. 3. Main components of a monopulse feeder network.

림 3(b)에서 위상 기울기 및 크기 보정용 도파관은 서로 다른 길이를 가지는 직사각형 도파관의 분산(dispersion) 특성을 보상하기 위해 사용되었으며, 도파관 H-면 조정에 의한 기울기 보상과 U-형 도파관을 이용한 길이 보정의 두 단계로 설계되었다. 최종 설계된 위상 기울기 보정 도파관과 동일한 길이를 가지는 직선 도파관의 계산된 위상 기울기 비교 결과를 그림 6에 나타내었으며, 10%의 주파수 대역폭에서 약 ±15°의 기울기를 보정할 수 있음을 알 수 있다. 최적화된 각각의 부품을 종합하여 세부 수정을

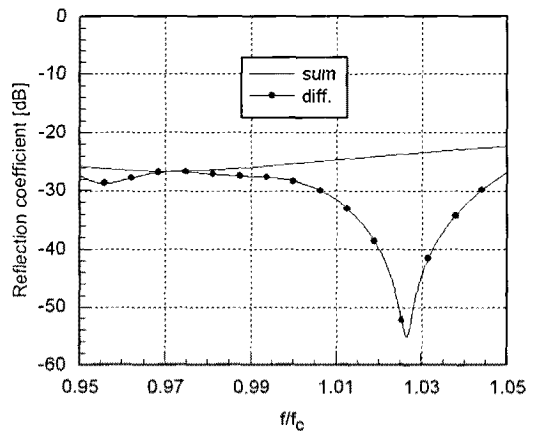
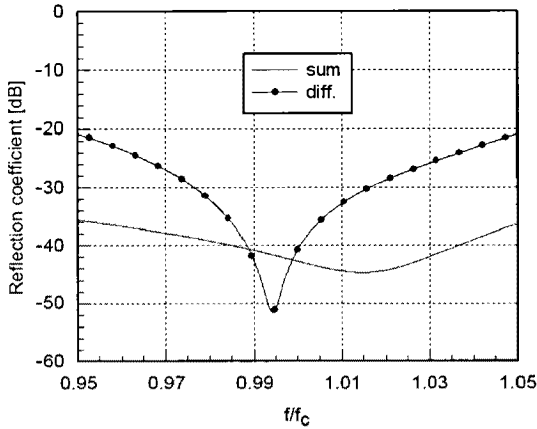
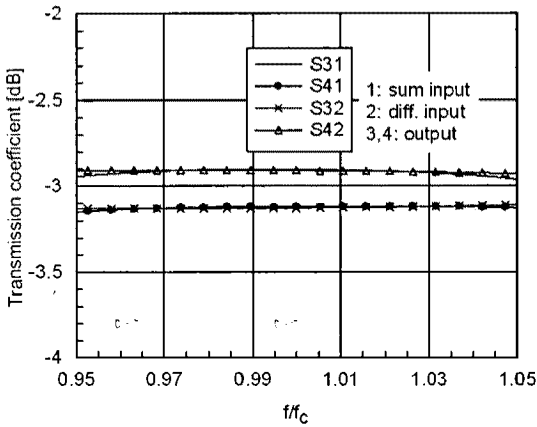


그림 4. E-면 folded magic-tee의 반사계수 계산 결과  
Fig. 4. Calculated reflection coefficient of E-plane folded magic-tee.



(a) 반사계수  
(a) Reflection coefficient



(b) 전달계수  
(b) Transmission coefficient

그림 5. H-면 folded magic-tee의 계산 결과  
Fig. 5. Calculation results of H-plane folded magic-tee.

거친 모노펄스 비교기의 최종 조립 설계 형상은 그림 7과 같고, 그림 8과 같은 입력단 정합 특성을 얻었다.

그림 8로부터 합 채널의 경우, 약 -23 dB 이하의 반사계수 특성을 10% 대역폭에서 얻을 수 있고, 차 채널의 경우 -20 dB 이하의 반사계수 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 매우 복잡한 도파관 경로 및 불연속면을 가진 급전기의 구조를 고려할 때 -20 dB 이하, 즉 정재파비 1.2 이하의 입력 정합 특성을 얻을 수 있다는 것은 모노펄스 비교기를 구성하는 각 부품 및 인터페이스 설계가 최적화되었다는 것을 의미한다.

