

## 차량충돌방지용 레이더를 위한 76~77GHz대의 마이크로스트립 패치 배열안테나 설계

朴商吾 · 鄭天錫

電子工學科

### <요약>

본 논문에서는 GaAs 기판을 이용하여 차량충돌방지용 레이더(Radar)을 위한 마이크로스트립 패치 배열안테나(Microstrip Patch Array Antenna)를 제안하였다. 제안한 안테나의 중심주파수는 76~77 GHz이다. 이 안테나는 좁은 범폭(Beam Width)과 이득(Gain)을 고려하여 전체 64개의 소자를  $8 \times 8$  배열로 구성하여 균일 분포로 병렬급전 하였다. 일반적인 Duroid 기판을 사용하면 최소 선폭 (0.127 mm)보다 더 작아져서 구현하는데 어려움이 있다. 이것을 GaAs 기판을 사용함으로써 그 문제를 해결하였다. 그 결과 이득은 9.88 dBi, 반사손실(Return Loss)은 -28.79 dB, 범폭은  $12.34^\circ$ , 부엽준위(SLL: Side Lobe Level)는 -14 dB, 그리고 중심주파수(Center Frequency)는 77.47 GHz로 나왔다. 따라서 이 결과를 통해서 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)에서 사용하는 GaAs 기판을 사용함으로써 MMIC소자와도 연결하여 동일 기판 위에 집적 할 수 있음을 확인하였다.

## The Design of The Microstrip Patch Array Antenna for The Anti-crash Radar System

Park, Sang-O · Jung, Chun-Suk

Dept. of Electronics Eng.

E-mail: grenfish@hotmail.com, mrjung@uou.ulsan.ac.kr

### <Abstract>

In this paper, a micro-strip patch array antenna on GaAs substrate is proposed for

automotive radar preventing cars from crashes. The center frequency of the proposed antenna is 76~77 GHz.

In order to get narrow beam width, low side lobe level, and high gain, the array on each substrate is composed of 8×8 array elements with a corporate feeding network. When it was used the common duroid substrate, it is found difficulty in the implementing because of line width smaller than minimum line width(0.127 mm). This problem is solved by using GaAs substrate. As a result, the antenna on the GaAs substrate has shown a gain of 9.88 dBi, return loss -27.79 dB, beamwidth 12.34°, side lobe level -14 dB and center frequency 77.47 GHz. From the result, it is possible that the proposed antenna is integrated with MMIC device when using GaAs substrate.

## I. 서 론

현재 도로를 주행하는 차량의 증가로 인해 많은 사고들, 즉 인재와 천재에 의해 발생되는 교통사고가 사회문제화 되고 있다. 자연재해에 의해 발생한 천재나 운전자들의 부주의에 의한 인재로 나누어 볼 수가 있고, 특히 우리 나라는 세계 교통사고 1위라는 불명예스런 기록을 가지고 있기도 하다. 또한 천재는 눈, 비나 안개 등의 기상 악화로 인해서 운전자의 시야가 좁아졌을 때 더욱 그러하다. 소비자들은 사고를 예방할 수 있는 기술을 요구하며 세계 각국에서는 이러한 요구에 부응하는 예방기술을 개발하고자 박차를 가하고 있는 실정이다.

차량충돌방지 시스템은 주행환경을 검지한 후 충돌위험을 운전자에게 경고하고 알고리즘에 따라 차량을 제어할 수 있어야 한다. 시스템은 레이더(안테나)를 포함하는 RF부분과 알고리즘에 따라 신호를 처리하는 신호처리부분으로 나눌 수 있다. 차량용 레이더는 일반 레이더와는 달리 작은 크기의 차량, 오토바이, 사람 등의 장애물을 탐지하고 구별해야 하기 때문에 좁은 빔 폭의 특성을 가져야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서 차량용 센서 시스템이 갖추어야 할 핵심적인 기술은 날씨와 다양한 도로 환경에 무관하게 안정적인 시스템 신뢰도를 유지하기 위한 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) 고효율 차량용 레이더 설계이다. 이 FMCW 방식의 레이더는 과거의 모노펄스방식보다 시스템이 간단하고 저가격인 이유로 더 선호되고 있다. 또 하나의 핵심적인 기술은 레이더를 통해 전해진 신호를 분석하여 차량 충돌 경보 발생 시에 차량의 충돌 회피 동작을 위한 절차를 신속하고 정확하게 처리할 수 있는 알고리즘의 구현이라 할 수 있겠다.

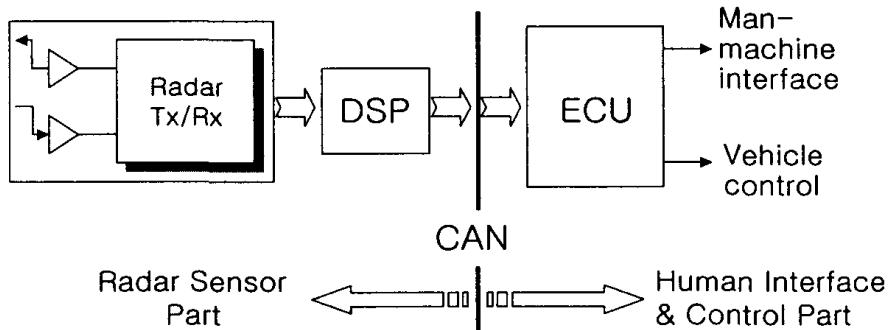
전체적인 이득을 높이고, 좁은 빔 폭을 얻기 위하여 배열을 기본적으로 사용한다. 하지만 주파수가 매우 높고 파장( $\lambda_0 = 3.95\text{mm}$ )이 매우 짧기 때문에 실제 전기적 길이도 유전율에 따라서 더 짧아지므로 일반적인 유전체 기판(Duroid)을 사용한다면 최소 선폭(0.127mm)보다 더 작아져서 에칭이나 실제 구현을 하는데 문제점이 발생하게 된다. 따라서, 선 폭에 구애받지 않기 위해서 GaAs 기판(웨이퍼)을 이용하여 MMIC기술을 접목시켜 이 문제를 해결하고자 한다. GaAs는 유전율이 12.9로서 상당히 높기 때문에 패치 폭이 작아지고 선 폭도 상당히 작아지만 제작을 하기에는 마이크로 기술을 이용하기 때문에 문제가 생기지는 않는다. 하지만 많은 부분에서 손실을 발생시킬 수가 있다는 문제점을 가져오게 된다.

본 논문에서는 이러한 점에 입각해서 일반 기판(Duroid)과 웨이퍼(GaAs)를 이용해서 설계를 하여 시뮬레이션 결과를 비교하였고, 모두 좁은 빔 폭을 얻기 위해서  $8 \times 8$  배열로 64개의 소자를 균일 분포 배열로 동일 급전하여 설계를 하였다.

본 논문에서는 이러한 점에 입각해서 일반 기판(Duroid)과 웨이퍼(GaAs)를 이용해서 설계를 하여 시뮬레이션 결과를 비교하였고, 모두 좁은 빔 폭을 얻기 위해서  $8 \times 8$  배열로 64개의 소자를 균일 분포 배열로 동일 급전하여 설계를 하였다. 제 2장에서는 차량충돌 방지 시스템과 레이더를 소개하였고, 제 3장에서는 마이크로 스트립 안테나와 배열 안테나를 이해하는데 도움이 될 수 있도록 간단한 이론을 소개하였다. 제 4장에서는 단일 패치 안테나와 배열안테나를 설계하고 시뮬레이션을 한 결과를 나타내었고, 제 5장에서는 설계에 대한 결론을 맺고 발생한 문제점과 해결방법을 제시하고 향후과제를 나타내었다.

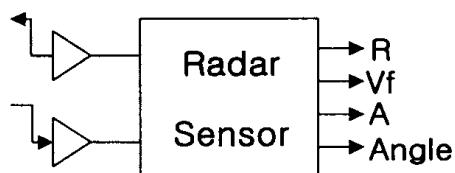
## II. 차량충돌방지시스템

그림 2-1은 차량 충돌 방지 시스템을 고려한 블록다이어그램이다[1][2][3][4].



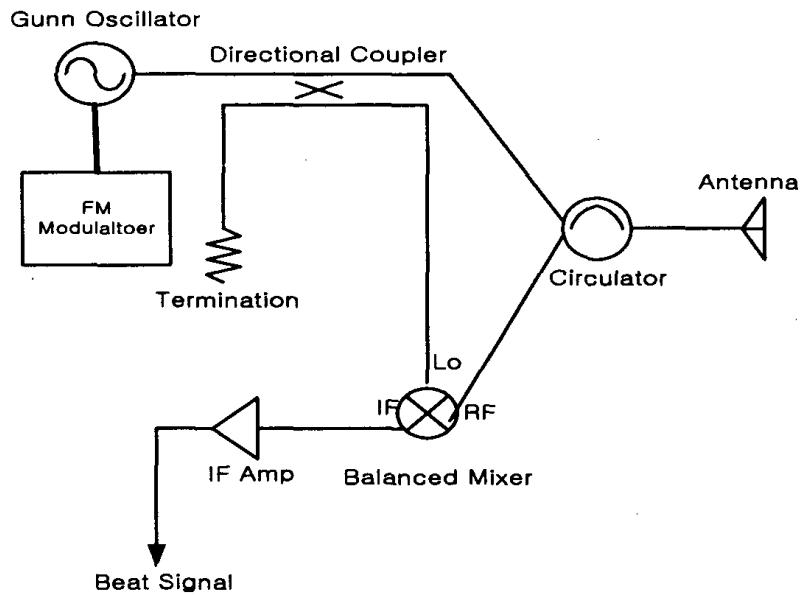
[그림 2-1] 차량충돌방지 시스템

시스템은 크게 두 개의 부분으로 나눌 수 있다. 첫째는 전방의 물체를 감지하기 위한 FMCW 레이더[그림 2-2]이고, 둘째는 레이더를 통해서 전달받은 신호를 처리하는 회로부분이다. 회로 부분은 레이더의 신호를 DSP(Digital Signal Processing)를 이용하여 처리하고 적절한 대응책을 위해 CAN(Controller Area Network) 프로토콜을 이용하여 ECU (Electronic Control Unit)와 통신을 하고 충돌 방지를 위해 ECU에서 보낸 제어신호를 통해서 차량을 제어하게 된다.

