《特 輯》

mm파의 특성과 이용

김 인 석
(한국이동통신(주) 부장)

■ 차 례 ■

1 서 론
2 mm파의 특성
2.1 대기의 영향
2.2 분해도(Resolution)
2.3 제한성
3 응용부분
3.1 레이다
3.2 통 신
3.3 Radiometer
4 전송매체와 소자
4.1 전송매체
4.2 소 자
5 결 론

1 개 요

아마도 태초의 빛의 생성과 함께 존재했었을 천연자원인 전자파를 Maxwell이 $\frac{\partial D}{\partial t}$ 항을 Ampere 법칙에 첨가하므로 이론적으로 예견했었고, Hertz는 Spark-gap 발생기로 cm파의 전송실험을 성공하므로 전자파의 존재를 증명했었다. 1895년도에는 Lebedew가 Hertz와 비슷한 방법으로 그가 주장하기를 6mm까지의 파장의 전자파를 발생, 검출했다고 한것이 mm파 공학의 시작이었다고 볼수있고, 최근 Gulf전을 승리로 이끈 연합군의 정확한 군사장비(레이다, 통신, Guidance)에 mm파 공학이 많이 기여를 한것은 그동안 많은 발전을 한것이라고 볼수 있지만 전자파 스펙트럼상 mm파 영역(극초단파와 far infra-red파 사이)은 다른 주파수대에 비해 한가한 편이다.

ITU에서는 30에서 300GHz 대역의 주파수대, 또 1cm에서 1mm의 파장의 물리적 특성을 소유하고 있는 전자파를 mm파라고 지정했다. 최근에 들어와서 mm파의 기술은 cm파기술과 Optical 및 Infrared 기술들로부터 cm파영역에서는 위로 Optical영역에서는 아래로 밀어부쳐 스펙트럼상에 공간을 없애려는 듯한 실정이다[1]. 왜냐하면 주파수대의 사용이 저주파수에서부터 극초단파(cm파) 영역까지 그리고 far infrared 파 (15micron 보다 짧은 전자파)영영에 이르기까지 스펙트럼상 혼잡을 이룬것이 오래전 일이기 때문이다. 그래서 여유있는 mm파 영역으로 확대되는 현상은 자연적인 연장으로 생각된다. 더군다나 mm파는 cm파나 광파가 갖고있지 않은 다른 장점들을 가지고 있으므로 cm파나 광파영역에서의 약점을 보완하려고 mm파의 이용을 시도하여 현재는 160GHz정도의 주파수를 쓰는 장비들을 상업적으로 구입가능하게 되었다[2]

한국통신학회지 제 8 권 제 3 호 1991년 3월

mm파는 (1) cm파보다 넓은 대역폭(Bardwidth), 보다 좁은 Beamwidth, 보다 세밀한 분해도(Resolution), 보다 소형의 안테나와 회로소자를 가질수 있는 장점과 (2) 광파영역에서는 볼수 없는 구름, 연기, 먼지, 안개등을 통과할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 가지고 있는 mm파의 응용은 회로소자들을 생산할 수 없었던 기술적 제한성때문에 이론적이고 부분적인 연구만 진행되어오던 것이 70년대에 접어들면서 mm파영역에서 사용할 수 있는 반도체들이 개발되므로 실질적인 연구에 박차를 가하게 됐었던 것이다. 그렇지만 반도체 개발면으로서는 System Level로의 응용은 즉각적으로 이루어지지 않았다. 그이유는 2가지 이유를 들을 수가 있을 것같다[1].

(1) 스펙트럼의 X band위에서의 전자파 전파특성, 즉 감쇄가 크기 때문이 아닌가, 그리고

(2) 70년대 이전에는 통신및 레이다 System 설계자체에 문제점들이 많이 있어서 설계문제해결이 우선적이고 mm파의 개발은 우선순위에서 제외됐었던 것이 아닌가 하는 생각이다.

