

회전 주사식 위상 배열 안테나의 빔 조향 방법

A Beam Steering Method of the Rotating Scanning Phased Array Antenna

한동호* · 엄동진* · 권경일* · 홍동희*

Dong-Ho Han* · Dong-Jin Yeom* · Kyoung-Il Kwon* · Dong-Hee Hong*

요 약

본 논문에서는 평면형 도파관 스롯 배열 안테나의 빔 조향 방정식을 제시하였다. 빔 조향시 안테나 회전축의 기울기와 개구면 분포는 가장 중요한 요소이다. 빔 조향 관련 식들로 부터 원하는 빔 방향에 대한 안테나 개구면의 위상 분포 및 주파수를 구하였다. 또한 일차원 위상 배열 안테나의 변위기에 위상 데이터를 전달하는 고속 제어 알고리즘을 개발하였다. 제어 회로의 복잡성과 위상 전달시간을 줄이기 위해 직렬 중계에 의한 변위량 공급 방식을 제안하였다. 이 방식은 간단한 회로구조를 가지므로 복잡한 2차원 완전 위상 배열 안테나에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

In this paper we proposed a beam steering equation for the planar slotted waveguide array antenna. The tilt angle measured from the rotating axis and the aperture distribution of the antenna were the most important factors for the beam steering. From the equation, we calculated the frequency and phase distribution of the aperture for any desired beam direction. And we developed a high speed control algorithm delivering the phase data to the phase shifters of a one-dimensional phased array antenna. To reduce complexity of the control circuit and the phase delivery time, we proposed the serial phase repeating method. Because of its simplicity, we expect it can be useful for a large 2-dimensional fully phased array antenna.

I. 서 론

제2차 세계대전중 개발된 레이더는 이후 시작된 냉전시대를 맞이하여 비약적으로 발전하였다. 현재 까지의 레이더 발전 추세를 살펴보면, 탐지 거리 증대, 분해능 개선, 대응 시간 단축 등을 향하여 레이더 관련 기술이 지속적으로 발전해 왔음을 알 수 있고 위상 배열 안테나의 등장은 레이더 발전에 큰 기

여를 하였다.

기존의 대형 안테나는 이득이 높고 빔폭이 좁아 분해능 개선 및 탐지 거리 증대에 유리한 반면 관성이 크기 때문에 고속으로 비행하는 표적에 대한 기계적 구동에 의한 전자파 빔 조사 (beam scanning)가 어렵다. 그러나 기계적 구동이 아닌 전자적 방법에 의한 빔 조향이 가능한 위상 배열 안테나 (phased-array antenna)는 기계적 구동으로 발생하는 문제점을 제거할 수 있어 레이더의 대응시간

* 국방과학연구소 (Agency for Defense Development)

을 대폭 단축시킬 수 있다. 또한, 빔을 신속하게 임의의 방향으로 조사할 수 있기 때문에 다수의 표적과 유도탄에 대한 탐지 및 추적이 가능하며, 유도탄에 대한 지령 송·수신도 가능하게 되어 기존의 레이더에 비하여 그 기능을 고도로 다중화할 수 있게 되었다. 이러한 종류의 레이더를 다기능 레이더(multi-function radar)라 하며, 현대 유도 무기 체계에서 중추적인 역할을 한다[1].

위상 배열 레이더는 위와 같은 시스템 특성 때문에 펜슬빔(pencil beam)을 사용하며 이로 인해 팬빔(fan beam)을 사용하는 기존의 탐지 레이더에 비하여 다음과 같은 장점이 있다. 즉, 표적의 고도 정보를 알 수 있고, 클러터(clutter)와 방해전파(jamming)가 작게 수신되며, 대 방사 유도탄(anti-radiation missile)에 대해 비교적 강하다. 이와 같은 장점은 모두 안테나의 면적을 크게 하여 펜슬빔을 발생시키기 때문에 얻는 이득들이다[2].

위상 배열 안테나는 복사소자(radiating element), 급전기(feeder) 및 빔 조향 장치(beam steering unit)들로 구성되며, 급전 구조에 따라 여러 형태의 위상 배열 안테나들이 현재 사용되고 있다[3]. 모든 복사 소자들이 각각 변위기를 따로 소유하는 배열 안테나를 완전 위상 배열 안테나(fully-phased array antenna)라 부르며, 변위기의 변위량 조작으로 임의의 공간으로 전자파 빔을 조사할 수 있어 다기능 레이더에 적합하나 다량의 변위기가 요구되어 안테나 제작에 지불하는 비용이 크다.

