논문 2008-45TC-1-13

# 2x2배열 피드혼 안테나용 모노 펄스 피드 설계

## ( Design of a Monopulse Feed for 2x2 Array Feed horn Antenna )

김 원 섭*

( Won-sub Kim )

요 약

본 논문에서는 3중 모드를 형성하는 2x2배열 피드혼 안테나용 모노 펄스 피드를 설계 제작하고 복사 특성을 고찰하였다. 단일 피드의 경우 이득은 8.25dB의 값을 가지며,. 변환부에서 공기 중으로 연결되는 부위에 전계면으로 확장되는 구조를 갖게 함으로써 이득은 증가하고 구형 도파관과 공기 중의 반사는 저하시켰다. 급전 피드 port1과 port2는 수직으로 위치하여 개구부 혼의 두께를 얇게 함으로써 격리도는 -25dB이하의 특성을 만족하며 높은 주파수일수록 격리도는 향상됨을 확인하였다. port1과 port3은 수평으로 위치하여 전기장의 분포가 병렬로 연결되기 때문에 전기장의 결합은 적게 일어나지만 자기장의 결합이 나타나기 때문에 port1과 port2와의 격리도 보다는 최저 2dB에서 최대 6dB 향상된다. port1과 port4는 구조적으로 직접 결합은 아주 적은 양만 발생하지만, port2와 port3의 영향으로 -35dB이하가 됨을 확인 할 수 있었다.

Abstract

In this paper, a monopulse feed for three mode 2x2 array feed horn antenna was designed. Gain of single feed was 8.25dB. Increasing property of gain and rectangular waveguide and reflection of free space is decreased because it has structure extending to electric plane at connected part from transformation to free space. When feed port1 and port2 is placed vertically and thickness of aperture horn is reduced, isolation is satisfied with property of lower -25dB. Also, at higher frequency, it is confirmed that isolation is improved. Combination of electric field occurs less influence because port1 and port3 is placed horizontally and distribution of electric field is connected to parallel. However , because of combination of electric field, it is more improved from 2dB to 6dB than isolation of port1 and port2. Direct combination occurd less effect at port1 and port4 than effect of port2 and port3, it is lower -35dB.

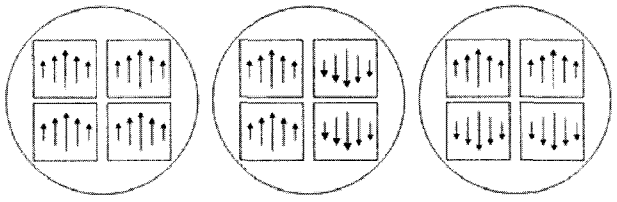
**Keywords :** 모노펄스피드, 배열 피드혼 안테나, 구형 도파관, 급전피드

## Ⅰ. 서 론

2x2 피드로 이뤄진 안테나의 경우 합패턴, 수평 차패턴, 수직 차패턴의 3종류의 방사 모드를 형성할 수 있다. 3개의 방사모드를 이용하여 시스템의 위치이동이나 위성의 위치이동에 대한 검출을 한다. 아래 그림 1의 (a)-(c)는 모노펄스 피드의 생성 가능한 모드를 보였다.

그림 1(a)의 합패턴은 구형 도파관의 TE11모드를 2X2배열을 통해 합패턴의 방사모드를 형성하고, 그림 1(b), (c)의 수평 및 수직 차패턴은 수평과 주직방향으로 위상차를 두어 구형 도파관의 TE20 또는 TE02 모드형상의 방사모드를 각각 구현한다.

각각의 피드의 규격은 설계대역(11.7-12.7GHz)에서 주(dominant) 모드성분만 갖도록하여 고차모드 반사에 의한 성능저하를 방지한다. 또한 피드형상에 적절한 동축선-구형도파관 변환부를 설계한다. 합패턴에 비해 차패턴의 이득이 낮아 빔폭이 넓고 방사패턴의 E-평면과



(a) 합패턴 (b) 수평 차패턴 (c) 수직 차패턴

그림 1. 모노펄스 피드의 생성모드

Fig. 1. Creation mode of Monopulse Feed.