이러던 것이 mm파의 연구개발이 활성화가 되기시작한 이유는 70년대후반 공산주의 비밀통신과 레이다 System에 대처하기위해서 있던 것으로 알려졌었다. mm파 발전에 관한 역사적 배경을 알고 싶으신 분은 참고문헌 [6]을 권한다.

2 mm파의 특성

2.1 대기의 영향[3,4]

스펙트럼을 이루고 있는 모든 주파수의 전자파(가시광선 포함)는 대기중의 습기(H_2O), 탄산가스(CO_2), 산소(O_2)와 오존(O_3)에 의해 정도의 차이는 있으나 약간씩 흡수 감쇄된다. 그러므로 mm파 System 설계상 중요하게 생각해야될 점은 대기 감쇄특성이다. 왜냐하면 대기감쇄현상이 심할때는 통신을 불가능하게 하기때문이다. 쉽고 확실하게 증명되는 것은 가시광선의 경우이다.

대기를 통해 전파되는 mm파는

(1) 물방울(water vapor)와 산소에 의한 감쇄

(2) 먼지, Smog, 연기입자들에 의한 감쇄

(3) 비, 구름입자, 우박, 안개, 눈에의한 감쇄등의 3종류의 감쇄를 생각할 수 있다.

(1)의 경우 감쇄율은 주파수, 고도, 온도, 대기압, 상대습도에의해 좌우된다. 그림 1은 해면고도와 13000ft의 고도에서 수평전파의 특성을 측정한 전형적인 대기감쇄특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 60GHz와 180GHz 근처에서 최대의 큰 감쇄특성을 보이고 있는데 이런 주파수대역을 "흡수대역(Absorption)"이라고 하고, 90GHz, 140GHz, 260GHz 근처에서 최소의 감쇄특성을 보이는데 이러한 주파수대역을 "대기의 창(Atmospheric Window)"라고 부른다. (2)의 경우 물방울의 유전상수(Dielectric Constant)가 먼지, Smog, 또는 연기입자들의 유전상수보다 매우 크기때문에 감쇄율이 매우 작으므로 mm파에 거의 영향을 미치지 못한다. (3)의 경우, 비는 mm파 system 설계에 제일 큰 감쇄특성을 보이고 있다. 정지된 물과 빗방울은 산소와 Water Vapor가 합쳐진 경우보다 큰 감쇄특성을 나타낸다(비공진 주파수 영역에서의 감쇄). 빗방울에의한 mm파의 감쇄와 Scattering 현상을 공식화하기위해 많은 연구를 거듭해온 결과, mm파의 감쇄는 빗방울의 크기에 비례하고, 빗방울 한개에 대한 흡수율은 아래 식(1)과 같이 표시될 수 있다는 결론을 얻었다[5].

$$q_a = \frac{\lambda^2}{\pi} \beta^3 I_m\left(\frac{m^2-1}{m^2+2}\right) \qquad (1)$$

여기서 $\beta = 2\pi r / \lambda$

λ = 파장

r = 빗방울의 반경

m = 물의 복소 Refractive Index

$I_m(\ )$ = Imaginary Part of( ).

