

---

# 선로결합에 의한 쌍방향 능동 위상차 배열 안테나의 동작특성 향상

최영규\* · 김기래\*

High-Performance Bidirectional Active Phased-Array Antenna Coupled by Transmission Line

Young-kyu Choi\* · Ki-rae Kim\*

## 요 약

쌍방향 선로결합형 위상차 배열 발진기 결합계를 구성하고, (1) 쌍방향 주파수제어 방식, (2) 단방향 주파수 제어 방식, (3) 쌍방향 주입위상 제어방식 등 3가지 방식에 대하여 구동실험을 하였다. 시험 제작한 발진기에 구형 패치 안테나를 부착하여 2요소 능동안테나를 제작, 안테나 사이를 전송선로로 결합하여 어레이를 구성하고 결합 위상과 전송선로 길이와의 관계를 측정하였다. 전송선로로 결합된 능동 위상차 배열안테나의 주사각도에 따른 방사전력을 측정된 결과, (1)의 방식에서 빔의 방사방향은 약  $-9.8^\circ$ 에서  $+9.8^\circ$ 까지  $19.6^\circ$ , 위상차는  $-0.31\pi$ 에서  $0.36\pi$ 까지 (2)의 방식에서 빔의 방사방향은 약  $-3.8^\circ$ 에서  $+17^\circ$ 까지  $20.8^\circ$ , 위상차는  $-0.085\pi$ 에서  $0.65\pi$ 까지, (3)의 방식에서 빔의 방사방향은 약  $-17^\circ$ 에서  $+16^\circ$ 까지  $33^\circ$ , 위상차는  $-0.63\pi$ 에서  $0.59\pi$ 까지 변화하여 모두 위상차 배열동작이 가능함을 확인하였다.

## ABSTRACT

In order to increase the coupling efficiency of the power and phase of the active phase array antenna, we have fabricated the active phased-array antenna which is coupled by the transmission line, and investigated the relationship between the length of the coupling transmission line and coupling power and phase. The following three types of driving method - (1) giving the frequency difference between the two active antenna, (2) applying the input signal to the one side of the two antennas, and changing the eigen frequency of the other side antenna, (3) applying the different phase inputs to the active antennas was investigated. The experimental results showed that the interval of the antenna elements has not affected the power and the phase of the antenna.

## 키워드

Active antenna, phased-array, transmission line, antenna coupling

## I. 서 론

최근 이동통신이나 위성통신에서 마이크로파나 밀

리미터파를 이용하여 대량의 정보를 전송하고 있다. 특히 휴대전화의 폭발적인 보급에 따라 다수의 통신 채널의 확보가 주요 관심사로 부상하여 방사방향을 고속으

로 주사할 수 있는 고체 고주파원이 절실히 필요하게 되었다. 방사 전자파를 고속으로 주사하는 방법으로는 주로 위상차 배열안테나(phased-array antenna)가 사용된다. 지금까지 이러한 안테나의 위상 제어에는 주로 이상기가 이용되어 왔으나<sup>[1-3]</sup>, 주파수가 높아지면 손실이 커지므로 이상기를 이용하지 않는 안테나의 구성이 필요하다<sup>[4]</sup>. 이를 실현하는 방법으로 고체소자를 이용한 발진기와 안테나를 결합하여 능동 안테나를 구성하고, 이것을 1차원적 또는 2차원적으로 배치하는 능동 위상차 어레이안테나가 연구되고 있다. 이런 안테나에서는 각 발진기의 출력위상을 적절히 제어해야 방사방향을 고속으로 주사할 수 있다. 그런데 이러한 안테나의 고체 능동소자는 그 출력이 매우 작으므로 용도에 필요한 전력을 얻기 위해서는 다수 개 소자의 출력을 공간 중에서 합성해야만 고출력을 얻을 수 있다<sup>[5-9]</sup>. 그러나 공간 전자파를 이용하여 안테나의 출력을 결합하는 방법은 결합의 크기나 위상이 안테나 사이의 거리에 의해서 결정되므로 안테나 어레이의 구성에 있어서 그 자유도가 매우 적다는 것이 결점으로 지적되고 있다<sup>[10-11]</sup>. 고속주사, 고출력 특성을 유지하면서도 안테나배열 구성의 자유도를 향상시키기 위해서는 전송선로를 이용하여 능동안테나 사이의 결합을 취하는 방법을 생각할 수가 있다.

본 연구에서는 이러한 필요성을 배경으로 전송선로를 이용하여 결합시킨 능동안테나 어레이의 동작특성에 대하여 이론해석을 하고 실험으로 그 유용성을 확인하였다. 실험적 검증에서는 먼저 X-band 영역에서 동작하는 능동안테나를 제작하고, 발진기에 전송선로를 연결한 경우에 대하여 전송선로가 발진기의 위상차 배열 동작에 미치는 영향을 조사하였다. 시험 제작한 발진기에 구형 패치안테나를 부착하여 2요소 능동안테나를 제작한 후, 이들 사이를 전송선로로 결합하여 어레이를 구성하고 결합위상과 전송선로 길이와의 관계를 측정하였다. 시험 제작한 2요소 안테나 배열을 (1) 양방향 주파수 제어방식, (2) 단방향 주파수 제어방식, (3) 양방향 주입 위상제어 방식 등, 3가지 방식으로 구동하여 위상차 동작이 가능한지를 확인하고, 주사각도에 따른 방사전력을 측정하여 전송선로로 결합된 능동위상차 배열안테나의 동작특성을 확인하였다.

