

상호 결합을 이용한 광대역 E-면 H 섹터 혼 위상 배열 안테나 설계

The Design of a Broadband E-plane H Sectoral Horn Phased Array Antenna Using Mutual Coupling

이 철 수 · 백 정 기*

Cheol-Soo Lee · Jeong-Ki Paek*

요 약

H 섹터 혼 안테나는 일정한 빔 커버리지를 가지면서 빔 조향을 하는 광대역 위상 배열 송신기의 복사 소자로 유용하다. 본 논문에서는 상호 결합을 이용하여 3:1 주파수 대역과 $\pm 60^\circ$ 의 빔 조향 범위를 갖는 광대역 E-면 H 섹터 혼 위상 배열 안테나를 설계하였다. 주자계면에서 반전력 빔 폭이 $30 \sim 50^\circ$ 을 갖는 H 섹터 혼 안테나를 설계하였다. 도파관 시뮬레이터를 이용하여 상호 결합을 포함하는 능동 반사 계수를 계산하였고, 광대역 주파수 범위에서 상호 결합에 의하여 능동 반사 특성이 개선되었다. 이러한 결과를 이용하여 8×1 H 섹터 혼 위상 배열 안테나를 제작하였다. 주자계면에서의 반전력 빔 폭과 능동 반사 계수의 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였다. 빔 조향된 복사 빔들의 침투치 패턴은 능동 소자 패턴과 잘 일치하였다. 3:1 주파수 대역과 빔 조향 범위에서 능동 반사 계수는 대부분 0.3 이하로 측정되었다.

Abstract

An H-sector horn antenna has a constant beam coverage characteristic and it can be useful for application to a wide band phased array antenna system. In this paper, we designed a broadband E-plane H-sector horn phased-array antenna, which has a 3:1 bandwidth and $\pm 60^\circ$ beam steering capability. An H-sector horn antenna was designed to have $30 \sim 50^\circ$ half-power beam width in the principal H-plane. The active reflection coefficient including mutual coupling was calculated using a waveguide simulator, and the active reflection characteristic was improved by mutual coupling over wide frequency range. Using these results, an 8×1 H-sector phased array antenna was fabricated. The measurement results for the half-power beam width in the principal H-plane and the active reflection coefficient showed a good agreement with the simulation results. The peak-value pattern in the steered radiation beams also agreed well with the active element pattern. The measured active reflection coefficients within the beam steering range are mostly less than 0.3 over the 3:1 frequency range.

Key words : H Sector Horn Antenna, Active Reflection, Active Element Pattern

I. 서 론

H 섹터 혼 안테나는 자유 공간과의 임피던스 정합을 용이하도록 개구(aperture)를 크게 하고, 혼 길

이를 길게 하면, 광대역 주파수 특성을 구현할 수 있으며, 전파 상수와 혼 길이의 곱이 5.6π 이상이고, 확장각이 60° 이상인 경우, H 섹터 혼 안테나의 주자계면(principal H-plane)에서 일정한 반전력 빔 폭 특

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

*충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20070209-025

· 수정완료일자 : 2007년 4월 11일

성을 얻을 수 있다^[1]. 전계면 개구 높이가 일정하므로 E-면으로 선형 배열 구조를 갖는 위상 배열 안테나로 사용할 수 있다. 그러나, 위상 배열 안테나에서 안테나의 배열 간격은 복사 빔의 조향 범위와 동작 주파수에 의하여 결정되므로 H 섹터 혼 안테나 개구 크기는 배열 간격에 의하여 제한되어진다. 특히, 광대역 주파수를 사용하는 위상 배열 안테나는 복사 소자의 간격이 동작 최소 파장보다 작아야 하며, 이로써 안테나 개구 크기가 하위 주파수 파장에 비하여 작기 때문에 광대역 주파수 특성 구현이 어렵게 된다. 이와 동시에 배열된 안테나들 사이에서 발생하는 상호 결합이 크게 작용되어진다. 따라서, 광대역 주파수 특성과 빔 조향을 위한 위상 배열 안테나를 설계하기 위하여 제한된 안테나 개구 크기와 상호 결합 특성을 고려하여야 한다.

본 논문에서는 3:1 광대역 주파수와 $\pm 60^\circ$ 의 빔 조향 각도를 만족하기 위한 배열 간격을 만족하고 주자계면 반전력 빔 폭이 일정한 특성을 가지면서 TEM-TE₁₀ 모드 변환기와 일체형으로 구성된 H 섹터 혼 안테나를 설계하였다. H 섹터 혼 안테나 길이에 비례하여 혼 개구에서 반사파 영향이 감소하는 특성이 있지만^[2], 안테나 길이가 제한된 경우, 배열 안테나의 상호 결합에 의한 안테나의 복사 임피던스의 영향을 고찰하여^[3], 주파수 대역을 확장할 수 있었다. 도파관 시뮬레이터를 이용하여 상호 결합에 의한 반사 계수 특성 및 복사 패턴에 미치는 영향을 고찰하였고, 3:1 광대역 특성과 빔 조향 $\pm 60^\circ$ 을 가지는 E-면 선형 위상 배열 안테나를 설계하였다. 설계된 단일 소자를 E-면으로 8개 배열시킨 안테나를 해석하였고, 이때 얻어진 상호 결합 계수를 이용하여, 빔 조향 각도에 따른 능동 반사 계수를 구하였다. 또한, 능동 소자 패턴으로 빔 조향된 복사 패턴의 특성을 살펴보았다. 측정된 결과, 주자계면에서 $30\sim 50^\circ$ 의 반전력 빔 폭과 3:1 주파수 대역과 $\pm 60^\circ$ 빔 조향 범위에서 능동 반사 계수가 대부분 0.3 이하를 얻었으며, 빔 조향된 복사 패턴의 첨두치는 능동 소자 패턴과 잘 일치하였다.