참고문헌 [5]에 의하면 식(1)은 0.49mm와 0.18mm사이의 경우 파장 곱하기 0.06의 결과로

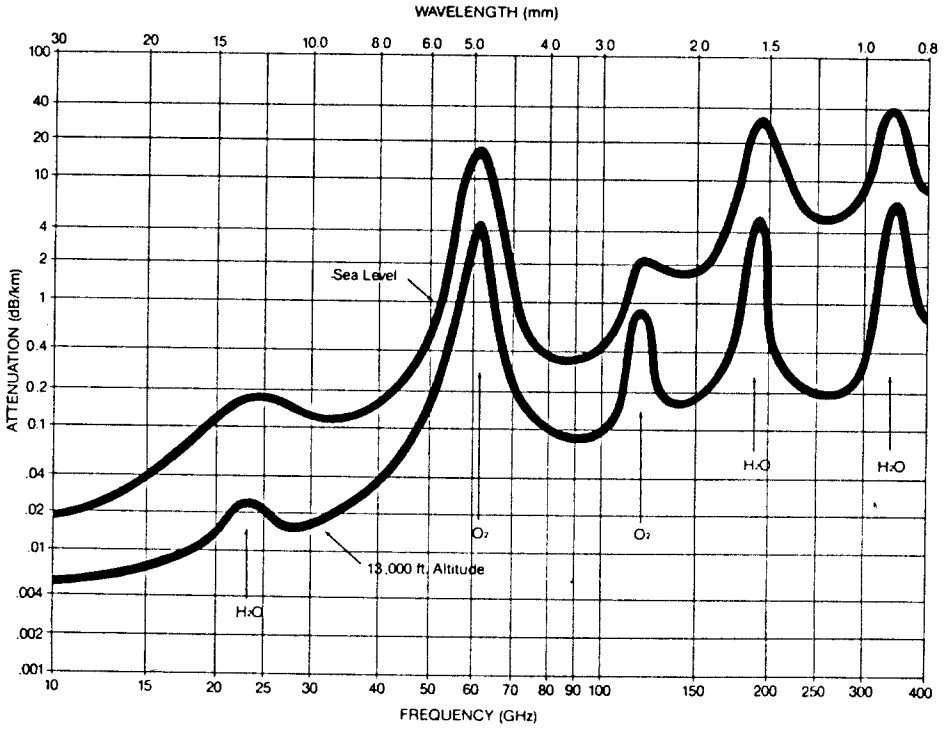

그림 1. mm파의 평균대기감쇄특성

다 작은 반경의 빗방울에 대해 0.5dB의 정확도를 가진다고 주장했다. 보통내리는 비의 경우, 즉 10mm / hr를 추산하면, 94GHz아래의 주파수에서 mm파의 감쇄는 거의 선형적인 감쇄특성을 보이는데 쾌청한 기후의 경우와 비슷하다. 좋지 않은 기후조건을 극복하기 위하여 단순하게 System 출력을 높이는 것은 현실적이 되지 못한다. 예를 들면 대기감쇄율이 5dB / Km이면 출력은 1Km의 통달거리를 늘이기위해 거의 10배의 출력을 높여야 되는 경우를 생각해보면 알수 있다.

2.2 분해도(Resolution)

cm파보다 mm파를 이용하는 중요한 이유하나가 과대하게 큰안테나 Aperture를 사용하지않고서도 좁은 Beam을 얻을 수 있기때문이다. Diffraction Limited Angle Resolution, Ω,는 식(2)에 의해 주어진다.

$$\Omega = 1.2\ \lambda / D \qquad (2)$$

여기서 λ=파장
D=안테나 직경

주어진 안테나 크기에 대해 mm파는 cm파보다 작은 Beamwidth가 가능하다. 그래서 높은 분해도특성을 가지므로 정확도가 높아진다. 예를들면 100GHz에서 ~8cm 직경의 파라볼릭 안테나는 57dB이득과 0.2° 의 3dB Beamwidth를 가지나 같은 크기의 안테나를 10GHz에서 사용하면 35dB의 이득과 3° 의 3dB Beamwidth를 비교하면 확실해진다. 또, 230GHz에서 1.5m 직경의 안테나는 10^{-3} Radian의 각 분해도(Angular Resolution) 특성을 가진다. 좀더 세밀한 각분해

도를 위한다면 Optical 기술을 이용해야 할것이다.

2.3 제한성

mm파영역에서는 안테나 Aperture크기가 작아지므로 RF에너지 포획양도 작아지고 따라서 수신기의 감도도 떨어지게된다. 이득을 높히기 위해서는 Aperture를 크게 하여야 할것이다. 이것이 어려우면 최대의 이득을 얻기위해 성해진 Aperture크기에서 최고의 주파수를 사용해야 할것이다. 그러나 안테나 크기를 크게하므로 통달거리를 늘릴 수는 있으나 여러부분에서 mm파의 장점을 살리기는 어려울것으로 보인다. 넓은 대역폭을 가지므로 Doppler Shift측정을 좀더 정확하게 할수있는 장점이 있지만, 지상-우주간 통신에서 Shift가 커지므로 통신가능한 주파수대역을 벗어나는 경우도 생각해봐야할 제한성 중에 하나이다. 그래서 mm파 통신 System 을 설계할때에 최대 shift를 계산해서 Bandwidth를 정해야한다.