비교적 소량의 변위기를 사용하고 여러 개의 복사 소자가 이를 공유하도록 하여 고도각 방향으로 전자파 빔을 전자적으로 조사하고 방위각 방향으로 기계적으로 회전시키는 형태의 위상 배열 안테나(그림 1)를 사용한 위상 배열 레이더는 완전 위상 배열 레이더의 주요 장점을 보유하며 경제적이어서 효율적인 다기능 레이더의 안테나로 활용될 수 있다. 즉, 안테나를 기계적으로 정속 회전시키면서 고도각 방향으로 변위기를 이용한 위상 조사(phase scan)를 하여 탐색(search)을 하고 탐지된 표적에

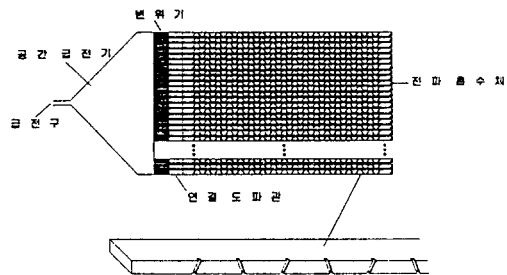
대하여 안테나 회전장치에 부하변동을 가하지 않고 사용 주파수 조정으로 확인(verify) 조사 및 추적(track) 조사를 하여 다수 표적에 대한 재원을 동시에 수집하도록 하는 것이다. 이와 같은 위상 배열 안테나를 회전 주사식 위상 배열 안테나(rotating scanning phased array antenna)라 하며, 본 논문에서는 이런 종류의 안테나를 사용할 경우 필요한 전자파 빔의 조향에 관한 방법에 대하여 고찰해 보기로 한다.

II. 평면 위상 배열 안테나

도파관 스롯 배열 안테나[4][5][6]는 도파관 슬롯을 절삭하여 복사 소자를 형성하므로 손실이 적고 급전이 용이하여 레이더용 안테나로 널리 활용되고 있다. 본 논문에서는 도파관 스롯 선형 배열 안테나를 2차원으로 적층시킨 [그림 1]과 같은 형태의 평면 배열 안테나를 고려의 대상으로 한다. 전자파 빔 조향 특성을 고찰하기 위해 먼저 안테나의 구조를 살펴보기로 하자.

2-1. 평면 배열 안테나의 복사 패턴

[그림 1]과 같이 도파관 좁은 면에 슬롯을 절삭하고 도파관 종단에 전파 흡수체를 부착하여 내부를 전자파가 진행하면서 스롯으로 빠져나가 복사되도록 한다. 인접 스롯들을 서로 교차되도록 도파관

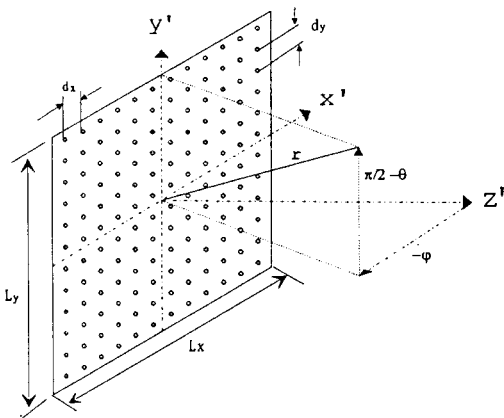


[그림 1] 평면형 도파관 스롯 위상배열 안테나 구조
[Fig. 1] Slotted waveguide planar array antenna.

을 가공하여 수평 편파의 전자파가 복사되도록 한다. 이때 스롯들의 경사각을 조절하여 수평 방향으로 Taylor 패턴이 발생되도록 한다. 제작된 선형 안테나를 수직 방향으로 적층시키고 적절한 형태의 급전기를 이용하여 선형 안테나들에 전자파를 공급하여 평면 배열 안테나를 구성하도록 한다. 이때 급전기의 전력 분배비를 적절히 조정하여 수직 방향으로 Taylor 패턴이 발생되도록 한다. 또한 변위기와 급전기 사이의 연결 도파관으로 U형 H-bend를 사용하여 변위기 및 급전기가 배열 면 뒷부분에 위치하도록 하여 [그림 2]와 같은 완전한 모습의 평면 안테나가 되게 한다.