* 정회원, 청주대학교 전자정보공학부
(Dept. of Electronics and Information Engineering, Cheongju University)

접수일자:2007년10월2일, 수정완료일:2008년1월15일

H-평면의 빔폭이 비대칭적으로 발생하는 것을 보완하기 위해 원형 혼 안테나를 피드 앞에 결합하여 급전안테나의 이득 향상과 부엽의 크기를 저하시켜 전체시스템의 성능을 향상시킨다. 또한 각 피드간의 격리도에 따라 반사에 의한 신호의 왜곡이 발생하기 때문에 각 피드간의 격리도를 -20dB이하로 만족시켜 각 포트간의 결합에 의한 오류를 감소시킨다[1].

## Ⅱ. 피드혼 안테나 설계

### 1. 피드 도파관 규격설정

그림 2에 제시된 모드를 형성하기 위해서는 구형 도파관을 이용하여 지배모드의 전달이 원활하기 이뤄지고 고차모드에 대해서는 차단을 하는 특성을 갖아야 한다. 이러한 특성을 갖기 위해서는 구형 도파관의 규격이 적절하게 이뤄져야 된다. TEmn모드의 차단 주파수는 식1에 의해 얻을 수 있다.

$$f_c = \frac{3\times 10^8}{2\pi\sqrt{(m\pi/a)^2+(n\pi/b)^2}} \quad (1)$$

설계대역내에서 고차모드의 영향을 억제하기 위해 그림 2의 a의 값을 16.4mm로 하여 그림 3의 (a)에 나타낸 TE10모드의 차단 주파수는 9.15GHz로 설정하고, 그림 3 (b), (c)에 각각 나타낸 고차모드인 TM11, TE20모드의 차단주파수는 각각 20.4GHz, 18.3GHz이다. 설계는

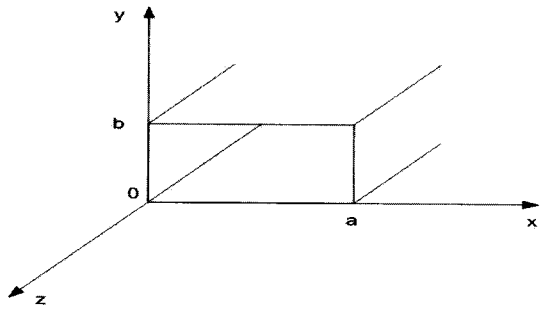
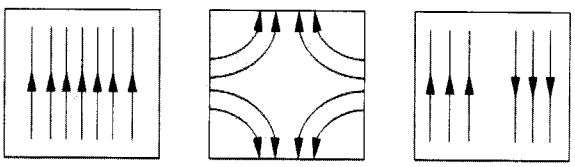



그림 2. 구형 도파관의 구조
Fig. 2. Structure of Rectangle Waveguide.



(a) TE10 (b) TM11 (c) TE20

그림 3. 사각도파관 모드
Fig. 3. Square Waveguide mode.

대역내의 모드는 지배모드인 TE10모드만 존재하게 된다.

### 2. 도파관-동축선 변환부 설계

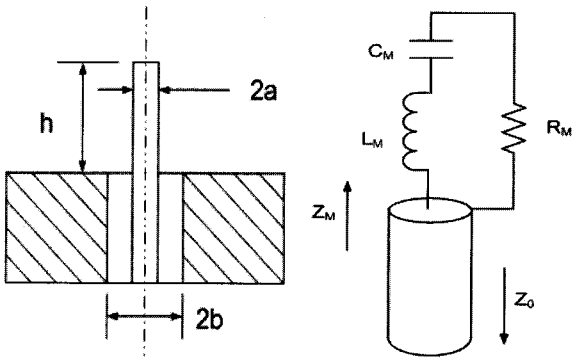
설계된 피드에 원하는 모드를 인가시키고, 측정장비 또는 시스템과의 연동을 위해서는 구형 도파관에 모드를 인가시키는 변환부가 필요하다. 모드를 인가시키기 방법으로는 도파관내부에 평판형 전송선로 또는 동축선의 내심을 이용하는 경우가 일반적이다. 모노펄스의 경우 동축선을 사용하는 방법을 이용하여 구조를 단순하게 하였다. 설계된 변환부는 중심주파수가 12.2GHz이고, 주파수 대역이 11.7-12.7GHz에서 반사계수 -10dB를 만족하는 특성을 나타내는 것을 설계목표로 하였다. 설계하려는 변환부의의 기본원리는 도파관에서 동작하는 모노폴(monopole) 안테나인 전자기장 발생기를 도파관에 삽입하여 도파관에서 생성되는 모드로 변환시키는 것이다. 다른 고차모드들은 도파관의 물리적인 크기에 의해 차단되었기 때문에 설계 주파수 대역 내에서는 지배모드인 TE11모드만 존재하게 된다.