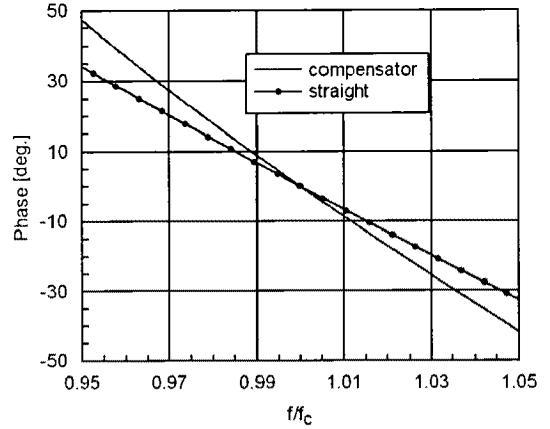


그림 6. 위상 기울기 보정용 도파관 계산 결과  
Fig. 6. Calculated phase of phase slope compensation waveguide.

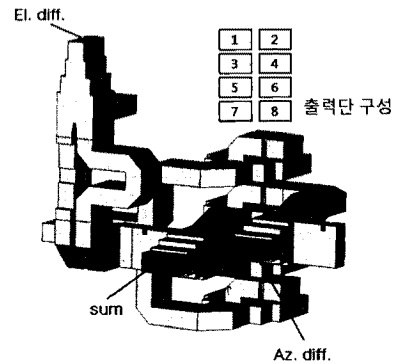


그림 7. 설계된 모노펄스 비교기 형상  
Fig. 7. Shape of the designed monopulse comparator.

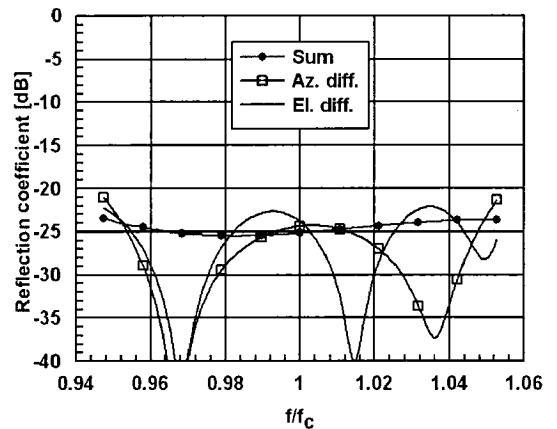


그림 8. 모노펄스 비교기의 입력 채널 반사계수  
Fig. 8. Input reflection coefficient of monopulse comparator.

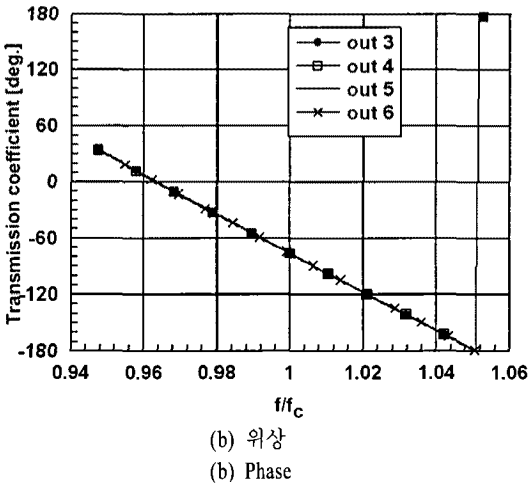
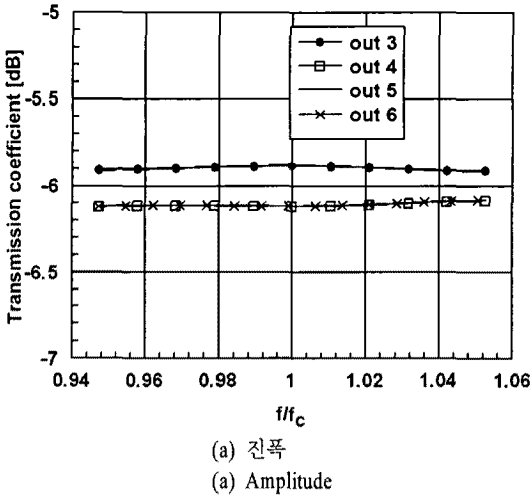


그림 9.  $\Sigma$  채널 출력 특성 계산 결과  
Fig. 9. Calculated output characteristics at  $\Sigma$  channel.

