

제 출 문

본 보고서를 「차세대 밀리미터파 대역 전파특성
측정방법 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003. 12. 31.

연구책임자 : 박영태 (대진대학교)

연 구 원 : 이상설 (한양대학교)

손태호 (순천향대학교)

최형진 (한양대학교)

전성원 (한양대학교)

연구보조원 : 홍경진 (대진대학교)

요 약 문

1. 과제명 : 차세대 밀리미터파 대역 전파특성 측정
방법 연구

2. 연 구 기 간 : 2003. 2 ~ 2003.12 (11개월)

3. 연구책임자 : 박영태 (대진대학교)

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용

세부 내용	연구자	월별추진일정 (—계획, ...실행)												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
가. mm파의 특성 및 이용분야 조사 o 전파특성, 감쇠특성 등 연구 o 현재 이용분야, 미래의 활용분야 제 시	박영태 전성원 홍경진		—	—										
나. 기본회로량 측정기술 연구 및 중간 보고서 작성 o vector network analyzer를 이용한 측정법 o s-parameters 등 측정 o 임피던스 측정	박영태 이상설 손태호 홍경진				—	—	—							
다. mm파 주파수, 전력, 잡음 측정법 연구 o frequency counter, cavity wave meter, spectrum analyzer 이용법 연구 o 열전쌍 전력계 등 o Y-factor법 연구	박영태 이상설 최형진 홍경진							—	—	—				
라. 기타 측정과 측정기/측정장의 요건 연구 o 정밀 측정용 보조부품을 이용한 측정 법 및 그들에 대한 요건 연구 o 안정된 측정과 오차 감축을 위한 시 험 요건에 관한 연구 o 외국의 사례 연구	박영태 손태호 전성원 홍경진										—	—		
마. 표준 측정법 제안 및 최종 보고서 작성	박영태 최형진 홍경진												—	
분기별 수행 진도(%)		20		25		25		25		30				

나. 세부 과제별 추진사항

- 1) 국내현황 및 외국사례 연구 : 미국, 캐나다, 유럽, 일본, 동유럽 등
- 2) 특성과 응용분야 연구, 미래의 중점 연구 분야 제시
- 3) 표준측정기술 연구
 - 주파수 측정
 - 전력 측정
 - 잡음측정
 - 반사계수 측정
 - 정재파 측정
 - 투과계수 측정 :
 - Network Analyzer, Spectrum Analyzer의 구성 및 동작 원리

5. 연구결과

- 1) 선진국 추세 및 국내 현황 분석
 - 미국은 현재 100GHz-300GHz 대역에 대한 실용화 연구를 진행, 현재 300GHz대역까지 측정할 수 있는 기술 보유
 - 일본의 경우 40~100GHz대에 대한 실용화 연구를 추진

- 러시아를 중심으로 한 동유럽국가들은 이미 밀리미터파 대역의 실용화를 실현
- 중국도 동유럽국가들로부터 이 대역의 실용화 기술과 장비 도입 추진 중
- 우리나라에서는 현재 차세대 이동통신을 위한 5GHz 대역에 대한 실용화 연구가 진행중이나 아직은 선진국에 비해 상대적으로 열세

2) 특성과 응용분야 연구

- 주파수는 30~300GHz(파장 0.1mm-10mm)이며, 공간전송에서는 전송 손실이 많다.
- 저주파에 비해 회절성이 적고 직진성이 크다.
- 공간감쇠특성 연구
- 60GHz대와 180GHz대에 산소 흡수선이 존재
- 반사특성, 산란특성 연구
- 도청이 어렵다.
- 파장이 짧아 회로·부품 등의 소형화가 가능하다.
- 차량탐재용 레이더 : 충돌방지 시스템.
- ID 센서 시스템 : 이동체 식별, 물품 관리, 공정관리 정보 교환을 비접촉으로 수행
- 무선통신 시스템 : 근거리 초광대역 통신에 이용
- 차량간 통신 시스템 : RTI, IVHS, ITS
- 대류권 대기의 계측기술 기초연구
- 대기환경 관측 시스템 기초연구
- 건물목 장애물 감지 시스템
- 전파천문학

- . 밀리미터파 간섭계를 이용한 플라즈마의 밀도 측정
- . 이동체의 위치측정 시스템
- . 전압표준에 대한 밀리미터파의 응용

3) 표준측정기술연구

- . 주파수 측정

측정 장치	측정 범위	특징
주파수 카운터	30-110 GHz	기준발진기가 내장되어 있어 아주 정확, 고가
공동 주파수계	30-110 GHz	가격이 저렴, 정확도 낮음
스펙트럼 분석계	30-110 GHz	높은 주파수까지 측정 가능, 가격이 고가, 고조파믹서를 사용하므로 신호의 분석이 필요

- . 전력 측정 : calorimeter, bolometer, 열전쌍 전력계, 다이
오드 검파형 전력계 이용법 연구
- . 잡음 측정 : 등가잡음온도(equivalent noise temperature)와
잡음지수(noise figure) 측정법, 입력환산 등가잡
음온도법 연구
- . 반사계수 측정 : scalar reflectometer법 연구
- . 정재파 측정 : 도파관 끝을 따라 이동하는 프로브를 이용
해서 정재파비 측정
- . 투과계수 측정 : 가변감쇠기를 다단으로 연결하여 정밀한
측정

- Network Analyzer : s-parameter 측정, 고정밀의 측정이 가능, 일체형, 동축케이블형태는 62.5GHz, 도파관형태는 300GHz까지

- Spectrum Analyzer : 내부구성원리, 측정물리량, 정밀 측정을 위한 요건 연구

4) 측정장의 요건과 측정시 주의사항 제시

- 투과계수 등을 측정할 때는 조정밀 가변감쇠기(variable attenuator)를 다단으로 접속하여 사용

- 측정기와 실험실의 완벽한 접지를 유지하여 정전기 발생에 의한 과도현상 발생을 방지할 것

- 특히 능동회로를 측정할 때 정전기 방지 손목밴드를 착용할 것

- 반사계수 측정 시 방향성이 높은 커플러를 사용할 것

- 장시간 측정 시 계측기 보정을 수시로 하고, 계측기 최초 구동 후 30분 이상 경과 후에 보정할 것

- 실험실을 항온, 항습으로 유지할 것

- 잡음지수 측정시 표준 잡음원으로 가급적 잡음온도가 확실

한 액체질소를 이용하여 Y-factor법으로 산출할 것

- F대역(90-140GHz) 이상에서 도파관 포트를 접속시키는 경우는 초정밀 clamp형 round pin contact 후렌지를 사용할 것

6. 기대효과

- 1) 밀리미터파의 실제적 초정밀 측정기술개발을 위한 준비단계의 연구로 활용 가능
- 2) 밀리미터파 측정에 관한 국가표준을 마련하기 위한 기초자료로도 이용
- 3) 또한 연구 결과를 민간에 이전하여 관련 산업의 활성화를 꾀할 수 있을 것으로 예상
- 4) 향후 국내 정보통신 정책 방향을 설정하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대

7. 기자재 사용 내역

없음

8. 기타사항

없음

SUMMARY

In this study, we examine the characteristics of millimeter waves and the it's applications, and we propose the subjects which we have to study for applications of millimeter wave in the future.

We propose the standard measuring methods for basic parameters of millimeter-wave-circuits, and also present the environmental conditions for accurate measurements.

We treat the measurement method for the frequency, the power, the noise characteristics, the VSWR, the reflection coefficients and the transmission coefficients, etc. in millimeter wave circuits.

The results of this study are expected to be utilized for both the development of precise measurement techniques for millimeter wave applications and the preparing of national-measuring-standard.

목 차

제 출 문	1
요 약 문	2
SUMMARY	10
목 차	11
표 목 차	13
그 립 목 차	14
제 1 장 현황 및 연구목표	16
제 1 절 현황	16
제 2 절 연구목표	18
제 2 장 밀리미터파의 특성과 이용분야	19
제 1 절 밀리미터파의 특성	19
제 2 절 밀리미터파의 응용	33
제 3 절 밀리미터파에 대한 미래의 연구중점 분야와 향후 과제	63
제 3 장 밀리미터파의 표준측정방법	69
제 1 절 측정물리량별 표준측정방법	69
제 2 절 밀리미터파 측정기기	95
제 3 절 측정 환경 및 조건	97

제 4 장 결 론 99

참 고 문 헌 101

표 목 차

표 2.1.1	감쇠상수의 k 와 a 값	24
표 2.1.2	밀리미터파의 일반적 특성	27
표 2.2.1	주파수에 따른 ID 시스템의 특징	38
표 3.1.1	밀리미터파 주파수 측정법	70

그 립 목 차

그림 2.1.1	산소에 의한 감쇠상수의 고도특성	21
그림 2.1.2	주파수에 따른 강우감쇠상수	25
그림 2.1.3	안개와 구름에 의한 감쇠계수 K	26
그림 2.1.4	서로 다른 두 매질 경계면에 입사하는 밀리미터파	28
그림 2.1.5	불규칙한 표면에 의한 산란	30
그림 2.1.6	불규칙한 표면에 반사하는 두 광선의 경로 차이	31
그림 2.2.1	ID 카드시스템의 개념도	37
그림 2.2.2	원격무선감시시스템의 예	40
그림 2.2.3	직접과 통신의 예	43
그림 2.2.4	차량 관제용 밀리미터파 통신기기의 구성도	45
그림 2.2.5	60GHz 음성압축통신 시스템	46
그림 2.2.6	도로-차량 간 통신 개념도	47
그림 2.2.7	차량 간 통신 모델	48
그림 2.2.8	61.5GHz AVES 시스템	50
그림 2.2.9	61.5GHz AVES 시스템의 구성도	51
그림 2.2.10	대기관측시스템의 개요도	54
그림 2.2.11	전파망원경의 구성도	59
그림 2.2.12	플라즈마 밀도측정 원리	60

그림 2.2.13	원호방식을 이용한 위치측정 개념도 . . .	61
그림 2.2.14	쌍곡선방식에 의한 위치측정 개념도 . . .	62
그림 3.1.1	주파수카운터의 원리도	70
그림 3.1.2	공동파장미터를 이용한 주파수 측정법 . .	71
그림 3.1.3	칼로리미터의 원리도	73
그림 3.1.4	볼로미터를 이용한 전력 측정	74
그림 3.1.5	열전쌍 전력계로 전력을 측정하는 원리도 .	76
그림 3.1.6	다이오드 검파형 전력계	77
그림 3.1.7	다단연쇄접속된 시스템의 총 잡음지수 . .	79
그림 3.1.8	반도체 밀리미터파 잡음원	81
그림 3.1.9	방전관 밀리미터파 잡음원	82
그림 3.1.10	표준잡음원을 이용한 잡음지수 측정 회로	83
그림 3.1.11	스칼라반사미터를 이용한 반사계수 측정법	85
그림 3.1.12	정재파 측정 개요도	86
그림 3.1.13	투과계수 측정회로	88
그림 3.1.14	회로망분석기를 이용한 측정도	90
그림 3.1.15	스펙트럼분석기의 구성도	91
그림 3.1.16	스펙트럼 분석기 내부의 믹서	92
그림 3.1.17	스펙트럼 분석기 내부에 있는 IF 필터 . .	93

제 1 장 현황 및 연구목표

밀리미터파 대역의 전자파는 전파특성상 직진성이 우수하며 대역폭이 커서 이동체 간 고속화상 데이터통신, 근거리 무선헤행, 원격탐사, 바이오-레이디오 엔지니어링 등에 활용되어 인류발전에 크게 기여할 것으로 예상되는 중요한 차세대 가용 주파수대역이다. 선진국에서는 이미 오래전부터 밀리미터파 연구에 대한 시작을 하였으나, 우리나라는 이들 선진국에 비해 연구 상황이 많이 뒤떨어져 있는 상황이다. 또한 이와 관련된 선진국의 기술을 도입하려 해도 이들 국가에서는 고급기술의 이전이나 고급장비의 판매를 꺼리므로, 선진기술의 도입은 극히 제한적으로만 이루어지고 있다.