변환부의 프로브 부분의 설계는 모노폴의 임피던스해석부터 시작된다. 금속 접지면 위로 높이 h(≅λ/4)를 갖는 모노폴 형태의 프로브는 그림 4(a)에 나타내었고, 등가회로는 그림 4 (b)에 나타내었다. 이때 전체 임피던스는 식 2로 나타내며, 이는 중심주파수에서 일반적인 모노폴의 임피던스인 실수부는 36Ω이고, 허수부는 0Ω이 된다[2].

$$Z_M = R_M + j(\omega L_M - 1/\omega C_M) = R_M(\omega) + jX_M(\omega) \quad (2)$$

모노폴 안테나를 이용하여 원하는 대역의 변환부를 설계하기 위해 서는 도파관 내부에서 방사하는 조건인 관내파장을 기준으로 설계해야 된다[3].

모노폴 안테나의 임피던스를 임피던스가 50옴인 동




(a) 모노폴 형상 (b) 등가회로

그림 4 모노폴 안테나
Fig. 4. Monppole Antenna.

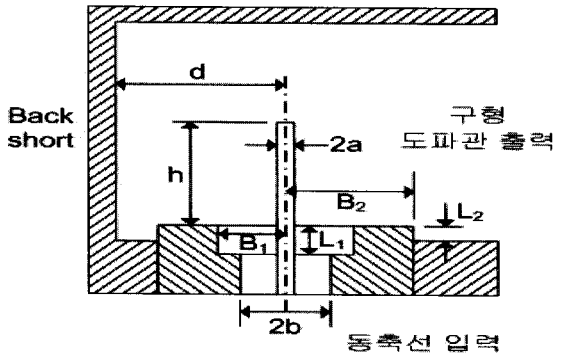



그림 5. 사각도파관-동축선 변환부 구조
Fig. 5. Square Waveguide-Coaxial line Converter.

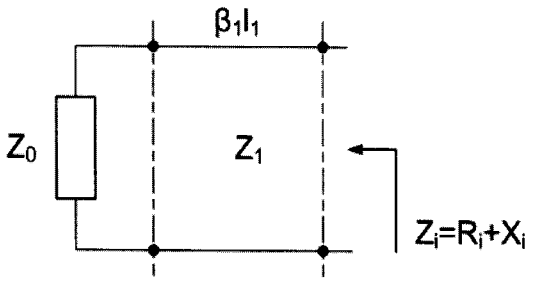



그림 6. 임피던스 정합부 등가회로
Fig. 6. impedance matching equivalent circuit.

축케이블에 정합시키기 위하여 측면도인 그림 5의 반지름 B1과 높이 L1로 표시된 임피던스 정합부와 B2와 L2로 표시된 도파관내의 스터브를 이용하여 동축선에서 도파관으로 변환되는 부분의 임피던스를 정합 하여 준다.