## II. 쌍방향 결합계의 위상차 배열 동작

### 2.1 발진기 결합계의 구성과 동작방정식

능동 위상차 배열 안테나를 그림 1에 보인 것처럼 발진기 결합계로 모델링하였다. 각 발진기는 결합회로에 의해 상호 동기된 상태에 있고, 그 출력은 안테나로 나온다. 또, 발진기 #1에 대해서 써큘레이터를 이용하여 주파수  $f_0$ 의 주입신호  $a_{N+1}$ 을 인가하여 주입동기 시킨다. 발진기의 등가회로는 그림 2에 보인 것처럼 부성저항 소자와 병렬공진 회로로 나타내고, 발진기의 번호를 나타내기 위하여 첨자  $i$ 를 사용하였다. 부성저항 소자의 컨덕턴스는 모든 발진기에서 같은 것으로 가정하면,

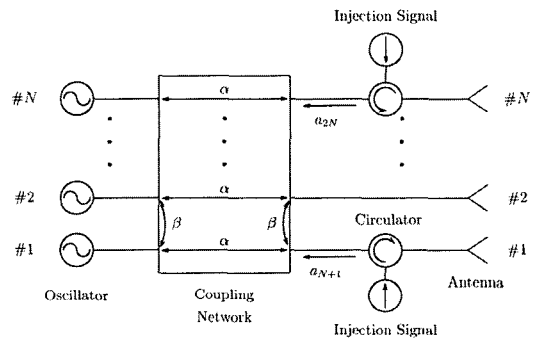


그림 1. 발진기 결합계의 구성  
Fig. 1 Schematic diagram of the coupling network oscillator.

$$G(|V_i|) = G_1 - \frac{3}{4} G_3 |V_i|^2 \quad (1)$$

로 쓸 수 있다. 결합회로의 특성을 산란행렬  $S = [S_{ij}]$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 2N$ )으로 나타내면, 주입신호를

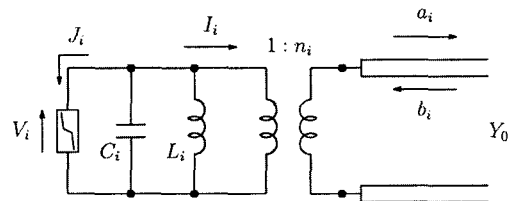


그림 2. 발진기의 등가회로  
Fig. 2 Equivalent circuit of an oscillator

$a_{N+j} (j=1, 2, \dots, N)$ 으로 나타냈을 때 실제로 발진기 # $i$ 에 주입되는 신호  $V_i^{in}$ 은

$$V_i^{in} = \sum_{j=1}^N S_{i,N+j} a_{N+j} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다. 결합회로의 산란행렬의 부분행렬  $S_m = [S_{ij}] (i, j=1, 2, \dots, N)$ 에서 결합회로의 어드미턴스 행렬  $Y_m = [Y_{ij}] (i, j=1, 2, \dots, N)$ 은

$$Y_m = (1 - S_m)(1 + S_m)^{-1} \quad (3)$$

으로 된다. 일반적으로,  $V_i, V_i^{in}, Y_{ij}$ 는 복소수이므로

$$V_i = A_i \exp(j\phi_i) \quad (4)$$

$$V_i^{in} = A_i^{in} \exp(j\phi_i^{in}) \quad (5)$$

$$Y_{ij} = |Y_{ij}| \exp(-j\psi_{ij}) \quad (6)$$

으로 놓고, 진폭과 위상으로 나누면, 발진기의 진폭  $A_i$ , 위상  $\phi_i$ 의 동작을 기술하는 미분방정식은

$$\begin{aligned} 2 \frac{dA_i}{d\tau} &= \frac{2}{Q_{ex}} \left\{ \frac{G_1}{2Y_0} \left( 1 - \frac{3}{4} \frac{G_3}{G_4} A_i^2 \right) A_i \right. \\ &\quad - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| A_j \cos(\phi_j + \psi_{ij}) \\ &\quad + \frac{1}{\sqrt{2}Y_0} \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| \cos(\phi_i + \psi_{ij} - \phi_j^{in}) \\ &\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{2}Y_0} A_i^{in} \cos(\phi_i - \phi_i^{in}) \right\} \\ -2A_i \frac{d\phi_i}{d\tau} &= \frac{2}{Q_{ex}} \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| A_j \sin(\phi_j + \psi_{ij}) \right. \\ &\quad + \frac{1}{\sqrt{2}Y_0} \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| A_j^{in} \sin(\phi_i + \psi_{ij} - \phi_j^{in}) \\ &\quad \left. + \frac{1}{\sqrt{2}Y_0} A_i^{in} \sin(\phi_i - \phi_i^{in}) - \frac{\Delta f_i}{f_0} Q_{ex} A_i \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

단,  $\tau = 2\pi f_0 t, Q_{ex} = \frac{2\pi f_0 C_i}{Y_0}$

로 된다. 여기서 발진기 # $i$ 의 고유 발진 주파수  $f_i = 1/(2\pi\sqrt{L_i C_i})$ 와 계의 동작 주파수  $f_0$ 와의 차를  $\Delta f_i = f_i - f_0$ 로 하였다. 또,  $\phi_{ij} = \phi_i - \phi_j$ 는 발진기 # $i$ 와 발진기 # $j$ 와의 전압 위상차이고,  $Q_{ex}$ 는 발진기의 외부  $Q$ 이다.