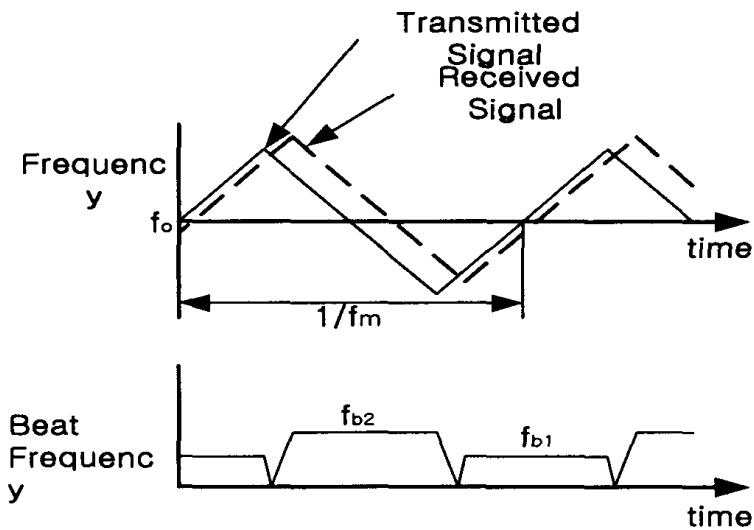


[그림 2-2] 레이더 센서

이를 위해서는 기본적으로 자차와 근접해서 주행하고 있는 차량들 즉, 다중 이동 표적에 대한 거리 및 속도 정보를 추출할 수 있고 일반 광학 센서에 비해 야간에도 이용이 가능하며 전천후 이용이 가능한 76~77GHz FMCW 차량용 레이더 시스템에 사용할 수 있는 마이크로스트립 안테나를 이용한 레이더를 개발하고자 한다. 그림 2-3은 FMCW 레이더의 블록 다이어그램이고, 그림 2-4 신호의 파형을 보였다.



[그림 2-3] FMCW Radar의 구성



[그림 2-4] FMCW의 신호파형

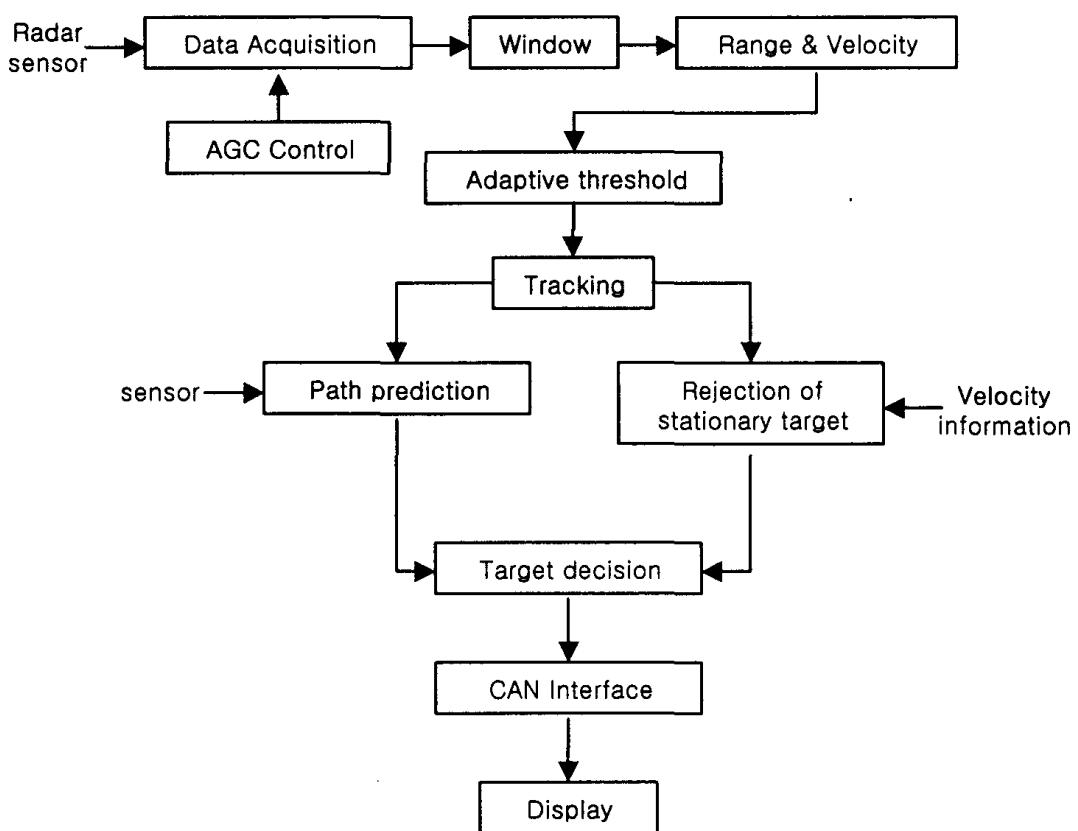
기존의 레이더는 혼 안테나를 사용하지만, 마이크로스트립기술을 이용하면 RF(Radio Frequency)회로를 하나의 기판 위에 만들어 가볍고, 얇고 작다. 또한 안테나의 배열 형태를 변환시켜 사용자가 원하는 방사패턴을 조절할 수 있다.

단일 패치 안테나는 이득이 좋지 않기 때문에, 배열안테나를 만들어 이득의 향상과 함께

빔형태를 조절하여 만들어야 한다. 평판 구조는 취급이 쉽고 차량 면이나 번호판 뒤에 쉽게 설치가 가능하고, RF 일체형 기술응용에 용이하다. 또한, 자동화 생산 가능성이 높으므로 제작비 저렴화가 가능하다.

차량용 레이더는 다차선 도로인 경우 자차선의 차량을 추출할 수 있어야 하며, 특히 곡선도로에서의 자차선의 차량 탐지 특성은 시스템 신뢰도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 자차선의 차량을 탐지하기 위해서는 센서를 이용한 곡선 검출 알고리즘과 추적 알고리즘 등이 필요하게 된다. 차량용 레이더의 경우 탐지해야 할 표적은 도로 내 주행하고 있는 차량들 이지만 도로 주변의 표지판, 가로수 등에 의한 반사 신호도 표적으로 나타날 수 있다.

시스템의 성능을 높이기 위해서는 이와 같은 정지 표적을 제거하는 알고리즘이 요구된다. 그림 2-5는 위의 성능을 획득하기 위해 요구되는 차량용레이더 시스템의 신호처리 알고리즘들을 나타내고 있다. 그림 5의 신호처리 장치를 개발하기 위한 1차 단계로 다중 이동 표적의 거리 및 속도 정보 추출 알고리즘과 탐지 알고리즘, 그리고 정지 물체 소거 알고리즘이 적용되어야 하고 2차 단계로는 곡선 검출기 센서 등을 이용한 주행거리 예측 및 다중 이동 표적에 대한 추적 알고리즘이 적용되어야 한다.

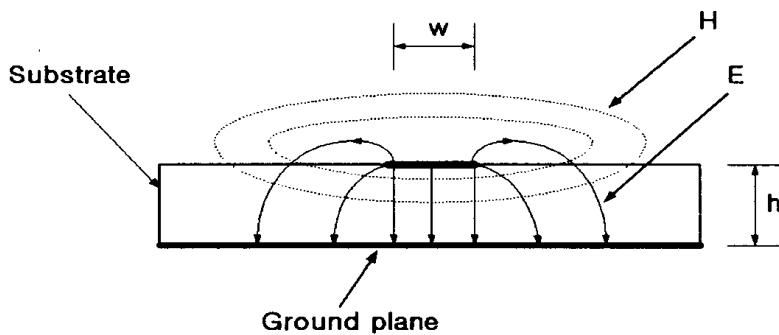


[그림 2-5] 차량용 레이더 시스템의  
신호처리 알고리즘

### III. 배경이론

#### 3-1. 마이크로스트립 전송선로

마이크로스트립에서 파의 전파는 Quasi-TEM 모드로 진행되므로 이 선로의 특성은 특성 임피던스로 표시할 수 있다. TEM 모드 이외의 전송 방향에 수직한 면내의 전자계 분포는 정전계의 그것과 동일하다. 따라서 평판 도파관 단부의 전계를 구하는 경우와 마찬가지로 Schwartz-Cristoffel 변환에 의한 등각사상법으로 전계를 구할 수 있다.



[그림 3-1] 마이크로스트립 전자계 분포

위의 그림에서 전체 공간의 비유전율  $\epsilon_r$ 로 채우는 경우 마이크로스트립 선로의 특성임피던스, 선로의 폭과 높이와의 관계는 다음의 식으로 표현된다[5][9][12].

$w/h \leq 1$  인 경우

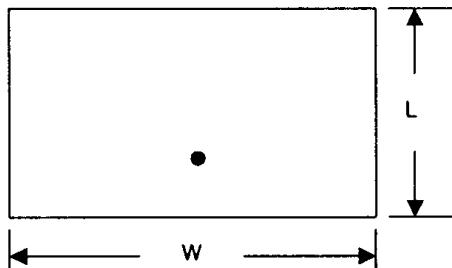
$$\begin{aligned}\epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} + \left[ \left( 1 + \frac{12h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} + 0.04 \left( 1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right] \\ Z_0 &= \frac{377}{2\pi\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left( \frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right)\end{aligned}\quad (1)$$

$w/h \geq 1$  인 경우

$$\begin{aligned}\epsilon_e &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{12h}{w} \right)^{-\frac{1}{2}} \\ Z_0 &= \frac{377}{2\pi\sqrt{\epsilon_e}} \ln \left( \frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right)\end{aligned}\quad (2)$$

여기서  $\epsilon_e$ 는 유효유전율이다.

