

마이크로스트립 슬로트의 원형 위상배열 안테나 설계

(A design of a circular phased-array antenna with microstrip slots)

林 桂 在* · 高 城 璿** · 尹 賢 普*
(Gye Jae, Lim* · Sung Sun, Ko** · Hyun Bo, Yoon*)

要 約

排列素子간의 급전 위상차에 의하여 放射 빔의 방향을 조정할 수 있고 指向성과 利得을 높일 수 있는 마이크로스트립 슬로트 素子が 圓形으로 排列된 位相 排列 안테나 시스템을 提案 設計하였다.

排列된 슬로트의 수와 圓의 반경을 변화시켜 요구되는 指向성과 利得을 얻을 수 있으나, 본 연구에서는 4개의 마이크로스트립 슬로트를 원주의 接線방향으로 排列시키고 바랙터 다이오드를 사용한 아나로그 移相器로 안테나 소자에 급전시켜 40°까지 放射 빔을 조정시킬 수 있는 位相排列 안테나시스템을 분산과 불연속 특성을 고려하여 10 GHz에서 마이크로스트립 선로로 製作하였다.

측정 결과는 이론과 잘 일치하였으며, 64개의 마이크로스트립 디스크 패치를 矩形排列시킨 경우⁽¹⁾와 비교하였을 때 배열 소자의 수를 고려한 안테나의 성능이 전반적으로 향상되었음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

A noble phased-array antenna of the circular form with microstrip slots was designed for steering the radiation beam and increasing the directivity and gain.

The directivity and gain could be controlled, varying the number of slots and the radius of a circle, but here, the 40° beam scanning antenna system was achieved by tangentially arranging 4 microstrip slots on a circumference and the analog phase shifter was used to adjust phase difference in the adjacent elements.

And such a system has a microstrip configuration taking the effects of the line dispersion and discontinuities into account at 10 GHz.

The experimental results were fairly agreed with theoretical values, and this circular phased array had an improved performance over the rectangular phased array with 64-microstrip patches⁽¹⁾ in a view of the number of array elements.

I. 서 론

안테나 素子の 排列 방법과 각 排列素子에 급전되

는 전력의 크기 및 排列素子간의 位相차에 따라 안테나의 利得, 빔 패턴 및 빔의 방향 등을 변화시킬 수 있는 位相排列 안테나 시스템(Phased array antenna system)^{(2) (3)}은 빔의 방향을 電子的으로 조정하므로써 임의의 방향으로 빔의 高速 走査가 가능하여 電子戰用, RADAR, 移動通信 및 海사통신, 衛星通信 시스템 등에 이용되고 있다.

位相 排列 안테나는 1960年 Cottony와 Wilson⁽⁴⁾

* 正會員, 東國大學教 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., DongGuk Univ.)

**正會員, 韓國移動通信 株式會社
(Korea Mobile Telecommunications Co.)

의 7개 Yagi 안테나를 線形排列시킨 연구를 시작으로 다양한 형태의 안테나 소자에 대한 위상 배열 이론 연구뿐만 아니라 실용화가 이루어져 왔으며, 특히 근년에는 마이크로스트립 안테나 소자의 장점을 이용한 초고주파 대역에서의 위상 배열 안테나에 대한 연구가 매우 활발하게 진척되고 있다.

1970년대에 Yoshimura⁽⁵⁾는 마이크로스트립 슬롯 안테나의 放射特性을 발표하였으며, 또한 양면 기판에 마이크로스트립 안테나 素子를 이용한 位相排列 연구⁽¹⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾가 진행되어 왔고, 특히 1981年 F. W. Cipolla⁽¹¹⁾는 안테나의 指向性和 利得을 높이기 위한 방법으로 마이크로스트립 디스크 패치를 8×8 평면 矩形排列(planar rectangular array)시키므로써 7.5GHz에서 19.6dB의 利得 및 45°의 빔 走査角을 얻은 결과를 발표한 바 있다.

그러나 안테나의 指向性和 利得을 높이기 위해 反對板을 이용할 경우 안테나 시스템의 부피가 커지는 단점 때문에 단일 기판에 製作 가능하고 비교적 적은 수의 排列素子로써 放射진력을 집중시켜 指向性和 利得을 높일 수 있으며 側葉(side lobe)을 억압시킬 수 있는 等方性(isotropic)素子를 평면 圓形 排列(planar circular array)시키는 理論的인 방법이 M. T. Ma⁽⁹⁾, G. M. Royer⁽¹⁰⁾, H. P. Coleman⁽¹¹⁾, R. W. Redlich⁽¹²⁾ 및 F. Watanabe⁽¹³⁾ 등에 의하여 발표된 바 있다.

本 論文에서는 보다 적은 수의 안테나 소자를 이용하여 指向性和 利得을 높이고 빔의 調整이 용이하며, 측엽의 放射 레벨을 낮추기 위해 마이크로스트립 슬롯 素子를 圓形 排列시킨 位相 排列 안테나의 빔 走査特性을 연구하였다.