### 2.2 위상차 배열 동작의 원리

입력  $A_i^{in}$ 이 발진기 출력에 비해서 충분히 작다고 가정하면 발진기 사이의 결합계수  $\beta_0$ 도 충분히 작으므로, 각 발진기는 자려발진에 가까운 상태에 있게 된다. 따라서 발진기 전압의 진폭은 모두 같은 ( $A_1 = \dots = A_2 \equiv A$ ) 것으로 하면, 결과적으로 위상만을 고려하면 된다. 단, 발진기 # $i (i=2, \dots, N-1)$ 에는 주입신호를 인가하지 않는 ( $A_i^{in} = 0, i=2, \dots, N-1$ ) 것으로 하였다. 또, 발진기 사이의 결합위상  $\psi$ 를 0으로 하면 정상상태에 있어서 식(8)은

$$\beta_0 = A \sin(\phi_i - \phi_{i-1}) - \beta_0 A \sin(\phi_{i+1} - \phi_i) = 0 \quad (i=2, \dots, N-1) \quad (9)$$

으로,  $\phi_i - \phi_{i-1} = \phi_{i+1} - \phi_i \equiv \Delta\phi (i=2, \dots, N-1)$ 이 되어 각 발진기 출력의 위상이 모두 동일한 간격으로 되는 것을 알 수 있다.

이것을 물리적으로 설명하면 다음과 같다. 발진기 # $i$ 에서의 출력신호를  $a_i$ 로 하면, 발진기 # $i$ 에 유입하는 신호는 발진기 # $(i-1)$ 에서 오는  $\beta a_{i-1}$ 과 발진기 # $(i+1)$ 에서 오는  $\beta a_{i+1}$ 의 합이 된다.

$|a_{i-1}| = |a_{i+1}|$ 이므로  $\beta a_{i-1}, \beta a_{i-1} + \beta a_{i+1}, \beta a_{i+1}$ 의 위상은 모두 같은 간격이 된다. 발진기의 고유주파수와 유입하는 신호의 주파수는 같으므로 발진기 # $i$ 의 위상은  $\beta(a_{i-1} + a_{i+1})$ 과 같아지게 된다. 따라서 발진기 # $(i-1), #i, #(i+1)$ 의 위상이 동일한 간격을 가지게 된다.  $i=1$  및  $i=N$ 의 경우에 위상을 나타내는 미분방정식 식(8)은

$$-\beta_o A \sin(\phi_2 - \phi_1) + \sqrt{\frac{2}{Y_o}} A_1^{in} \sin(\phi_1 - \phi_1^{in}) \quad (10)$$

$$-\frac{\Delta f_1}{f_o} Q_{ex} A = 0$$

$$\beta_o A \sin(\phi_N - \phi_{N-1}) + \sqrt{\frac{2}{Y_o}} A_N^{in} \sin(\phi_N - \phi_N^{in}) \quad (11)$$

$$-\frac{\Delta f_N}{f_o} Q_{ex} A = 0$$

이 되며, 이 식들에서 발진기 사이의 위상차  $\Delta\phi$ 가 정해진다. 위상차  $\Delta\phi$ 를 만들어 내는 방식에는 여러 가지의 경우를 생각할 수 있으나, 본 논문에서는 3가지 방식을 채택하여 위상차 동작이 가능한지를 확인하였다.

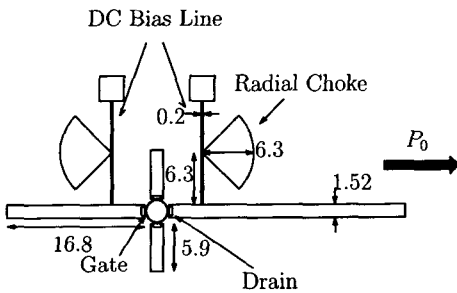


그림 3. FET 발진회로의 개형(단위 mm)  
Fig. 3 Schematic diagram of FET oscillator

### III. 발진기의 제작과 특성

#### 3.1 FET 발진기의 구성

그림 3에 시험 제작한 FET 발진기의 개형을 보였다. 발진기는 특성 임피던스가  $50\Omega$ 인 마이크로스트립 선로를 이용하여 제작하였다. 소스 단자가 2개 있는 FET이므로 각각의 단자에 길이  $L_s = 5.9\text{mm}$ 의 선로를 접속하고 그 끝을 접지함으로써 소스 접지를 취하였다. 게이트 단자에는 길이  $L_g = 16.8\text{mm}$ 의 선로를 접속하고 그 끝을 개방하였다. 출력 전력은 드레인 단자에서  $50\Omega$ 의 선

로를 부하 임피던스로 접속하여 끌어내도록 구성하였다. 길이  $L_s = 5.9\text{mm}$ 의 소스 단자는 그 끝을 기관에 구멍을 뚫어 기관 뒷면의 접지 도체와 리드 선을 이용하여 접속하였다. 게이트 및 드레인에 인가하는 직류 바이어스는 단자에서  $4.1\text{mm}$  떨어진 위치에 접속한 폭  $0.2\text{mm}$ 의 선로를 통하여 공급하였다. 바이어스 선로에는 불필요한 마이크로파가 유입하지 않도록 부채형 쇼크를 제작하여 부착하였다.

#### 3.2 발진기의 특성과 외부 Q의 특성

위상차 배열 동작에 있어서 안테나의 성능을 결정하는 중요한 파라미터로 발진기의 외부 Q( $Q_{ex}$ )가 있다. 동기 발진기에 있어서는 발진기의  $Q_{ex}$ 가 크면 고유 발진 주파수가 변하기 쉬워지므로 비동기로 되기 쉽다. 따라서 여기서는 발진기의  $Q_{ex}$ 를 주입 동기를 이용한 방법으로 측정하였다. 자려 발진 주파수  $f_1$ , 출력  $P_o$ 에서 발진하는 피측정 발진기에 대해서 주파수  $f_{in}$ , 전력  $P_{in}$ 의 주입 신호를 별도의 고풍력 발진기로 인가하였다. 주입 동기가 한계에 도달하였을 때의 주파수 차를  $|f_{in} - f_1|_{\max}$ 로 하면 발진기의  $Q_{ex}$ 는 Alder의 방정식<sup>[12]</sup>에서

$$\frac{|f_{in} - f_1|_{\max}}{f_1} = \frac{1}{Q_{ex}} \sqrt{\frac{P_{in}}{P_o}} \quad (12)$$