임피던스 변환부의 등가회로는 그림 6과 같으며 이때 모노폴의 임피던스 Zi는 동축선의 임피던스와 정합되어야 하므로 식3,4,5를 이용하여 Zi를 구한다[4].

$$\frac{Z_i}{Z_0}=\frac{(Z_0/Z_1)+j\tan\beta_1 l_1}{1+j(Z_0/Z_1)^2\tan^2\beta_1 l_1} \tag{3}$$

$$\frac{R_i}{Z_o}=\frac{1+\tan^2\beta_1 l_1}{1+(Z_o/Z_1)^2\tan^2\beta_1 l_1} \tag{4}$$

$$\frac{X_i}{Z_o}=(\frac{Z_1}{Z_o}-\frac{Z_o}{Z_1})\frac{\tan\beta_1 l_1}{1+(Z_o/Z_1)^2\tan^2\beta_1 l_1} \tag{5}$$

여기서, 동축선로의 임피던스 Z0=50Ω, 임피던스 변화부의 임피던스 Z1=72Ω이 되고, β1 l1=ϕ가 되므로 다음과 같이 된다[5].

$$\frac{R_i}{Z_o}=1+\frac{2\tan^2\phi/2}{1+\tan^4\phi/2} \tag{6}$$

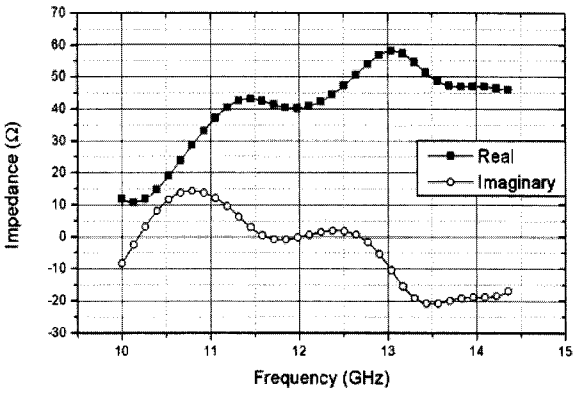



그림 7. 설계된 변환부의 임피던스 특성
Fig. 7. impedance ver Frequency of Design Converter .

$$\frac{X_i}{Z_o}=0.72\frac{\sin 2\phi}{1+\cos^2\phi} \tag{7}$$

임피던스 변환부를 갖는 도파관내 모노폴의 특성임피던스가 안테나 로 동작하는 경우와 임피던스 특징이 같은 것을 볼 수 있다. 이로 부터 변환부의 설계타당성을 확인 하였다. 설계된 변환부의 규격의 단위는 모두 mm이다. 동축선로를 나타내는 부분인 a=0.6, b=4.1으로 SMA커넥터의 규격에 맞췄고, 72Ω으로 이뤄진 임피던스 변환부의 B1=2.05, l1=11.55로 되었고, 스텁으로 동작하며 모노폴과 도파관 사이의 정합을 맞춰주는 역할을 하는 부분 B2=3.05, l2=1로 되었다. 구형 도파관에서 모노폴로 동작하는 부분은 h=4.3로 하여 중심주파수의 약 0.23파장이 되도록 하였다. 파의 진행방향과 반대방향으로 진행되는 파를 제거하는 역할인 back-short의 길이 d=5.4로하여 불연속의 의한 부정합을 제거 하였다. 설계된 데이터를 이용하여 변환부의 임피던스 특성을 그림 7에 나타내었다.

중심 주파수 12.2GHz의 임피던스 특성은 실수부가 41.3Ω이고 허수부는 0.9Ω인 것을 확인할 수 있다.

## Ⅲ. 2×2 급전 피드 배열 설계 및 방사모드 측정

모노펄스 피드는 3개의 모드를 사용하기 때문에 단일 피드의 배열이 필요하다. 우선 단일 피드의 특성을 확인하여 2×2배열을 한다.

단일피드의 형상은 그림 8에 나타내었고 방사턴은 그림 9에 나타내었다. 단일 피드의 경우 이득은 8.25dB의 값을 갖는다. 변환부에서 공기중으로 연결되는 부위에 전계면으로 확장되는 구조를 갖아서 효율을 증가시

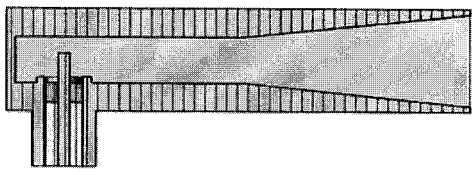


그림 8. 단일 피드 형상
Fig. 8. Single feed Aspect.