### 3-2. 구형 마이크로스트립 패치 안테나



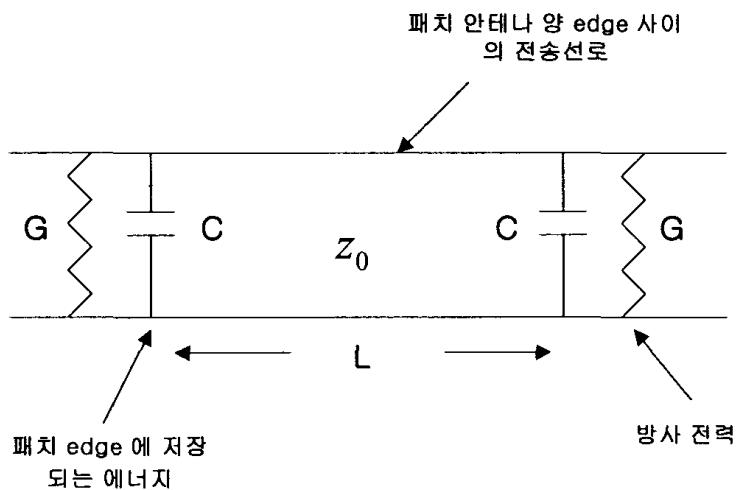
[그림 3-2] 구형 패치 안테나

위와 같은 구형 마이크로스트립 패치 안테나에서 공진은 길이 L을 사이에 두고 패치의 양끝에서 발생하여 전파를 공간으로 방사하는 형태이다.

이 때 정해진 기판의 높이에서 공진주파수와 유효유전율을 알면 패치의 폭과 길이를 결정할 수 있다[6][7].

$$f = \frac{C}{\lambda} = \frac{C}{\lambda_g \sqrt{\epsilon_e}} = \frac{C}{(L + h) 2 \sqrt{\epsilon_e}} \quad (3)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$



[그림 3-3] 구형 마이크로스트립 패치 안테나 전송선로 모델

[그림 3-3]은 구형 마이크로스트립 패치를 전송선로모델로 해석한 것이다. 여기서 복사 소자는 두 개의 좁은 슬롯이 평행으로 놓여 있고, 반파장 길이보다 약간 짧고 매우 낮은 임피던스의 전송선로에 의해 분리되어 있다.

위의 모델에서 슬롯의 어드미턴스(Admittance)를 구하면

$$Y_{in} = G + jB = Y_0 \frac{G + j[B + Y_0 \tan(\beta L)]}{Y_0 + j[G + jB \tan(\beta L)]} \quad (5)$$

위상정수  $\beta = \omega C$

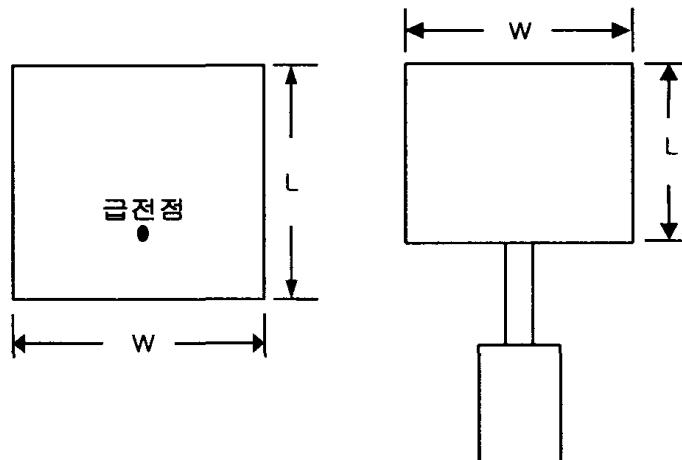
따라서 공진은 선로의 길이  $L$ 이  $\lambda/2$ 일 때 발생한다. 그러나, 실제적으로 공진길이는 복사면의 가장자리 전개(Fringing Field)효과 때문에 반파장( $\lambda/2$ )보다 약간 짧으므로 공진길이  $l$ 은 다음과 같다.

$$l = 0.48\lambda_g \sim 0.49\lambda_g \quad (6)$$

여기서  $\lambda_g$ 는 식(3)의 관내파장이다[5][6].

### 3-3. 패치 안테나의 급전

안테나에 신호를 인가하는 것을 급전이라고 하는데, 마이크로 스트립 안테나에서는 다양한 방법의 급전 방식을 사용할 수 있다. 스트립 라인 급전, 동축선 급전, 전자기적 급전 등이 많이 쓰이는 방식인데, 각각의 급전 시에 여러 가지 방법이 사용된다.



[그림 3-4] 급전 방식

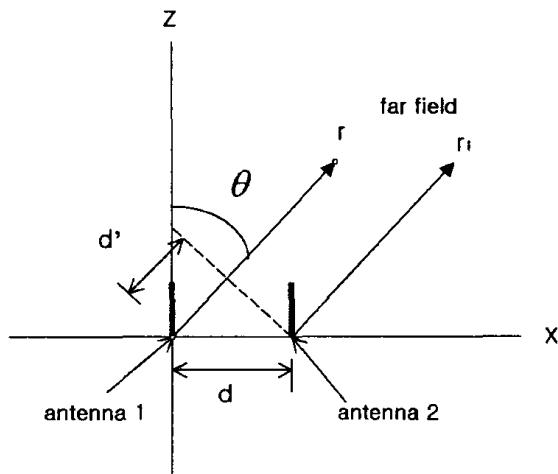
[그림 3-4]에 동축 급전과 스트립라인 급전을 보였다. 동축 급전은 임피던스 매칭 시 정

확한  $50\Omega$ 점을 찾아서 기판에 구멍을 뚫어 그곳으로 급전을 하게 되는데 낮은 주파수에서는 패치면이 크므로 효과를 무시할 수 있지만 고주파수대에서는 무시할 수 없고 실제 제작 시에도 많은 주의를 요한다. 마이크로 스트립 라인 급전은 가장 많이 사용되는 방법으로 패치에 직접 급전을 하는데 매칭 네트워크를 구성하기 쉽고 제작이 간단하고 다양한 방법으로 급전을 할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 유전율과 기판두께에 따라서 손실이 달라지고 부정합 부분에서 스펜리어스(Spurious) 방사가 일어나고 제작 마진(Margin)이 작아서 의도한 대로 제작되기가 쉽지 않다[5][11].

### 3-4. 선형 배열 이론

수신용 안테나는 높은 이득과 좁은 범 폭이 요구되나 단일 패치 안테나는 지향성이 낮아 범 폭이 넓게 나타나고 이득이 낮다. 그러므로, 범 폭을 줄이고 이득을 증대시키기 위해서 여러 개의 안테나를 규칙적으로 배열한 마이크로스트립 배열(array)안테나를 사용하여야 한다.

배열 안테나의 전체 이득 및 방사 특성은 각 배열 소자에 공급되는 전류, 위상 및 소자의 수에 의해 결정된다.



[그림 3-5] 두 안테나의 선형배열

위와 같이 두개의 소자가 배열되어 있을 경우 전체 전계 분포(Far Field Pattern)는 선형배열이론을 사용하여 구한다[5][10][13].

$$E(\theta) = E_1(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r} + E_2(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r_1} \quad (7)$$

$E_1(\theta), E_2(\theta)$  : 각 안테나의 Far-Field Pattern

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0} : \text{파수}$$

$r, r_1$  : 안테나에서 Far-Field Point까지 거리

$d' = r - r_1 \approx d \sin \theta$ ,  $E_1(\theta) = E_2(\theta)$ 로 가정하면

$$E(\theta) = E_1(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r} [1 + e^{-jkdsin\theta}] \quad (8)$$

여기서  $E_1(\theta)$  : Antenna Element Pattern

$\frac{e^{-jkr}}{r}$  : Field가 공간적으로 퍼지는 현상

$[1 + e^{-jkrsin(\theta)}]$  : Array Factor

를 각각 나타내는데 Array Factor에 의해서 Pattern Variation이 결정된다.

배열 안테나의 적응성(flexibility)을 높이기 위해서 각 배열 소자는 각기 다른 진폭(amplitude)과 위상(phase)을 가져야 한다.

$$E(\theta) = E_1(\theta) \frac{e^{-jkr}}{r} [a_1 + a_2 e^{-j(\beta_2 - kdsin\theta)}] \quad (9)$$

$a_i$  : i번째 Element Amplitude

$\beta_i$  : i번째 Element Phase

위 식을 N개의 소자로 확대하면

$$E(\theta) = E_e(\theta) \sum a_n e^{j[(n-1)kdsin\theta - \beta_n]} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (10)$$

위상 천이(phase shift)가 일정하다고 가정하면  $\beta_n = (n-1)\beta$

$$E(\theta) = E_e(\theta) \sum a_n e^{j(n-1)(kdsin\theta - \beta)} \frac{e^{-jkr}}{r} \quad (11)$$

$\therefore$  N개의 소자가 동일한 간격과 일정한 크기로 Phase Shift 할 때 Field Pattern

이를 근사화 시켜 배열 안테나의 방사특성에 관한 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$E(\theta) = \frac{1}{N} \frac{\sin[N(kd\sin\theta - \beta)/2]}{\sin[kd\sin\theta - \beta]/2] E_e(\theta) \quad (12)$$

#### IV. 안테나 설계 및 시뮬레이션

본 논문에서는 차량 충돌 방지용 레이더에 쓰일 수 있는 안테나를 설계하기 위해서 [표 1]의 요구사항을 만족해야한다.