이 된다. 발진기가 주입 동기하고 있는 것을 스펙트럼 분석기로 관측하면서 주입 신호의 전력을 감소시켜 주입 동기에서 이탈하기 직전의 전력을 측정하였다. 또 주입 신호 전력은 방향성 결합기를 이용하여 그 일부를 모니터링함으로써 측정하였다. 발진기에 바이어스 전압  $V_{DS} = 5\text{ [V]}$ ,  $V_{GS} = 0\text{ [V]}$ 를 인가하였을 때 고유 발진 주파수  $f_1 = 8.9161\text{ [GHz]}$ , 출력  $P_o = 28.1\text{ [mW]}$ 였다. 동기 특성의 측정 결과는 그림 4와 같다. 그림 4의 점선은 실측치를, 직선은 주파수 원점을 통과하도록 직선으로 근사한 것이다. 식 (12)을 이용하여 계산하면 외부 Q는 약 34.1 정도였다.

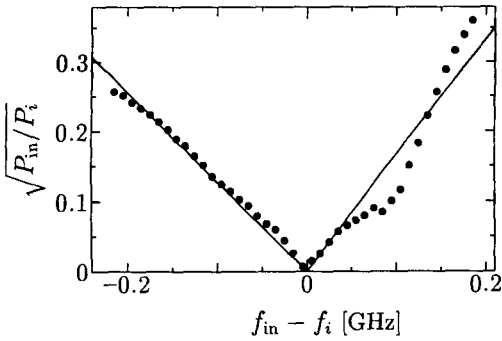


그림 4. 발진기의 동기특성

Fig. 4 Synchronous characteristics of the oscillator

### 3.3 결합선로를 접속한 발진기의 특성

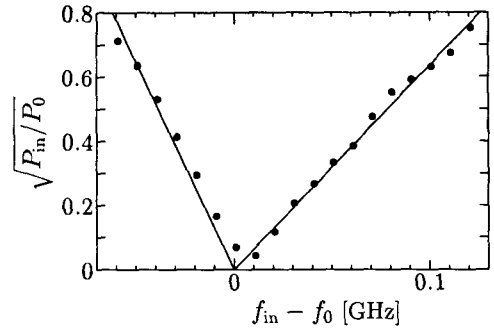
능동안테나를 결합시켜서 배열을 구성하기 위해서는 발진기 사이의 결합을 위한 회로가 필요하다. 발진기에 방향성 결합기를 이용하여 결합선로를 접속하였다. 이 선로는 폭 1.5mm, 특성임피던스가 50Ω인 마이크로 스트립선로로 결합부에는 1개의 포트를 개방시킨 방향성 결합기를 사용하였다. 바이어스전압  $V_{DS}$ ,  $V_{GS}$ 의 변화에 대한 발진주파수, 출력전력, 결합선로에의 출력전력의 관계를 관측한 결과, 결합선로가 발진특성에는 그다지 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

바이어스전압  $V_{DS} = 5[V]$ ,  $V_{GS} = 0[V]$ 에서 자려발진주파수  $f_1$ 는 8.91280GHz였다. 이 상태에서 출력선로 및 결합선로 측에서 본 동기특성을 측정한 결과를 그림 5에 보였다. 그림 3의 직선은 주파수 차의 원점을 통과하도록 직선 근사한 것이다.  $P_o$ 의 값은 각각의 선로에서의 출력전력의 값이다. 이 그림으로부터 외부 Q를 계산하면 결합선로 측에서 본 외부 Q는 약 224, 출력선로 측에서 본 외부 Q는 약 87이었다.

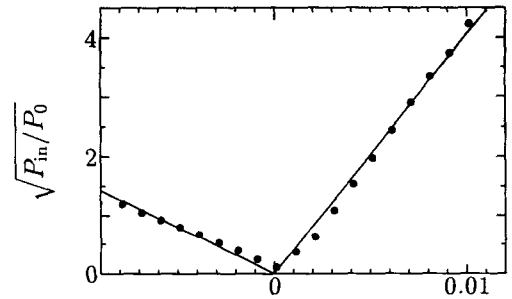
## IV. 능동 안테나 어레이

### 4.1 능동 안테나의 특성

발진기의 출력을 공간에 방사하기 위하여 구형 패치 안테나를 사용하였다. 공진주파수가 약 9GHz로 되도록 설계한 방형 패치 안테나와 FET발진기를 접속하여 능



(a) 출력측



(b) 결합선로 측

그림 5. 결합선로를 접속한 발진기의 동기특성  
Fig. 5 Synchronous characteristics of the oscillator coupled with transmission line

동안테나를 구성하였다. 출력전력과 발진주파수의 측정결과를 그림 6에 보였다.  $V_{DS}$ 를 증가시켜도 발진주파수는 그다지 변하지 않으나,  $V_{GS}$ 를 증가시키면 발진주파수는 높아진다. 출력전력은  $V_{DS}$ 의 증가에 따라 높아진다. 바이어스전압  $V_{DS} = 5[V]$ ,  $V_{GS} = -0.4[V]$ 로 하고, 주파수 9.291GHz, 전력 10mW의 신호를 입사시켜, 안테나에서 1.5m 떨어져 있는 X-band Horn 안테나로 수신 전력을 측정하여 H면 방사패턴을 그림 7에 보였다. 최고 입사전력의 약 3%가 안테나의 정면에서 수신되었다.