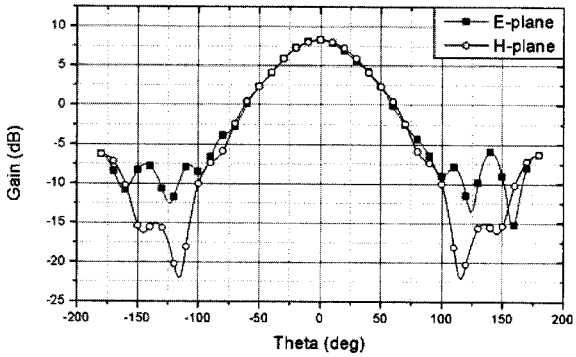
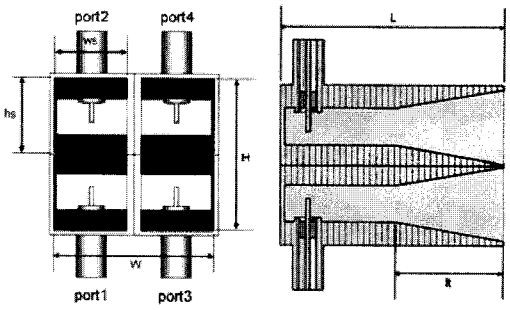
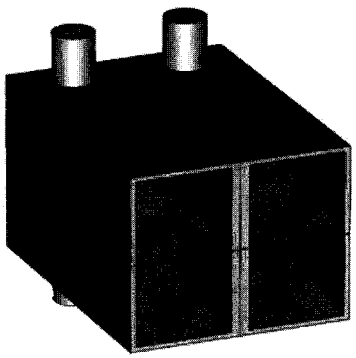



그림 9. 설계된 단일피드의 방사패턴
Fig. 9. Radiation pattern of Designed Single Feed.




(a) 정면도 (b) 측면도



(c) 3차원도

그림 10. 설계된 2×2배열 급전피드
Fig. 10. Designed 2×2 Array Feed.

켜 이득이 증가하는 특성과 구형 도파관과 공기 중의 반사를 저하시켰다.

설계된 단일 피드를 기준으로 2×2배열 길이는 다음과 같이 주어 진다.

$$L_x + d_x = L_y + d_y = 1\lambda \tag{8}$$

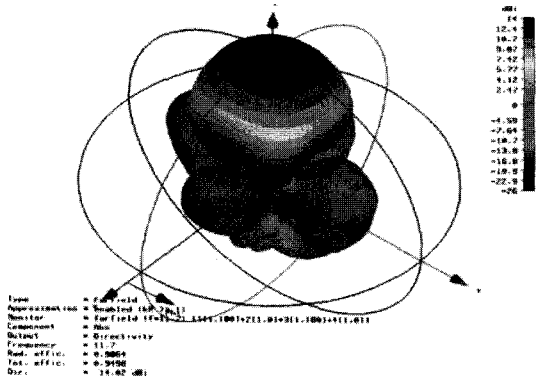
일반적으로 배열에서 사용되는 안테나간의 거리는 약 0.5파장 정도이지만 실제의 경우 안테나 개구면의 회절과 결합등의 영향으로 0.5 파장보다 큰 거리를 갖아야 된다. 이러한 특성을 고려하기 위해 상용 소프트웨어를 이용하여 최대의 이득을 갖는 값을 x와 y방향의 거리를 구하였다. 최적상태의 경우 단일안테나의 4개의 배열이 되므로 이득도 또한 4배가 되어 이득이 6dB 상승되어야 된다. 그림 10(a)에서 배열의 전체길이인 H와 W는 각각 33.3과 35.9의 값을 갖고, 단일 피드의 크기를 나타내는 값이 hs와 ws는 16.4가 된다. 피드의 길이 L은 51.4가 되고, 이득을 향상시키기 위한 도파관의 확장구조의 길이는 25가 된다.