II. 위상 배열 H 섹터 혼 안테나

2-1 H 섹터 혼 안테나 복사 패턴 계산

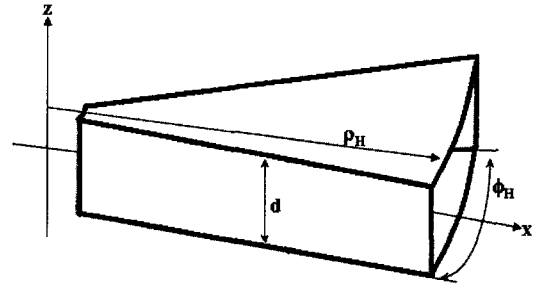


그림 1. H 섹터 혼 안테나 구조
Fig. 1. The structure of the H-sector horn antenna.

H 섹터 혼 안테나는 그림 1과 같이 \vec{z} 방향으로 안테나를 구성하는 도체의 높이는 일정하면서 $\vec{\phi}$ 방향으로 확장된 형태를 가지고 있는 안테나이다. 확장각 ϕ_H 는 $\vec{\phi}$ 방향으로 확장된 각도이며, 혼 길이 ρ_H 는 H 섹터 혼 안테나를 이루는 반경이 된다. H 섹터 혼 안테나 개구에 TE₁₀ 기본 모드만을 가정하면, 혼 개구에서의 \vec{E} , \vec{H} 성분은 식 (1), (2)이다^[4].

$$E_z = -j \frac{k_\rho^2}{\omega\mu\epsilon} H_\nu^{(2)}(k_\rho \rho_H) \cos \nu\phi \quad (1)$$

$$H_\phi = -\frac{k_\rho}{\mu} H_\nu^{(2)'}(k_\rho \rho_H) \cos \nu\phi \quad (2)$$

$H_\nu^{(2)}$ 는 제2종 Hankel 함수, $\nu = \pi/\phi_H$, $H_\nu^{(2)'}(x) = \partial H_\nu^{(2)}(x) / \partial x$ 이다. k_ρ 는 $\vec{\rho}$ 방향의 위상 정수(phase constant)로 TE₁₀과 같이 기본 모드만 고려시 k 와 동일하다. k 는 자유 공간상의 위상 정수이다.

기하 광학 방법에 의한 혼 개구면의 벡터 전도 전류 밀도(\vec{J})와 벡터 자계 전류 밀도(\vec{M})는 식 (3), (4)와 같다.

$$\vec{J} = \vec{\rho} \times \vec{H} = -\hat{z} \frac{k}{\mu} H_\nu^{(2)'}(k\rho_H) \cos \nu\phi \quad (3)$$

$$\vec{M} = \vec{E} \times \vec{\rho} = \vec{\phi} j \frac{k^2}{\omega\mu\epsilon} H_\nu^{(2)}(k\rho_H) \cos \nu\phi \quad (4)$$

식 (3), (4)에 의한 원거리 복사 패턴은 식 (5)~(7)과 같다.

$$E_r \approx 0 \quad (5)$$

$$E_\theta \approx -\frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (L_\phi + \eta N_\theta) \quad (6)$$

$$E_\phi \approx \frac{jke^{-jkr}}{4\pi r} (L_\theta - \eta N_\phi) \quad (7)$$

여기에서, η 는 자유 공간 임피던스이며, 식 (3), (4)에 의하여 L_θ , N_θ , L_ϕ , N_ϕ 는 식 (8)~(11)로 구해진다.

$$N_\theta = - \int_{-\phi_H/2}^{\phi_H/2} \int_0^d J_z \sin \theta e^{jkr' \cos \phi} \rho_H d\phi' dz' \quad (8)$$

$$L_\theta = \int_{-\phi_H/2}^{\phi_H/2} \int_0^d M_\phi \cos \theta \sin(\phi - \phi') \cdot e^{jkr' \cos \phi} \rho_H d\phi' dz' \quad (9)$$

$$L_\phi = \int_{-\phi_H/2}^{\phi_H/2} \int_0^d M_\phi \cos(\phi - \phi') e^{jkr' \cos \phi} \rho_H d\phi' dz' \quad (10)$$

$$N_\phi = 0 \quad (11)$$

여기에서, $r' \cos \psi = \rho_H \sin \theta \cos(\phi - \phi') + z' \cos \theta$ 이다.

H 섹터 혼 안테나의 원거리 복사 패턴에서 주자계면은 식 (5)~(11)에 $\theta=90^\circ$ 에서 ϕ 에 대한 복사 패턴으로, 주자계면에 대한 반전력 빔 폭(HPBW: Half Power Beam Width)은 혼 길이(ρ_H)와 확장각(ϕ_H)의 함수가 된다. 그림 2는 $k\rho_H/\pi$ 와 ϕ_H 에 대한 주자계면 반전력 빔 폭을 식 (5)~(11)에 의하여 계산 결과를 도시한 것이다.