따라서 우리 스스로가 독자적으로라도 밀리미터파에 대한 실용화 연구를 추진하여 외국과 경쟁할 수 있는 우리 고유의 기술기반을 구축할 필요가 있다.

제 1 절 현황

현재 선진국들에서는 항공 및 육상이동수단의 안전점검과 의료기, 접촉식 물리현상 분석 및 우주산업 등에 밀리미터파를 활용하기 위한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 밀리미터파대역 계측기 분야에서도 괄목할 만한 성과를 보이고 있다.

계측기의 경우 미국은 현재 300GHz대역까지 측정할 수 있는 장비를 개발하여 보유하고 있으며, 일본의 경우도 40~100GHz대에 대한 실용화 연구를 추진하고 있다. 독일도 최근에 110GHz 주파수대에서

측정이 가능한 회로망분석기(network analyzer) 양산 체제에 돌입하였으며, 러시아를 중심으로 한 동유럽 국가들은 이미 밀리미터파 대역의 실용화를 상당히 실현하고 있다. 이들 동유럽국가의 기술수준은 세계 최고 수준인 미국과도 어깨를 겨룰만한 상당한 수준에 와 있다. 특히 전파천문학용 기기인 경우는 미국과 동유럽 국가들은 800GHz 대의 장비를 개발하여 실용화에 성공하였으며, 일본도 500GHz 대의 실용화에 성공한 실정이다. 밀리미터파 기술 연구에 비교적 출발이 늦은 중국도 이들 동유럽 국가들로부터 이 대역의 실용화 기술과 장비의 도입을 추진하는 중에 있다.

광대역 디지털방송 고해상도 영상정보 서비스에 있어서 유럽과 일본의 경우 40GHz, 80GHz 대역을, 미국은 그 외에도 71, 84, 103, 116, 122, 152GHz 대역에 이르는 폭넓은 주파수 대역을 검토하고 있다. 또한 도로교통 정보시스템의 경우는 50, 60, 70GHz대역을 계획하고 있다. 한편 일본의 경우는 실내 고속무선랜을 위해 58-64GHz를 연구하고 있다.

우리나라는 선진국에 비해 상대적으로 낮은 대역이지만 점차 높은 대역의 밀리미터파 연구에 관심을 보이고 있다. 이동통신분야에서는 2GHz대 부근에서 이리듐 시스템, 글로벌스타 시스템, ICO 시스템의 상용화를 위한 기술개발과 운용준비를 하고 있다. 22-34GHz 대역에서는 고정통신, HDTV BBS, 전기통신, 비상재해 복구, high density fixed service를 계획하고 있고, 전파자원개발의 측면에서 광대역 멀티미디어 무선전송시스템의 서비스를 위해 40-43.5GHz 대역의 주파수 사용을 검토하고 있다. 또한 ITS(Intelligent Transportation System)와 근거리 무선 랜을 위해 59-64GHz대역을 계획하고 있으며, 그 밖에도 차량충돌방지 레이더를 개발하는 중에 있다. 이 외에도 2.3GHz 무선인터넷, 2.45, 18GHz 대의 무선 랜, radiometer, 전파천문학용 수신기 개발, 고성

능 MMIC 개발, 33, 43, 88, 100, 150GHz 대역 VLBI(Very Long Basement Interferometry) 등을 연구하고 있으나, 아직은 미, 동유럽, 서유럽, 일본 등 선진국에 비해선 상대적으로 열세에 있다.

제 2 절 연구목표

밀리미터파 대역의 전자파에 대해선 우리 스스로가 독자적으로 실용화 연구를 심도 있게 추진하여 외국과 경쟁할 수 있는 우리 고유의 기술기반을 구축할 필요가 있다. 또한 실용화 연구의 기반이 되는 밀리미터파 대역의 고정밀 측정방법을 연구하여 그 결과를 사회전반에 보급하고 측정표준(안)을 제시함으로서 실용화 연구의 효율성과 경제성을 동시에 확보할 필요가 있다. 따라서 다음과 같은 연구목표를 설정해서 현재 연구를 수행하는 중에 있다.

1. 밀리미터파의 주요 특성을 확인 및 이용 가능 분야 발굴
2. 밀리미터파의 주요 측정 물리량을 선정, 선정된 물리량 별로 적합한 측정시스템을 모색
3. 밀리미터파의 이용 분야별로 적합한 측정 방법 조사
4. 측정 방법 별로 적합한 측정 조건 및 측정 환경 연구

제 2 장 밀리미터파의 특성과 이용분야

제 1 절 밀리미터파의 특성

밀리미터파대의 전파는 주파수는 30~300GHz 이며, 저주파에 비해 회절성이 적고 직진성이 크나 레이저광보다는 회절성이 크고 직진성은 적다. 따라서 고해상도 레이더나 마이크로파 분광학 등에 이용된다. 한편, 파장이 짧아 회로·부품 등의 소형화가 가능하며, 대기중에서 산소와 수증기에 의한 흡수손실이 많이 일어난다.

1. 전파 특성

밀리미터파는 대기 중을 진행할 때 감쇠가 많이 발생한다.밀리미터파 대기 감쇠의 특징을 나타내는 가장 기본적 수단은 단위거리당 감쇠량을 나타내는 감쇠상수이다. 여기서는 대기 중을 전파하는 밀리미터파의 감쇠의 원인과 그 계산법을 알아본다.

가. 대기감쇠

대기중에서의 감쇠는 주로 대기중의 수증기와 산소에 의한 흡수 감쇠에 의해 발생한다.

(1) 산소에 의한 감쇠상수

산소에 의한 흡수감쇠는 산소분자의 자기모멘트와 전자파의 자기 상호작용에 의해 일어나는데, 주로 $60\text{GHz} \pm 10\text{GHz}$ 대에 여러개의 산소 흡수선이 존재하며, 180GHz에도 독립적인 흡수선이 존재한다.

지표부근에서는 기압이 높아서 60GHz 부근 흡수선은 산소 분자 간의 충돌에 의해 중첩되어 나타나지만, 상공으로 갈수록 산소분자들의 충돌이 적어져서 흡수선이 분리되어 나타나는 양상을 보인다. 지표부근에서 60GHz 대의 감쇠량은 15dB/Km 정도로 크므로 원거리 전파에는 적당하지 못하다.

대기에 의한 감쇠특성을 알기 위해선 대기의 감쇠상수(propagation constant) γ_0 를 알아야 한다. 이 대기의 감쇠상수를 계산하는 방법에는 대표적인 것으로 Line-by-Line법이 있다. 이는 분광학 자료에 근거한 흡수선의 영향을 고려하여 감쇠상수를 구하는 방법이다.() 이 방법에 의하면 임의의 밀리미터파 주파수에 대하여 기온, 기압, 수증기, 밀도에 대한 감쇠상수를 계산할 수 있는데, 흡수선 부근에서는 비교적 정확하나 밀리미터파 대기창문영역에서는 실제로 측정된 값이 훨씬 큰 이른바 이상흡수가 존재한다. 이러한 이상흡수의 효과를 고려하여 Line-by-Line법을 보정한 것으로 Liebe의 반이론/반경험 계산법이 있는데, 이는 필드실험을 통해서도 그 유효성이 입증되어 CCIR(Consultative Committee International Radio)에서도 이 방법을 택하고 있다.

또한 이 보다 좀 더 간단하고 쓰기가 편리한 간이 근사계산법이 있는데, 이를 소개하면 다음과 같다. 간이계산법에 따르면 대기압 1013mb, 대기온도 15°C 인 건조한 대기에 의한 감쇠상수는 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_0 = \left[7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.027} + \frac{4.81}{(f-57)^2 + 1.50} \right] f^2 \times 10^{-3}$$

: $f \leq 57$ GHz 인 경우 (2.1.1)

$$\gamma_0 = \left[3.79 \times 10^{-7} f + \frac{0.265}{(f-63)^2 + 1.59} + \frac{0.028}{(f-118)^2 + 1.47} \right]$$

$$\times (f+198)^2 \times 10^{-3} \quad : \quad 63 \leq f \leq 350 \text{ GHz 인 경우} \quad (2.1.2)$$

여기서 f 는 주파수(GHz)이다. 그런데 50-70GHz대에서는 산소의 흡수선이 여럿이 존재하므로 위 식은 정확도가 많이 떨어져 사용할 수가 없다. 이때는 그림 2.1.1의 고도 0km에 대한 곡선을 이용하여 감쇠상수를 구할 수 있다.

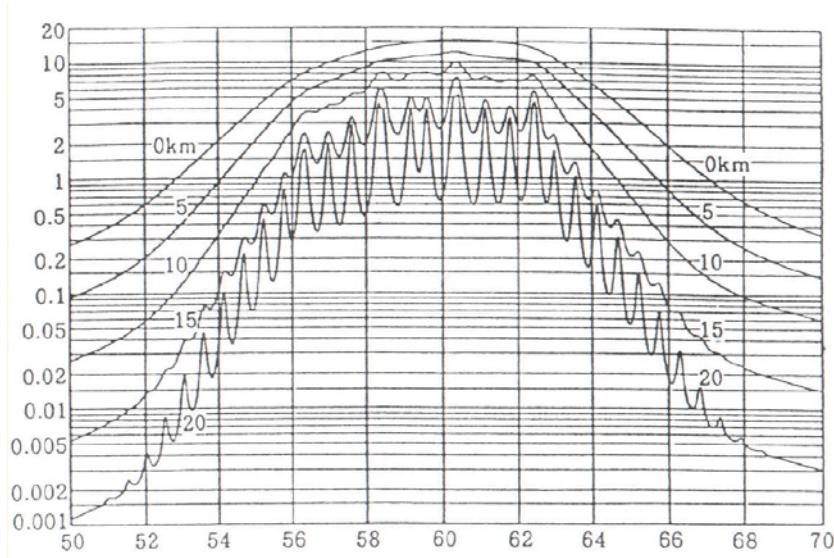


그림 2.1.1 산소에 의한 감쇠상수의 고도 특성

(2) 수증기에 의한 감쇠상수

대기압 1013mb, 온도 15°C 인 경우 수증기에 의한 감쇠상수 γ_w 는 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_w = \left[0.050 + 0.0021\rho + \frac{3.6}{(f-22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f-183.3)^2 + 9.0} \right]$$

$$+ \frac{8.9}{(f-325.4)^2 + 26.3} \Big] \times f^2 \rho \times 10^{-3} : f \leq 350 \text{ GHz 인 경우} \quad (2.1.3)$$

여기서 f 는 주파수(GHz), ρ 는 대기중 수증기의 밀도(g/m^3)를 나타낸다.

