

밀리미터파용 소형 안테나 기술

이 재 욱
한국항공대학교 항공전자
및 정보통신공학부

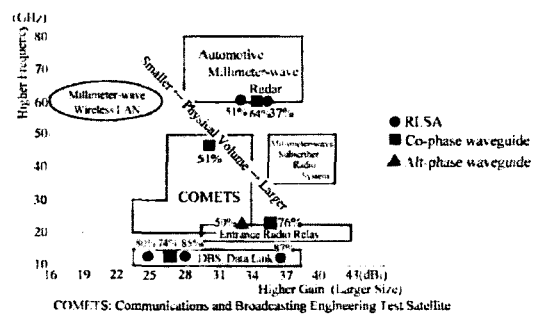
요 약

통신시스템이 진보되고 다양화 되어감에 따라 안테나의 구조, 성능도 응용목적에 맞게 개선되어 왔다. 특히, 음성 및 멀티미디어 응용을 위한 고속 데이터 서비스(high speed data services), 고정 및 이동 서비스를 위한 시스템 요구사항들이 점점 증가하고 있으며 그 결과로 밀리미터파 대역에서 동작하는 광대역 멀티미디어 무선 접속 기술이 출현하게 되었다. 본 논문에서는 소형, 경박이면서 밀리미터파 대역에서 광대역 특성을 가지는 안테나의 종류 및 구조에 관하여 설명하고, 패키지가 될 때 필수적인 저손실 전송선로 구조에 대해서 언급한다.

I. 서 론

정보통신이 발달하고 이에 수반되는 서비스가 다양화됨에 따라 무선 통신 시스템도 기존의 소용량이 아니라 대용량이면서 고속의 데이터를 처리하도록 요구된다. 이러한 요구조건을 만족시키기 위하여 통신 서비스 시스템에 밀리미터파 대역의 무선 통신 서비스 시스템 기술을 이용하고자 하는 노력을 기울이고 있는 실정이다. 밀리미터파 대역 통신 시스템을 두 가지 측면(하드웨어 구현 측면과 주파수 이용 측면) 중 첫째로 하드웨어 구현 측면에서 살펴보면 몇 년전까지만 하더라도 일반 통신 시스템은 각 구성 부품이 개별로 제작되어 하이브리드 형태로 결합되었기 때문에 전체 회로의 크기가 커지고 대량 생산이 어렵다는 단점을 가지고 있었다. 이러한 문제

를 극복하기 위하여 밀리미터파 대역에서 모듈 및 패키징 기술 개발이 이루어지고 있으며 그 중에서 MCM(Multi-Chip Module) 다층 기판 3차원 적층 기술이 많이 연구되어져 오고 있다. 이 기술을 세분하면 MCM-L, MCM-C, MCM-D, MCM-C/D로 구분되며 이들은 각각 기존의 PCB 구조를 단순히 적층한 것, thick-film 공정과 유사하게 세라믹 소성 기술을 이용한 것, 반도체 공정과 비슷하게 금속과 유전체를 피복시키는 방법, MCM-C 기반에 적층 구조로 금속과 유전체를 피복시키는 방법으로 간단히 설명된다. 두 번째로 밀리미터파 대역의 통신시스템을 주파수 이용측면에서 보면, 30 GHz 이상으로 분류되는 밀리미터파 대역에서는 주파수 자원의 활용 및 재사용률을 높이기 위하여, 도심 지역과 같이 인구 밀도가 높은 지역이며 고속 및 광대역 멀티미디어 무선 서비스를 제공하기 위하여, 새로운 무선 접속 기술과 함께 고정 무선 통신 시스템이 저렴한 비용의 통신 수단으로 작용할 수 있다. 본 논문에서는 밀리미



[그림 1] 밀리미터파 대역에서의 주파수별 고이득 응용 분야^[15]

터파 대역에 사용되는 안테나 종류, 구조 및 성능에 관하여 언급하며 하나의 패키징 모듈에 여러 구성 부품을 장착할 때 필요한 밀리미터파 대역에서의 저손실 전송선로에 관하여서도 간단히 언급한다.

II. 밀리미터파 대역에서의 안테나 종류, 구조 및 성능

2-1 밀리미터파 대역에서의 안테나 종류

통신에서 생명공학 시스템에 이르기까지 다양한 응용에서 요구되는 것이 역시 소형화된 시스템이다. 이러한 요구 조건에 순응하기 위한 가장 간단하면서 다른 부품과의 결합이 용이하고, 가격 측면에서 저렴한 안테나 구조는 마이크로스트립 기술(microstrip technology)을 이용하는 것이다.

MSA(MicroStrip Antenna)는 다음에 열거하는 몇 가지들의 이점으로 인해서 많은 응용 분야에서 좋은 복사체로서 사용되고 있지만 이에 못지 않게 단점들도 가지고 있다.

이점:

- i) 경량이며 소형이고 low-profile planar 모양을 하고 있다.

- ii) 다양한 모양의 면에 부착할 수 있다.
- iii) 대량 생산이 가능하므로 저가격의 공정이 가능하다.
- iv) 같은 매질 위에 다른 MIC 소자들과 쉽게 결합할 수 있다.
- v) 선형 편파 및 원형 편파 특성이 가능하다.
- vi) 개인 휴대 통신에서의 사용하기에 충분하도록 크기가 작다.
- vii) 이중 및 삼중 대역의 동작이 가능하다.

단점:

- i) 일반적으로 협대역(narrow bandwidth) 특성을 갖는다.
- ii) 낮은 이득 특성을 갖는다.
- iii) 낮은 전력 소모에 적당하다.

특히, 많은 시스템 응용 중에서 가장 큰 장애요인이 되는 것은 MSA가 전형적으로 1~5 % 정도의 협대역 특성을 보인다는 것이다. 또한 이의 응용 분야도 다양하며 이들 응용 분야를 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1>의 안테나의 전형적인 응용분야와 더불어 안테나의 급전부분에 따라서 다양한 안테나 종류가 있으며 쓰임새 또한 다양하다.

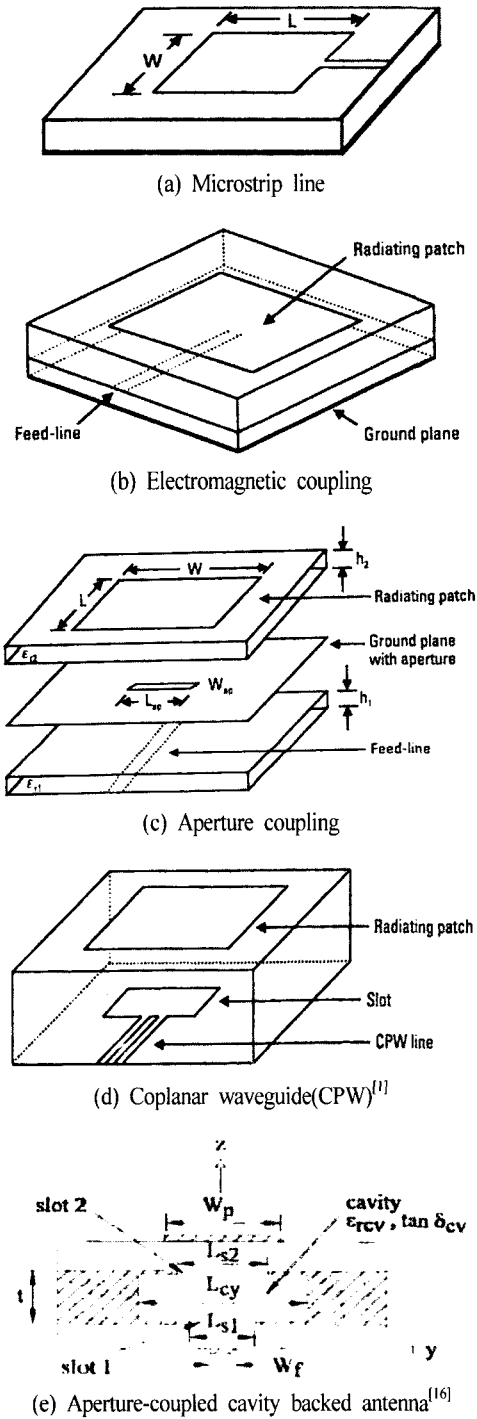
[그림 2(a)]의 마이크로스트립 선로로 급전하는 경우, 급전하는 부분과 패치 안테나 부분이 같은 평면 위에 있으며 이것은 제작상의 편의는 제공하지만 급전부분에서의 복사가 있으며 이것은 원치 않는 신호인 cross-polarization level을 증가시킨다. 더욱이 밀리미터파 대역에서는 급전선의 크기가 패치 크기와 거의 비슷하므로 급전선에서 생기는 원치 않는 복사도 무시할 수 없다. 광대역(broad band width) 특성과 매질의 두께와의 관계에서는 다음과 같은 식이 적용된다^[1].