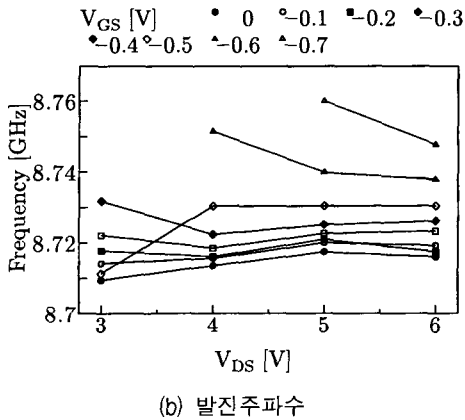
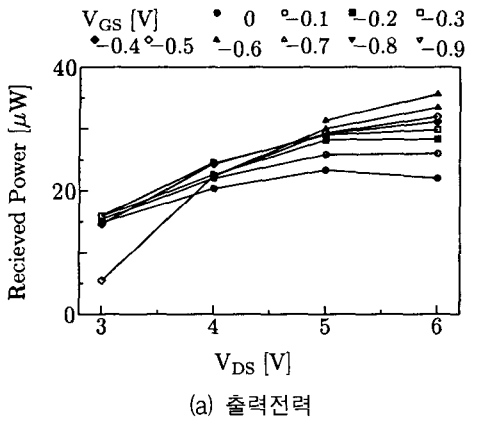


그림 6. 제작한 능동 안테나의 발진 특성  
Fig. 6 Characteristics of the fabricated active antenna

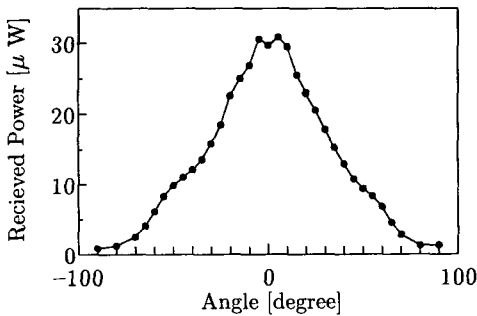


그림 7. 능동 안테나의 H면 방사패턴  
Fig. 7 H-plane radiation pattern of active antenna

4.2 능동 안테나 사이의 결합위상

능동 안테나 사이의 결합 위상을 0으로 할 필요가 있으나 결합 위상은 결합선로 길이  $L_c$ 에 의존한다. 따라서 그림 8처럼  $L_c$ 가 다른 능동 안테나를 제작하여 그들 사이의 상호동기특성에 대하여 살펴보았다. 2개의 능동 안테나의 고유주파수를  $f_1$ 로 맞추고 상호동기시의 동기주파수  $f_0$ 와 고유주파수  $f_1$ 의 차를 그림 9에 보였다. 가로축은 9GHz의 마이크로스트립 선로의 파장  $\lambda_g = 23.6[\text{mm}]$ 로 규격화하였다. 같은  $L_c$ 에서도 점이 복수개 있는 것은 복수개의 배열을 측정한 결과이다. 동상 발진인지 역상 발진인지는 방사패턴을 관측하는 것으로 판단하였다. 결합위상이 0으로 되는 것은 동상 발진하는  $L_c$  범위의 중심으로서 관측결과로 판단하면  $L_c = 1.3\lambda_g = 30.7[\text{mm}]$ 일 때 결합위상이 0으로 되었다.

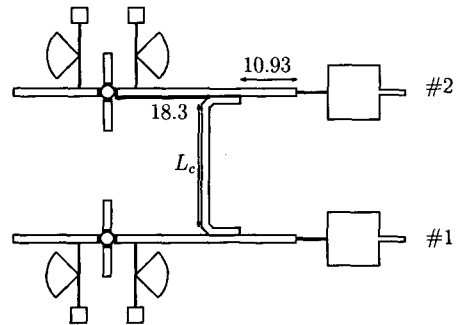


그림 8. 2요소 능동 안테나 배열의 구성(단위 mm)  
Fig. 8 Structure of 2-elements active antenna array

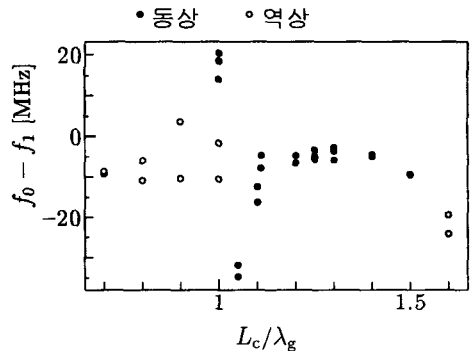


그림 9.  $L_c$ 의 변화에 따른 상호 동기주파수의 변화  
Fig. 9 Relationship between the variation of mutual oscillation frequency and the variation of  $L_c$

V. 위상차 배열 동작

5.1 쌍방향 주파수 제어 방식

각각의 안테나를 따로 구동하였을 때의 특성을 표1에 보였다.