[표 1] 차량충돌 방지용 안테나 요구사항

주파수	76~77 GHz	SLL	20dB
Gain	29 dBi	빔 폭	$\pm 3^\circ$
VSWR	1.5 max	Polarization type	수직편파
Return loss	-15 dB	허용전력	1.0W

설계를 위해서 ANSOFT사의 ENSEMBLE 7.0을 사용하였고, 단일 패치 디자인을 위해 해석툴인 PATCH9와 PATCHD, 배열 설계를 위해 APERDIST와 ARRAYCAL을 이용하여 계산 결과 비교하여 설계를 하였다.

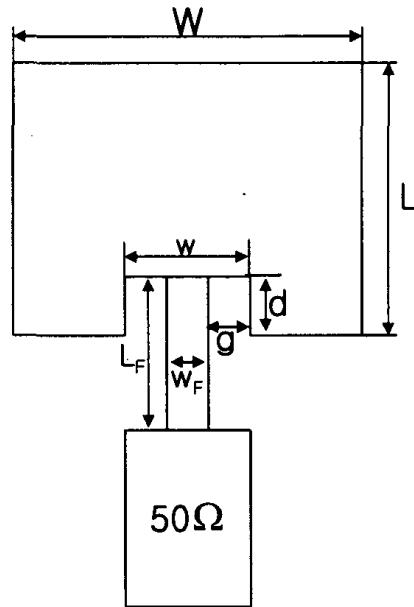
##### 4-1. 단일 패치 안테나 설계

앞서 소개한 바대로 기존의 유전체 기판(Duroid)과 MMIC기술을 바탕으로 한 GaAs 웨이퍼를 이용한 두 종류의 안테나를 설계하였다. 안테나는 패치 끝에서 가장 임피던스가 높으므로 임피던스 매칭과 설계를 용이하게 하기 위해 삼입 급전을 하였다. [표 2]에 선택된 유전체 기판의 특성을 보였다.

[표 2] 유전체 기판 특성

	DUROID	GaAs
유전율	2.2	12.9
Loss tangent	0.001	0.001
Height	0.13mm	0.1mm
Metal	Copper	Gold
Metal thickness	1/2 oz. 17 micron	1/8 oz. 3 micron
Conductivity (related to copper)	1	0.71

설계된 단일 패치 안테나를 [그림 4-1]에 보였다.



[그림 4-1] 설계된 단일 패치 안테나

[표 3] 패치 안테나 특성

	GaAs	Duroid
Width [W]	0.560 mm	1.4 mm
Length [L]	0.501 mm	1.22 mm
Impedance [Zin]	636.4Ω	257.9Ω
Feed Line Width [50Ω]	0.0738 mm	0.406 mm
Feed Line Width [Zin]	45.9 fm	4.06 micron

[표 3]의 결과에서 볼 수 있듯이 임피던스가 매우 큰 것을 알 수 있다. 일반적으로 패치 폭이 넓을수록 임피던스는 작아진다. GaAs 기판을 이용한 것은 최소선풀 0.1 micron, Duroid 기판은 0.127 mm 보다 커야만 제작이 가능하게 되고 GaAs는 최소 1 micron보다 크게 설계를 하였다. 이것을 가능하게 하기 위해서는 패치 중심방향으로 금전선을 삽입을 하여 임피던스를 가능한 낮추어야 한다. 그래서 다시 요구조건에 맞게 설계한 특성을 [표 4]에 나타내었다.

[표 4] 보정된 패치 안테나 특성

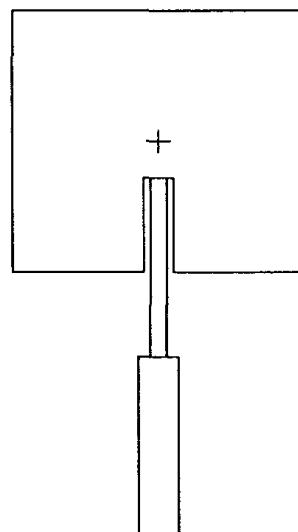
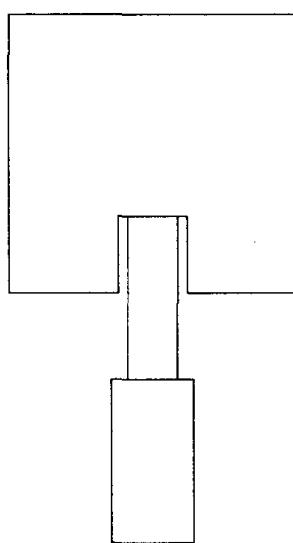
	GaAs	Duroid
Width [W]	0.560 mm	1.4 mm
Length [L]	0.501 mm	1.22 mm
Insert Width [w]	0.110 mm	0.338 mm
Insert depth [d]	0.173 mm	0.35 mm
Space (patch to feed) [g]	0.0408 mm	0.05 mm
Impedance [Zin]	102Ω	92.8Ω
Feed Line Width [50Ω]	0.0738 mm	0.406 mm
Feed Line Width [Zin]	0.0074 mm	0.137 mm

위의 결과에서 보면 Duroid의 경우 선폭이 0.137mm로 최소선폭(0.127mm, 96.8Ω)보다 큼을 알 수가 있다. GaAs의 경우 또한 7.4 micron으로 충분히 크다[5][13].

## 4.2 단일 패치 안테나의 시뮬레이션

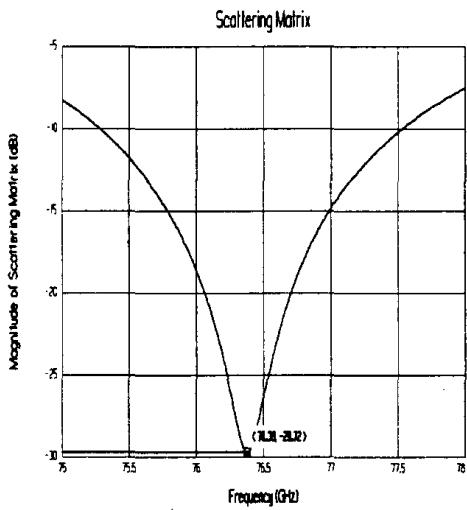
Ensemble 7.0을 이용해 해석을 했다. 임피던스 매칭을 위해서  $4/\lambda$  변환기를 이용했다. 다음에 설계된 안테나와 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

그림 [4-3]과 [4-4]에 Duroid 기판과 GaAs기판을 사용해 위의 보정된 결과를 이용해 설계를 하였다. 각 안테나는 패치면에서 중심으로 임피던스 매칭과 효율적인 제작을 위해 삽입되어 있다. 그림 [4-5]와 [4-6]에는 시뮬레이션 결과인 반사손실을 보여주고 있다. 결과를 보면 GaAs가 -10dB이하로 중심주파수에서 손실이 많이 일어남을 볼 수가 있다. 이 문제는 배열을 사용하여 해결을 할 것이다.

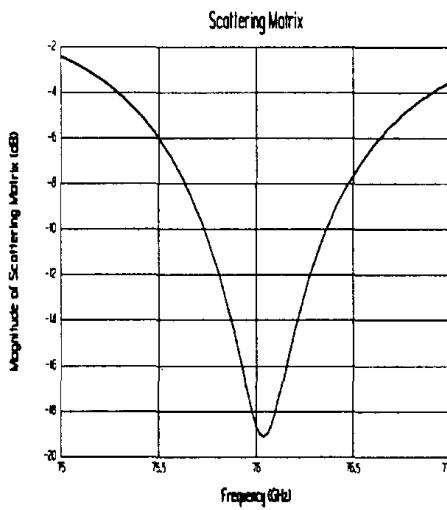


[그림 4-2] 단일 패치 안테나 [Duroid]

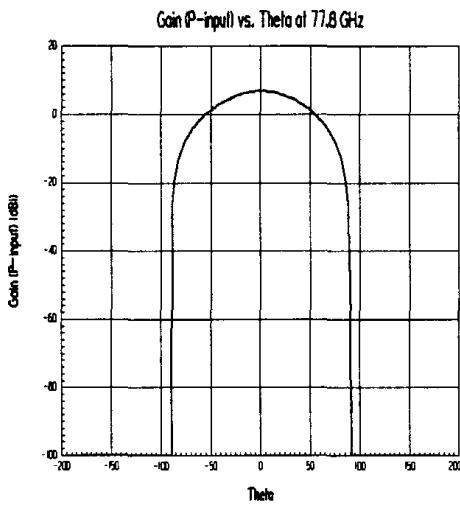
[그림 4-3] 단일 패치 안테나 [GaAs]



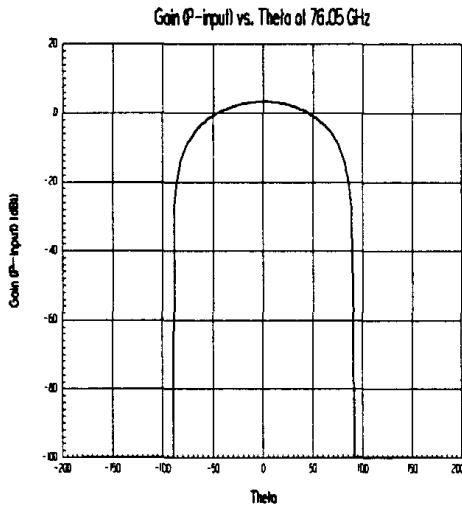
[그림 4-4] 반사손실 Return Loss [Duroid]



[그림 4-5] 반사손실 Return Loss [GaAs]



[그림 4-6] 이득 Gain [Duroid]



[그림 4-7] 이득 Gain [GaAs]

### 4.3 배열 안테나 설계 및 시뮬레이션

전체적인 이득과 빔폭을 위하여 64개의 소자를 배열하여 배열안테나를 설계하였다. 설계된 안테나는 그림 [4-20]과 [4-21]에 나타내었다. 최종 안테나로 신호를 인가해주는 급전선의 특성임피던스는  $50\Omega$ 이다. 효율적인 설계와 임피던스 매칭을 위해 단일 패치로부터 신호를 각 부배열 안테나를 연결하는 급전선의 임피던스는  $100\Omega$ 으로 설정하였다.