$$\%BW = \frac{Ah}{\lambda_0 \sqrt{\epsilon_r}} = \sqrt{\frac{W}{L}}$$

$$D \cong 0.2 W + 6.6 + 10 \log(1.6/\sqrt{\epsilon_r}) \text{ dB}$$

<표 1> MSA 안테나의 전형적인 응용분야^[1]

System	Application
Aircraft and Ship Antennas	Communication and Navigation, Alimeters, Blind Landing Systems
Missiles Satellite Communications	Radar, Proximity Fuses, and Telemetry Domestic Direct Broadcast TV, Vehicle-based Antennas, Communication
Mobile Radio	Pagers and Hand Telephones, Man Pack Systems, Mobile Vehicle
Remote Sensing Biomedical, Others	Large Lightweight Apertures, Intruder Alarms, Personal Communication, and so Forth



[그림 2] Rectangular MSA fed by (a), (b), (c), (d), (e)

여기서,

$$\text{for } A = 180 \text{ for } \frac{h}{\lambda_0 \sqrt{\epsilon_r}} \leq 0.045$$

$$\text{for } A = 200 \text{ for } 0.045 \leq \frac{h}{\lambda_0 \sqrt{\epsilon_r}} \leq 0.075$$

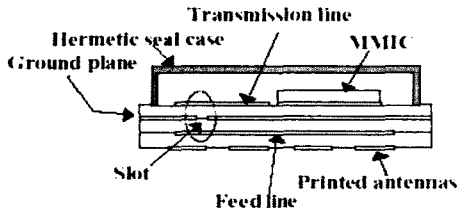
$$\text{for } A = 220 \text{ for } \frac{h}{\lambda_0 \sqrt{\epsilon_r}} \geq 0.075$$

이다. 위의 공식으로부터 알 수 있듯이 광대역 특성을 위한 주파수 대역은 유전체의 두께에 따라 비례하며 유전율에 따라 반비례함을 알 수 있다. 예를 들어 LTCC와 같은 재질을 사용하는 경우에는 유전상수가 높은 매질을 이용할 것이며 주파수 대역폭은 매우 적게 된다. 따라서 이러한 재질을 사용하는 경우에는 광대역화를 위한 방법이 중요한 기술이 된다.

방향성(directionality)을 표시하는 D 도 유전율이 증가함에 따라 감소하는 특성을 가짐을 알 수 있다. 위의 공식에 의하면 유전체의 두께가 두꺼울수록 광대역화를 보이는 반면에 [그림 2(a)]와 같은 구조에서 광대역화를 위해 유전체 두께를 증가시키면 급전선의 선폭도 역시 증가하게 되고 이로 인해 원치 않는 급전선으로부터의 복사도 증가하게 된다. 이외에도 높은 이득과 넓은 빔폭을 갖도록 요구되는 기지국 안테나로서는 비평면형 안테나가 소개되고 있으며 그 예로는 도파관을 이용한 혼 안테나 및 파라볼라 안테나들이 있다.

2-2 밀리미터파 대역에서의 안테나 구조 (MultiLayer를 이용하는 경우)

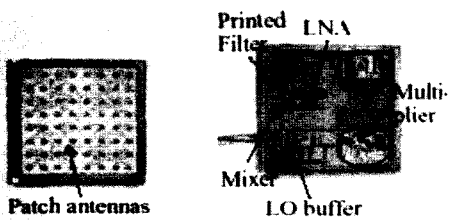
최근의 밀리미터파 대역에서의 평면형 안테나 구조는 밀리미터파 패키지 및 MCM(Multi-Chip-Module)과 함께 집적화하기 위하여 세라믹 기판 위에 구성된다. 또한 가입자용일 경우에는 이득이 높은 안테나가 요구되며 실내용일 경우에는 방사 패턴이 중요한 결정인자가 된다. 어느 경우이든지 밀리미터파 대역에서는 대부분이 패치 어레이 안테나를 이용



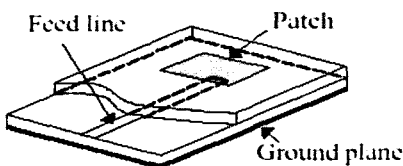
[그림 3] 패키징된 안테나 - 주파수 대역은 60 GHz^[6]

한다. 밀리미터파 대역에서는 여러 능동 및 수동소자들이 하나의 패키지 안에 집적화 되므로 이 때 여러 간섭현상이 발생할 수 있으며 특히 안테나의 복사로 인해 다시 회로로 간섭되는 최악의 경우를 방지하기 위하여 격리(isolation)시킬 필요가 있으며 이에 [그림 3]과 같은 구조가 이용된다.

[그림 3]은 RF 회로와 안테나의 급전선(feeding line)이 slot을 통하여 전자계 커플링(electromagnetic coupling)을 유도한 후 안테나를 통하여 신호를 전달하는 구조이다. [그림 4(a)]는 패치 안테나의 실제 사진을 나타내고 있으며 [그림 4(b)]는 윗면의 능동소자가 집적화 된 것이다. 일반적으로 혼 안테나 및 도파관 형태의 안테나를 고려해 볼 수 있으나 무선 랜

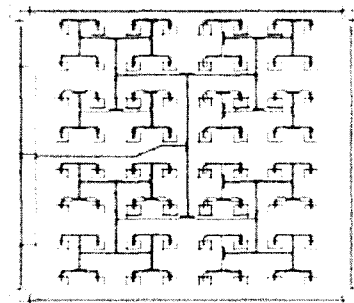


[그림 4] 패키징된 안테나의 사진 - 주파수대역은 60 GHz^[6]

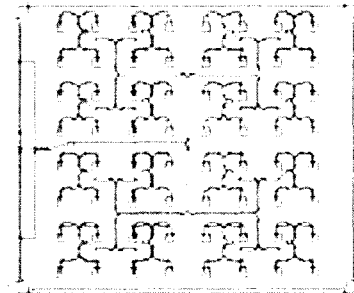


[그림 5] 안테나 단일 소자의 구성^[6]