여기서 指向性和 利得을 높이기 위하여 길이에 비해 폭이 좁고 급전이 용이한 4개의 마이크로스트립 슬롯 素子를 반경 0.75λ인 원주에 평면 圓形 排列시키고 급전 位相差를 갖는 신호를 인가함으로써 動作 周波數 10GHz에서 40°의 빔 走査角을 얻을 수 있는 位相 排列 안테나 시스템을 提案 設計하였으며, 각 안테나 소자의 위상을 DC 전압으로 용이하게 調整할 수 있도록 하기 위해 바랙터 다이오드를 이용한 아나로그 移相器⁽¹⁴⁾를 위상조절용으로 사용하였다.

세부 설계 사양으로서 마이크로스트립 슬롯과 급전선로와의 임피던스 정합을 용이하게 하기 위하여 offset 급전방식⁽²⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾을 사용하였으며, 각 排列素子에 동일한 전력을 공급하고 급전선로에서의 位相 遲延誤차를 방지하기 위하여 corporate 전력분배

급전방식⁽³⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾을 채택하였다.

II. 마이크로스트립 슬롯의 圓形 位相 排列

일반적으로 排列 안테나의 解析 및 合成理論은 排列되는 각 素子들을 等方性 소자로 가정하여 이론적인 연구가 수행되고 있으나, 실제로 배열 안테나를 실현하는 경우에 等方性 素子를 이용하는 것은 매우 어려운 문제이다.

특히 다른 평면 排列방법보다 적은 수의 素子를 사용하여 指向性이 높은 빔을 만들 수 있도록 非等方性 素子가 사용된 圓形排列 안테나의 解析 및 合成理論은 等方性 素子를 사용한 경우를 기초로 하나 사용된 非等方性 素子의 遠距離 電界(far-field) 패턴에 대해서는 각 비등방성 素子가 排列되어 있는 방향을 고려하여야 하기 때문에 등방성 소자를 이용하는 경우보다 복잡한 전개가 필요하다.

본 연구에서는 非等方性 素子로써 평면 排列이 가능하고, 小型, 輕量인 장점을 갖는 마이크로스트립 슬롯을 그림 1과 같이 圓形排列시켜 이에 대한 遠距離 電界 패턴에 대한 수식을 전개하였으며, 이와같은 圓形排列 안테나에서 빔의 走査 방향을 調整하기 위해서는 각 素子에 급전되는 상대적 位相差를 변화시켜야 하므로 원하는 빔의 走査를 위해 각 소자가 가져야 할 위상차 관계를 고찰하였다.

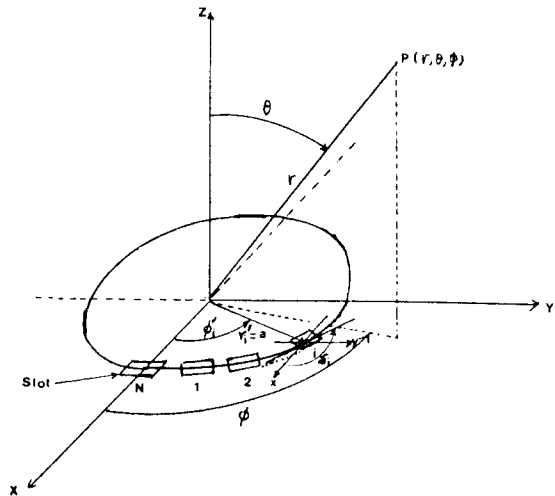


그림 1. 마이크로스트립 슬롯 素子를 사용한 圓形 排列.

Fig 1. The circular array using the microstrip slot elements.

그림 1과 같이 N개의 마이크로스트립 슬로트 素子를 반경 a인 원주에 圓形으로 排列시킬 경우, 排列素子の 경우, 排列素子の 各 個別素子は 모두 동일(identical)하나 동일방향을 향하여 排列되지 않으므로(dissimilarly oriented), P(r, θ , Φ)점에서의 正規化된 전체 遠距離 電界는

$$E_r(\theta, \Phi) = \sum_{i=1}^N f_i(\theta, \Phi) I_i \exp [j \{ ka \sin\theta \cos(\Phi - \Phi_i') + \alpha_i \}] \quad (1)$$

과 같이 된다.⁽⁹⁾

여기서 i번째 마이크로스트립 슬로트 素子が 갖는 遠距離 電界 패턴 $f_i(\theta, \Phi)$ 는 x 軸방향에 놓인 기준 마이크로스트립 슬로트의 遠距離 電界 패턴 $f_{rf}(\theta, \Phi)$ 에 대해서 i번째 슬로트素子の 위치에 따라 임의의 방향으로 角度 δ_i 만큼 회전된 방향으로 향하게 되므로 i번째 슬로트素子の 遠距離 電界 패턴 $f_i(\theta, \Phi)$ 는

$$f_i(\theta, \Phi) = f_{rf}(\theta, \Phi - \delta_i) \quad (2)$$

과 같이 변환되며, i번째 슬로트素子の 위치에 따라 임의의 방향으로 회전된 角度 δ_i 는

$$\delta_i = \pi/2 + \Phi_i' = \pi/2 + 2\pi i/N \quad (3)$$

이다.

마이크로스트립 슬로트 素子를 이용한 圓形 位相 排列 안테나의 빔走査特性은 放射 패턴 式(1)에서 각 素子에 급전되는 상대적 位相差 α 와 급전 振幅 I_i 에 영향을 받는다.