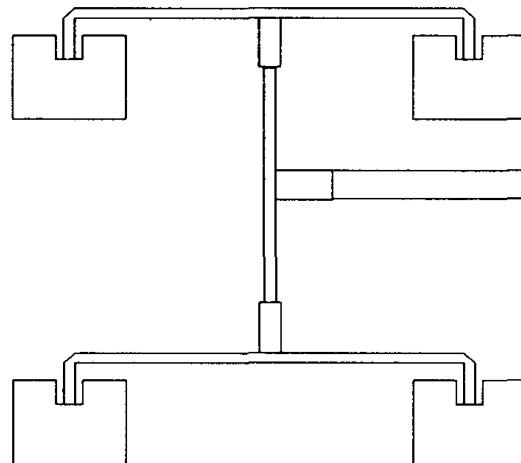
각각의 안테나는 단일 패치로부터 몇 개의 부배열안테로 구성되어있다. 여기에 사용된 부배열 안테나는  $2 \times 2$ ,  $4 \times 4$  배열을 합성하여 최종적인  $8 \times 8$ 의 배열 안테나가 설계되었다. 안테나의 소자간 거리는 Duroid 기판을 사용한 안테나는  $0.5\text{mm}$ 이고 GaAs기판을 사용한 안테나는  $0.2\text{mm}$ 이다. 설계된 안테나의 크기는 GaAs의 경우 약간 큰 듯하지만 소자거리를

줄인다면 크기를 더 줄일 수 있다.

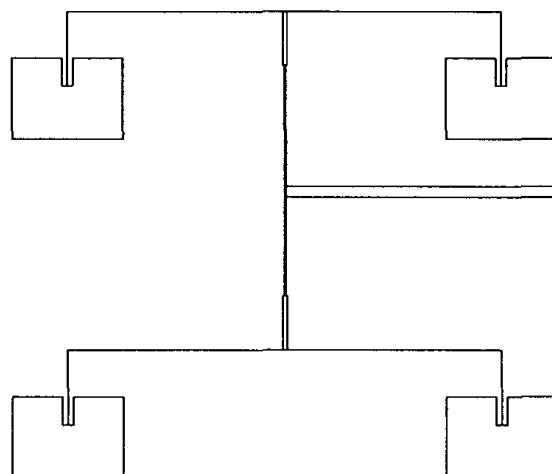
#### 4.3.1 2×2 배열 안테나

2×2 배열 안테나를 설계하기 위해서 위에서 설계한 단일 패치 안테나를 이용하고 임피던스 정합을 고려하여  $\lambda/4$  변환기를 사용하였고 급전선의 임피던스는  $50\Omega$ 과  $100\Omega$ 으로 설정하였다.

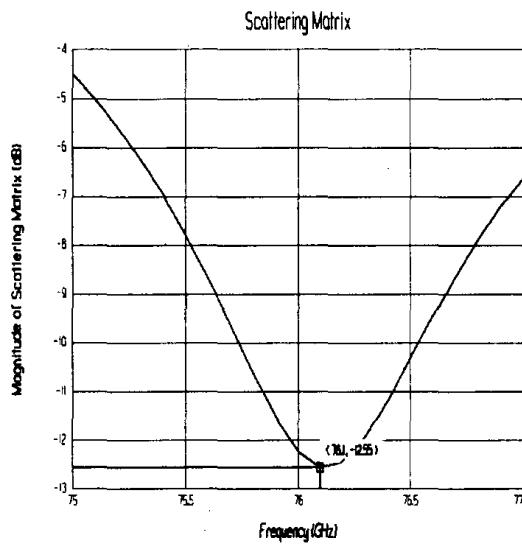
[그림 4-8]과 [그림 4-9]에 Duroid 기판과 GaAs 기판을 이용해 설계한 안테나를 보였고, [그림 4-10] ~[그림 4-13]에 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결과에서 각 설계된 안테나의 반사손실, 이득, 부엽준위, 그리고 중심주파수를 보여주고 있다. 이득은 단일 패치 안테나와 비교해 볼 때 증가된 것을 볼 수 있다.



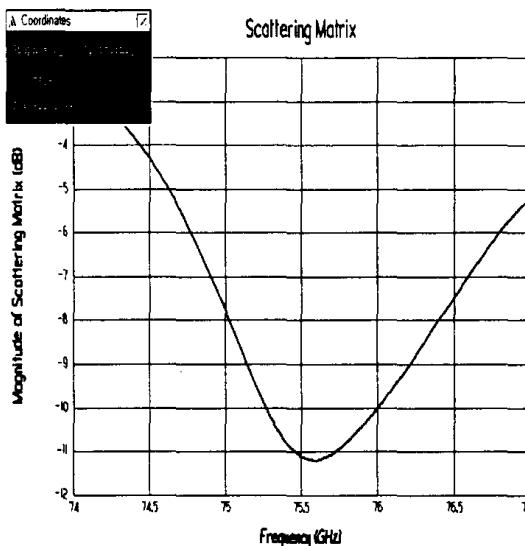
[그림 4-8] 2×2 배열 안테나 [Duroid]



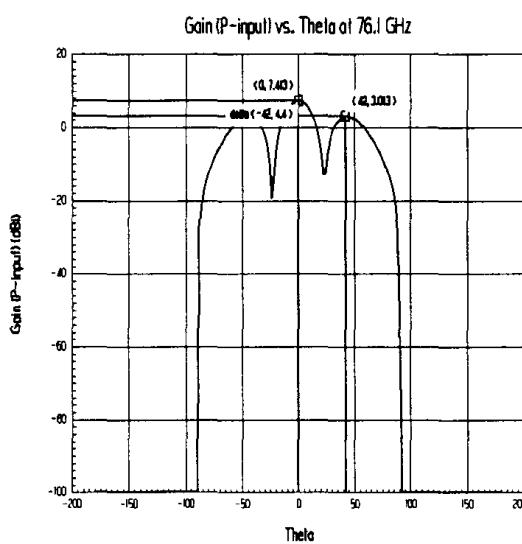
[그림 4-9] 2×2 배열 안테나 [GaAs]



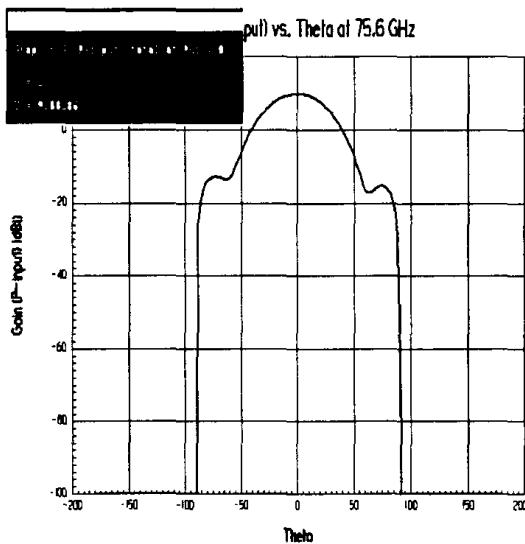
[그림 4-10]  $2 \times 2$  배열 안테나 Return Loss [Duroid]



[그림 4-11]  $2 \times 2$  배열 안테나 Return Loss [GaAs]



[그림 4-12]  $2 \times 2$  배열 안테나 Gain [Duroid]



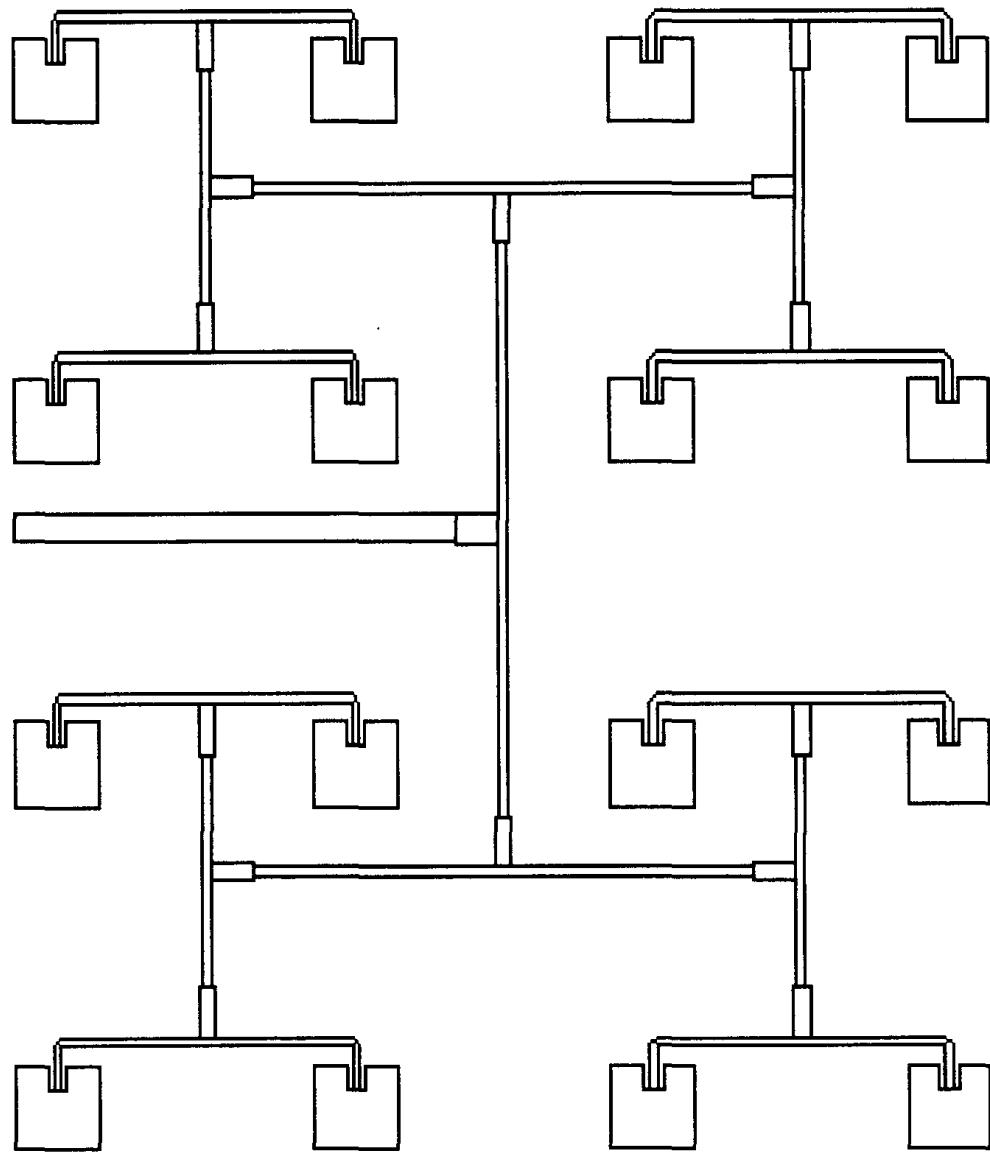
[그림 4-13]  $2 \times 2$  배열 안테나 Gain [GaAs]