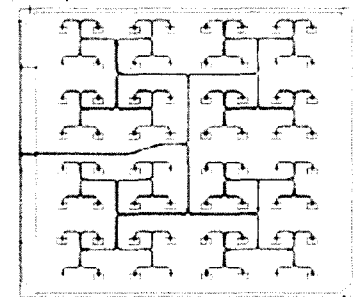
(wireless LAN) 및 옥내용 TV 신호 전송을 위해서, 수요자 측면에서 볼 때는 소형 및 저가의 RF 회로 및 이들 회로와 안테나의 결합이 중요하며 앞서 언급한 혼 및 도파관 안테나들은 이들 소형화 된 회로들과 결합하기에는 너무 크다는 단점이 있다. 패치 어레이 안테나의 단일 소자의 구성은 [그림 5]와 같



(a)

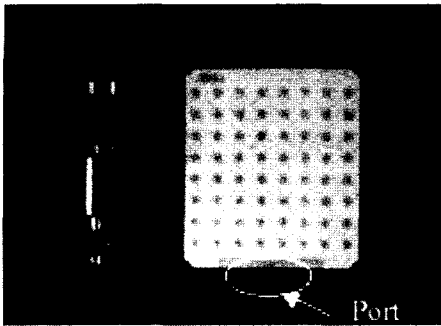


(b)



(c)

[그림 6] (a) Glass 150 μm/150 μm, (b) Glass 200 μm/200 μm, (c) Alumina 150 μm/150 μm^[6]

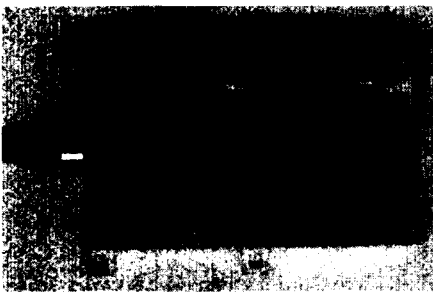


[그림 7] 64소자 어레이 안테나의 사진(30×26 mm)^[6]

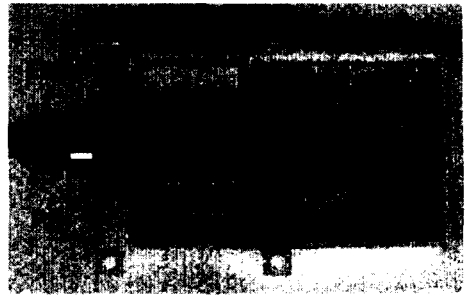
으며 기판은 두 개의 층으로 구성되어 있으며 급전선은 두 개의 유전체 사이에 놓여 있다.

[그림 6]은 재질의 종류 및 두께에 따른 안테나의 설계도를 나타낸다. 이것은 급전선으로부터의 복사 및 표면파(surface wave)로 인한 손실의 정도를 예측하기 위함이다. 사용된 재질인 glass는 Kyocera의 LTCC GL550이며 유전율 5.7 및 $\tan \delta = 0.0019$ 이고 도체는 copper이다. 또한 사용된 알루미늄은 Kyocera의 HTCC A473이며 유전율 8.7이고 $\tan \delta = 0.00095$ 이다. 이 때 사용된 도체는 텅스텐이다. 이 두 재질 모두 밀리미터파 대역에서 안테나 및 RF 회로 모듈을 패키징화 하기 위하여 사용된다.

[그림 8]에서는 fiber-radio 시스템에 사용되는 송신기 모듈을 나타낸 사진이며 이때 사용된 안테나는 이득이 18 dBi 정도인 16 소자 패치 어레이 안테나이다.

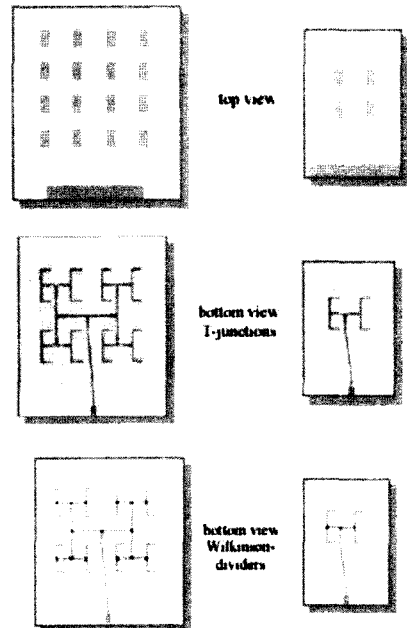


[그림 8] 패치 안테나가 장착된 60 GHz 송신기 모듈^[9]

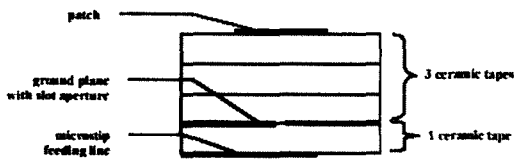


[그림 9] 패치 안테나가 장착된 60 GHz 송신기 모듈의 내부 사진^[9]

앞서 언급한 바와 같이 밀리미터파 대역에서 사용되는 재질인 LTCC는 일반적으로 높은 유전상수를 가지고 있다. 유전상수가 높다는 의미는 회로 크기를 줄일 수 있게 해 주는 반면에 평면형 안테나의 주파수 대역폭 및 효율을 감소시켜서 안테나 설계를 더욱 어렵게 만들 수 있다는 것이다. 크기면에서는 via-hole, thick-film resistor, top-mounted 구성부품 및



[그림 10] LTCC 안테나 prototype: 2×2, 4×4 array^[4]

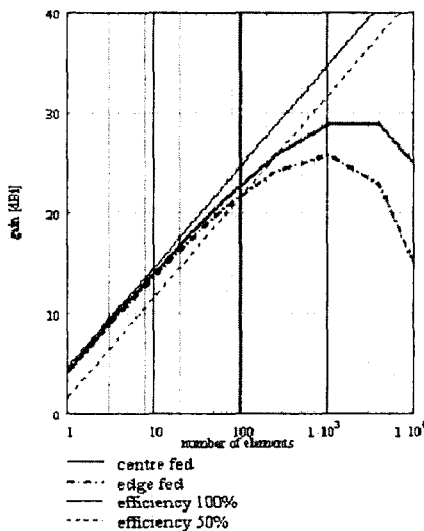


[그림 11] Aperture coupled patch antenna element의 layout structure^[5]

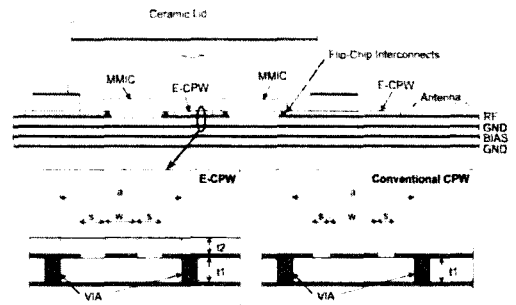
chip device들과 같이 집적화함으로써 소형화할 수 있다는 이점이 있다. [그림 10]에서 다루는 내용은 24.125 GHz 대의 LTCC aperture-coupled patch antenna array이다.

[그림 10]에서 보듯이 안테나 어레이의 급전부분에서의 회로망은 T-junction 또는 Wilkinson-divider를 이용하여 설계되었다. [그림 10]의 단일 소자 안테나를 위한 layout 구성은 [그림 11]과 같다.

이 때 사용된 LTCC 매질은 유전율 5.7, $\tan \delta = 0.002$ 및 gold의 specific resistivity에 대한 상대적인 specific resistivity인 $\rho/\rho_{\text{au}} = 1.6$ 인 FERRO A6-M이



[그림 12] 패치 어레이 안테나의 소자 개수에 따라 예측되는 이득^[4]



[그림 13] MCM의 측면(side view)에서 본 그림^[10]

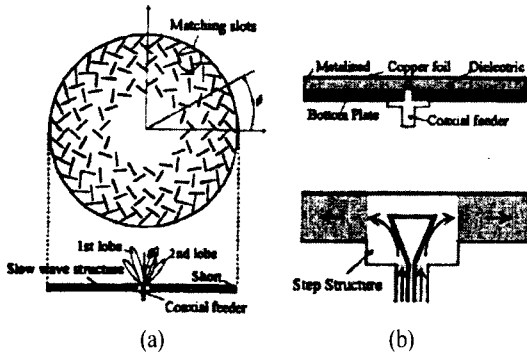
다. 일반적으로 사용되는 패치 어레이 안테나들은 이득이 선형적으로 증가하다가 보통 약 30 dBi 근처에서 포화상태를 보이며 이는 어레이 안테나로 구성할 경우에는 이득에 한계가 있음을 보여준다.