각 素子에 급전되는 상대적 位相差 α 의 차이는 位相 排列 안테나의 放射 패턴에서 主빔과 側葉의 방향 및 크기에 영향을 주고 급전 振幅 I_i 의 차이는 主빔과 側葉의 크기에 영향을 주는 역할을 한다.

여기서는 급전 振幅이 모두 동일한 $I_i=1$ 인 상대만을 고려한다. 이때 等方性 素子の 圓形 排列 理論에서 원하는 방향(θ_0, Φ_0)에서 최대의 主빔을 갖도록 각 素子에 급전되는 상대적 位相差 d_i 를 결정하기 위해서 cophasal excitation⁽¹⁰⁾ 이론에 의해 인가되어야 할 각 소자의 위상차 d_i 는

$$\alpha_i = -ka \sin\theta_0 \cos(\Phi_0 - \Phi_i') \quad (4)$$

이다.

마이크로스트립 슬로트 素子の 圓形 位相 排列 안테나에서 式(4)를 式(1)의 α 에 대입하므로써 원하는 방향으로 최대의 빔을 合成할 수 있으며 연속적인 빔走射를 위해 각 素子에 인가될 상대적 位相差의 연속적인 변화가 가능하여야 한다.

만일 원하는 최대 빔의 走射 방향에서 方位角 방향을 $\Phi_0=0^\circ$ 로 놓으면 최대빔의 走射 방향은 仰角 방향 θ_0 에 대해서만 변화한다. 이때 i번째 素子の 위치 $\Phi_i' = 2\pi i/N$ 이므로 式(4)는

$$\alpha_i = -ka \sin\theta_0 \cos(2\pi i/N) \quad (5)$$

가 된다.

여기서 圓의 반경 a를 일정하게 두고 仰角 θ_0 를 0° 에서 90° 까지 변화시킬 수 있도록 하기 위해서는 i번째 素子の 位相差 α_i 가 0° 부터 $-ka \cos(2\pi i/N)$ 까지 변화되어야 한다.

또한 빔 走査를 위해 個別素子에 인가되어야 할 位相差 α 의 變化幅은 圓의 반경 a에 비례하고 素子の 수 N에 반비례하므로 인가되는 位相差 α 의 變化幅을 적게하기 위해서는 반경을 줄이고 素子の 수를 증가시켜야 한다.

II. 設計 및 製作

動作周波數 10GHz에서 指向性을 높이고 급전 位相差를 주어 $\theta=40^\circ$ 까지 빔을 走査시킬 수 있는 마이크로스트립 슬로트가 圓形 排列된 位相 排列 안테나와 빔을 走査시키기 위한 아나로그 移相器를 포함한 위상 배열 안테나 시스템을 마이크로스트립 급전선로로 구성하여 設計 製作하였다.

位相 排列 안테나의 排列 素子로 사용된 마이크로스트립 슬로트 안테나는 그림 2와 같이 한쪽면에는 마이크로스트립 급전선로와 다른쪽면인 接地面에는 放射 슬로트로 구성되어 있으며 급전선로로 傳播된 에너지가 슬로트를 여기(exitation)시켜 放射된다.

마이크로스트립 슬로트 素子は 슬로트의 길이 L에 대한 폭 W_0 에 따라 wide 슬로트와 narrow 슬로트로 분류되며 급전 방식에 따라서는 中央 급전과 offset 급전으로 구분된다.

슬로트를 여기시키는 방법으로 유전체 기판을 통해 단락시키는 방법과 슬로트로부터 급전선로의 開放段까지 $\lambda/4$ 거리를 두어 等價的으로 단락시키는

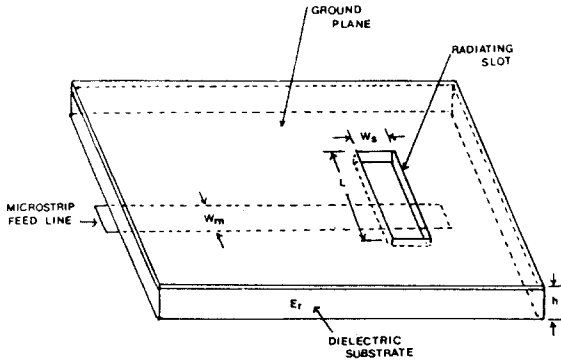


그림 2. 마이크로스트립 슬롯 素子와 급전선로.
Fig. 2. The microstrip slot element and a feed line.

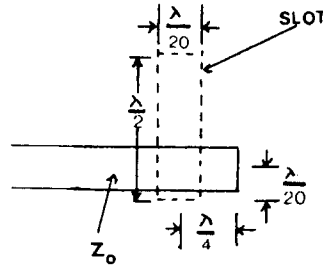


그림 4. 마이크로스트립 슬롯 소자와 급전방식 설계.
Fig. 4. The designed configuration of a microstrip slot element and the feeding method.

방법이 있다.

narrow 슬롯 안테나에 대한 等價回路는 그림 3과 같으며 슬롯을 여기시키는 電流 $I(x) = |x|$ 가 인가되면 슬롯의 放射抵抗은 참고문헌 [2]에서 구해진다.