### 4.3.2 $4 \times 4$ 배열 안테나

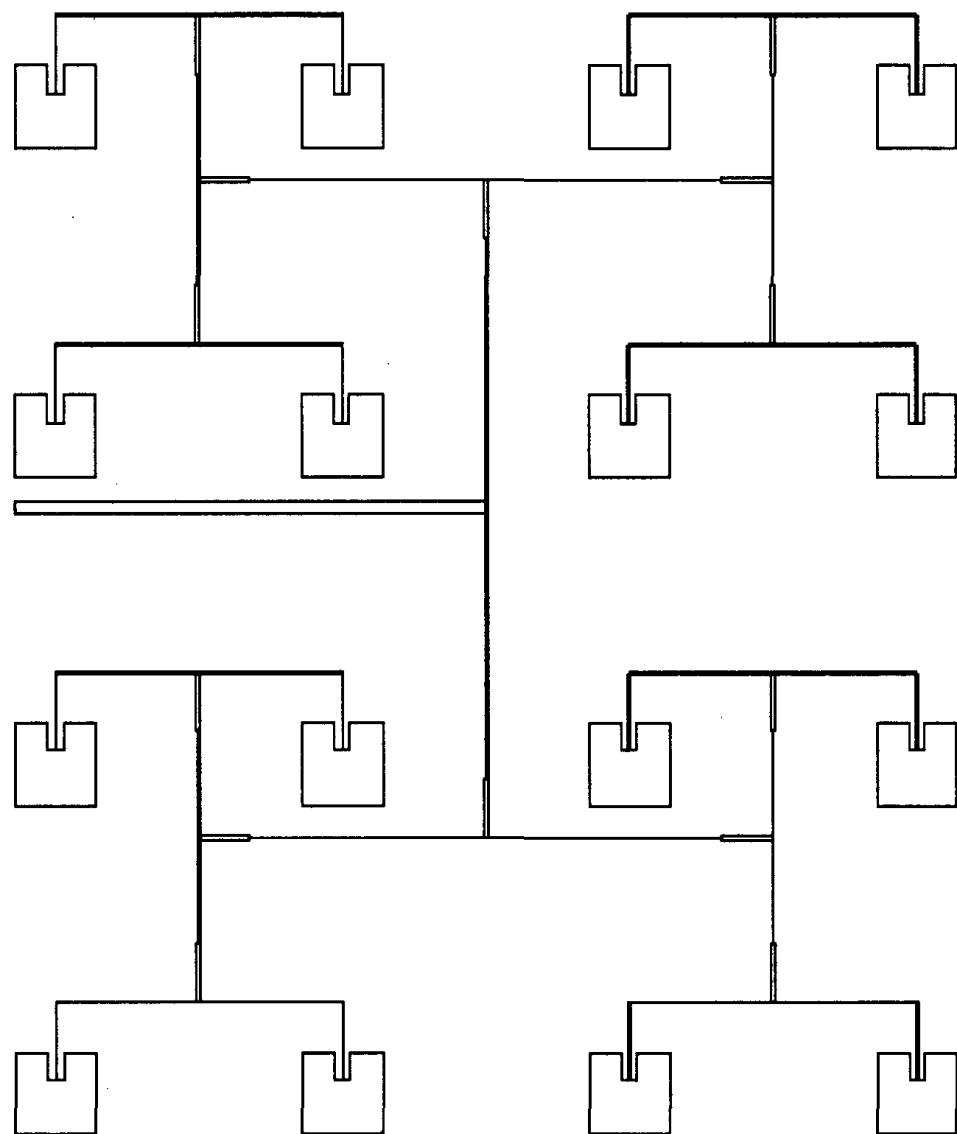
$4 \times 4$  배열 안테나를 설계하기 위해서 위에서 설계한  $2 \times 2$  배열 안테나를 이용하고 임피던스 정합을 고려하여  $\lambda/4$  변환기를 사용하였고 급전선의 임피던스는  $50\Omega$ 과  $100\Omega$ 으로 설정하였다.

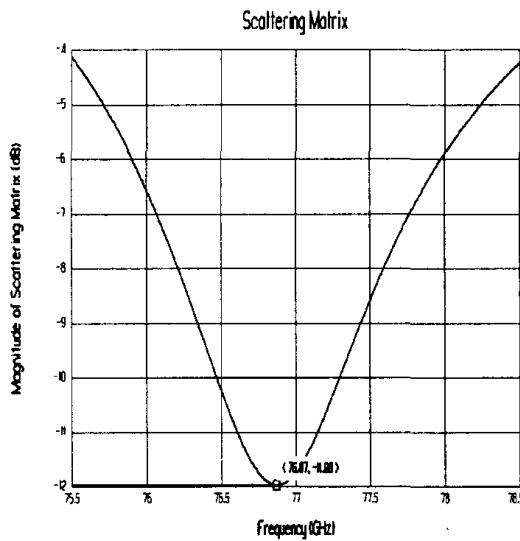
[그림 4-14]과 [그림 4-15]에 Duroid 기판과 GaAs 기판을 이용해 설계한 안테나를 보였

고, [그림 4-16] ~[그림 4-19]에 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결과에서 각 설계된 안테나의 반사손실, 이득, SLL, 그리고 중심주파수를 보여주고 있다. 이득은 단일 패치 안테나와 비교해 볼 때 증가된 것을 볼 수 있다.

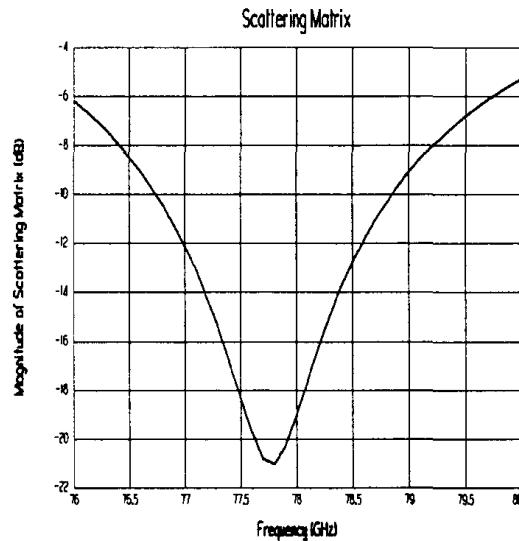


[그림 4-14] 4×4 배열 안테나 [Duroid]

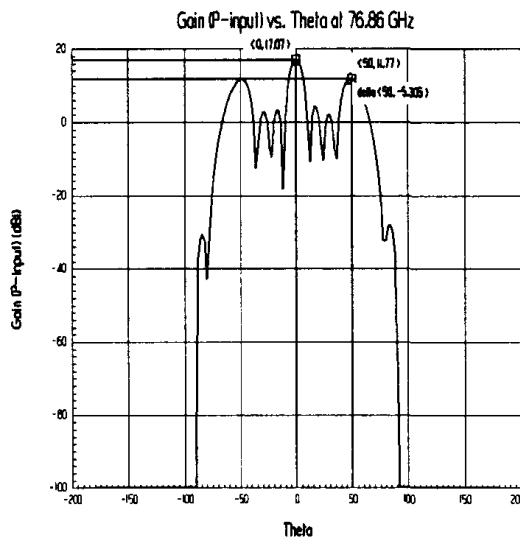
[그림 4-15]  $4 \times 4$  배열 안테나 [GaAs]



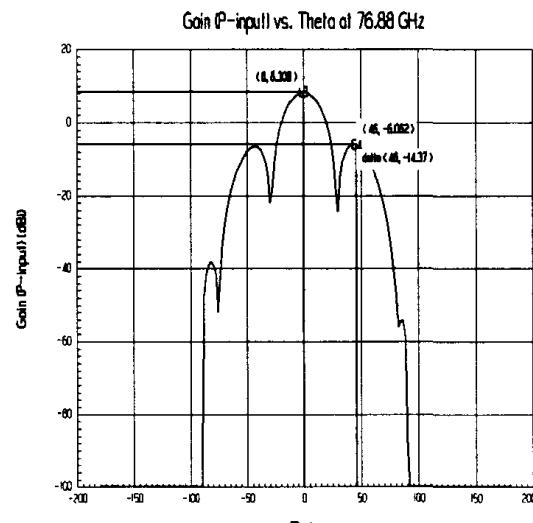
[그림 4-16] 4×4 배열 안테나 Return Loss [Duroid]



[그림 4-17] 4×4 배열 안테나 Return Loss [GaAs]