안테나의 최대크기는 critical array size에 의해서 결정되는 것보다는 ceramic wafer의 크기 15×15 cm에 의해서 한계가 결정된다. 또한 안테나로부터 방사되는 전자파로부터 차폐 간섭을 줄이는 방법으로 [그림 13]처럼 안테나 부분이 격리되어 있다.

[그림 13]은 주위에 존재하는 MMIC 능동소자 및 수동소자들과의 간섭을 줄이는 방법으로 각 소자들의 flip-chip interconnection을 실행한 후 소자의 위쪽면에 ceramic lid를 이용하여 shielding의 효과를 강화하였으며 특히, 안테나 부분은 전체 능, 수동소자 부분과 격리되어 상호 전파 간섭을 최소화하였다.

2-3 밀리미터파 대역에서의 안테나 구조 (Slot을 이용하는 경우)

Wireless LAN에 응용하기 위하여 두꺼운 유전체 기판으로 구성된 radial line slot antenna(RLSA)가 single-layer waveguide antenna 중에서 제시되며 80% 이상의 높은 안테나 효율로 인하여 밀리미터파 대역에서의 안테나로 사용된다^[11]. 두 개의 도체로 구성된 디스크가 radial 방향으로 도파관을 형성하고 그 사이에 유전체를 채운 구조이다. 두 개의 도체 중



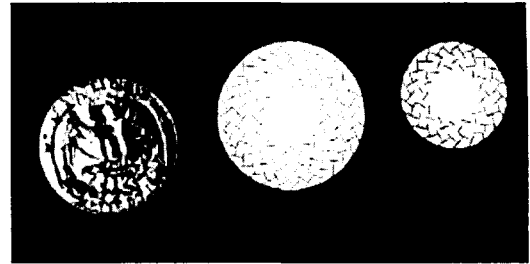
[그림 14] CA-RLSA(Concentric Array RLSA)의 전체 구조, 도파관 및 급전선 구조^[11]

가장 윗면에 위치한 slot은 중심이 일치하도록 구성되었으며 전체 slot을 보면 대칭 구조를 이루고 있다.

[그림 14(b)]에는 CA-RLSA 구조를 지닌 안테나의 두 가지 급전방법으로서 그 중 하나는 입력측에 cavity resonator를 이용하여 boresight pencil beam을 만드는 것이고 나머지 하나는 기울어진 방향(tilted direction)으로 conical beam을 형성하기 위하여 coaxial feeder를 이용하였다^[14]. 또한 <표 2>는 CA-RLSA로 구성해 볼 수 있는 안테나의 변수들에 관하여 언급하고 있으며 60 GHz 대역, 안테나의 크기 및 이득의 관점에서 볼 때 [그림 7]의 패치 어레이 안테나와 비슷함을 알 수 있다.

<표 2> CA-RLSA를 위한 안테나 변수^[11]

	A	B
Antenna diameter	25 [mm]	18 [mm]
Number of turns	3	2
Number of slots	134	60
Relative amplitude of inner round	0 dB	+9 dB
Relative phase of inner round	0 deg.	180 deg.
Main beam angle	9 deg.	30 deg.
Design frequency	60.0 GHz	60.0 GHz
Dielectric constant	2.2	2.2



[그림 15] Millimeter-wave wireless LAN용 RLSA 안테나의 실물사진(60 GHz)^{[12]~[14]}

[그림 15]의 LAN용 안테나는 CA-RLSA의 회전수에 따라 안테나 이득 및 복사 패턴이 변한다.

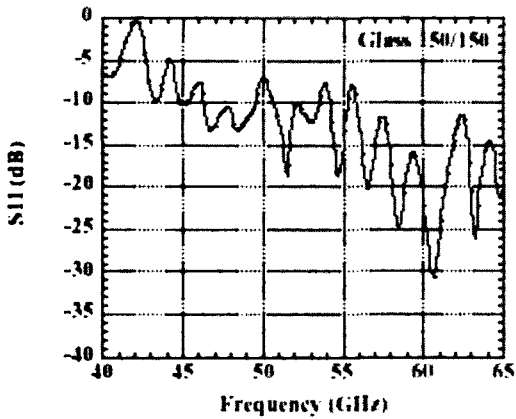
2.4 밀리미터파 대역에서의 안테나 성능

본 절에서는 앞서 언급한 여러 안테나들의 구조에 따른 성능 결과를 살펴보고 마지막으로 MMIC와 다층 기판에 결합된 안테나 구조를 소개한다.

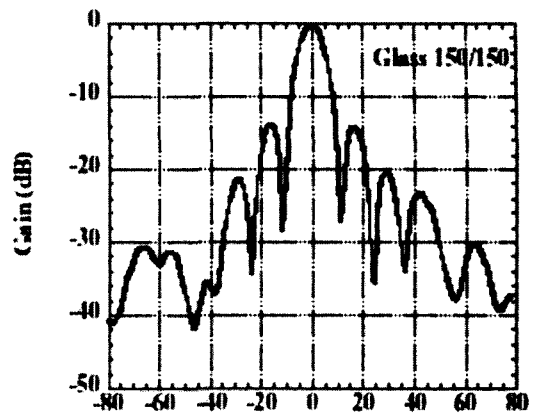
[그림 16]과 [그림 17]은 각각 [그림 6(a)~(c)]에 나타난 어레이 안테나의 반사계수 및 beam angle에 따른 이득을 나타내고 있으며 [그림 18]은 앞서 언급한 [그림 6]의 안테나 종류별 주파수에 따른 이득을 표시하고 있다. 57~64 GHz 대역에서는 모든 안테나가 대략 18~21 dBi의 안테나 이득을 가짐을 알 수 있으며 알루미늄으로 구성된 안테나의 이득 평탄도가 가장 좋지 않은데 이의 원인은 급전선과 패치가 텅스텐(Tungsten)으로 구성되어 있으며 이 때의 삽입 손실이 고주파 대역에서 매우 크기 때문인 것으로 생각된다.

밀리미터파 대역에서 LTCC 및 multi-layer 구조를 이용하는 경우에, 소형화 및 저가격화를 위해서는 주로 패치 어레이 구조의 안테나를 이용하고 있으며 실제 장착되는 안테나로는 60 GHz 대역까지 제작 가능하다는 것을 [그림 19]에서 알 수 있다.

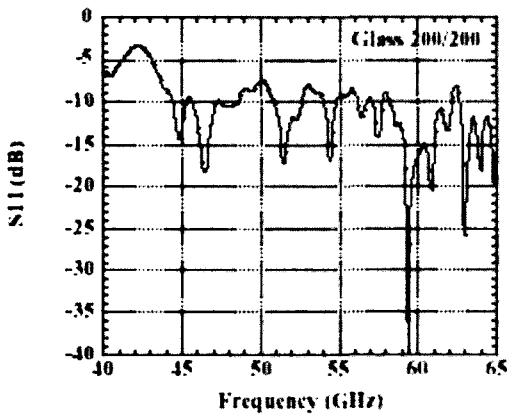
측정된 결과로는 이득이 4 dBi이며 포트에서의 return loss가 약 -10 dB인 안테나를 이용하였다.