$k\rho_H$, ϕ_H 가 증가할수록 원거리 복사 패턴에서 $\pm\phi_H/2$ 의 경계에서 발생하는 edge diffraction의 영향은 감소되고, 식 (1), (2)에 의한 기본파 모드의 영향이 증가됨으로^[1], H-면 반전력 빔 폭은 감소하다가

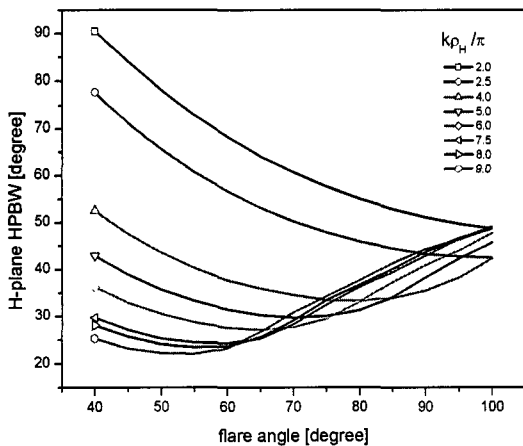


그림 2. 반전력 빔 폭과 ρ_H , ϕ_H 관계
Fig. 2. HPBW as a function of ρ_H , ϕ_H .

증가하는 특성을 갖게 된다. 따라서, 주어진 주파수 대역에서 특정한 혼 길이와 확장각 조건에서 일정한 반전력 빔 폭을 얻을 수 있다.

2-2 유한한 선형 위상 배열 안테나 설계

위상 배열 안테나는 배열된 안테나 각각에 특정한 위상과 크기를 갖는 신호를 인가함으로써, 빔 조향 각도 및 복사 빔의 형태를 조절할 수 있는 특징을 갖는다. 그러나, 위상 배열 안테나에서의 반사 손실 및 복사 패턴은 단일 안테나의 그것들과 특성이 다르므로, 위상 배열 안테나를 설계하기 위하여 그레이팅 로브(grating lobe), 능동 반사 계수(ARC: Active Reflection Coefficient) 및 능동 소자 패턴(AEP: Active Element Pattern)의 특성을 살펴보아야 한다. 그레이팅 로브는 주기성을 갖는 배열된 안테나에 의하여 발생하는 주 빔 이외의 또 다른 주 빔으로 빔 조향 범위 내에 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 하여 주 빔의 이득 감소 등을 방지할 수 있다. 그레이팅 로브를 억제하기 위하여 배열 간격 d 는 식 (12)를 만족하여야 한다.

$$d \leq \frac{\lambda_H}{1 + |\sin \theta_m|} \quad (12)$$

여기에서, θ_m 은 최대 빔 조향 범위이고, λ_H 는 최상위 동작 주파수의 파장이다.

배열된 안테나에 급전된 신호는 이웃한 안테나와 상호 영향을 주게 되며, 이를 상호 결합이라 한다. 상호 결합의 세기는 $(\frac{\lambda}{d})^2$ 에 비례하므로, 주어진 배열 간격에서 주파수가 작을수록 상호 결합량은 증가되어진다. 이러한 상호 결합은 안테나의 반사 계수 및 복사 패턴에 영향을 주게 되며, 상호 결합이 포함된 반사 계수 및 복사 패턴을 능동 반사 계수, 능동 소자 패턴이라 한다^{[3],[5]}.

능동 반사 계수는 배열 내의 모든 안테나에 특정한 위상과 크기로 여기되었을 때, 각각의 안테나에서 정의되는 반사 계수로, 위상 배열 안테나는 빔 조향 범위 내에서 능동 반사 계수의 전반사가 발생하지 않도록 설계되어야 한다. 그림 3은 능동 반사 계수를 정의하기 위한 개념도이다. 배열 간격 d 인 경우로, θ 방향으로 빔 조향을 위하여 배열 간격과 주파수에 따라 특정한 특성을 갖는 신호를 안테나에 급전된

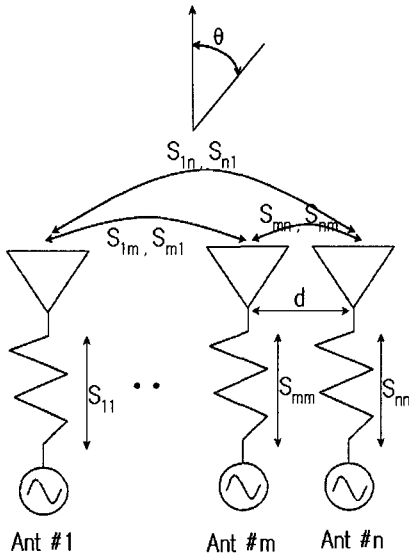


그림 3. 상호 결합 개념도
Fig. 3. Concept of mutual coupling.

경우, 빔 조향에 의한 능동 반사 계수는 식 (13)과 같이 자체 반사 계수와 이웃한 안테나간의 상호 결합의 합으로 나타내어진다^[5].

$$\Gamma_m(\theta) = S_{mm} + e^{jknds\sin\theta} \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^N S_{mn} e^{-jknds\sin\theta} \quad (13)$$

여기에서, 산란 행렬인 S_{mn} 은 n 번째 소자에 입력을 가했을 때, m 번째 소자에 결합된 값을 의미하며, m, n 을 제외한 모든 복사 소자는 임피던스 정합된 상태에 있다.