그러나 mm파에서는Beamwidth가 좁아지므로 Search와 Target Acquisition System쪽으로의 응용에는 무지당하다고 판단된다. 그래서 대부분의 mm파 System은 Target Tracking 또는 Homing 쪽으로 채용되어왔다. mm파 System을 설계하는데 가장 크게 가로막는 요소는 적당하고 값싼 소자및 부품이 없다는 것이다. 100 GHz이상에서의 소자, 부품, 그리고 Guided ware Transmission Line들이 크기가 작아지므로 정확성이 요구되고, 그러므로 개발시간이 많이 걸리고, 가격이 비싸지고, 대량생산이 쉽지 않다는 점이다. 특히, 부품크기가 작아지므로 고출력을 내는 반도체등 소자를 생산하기에는 더욱 어려운 점이 있다.

3. 응용부문

mm파는 주로 군사용과 EHF위성통신용으로 이용되어왔으므로 이 장에서는 레이다, 통신, Radiometer 등 3부분으로 나누어 생각해본다.

3.1 레이다

cm파 System은 원부대의 물체를 검색하는데, Optical System은 Image를 포획하는 레이다의 경우 청명한 기후조건에서 확실히 mm파 System보다 좋은 특성을 가지므로 cm파 System과 Optical System보다 효율적인 System구성을 위해서는 위의 두 System을 보완 설계하여야 한다. 즉 cm파 레이다는 넓은 Beamwidth특성을 가지므로 다중경로(Multi Path) 산란와 Sidelobe 반향에의한 스푸리어스 반사가 있다. 그래서 비행기와 미사일 쪽의 응요은 적합하지 않다. 이런경우 mm파를 이용하는 것이 자연적인 발상인 것이다. 좀더의 정확도가 요구되는 경우 LASER 를 이용했었는데 안개및 우천시 mm파 System은 이용가능하나 Optical System은 이용할수 없기때문에 Optical System의 보완 System으로 사용되어왔다. 장거리 Search와 Target Acquisition용 지상레이다에서 cm파를 이용하므로 mm파에서 고려되는 통달거리 제한을 극복하지만 넓은 Beamwidth로 인한 정확도 감소는 위의 Optical System의 경우와 마찬가지로 광각의 cm파 레이다에 일단 포착되면 mm파 레이다를 사용하여 좀더 정확한 Tracking을 할 수 있는 보완적인 System구성도 좋은 착상이다. 협각의 Beamwidth의 특성은 저공의 방위 System을 구성하는데 매우 유용한 성질이다. 작은 크기, 높은 정확도 그리고 어떤 기후조건에서도 어느 정도 동작가능한 특성은 미사일 가이던스와 스마트 군사장비로써 또는 기폭장치로써 매우 많은 응용성이 있다. 일예를 들면 mm파 System은 각각의 탱크를 구별할 수 있는 정확도가 있다.

3.2 통신

mm파를 통신용으로 고려해볼때 첫째로 생각되는 장점은 광대역특성 즉 매우 많은 채널을 생각할수 있고 둘째로 LPI(Low Probability Intercept) 레이다의 경우와 같이 협각의 Beam