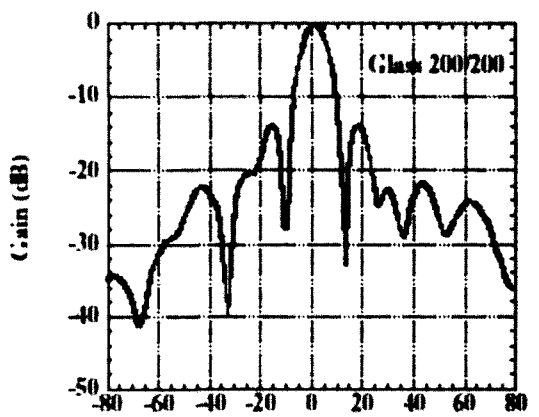
(a) Glass 150 $\mu\text{m}/150 \mu\text{m}$



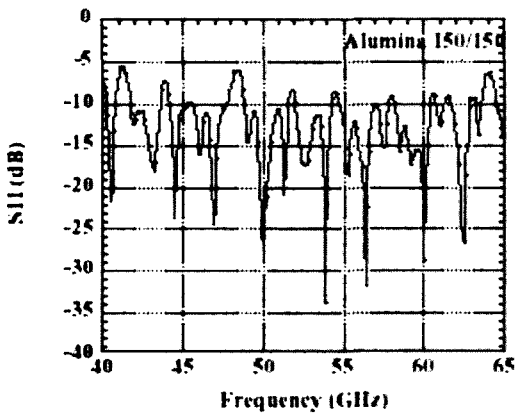
(a) Glass 150 $\mu\text{m}/150 \mu\text{m}$



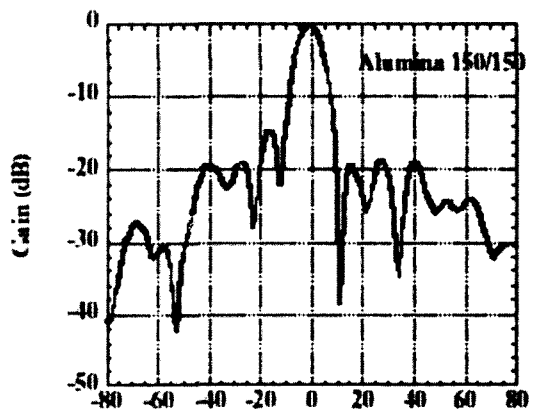
(b) Glass 200 $\mu\text{m}/200 \mu\text{m}$



(b) Glass 200 $\mu\text{m}/200 \mu\text{m}$



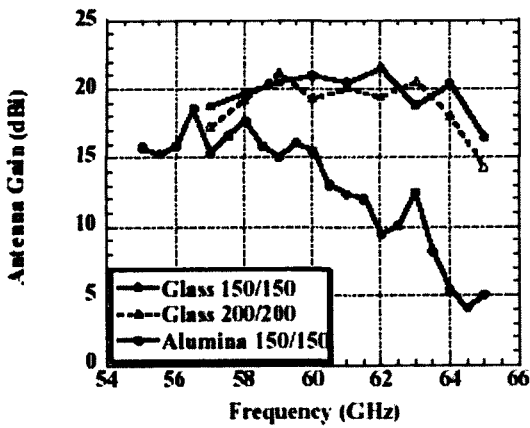
(c) Alumina 150 $\mu\text{m}/150 \mu\text{m}$



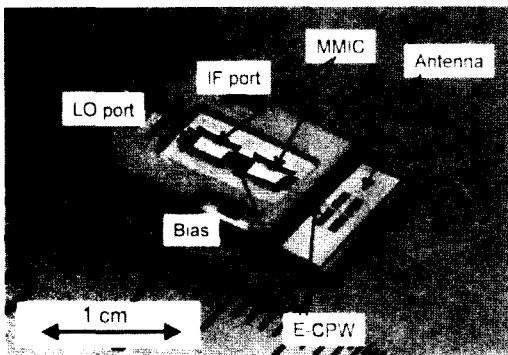
(c) Alumina 150 $\mu\text{m}/150 \mu\text{m}$

[그림 16] 그림 6(a)~(c)의 구조에 따른 64 소자 어레이 안테나의 반사계수^[6]

[그림 17] 그림 6(a)~(c)의 구조에 따른 64 소자 어레이 안테나의 H-plane에서의 directivity^[6]



[그림 18] 그림 6(a)~(c)의 구조에 따른 64 소자 어레이 안테나의 주파수 변화에 따른 이득^[6]



[그림 19] Antenna-integrated MCM substrate^[10]

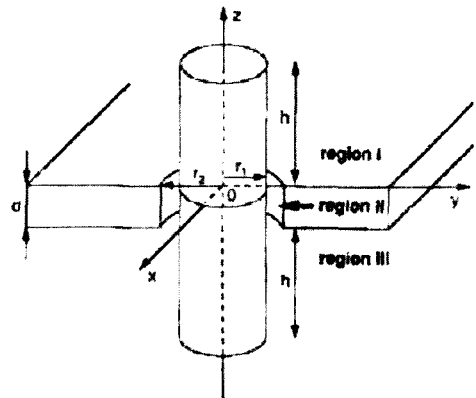
III. 밀리미터파 대역에서의 Via Hole과 Interconnection

3-1 밀리미터파 대역에서의 Via Hole 구조

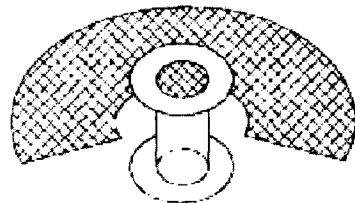
사용주파수 대역이 고주파 대역 및 밀리미터파 대역으로 이동함으로써 각 구성 부품은 특성이 우수하여야 하며, 이와 더불어 구조적으로는 매우 간단한 소형화 또는 최종적으로는 칩 형태의 구조가 되도록 요구된다. 또한 시스템 자체가 점점 소형화되고 있으므로 이를 구성하는 부품들의 소형화 기술은

당연히 요구된다. 이 때 구성 부품들의 배치 또한 중요하며 이러한 배치들을 요구되는 특성이 만족되도록 하기 위해서는 다층 기판 사이의 신호원 흐름을 원활하게 하는 via hole(신호선 연결을 위한 signal via)이 필수적이다. 상대적으로 접지면의 비균일성을 해소하기 위한 방법으로는 접지면 간의 via(ground via)도 필요하다.