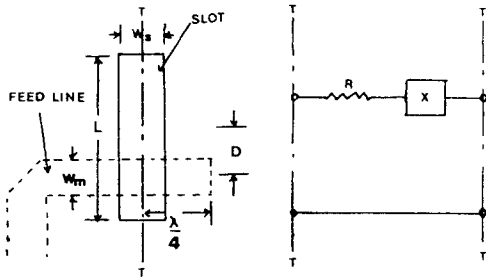


그림 3. narrow 슬롯 안테나의 等價回路
Fig. 3. The equivalent circuit for a narrow slot antenna.

이때 슬롯의 共振 길이는

$$L = \frac{\lambda_s}{2} - 2\Delta l \quad (6)$$

이며 λ_s 는 슬롯의 파장이고 $2\Delta l$ 은 슬롯 길이의 확장을 나타낸다.

그림 4은 設計된 마이크로스트립 슬롯 素子와 급전방식을 나타내고 있다.

Narrow 마이크로스트립 슬롯 안테나의 共振 길이 L과 폭 W_s 의 設計값은 각각 $\lambda/2$ 와 $\lambda/20$ 이고 動作周波數 10GHz의 자유공간 파장 λ 은 30mm이다.

設計에 사용된 급전 방식은 그림 3에서 D/L 가 증

가하면 放射抵抗이 감소되므로 급전 선로와 슬롯 간의 임피던스 정합이 좋은 offset 급전위치는 슬롯 끝으로부터 $\lambda/20$ 인 위치⁽¹⁶⁾를 택하였으며 급전선로가 마이크로스트립 슬롯을 $\lambda/4$ 를 지나쳐 等價的으로 단락시켜서 슬롯을 여기시키는 방법을 택하였다.

다음에 마이크로스트립 슬롯이 圓形으로 排列된 位相 排列 안테나를 設計하기 위하여 式(1)과 式(5)를 이용하였다.

單一圓에서 圓의 반경, 마이크로스트립 슬롯의 수 및 빔 走査角에 따라 主빔의 指向性和 利得이 비교적 높으며 側葉의 크기와 수가 비교적 적고 仰角 방향으로 빔 走査角 θ_0 를 40° 까지 변화시킬 수 있도록 반경 a가 0.75λ 인 圓에 마이크로스트립 슬롯의 수 N는 4개를 xy 평면에 圓形 排列시켰다.

그림 5는 設計된 마이크로스트립 슬롯의 圓形 位相 排列 안테나의 放射座標界를 나타내었으며, 표 1에는 仰角 방향으로 빔 走査角 θ_0 (XZ 면)를 40° 까

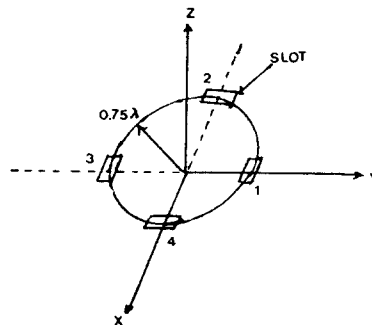


그림 5. 圓形 位相 排列 안테나의 座標界 設計.
Fig. 5. Coordinates of a designed circular phased-array antenna.

표 1. 빔 走査를 위하여 각 素子에 인가된 位相差.

Table 1. A difference of the phase excited to each element for a beam scanning.

SLOT \ θ°	0	10°	20°	30°	40°
1	0	0	0	0	0
2	0	46.9°	92.35°	135°	173°
3	0	0	0	0	0
4	0	-46.9°	-92.35°	-135°	-173°
	(360°)	(313.1°)	(267.65°)	(225°)	(187°)

지 조정하기 위하여 각 排列 슬로트 素子에 여기시키야 하는 cophasal excitation⁽⁹⁾에 의한 位相差의 값 α ($i=1 \dots 4$)를 나타내면, 2번과 4번 슬로트 素子에 인가시키는데 필요한 位相 變化의 폭은 180° 정도이고 2번과 4번 슬로트 素子사이의 位相 遲延 差異는 /2이다.

設計 및 製作에 사용된 테프론 기판은 比誘電率이 2.48이고 두께가 1.6067mm이며, 급전선로의 각 設計 값에 대한 마이크로스트립 선로의 폭과 과장을 分散 特性을 고려한 式⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾들을 이용하여 계산한 결과 10GHz의 周波數에서 $Z_0=50\Omega$ 에 대한 폭과 과장은 각각 4.3596mm와 19.127mm이며 각 排列 素子에 동일 전력을 分配하기 위해 50 Ω 선로로부터 동일하게 分枝되는 $\sqrt{2} Z_0=70.7\Omega$ 선로에 대한 폭과 과장은 각각 2.4457mm와 19.2822mm이다.

또한 마이크로스트립 선로의 開放段 不連續(open end discontinuities)에 대해서는 10GHz 周波數에 대한 선로 확장(line extension) 길이 0.6026mm를 補正 하였다.