과 60GHz의 사용으로 검파가능지역을 줄이므로 특히 Cochannel 혼신문제와 대용량의 채널이 필요한 이동통신분야에서 60GHz의 "흡수대역"을 이용할수 있다. System크기도 작아지고 Microcell 화되고 있는 추세에 적절한 연구방향이라고 생각한다. 즉 10%의 대역폭만 생각하더라도 6GHz의 대역폭을 가지므로 현재 666채널을 사용하는 AMPS 방식과 비교하면 거의 300배의 가입자수를 늘릴 수 있을 것이다. mm파영역에서는 장거리와 단거리 통신 System으로 구별 생각할 수 있는데, 주로 line of sight(point-to-point) 형식을 취하고 있다. 전파되는 경로도 자유공간방사와 특수 전송선로 즉 wave Guiding Structure 등의 2가지로 생각할 수 있다. 후자의 경우 200GHz정도까지 전자파를 Guiding 할 수 있는 특수 Quasi Planar 전송선로에 대해 다음 Section에서 간단하게 설명되어진다. 200GHz 이상에서의 전송선로에 대해서는 Optical 기술을 이용해야된다. 자유공간에서 장거리 point to point 통신은 고이득의 송신설비와 Aperture가 큰 안테나가 필요한데 mm파의 높은 주파수를 사용하므로 작은 안테나 Aperture를 가지고 고이득을 얻을 수 있다. 그리고 실제 고출력 mm파 출력관 Gyrotron이 개발되므로 장거리 point to point통신이 가능하게 되었다.

단거리 point to point 통신으로 자유공간의 높은 고도에서 60GHz대의 mm파를 이용한 위성간의 통신을 예로 들을 수가 있다. 높은 고도에서는 전자파의 감쇄가 매우 적고 해면고도로 내려올수록 감쇄가 커져서 지구표면 근처에서의 검파와 혼신이 거의 불가능해서 위성간의 통신으로써 적합하다. 80년대 수요가 많았던 mm파의 응용부분중에 하나이다. 또 단거리 ship to ship 통신과 전쟁터에서의 통신분야에서도 mm파특성을 이용하고 있다. 즉 안개, 연기, 먼지등을 통과할 수 있는 특성과, 가볍고 작은크기등의 이유로 전쟁터등에서 많은 보병군인들이 개인무선통신용 단말기등에 이용되면 가격도 많이 내려갈 것으로 예상된다. 낮은 가격의 mm파통신링크로서는 36에서 38.6GHz대의 주파수를 사용하는 미국정부 System이 있는데 15m에서 30Km의 통달거리를 가지고 있다. 이 Beam은 사실상 좁은 전파경로밖에서는 검파가 불가능하므로, 비밀 point to point 통신, data통신, Teleconferencing 등의 이용에 이상적이다.

3.3 Radiometer

지상의 자동차 또는 해상의 기선등의 물체를 감지하는 수동적인 Sensor(안테나)로 잡음온도(Noise Temperature)를 검출하는 Radiometer 분야에서도 mm파의 특성을 이용하고 있다. mm파 Radiometer Sensor는 물체와 그부근지역을 스캐닝하면서 안테나로 물체들로부터 방사되는 열을 감지하는 수신기이다. 이수신기는 낮은 입력잡음특성과 높은 이득이 요구된다. mm파영역에서 쇠붙이등은 "0"의 방출율(Emissivity)을 갖지만 배경지역에서는 "1"의 방출율 특성을 가지고 있어 물체에서 나오는 열과 배경지역에서 방출되는 열과의 차이를 검출하므로 원하는 물체를 식별할 수 있다. 하늘온도(Sky Temperature)는 주파수, 기후, 또 스캐닝 안테나의 방향각도에 민감하게 좌우된다. 말하자면 대기의 전파경로에 따라 달라지는 것은 대기상공에 Radiometer가 위치해있을 경우 수직향이 비스듬히 향한 경로보다 짧은 경로를 가지고 있기 때문이다. 물체에서 방사되는 온도는 주위배경에서 방사되는 온도와 실제 혼신을 일으키고 있어서 협각의 안테나 Beam을 사용하므로 분해도를 증가시키므로 Target과 정확하게 비교 검출될 수 있도록 하므로 혼신을 최소한으로 줄여야한다. 이런 의미에서 이분야에서 mm파의 응용은 매우 효율적이므로 주파수가 높은 mm파대를 사용하는 것이 바람직하다.