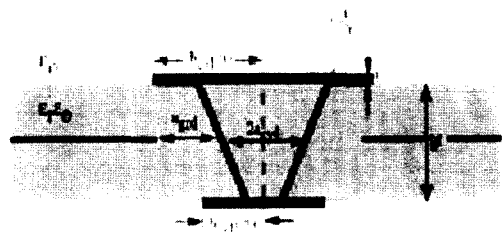
[그림 20(a)]는 via hole을 간략히 도시한 것으로



(a) Simplified via hole structure^[22]



(b) Straight-cylinder via hole^[18]



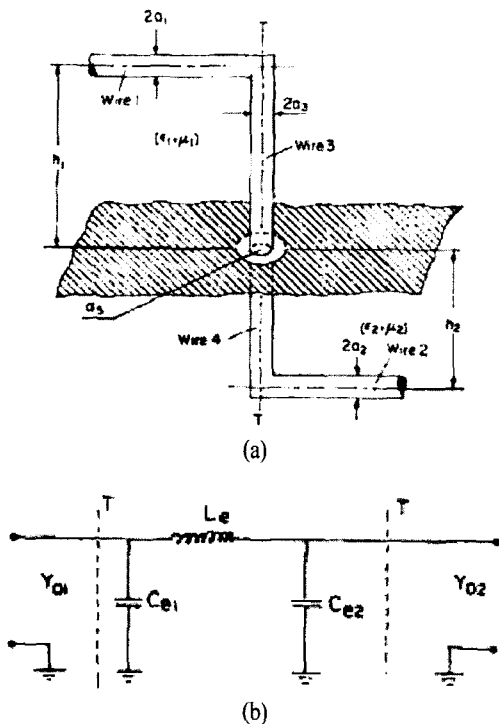
(c) Conical-cylinder via hole^[19]

[그림 20] Via hole의 구성도

서 접지면의 두께에 따른 capacitance의 영향을 고려하기 위한 구조이다. 또한 접지면에서의 aperture의 크기에 따른 capacitance의 영향도 고려한다. [그림 20(c)]는 (a), (b)와 같은 일반적인 구조를 벗어나서 실제 제작시 나타날 수 있는 via 모양으로서 conical-cylinder 형태를 가지는 via hole 구조이다.

다음으로 일반적으로 사용되는 via hole의 구조를 열거하면 먼저 rectangular via, cylindrical via, conical via 및 via pad와 connecting angle이 다른 via 등이 있으며 이들의 등가회로도 다양하게 표현된다. [그림 21]은 quasi-static인 경우의 via hole 구조 및 등가회로를 도시한 것으로서 일반적으로 인덕터 성분인 L_e ([그림 21(b)]의 등가회로에서는 매우 작은 값을 가진다.

또한 C_{e1} 및 C_{e2} 는 via(접지면을 중심으로)의 위쪽 및 아래쪽 부분에서의 excess capacitance를 각각 나



[그림 21] Quasi-static인 경우의 via hole 등가회로^[20]

타낸다. 만약, 등가모델링으로 구성된 [그림 21(b)]에서 TEM 모드가 wire 1을 따라서 via로 전달되고 wire 2가 정합된 부하(matched load)인 Y_{02} 로 종단된다면 최소의 반사가 일어나기 위한 via의 특성 어드미턴스(characteristic admittance)는

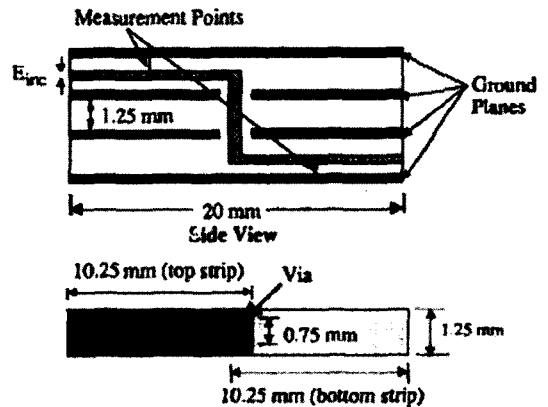
$$Y_e = \sqrt{Y_{01} Y_{02}}$$

이 된다. 또한 위의 식을 만족하면서 동시에 $Y_{01}=Y_{02}$ 가 되면 수식으로부터 via에 의한 반사는 거의 없다는 것을 알 수 있다. 여기서 주의할 점은 Y_{01} 및 Y_{02} 는 접지면에 aperture가 없으면서 각각 접지면으로부터 h_1 및 h_2 만큼 이격된 지점에서 wire 1과 wire 2가 각각 무한히 있는 경우의 어드미턴스를 의미한다.

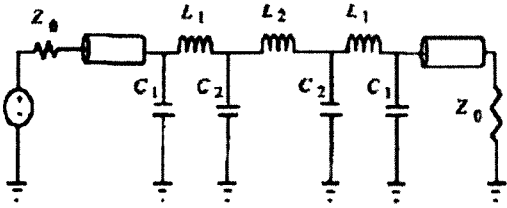
3-2 Rectangular Via Hole 구조

입력 전계로는 Gaussian pulse 형태로 입사되며 strip line과 가장 이웃하고 있는 접지면 사이에 발생하는 전압은 이때 발생하는 수직 전계(vertical electric field)를 적분하여 얻을 수 있다.

[그림 23]에서 strip line은 이상적인 전송선로로 표시하였으며 strip line에서 via로의 transition은 C_1 ,



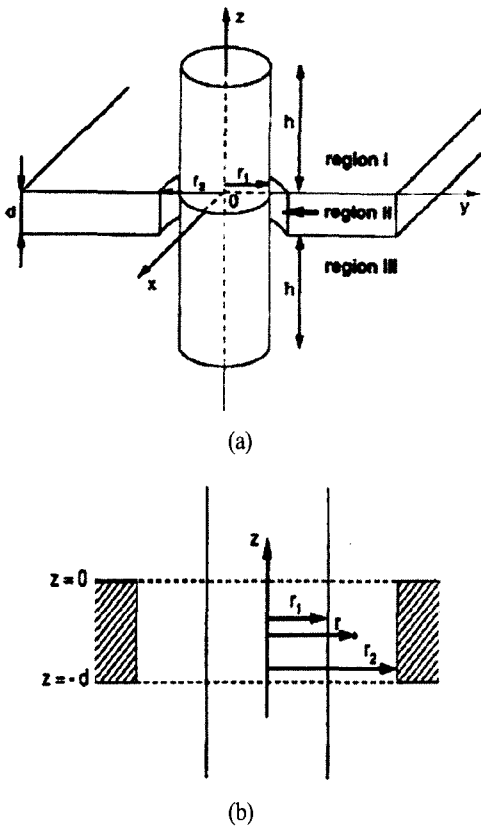
[그림 22] Multilayer circuit board에서 서로 다른 레벨에 있는 두 개의 strip line을 연결하는 rectangular via 구조^[23]



[그림 23] 그림 22의 rectangular via 불연속 구조를 등가적으로 나타낸 회로^[23]

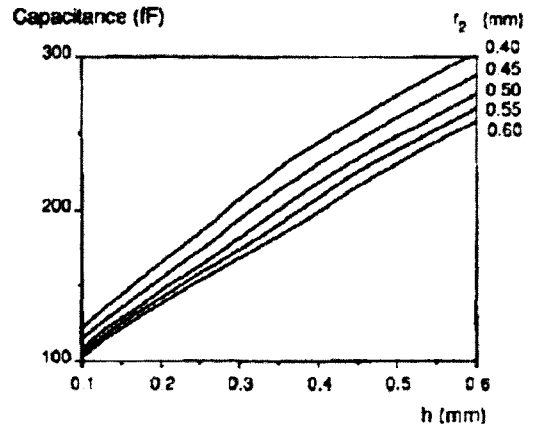
C_2, L_1 으로 구성되는 집중소자 π -회로에 의해 표현되며 중간 레벨에 있는 두 개의 평면 사이에 있는 via 부분은 L_2 로 모델링 된다.