배열 안테나의 원거리 복사 패턴(far-field radiation pattern)은 단일 복사 소자의 원거리 복사 패턴(element pattern)과 배열 패턴(array pattern)과의 곱이다. 다수의 복사 소자로 구성된 배열 안테나의 복사 패턴은 배열 패턴의 빔폭이 단일 복사 소자의 원거리 빔폭에 비해 현저히 작으므로 배열 패턴으로 대신하여도 무방하다. [그림 2]와 같은 평면 개구면에 x 방향으로 편파된 전계(E_{ax})로부터 복사되는 원거리 전계(E)는 다음과 같다[7].

$$E(\theta, \phi) = \frac{k}{4\pi\gamma} (1 + \cos\theta) |P_x(\theta, \phi)| \quad (1)$$



[그림 2] 평면배열 안테나의 수치모델

[Fig. 2] Numerical geometry of planar array.

$$P_x(\theta, \phi) = \int_{-L_x/2}^{+L_x/2} \int_{-L_y/2}^{+L_y/2} E_{ax}(x', y') \cdot e^{jk(x' \sin\theta \cos\phi + y' \sin\theta \sin\phi)} dx' dy' \quad (2)$$

배열 패턴은 복사 소자 대신 점전원(point source)을 사용했을 때의 원거리 복사 패턴이므로, 점전원으로 구성된 안테나 개구면에서는

$$P_x(\theta, \phi) = e^{-j \frac{k \sin\theta}{2} (L_x \cos\phi + L_y \sin\phi)} \sum_{m=0}^{N_x-1} \sum_{n=0}^{N_y-1} a_x(m) a_y(n) e^{j m d_x (u - u_0)} e^{j n d_y (v - v_0)} \quad (3)$$

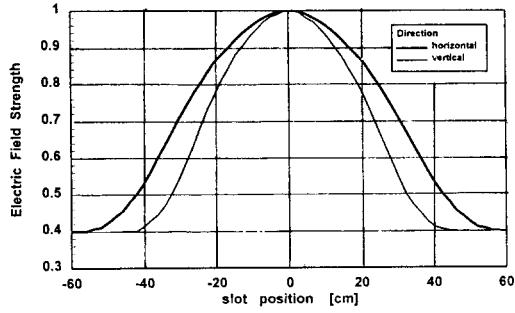
$$u = k \sin\theta \cos\phi, v = k \sin\theta \sin\phi \quad (4)$$

$$u_0 = \beta - \frac{\pi}{d_x}, v_0 = -\frac{\Delta\psi}{d_y} \quad (5)$$

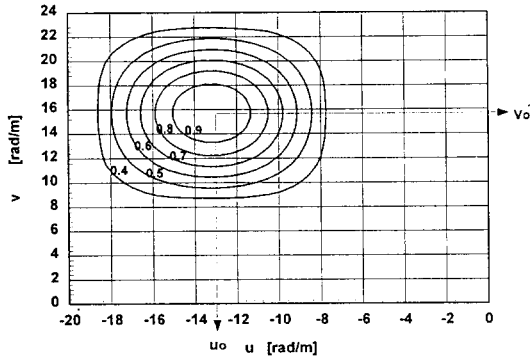
$$\beta = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2} \quad (6)$$

라 할 수 있다. 여기서 k 는 자유 공간에서의 파수 (free space wave number)이고, d_x , d_y 는 각각 x , y 방향으로의 점전원의 간격이며 N_x , N_y 는 각 방향으로의 점전원 갯수이고 L_x , L_y 는 각 방향으로의 배열 길이이다. $a_i(\cdot)$ 은 선형 안테나의 스롯에서 각각의 복사되는 전계의 분포를 나타낸다. 또한 β 는 스롯 사이의 도파관 때문에 나타나는 위상 정수이며 a 는 도파관의 폭을 나타낸다. $a_i(\cdot)$ 는 수직 방향의 급전기의 전자파 분배 특성을 나타내며, $\Delta\psi$ 는 인접한 변위기 사이의 위상차이다. 이 식을 살펴보면 급전을 위한 전계 분포는 복사 패턴에만 영향을 미치며 전자파의 복사 방향과는 무관함을 알 수 있다.

[그림 3-1]은 간격이 2 cm인 스롯 62개로 이루어진 선형 안테나 48개를 2 cm간격으로 수직으로 적층시켜 개구면을 형성하고 부엽 레벨이 30 dB이며 $\bar{n}=5$ 인 Taylor 패턴으로 안테나를 만들 때, 개구면에서의 전계의 분포이며, [그림 3-2]는 관측 각도

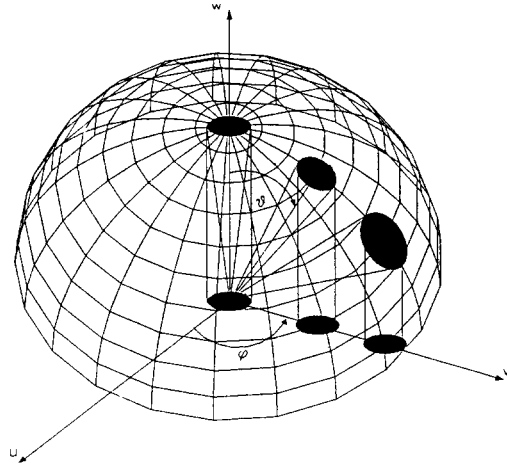


[그림 3-1] 안테나 개구면에서의 전계 강도 분포
 [Fig. 3-1] Electric intensity distribution in the antenna aperture.