(3) 지상전파경로와 위성전파경로의 대기감쇠

지상전파경로든 위성전파경로든 어느 경우나 전파경로 전체에 대한 감쇠량(dB)은 대기감쇠상수의 적분값과 같다.

$$A_s = \int_{\text{전파경로}} (\gamma_0 + \gamma_w) \cdot dl \quad (2.1.4)$$

지상전파의 경우에는 대기가 층을 이루고 있다고 가정하고 전파경로의 길이를 r_0 라 하면, 감쇠량은 다음과 같다.

$$A_s = (\gamma_0 + \gamma_w) \cdot r_0 \quad (2.1.5)$$

위성전파경로의 경우에는 고도와 함께 기온, 기압, 수증기 밀도도 크게 변화하기 때문에 대기 감쇠상수도 파가 진행하는 동안 크게 변화한다. 따라서 이러한 영향을 고려해서 위성전파 경로의 대기감쇠를 계산해야 한다. 이를 위해 대기의 고도분포모델이 이용되고 있다. 즉, 각 고도마다 감쇠상수를 Line-by-Line법으로 계산한 다음 그것을 고도방향으로 적분하면 대기모델에 대한 감쇠량이 구해진다.

나. 강우의 영향

밀리미터파대의 전파를 이용할 때에는 비, 눈, 안개 등의 강수입자의 영향을 미리 파악하고 있어야 한다. 그 중 강우에 의한 전파의 감쇠는 빗방울에 의한 전파의 흡수, 산란현상 때문에 발생한다. 또한 빗방울 하나하나에 의한 감쇠는 빗방울의 형태, 빗물의 유전율, 주파수 및 편파에 따라 달라지며, 또한 강우의 세기와 빗방울 입자크기의 분포에 대해서도 영향을 받는 등 아주 복잡한 양상을 나타낸다.

강우에 의한 감쇠상수 γ 와 강우의 세기 R (mm/h)간에는 대략 다음과 같은 관계가 성립하는 것으로 알려져 있다.

$$\gamma = k R^a \quad (2.1.6)$$

여기서 k 와 a 는 빗방울 입자의 크기, 분포 등의 미세구조와 전파의 주파수, 편파특성 등에 따라 변화하는 복잡한 파라미터이다. 표 2.1.1에는 빗방울 모양을 회전 타원체로 간주하고 빗방울 입자의 크기분포를 Laws와 Parsons의 모델로 가정하였을 경우에 대한 파라미터 값들이 주어져 있다. 표에서 첨자 V와 H는 각각 수직편파와 수평편파를 나타낸다.

표 2.1.1 감쇠상수의 k 와 α 값

frequency(GHz)	k_H	k_v	α_H	α_v
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

CCIR의 권고안에 따르면 Laws와 Parson의 입자 모델은 40GHz

이하의 주파수에 대해서만 타당하다고 제안한다.

그림 2.1.2는 Laws-Parsons의 방법과 Marshall-Palmer의 방법에 의한 계산 결과 및 실험치를 비교한 것이다. 여기서 빗방울의 모양은 구(球)형으로 가정했다. 그림을 보면 40GHz 이하의 경우 빗방울 입자의 크기나 분포가 감쇠상수에 그다지 큰 영향을 미치지 않으나 그 이상의 주파수에선 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

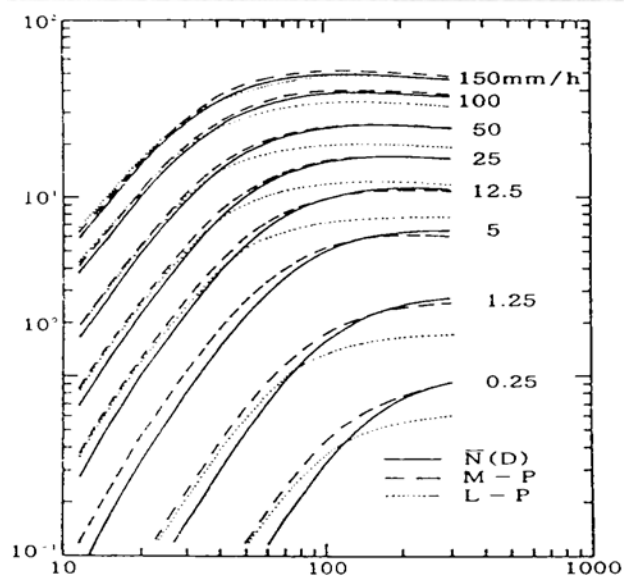


그림 2.1.2 주파수에 따른 강우 감쇠상수

다. 강설의 영향

눈은 매우 불규칙한 모양을 가진 얼음, 물, 공기의 복합체 조각으로 이루어져 있다. 따라서 이것에 의한 감쇠량을 계산해 내는 것은 매우 어려운 일이다. 특히 눈이 포함하고 있는 수분의 양에 따라 전자파의 감쇠특성과 산란특성은 매우 복잡한 형태로 나타난다. 다

행히 강설에 의한 밀리미터파의 감쇠는 비교적 적은 편이나, 싸락 눈이 아닌 젖은 눈일 경우는 그 감쇠의 정도가 비교적 심한 경우도 있으므로 이때는 주의해야 한다.

라. 안개와 구름의 영향

안개와 구름은 매우 미세한 물방울로 이루어져 있다. 따라서 감쇠상수 γ 는 단위체적당 수분의 질량 $M(\text{g/m}^3)$ 에 비례한다고 알려져 있다.

$$\gamma = K \cdot M \quad (2.1.7)$$

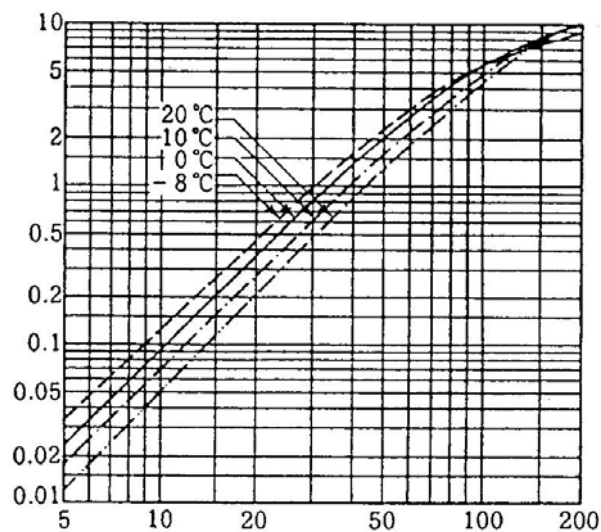


그림 2.1.3 안개와 구름에 의한 감쇠 계수 K

여기서 K 는 물의 유전율과 전파의 주파수에 의해 결정되는 상수

이다. 그림 2.1.3은 주파수 변화에 따른 K 값이 나타나 있다. 이상에서 살펴보면 안개와 구름도 물방울로 이루어져 있긴 하지만 밀리미터파의 파장에 비해 그 크기가 매우 작으므로 식 (2.1.7)과 같이 간단한 근사식이 성립하는 것을 알 수 있다.

참고로 M 의 크기는 가시거리가 300m 정도의 안개인 경우 약 0.05 g/m^3 정도가 되며, 시정거리 50m 정도의 농무인 경우는 약 0.5 g/m^3 으로 된다. 그림 2.1.3에 따르면 가시거리 50m인 농무 일지라도 60GHz의 밀리미터파에 대해서 계수 K 가 0.9dB/Km/g/m^3 정도로 비교적 작은 값을 알 수 있는데, 이는 밀리미터파가 갖는 커다란 장점이라 할 수 있다.

2. 무선통신에 이용되는 밀리미터파의 특성

표 2.1.2 밀리미터파의 일반적 특성

단파장성	<ul style="list-style-type: none"> ○부품의 소형화가 가능 ○전자파의 빔폭을 좁게할 수 있음 ○도플러 효과에 의한 주파수편차가 크게 나타남 	<ul style="list-style-type: none"> ○이동체, 위성, 항공기 등에 탑재 기기에 이용 ○분해능이 높은 레이더 ○저속도 계측
광대역성	<ul style="list-style-type: none"> ○초광대역통신이 가능 ○다중채널을 얻을 수 있음 ○좁은 펄스의 발생이 용이 	<ul style="list-style-type: none"> ○초고속 데이터통신 ○멀티미디어통신 ○다중채널통신 ○분해능이 높은 레이더에 이용
전파특성	<ul style="list-style-type: none"> ○회절성이 적고 직진성이 뛰어남 ○전파 차단이 용이 ○대기중에서 장거리 전송이 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> ○실내 무선통신 ○마이크로셀, 피코셀 통신 ○직접파통신 ○근거리 레이더

백■볼■

밀리미터파를 통신에 이용할 때에는 중파, 단파, 초단파, 마이크로파 등과 비교해서 그 특성이 크게 차이가 나는 것을 염두에 두어

야 한다. 표 2.1.1은 이러한 밀리미터파의 특성을 주파수대역, 파장, 및 전파특성의 세 가지 측면에서 설명하고 있다.

밀리미터파의 전파 특성은 직진성이 뛰어나고 물체를 돌아가는 회절성이 적다. 또한 인체를 비롯한 여러 물질들에서는 조금의 두께만 있어도 전파가 흡수되어 불필요한 간섭 현상이 잘 발생하지 않으므로 사무실과 같은 좁은 공간에서 전자파를 사용하는 경우 매우 유용하다.

밀리미터파를 이용하는 각종 감지 시스템들은 물체에서 발생하는 반사와 산란현상을 이용하여 그 물체에 대한 정보를 얻는다. 따라서 밀리미터파의 응용분야에서 파의 반사특성과 산란특성은 매우 중요하다.

(1) 반사특성

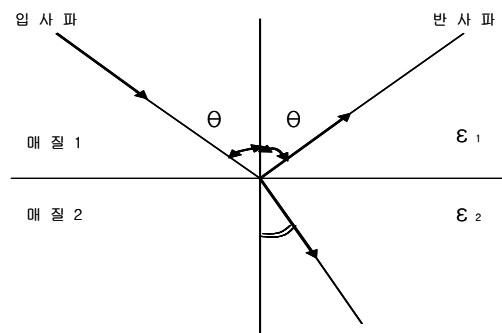


그림 2.1.4 서로 다른 두 매질 경계면에 입사하는 밀리미터파

그림 2.1.4는 서로 다른 두 매질의 경계면에 밀리미터파가 입사하는 것을 나타낸다. 이때 입사파 중 일부는 경계면에서 반사하고 나

머지는 투과한다. 이때 반사계수는 매질의 복소유전율, 입사각 및 편파에 따라 결정된다. 전자장이론에 의하면 평행편파(parallel polarization)와 직교편파(perpendicular polarization)에 대한 반사계수는 각각 다음과 같다.

$$R_{//} = \frac{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \cos \theta - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta}}{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \cos \theta + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta}} \quad (2.1.8)$$

$$R_{\perp} = \frac{\cos \theta - \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} - \sin^2 \theta}} \quad (2.1.9)$$

그림 2.1.5는 주파수가 60GHz인 밀리미터파에 대한 콘크리트 벽면의 반사계수를 측정한 예이다. 콘크리트의 유전율을 6.76으로 가정하였다. □은 직교편파, ○은 평행편파에 대한 측정 결과이며, 실선은 식 (2.1.8)과 식 (2.1.9)에 의한 계산결과이다. 그림에서 입사각이 70° 일 때 반사계수가 최소로 되는 것을 볼 수 있는데, 이때의 입사각을 Brewster각이라 하는데 매질의 유전율에 따라 정해진다. 평행편파가 무손실 유전체의 경계면에 입사하는 경우 Brewster각을 전후로 반사파의 위상이 0°에서 180°로 급격히 변화하나 직교편파에서는 이러한 현상이 발생치 않는다. 따라서 입사파가 원편파인 경우 입사각이 Brewster각 보다 작으면 반사파는 입사파와 반대로 회전하는 타원편파가 되며, Brewster각 보다 크면 같은 방향으로 회전하는 타원편파가 된다.