3-3 Circular Via Hole 구조

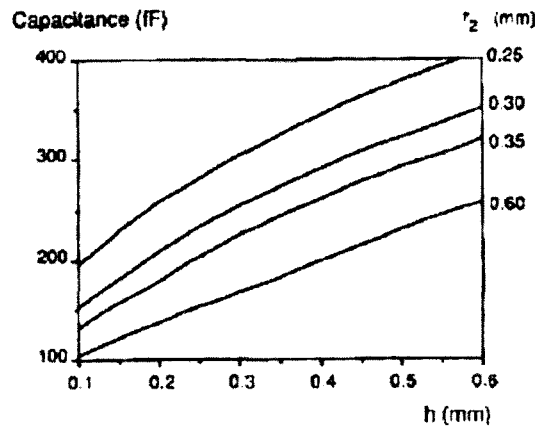


[그림 24] Circular symmetric via hole의 capacitance를 구하기 위한 모델^[22]

[그림 24]의 구조는 가장 일반적으로 많이 사용되는 구조로서 실제의 via hole의 효과는 거의 capacitive 효과를 가진다. 접지면에서 발생하는 aperture에서의 해석적인 해와 함께 signal via 도체 표면에 흐르는 표면 전하(surface charge)로 표현되는 적분방정식으로부터 capacitance 성분을 구할 수 있다. 이때 접지면의 두께에 의한 영향도 고려하여야 한다. 접지면의 aperture의 크기 및 signal via의 길이에 따른 capacitance 값들의 변화를 살펴보면 [그림 25]와 같다.

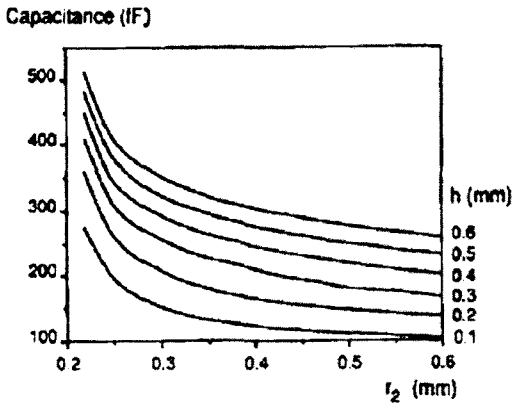


(a)

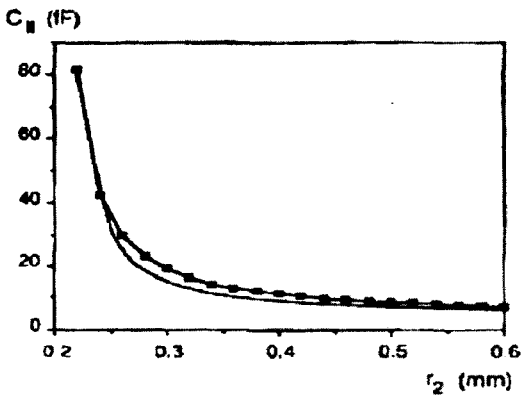


(b)

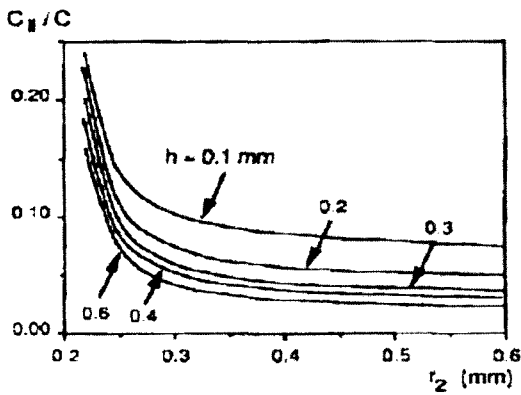
[그림 25] 접지면 aperture의 크기와 signal via의 길이에 따른 capacitance의 변화량($d=35 \mu\text{m}$, 유전율 =4, $r_1=200 \mu\text{m}$)^[22]



(a)



(b)

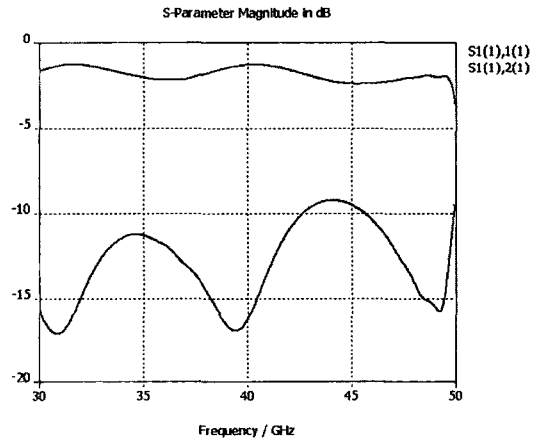


(c)

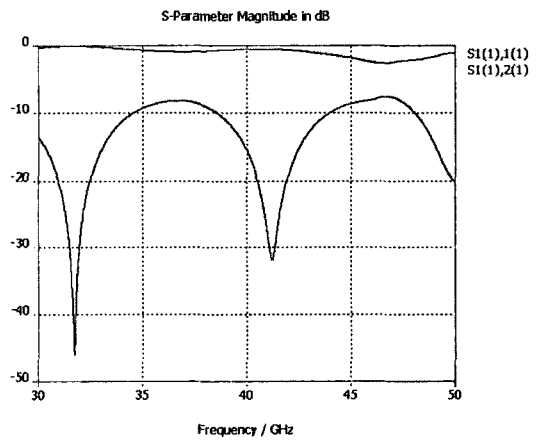
[그림 26] 접지면 aperture의 크기에 따른 각 영역에서의 capacitance의 변화량 및 전체 capacitance에 대한 영역 II에서의 capacitance의 비(ratio)^[22]

[그림 25]로부터 접지면의 aperture의 크기가 작으면 작을수록, signal via의 길이가 작으면 작을수록 접지면과 signal via 간에 생기는 capacitance의 성분이 점점 크게 작용함을 알 수 있다.

[그림 26]은 접지면의 aperture 크기가 점점 증가함에 따라 capacitance 성분이 점점 작은 값을 나타냄을 알 수 있으며 같은 aperture 값에 대해서 signal via의 길이가 길면 길수록 영역 II(즉, 접지면의 aperture와 같은 높이에 해당하는 signal via가 이루는 영역)



(a)



(b)

[그림 27] 원기둥 모양의 signal via를 이용한 다층 기판 transition 모사 결과

에서의 capacitance 성분의 값은 작으며 이 때에는 주로 영역 I과 II에 의한 signal via의 길이에 의해서 이루어지는 capacitance 성분이 주가 된다. [그림 27]은 40 GHz 대역에서 사용 가능한 via hole의 특성을 살펴보기 위하여 다층 기판에서 MS-to-SL-to-MS 구조로 transition이 일어나는 예를 원기둥의 signal via를 가정하여 모사한 결과를 기술한다.

[그림 27]에서 (a)는 접지면 사이에 ground via가 없는 경우이며, (b)는 ground via가 있는 구조로서 (b)의 경우가 실제 제작하는 경우와 비슷하다고 할 수 있으며 ground via가 저손실 전송선로의 transition에 어느 정도 영향을 끼치는지를 짐작할 수 있다. 이외에도 전송선로의 특성을 향상시키기 위하여 conical via hole 구조, via pad 및 connecting angle이 다른 via hole 구조 등 다양한 방법 등이 있다.

IV. 결 론

밀리미터파 대역에서 사용되는 안테나들의 구조 및 성능들에 관하여 살펴보았으며 특히, LTCC 기술을 적용한 안테나의 특성에 관하여도 살펴보았다. 밀리미터파 대역에서는 RF 회로의 소형화 및 저가 격화가 중요한 동시에 RF 회로와 안테나의 격리도를 높이면서(상호간의 간섭을 줄이기 위하여) 복사 패턴의 왜곡 없이 신호를 전달할 수 있는 집적화 구조의 설계도 중요함을 알 수 있었다.

안테나에서의 directivity를 증가시키기 위해서는 전체 안테나의 크기가 증가해야 되지만 이것은 안테나가 소형화가 되어야 한다는 사실과는 위배되므로 두 가지를 동시에 모두 고려할 수 있는 적절한 설계 기술이 필요하다.