[그림 3-2] 관측 각도에 따른 원거리 복사패턴의 등고선
 [Fig. 3-2] Contour of far-field radiation pattern on the observing angles.

(u, v) 에 따른 원거리 복사 패턴의 등고선을 그린 것이다. (3), (5)식으로부터 안테나 제어입력($k, \Delta\psi$)에 따라 안테나의 주빔 방향이 변화함을 알 수 있다. [그림 4]는 (4)식으로 주어지는 (u, v) 와 (θ, ϕ) 의 관계를 나타낸다. 이 그림으로부터 안테나 개구면의 법선 방향으로 빔을 조사할 때 가장 작은 빔폭을 얻을 수 있고 법선 방향으로부터 멀어질수록 빔폭이 커짐을 알 수 있다. 이와 같은 위상 배열 안테나의 빔 조향에 따른 빔폭 변화 특성은 표적에 대



[그림 4] (u, v) 와 (θ, ϕ) 의 관계
 [Fig. 4] (u, v) and (θ, ϕ) coordinates.

한 정밀 각도 측정에 어려움을 준다. 표적에 대한 각도 측정오차는 빔 모양에 따라 민감하게 변화하므로 각도 측정시 빔 조향에 따른 복사 패턴의 특성을 사전에 측정하고 이 자료를 이용해 측정값을 보정하여야 한다.

2-2. 빔 조향 명령

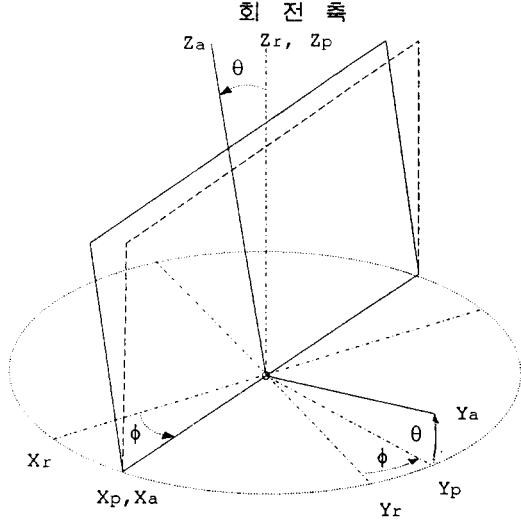
[그림 3]에서 알 수 있듯이 임의의 방향(θ, ϕ)으로 전자파 빔을 조향하기 위한 조건은 (3)식으로부터

$$u = u_0 \tag{7}$$

$$v = v_0 \tag{8}$$

임을 알 수 있고 윗 식을 만족하는 $k, \Delta\psi$ 를 (5)식으로부터 구하면 된다.

그러나 (3)식의 (θ, ϕ) 는 [그림 2]에서 보듯이 안테나 개구면을 중심으로 정의되었기 때문에 [그림 3]과 같은 모습으로 회전하는 실제 안테나의 경우에 직접 적용하는 것이 어려우므로 [그림 5]와



[그림 5] 회전주사식 위상배열 안테나에서의 좌표계
[Fig. 5] Rotating phased array antenna coordinates.

같이 몇 가지의 보조 좌표계를 사용하여 계산하는 것이 편리하다. 즉, 레이다 좌표계(x, y, z)는 표적의 위치가 정의되는 좌표계로 그 중심에 안테나 회전 장치가 위치하고 회전판 좌표계(x_p, y_p, z_p)는 안테나 회전판이 방위각 방향으로 반시계 방향으로 회전하여 발생된 좌표계이다. 또한 회전판 좌표계의 회전축에 대하여 경사시켜 과생된 좌표계를 안테나 좌표계(x_a, y_a, z_a)라 정의한다. 이 안테나 좌표계는 축을 서로 바꾸어 [그림 2]의 개구면 좌표계(x, y, z)가 되도록 한다.

평면 위상 배열 안테나는 회전축에 대하여 기울어져 회전하며 이 때의 각도를 안테나 기울각(antenna tilt angle)이라 한다. 위상 배열 안테나는 고 고도(high elevation) 빔조사시 안테나의 겉보기 개구면의 축소로 빔폭이 커지는 특성이 있어, 빔 조사 구간에서 빔폭이 일정량 이상 커지지 않도록 안테나 기울각을 조정할 필요가 있다.