(2) 산란특성

이제까지 두 매질의 경계면이 평면인 경우에 생기는 반사현상에 대해 살펴보았는데, 이제부터는 경계면이 불규칙한 경우에 발생하는 산란현상에 대해 알아보기로 한다. 그림 2.1.5는 이러한 경우를 나타내고 있는데, 표면이 아주 거친 경우는 반사파의 거울면 반사 성분(coherent 성분)이 사라지고 산란성분(incoherent 성분)이 나타나기 시작한다.

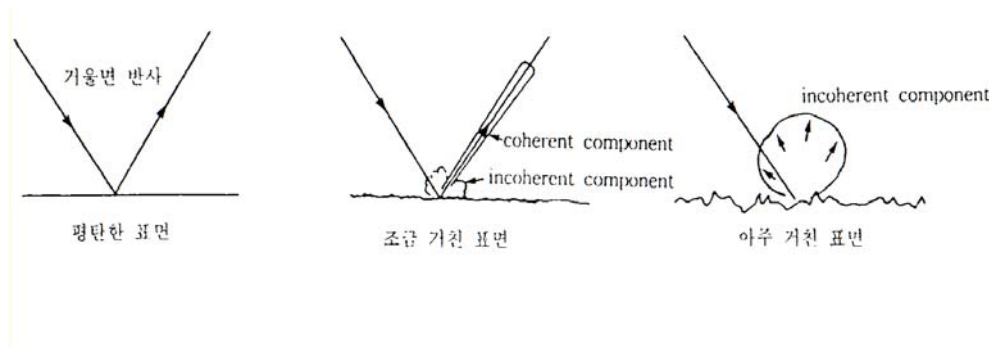


그림 2.1.5 불규칙한 표면에 의한 산란

경계면이 불규칙하나 아니냐를 판단하는 기준으로 Rayleigh 기준과 Fraunhofer 기준이 있다. 그림 2.1.6에서 두 광선의 경로차이를 ΔL 라 하면 다음과 같다.

$$\Delta L = 2h \cos \theta \quad (2.1.10)$$

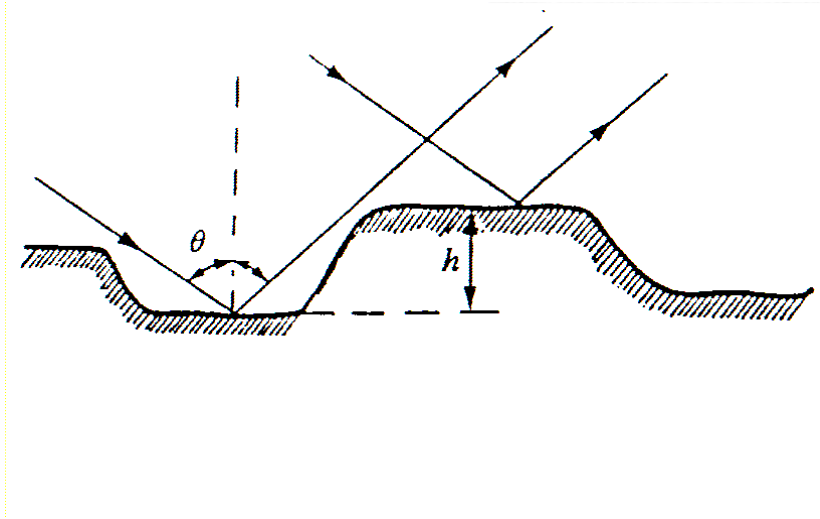


그림 2.1.6 불규칙한 표면에 반사하는 두 광선의 경로차이

Rayleigh 기준에 의하면 불규칙 표면은 $\Delta L \geq \lambda/4$ 이며, Fraunhofer 기준으로는 $\Delta L \geq \lambda/16$ 이 된다. 이를 좀 더 상세히 표현하면 다음과 같다.

$$h = \frac{\lambda}{8} \sec \theta : \text{Rayleigh 기준} \quad (2.1.11)$$

$$h = \frac{\lambda}{16} \sec \theta : \text{Fraunhofer 기준} \quad (2.1.12)$$

참고로 입사각이 0° 인 경우를 살펴보면, Rayleigh 기준은 $h = \lambda/8$, Fraunhofer 기준은 $h = \lambda/16$ 이다. 이들 기준을 적용시켜 볼 때, 밀리미터파대역에선 1mm 이하의 요철도 불규칙한 표면으로 간주될 수 있으므로 우리 주변에 존재하는 수 많은 물체의 표면이 불규칙 표면으로 인식될 수 있는 것이다.

표면이 불규칙한 경우 반사계수를 구하는 것은 매우 복잡하며 정

확한 계산법은 존재하지 않는다. 따라서 근사적으로 계산할 수 있는 방법 중 대표적인 것으로 다음과 같은 식이 있다.

$$R_e = R_s e^{-2\sigma k \cos \theta} \quad (2.1.13)$$

여기서 R_e 는 요철이 있는 경우의 등가반사계수이며, R_s 는 식

(2.1.8)과 식 (2.1.9)에서의 반사계수이다. 또한 k 는 자유공간에서 전파상수($2\pi/\lambda$), σ 는 표면의 요철분포를 정규분포로 가정했을 때의 표준편차, θ 는 입사각이다.

불규칙한 표면에 의한 산란파의 수신전력을 구하기 위해서는 레이더방정식이 이용된다. 고립된 단일 산란체가 있는 경우 후방산란파에 의한 산란전력식(레이더 방정식)은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 L^2} \sigma_R \quad (2.1.14)$$

여기서 G 는 수신안테나의 이득, L 은 송신안테나와 산란물체까지의

거리, σ_R 은 산란체의 레이더 단면적이다. 또한 임의의 표면에 대한

레이더 방정식은 다음과 같다.

$$P_r = \int_s \frac{P_t^2 G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 L^4} \sigma_0 dS \quad (2.1.15)$$

여기서 s 는 레이더의 관측영역이며, σ_0 는 단위면적당 레이더 단

면적(정규화 레이더 단면적)을 나타낸다.

비가 내릴 때와 같이 입자 모양의 산란체가 3차원으로 분포되어 있는 경우는 체적산란으로 취급된다. 이때 관측 체적내에 있는 각각의 입자에 대한 산란전력을 모두 더하면 후방산란전력을 구할 수 있다. 따라서 단일입자에 대한 레이더 방정식으로부터 체적산란에 의한 레이더 방정식을 구하면 다음과 같다.

$$P_r = \sum_i \frac{P_t^2 G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 L^4} \sigma_i \quad (2.1.16)$$

제 2 절 밀리미터파의 응용

밀리미터파는 저주파가 가질 수 없는 특별한 성질에 의해 여러 분야에서 다양하게 이용되며 앞으로도 그 활용도가 무궁무진하게 늘어날 전망이다. 이 절에서는 미래의 이용분야를 발굴한다는 차원에서 현재까지 이용하고 있거나 연구가 진행 중인 밀리미터파의 응용분야를 고찰하고 미래의 이용가능분야를 발굴한다.

1. 차량탐재용 레이더 : 충돌방지 시스템

차량 충돌 방지를 위한 적외선 레이더는 이미 1990년대 초 무렵부터 대형차량 등에 장착되어 실용화되고 있다. 이 장치는 앞 차와의 거리를 측정해서 충돌 여부를 판단하는 장치로 근적외선을 사용하므로 악천후(비, 눈, 안개)와 먼지 등에 매우 취약하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 전자파 레이더의 필요성이 제기되었으나, 도로의 모양이 복잡하고 도로상의 구조물로부터 불필요한 전자파의 반사가 일어나 이로 인해 목표물의 식별이 곤란하여 만족할 만한 성능을 갖는 레이더를 개발하는 것이 매우 어려웠다. 따라서 이러한 단점을 해소할 수 있는 방안으로 차량용 밀리미터파 레이더의 개발 필요성이 제기되었다.

차량충돌방지용 밀리미터파 레이더는 1960년대부터 개발이 시작되었으며 1970년대부터는 많은 시제품이 나오기 시작하였다. 최근 들어서는 70GHz대 이상의 주파수를 주로 사용하는데, 독일 등의 유명 자동차 메이커에서는 이를 장착한 자동차가 시판 되고 있다. 우리나라도 77GHz대역 충돌방지 시스템을 연구하고 있다.

가. 차량충돌 방지시스템에 밀리미터파를 이용하기 적합한 이유

- (1) 단파장이므로 빔폭을 좁게 할 수 장점이 있어 불필요한 반사에 의한 오탐지를 방지할 수 있다.
- (2) 고주파이므로 도플러 효과에 의한 주파수 편이량이 크므로, 주파수의 계측 정확도가 높으며 계측시간이 짧아 고속응답에 적합하다.
- (3) 단파장이므로 회로와 안테나의 소형화가 가능하여 차량 등의 이동체에 탑재가 용이하며, 대량생산 시 가격 절감 효과가 크다.
- (4) 대기에 의한 감쇠가 커서 불필요한 간섭이나 반사현상을 줄여 오탐확률이 적다.

나. 충돌방지 시스템의 기본 개념

차량충돌방지 시스템의 경우 중요한 것은 탐지시스템의 탐지능력보다 오탐확률을 줄이는 것이 더 중요하다. 이러한 오탐을 줄이기 위한 접근법에는 크게 두 가지 방식이 있는데, 미국식과 독일식이 그것이다. 여기서는 미국식과 독일식의 설계방식을 제시한다.

(1) 미국식

미국도로교통안전국(NHTSA)에서는 차량탐재용 레이더의 탐지거리를 직선길에서는 50m, 곡선길에서는 35m 정도로 제한하는 조건을 제시한다. 이렇게 하여 오탐확률을 줄이며, 이것과 자동 제동장

치를 결합시켜 장애물이 탐지되면 자동으로 브레이크를 작동하도록 하는 것이다. 이 방식은 차량의 충돌을 완전히 피할 수는 없지만 상당수의 충돌을 방지하게 할 수 있다고 평가된다.