[그림 4-18] 4×4 배열 안테나 Gain [Duroid]



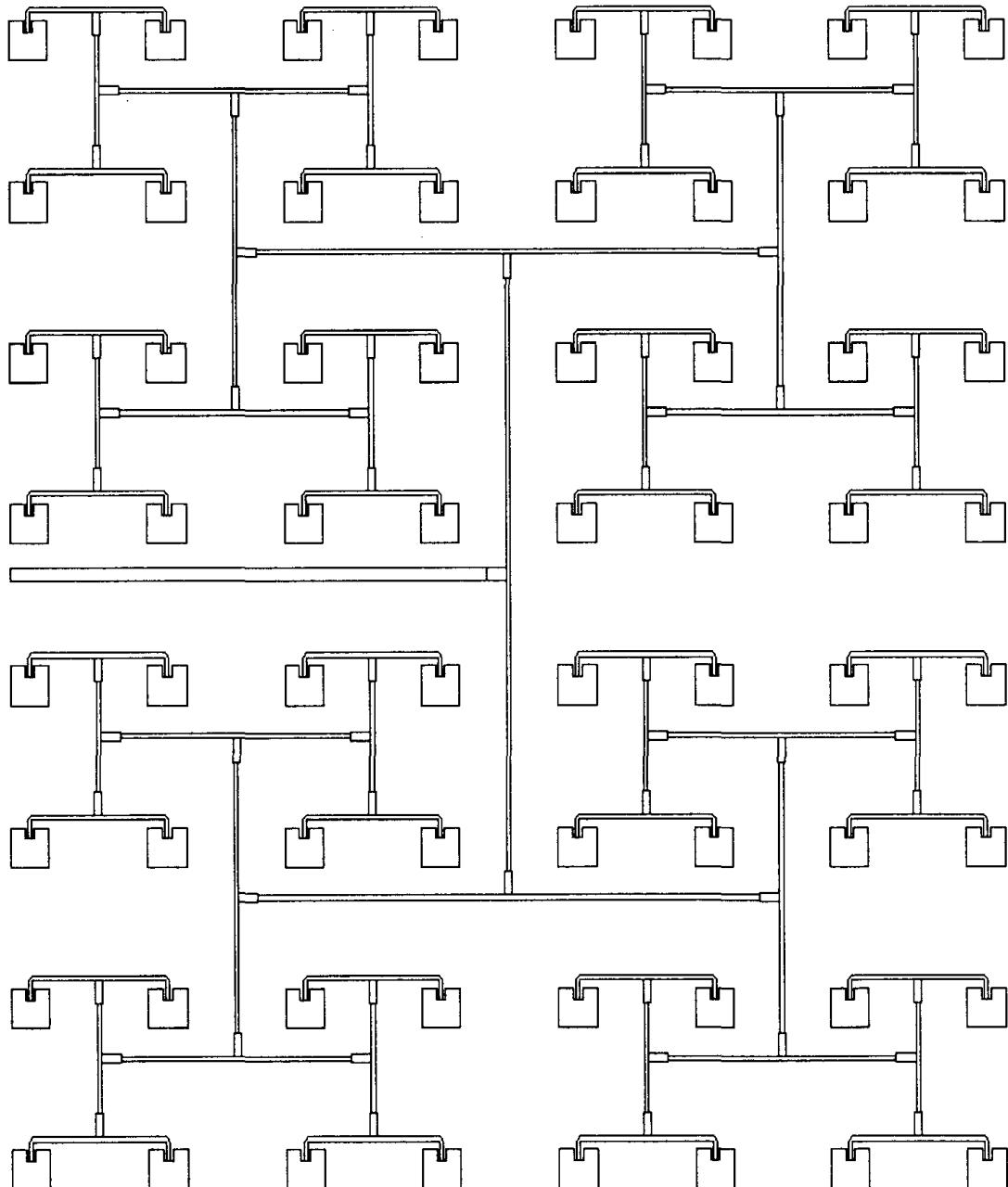
[그림 4-19] 4×4 배열 안테나 Gain [GaAs]

### 4.3.3 8×8 배열 안테나

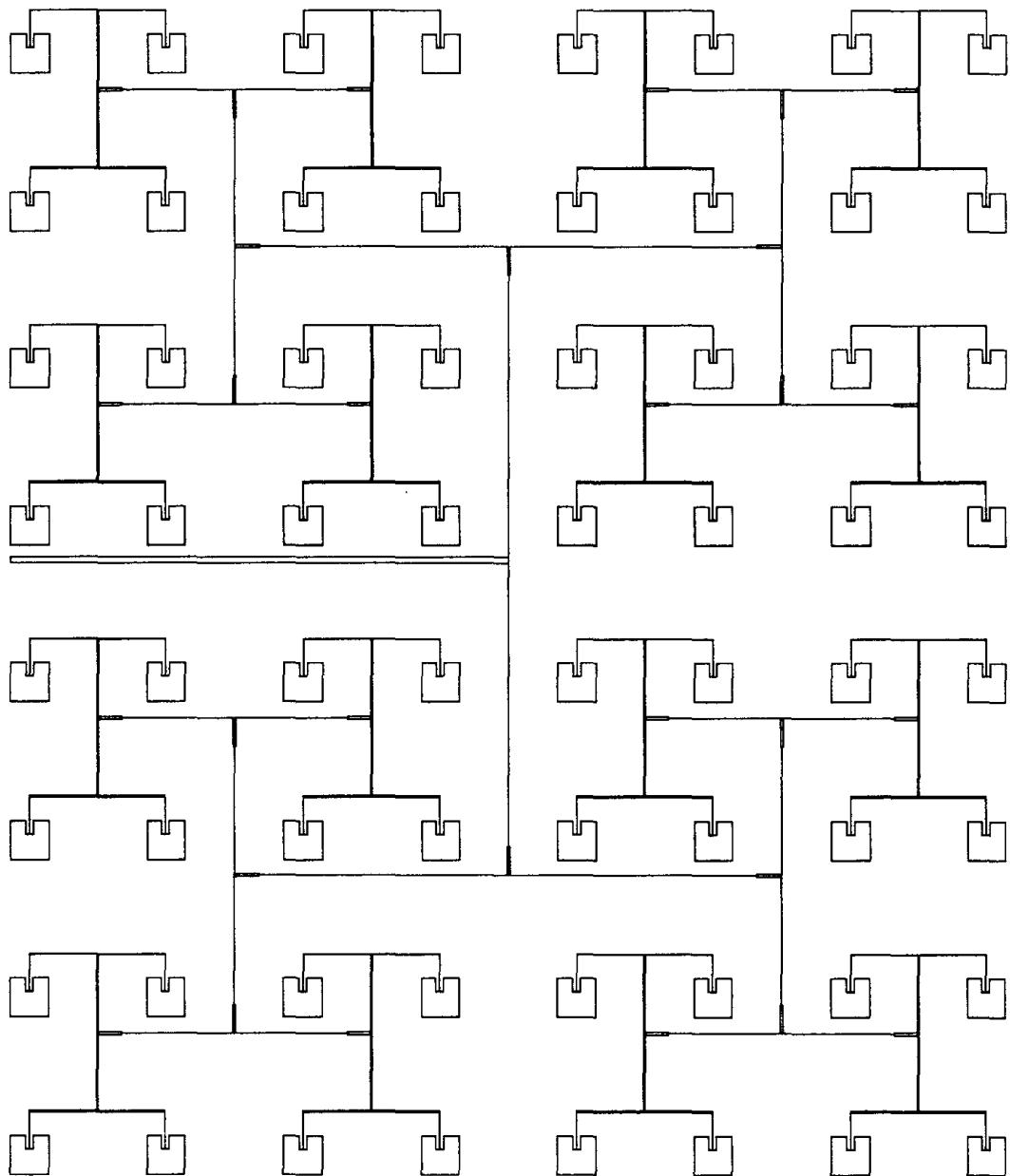
8×8 배열 안테나를 설계하기 위해서 위에서 설계한 4×4 배열 안테나를 이용하고 임피던스 정합을 고려하여  $\lambda/4$  변환기를 사용하였고 급전선의 임피던스는  $50\Omega$ 과  $100\Omega$ 으로 설정하였다.

[그림 4-20]과 [그림 4-21]에 Duroid 기판과 GaAs 기판을 이용해 설계한 안테나를 보였

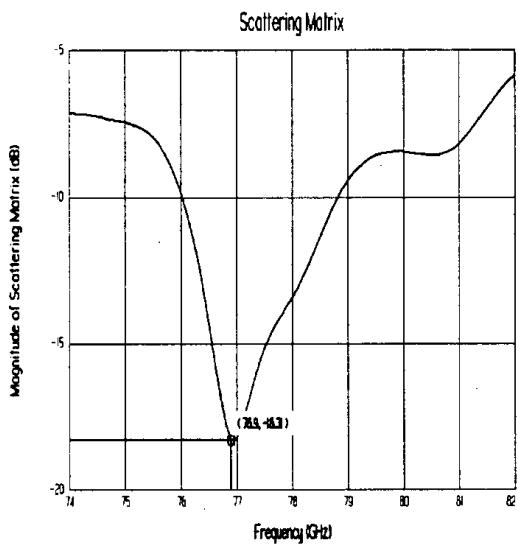
고, [그림 4-22] ~[그림 4-25]에 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 결과에서 각 설계된 안테나의 반사손실, 이득, 부엽준위, 그리고 중심주파수를 보여주고 있다.