또한 밀리미터파 대역에서는 모든 소자들을 집적하기 위한 구조선택에서부터 상호간의 간섭을 줄일 수 있는 방법, 최종단 안테나를 연결하기 위한 vertical via transition이 중요하며 고주파 대역인 만큼

삽입 손실(insertion loss)을 줄일 수 있는 방법도 병행되어야 안테나의 효율을 높일 수 있다. 또 안테나의 효율을 높이는데 중요한 것으로는 안테나 자체 손실 뿐만 아니라 급전선에서의 손실 및 적층구조에서 각 부품간의 신호전달시 발생하는 손실을 줄일 수 있는 방법 및 구조도 연구되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Girish Kumar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, 2003.
- [2] John D. Kraus, *Antennas*, Second Edition, McGraw-Hill International Editions, 1988.
- [3] Constantine A. Balanis, *Antennas Theory - Analysis and Design*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [4] S. Holzwarth, J. Kassner, R. Kulke, and D. Heberling, "Planar antenna arrays on LTCC-multilayer technology", *11th ICAP(11th International Conference on Antennas and Propagation)*, Manchester, pp. 710-714, Apr. 2001.
- [5] R. Kulke, W. Simon, J. Kassner, S. Holzwarth, G. Mollenbeck, P. Uhlig, and P. Waldow, "Power distribution networks in multilayer LTCC for microwave applications", *IMAPS(International Symposium on Microelectronics and Packaging Society) Proceedings*, Baltimore, pp. 321-324, 2001.
- [6] A. Yamada, Y. Amano, E. Suematsu, and H. Sato, "A patch antenna array on a multilayered ceramic substrate for 60 GHz applications", *European Microwave Conference*, Sep. 2001.
- [7] H. Uchimura, T. Takenoshita, "A ceramic planar 77 GHz antenna array", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 453-456, 1999.
- [8] E. A. Soliman, S. Brebels, G. A. E. Vandebosch,

- and E. Beyne, "Antenna arrays in MCM-D technology fed by coplanar CPW networks", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-48, no. 6, pp. 1065-1068, Jun. 2000.
- [9] D. Ferling, W. Heinlich, and W. Kuebart, et al., "Hybrid integrated fiber-amplifier-antenna modules for radio application at 60 GHz", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 457-460, 1999.
- [10] K. Maruhashi, M. Ito, L. Desclos, K. Ikuina, N. Senba, N. Takahashi, and K. Ohata, "Low-cost 60 GHz-band antenna-integrated transmitter/receiver modules utilizing multi-layer low-temperature co-fired ceramic technology", *2000 IEEE International Solid-State Circuits Conference*, 2000.
- [11] A. Akiyama, J. Hirokawa, M. Ando, E. Takeda, and Y. Arai, "Characteristics of 60 GHz band conical beam radial line slot antennas", *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, pp. 2122-2125, 1999.
- [12] A. Akiyama, T. Yamamoto, M. Ando, and E. Takeda, "Conical beam radial line slot antennas for 60 GHz band wireless LAN", *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, pp. 1421-1424, 1998.
- [13] M. Ando, J. Hirokawa, "High-gain and high-efficiency single-layer slotted waveguide arrays in 60 GHz band", *10th International Conference on Antennas and Propagation*, pp. 1464-1468, Apr. 1997.
- [14] A. Akiyama, T. Yamamoto, M. Ando, N. Goto, and E. Takeda, "Design of radial line slot antennas for millimetre wave wireless LAN", *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, pp. 2516-2519, 1997.
- [15] M. Ando, J. Hirokawa, T. Yamamoto, A. Akiyama, Y. Kimura, and N. Goto, "Novel single-layer waveguides for high-efficiency millimeter-wave arrays", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-46, no. 6, pp. 792-799, Jun. 1998.
- [16] P. R. Haddad, D. M. Pozar, "Analysis of two aperture-coupled cavity-backed antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-45, no. 12, pp. 1717-1726, Dec. 1997.
- [17] Edwards, Steer, *Foundations of Interconnect and Microstrip Design*, Third Edition, John Wiley & Sons, LTD, 2000.
- [18] A. W. Mathis, C. M. Butler, "Capacitance of circularly symmetric via for microstrip transmission line", *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 141, no. 4, pp. 265-271, Aug. 1994.
- [19] A. W. Mathis, A. F. Peterson, and C. M. Butler, "Rigorous and simplified models for the capacitance of a circularly symmetric via", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-45, no. 10, pp. 1875-1878, Oct. 1997.
- [20] T. Wang, R. F. Harrington, and J. R. Mautz, "Quasi-static analysis of a microstrip via through a hole in a ground plane", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-36, no. 6, pp. 1008-1013, Jun. 1988.
- [21] T. Wang, J. R. Mautz, and R. F. Harrington, "The excess capacitance of a microstrip via in a dielectric substrate", *IEEE Trans. Computer Aided Design*, vol. 9, no. 1, pp. 48-56, Jan. 1990.
- [22] P. Kok, D. D. Zutter, "Capacitance of a circular symmetric model of a via hole including finite ground plane thickness", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-39, no. 7, pp.

- 1229-1234, Jul. 1991.
- [23] W. D. Becker, P. H. Harms, and R. Mittra, "Time-domain electromagnetic analysis of interconnects in a computer chip package", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-40, no. 12, pp. 2155-2163, Dec. 1992.
- [24] F. Tefiku, E. Yamashita, "Capacitance characterization method for thick-conductor multiple planar ring structures on multiple substrate layers", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-40, no. 10, pp. 1894-1902, Oct. 1992.
- [25] P. H. Harms, J. F. Lee, and R. Mittra, "Characterizing the cylindrical via discontinuity", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-41, no. 1, pp. 153-156, Jan. 1993.
- [26] P. A. Kok, D. D. Zutter, "Prediction of the excess capacitance of a via-hole through a multilayered board including the effect of connecting microstrips or striplines", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-42, no. 12, pp. 2270-2276, Dec. 1994.
- [27] S. Maeda, T. Kashiwa, and I. Fukai, "Full wave analysis of propagation characteristics of a through hole using the finite-difference time-domain method", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-39, no. 12, pp. 2154-2159, Dec. 1991.
- [28] F. Tefiku, E. Yamashita, "Efficient method for the capacitance calculation of circularly symmetric via in multilayered media", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 5, no. 9, pp. 305-307, Sep. 1995.
- [29] G. E. Ponchak, D. Chun, J. G. Yook, and L. P. B. Katehi, "Experimental verification of the use of metal filled via hole fences for crosstalk control of microstrip lines in LTCC packages", *IEEE Trans. Advanced Packaging*, vol. 24, no. 1, pp. 76-80, Feb. 2001.
- [30] G. E. Ponckak, D. Chun, J. G. Yook, and L. P. B. Katehi, "The use of metal filled via holes for improving isolation in LTCC RF and wireless multichip packages", *IEEE Trans. Advanced Packaging*, vol. 23, no. 1, pp. 88-89, Feb. 2000.
- [31] CST사의 MWS(MicroWave Studio) Release 5.0, Germany.

≡ 필자소개 ≡

이 재 옥



1992년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1994년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1995년 10월 ~ 1996년 9월: 일본큐슈(Kyushu)대학교 정보공학과 교환학생

1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1998년 3월 ~ 2004년 2월: 한국전자통신연구원 전파방송연구소 전파기반연구부 선임연구원

2004년 3월 ~ 현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 전자 및 항공전자 전공 조교수

[주 관심분야] 고출력 증폭기 설계, 전자기 수치해석, 저주파 및 광대역 안테나 설계, 마이크로파 및 밀리미터파 수동회로 해석 및 설계, EMI/EMC 해석