상호 결합은 능동 반사 계수뿐만 아니라 원거리 복사 패턴에도 영향을 준다. 이는 급전된 안테나의 직접 복사 성분과 이웃한 안테나로부터 결합된 신호의 의한 복사 때문이며, 능동 소자 패턴은 임의의 안테나에 신호를 인가하고 나머지 안테나는 임피던스 정합된 조건에서의 복사 패턴이다. 특히, 배열 중심에 위치한 안테나의 능동 소자 패턴은 위상 배열 안테나의 빔 조향된 배열 패턴의 첨두치 변화를 나타낸다. m 번째 안테나의 θ 방향에 대한 능동 소자 패턴($g_m^{\text{능동소자}}(\theta)$)은 식 (14)와 같이 상호 결합이 없는 단일 안테나 복사 패턴($g_o(\theta)$)과 능동 반사 계수의 함수로 얻어진다^[6].

$$g_m^{\text{능동소자}}(\theta) = g_o(\theta)[1 - |\Gamma_m(\theta)|^2] \quad (14)$$

2-3 전계면과 복사 조건을 갖는 도파관 시뮬레이터를 이용한 단위 격자내 안테나 특성 해석

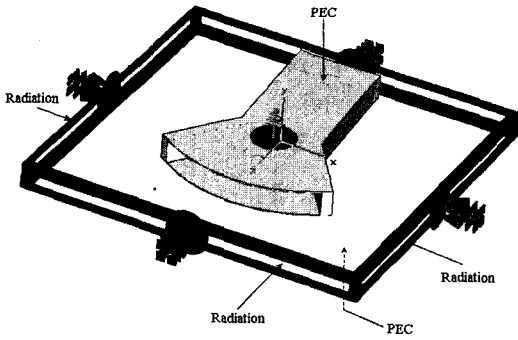
위상 배열 안테나 설계시 식 (13), (14)의 능동 반사 계수와 능동 소자 패턴 특성을 얻기 위하여 안테나 사이에서 발생하는 상호 결합 특성이 필요하며, 배열 개수가 많은 경우, 수치 해석 프로그램의 한계로 모든 안테나를 포함하는 해석은 어렵다. 그러나, 배열 가장자리에 위치한 안테나를 제외한 대부분의 안테나는 이웃한 안테나와의 상호 결합이 동일한 특성을 가지게 되므로, 일반적으로 배열 중심에 위치한 안테나에 대한 상호 결합 특성은 배열 전체 안테나 특성과 매우 유사한 특징을 갖게 된다. 상호 결합을 포함한 배열 중심에 위치한 안테나는 단위 격자(unit cell)의 안테나로 해석되어지며, 주기적인 경계 조건을 갖는 플로켓 모드 합(floquet mode summation)이나 도파관 시뮬레이터(waveguide simulator)를 사용하여 안테나 특성을 구할 수 있다.

본 논문에서는 전자파의 연속성을 적용하여 완전 도체와 복사 조건을 단위 격자의 경계 조건으로 하는 도파관 시뮬레이터로 상호 결합 특성을 포함하는 안테나를 설계하였다.

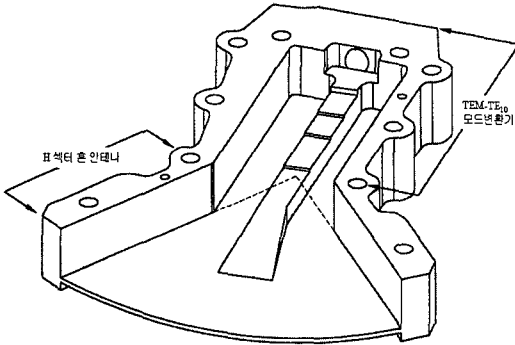
그림 4(a)은 H 섹터 혼 안테나의 전자파 분포에 의하여 단위 격자 E-면에 완전 도체 경계 조건을, H-면에는 복사(radiation) 경계 조건을 적용하여, 배열 중심에 위치한 안테나의 특성을 얻을 수 있는 단위 격자 내의 H 섹터 혼 안테나이다. 그림 4(b)는 TEM-TE₁₀ 모드 변환기와 H 섹터 혼이 일체형으로 본 논문에서 설계하고자 하는 H 섹터 혼 안테나의 단면 구조이다.

Ⅲ. E-면 H 섹터 혼 위상 배열 안테나 제작 및 측정

본 논문에서는 3:1 광대역 주파수를 갖는 E-면으로 배열된 $\pm 52^\circ$ 의 빔 조향 범위를 갖는 8×1 선형 배열 소자를 설계하고자 한다. 설계 목표로 H 섹터 혼 개구의 크기는 최대 60 mm이고, 동작 주파수 대역에서 빔 조향 각도 $\pm 60^\circ$ 범위 중 $\pm 45^\circ$ 범위에서 능동 반사 계수는 0.3 이하, 나머지 빔 조향 범위에서 0.5



(a) 경계 조건
(a) Boundary condition



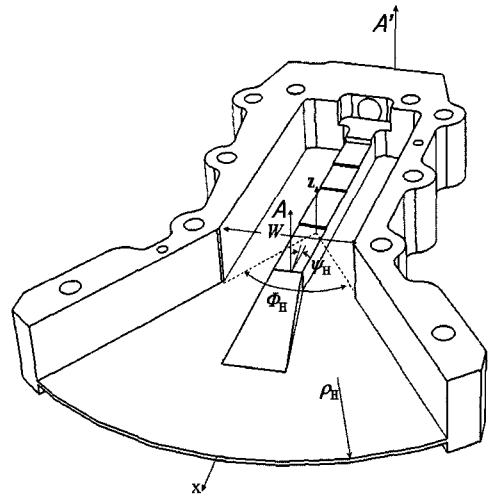
(b) 단면 구조
(b) Cross-sectional view

그림 4. 도파관 시뮬레이터를 이용한 단위 격자 해석 결합 구조
Fig. 4. Geometry for the unit-cell simulation using the waveguide simulator.