4. 전송매체와 회로소자

4.1 전송매체

자유공간에서의 mm파 전송은 앞장에서 언급된 것같이 감쇄가 큰 특성이있지만, 회로내에서는

회로소자로써 되도록 삽입손실을 최소한으로 줄여야하는 설계기본 방침이있다. 동축케이블을 비롯하여 Wave Guiding Structure들은 주파수가 높아짐에 따라 구조상의 정확성이 필연적이므로 고가의 비용이 소요된다. 보통의 구형도파관은 mm파 영역에서 감쇄가 많은 관계로 TE_{11}모드의 원형도파관을 많이 사용했다. 그러나 이러한 전송매체는 반도체소자의 부착이 용이하지않아 평판전송매체를 회로구성에 사용하려고 많은 노력을 해왔다. 그중 Microstrip line을 cm파영역에서 주로 쓰였던 관계로 mm파영역에서도 사용했지만 감쇄와 분산특성이 좋지않아 다른 전송매체를 이용하려는 많은 연구가 있었다. 또한 회로설계에는 여러종류의 Discontinuity들의 설계자료가 있어야 되는데 다른 전송매체에 대한 Discontinuity 설계자료가 충분치 않아 일반 RF기술자들이 Discontinuity 설계자료가 상대적으로 많은 Microstrip을 사용한 이유가 아닌가 한다. 그래서 다른 전송매체의 Discontinuity에 대한 설계용 파라메타들을 찾아내기위해서 연구에 연구를 계속하고 있다. 여러전송매체에 관한 구조와 특성들이 그림 2에 그리고 비교검토된 것이 표1에 나타나있다. 요즈음 Monolithic IC의 개발에 Coplanar Waveguide를 사용하기위해 많은 연구노력이 집중되고 있다. 또한 Monolithic IC에 관한 관심이 집중되고 이기술을 이용하여 30GHz대의 수신기 전체를 Monolithic화한 예가 작년 7월에 IEEE MTT에 발표됐었다. 특히 분산특성과 감쇄율을 생각해보면 서스펜디드스트립의 경우가 제일 좋은 특성을 보이고 있으므로 최근 많은 연구원, 기술자들이 서스펜디드스트립을 분석개발하고 있는 중이다. 230 GHz대의 수신기가 Quartz Substrate를 이용하여 설계된 예가 참고문헌[7]에서 찾아볼 수 있다. 위의 전송매체들 중에 반도체소자를 병열연결하기에 용이한 것이 Fin line인데 이경우도 현재 세계각처에서 분석및 설계연구가 한창진행되고 있는 실정이다. 그런대로 많은 연구가, 단면이 일정한 경우, 이루어졌다고 할수 있으나, Discontinuity 의 경우는 여러 연구결과가 일치하지 않고 있는 것이 설계에 사용하기에 어려움이 있다고 할 수 있다. 좀더 자세한 정보가 필요한 경우 참고문헌 [8]을 참조하기 바란다.