합 채널에 입력을 여기했을 경우, 4개의 H-면 folded magic-tee 중 가운데 위치한 2개의 folded magic-tee의 출력단인 4개의 출력단에 대한 전달 특성을 그림 9에 나타내었다. 진폭 특성의 경우, 그림 5의 H-면 folded magic-tee의 출력 특성에 따라 약 0.2 dB 정도의 불균형(balance mismatch)이 있고, 위상 출력 특성은 4개의 출력단이 거의 동위상임을 알 수 있다. 방위각 차 채널에 입력을 여기할 경우, 가운데 4개의 출력단 전달 특성을 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 진폭 특성은 그림 9의 합 채널 출력 전달 특성과 동일하며, 위상 특성의 경우 3, 5 출력단(좌측 상하 위치)과 4, 6 출력단(우측 상하 위치)이 180°의 위상차임을 알 수 있다.

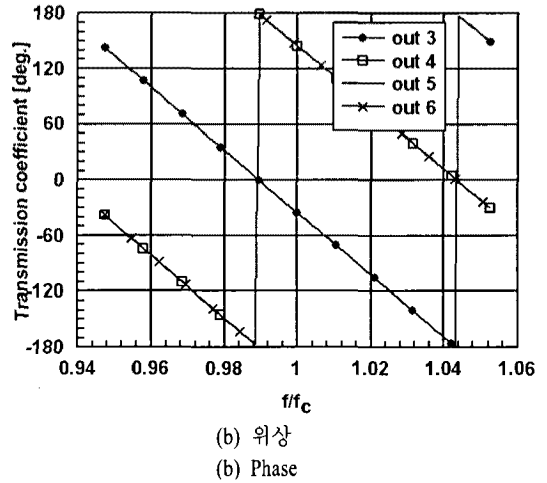
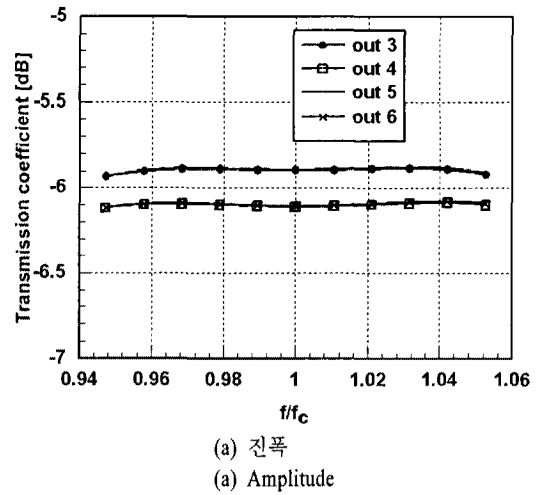
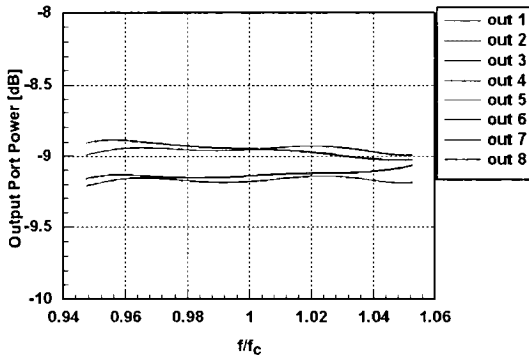


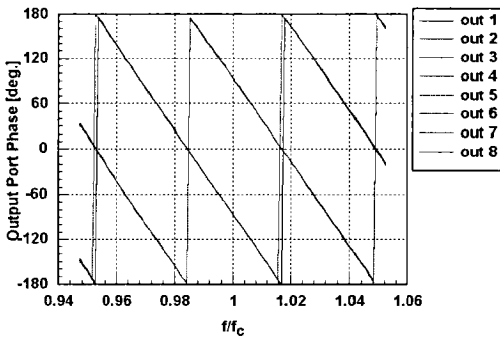
그림 10.  $\Delta_{ax}$  채널 출력 특성 계산 결과  
Fig. 10. Calculated output characteristics at  $\Delta_{ax}$  channel.