排列 素子에 급전시키기 위한 급전 선로에서 垂直으로 切인 부분의 不連續를 補償하였고 서로 다른 폭을 갖는 50 Ω 선로와 70.7 Ω 선로의 연결부분의 不連續 역시 $\lambda/4$ 임피던스 變換시켜 tapering 처리하였

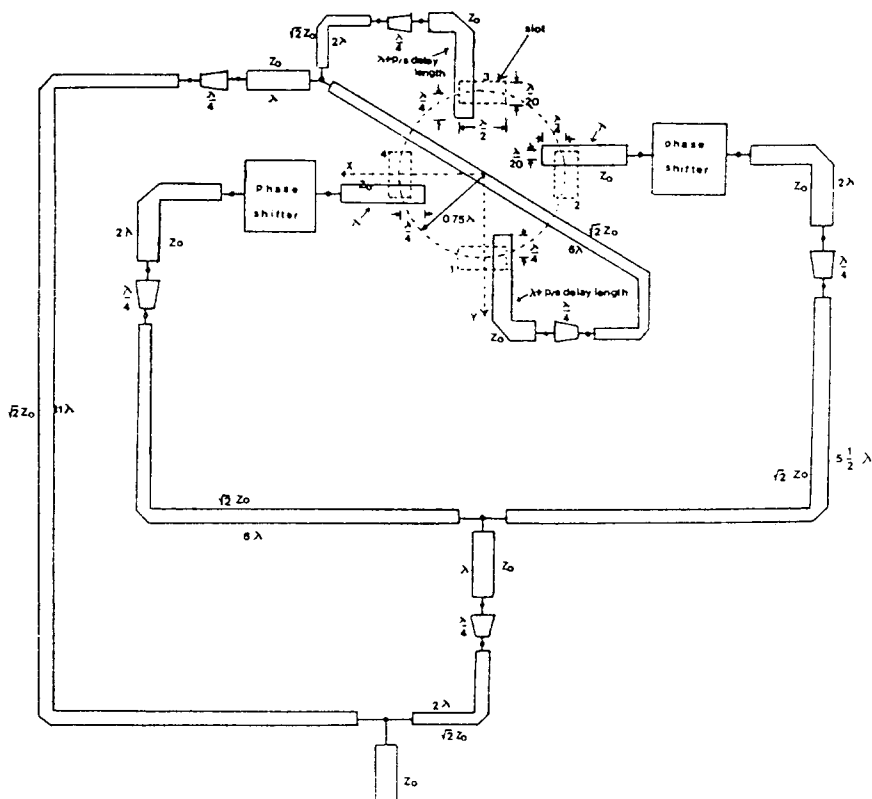


그림 6. 마이크로스트립 슬로트의 圓形 位相排列 안테나시스템 및 마이크로스트립 급전선로

Fig 6. The designed configuration of a circular phased-array antenna system of microstrip slots and a microstrip feed line.

으며 각 배열 素子까지의 급전선로에서 발생될 수 있는 位相遲延 誤差를 방지하기 위하여 선로를 각 파장의 整數倍로 設計하였다.

그림 6은 設計된 마이크로스트립 슬롯의 圓形 位相 배열 안테나 시스템 및 narrow 슬롯에 offset 급전시키고 corporate 급전방식으로 設計된 마이크로스트립 급전선로를 나타내었다.

提案된 마이크로스트립 슬롯의 圓形 位相 배열 안테나 및 아나로그 移相器를 포함한 마이크로스트립 급전선로를 양면기판인 테프론 기관에 寫眞 腐植 法으로 製作하였다.

IV. 實驗 및 結果檢討

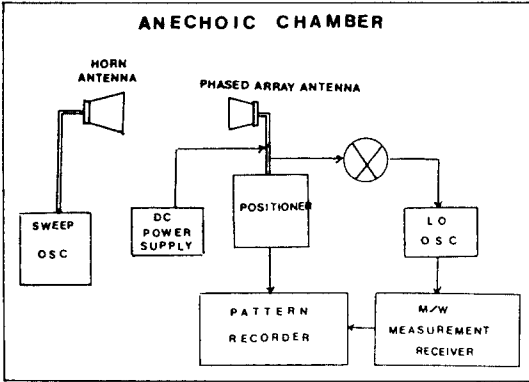


그림 7. 位相 배열 안테나의 放射 패턴 測定 시스템
Fig 7. The system for measuring the radiation pattern of a phased array antenna system.

그림 7은 位相 배열 안테나 시스템의 放射 패턴을 測定하는 시스템의 構成圖으로써 주위의 반사를 최소화하고 遠距離 電界의 θ_0 에 대한 放射 패턴의 빔 走射 特性 및 利得을 比較 測定하기 위해 無反響室에서 送信은 혼 안테나를 이용하였으며 受信은 피측정 안테나인 位相 배열 안테나를 사용하여 방향(xz)으로 180° 회전시키고 逆바이어스 전압을 공급하며 測定 하였으며, return loss의 측정은 Network Analyzer를 사용하였다.

그림 8은 測定된 位相 배열 안테나의 return loss로써 動作 周波數 10GHz에서 -19dB(VSWR 1.25)를 얻었으며, 이것은 corporate 마이크로스트립 급전선로를 통해 동일하게 공급된 전력이 각 마이크로스트립

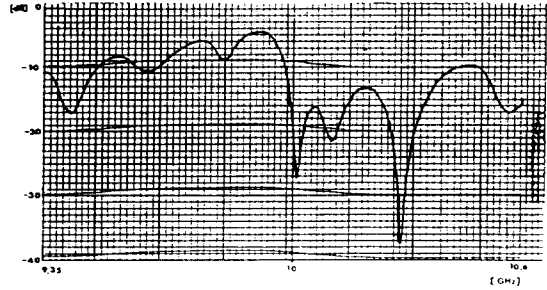


그림 8. 位相 배열 안테나의 return loss 測定
Fig 8. The measured return loss of a phased array antenna.