Euler 변환을 이용하여 레이다 좌표계와 개구면 좌표계 사이의 관계를 구하면

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\Phi & \cos\Phi \\ -\sin\Theta\cos\Phi & -\sin\Theta\sin\Phi \\ \cos\Theta\cos\Phi & \cos\Theta\sin\Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} \quad (9)$$

이 되며 이 식을 구좌표계로 표현하고 x, y 에 대하여 정리하면

$$u_o = k \sin\theta \sin(\phi - \Phi) \quad (10)$$

$$v_o = -k \sin\theta \sin\Theta \cos(\phi - \Phi) + k \cos\theta \cos\Theta \quad (11)$$

가 된다. 또한 (2)식과 (5)식으로부터,

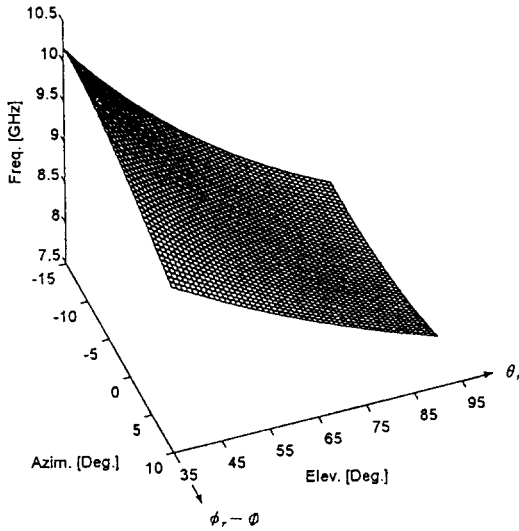
$$k = \frac{\frac{\pi}{d} \sin\theta \sin(\phi - \Phi) + \sqrt{(\frac{\pi}{d})^2 + [1 - \sin^2\theta \sin^2(\phi - \Phi)] (\frac{\pi}{a})^2}}{1 - \sin^2\theta \sin^2(\phi - \Phi)} \quad (12)$$

$$\Delta\psi = -kd_r [\cos\theta \cos\Theta - \sin\theta \sin\Theta \cos(\phi - \Phi)] \quad (13)$$

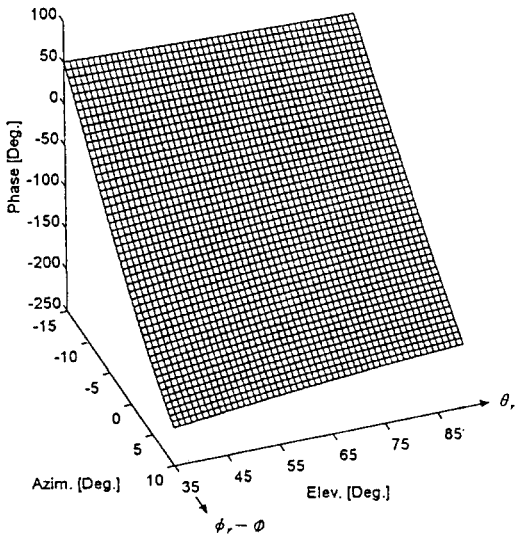
을 구할 수 있다. 여기서 k 는 파수(wave number)이며 주파수에 비례($2\pi f/c$)한다. (12), (13)식을 이용하면, 안테나 기울각이 Θ 이고 회전판이 반시계 방향으로 Φ 만큼 회전하였을 때 표적 방향(θ, ϕ)으로의 빔 조사를 위한 주파수 및 변위기의 변위량을 계산할 수 있게 된다. [그림 6]은 위의 계산 결과를 3차원 형태로 그린 것이다.

실제 회전 주사식 위상 배열 레이다의 경우 탐지, 확인 및 추적 등 3종류의 빔을 사용하는데 각 빔의 기능은 다음과 같다. 표적 발견을 목적으로 안테나 회전장치에 동기되어 사전에 예약된 고도에 조사되

는 빔을 탐지 빔(search beam)이라 한다. 탐지 빔에 의해 표적이 발견될 경우 그 존재 여부를 확인하기 위하여 사용되는 빔을 확인 빔(verify beam)이



[그림 6(a)] 주파수 명령
[Fig. 6(a)] Frequency command.



[그림 6(b)] 위상 명령
[Fig. 6(b)] Phase command.

[그림 6] 복사소자의 간격이 각가 2cm이고 안테나 기울각이 10°일때 (θ, ϕ) 방향으로 전자파 빔 조향을 위한 주파수와 위상 명령

[Fig. 6] Frequency and phase command for beam steering in the direction of (θ, ϕ). The distance between radiating elements=2 cm, antenna tilt angle = 10°.