고각 차 채널에 입력을 여기할 경우 8개의 출력단 전달 특성을 그림 11에 나타내었다. 그림 11에서 진폭 특성은 8개 출력단이 주파수 대역 내에서 0.3 dB 이하의 균형 특성을 보이고 있으며, 위상의 경우 1, 2, 3, 4 출력단과 5, 6, 7, 8 출력단 사이에 180°의 위상 균형을 유지하고 있음을 알 수 있다. 고각 차 채널의 출력 특성은 그림 3(b)의 dispersion 기울기 및 크기 보정 도파관의 적용에 의해 우수한 진폭 및 위상 균형 특성이 가능하였으며, 위상의 경우 주파수 대역폭 내에서 2° 이하의 균형 특성을 나타내었다.

그림 8~11의 시뮬레이션 결과로부터 입력 정합 특성, 각 채널별 출력단의 진폭/위상 균형(balance)



(a) 진폭  
(a) Amplitude



(b) 위상  
(b) Phase

그림 11.  $\Delta_{el}$  채널 출력 특성 계산 결과  
Fig. 11. Calculated output characteristics at  $\Delta_{el}$  channel.

특성이 잘 맞추어져 있음을 알 수 있다. 혼 클러스터(horn cluster)를 구성하는 하나의 혼 안테나는 E-면 개구면이 작으므로 혼 개구면에서의 입력 정합 특성에 유의해서 설계해야 하고, H-면으로는 다중 모드에서 동작하므로 원하는 H-면 개구면 분포를 얻을 수 있도록 모드간 진폭/위상 정합 상태에 중점을 두어야 한다. 그림 12에 설계된 단일 혼의 단면 구조를 나타내었다. H-면 계단 불연속면(step discontinuity)에서 모드 정합법(mode matching technique)을 활용해 계산된 모드비를 이용해 모드간 진폭비를 계산 및 결정할 수 있으며, 그림 12에 표시된 모드 여기부의 치수를 결정할 수 있다. 선정된 모드 여기부의 H-면 너비의 비는 0.67이며, 이 때 입력단에서 동위상으로 여기할 경우 TE<sub>10</sub> 모드와 TE<sub>30</sub> 모드의 모드비는 1:0.3이며, 모드간 위상차는 약 5.1°이다. 모드간 위상차는 모드 여기부 출력단 길이와 혼

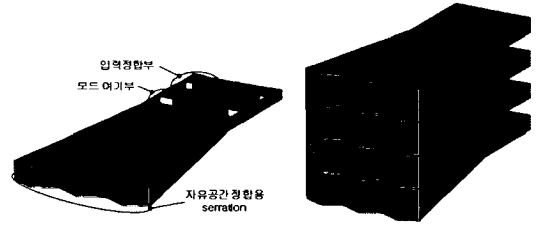


그림 12. 단일 혼의 단면 구조 및 4혼 클러스터  
Fig. 12. Cut view of a single horn and 4-horn cluster.

의 길이를 조절하여 정합한다. 입력단에서 180° 위상차로 여기할 경우, 모드 여기부의 출력은 TE<sub>20</sub> 모드만 전파한다. 혼 개구면의 크기는 주 안테나와 이루는 호각(subtended angle)을 고려하여 필요한 가장자리 테이퍼링(edge tapering)을 얻을 수 있도록 결정하며, 결정된 개구면 크기는  $3.26 \lambda_0$ 이다. 혼 개구면에서의 정합 특성 개선을 위해 혼 개구면에 톱니 모양 형태의 세레이션(serration)을 도입하여 특성을 개선하였으며, 설계 치수 최적화는 CST microwave studio를 사용하여 수행하였다. 단일 혼의 입력 정합 특성은 2개의 입력단이 존재함으로 각 입력단의 반사계수와 입력단 사이의 결합량을 동시에 고려해야 최종적인 정합 특성을 얻을 수 있으므로 단일 혼 안테나 설계시 두 가지 요소를 최소화해야 한다.