표 1. 각 안테나의 특성  
Table. 1 Characteristics of single antenna

안테나	V <sub>GS</sub> [V]	V <sub>DS</sub> [V]	발진주파수 [GHz]	출력 [mW]
#1	-0.17	4.45	8.44962	8.50
#2	0	5.83	8.44962	8.02

두 개의 능동 안테나를 동기시키면 동상으로 동기하여 상호동기 주파수는 8.44650GHz였다. 이번 위상차 배열 동작실험에서는 안테나가 2개뿐이므로 능동 안테나 #2의 고유주파수  $f_2$ 를 고정하고 능동 안테나 #1의 고유주파수를 FET의 바이어스전압으로 제어하여  $f_0 = f_2 - \Delta f$ 로 변화시켜 실험을 실시하였다.  $\Delta f = 0$ 의 경우와 동기한 계까지 변화시켰을 때의 방사패턴을 그림 10(a)에, 방사 패턴에서 구한 방사빔의 주사각도를 그림 10(b)에 보였다. 그림 10(b)를 보면 빔의 방사방향은 약  $-9.8^\circ$ 에서  $+9.8^\circ$ 까지  $19.6^\circ$  변화였다. 또 개개의 능동안테나에서의 출력의 진폭과 위상차의 추정결과를 그림 11에 보였다. 능동안테나 사이의 위상차는  $-0.31\pi$ 에서  $0.36\pi$ 까지 변화하므로 위상차 배열 동작을 하고 있음을 알 수 있다.

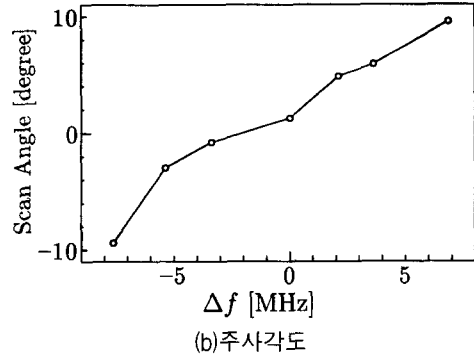


그림 10. 위상차배열 동작특성  
Fig. 10 Characteristics of phased-array antenna

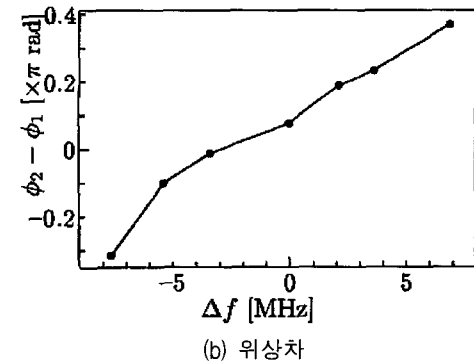
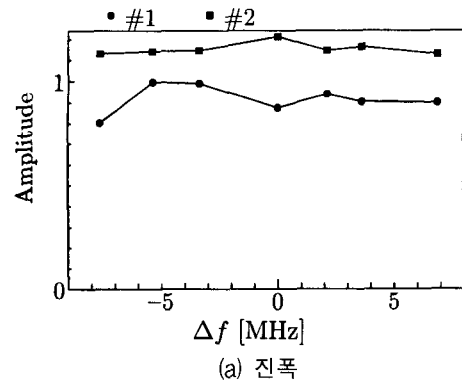
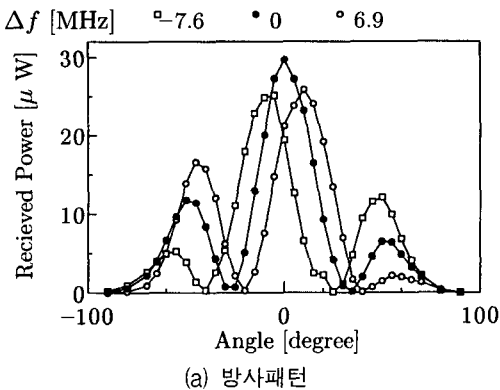


그림 11. 안테나 개체의 특성 추정결과  
Fig. 11 Assumed value of the individual antenna



5.2 단방향 주파수 제어 방식

각각의 안테나를 따로 구동하였을 때의 특성을 표2에 보였다.

표 2. 각 안테나의 특성  
Table. 2 Characteristics of the individual antenna

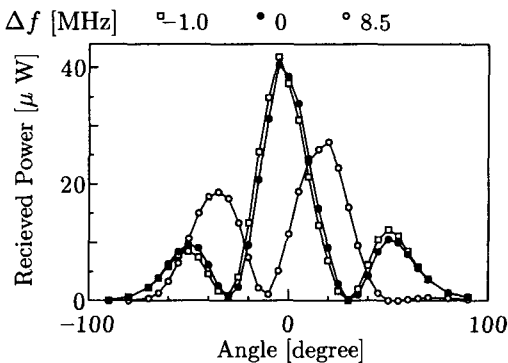
안테나	V <sub>GS</sub> [V]	V <sub>DS</sub> [V]	발진주파수 [GHz]	출력 [mW]
#1	-0.20	4.50	8.45100	8.30
#2	-0.10	2.54	8.45100	9.10

능동안테나 #2의 결합선로에서의 출력이 1.7mW였으므로 주입 신호량은 2mW로 하였다.

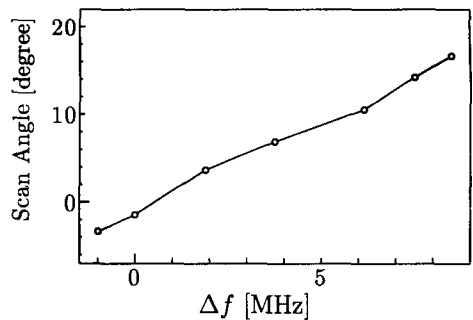
주입신호를 인가하지 않은 상태에서 능동 안테나를 상호동기시키면 동상으로 동기하여 상호동기 주파수는 8.44775GHz였으므로 같은 주파수의 주입신호를 능동 안테나 #2에 인가하였다. 이 상태에서 위상차배열동작의 실험을 실시한 결과를 그림 12에 보였다.

그림 12 (a)는  $\Delta f = 0$ 의 경우와  $\Delta f$ 를 동기한계까지 변화시켰을 때의 방사패턴이고 그림 12 (b)에는 방사패턴으로부터 구한 방사빔의 주사각도를 나타낸다. 또 개개의 안테나에서의 출력의 진폭과 위상차의 추정결과를 그림 11에 보였다. 그림 13(b)에서 빔의 방사방향은 약  $-3.8^\circ$ 에서  $+17^\circ$  까지  $20.8^\circ$  변화였다.