라 한다. 이 경우 레이다 신호처리에 소요되는 시간 때문에 탐지 빔에 의한 표적 발견이 지연되고, 이로 인해 표적이 확인 빔폭밖에 존재하게 될 위험이 있다. 이를 극복하기 위하여 확인 빔 복사시 사용 주파수를 변경하여 안테나 회전과 반대 방향으로 복사각을 조정하는 역 조사(backscan)를 한다. 확인 빔에 의해 확인된 표적 주변에 다수의 빔을 형성하여 표적의 정확한 위치를 측정하고 다음 위치를 추정한다. 이 과정을 반복하는 것을 추적이라 하며, 이 때 사용된 빔을 추적 빔(track beam)이라 한다.

회전 주사식 위상 배열 안테나에서는 빔 복사 시점이 안테나 회전판에 동기되어 발생하므로 표적 방향(θ, ϕ)에 대한 빔 복사를 위한 안테나의 회전각을 계산하여야 한다. (10)식으로부터 안테나 회전각 Φ 는

$$\Phi = \phi_r - \sin^{-1} \left(\frac{u_o}{k \sin \theta_r} \right) \quad (14)$$

가 되고 안테나 회전각과 표적의 방위각(ϕ_r) 사이의 차는 주파수와 표적의 고도(θ_r)에 따라 달라짐을 알 수 있다. 또한 위의 표적에 대한 확인 빔 역 조사를 안테나 회전각이 Φ' 가 될 때 시작하는 경우 다음과 같은 관계식을 만족하는 주파수를 사용하여야 한다. 즉,

$$\frac{u'_o}{k'} = \frac{u_o}{k} \cos(\Phi' - \Phi) +$$

$$\sqrt{\sin^2\theta_r - \left(\frac{u_o}{k}\right)^2} \sin(\Phi' - \Phi) \quad (15)$$

$$u'_o = \sqrt{k'^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 - \frac{\pi}{d_s}} \quad (16)$$

$$u_o = \sqrt{k^2 - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2 - \frac{\pi}{d_s}} \quad (17)$$

이 되고 여기서 k 와 k' 는 각각 탐지 빔과 확인 빔의 파수이다. 회전 주사식 위상 배열 레이더에서는 (13)식의 위상 계산과 (15)~(17)식의 주파수 계산은 레이더 통제 컴퓨터에서 수행되며 그 결과는 안테나 빔 조향 장치 및 송·수신기 제어 장치로 전달된다. 이 경우 레이더의 실시간 작동을 위하여 통제 컴퓨터의 고속 연산 능력이 요구된다. 위의 계산을 MC68040급 CPU를 사용하여 수행한 경우 레이더의 실시간 작동에 지장을 주지는 않았으나 만약 컴퓨터의 처리 능력이 부족할 경우 연산 시간 단축을 위한 근사식이 도출되어야 한다.

Ⅲ. 빔 조향 장치

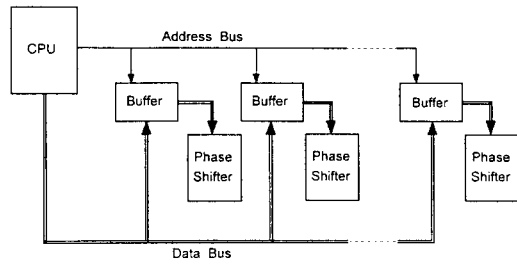
Ⅱ장에서 계산된 변위량을 변위기들에게 공급하여 전자파의 복사각을 변화시키는 장치를 빔 조향 장치(beam steering unit)라 하며 빔 조향을 위한 변위량 연산기, 변위량 분배기, 그리고 변위기들로 구성된다. 이때 사용되는 변위기는 안테나에 직접 연결되므로 전자파 손실이 작고 위상 변화 시간이 짧아야 된다. 페라이트 도파관형 변위기는 위와 같은 특성을 만족하므로 빔 조향 장치에 널리 사용된다. 이 변위기는 도파관 내부에 토로이드가 장착되어 있으며 도파관으로 유입되는 전자파를 토로이드로 통과시켜 위상이 변화하도록 하는 역할을 한다. 이 변위기는 7비트(bit)의 위상 명령을 외부에서 받아 내부의 A/D변환기 및 전류 구동회로를 이용하여 전류를 발생시켜 토로이드의 자화량을 조절하

여 내부 전자파의 위상을 변화시킨다.