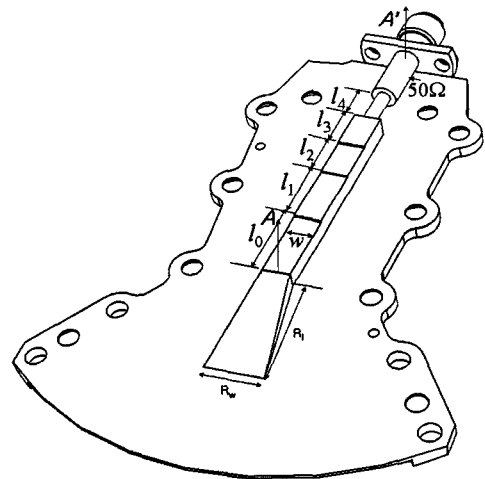
이하로 하였다. 또한, H-면 반전력 빔 폭(HPBW: Half Power Beam Width)은 3:1 광대역 주파수 대역에서 30~50°의 일정한 빔 폭을 갖도록 하였다. 이는 광대역 주파수에서 위상 배열 안테나의 송수신 빔 영역을 일정한 공간으로 신호를 송신하거나, 또는 일정한 공간내에 위치한 신호원으로부터 신호를 수신하도록 하여 주파수별 반전력 빔 폭의 변화가 많은 안테나에 비하여 신호원 위치에 대한 송수신 효율을 높일 수 있기 때문이다.

그림 2에 의하여 H-면 반전력 빔 폭을 만족하는 혼 길이는 $k\rho_H/\pi=2.5$, 확장각은 70° 이상이 된다. 주어진 안테나 크기 조건을 적용하여, 혼 길이(ρ_H)

는 50 mm, 확장각(ϕ_H)은 70°를 선택하였다. 배열 안테나의 배열 간격은 식 (12)에 의하여 9.32 mm보다 작아야 하며, 본 논문에서는 8.7 mm로 하였다. 식 (12)를 만족하기 위하여 TEM-TE₁₀ 모드 변환기 높이도 배열 간격 이내가 되도록 후면 급전(end-launch) 방식으로 설계하였다. 그림 5는 TEM-TE₁₀ 모드 변환기와 H 섹터 혼이 일체형으로 설계된 위상 배열 안테나의 단일 소자에 대한 그림으로, (a)는 윗면, (b)는 윗면



(a) 윗면
(a) Upper view



(b) 아랫면
(b) Bottom view

그림 5. 설계된 H 섹터 혼 안테나 단면 구조
Fig. 5. Cross-sectional view of the designed H-sector horn antenna.

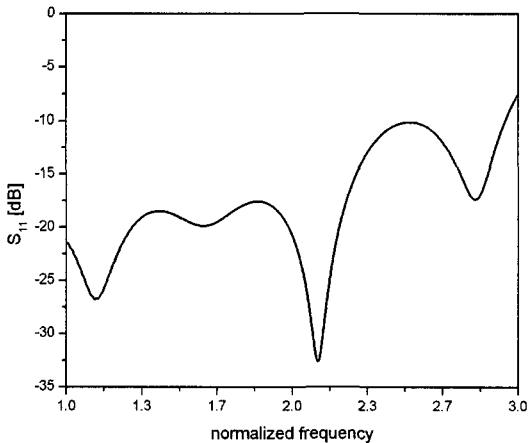
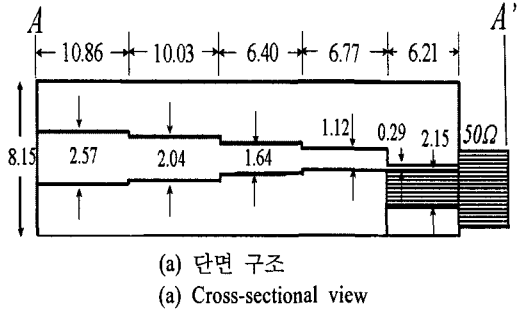


그림 6. TEM-TE₁₀ 모드 변환기
Fig. 6. TEM-TE₁₀ mode convertor.

에 대한 구조이다.

식 (12)의 배열 간격 만족을 위한 후면 급전 방식의 TEM-TE₁₀ 모드 변환기는 참고문헌 [8]의 체비셰프 임피던스 변환 방식을 이용하여 설계하였다. 그림 6(a)는 그림 5의 TEM-TE₁₀ 모드 변환기 A-A' 단면 구조이다. 표기된 수치의 단위는 mm이며, 도파관 폭 (W) 및 릿지 폭(w)은 각각 20.3 mm, 4.39 mm이다. 그림 6(b)는 설계된 TEM-TE₁₀ 모드 변환기의 반사 손실에 대한 시뮬레이션으로 -10 dB 이하의 특성을 보이고 있다.

식 (12)에 의한 배열 간격은 SMA 커넥터 크기보다 작으므로, SMA 커넥터를 갖는 안테나 입력 포트를 상호 교번하도록 설계하여 커넥터 배치 및 체결 문제를 해결하였으며, 이를 위하여 그림 5(a)의 ψ_H 에 4°의 오프셋(off-set)을 주었다.