그러나 최근에는 자동브레이크의 오동작시 오히려 승객에게 더 큰 피해를 줄 수 있다는 위험성이 제기되고 있다. 따라서 충돌을 도저히 피할 수 없는 상황에선 자동브레이크 대신 탑승인을 보호할 수 있는 안전장치를 작동시키고자 하는 방향으로 연구를 하고 있다.

(2) 독일식

독일에서는 악천 후나 야간 운행 중 원거리에 있는 장애물을 감지할 수 있는 방향으로 시스템이 연구되고 있다. 이 시스템은 차량 전방에 있는 장애물의 존재 여부와 앞 차와의 거리 등을 감지하여 위험한 상태가 되면 운전자에게 경보를 발령하는 방식으로 동작한다. 인간의 반응시간을 고려할 때 이 방식에는 100~200m 정도의 원거리 탐지 레이더가 필요하다. 따라서 이 방식은 원거리를 탐지하는 만큼 정상적인 구조물까지도 장애물로 오탐할 확률이 많아지고 그에 따른 신호처리가 어려운 단점이 있다.

다. 문제점 및 해결해야 할 과제

이상에서 살펴본 바와 같이 미국식이나 독일식 모두 장단점이 있으므로 차량충돌방지용 레이더는 각국의 도로사정이나 운전자의 운전성향 등을 고려하여 적절히 설계되어야 한다. 그러므로 설계시 반드시 고려해야 할 점들을 제시하면 다음과 같다.

- (1) 이용 조건(고속도로, 자동차 전용도로, 차종 등)에 대한 고려
- (2) 탐지영역(빔폭)과 주파수

- (3) 적절한 레이더 방식(도플러 레이더, CW 레이더)의 선택
- (4) 기상상태의 변화에 따른 오탐 방지
- (5) 곡선길 주행시 대책
- (6) 정상적인 상태에서 마주 오는 차량과 장애물 간의 식별
- (7) 가격 절감

2. ID 센서 시스템

ID 센서 시스템은 이동체의 식별, 물품관리, 공정관리를 위한 정보교환을 비접촉으로 수행할 수 있도록 하는 시스템이다. 개발의 초기 단계에서는 주로 중파대를 사용했으나 그 후 준마이크로파대를 사용하게 되고 점차 시스템이 발달하면서 밀리미터대역까지의 개발이 필요함이 강조되고 있다. 이는 밀리미터파의 좁은 지향성을 이용하여 물체의 상태를 정확히 탐지하며 저주파에 비해 외부 도청(수신)이 곤란하므로 탐지 내용에 대한 보안관리가 용이하다.

가. ID 시스템의 개요

ID 센서 시스템은 그림 2.2.1에서 보는 바와 같이 질문기와 여러 개의 응답기로 구성되어 서로의 자료를 일기, 쓰기를 하면서 이동체의 식별, 물품관리, 공정관리 등의 정보교환을 비접촉으로 수행하는 시스템이다.

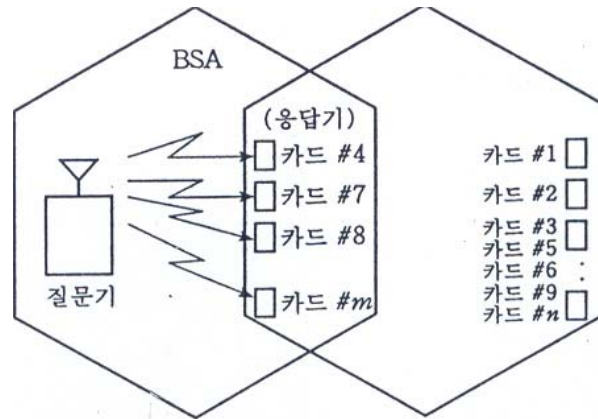


그림 2.2.1 ID카드시스템의 개념도

이상과 같이 밀리미터파를 이용한 비접촉 감지 시스템은 FA, OA분야에서 그 용도가 증가하고 있으며 현재 그 기술이 고도화되는 추세에 있다.

나. 밀리미터파의 장점

표 2.2.1은 주파수 대역별 ID 시스템의 장단점들을 비교한 것이다.

표 2.2.1 주파수에 따른 ID 시스템의 특징

	VHF/UHF	마이크로파	밀리미터파
전파손실	적음	보통	많음
물체에 의한 차단	다른 건물로 전파	다른 층으로 전파	벽에 의해 차단
이용 현황	일반 무선통신	이동통신, 의료	초광대역 통신
내잡음성	전기기기의 영향	고주파 가열로 등의 영향	간섭 현상이 적음
소비전력(효율)	양호	보통	불량
안테나 지향성	무/저지향성	중/고지향성	고지향성
회로 구성	일반 소자	일반 소자, MIC	MMIC
보안성	도청이 용이	도청이 비교적 용이	도청이 어려움
가격	저렴	보통	고가

밀리미터파를 ID 시스템에 이용하면 외부기기로부터 들어오는 잡음이 적고 안테나의 지향성도 좁게 만들 수 있기 때문에 간섭과 방해가 적은 시스템을 손쉽게 구축할 수 있다. 또한 전파 손실이 많으므로 조금만 떨어져도 다른 시스템간의 주파수 공유가 가능하고 도청방지와 비밀유지에 적합하다. 이러한 이유에서 밀리미터파는 ID 시스템에 적합한 주파수 대역이다.

다. 해결해야 할 과제

ID 시스템은 질문기와 응답기로 구성되는데 그 중 응답기의 소형화와 소비전력을 줄이는 일 및 가격을 낮추는 일이 중요하다.

3. 무선통신 시스템

밀리미터파는 초광대역 특성을 갖고 있으므로 초고속 무선 광대역 다중통신에 적합하다. 밀리미터파대에서 응용되는 무선통신 시스템으로는 여러 가지가 있으나 여기서는 50GHz대 간이무선장치와 위성통신시스템을 소개한다.

가. 50GHz대역 간이무선장치

간이무선장치는 소형이며 고이득의 안테나를 이용하여 고정통신, 이동통신, 방송중계용의 어느 것이나 가능하다. 이용분야는 다음과 같다.

- (1) 기업내의 네트워크 (실내 무선랜)
- (2) 원격무선감시시스템
- (3) 방송취재용

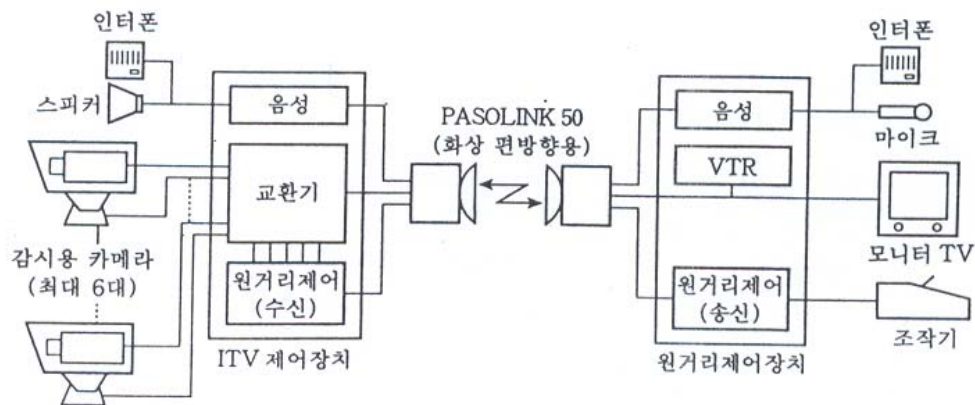


그림 2.2.2 원격무선감시시스템의 예

50GHz 간이 무선장치는 주변기기와 조합함에 따라 각종 시스템

을 구성할 수가 있다. 그림 2.2.2는 간이무선통신시스템을 적용한 간단한 원격무선감시시스템의 예를 나타낸다.

또한 간이무선통신 시스템의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 케이블 매설공사가 불필요
- (2) 광대역 대용량의 정보를 전송
- (3) 고정통신/이동통신/임시회선용으로 모두 다 가능
- (4) 빌딩이나 기업내의 네트워크로 이용 가능
- (5) 원격 감시용으로 사용 가능
- (6) 방송 취재용

나. 위성통신 시스템

(1) 밀리미터파 위성통신 시스템의 특징

- 상용 가능한 주파수 대역이 넓다.
- 소자나 시스템을 작게 만들 수 있으며, 안테나의 빔폭도 줄일 수 있다.
- 광대역 시스템을 구현할 수 있다.
- 대기 감쇠가 큰 주파수(예, 60GHz)를 사용하면 지상국과의 간섭이 없는 시스템을 구축할 수 있다.

(2) 밀리미터파 위성통신시스템의 이용분야

밀리미터파 위성통신시스템으로 고정위성통신시스템, 이동체위성통신, 위성간 통신시스템이 있다.

- 고정위성통신시스템은 지상에 있는 고정국 사이를 밀리미터파 위성의 회선을 이용해 접속하는 시스템이다. 이 시스템에서 운용상 가장 큰 문제가 되는 것은 강우에 의한 감쇠현상이다.

- 이동체위성통신은 지상에 있는 이동국간이나 이동국과 고정국간의 통신을 말한다. 파의 직진성이 강하므로 통신가능범위가 한정적이며 원거리 통신이 곤란하지만 이는 오히려 간섭이 적은 시스템을 구축할 수 있다는 장점이 되기도 한다.

- 밀리미터파 위성간 통신은 정지위성간이나 정지위성과 저궤도위성간을 접속하는 것으로, 광대역이며 안테나를 소형으로 만들 수 있고 대기감쇠의 영향을 받지 않는다는 장점이 있다.

(3) 밀리미터파 위성통신 시스템의 미래

이상에서 살펴 본 바와 같이 밀리미터파 위성통신 시스템은 미국, 일본, 유럽 등 선진국의 경우 현재 고정통신, 이동통신, 위성간통신의 형태로 이용되고 있으며 그 실용화 연구가 활발히 이루어지고 있다. 따라서 미래에는 밀리미터파의 단파장성과 직진성, 광대역성의 장점을 살려 더 폭 넓은 분야에 활발하게 이용될 것으로 예상되므로 우리나라도 이 분야에 대한 연구의 필요성이 절실하다.

다. (실내)무선 랜, 랜 간의 접속

(1) 무선 랜

무선 랜 시스템은 단말기의 이동설치가 용이하다는 점과 단말기를 증설할 때 추가적인 배선공사가 필요하지 않다는 장점이 있다. 사용 주파수대는 2.45GHz대와 18GHz대의 두 종류의 시스템이 있으며, 우리나라의 경우도 2.45GHz 시스템을 생산하여 많이 사용하고 있다.

밀리미터파 안테나는 고지향성이기 때문에 이를 이용하면 무선랜의 경우 특정한 방향에서 들어오는 전자파만 수신되도록 하는 직접파 통신을 할 수 있다.

그림 2.2.3은 실내에서 직접파 통신을 하는 예를 보여준다. 그림에서 주국과 부국 사이에는 반사파나 회절파를 사용하지 않기 때문에 사무실 내의 사람이나 물체 등에 의해 주국과 부국 사이 공간에 가려지지 않도록 주의해야 한다.