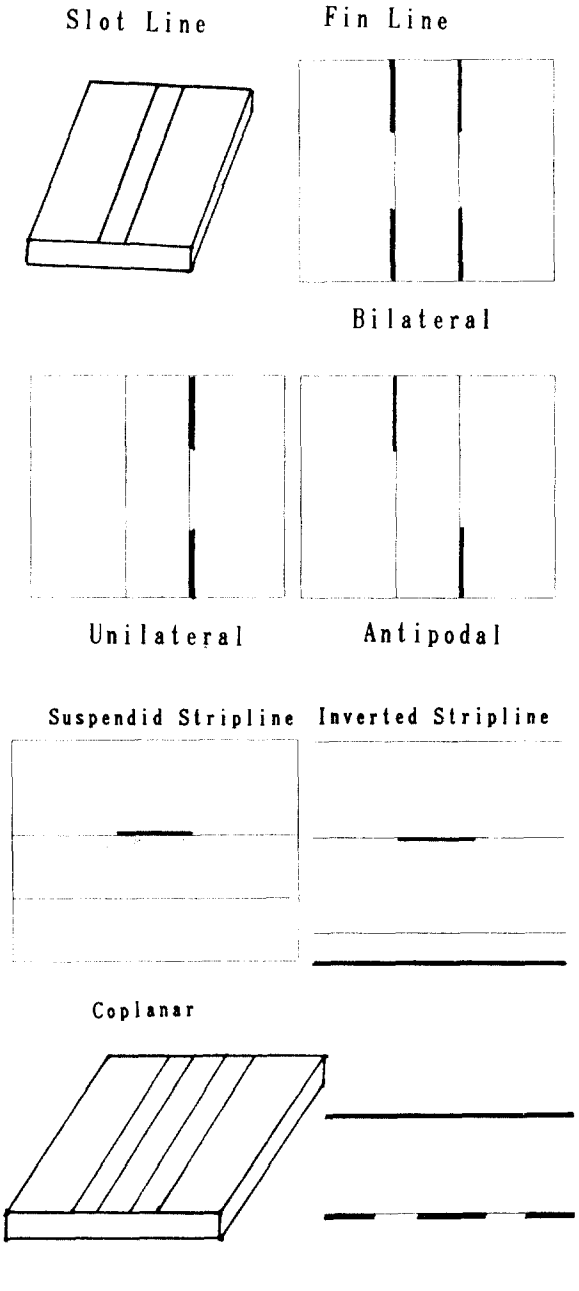

그림 2. 각종 유사평판 전송매체의 구조

표 1. 유사 평판 전송매체의 비교

종류 / 특성	마이크로스트립	서스펜디스스트립	코플라나 웨이브가이드	Conductor Backed코플라나웨이브가이드	Finline
유효 유전 상수	중	하	중	중	하
분 산	중	하	중	하	상
임피던스	중	상	중	중	상
간 섭	상	하	상	상	중
직접소자	상	상	상	상	중
반작소자	하	하	상	상	상
Heat Sink	상	하	하	상	하
Discontinuity에 대한 둔감성도	중	하	하	하	하
Monolithic Integration	상	하	상	중	상

주 : Antipodal Finline을 제외하고 나머지는 매우 높다.

표 2. 미국 Hughes사의 실험실에서 얻은 제일 좋은 결과를 Catalog에서 발췌 : .

	Frequency(GHz)					
	35	44	60	94	140	220
CW IMPATT Diodes (silicon)						
Power Output(mW)	1500	1700	1400	500	120	50
Efficiency(%)	12	13	13.5	6	4	2
CW Gunn Diodes						
Power Output(mW)	400	500	140	75	2	
Efficiency(%)	6	5	2	2	0.2	
Pulsed IMPATT Diodes						
Peak Power Output (Watts)	28			10	3	1
Efficiency(%)	6	8		5	3	2

4.2 회로소자

mm파 System을 설계하기위해서는 회로를 구성하는 소자들이 필요한 것은 명확한화한 일이다. 매우 급작스런 반도체 기술의 발달로 mm파의 발생, 검출 그리고 주파수 변환 모두 다이오드종류, 즉 Gunn, IMPATT, Schottkey 다이오드에 의해 이루어지고 있다. 표2는 Hughes사(미국)의 상용카타로그에서 발췌한 것이다, Gunn 다이오드와 IMPATT 다이오드의 CW 출력과 효율을 22.5℃에서 얻은 결과와 IMPATT 다이오드의 경우 pluse폭 10Nanosecond보다 작게했을 경우의 pulse 출력과 효율에 대해 최상의 측정결과를 얻은것이다. Gunn다이오드와 IMPATT다이오드는 Negative 저항을 이용하여 mm파대역의 기본주파수를 발생하는 소자들로 많은 류의 유사품들이 있다. 그래서 이 두종류의 다이오드에대한 연구결과가 많은 참고문헌에 산적되어있지만 실질적인 다이오드 제작기술에 대한 연구가 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. Schottkey Barrier다이오드는 주파수변환과 신호검출에 최상의 특성을 가지고 있으므로 mm파대역에서도 Mixer와 Detector, 즉 수신기에 사용되고 있다.