또한, 그림 2에 보인 주자계면 반전력 빔 폭 특성

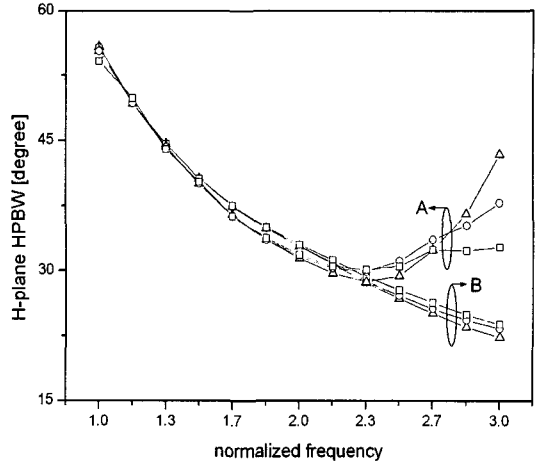


그림 7. 릿지 길이, 폭에 의한 H면 반전력 빔 폭 특성
Fig. 7. H-plane HPBW as a function of the ridge length and the ridge width.

은 식 (1), (2)와 같이 혼 개구에 TE₁₀ 모드만이 여기 되어야 하므로, 그림 5와 같이 H 섹터 혼 내부에서 TEM-TE₁₀ 모드 변환기 릿지의 폭은 넓어지고, 높이는 줄어드는 형태로 하여 릿지를 제거하였다. 그림 7은 H-면 반전력 빔 폭이 30~50° 범위를 갖도록 $\rho_H=50$ mm, $\theta_H=70^\circ$ 조건에서 그림 5(b)의 H 섹터 혼 내부의 릿지 길이(R_l), 릿지 폭(R_w)에 따른 H-면 반전력 빔 폭에 대한 시뮬레이션 결과로 A, B는 R_l 이 18 mm, 8 mm이고, Δ , \circ , \square 는 R_w 가 4.65 mm, 9.3 mm, 13.95 mm를 나타내며, 릿지 길이 및 릿지 폭이 각각 18 mm와 9.3 mm일 때 H-면 반전력 빔 폭이 30~50°의 빔 폭을 가짐을 알 수 있다. 주파수는 하위 주파수로 정규화(normalized)하였으며, 시뮬레이션은 CST-MWS를 이용하였다.

상기 조건으로 설계된 H 섹터 혼 안테나의 능동 반사 계수와 단일 안테나의 반사 계수를 그림 8에 비교하였다. 상호 결합이 없는 단일 안테나의 경우, 정규화된 주파수가 2.7 이상인 최상위 주파수 대역에서만 반사 계수가 0.3 이하로 협대역 주파수 특성을 보이고 있으며, 이는 안테나 개구 크기 및 혼 길이가 동작 파장에 비하여 작기 때문으로 하위 주파수 대역에서는 높은 반사 계수를 갖는 것으로 사료되어진다. 그러나, 상호 결합이 있는 배열된 조건에서의 능동 반사 계수는 동작 주파수 전대역에서 0.3

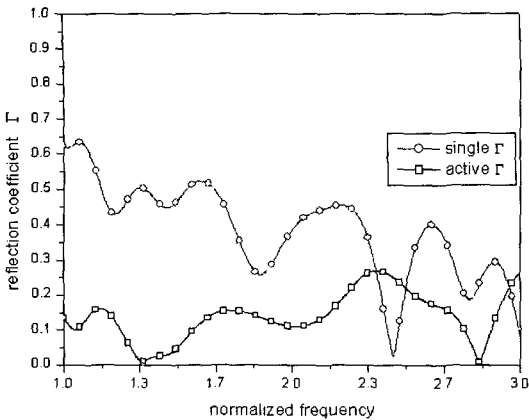
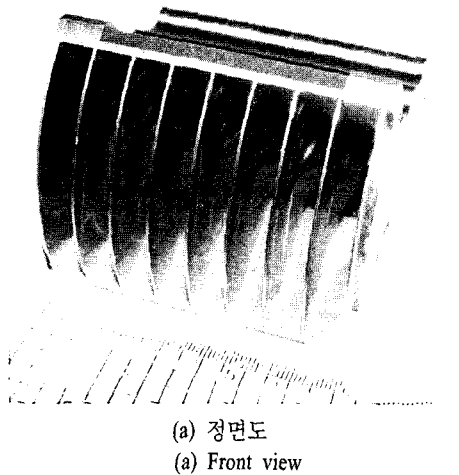
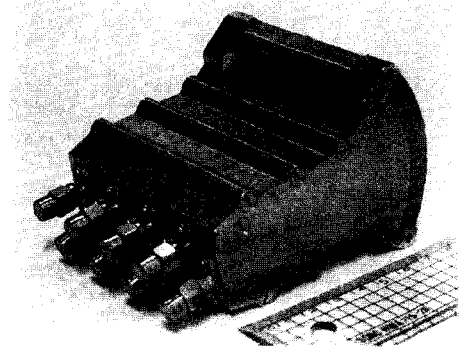


그림 8. 상호 결합에 의한 반사 계수 특성 비교
 Fig. 8. Comparison of the reflection-coefficient characteristics due to mutual coupling.



(a) 정면도
 (a) Front view



(b) 후면도
 (b) Rear view

그림 9. 위상 배열 안테나 제작 사진
 Fig. 9. Picture of the phased array antenna.