최적화된 단일 혼의 시뮬레이션 결과를 그림 13에 나타내었다. 그림 13(a)의 S<sub>11</sub>, S<sub>21</sub> 결과로부터 단일 혼의 반사계수는 -20 dB 이하의 특성을 얻을 수 있음을 유추할 수 있다.

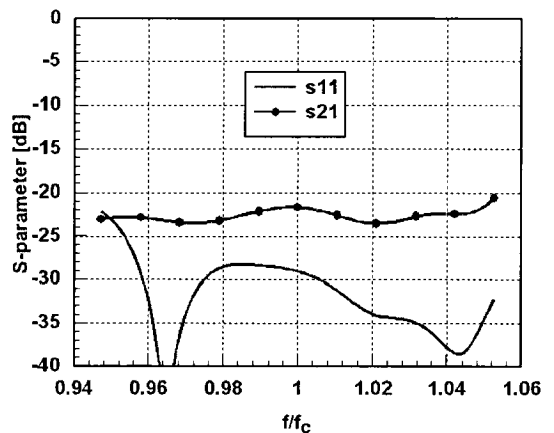
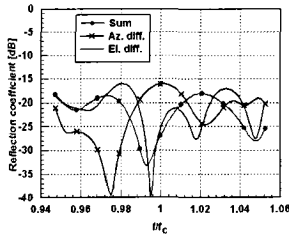


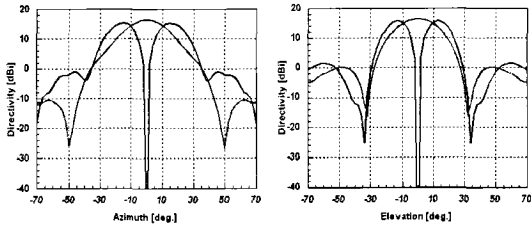
그림 13. 단일 혼의 산란계수 계산 결과  
Fig. 13. Calculated S-parameters of a single horn.

### III. 제작 및 측정

설계된 4혼 삼중 모드 모노펄스 급전기를 정밀 알루미늄 가공 및 딥 브레이징(dip brazing) 공정을 사용하여 제작하였다. 제작된 모노펄스 급전기를 HP 벡터 회로망 분석기를 사용하여 채널별 반사계수 및 채널간 격리도(isolation)를 측정하였으며, 측정 모습과 결과를 그림 15, 16에 나타내었다. 측정된 결과는 시뮬레이션 결과와 유사한 특성을 보였으며, 10% 대역폭에서 합 채널의 경우 -17 dB 이하, 차 채널의 경우 -15 dB 이하의 우수한 입력 정합 특성을 보였다. 그림 16에서 채널간 격리도 또한 -38 dB 이하의 우수한 특성을 보임을 알 수 있다.



(a) 반사계수  
(a) Reflection coefficient



(b) 복사 패턴  
(b) Radiation pattern at the center frequency

그림 14. 설계된 4혼의 시뮬레이션 결과  
Fig. 14. Simulation results of the designed 4-horn cluster.

모노펄스 비교기와 4혼 클러스터를 결합한 모노펄스 급전기의 시뮬레이션 결과를 그림 14에 보였다. 그림 14(a)로부터 합 채널에서는 -18 dB 이하의 반사계수 특성을 보였고, 차 채널에서는 -16 dB 이하의 우수한 입력 정합 특성을 나타내었다.

그림 14(b)의 복사 패턴 계산 결과로부터 차 채널 패턴의 이득이 합 채널에 비해 거의 차이가 없음을 볼 수 있다. 동일한 유효 개구면을 사용하는 안테나의 합, 차 채널 복사 패턴은 이론적으로 차 채널의 이득이 합 채널에 비해 약 3 dB 정도 낮아야 한다. 그림 14(b)와 같이 차 채널의 이득이 합 채널과 거의 차이가 없다는 것은 차 채널의 유효 개구 면적이 합 채널의 약 2배가 된다는 것을 의미한다. 이는 Hannan의 최적 개구면 분포 구현의 중요한 요소인 높은 모노펄스 기울기를 얻기 위해 필요한 급전기의 채널별 복사 패턴 특성이다.

본 논문에서 설계된 모노펄스 급전기가 사용될 안테나와 급전기가 이루는 호각(subtended angle)은 약  $\pm 30^\circ$ 이다. 따라서 그림 14(b)에서 호각 내의 복사 패턴이 안테나의 복사 패턴을 결정하는 유효 복사에너지에 해당한다.