mm파대의 응용은 대기감쇄특성으로 인해서 고출력원의 소자가 필연적이다. 고출력소자로서 특이한 것은 새로운 형태의 출력관으로 Gyrotron 을 들수있다. 이 출력관은 소련에서 cm파용의 출력관으로 개발되었던것인데 미국에서도 서둘러 그기술을 받아들였던 것이다. 효율 30~40%의 좋은 특성을 가지고 있고 고출력레이다와 ECM쪽에서 이용되고 있다. 상용의 제품사양으로 Varian의 200KW이상의 CW 출력관(60GHz)을 예로 들수있다. 또다른 출력관으로는 일본주에서 개발한 Multi-Gap Klystron을 이용한 새로운 mm파 출력관으로 Laddetron이 있다. 이출력관의 위의 Gyrotron에 비해 미약할 정도의 출력(60GHz 대역에서 20W 정도) 소자이다.

5 결 론

주파수 스펙트럼상으로보아도 또 기술적인 면으로 보아도 mm파대역은 cm파 저역쪽에서 진입하여오고 Optical 쪽에서도 내려오므로 양쪽의 협공을 받는 형세이다. mm파대의 응용도 양면에서 밀고들어오는 실태이다.

mm파대의 응용연구는 역사적으로 매우 오래되었지만 실제 응용은 이제 시작이라고 말할 수 있겠다. 특히 100GHz 이상에서 System쪽으로의 응용은 연구실쪽에서 주로 개발되고 있다고 보는것이 크게 틀리지 않을 것이다. cm파와 Optical 영역에서의 전파특성을 보완하는 mm

파 system 및 소자개발에 (국내에서는 주로 cm파 밑의 주파수대와 Optical 영역에 관심) 투자를 하고 국제적인 흐름에 앞장서서 첨단기술 입국의 의지를 가진 산업체, 학계, 연구소등을 정부차원에서 과감히 지원해야 할것으로 생각된다. 광장히 많은 응용분야가 황무지인 mm대에 묻여있을 것이라는 것은 의심할 나위가 없다.

참 고 문 헌

1. Weisberg, L. R., "Millimeter Waves- The Coming of Age", 6th DARPA-Tri Service Millimeter Wave Conference, 1977, pp. 4-9.
2. Hughes Millimeter Wave products, Commercial Catalog.
3. Van Vleck, J.H., "Theory of Absorptin by Uncondeusd Gases", in D.E. Kerr (ed.), Propagation of Short Radio Waves, Boston Technical Publishers, Massachusetts, 1964.
4. Rosenblum, E.S., "Atmospheric Absorption of 10 to 400 KMCPS Radiation", Miconoware Journal, Mavch 1961, pp.91-96.
5. Dyer, F.B. and N.C. Currie, "Environmental Effects on Millimeter Radan performance", AGARD Conference Proceeding, 1978, pp. 17 7-185.
6. Wiltse, J.C., "History of Millimeter and Submillimeter Waves",IEEE Troms. Microwave Theory and Techniquco, vol. MTT-32, No.9, Sept. 1984.
7. Schneider, M.V. and G.T Wrixon, "Development and Testing of a Receiver at 220GHz", 1974 IEEE MTT-S, Atlanta, GA, 1974, pp.120-122
8. Special Issue on Quasi-Planar mm-wave Components and Subsystems

김 인 석

저자약력

- 1947년 8월 4일생
- 경희대학교, 전파공학과 학사
- Canada, Univ. of Ottawa 석사
- Canada, Univ. of Ottawa 박사
- KBS 기술국 기술직
- Canada, Com Dev Ltd., Satellite Communication Dept., Technical Staff
- Canada, General Instrument, Satellite System Div., Senior Engineer
- Canadian Space Agency, David Florida Lab., Contract Research Scientist.