## Ⅳ. 실험 데이터

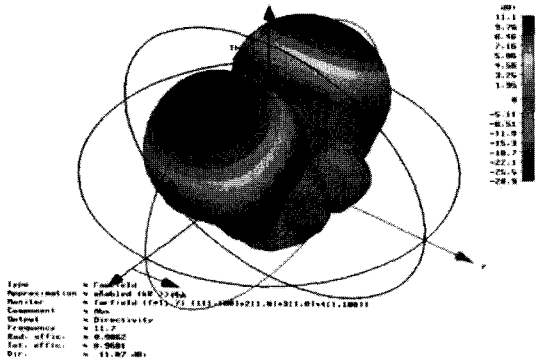
그림 11에서는 설계된 2×2배열 피드의 중심주파수의 개구면 전기장 분포를 나타냈다. (a)는 합모드, (b)수평차모드, (c)수직 차 모드를 나타내었다. (a)-(c)는 3차우너 패턴을 나타내었고, (d)는 합모드 패턴의 전계면과 자계면, 수직과 수평 차모드의 전계성분의 빔폭의 비를 확인하기 위해 하나의 도표로 나타내었다. 합모드의 경우 주파수 대역내에서 빔의 형상이 비슷한 것을 볼 수 있다. 수평 차모드에 비해 수직 차모드가 빔이 넓게 분포하는 것을 볼 수 있다.

설계된 피드를 이용하여 반사계수를 그림 12와 같이 측정하였다. 주파수 대역폭에서 -10dB이하의 특성을 보이며 설계 특성을 만족하는 것을 볼 수 있다.

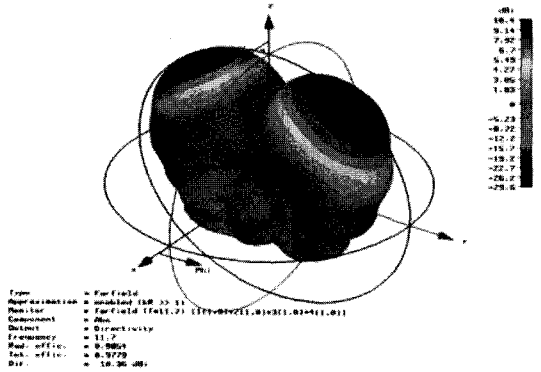
그림 13은 설계된 모노펄스 피드의 포트 간 격리도를 나타내었다. port1과 port2는 수직으로 위치하여 전기장의 분포가 직렬로 연결되기 때문에 전기장이 구조적으로 결합하기 쉬운 구조를 갖지만 개구부의 혼의 두께를 얇게 하여 회절에 의한 격리도의 향상을 갖는다. port1과 port2와의 격리도는 -25dB이하의 특성을 만족하며 높은 주파수일수록 격리도는 향상된다. port1과 port3은 수평으로 위치하여 전기장의 분포가 병렬로 연결되기 때문에 전기장의 결합은 적게 일어나지만 자기장의 결합이 나타나기 때문에 port1과 port2와의 격리도 보다는 최저 2dB에서 최대 6dB 향상된다. port1과 port4는



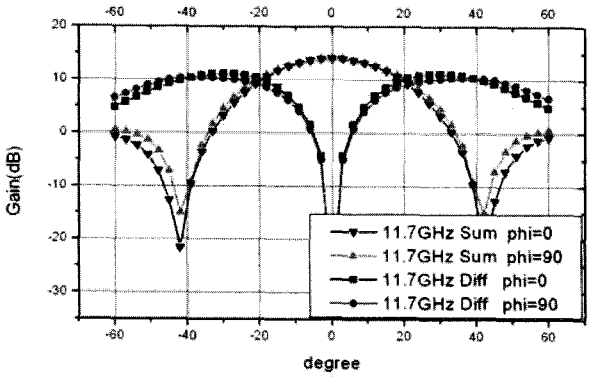
(a) 합모드



(b) 수평 차모드



(c) 수직 차모드




(d) 비교표

그림 11. 11.7GHz의 방사모드 패턴
Fig. 11. Radiation mode pattern of 11.7GHz.