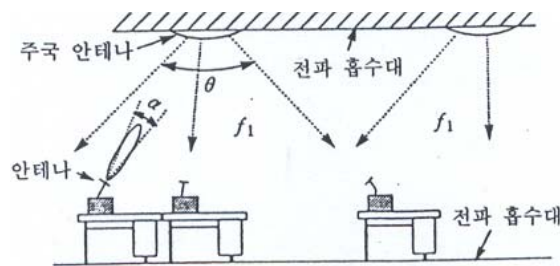


그림 2.2.3 직접파통신의 예

(2) 랜간의 접속

기업체 내의 랜의 전송속도는 날로 갈수록 고속화 되고 있다. 한 기업내의 사무실이 몇 개의 건물로 서로 나뉘어져 있는 경우는 우선으로 랜을 연결하는 것 보다 밀리미터파를 이용하여 랜간을 접속

하는 것이 더욱 유리한 경우가 많다. 선진국의 경우 이미 오래전에 50GHz 대의 랜간 접속장치가 개발되어 있다.

랜간의 접속거리가 도로를 가로지르는 정도의 짧은 거리라면 60GHz 대에서 구현이 가능하지만, 접속 거리가 200~300m 이상이 되면 대기분자에 의한 감쇠효과 때문에 전파의 창이라고 불리는 주파수대를 사용해야 할 필요가 생긴다.

4. 차량간 통신 시스템

교통량이 급속히 증가함에 따라 교통사고와 정체 등의 문제가 중요하게 여겨지고 있다. 이를 해결하기 위해 자동차와 도로를 하나로 묶어 도로교통이라는 개념으로 문제들을 해결하려는 움직임이 있는데, 이를 시스템으로 발전시킨 것이 유럽에서는 RTI(Road Traffic Information), 미국에서는 IVHS(Intelligent Vehicle and Highway System) 또는 ITS(Intelligent Transport System)라 불린다.

가. 60GHz 화상/자료통신

(1) 개요

선진국에서 1970년대 초반부터 연구된 자동차 종합관제시스템(CACS)은 경로유도, 주행정보, 긴급정보, 가변정보 및 공공차량 우선용의부 시스템으로 구성된다. 이 중에서 핵심은 경로유도 시스템인데 이것은 차량이 일반도로나 교차로 등에서 진행하는 방향을 차량에게 알려주고 시시각각 변하는 교통상화를 분석하여 목적지까지 최적의 경로를 유도해 주는 시스템이다. 이때 밀리미터파 감지기

이용하는데, 도로에 설치된 밀리미터파 도로기와 차량탐재기 및 통제센터에 설치되는 중앙(처리)장치로 구성된다.

그림 2.2.4는 이 시스템을 나타낸다.

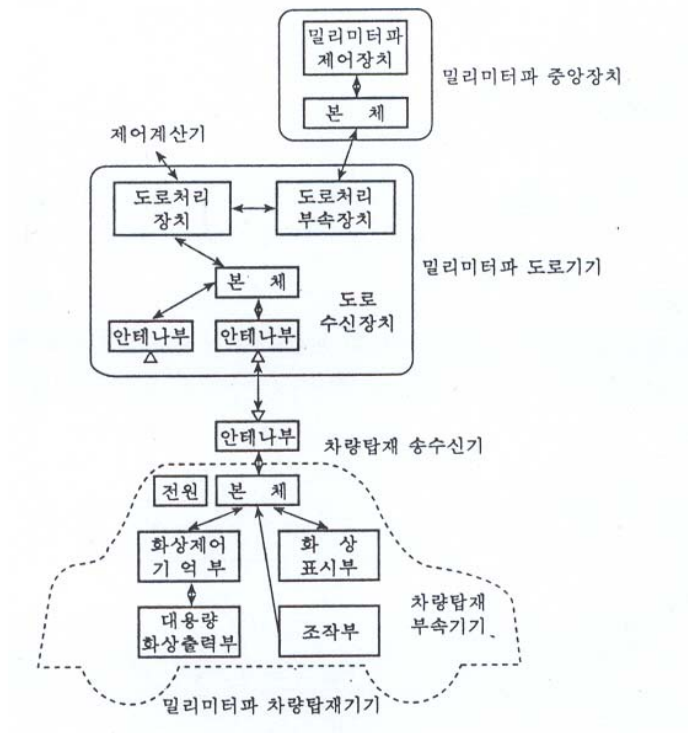


그림 2.2.4 차량 관제용 밀리미터파 통신기기의 구성도

(2) 기능

이 시스템의 주요 기능에는 다음의 3가지가 있다.

- 경로유도 기능
- 화상전송 기능

- . 모니터 기능

나. 60GHz 음성압축통신

(1) 개요

CACS와 더불어 60GHz 대역 주파수로 근거리통신을 이용하여 차량 내에 도로표지를 표시하며, 동시에 시간압축기술로 10초 동안의 음성메시지를 0.1초로 압축하여 전송하고 이를 실시간으로 재생하는 시스템이다.

그림 2.2.5는 60GHz 음성압축통신 시스템의 예를 나타낸다.

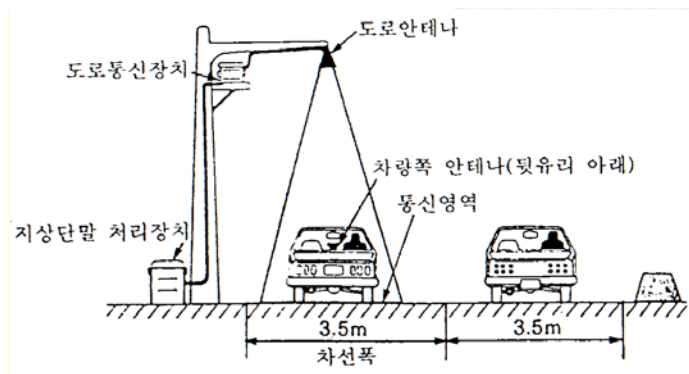


그림 2.2.5 60GHz 음성압축통신 시스템

(2) 기능

차량 간 음성압축통신 시스템에서 도로와 차량 간의 통신은 그림

2.2.6과 같은 과정으로 이루어진다. 원리를 간략히 설명하면 다음과 같다.

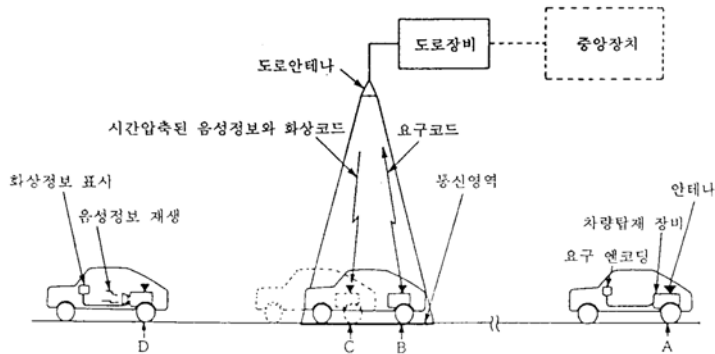


그림 2.2.6 도로-차량 간 통신 개념도

(가) 운전자가 필요로 하는 정보에 대응하는 요구코드가 통신영역 직전의 위치인 A 지점에서 설정된다.

(나) 통신영역에 들어선 B 지점에서는 도로쪽에서 들어온 통신영역 신호를 차량쪽에서 수신한 다음 요구코드를 송신한다.

(다) 도로쪽 장비는 요구코드를 식별하여 이에 대응하는 압축된 음성메시지를 도로표지를 보여주는 화상코드와 함께 C 지점에서 차량으로 보낸다.

(라) 차량탑재장비는 D 지점에서 화상코드와 대응하는 도로표지를 표시하고 동시에 압축된 음성정보를 압축 해제하여 운전자에게 보낸다.

다. DACAR 61GHz 차량 간 통신시스템

(1) 개요

차량의 속도, 가감속정보, 방향전환정보 등과 같이 차량의 주행에 관계되는 정보를 차량 간에 서로 주고받으며 무리를 이루고 있는 차량들의 안전을 확보해 주는 시스템이다. 이때는 주변의 모든 차량들과 통신이 이루어져야 하며 다른 차량과 위치 관계를 확보하기 위해 레이더의 기능도 필요하다.

그림 2.2.7은 차량 간 통신 시스템의 개요를 나타낸다.

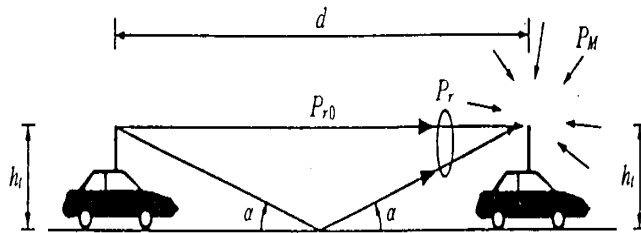


그림 2.2.7 차량 간 통신 모델

(2) 유의 사항

밀리미터파 차량 간 통신의 경우 밀리미터파의 특성상 감쇠량을

고려하는 것이 중요하다. 도로상에 장애물이나 돌출물이 없는 평탄한 도로의 경우 두 차량간의 통신에 있어 밀리미터파의 자유공간 감쇠손실은 다음과 같이 주어진다.

$$L_p = 20 \log (4\pi D/\lambda) \quad (2.2.1)$$

여기서 D 는 두 차량간의 거리이다. 60GHz 인 경우 실제로는 산소흡수에 의한 감쇠, 우천시 강우감쇠 및 두 차량 사이에 다른 차량이 끼어든 경우 발생하는 감쇠 등을 고려해야 한다. 또한 회절에 의한 손실이나 다중경로 간섭에 의한 페이딩 등도 정확하게 분석해야 한다.

라. AES 61GHz 교통흐름 계측/비컨

(1) 개요

61GHz 대의 도플러레이더를 이용해 교통 흐름을 모니터링하면서 가변교통표지판을 제어하여 차량의 원활한 소통을 도와주는 시스템이다. 이는 독일의 Telefunken사에서 개발한 시스템으로 AVES(AEG Verkehrs Erfassungs System) 라고도 한다.

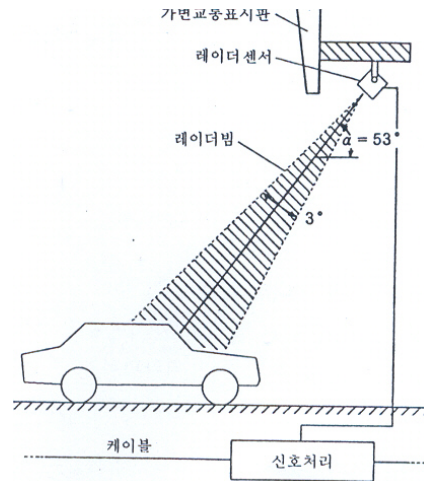


그림 2.2.8 61.5GHz AVES 시스템

그림 2.2.8은 61.5GHz 대 AVES 시스템을 나타낸다.

(2) 시스템의 구성

그림 2.2.9는 61.5GHz AVES 시스템의 구성도를 나타낸다.