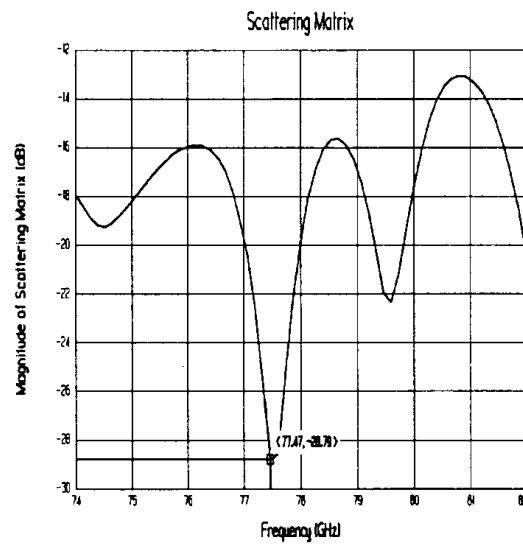
[그림 4-20] 8×8 배열 안테나 [Duroid]



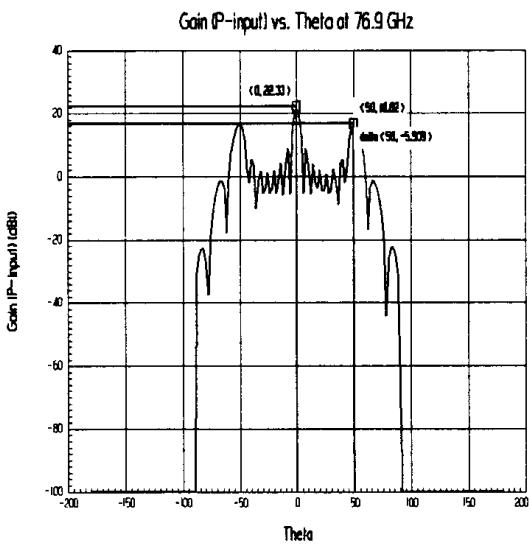
[그림 4-21] 8×8 배열 안테나 [GaAs]



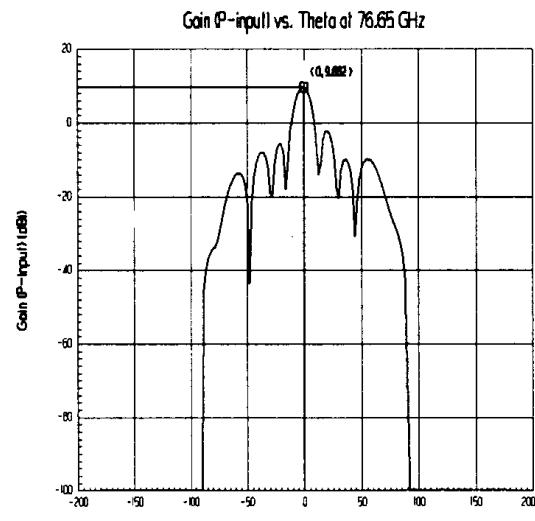
[그림 4-22] 8×8 배열 안테나 반사손실  
Return Loss [Duroid]



[그림 4-23] 8×8 배열 안테나 반사손실  
Return Loss [GaAs]



[그림 4-24] 8×8 배열 안테나 이득  
Gain [Duroid]



[그림 4-25] 8×8 배열 안테나 이득  
Gain [GaAs]

설계된 안테나의 전체적인 결과를 [표 5]에 정리하였다.

[표 5] 설계된 안테나의 결과

	Duroid	GaAs
Center Frequency [Ghz]	76.9	77.47
Gain [dBi]	22.33	9.88
Return Loss [dB]	-18.31	-28.79
Beam Width [°]	4.74	12.34
SLL [dB]	-6	-14
Element Spacing [mm]	5	2
Dimension [W×L×H]	36.6×36.6×0.13	15×15×0.1

결과는 표 [1]과 비교해 볼 수 있다. 결과에서 보듯이 중심주파수는 Duroid는 76.9 Ghz이고 GaAs는 약간 높은 77.47 Ghz이다. 설계를 위한 주파수는 77 Ghz로 설정하였을 때 약간의 수정을 하면 좋은 결과를 얻을 수 있다. 이득은 상당히 차이가 많이 나는 것을 볼 수 있는데 이것은 GaAs 기판에 설계할 경우 선폭이 좁아서 손실이 많이 발생했음을 의미한다. 반사손실은 반대로 Duroid의 경우 GaAs보다 약 10 dB 정도 손실이 많이 발생함을 볼 수 있다. 범폭의 경우는 많은 차이가 발생 했는데 범폭은 소자 간격에 비례하므로 전체적으로 넓은 소자간격을 가지는 Duroid의 기판사용시에 좁아짐을 볼 수 있다. 이것은 소자수를 증가시키거나 소자간격을 넓히는 과정을 통해서 해결할 수 있지만 여기서는 집적도를 높이기 위해서는 소자수를 증가시키는 방법이 유용할 것이다. 부엽준위를 비교해 보면 GaAs 기판이 양호한 것을 볼 수가 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 차량충돌방지용 레이더를 위한 76~77 GHz대의 마이크로스트립 패치 배열안테나를 설계하였다. 설계 시 문제가 되는 부분으로는 높은 주파수에 의해 파장이 짧고 실제 전기적 길이가 작아 진다는 것이다. 이것은 일반기판을 사용 시 최소 선폭(0.127 mm)보다 짧게 되므로 실제 제작에 문제를 야기 시키게된다. 문제점을 해결하기 위해서 MMIC에서 사용하는 GaAs 기판을 사용하여 문제점을 해결하고자 한다. 이것은 최소 선폭의 문제점을 해결해 줄 수 있고, 향후 다른 MMIC 소자와도 연결하여 동일 기판 위에 집적을 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 안테나 설계는 이득과 범 폭만을 고려하여 설계하였고, 부엽준위는 차후에 Chebyshev 배열을 이용한 전력분배기를 사용하여 문제점을 해결할 수 있다.

각각의 기판에 설계된 안테나는 좁은 범 폭과 이득을 고려하여 전체 64개의 소자를 8×8 배열로 구성하여 균일 분포로 병렬급전 하였다. 자유공간 파장의 함수로 표현되어지는 소자 간격은 상호결합을 피하기 위하여  $0.5 \lambda_0 \sim 0.75 \lambda_0$ 의 값을 사용한다. 본 논문에서는 Duroid 기판은 5mm( $1.27 \lambda_0$ )와 GaAs 기판은 2mm( $0.51 \lambda_0$ )를 사용하여 설계하였다. 전자의 경우  $1 \lambda_0$  이상이 되어 제작과 범 폭을 고려하여 결정하였다.

시뮬레이션 결과는 Duroid 기판의 경우 Return loss는 -18.31 dB, Gain은 22.33 dBi,

Beam width는  $4.74^\circ$ , 부엽준위는  $-6$  dB, 중심주파수는  $79.6$  GHz이고 GaAs 기판의 경우 Return loss는  $-28.79$  dB, 이득은  $9.88$  dBi, Beam width는  $12.34^\circ$ , 부엽준위는  $-14$  dB, 그리고 중심주파수는  $77.47$  GHz이다.

이득과 빔 폭만을 고려한 설계에서 Duroid 기판을 사용한 결과가 전체적으로 우수하게 나타났다. 하지만 부엽준위와 반사손실이 약간 떨어지고 중요한 요소 중에 하나인 크기가 큰 단점이 있다. 이것은 높은 주파수로 인한 좁은 선폭에서의 과다한 방사손실을 의미하고 주파수와 유전율에 의한 짧은 파장으로 인한 부정합이 존재한다는 것을 의미한다.

GaAs 기판을 이용하여 좋은 특성의 안테나를 설계하기 위해서는 안테나 제작 시 방사손과 동손을 고려하여 전자기적 결합을 이용한 슬롯 안테나나 개구면 결합 안테나를 이용하여 해결할 수 있지만 다층기판과 고유전율 기판을 필요로 한다. 부엽준위를 줄이기 위해서는 전력분배기를 사용한 Chebyshev 선형배열법을 이용하여  $-20$  dB이하로 줄일 수 있다. 그리고 안테나는 다른 MMIC 소자와 동일 기판 위에서 집적을 하여 능동 안테나를 구현하는 시스템에 적용할 수 있고, 더 나아가 GPS 시스템과 연계하여 무인자동차의 실현에 중요한 시스템으로 발전할 수가 있다.

## 참고문헌

1. Hermann Rohing, Ernst Lissel "77 Ghz Radar sensor for Car Applications", IEEE International Radar Conference, 1995
2. Ian. M. Simmons "Automotive Applications of Millimetre wave Radar", IEEE International Radar Conference, 1993
3. I.Gresham, N.Jain, T. Budka, A. Alexanian "A compact Manufacturable 76~77Ghz radar Module for Commercial ACC Applications", IEEE transactions Microwave Theory and Techniques Vol 49, 2001
4. David.D.Li, Sam C. Luo, Robert M. Knox "Millimeter wave FMCW RAdar Transceiver/Antenna for Automotive Applications", Applied Microwave & Wireless, 1999
5. Robert A.Sainati "CAD of Microstrip Antenna for Wireless APplication" Artech House, 1996
6. I. J. Baul and P.Bhartia "Microstrip Antennas" Artech House, 1982
7. Y.T.Lo, S.W.LEE "Antenna Handbook", Van Nostrand Reinhold, 1988
8. KRAUS "Antennas", McGraw Hill, 1994
9. Deschamps, and G. A. , "Microstrip Microwave Antenna", presented at the 3rd USAF Symposium on Antennas, 1953
10. R. J. Mailloux, J. Mcilvenna, and N. Kernweis "Microstrip array technology", IEEE Trans, Antennas Propagat., vol. AP-29, no. 1, pp.25-38, Jan. 1981.
11. Hai Jong Lee, Wei Chen "Advances in Microstrip and Printed Antenna" Wiley Publication
12. Y. T. Lo, D. Solomon and W. F. Richards, "Theory and experiment on microstrip antennas" IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-27, no. 2, pp. 137-145, Mar. 1979
13. K. C. Gupta, "Two-Dimensional analysis of microstrip circuits and antenna" J. IEEE, vol. 28, No. 7, pp.346-360, 1982