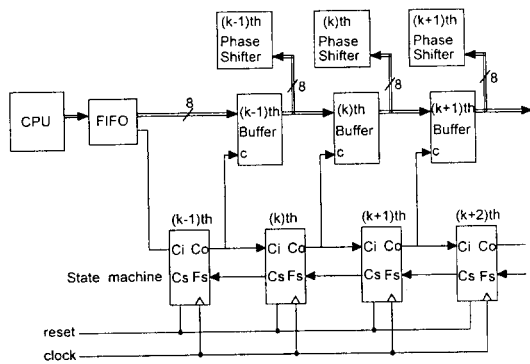
위상 배열 레이더에서는 복사된 전자파의 에너지량이 의해 레이더의 탐지 성능이 결정되므로 변위량의 계산 및 분배를 신속히 처리하여 빔의 이격 시간을 최소화하여야 한다. 따라서 변위량 연산기 및 변위량 분배기의 고속화가 요구된다. 다량의 변위기가 사용되는 완전 위상 배열 안테나인 경우, 대형 배열(large array)을 소형 배열(sub-array)의 집합이라 생각하여 빔 조향 장치 설계에 모듈식 설계 방식을 도입할 필요가 있다. 즉, 다수의 동일 소형 배열용 빔 조향 장치를 설계하고 이들을 묶어 대형 배열용 빔 조향 장치로 사용하는 것이다.

본 논문의 고려 대상인 회전 주사식 위상 배열 안테나의 빔 조향 장치도 위에서 설명한 소형 배열용 빔 조향 장치 모듈로 생각할 수 있다. 그러나 비록 소형 배열이라 할지라도 빔 조향 장치가 제어해야 할 변위기는 수 십개가 되는 것이 일반적이어서 다수의 변위기 구동에 문제가 따른다. 기존의 병렬 방식에 의한 변위량 분배기는 [그림 7-1]에서 보는 바와 같이 대부분의 실시간 컴퓨터 하드웨어에서 사용되는 방법으로 각 변위기에 주소(address)를 부여하고 위상 연산기는 공통으로 사용하는 버스(bus)를 통하여 선택된 변위기에 위상값을 전해주는 방식이다. 이 방식은 비교적 소량의 변위기를 사용하는 경우 변위량 분배에 효과적이다. 그러나 이와 같은 방법을 이용한 다수 변위기의 사용은 버스 선로의 임피던스(impedance) 감소를 가져오고 구동 회로에 대하여 낮은 출력 임피던스를 요구하여 별개의 버스 구동 회로를 필요로 하는 등 많은 문제를 유발한다.

[그림 7-2]는 새로 제안된 직렬 방식의 빔 조향 장치의 구조이며 기존의 병렬 방식에 비해 다수의 변위기에 대한 변위량 분배에 적합하다. 그림에서 보듯이 이 구조는 병렬 방식의 버스사용을 배제하고 각 변위기마다 변위량을 임시 보관하는 버퍼(buffer)를 두고 그 버퍼들을 위상 연산기로부터 순차적으로 직렬 연결시키고 각 버퍼마다 증계 회로를 구성하여 위상 연산기에 의해 연산된 변위량



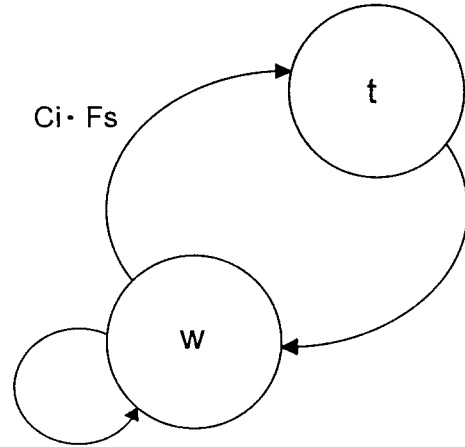
[그림 7-1] 병렬중계형 변위량 분배기
[Fig. 7-1] Parallel phase data distributor.



[그림 7-2] 직렬중계형 변위량 분배기
[Fig. 7-2] Serial phase data distributor.

을 FIFO(first-in-first-out)를 통하여 위상 연산기와 비 동기적으로 변위기에 변위량을 공급하는 것이다. 일종의 state-machine으로 구현된 중계 회로는 자체 버퍼가 비워져 있고 전방 버퍼에 데이터가 있는 경우에만 동작하여 전방 버퍼의 데이터를 자체 버퍼로 옮기고 자체 버퍼는 데이터로 채워져 있다는 선언을 하여 후방 버퍼가 데이터를 읽어가게 한 후 자체 버퍼가 비워져 있다고 재선언을 하는 역할을 한다.

[그림 8]은 중계회로의 천이도(state diagram)를 나타낸 것이며 ① 상태는 데이터를 전송하는 상태이며, k 번째 중계회로의 C_{sk} 구동하여 (k-1)번



[그림 8] 직렬 중계 회로의 천이도
[Fig. 8] State diagram of the serial repeater.