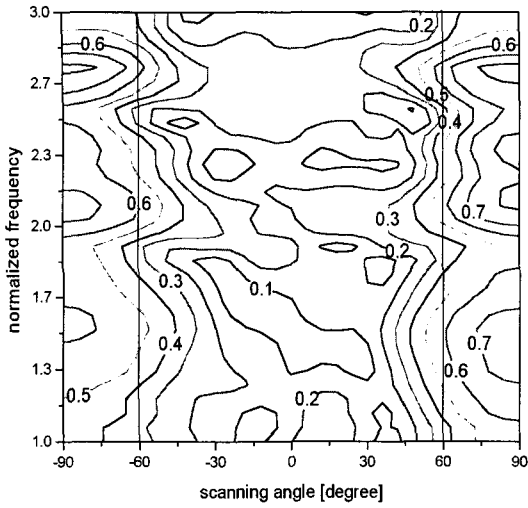
이하의 특성을 나타내며, 이는 이웃한 안테나로부터 결합되어지는 신호가 자체 반사 신호 세기를 감소시키기 때문에, 상호 결합을 이용하여 광대역 주파수 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다⁷⁾.

그림 9(a)는 8×1의 E-면으로 선형 배열된 위상 배열 H 섹터 혼 안테나 제작 사진의 정면도이다. 그림 9(b)는 제작된 위상 배열 안테나의 후면도로서 SMA 커넥터를 사용한 입력 포트를 상호 교번 방식으로 설계하여 식 (12)의 배열 간격을 만족하도록 하였다. 여기서, 안테나 윗면의 숫자는 안테나 포트 번호를 의미한다. 식 (13)을 이용한 능동 반사 계수를 측정하기 위하여 배열 안테나의 각 포트별 산란 계수 S_{mn} 을 Agilent사의 8510C 벡터 네트워크 분석기로 측정하였다. 제작된 배열 안테나에서 배열 중심에 위치한 안테나의 상호 결합 특성은 배열 전체 안테나 특성과 매우 유사하므로, 5번 포트에 대한 주파수와 빔 조향 각도에 따른 능동 반사 계수의 시뮬레이션과 측정 결과를 그림 10에 보였다. 그림 9의 1번 포트 방향이 -90° 의 스캔 각도를 나타낸다. 능동 반사 계수의 시뮬레이션과 측정치는 $3:1$ 주파수 대역에서 $\pm 60^\circ$ 경계를 부근에서는 약 $0.4 \sim 0.5$ 의 능동 반사 계수를 가지며, 0° 의 빔 조향각을 중심으로 한 대부분의 빔 조향 범위에서 0.3 이하인 -10 dB 이하의 특성을 보이고 있으며, 이는 광대역 주파수 특성이 상호 결합을 이용하여 구현될 수 있음을 알 수 있다.

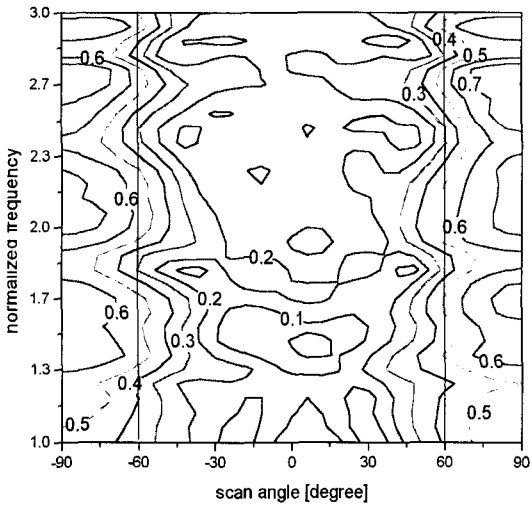
능동 반사 계수가 스캔 각도에 비대칭인 것은 능동 반사 계수를 구하고자 하는 안테나 포트에 대한 상호 결합이 비대칭이기 때문이며, 같은 수의 상호 결합이 발생하는 경우 중심 포트에서의 상호 결합 계수는 빔 조향 각도에 대하여 대칭적인 특성을 갖게 된다.

그림 11은 주자계면에 대한 반전력 빔 폭의 시뮬레이션과 측정치로서 매우 잘 일치하고 있으며, 반전력 빔 폭에 대한 동작 주파수 대역에서의 변화폭을 줄임으로써, 일정한 공간에 위치한 신호원과의 송·수신 효율을 증대할 수 있다.

그림 12는 E-면에서 최상위 주파수에서 측정된 빔 조향 패턴으로, 빔 조향을 위한 위상 변위기로 광대역, 광각의 특성을 갖는 입력 포트가 8개이고, 배열 포트가 8인 마이크로스트립 로트만 렌즈를 사용하였다. 배열 포트에 본 논문에서 설계된 H 섹터 혼 안테나를 연결하고, 입력 포트에 신호를 인가하여



(a) 시뮬레이션
(a) Simulation



(b) 측정치
(b) Measurement data

그림 10. 5번째 포트의 능동 반사 계수 특성
Fig. 10. Active reflection coefficient at the 5th port.

전자파 무반사실에서 측정된 신호 레벨을 정규화하여 빔 조향된 복사 패턴을 얻었다.