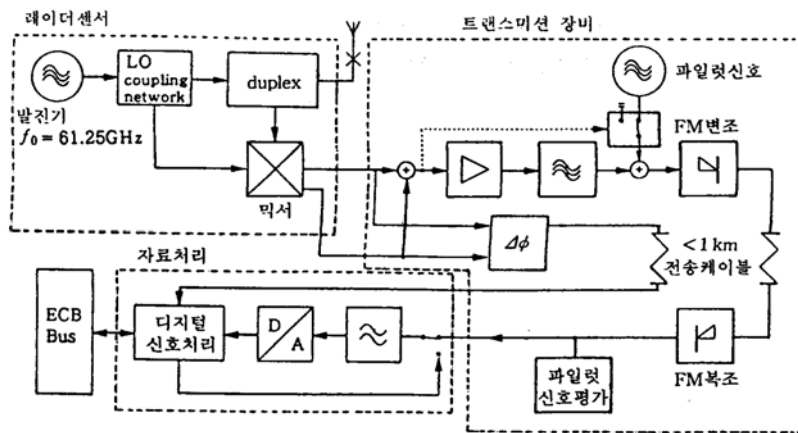


그림 2.2.9 61.5GHz AVES 시스템의 구성도

5. 대류권 대기의 원격계측기술

마이크로파 이상의 주파수대에서는 전자파가 대기와 밀접하게 작용한다. 이러한 성질을 이용하여 대기를 구성하고 있는 성분, 특히 물방울 입자들을 원격으로 계측하는 것이 가능하다.

이러한 원격탐사 방식에는 능동형과 수동형이 있다. 능동형은 레이더처럼 탐지물체에 전자파를 발사하여 반사되어 되돌아오는 전자파를 분석하여 관측대상의 상태를 조사하는 방식이며, 수동형은 관측대상에서 발생하는 전파를 수신하여 대상의 성질을 조사하는 방식이다.

가. 구름 강수 레이더

구름입자는 평균지름이 수십 μm 정도로 매우 작으므로 이를 관측하기 위해서는 마이크로파대보다 훨씬 더 짧은 파장의 전자파를

이용해야 한다. 그 이유는 Rayleigh 산란에 의한 산란단면적이 주파수의 4제곱에 비례하기 때문이다. 따라서 높은 주파수를 써야 반사전력이 커지며 또한 감쇠가 적은 주파수를 선택해야 한다. 이런 이유에서 90GHz대, 150GHz대, 그리고 220GHz대의 주파수를 이용한다.

나. 밀리미터파 라디오미터

(1) 대류권대기의 계측

라디오미터(radiometer)는 수동형 계측시스템이다. 강우량이 증가하면 거기서 발생하는 마이크로파의 세기도 강해진다. 그러나 이러한 주파수대에서 측정된 정보에는 지면과 해수의 영향까지 포함되어 있어 의미 있는 계측이 어렵다. 그러나 밀리미터대의 라디오미터에서는 강수입자에 의한 전자파의 방출량을 측정할 뿐 아니라 산란의 영향도 크므로 좀 더 정확한 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.

강우관측용으로 85GHz대의 위성탑재용 라디오미터가 있으며, 185GHz대의 주파수를 이용해 우주공간에서 수증기분포를 계측하는 것과 50~60GHz대를 이용하여 온도계측을 할 수 있다.

(2) 강우의 계측

강우의 세기가 증가하면 거기에서 발생하는 전자파의 세기도 강해지기 때문에 밀리미터파 라디오미터를 이용하여 강우량을 계측하는 것이 가능하다. 그러나 이때 측정된 자료에는 지면과 해면의 영

향이 포함되어 있으며, 주위 잡음이 많은 곳에서는 의미있는 측정을 하기가 곤란해진다.

(3) 수증기분포의 계측

수증기량은 대기의 중요한 요소이나 그 분포가 매우 가변적이다. 밀리미터파대에서 수증기 흡수선은 22.235GHz대와 183.31GHz대에서 존재한다. 최근에는 주로 항공기를 이용하여 183.31GHz대의 관측을 주로 하고 있다. 183GHz대의 흡수선은 매우 강하므로 이 흡수선을 중심으로 몇 군데 영역에서 흡수량을 측정한 다음 역변환법을 이용하여 고도별 수증기 분포를 구할 수 있다.

6. 대기환경 관측 시스템

(1) 개요

밀리미터파대와 서브밀리미터파대의 radiometer를 이용하여 중층 대기층의 오존과 미량 가스가 방출하는 미약한 전자파 신호를 지상에서 수신함으로써 고도에 따른 대기의 성분을 지속적으로 측정할 수 있다. 특히 오존의 경우는 방출하는 전자파의 세기가 상당히 강하므로 구름이 낀 날씨에도 측정이 가능하다. 인공위성에 radiometer를 탑재하여 측정하면 관측시간과 관측지역의 제한 없이 오존, 수증기, 미량 가스 등의 분포도를 얻을 수 있다.

그림 2.2.10은 대기관측 시스템의 개요도이다.

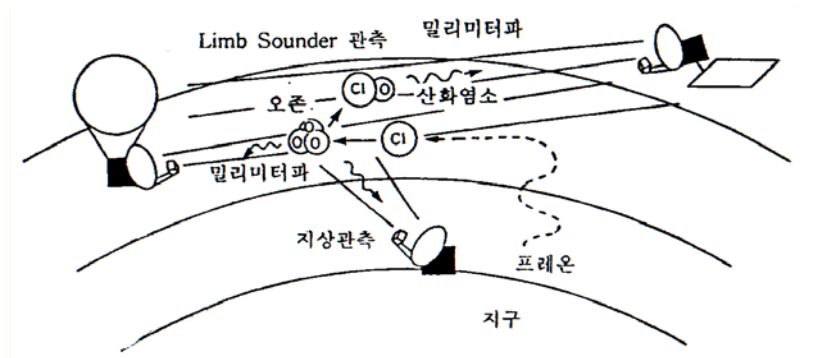


그림 2.2.10 대기관측 시스템의 개요도

이러한 대기관측의 경우 관측하고자 하는 대기의 성분에 따라 관측 주파수대역이 따로 존재한다. 예를 들면 560GHz대에서는 BrO, H₂O를 관측할 수 있으며, 640GHz대에서는 HCl, HOCl, BrO 를 관측할 수 있다.

(2) 관측시스템

대기 관측에 응용되는 밀리미터파는 주파수 측면에서 전자파와 광파의 중간 위치에 존재한다. 따라서 관측방법으로는 전자파 영역에서 개발된 헤테로다인 수신기술과 가시광선 영역에서 고안된 푸리에 분광기술(FTS) 등이 있다.

헤테로다인 방식은 밀리미터파나 서브 밀리미터파대의 수신신호를 마이크로파대의 중간주파수(IF)로 변환시킨 다음 낮은 주파수대의 증폭기를 쓰기 때문에 고감도의 수신이 가능하다.

푸리에 분광기술은 마이켈슨 간섭계와 같은 2광속 간섭계를 이용

하여 광로차를 아주 조금 빗나가게 하여 간섭조건을 바꾼 다음 각각의 조건에서 수신된 신호의 세기를 푸리에변환시킨 후 수신신호의 스펙트럼을 얻는 방식이다. 장점은 넓은 주파수 범위에서 관측할 수 있다는 것이며, 또한 슬릿을 쓰지 않기 때문에 빛을 분산시키지 않고 효율적으로 이용하므로 감도도 좋다. 그러나 소자사이의 간격을 길게 해 주어야 하므로 스캐닝 시간이 많이 걸리며 시스템이 커진다는 단점도 있다.

헤테로다인 방식은 감도와 스펙트럼 분해능이 뛰어나며 소형화가 쉽기 때문에 1000GHz 이하대에서는 이 방식을 많이 쓴다.

(3) 대기관측기술의 미래

HCl과 HBr 등은 서브밀리미터파 이 외에는 적당한 관측 스펙트럼이 존재하지 않는다. 따라서 서브밀리미터파대의 전자파를 이용함으로써 중층 대기의 많은 미량 가스 성분들을 효율적으로 관측할 수 있다. 이런 이유에서 앞으로는 500GHz대 이상의 서브밀리미터파 수신기의 개발요구가 급증할 것으로 예상된다.

7. 건널목 장애물 감지 시스템

(1) 개요

1971년 일본의 교하마급행기차회사에서 개발한 것으로 기차가 건널목에 접근하면 건널목 차단기가 내려오는데, 이때 건널목에 차량이 남아있으면 이를 감지하여 접근하고 있는 기차에게 알려주는 경보시스템이다.

(2) 감지 방식

건널목 상에 밀리미터파 빔을 계속적으로 보내면서 수신하다가 만일 장애물이 나타나면 빔이 차단되어 수신레벨이 저하된다. 이러한 방법으로 건물목상의 장애물을 인식하게 된다. 24GHz대와 36GHz대를 주로 사용한다.

(3) 해결해야 할 과제

감시 대상 건물목 상에 있는 전체의 장애물을 감시하기 위해서 빔의 숫자를 늘려야 하는데, 이때 빔 간의 간섭으로 인해 S/N 비가 감소할 수 있다. 이를 해결하기 위해 반송파의 시분할 제어 문제와 빔의 편파면을 교차시켜야 한다.

8. 전파천문학

(1) 개요

전파를 이용하여 천체나 성간물질 등의 물리적 상태를 연구하는 천문학이다. 성간분자운은 별이 태어나고 있는 영역이며 고밀도의 영역이다. 우주로부터 가시광선 이 외에 전파를 관측할 수 있다고 알게 된 건 약 70년 전 칼 잔스키(1931)에 의해서 이다. 그는 번개에 의한 전파잡음 연구 중 (20.5M관측 중) 번개에 의한 전자파 외에 아주 미약한 규칙적인 전파의 존재를 확인하고 그것의 주기가 약 14시간이며 태양계 밖에서 오는 전파임을 확인하였다. 이때 이용되는 듀얼리플렉터 안테나는 그 표면이 지극히 정밀해야 하며,

미래에는 서브밀리미터파(300G~, 원적외선)의 관측, 성간분자와 원자의 스펙트럼 측정에 이용될 것이다. 이 주파수대에서는 대기에 의한 감쇠가 특히 많아 안테나를 고지대에 설치한다.

전파천문학의 또 한 분야인 VLBI(전파간섭계)는 같은 천체에서 나오는 전자파를 아주 멀리 떨어진 두 안테나로 수신하여 두 신호의 위상차를 측정하고 그로부터 전파원의 위치와 구조 등을 알아내는 기술이다. 이를 위해서 확보해야 할 조건은 고분해능의 수신기 개발과 극초고주파의 측정기술이다.

(2) 우주전파 관측기술

그림 2.2.11는 전파망원경의 기본적인 구성도이다. 전파망우너경은 크게 안테나, 수신기, 컴퓨터로 구성된다.

안테나는 우주전파를 받아서 수신기로 보내는 역할을 하는데 주로 dual reflector 안테나를 사용한다. 안테나에 입사하는 밀리미터파의 파장이 매우 짧기 때문에 반사판의 표면정밀도가 매우 중요하다.

수신기는 안테나로 받은 신호를 증폭, 분석하는 기능을 수행하며 전단부(Front End)와 후단부(Back End)로 나뉜다. 수신기의 전단부는 안테나로 수신된 전자파를 증폭하는 역할을 수행하는데 주로 고성능 HEMT 증폭기를 많이 쓴다. 수신기의 후단부는 전단부로부터 들어온 신호를 관측자의 필요에 따라 분파, 주파수 변화, 분광 따위를 해 주며 검파와 적분을 행한다.