째 버퍼의 데이터를 k 번째 버퍼로 이동시키고 C_{sk} 를 통하여 k 번째 버퍼에 데이터가 유입했다는 신호를 (k-1) 번째 중계회로로 보낸다. 또한 ② 상태는 대기상태를 의미하며 출력반응을 보이지 않는 상태를 의미한다. 이 중계회로는 외부 clock에 동기되어 동작하며 $C_{sk} \cdot F_{sk}$ 가 참(true)일 때 ② 상태에서 ① 상태로 천이하며 그 다음 clock에 의하여 ② 상태로 복귀한다. $C_{sk} \cdot F_{sk}$ 가 참일 때의 조건은 (k-1)번째 버퍼에 데이터가 있고 (k+1)번째 버퍼가 비어있을 때 발생한다. 이 중계 회로는 위상 연산과 변위량 분배를 동시에 이루지게 하여 빔 조향 장치의 속도를 증가시키는 역할을 한다.

이 방식에 의하면 최초 연산된 변위량은 FIFO를 통하여 각 중계 회로를 거치면서 최종 연결된 버퍼에 도착하며, 이후 위상 연산이 계속됨에 따라 발생된 변위량은 순서대로 배열하여 최초 연결 버퍼에까지 자리를 잡는다. 위상 연산이 완료되고 FIFO가 비워지면 모든 버퍼에 있는 변위량을 동시에 변위기에 인가하여 빔 조향을 완료한다. 이와 같은 직렬 방식은 회로가 간단하며 변위기의 추가 사용을 쉽게 허용하므로 위상 배열 안테나의 빔 조향 장치에 적합한 구조라 생각할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

주파수 스캔이 가능한 회전 주사식 위상 배열 안테나에서 안테나 구조와 관련된 빔 조향 관계식을 유도하여 임의의 방향으로 전자파 빔을 복사하기 위한 조건들을 구하고 빔 복사를 위한 안테나 회전 각 및 확인 빔 사용에 필요한 역 조사 주파수를 계산하였다. 또한 빔 조향 장치의 핵심인 변위량 분배기로 기존의 병렬 버스 방식이 아닌 직렬 중계 방식을 제안하였다. 이 방식은 완전 위상 배열 안테나용 변위량 분배기로 활용될 수 있다고 생각된다.

본 논문의 결과는 실제 회전 주사식 위상 배열 레이다의 빔 조향 장치에 적용되었고 빔 조향 관계식을 이용한 임의의 공간에 정밀하게 주사되었으며 빔 조향에 필요한 변위량의 실시간 분배가 가능하였다.

참 고 문 헌

- [1] E. Brookner, *Aspects of Modern Radar*, Artech House, Inc. 1988.
 [2] P. J. Kahrilas, *Electronic Scanning Radar*

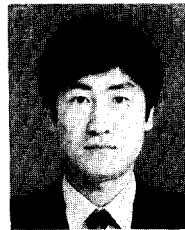
한 동 호

1988년 2월 : 아주대학교 전자공학과(학사)
 1990년 2월 : 아주대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1990년 3월 ~ 1996년 5월 : 국방과학연구소 연구원
 1996년 6월 ~ 현재 : Arizona State University

Systems (ESRS) Design Handbook, Artech House, Inc., Chap. 2, 1976.

- [3] E. Brookner, *Practical Phased Array Antenna System*, MA: Artech House, Inc. 1991.
 [4] R. S. Elliott, *Antenna Theory and Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1981.
 [5] G. T. Stern & R. S. Elliott, "Resonant length of longitudinal slots, in and validity of circuit representation: theory and experiment", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-33, pp.1264-1271, Nov. 1985.
 [6] A. J. Sangster & H. Wang, "Moment method analysis of a horizontally polarised omnidirectional slot array antenna", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propagat.*, vol. 142, No. 1, Feb. 1995.
 [7] W. L. Stutzman & G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, Inc., Chap. 8, 1981.

염 동 진



1991년 2월 : 충남대학교 전자공학과(학사)
 1993년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1993년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원

[주 관심분야] 위상배열 안테나 설계, 레이다 시스템

권 경 일



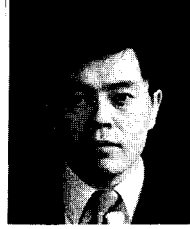
1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과
(학사)

1990년 2월 : 경북대학교 대학원 전
자공학과(석사)

1990년 3월~현재 : 국방과학연구소
연구원

[주 관심분야] 위상배열 안테나 설계 및 RCS 분야

홍 동 희



1979년 2월 : 한국항공대학 항공
전자공학(학사)

1981년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학(석사)

1987년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자공학(박사)

1987년 3월~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 안테나, 레이다 및 초고주파 시스템