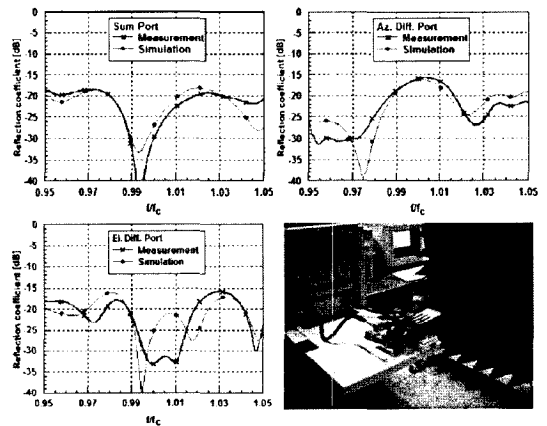


그림 15. 모노펄스 급전기의 반사계수 측정 결과  
Fig. 15. Measured reflection coefficients of the monopulse feeder.

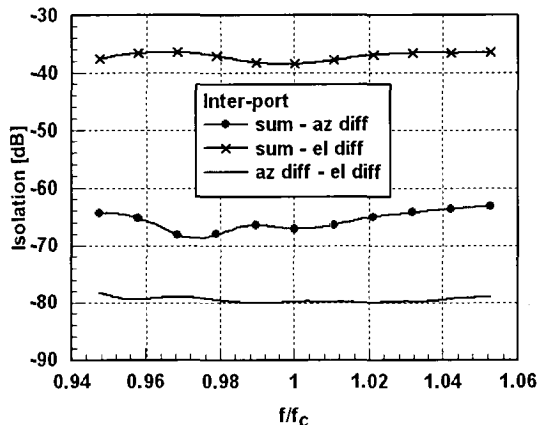


그림 16. 모노펄스 급전기의 격리도 측정 결과  
Fig. 16. Measured isolation of the monopulse feeder.

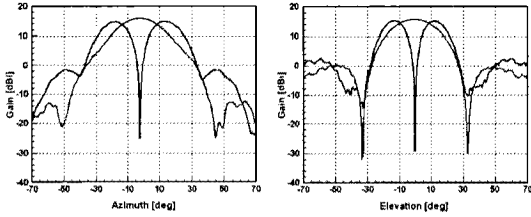
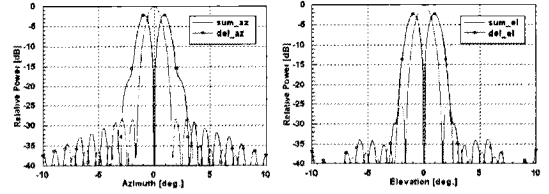


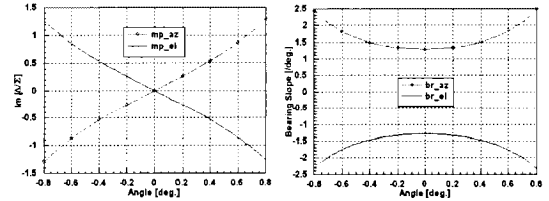
그림 17. 측정된 모노펄스 급전기의 복사 패턴(중심 주파수)  
 Fig. 17. Measured radiation pattern of the monopulse feeder(center freq.).

모노펄스 급전기의 복사 특성은 근접 전계 측정 시설에서 측정하였다. 측정된 모노펄스 급전기의 복사 패턴을 그림 17에 나타내었으며, 그림 14의 시뮬레이션 결과와 거의 동일함을 알 수 있다. 방위각 방향 복사 패턴에서 null이 0°를 벗어나는 것은 모노펄스 급전기가 안테나 포지셔너에 장착될 때 위치 정렬이 완전하지 않았기 때문이다.

모노펄스 급전기가 사용될 안테나는 투과형 렌즈 방식의 2차원 수동 위상 배열 안테나이며, 급전기



(a) 복사 패턴  
 (a) Radiation pattern



(b) 모노펄스 기울기  
 (b) Monopulse slope

그림 19. 안테나 복사 패턴 및 모노펄스 기울기  
 Fig. 19. Radiation pattern and monopulse slope.