슬롯 素子와 offset 급전되어 放射 抵抗이 적게 되므로써 각 슬롯 素子를 여기시켜 放射 特性和 임피던스 정합 특성이 매우 양호함을 알 수 있었다.

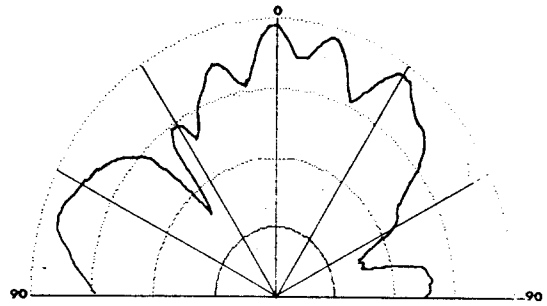
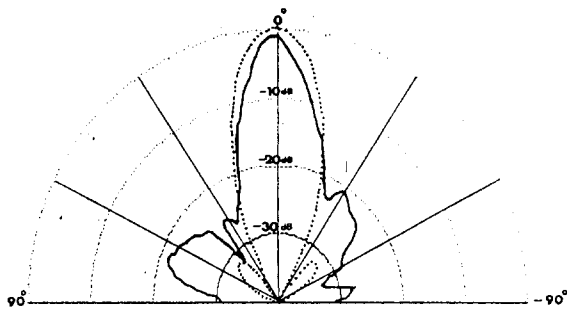


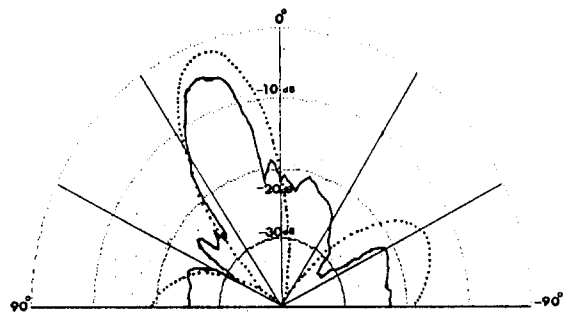
그림 9. 不要 輻射의 차폐없이 位相 배열 안테나의 broad side 빔에 대한 放射 패턴 測定.
Fig 9. The measured radiation pattern for the broad side beam of a phased array antenna without shielding from the undesired radiation.

그림 9는 測定된 位相 배열 안테나의 broad side 빔에 대한 放射 패턴으로써 마이크로스트립 슬롯 안테나면인 接地面에 유기된 表面 電流分布 및 마이크로스트립 급전선로와 進원선로로부터 발생하는 不要電磁波의 輻射로 인하여 발생된 側葉이 主빔의 크기와 거의 같게 되므로 각 배열 素子에 인가된 상대적 位相差에 의한 主빔의 調整이 불가능하여 不要 輻射로 인한 側葉을 억압시켜야 할 것으로 본다.

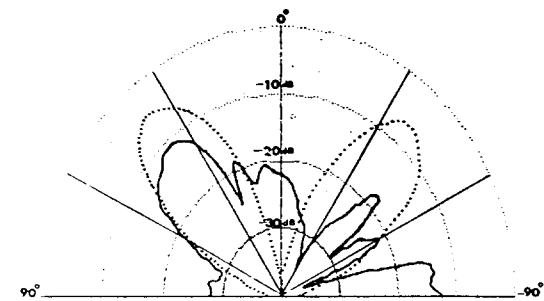
그림 10은 製作된 位相 배열 안테나 시스템을 알루미늄판과 은박지를 이용 housing시켜 接地面 및 급전선로로부터 발생하는 不要 輻射를 차폐시키고 측정 한 방사 패턴이다.



(a) broad side beam $\theta_0 = 0^\circ$



(b) beam steered to $\theta_0 = 20^\circ$



(c) beam steered to $\theta_0 = 40^\circ$

..... 이론치
 —— 측정치

그림 10. 不要 輻射의 차폐후 位相 排列 안테나의 仰 角 방향 θ_0 에 대한 放射 패턴 測定.

Fig 10. The measured radiation pattern for the elevation angle θ_0 of a phased-array antenna with shielding from the unwanted radiation.

逆 바이어스 전압을 조정함에 따라 인가된 급전 位相差에 의하여 測定된 θ_0 에 대한 빔 走査特性을 나타내는 仰角 放射 패턴을 設計 理論에 의한 放射 패턴

표 2. 位相 排列 안테나 시스템에 放射特性에 대한 理論 및 實驗값의 比較.

Table 2. The comparison of theoretical values and experimental data for the radiation characteristics of a phased-array antenna system.

슬롯 2의 給電移相器		슬롯 4의 給電移相器		逆바이어스 電壓(V)		빔 走査角($^\circ$)		HPBW($^\circ$)		側 葉(dB)	
		理論값	實驗값	理論값	實驗값	理論값	實驗값	理論값	實驗값	理論값	實驗값
0	-20	0	2	14	10	-34	-21				
-10	-10	20	21	14	10	-15	-18				
-20	0	40	38	14	10	-7	-14				

과 比較하여 나타내었다.