CST-MWS를 이용하여 시뮬레이션 된 능동 소자 패턴(AEP)과 5번 포트에 RF 신호를 인가하고, 나머지 입력 포트는 임피던스 정합된 상태에서 측정된 능동 소자 패턴은 잘 일치하고 있으며, 이는 조향도나 각 빔의 첨두치의 패턴과도 잘 일치하고 있으며

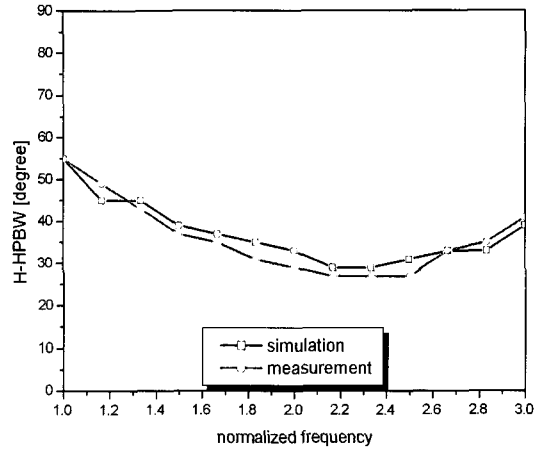


그림 11. H-면 반전력 빔 폭 특성
Fig. 11. Half-power beam width in the H-plane.

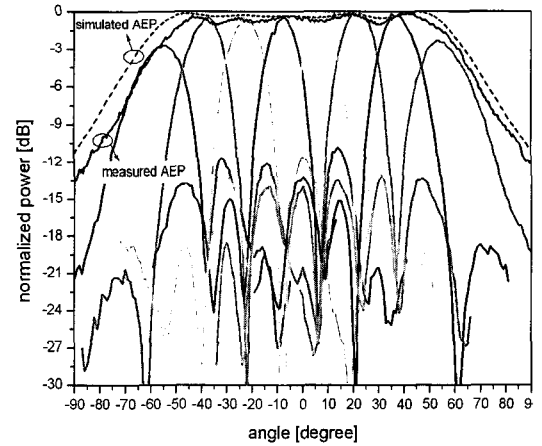


그림 12. 빔 조향 복사 패턴과 능동 소자 패턴
Fig. 12. Steered array beam patterns and the active element pattern.

로, 위상 배열 안테나의 빔 조향에 따른 복사 패턴을 능동 소자 패턴으로 예측 가능함을 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 3:1 이상의 광대역 주파수 대역 특성을 갖는 E-면 H 섹터 혼 배열 안테나를 설계하였다. 먼저, 일정한 공간에 위치한 다양한 신호원과의 송·수신을 위하여 일정한 반전력 빔 폭을 주사계면에서 갖도록 H 섹터 혼 안테나의 혼 길이 및 확장각에 대한 특성을 고찰하여 H 섹터 혼 안테나를 설계

하였다. 또한, 배열 구조에서 발생하는 상호 결합 특성을 고찰하기 위하여 도파관 시뮬레이터를 이용하였으며, 3:1 주파수 대역에서 -10 dB 이상의 능동 반사 손실을 얻었다. 그레이팅 로브를 억제하기 위한 배열 간격을 만족하도록 급전 구조를 TEM-TE₁₀ 모드 변환기를 후면 급전 방식으로 설계하였고, 이 옷한 포트와는 상호 교번하도록 하여, E-면 선형 위상 배열 안테나를 설계하였다. 제작된 8×1 E-면 선형 위상 배열 안테나의 반사 손실은 ±60° 경계 부분에서 약 0.4~0.5의 능동 반사 계수를 가지며, 빔 조향 각 0°를 중심으로 대부분의 빔 조향 영역에서는 0.3 이하의 능동 반사 계수를 3:1 광대역 주파수 대역에서 얻었다. 광대역, 광각의 특성을 갖는 입력 포트가 8개이고, 배열 포트가 8개인 마이크로스트립 로트만 렌즈를 이용한 빔 조향된 복사 패턴의 침투치는 능동 소자 패턴의 패턴과 비교적 잘 일치함으로써 능동 소자 패턴으로 빔 조향 패턴을 예측할 수 있음을 확인하였다. 또한, 측정된 주사계면 반전력 빔 폭은 30~50°의 범위로 일정한 영역에 위치한 신호원과의 송·수신을 위한 시스템에 매우 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 이철수, 소준호, 조훈근, 이정문, 김상기, "Broad-

band constant beamwidth characteristics of widely flared H-plane sectoral horn antenna", *APMC*, pp. 411-414, 1995.

[2] W. L. Barrow, L. J. Chu, "Theory of the electromagnetic horn", *Proc. IRE*, vol. 27, pp. 51-64, 1939.
 [3] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, N. Y., 1993.
 [4] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley and Sons, N. Y., 1989.
 [5] D. M. Pozar, "The active element pattern", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 42, no. 8, pp. 1176-1178, 1994.
 [6] W. L. Stuzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley and Sons, N. Y., 1998.
 [7] Mark Kragalott, Willam R. Pickles, and Michael S. Kluskens, "Design of a 5:1 bandwidth stripline notch array from FDTD analysis", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, no. 11, pp. 1733-1741, 2000.
 [8] Y. Tikhov, I. S. Song, J. H. Won, and J. P. Kim, "Compact broadband transition from double-ridge waveguide to coaxial line", *Electron. Lett.*, pp. 530-532, 2003.

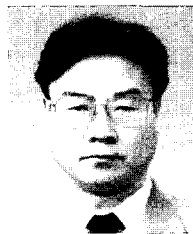
이 철 수



1990년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 3월~현재: 국방과학연구소
 2002년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 전자파 전파, 광대역 위상 배열 안테나

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 9월: Virginia Tech. 전자파 전파 (공학석사)
 1988년 9월: Virginia Tech. 전자파 전파 (공학박사)
 1978년 3월~1983년 2월: 국방과학

연구소

1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
 1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
 1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수
 2002년 3월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EM-ERC) 센터장

[주 관심분야] 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체 영향