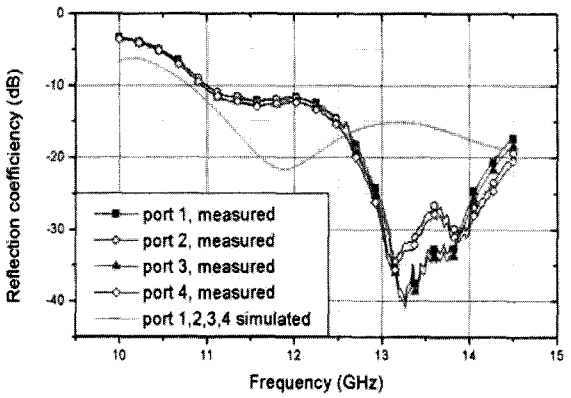



그림 12. 설계된 모노펄스 피드의 반사계수 특성
Fig. 12. Reflection Coefficient of Designed Monopulse Feed

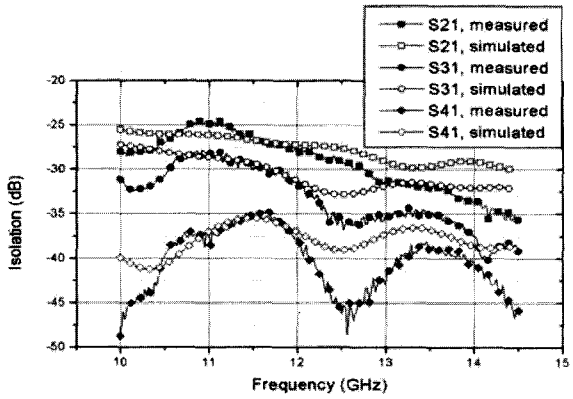



그림 13. 설계된 모노펄스 피드의 포트 격리도
Fig. 13. Port isolation of Designed Monopulse Feed.

구조적으로 직접 결합은 아주 적은 양만 발생 하지만, port2와 port3의 영향으로 -35dB이하의 특성을 갖는다

## V. 결 론

본 논문에서는 3중 모드를 형성하는 2x2배열 피드혼 안테나용 모노 펄스 피드를 설계하고 복사 특성을 고찰하였다. 단일 피드의 경우 이득은 8.25dB의 값을 가지며,. 변환부에서 공기중으로 연결되는 부위에 전계면으로 확장되는 구조를 갖아서 효율을 증가시켜 이득이 증가하는 특성과 구형 도파관과 공기 중의 반사를 저하시켰다. 급전 피드 port1과 port2는 수직으로 위치하여 개구부 혼의 두께를 얇게 함으로써 격리도는 -25dB이하의 특성을 만족하며 높은 주파수일수록 격리도는 향상됨을 확인하였다. 또한 port1과 port3은 수평으로 위치하여 전기장의 분포가 병렬로 연결되기 때문에 전기장의 결합은 적게 일어나지만 자기장의 결합이 나타나기 때문에 port1과 port2와의 격리도 보다는 최저 2dB에서

최대 6dB 향상되며. port1과 port4는 구조적으로 직접 결합은 아주 적은 양만 발생하지만, port2와 port3의 영향으로 -35dB이하가 된다.

## 참 고 문 헌

[1] P.D.Potter, "A new horn with supressed side-lobes and equal beamwidths",Microwave J., pp71-78
[2] A D Olver, PJB Clarricoats AA kishk, L Shafai, Microwave Horns and Feeds, IEEE Press
[3] Stilwell, "Sensitivity Analysis of a 15GHz mono-pulse rader receiver using a logarithmic amplifier detector scheme", MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp. 466-467
[4] K.M.Lee, "Design and analysis of a multimode feed horn for a monopulse feed", IEEE Trans. Antenna &Propagation, vol Ap 36, pp.171-181
[5] Merril, Introduction to Radar System, McGtaw-Hill, 2001.
[6] Y.T.Lo, S.W.Lee, Antenna Handbook, Van Nostrand Reinhold Co, 1988.
[7] P.W.Hannan, "Optimim feeds for all three modes of a monopulse antenna", IRE Trans. Antennas Propagat.,vol AP-9, pp.444-461

### 저 자 소 개

김 원 섭(정회원)
1999년 청주대학교 전자공학과 학사 졸업.
2001년 청주대학교 전자공학과 석사 졸업.
2005년 청주대학교 전자공학과 박사 졸업.
2007년 4월~현재 청주대학교 전자정보공학부 전임강사
<주관심분야 : 이동통신, 위성통신, 통신시스템>