능동안테나 사이의 위상차는  $-0.085\pi$ 에서  $0.65\pi$ 까지 변하고 있으므로 위상 배열동작하고 있음을 알 수 있다.

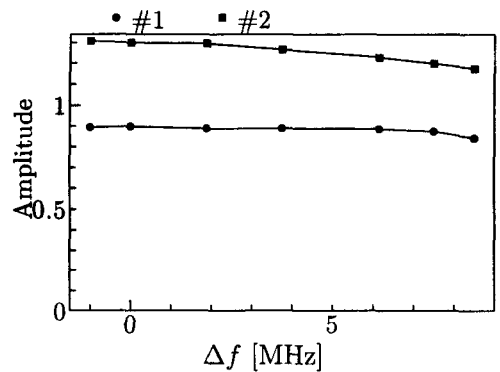


(a) 방사패턴

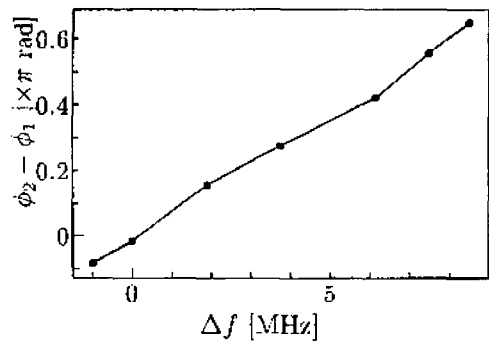


(b) 주사각도

그림 12. 위상차배열 동작 특성  
Fig. 12 Characteristics of the phased-array antenna



(a) 진폭



(b) 위상차

그림 13. 안테나 개체의 진폭과 위상의 추정결과  
Fig. 13 Assumed value of the single-element antenna



5.3 쌍방향 주입 위상 제어 방식

각각의 안테나를 따로 구동하였을 때의 특성을 표3에 보였다.

표 3. 각 안테나의 특성  
Table.3 Characteristics of single antenna

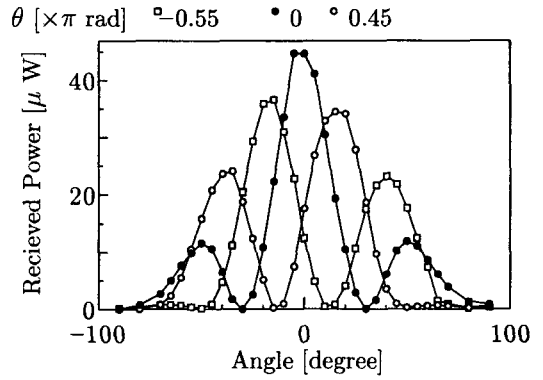
안테나	V <sub>GS</sub> [V]	V <sub>DS</sub> [V]	주파수 [GHz]	출력 [mW]	선로출력 [mW]
#1	-0.043	6.01	8.45000	9.30	1.7
#2	0	8.54	8.45100	9.30	1.8

주입 신호원의 출력을 매직 T로 2분할하여 각각의 주입신호의 한쪽에는 가동 단락기와 서큐레이터로 구성되는 이상기를 이용함으로써 주입 신호사이에 위상차를 발생시켰다. 이상기의 전력손실을 고려하여 반대측에는 감쇄기를 부착하는 것으로 같은 전력이 주입되도록 보정하고, 2개의 신호를 아이솔레이터로 주입하였다.

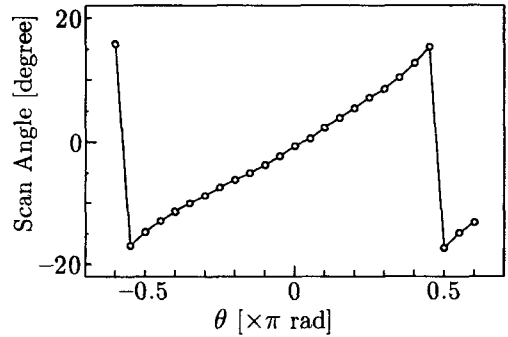
주입신호를 인가하지 않은 상태에서 능동안테나를 상호 동기시키면 동상으로 동기하고 상호 동기주파수는 8.44700GHz였다. 여기서 2mW, 8.44700GHz의 주입신호를 각각 인가하고 주입신호의 위상  $\theta$ 를 변화시켜서 위상차 동작을 시켰다. 그림 14 (a)에는  $\theta=0$ 의 경우와 방사방향이 가장 정면방향에서 벗어난 경우의 방사패턴을 나타내고, 그림 14 (b)에는 방사패턴에서 구한 방사빔의 주사각을 나타냈다. 또, 개개의 능동안테나의 출력의 진폭과 위상차의 추정결과를 그림 13에 보였다. 그림 15(b)에서 빔의 방사방향은 약  $-17^\circ$ 에서  $+16^\circ$ 까지  $33^\circ$  변화하였다. 능동안테나 사이의 위상차는  $-0.63\pi$ 에서  $0.59\pi$ 까지 변화하여 위상차배열로 동작하고 있으나 상호주입비  $\gamma$ 의 값이 대단히 커져 있는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

전송선로로 결합된 능동안테나의 위상차배열 동작에 대하여 살펴보았다. 능동 안테나의 중심적인 구성요소인 FET발진기의 구성을 보이고 시험 제작한 발진기의 특성을 측정하였다. 능동 안테나를 전송선로로 결합시킨 경우의 결합위상을 조사하고 2요소 능동 안테나를