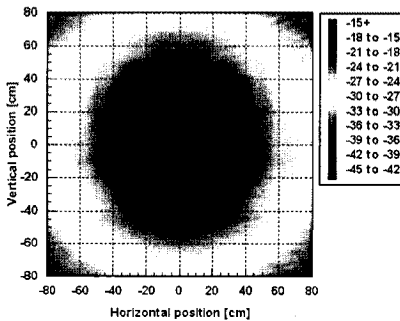
가 조사할 호각은 전술한 바와 같이 수평/수직 모두 약 30° 정도이다. 급전기와 안테나면간의 이격거리에서의 평면 전계 분포는 실제 안테나의 개구면 분포와 유사할 것이므로 근접 전계 측정 시설을 이용하여 평면 전계 분포를 측정하여 안테나의 복사 패턴을 예측할 수 있다. 그림 18에 근접 전계 측정 시설을 이용하여 측정된 평면 전계 분포를 채널별로 나타내었다.

그림 19에 그림 18의 측정된 개구면 분포를 이용하여 계산된 중심 주파수에서 안테나의 주단면 복사 패턴과 모노펄스 성능을 나타내었다.

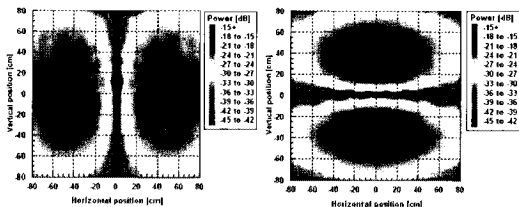
그림 19로부터 합, 방위각 차, 고각 차 채널 각각 부엽 특성을 만족함을 알 수 있으며, 1.4 이상의 매우 높은 모노펄스 기울기 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 맺음말

본 논문에서는 수동형 2차원 위상 배열 안테나에 적합한 모노펄스 급전기로써 4혼 삼중 모드 방식 모노펄스 급전기의 구조와 설계 결과를 보였다. 모노펄스 급전 회로망에서 서로 다른 도파관 경로 및 불연속면 때문에 달라지는 위상 기울기를 보정할 수 있는 도파관 보정 회로를 삽입하였으며, 혼 안테나



(a) 합 채널( $\Sigma$ )  
 (a)  $\Sigma$  channel



(b)  $\Delta_{az}$  채널  
 (b)  $\Delta_{az}$  channel  
 (c)  $\Delta_{el}$  채널  
 (c)  $\Delta_{el}$  channel

그림 18. 측정된 안테나 개구면 위치에서의 전계 분포  
 Fig. 18. Measured field distribution at antenna aperture position.



의 설계에서는 자유 공간과의 정합 특성 개선을 위한 세레이션(serration) 구조를 도입하였다.

설계된 급전기의 제작 및 측정 결과, 설계 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였으며 우수한 입력단 정합 특성 및 각 채널별로 필요한 최적의 개구면 분포 특성을 보유하고 있음을 보였다.

### 참 고 문 헌

[1] 이용희, 김승각, 김찬홍, 염동진, 권경일, 김준연, "MSAM 다기능 레이다용 위상 배열 안테나 개념 설계", 국방과학연구소 연구보고서, 2001년 7월.

[2] P. W. Hannan, "Optimum feeds for all three modes of a monopulse antenna I: Theory", *IRE Trans. on Antennas and Propagat.*, pp. 444-454, Sep. 1961.

[3] M. I. Skolnik, *Radar Handbook, 2nd Edition*, Chapter 18, McGraw-Hill Publishing Co., 1990.

[4] COM DEV, "Monopulse feed improves radar tracking accuracy", *Microwave & RF*, Mar. 1992.

[5] Kuan Min Lee, Ruey-Shi Chu, "Design and analysis of a multimode feed horn for a monopulse feed", *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, pp. 171-181, Feb. 1988.

### 김 찬 홍



1991년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)  
 2008년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자 (공학박사)  
 1993년 3월~현재: 국방과학연구소

연구원

[주 관심분야] 레이다 안테나, 레이다 시스템, 표적 특성

### 김 승 각



1986년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1988년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1988년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 레이다 안테나, 안테나 근접전계 측정