표 2에는 位相 排列 안테나 시스템의 放射特性에 대해 式(8)과 式(14)를 사용하여 계산한 放射패턴의 理論값과 그림 10의 測定 결과를 比較한 것이다.

여기서 빔 走査角의 理論값은 $\theta_0=0^\circ$ 에서 40° 이고 測定값은 $\theta_0=2^\circ$ 에서 38° 로써 2° 이내의 차이로 理論값과 잘 일치되고 있으며, 半電力 빔 幅은 理論값의 경우 14° 와 測定값의 경우 10° 로 理論값보다 4° 정도 빔 幅이 감소되었다.

또한 側葉分布는 理論값의 경우 -7dBi 이하였으며, 測定값의 경우에는 -14dBi 이하로 理論값에 비해 전반적으로 상승되었음을 알 수 있었다.

또한 마이크로스트립 슬롯을 圓形 排列시킨 경우의 半電力(3dB) 빔 幅의 測定값은 10° 와 理論값은 14° 로써 單一 마이크로스트립 슬롯의 경우의 40° 인 仰角 放射패턴의 빔폭과 比較하면 圓形으로 마이크로스트립 슬롯을 排列한 것의 指向性이 향상되었음을 알 수 있다.

그리고 등방성 안테나와 比較한 位相 排列 안테나의 broad side 빔에 대한 利得은 약 5dBi 로 測定되었다.

빔 走査角의 理論값과 測定값에서 2° 의 차이는 製作된 마이크로스트립 급전선로에서의 位相 遲延 誤差 및 아나로그 移相器의 傳送 損失에 대한 實驗 결과⁽³⁾에서 逆 바이어스 전압이 증가하면 傳送 損失이 증가하여 전력 損失이 커지게 되므로 급전 位相差의 진달이 감소되는 것으로 볼 수 있다.

또한 理論的인 計算결과와 比較하여 빔의 왜곡과

null의 발생이 많아지는 것 역시 位相差를 증가하기 위하여 각 移相器에 逆 바이어스 전압을 변화시킬 경우 傳送 損失의 증가로 인해 2번 및 4번 슬롯 素子에 전달되는 電流전력의 감쇄와 DC 逆 바이어스 전압으로 조정되는 아나로그 移相器에서 DC 바이어스가 測定 裝備로 유입되는 것을 방지시키기 위해 製作된 DC block에 의한 電流전력 損失 때문이며, 또한 유한한 接地面, 電波的인 接地의 불안정 및 相互 結合으로 인한 고차모드의 발생때문으로 볼 수 있다.

아나로그 移相器에 의해 電流된 마이크로스트립 슬롯 素子 4개를 반경 0.75λ인 원주에 圓形으로 排列시킨 位相排列안테나 시스템을 設計 製作하여 測定한 결과 10GHz에서 -19dB(VSWR 1.25)의 return loss, 5dBi의 broad side 빔에 대한 利得, 10°의 半電力 빔폭을 갖는 指向性, 逆 바이어스 전압에 따라 電流 位相差를 증가시킬 경우 2°에서 38°까지 36°의 仰角방향의 빔走査角 및 -14dBi 이하의 側葉 分布를 얻은 것은 마이크로스트립 디스크 패치 64개를 8×8形 排列시키고 상대적 位相差를 증가하는 방법으로 pin다이오드 디지털 移相器를 사용한 F.W.Cipolla¹⁾의 7.5GHz에서 19.6dBi의 利得, 8°의 빔 幅, 빔 走査角 45° 및 -14dBi 이하의 側葉 分布를 얻은 결과와 비교할 때 사용된 排列 안테나 素子의 수를 고려하면 本 論文의 實驗결과가 使用周波數와 半電力 빔 幅, 指向性, 빔 走査角 및 側葉分布 면에서 양호한 결과로 볼 수 있다.

V. 結 論

排列 素子 간의 電流位相差에 의하여 放射 빔의 방향을 調整할 수 있고 指向性과 利得을 높일 수 있는 마이크로스트립 슬롯 素子가 圓形으로 排列된 位相 排列 안테나 시스템을 提案 設計하였다.

排列된 슬롯의 수와 圓의 반경을 변화시켜 요구되는 指向性과 利得을 얻을 수 있으나, 여기에서는 4개의 마이크로스트립 슬롯을 원주의 接線방향으로 排列시키고 아나로그 移相器를 사용 안테나 시스템을 電流시키 $\theta=40^\circ$ 까지 放射 빔을 走査시킬 수 있는 位相排列 안테나 시스템을 線로의 分散 및 不連續에 따른 길이 변화를 고려하여 10GHz에서 마이크로스트립 線로로 製作하였다.

位相 排列 안테나 시스템의 빔 走査 特性을 測定한 결과 放射 빔의 방향은 $\theta=2^\circ$ 에서 38°까지 走査되어

計算한 빔 走査角 $\theta=0^\circ$ 에서 40°와의 차이는 2°이내로 잘 일치하였다.

이 시스템의 測定된 파라미터들은 -19dB(VSWR 1.25)의 return loss, -14dBi 이하의 側葉分析, broad side 빔에 대한 5dBi의 利得 및 10°의 半電力 빔幅을 나타내었다.