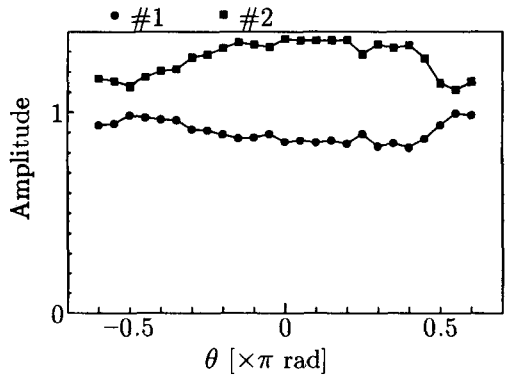


(a) 방사패턴

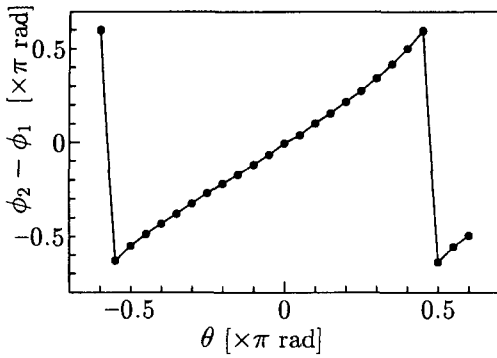


(b) 주사각도

그림 14. 양쪽 주입 위상제어방식의 위상차배열 동작  
Fig. 14 Phase characteristics controlled by the double side input



(a) 진폭



(b) 위상차

그림 15. 양쪽 주입 위상제어방식의 위상차배열  
Fig. 15 Phase characteristics controlled by the double side input

구성하여 위상차배열 동작의 실험을 실시하였다. 2개의 능동안테나에 주파수 차를 부여하는 방식, 한쪽의 능동안테나에 주입신호를 인가하고 다른 한 쪽에는 안테나의 고유주파수를 변화시키는 방식, 위상이 다른 주입신호를 능동안테나에 각각 인가하여 그 위상차를 변화시키는 방식의 3가지 구동방식에 대하여 실험을 실시한 결과 어떤 방식이라도 방사방향의 주사가 가능하다는 것을 확인하였다. 전송선로로 결합할 경우 결합의 크기나 위상이 안테나 사이의 거리에 의존하지 않게 되므로 안테나 구성의 자유도가 증가하면서도 고출력 고속주사가 가능한 능동 안테나의 위상차 배열 동작이 가능함을 확인하였다.

### 참고문헌

[ 1 ] J. F. White, " Diode phase shifters for array antennas", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol.MTT-22, no.6, pp.658-674, Jun. 1994.  
[ 2 ] F. G. Terrio, R. J. Stockton, and W. D. Sato, " A low cost P-I-N diode phase shifter for airborne phased array antennas", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol.MTT-22, no.6, pp.688-692, Jun. 1994.

[ 3 ] J. Lin and T. Itho, " Active Integrated Antennas," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol.MTT-42, no.31, pp.2186-2194, Nov. 1994.  
[ 4 ] P. Liao and R. A. York, " A new phased-shifterless beam-scanning technique using arrays of coupled oscillators," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT-41, pp. 1810-1851, Apr. 1993.  
[ 5 ] K. J. Russell, "Microwave power combine techniques", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol.MTT-27, no.5, pp. 472-478, May 1979.  
[ 6 ] K. Chang and C. Sun, "Millimeter-wave power combine techniques", IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol.MTT-31, no.2, pp. 91-107, Feb. 1983.  
[ 7 ] Gong-ro Lin, T. S. Hwang, Y. H. Chuang, Y. H. wng and C. L. Pan, "Broad-band(20GHz) Laser diode based optoelectronic microwave pahse shifter," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech. vol. MTT-22, no. 6, pp. 1419-1426, Oct. 1998.  
[ 8 ] A. J. Seeds, " Microwave photonics," Microwave Theory & Tech., vol. MTT-50, no.3, pp.877-887, Mar. 2002.  
[ 9 ] M. Sanagi, M. Kageyama, S. Nogi, and K. Fukui, "Frequency controlled phased array of coupled microwave oscillators with phased-locked end," Asia-Pacific Microwave Conf. Proceeding, 2, pp. 940-943, 1995  
[10] K. D. Stephan, " Inter-injection-locked oscillators for power combining and phased array," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT-44, pp. 1017-1025, Jul. 1986.  
[11] J. Lin, S. T. Chew, and T. Itho, " A Unilateral Injection-Locking type active phased array for beam scanning", IEEE MTT. Int. Microwave Symp. Digest pp. 1231-1234, Jul. 1994.  
[12] R. Adler, " A study of locking phenomena in oscillators", Proc. IRE, 34, pp. 351-357, 1946.

## 저자소개



최 영 규(Young-Kyu Choi)

1981년 중앙대학교 공과대학  
전자공학과 공학사

1988년 교토대학(일본)대학원  
전자공학과 공학석사

1992년 동 대학원 공학박사

1992 ~ 1995년 국립후쿠이대학(일본) 전자공학과  
전임강사

1998년 ~ 현재 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수  
※ 관심 분야: 광전소자, MMIC, 광통신, 광센서



김 기 래(Ki-Rae Kim)

1986년 서강대학교 공과대학  
전자공학과 공학사

1988년 동 대학원  
전자공학과 공학석사

1998년 경남대학교 대학원 전자공학과 공학박사

1988 ~ 1993년 삼성전자(주) 정보통신연구소  
선임연구원

1999년 ~ 현재 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수  
※ 관심 분야: 무선통신, 이동통신, RFID, MMIC