마이크로스트립 슬롯을 圓形 排列시킨 경우와 單一 마이크로스트립 슬롯의 경우 放射 빔의 半電力 빔 幅을 비교하면 각각 10°와 40°로써 圓形 排列시킨 경우의 指向性이 향상되었다.

本 안테나 시스템과 7.5GHz에서 45°의 빔走査角, -14dBi 이하의 側葉分布, 19.6dBi의 利得 및 8°의 빔 幅을 얻은 64개의 마이크로스트립 디스크 패치를 矩形排列시킨 경우와 排列안테나의 수를 고려하여 비교하면 本 안테나 시스템의 性能이 전반적인 안테나 파라미터들에 대하여 더 좋은 결과를 나타내었다.

位相 排列 안테나 시스템은 양면기판에 마이크로스트립 線로로 製作하므로써 小型輕量이며 寫眞腐植에 의해 製作되므로 大量生産이 가능하다.

또한 마이크로스트립 슬롯의 圓形 位相排列 안테나의 放射빔은 θ 방향으로 走査되며 仰角 放射패턴의 指向性은 향상되므로 垂直방향으로 분산된 시스템과의 通信에 應用될 수 있다.

周波數가 점차 높아짐에 따라 안테나의 指向性과 利得을 높이기 위하여 많은 排列素子가 사용되므로 평면排列 안테나의 排列방법에 따른 放射 빔의 最適化에 관한 연구와 電流線로의 구조가 복잡해짐에 따른 多層 構造, 相互結合, 位相遲延誤差 및 不要輻射로 인한 側葉의 발생을 제거시키기 위한 超高周波 시스템의 電磁波 障害(EMI) 문제등에 대한 課題가 계속 연구될 필요가 있다.

또한 位相排列 안테나의 放射빔을 調整하기 위하여 마이크로 프로세서와 연결하여 사용하기 위한 control 회로 등에 관한 연구와 設計製作의 精密度를 높이는 문제 등을 해결하고자 하는 연구가 계속 필요할 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

- (1) F.W. Cipolla, "A 7.5GHz Microstrip Phased Array for Aircraft to Satellite Communication", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-29, No. 1, pp.166-171, Jan. 1981.

- (2) I.J. Bahl and P. Bhartia, Microstrip Antennas: Artech House, Washington, 1980.
- (3) J.R. James, P.S. Hall, and C. Wood, Microstrip Antenna Theory and Design: Peter Peregrinus Ltd., London, 1981.
- (4) S. Haykin, Array Processing: Dowden Hutching & Ross, Inc., Pennsylvania, pp. 6-15, 1980.
- (5) Y. Yoshimura, "A micro stripline Slot Antenna", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. MTT-20, No. 11, pp. 760-762, Nov. 1972.
- (6) R.E. Munson, "Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-24, No. 1, pp.74-78, Jan. 1974.
- (7) G.G. Sanford, "Conformal Microstrip Phased Array for Aircraft tests with ATS-6", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-26, No. 5, pp.642-646, Sep. 1978.
- (8) J.S. Yee and W.J. Furlong, "An Extremely Light Weight Fuselage Integrated Phased Array for Airborne Applications", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-29, No. 1, pp.178-182, Jan. 1981.
- (9) M.T. Ma, Theory and Application of Antenna Arrays: John Wiley & Sons, Inc., New York, 1974.
- (10) G.M. Royer, "Directive Gain and Impedance of a Ring Array of Antennas", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-14, No. 5, pp.566-573, Sep. 1966.
- (11) H.P. Coleman, "An Iterative Technique for reducing Sidelobes of Circular Arrays", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-18, No. 4, pp.566-567, July 1970.
- (12) R.W. Redlich, "Sampling Synthesis of Ring Arrays", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-18, No. 1, pp. 116-118, Jan. 1970.
- (13) F. Watanabe, et al., "A Pattern Synthesis of Circular Arrays by Phase Adjustment", IEEE Trans. Antennas and propagation, Vol. AP-28, No. 6, pp.857-863, Nov. 1980.
- (14) 윤현보, 고성선, 임계재, "位相擴張用 인덕터를 사용한 하이브리드 링 결합 바랙터 反射形 아나로그 移相器", 韓國通信學會論文紙, 第15卷, 第1號, pp.71-79, 1990年 1月.
- (15) I.J. Bahl, "Build Microstrip Antennas with Paper Thin Dimensions", Microwaves, pp. 50-63, Oct. 1979.
- (16) J.D. Kraus, Antennas: Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1988.
- (17) I. Bahl and P. Bhartia, Microwave Solid State Circuit Design: John Wiley & sons, New York, 1988.
- (18) H. Howe, Stripline Circuit Design: Artech House, Washington, 1974.
- (19) V.F. Fusco, Microwave Circuits Analysis and Computer aided design: Prentice Hall, London, 1987.
- (20) 윤현보, 고성선, 백락준, "Planar Waveguide 모델을 사용한 마이크로스트립 線路의 하이브리드 모드 分散特性 計算", 韓國通信學會論文紙, 第12卷, 第1號, pp.36-49, 1987年 2月.
- (21) T.C. Edward, Foundation for Microstrip Circuit Design: John Wiley & Sons, New York, 1981.
- (22) K.C. Gupta, Microstrip Lines and Slotlines: Artech House, Washington, 1979.