컴퓨터는 수신기 후단부에서 나온 출력을 A/D변환하여 받아 필요한 적분과 세기보정 및 기타 자료처리를 한다. 또한 안테나가 항상 관측대상천체를 향하도록 추적하거나 수신기를 제어하는 등 매

우 중요한 일을 수행한다.

(3) 전파천문학의 미래

전파천문학의 역사는 관측주파수를 올리거나 공간분해능을 향상시키는 것으로 대변된다. 이렇게 함으로서 이전에는 알지 못했던 우주에 관한 새로운 사실이 밝혀지고 있다. 따라서 앞으로는 지금까지 하지 못했던 서브밀리미터파 수신기술에 많은 연구가 이루어져야할 것으로 예상된다.

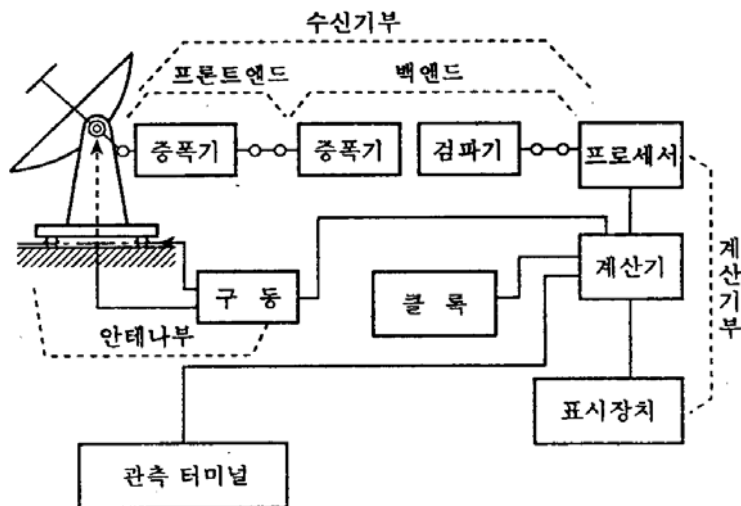


그림 2.2.11 전파망원경의 구성도

9. 밀리미터파 간섭계를 이용한 플라즈마의 밀도 측정

(1) 개요

원자로 내 플라즈마를 투과하는 전자파의 위상변화를 측정하여 플라즈마내의 전자밀도를 측정하는 기술이다. 밀리미터파대에서는 137GHz대 간섭계를 사용하며, 서브밀리미터파 대에서는 $118.8\mu\text{m}$ 간섭계를 사용한다.

(2) 위상 계측 원리

측정에 사용되는 밀리미터파를 두 경로로 분기시켜 하나는 공간을 통해 검출기(detector)에 도달하고 다른 하나는 플라즈마를 통과하여 도달한다. 검출기는 두 전자파의 위상 차이를 검출하게 된다. 전자파의 파장이 짧을수록 위상변화는 더 크게 나타나며, 따라서 높은 밀도영역을 측정하기 위해선 높은 주파수의 전자파가 필요하다.

그림 2.2.12는 위상변화측정원리를 나타낸다.

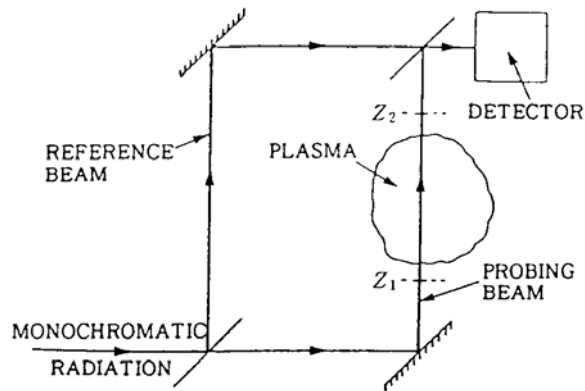


그림 2.2.12 플라스마 밀도측정원리

10. 이동체의 위치측정 시스템

(1) 개요

두 군데의 고정국(등대)과 하나의 이동국(선박, 자동차)간의 거리를 전파로 측정해서 이동체의 위치를 결정하거나, 또는 세 군데의 고정국과 하나의 이동국과의 거리 차이를 측정해서 위치를 결정하는 시스템이다. 주로 (60-80GHz대)의 밀리미터파를 이용한다.

(2) 위치측정시스템의 원리

위치측정시스템은 위치의 계측 방법에 따라 원호방식(circular method)와 쌍곡선방식(hyperbolic method)이 있다.

그림 2.2.13은 원호 방식을 이용한 위치 측정 개념도이다.

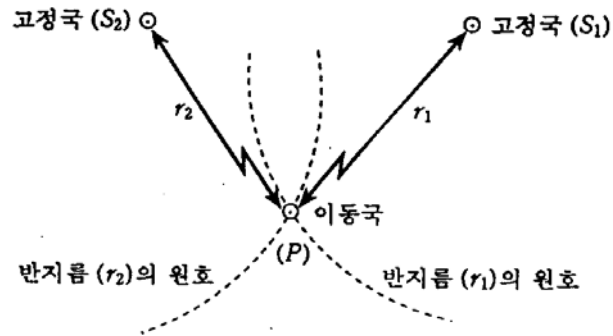


그림 2.2.13 원호방식을 이용한 위치 측정 개념도

원호방식은 두 군데의 고정국과 이동국 사이의 거리를 트랜스폰더로 측정하고 r_1 과 r_2 를 반지름으로 하는 원의 교차점(P)로부터 이동국의 위치를 측정하는 방식이다.

그림 2.2.14는 쌍곡선방식을 나타낸다. 세 군데의 고정국에서 이동국을 향해 전파를 발사하여 세 군데의 고정국과 이동체 사이의 경로의 길이가 동일한 점을 찾는다. 이 점에 교차점이 발생하게 되며 이 교차점이 이동국의 위치가 된다.

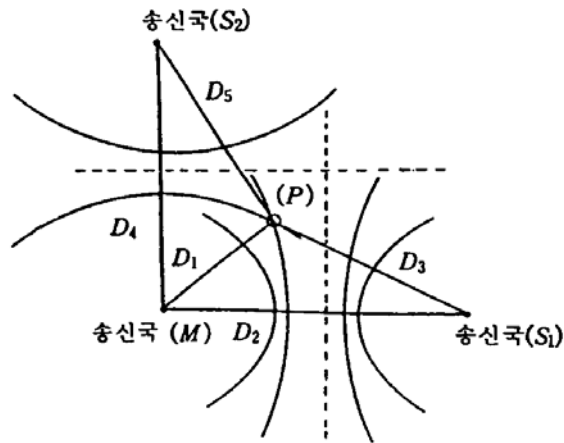


그림 2.2.14 쌍곡선방식에 의한 위치 측정 개념도

(3) 해결해야 할 과제

이동체의 위치측정 시스템과 같이 70GHz 대 이상의 밀리미터파를 사용하는 경우 이들의 회로를 구성할 반도체 소자들의 고출력, 저잡음 특성 등이 확보되어야 하는데, 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 필요하다.

11.전압표준에 대한 밀리미터파의 응용

조셉슨 소자와 마이크로파 및 밀리미터파의 기술을 융합하여 표준전압을 실현하는 기술이다.

이상의 사례 외에도 밀리미터파를 응용할 수 있는 분야는 매우 광범위 하다고 할 수 있다.

제3절 밀리미터파에 대한 미래의 연구 중점 분야와 향후 과제

밀리미터파의 탁월한 유용성이 비해 현재로는 밀리미터파 이용 시스템의 구현과 성능 향상을 하기 위해선 해결해야할 문제가 산적해 있다. 여기서는 향후 밀리미터파 응용분야 시스템을 구축하거나 연구개발을 할 때 중점적으로 치중해야 한다고 예측되는 기술과 과제에 대해 제안한다.

1. 센서와 레이더 분야

가. 비접촉형 카드시스템

밀리미터파를 이용한 비접촉식 ID 인식시스템의 경우는

- (1) 다수의 대상을 동시에 인식할 수 있는 기능 확보
- (2) 에리방지를 통한 신뢰성 확보
- (3) 초소형 구현, 대용량 정보를 저장
- (4) 다중경로 환경시 신뢰성 확보

등의 문제를 해결해야 한다.

나. 차량 탑재용 센서

차량 탑재용 장애물 레이더나 충돌방지 시스템 등은

- (1) 장애물과 도로상 정상적인 구조물의 인식을 위해 파의 산란과 반사패턴의 영향 고려
- (2) 커브 길의 올바른 인식
- (3) 다른 차량과의 전자파 간섭문제

등을 해결할 수 있는 기술을 개발하여야 하고, 지면을 통한 속도를 계측하는 경우는

- (4) 진흙, 물, 눈 따위의 영향에 의한 수신 전력의 감소 문제
- (5) 다른 차량과의 간섭이나 노면 동결, 물웅덩이, 아스팔트, 콘크리트 등 각종 노면 상태의 변화에 따른 반사특성의 변화를 고려하여 장애물로부터 반사되는 신호를 올바르게 추출하여 분석하는 기술

등의 확보가 요구된다. 이 외에도

- (6) 소형화, 경량화 및 경제성
- (7) 급격한 기상변화에 대한 안정된 동작과 내구성 확보

가 중요하다.

다. 원격 계측 시스템

원격으로 수위를 계측하거나 적설량 등을 측정할 때는 밀리미터 파대 FM-CW 레이더를 이용한다. 이 계측 정밀도(해상도)를 높이기 위해서 스캔 주파수와 송수신 시스템을 광대역으로 하는 기술이 필요하다. 또한 밀리미터파 CW 레이더를 이용해 용광로 내 물질을 계측하는 경우 계측 표면의 요철에 의한 오차를 줄이는 소프트웨어

등의 기술 확보가 필요하다.

라. 기상관측 시스템

기상관측 시스템 중 구름관측 레이더의 경우는

- (1) 빗방울에서 반사되는 미약한 신호까지 수신이 가능한 고감도 수신기의 개발 기술
- (2) 넓은 영역을 관측하기 위한 고출력 송신기 개발 기술 등

이 필요하고, 강우세기 관측 레이더의 경우

- (1) 수신안테나에 부착된 빗방울에 의한 관측오차 제거 기술
- (2) 빗방울의 크기 분포에 따른 수신 자료 보정 기술 개발

이 요구된다.

2. 고정국 통신 분야

유선 케이블을 설치하기 어려운 단거리 광대역 네트워크 통신이 필요한 장소에서 밀리미터파 무선 통신 시스템은 탁월한 능력을 발휘한다. 단, 이때는

- (1) 회로 설계시 강우에 의한 영향을 고려하여 강우감쇠 마진을 적절히 설정
- (2) 전파경로별 전파특성을 고려한 회로설계

- (3) 기후변화나 정보량의 변화에 따른 탄력적 네트워크 운영기술 확보
- (4) 도심이나 복잡한 곳에서 발생하는 다중경로에 따른 혼신 예방 및 불필요한 신호를 식별하여 억압하는 기술 등에 대한 연구가 필요하다.

3. 이동국 통신 분야

밀리미터파가 갖는 광대역 특성에도 불구하고 공간 감쇠가 많아 이동통신에 이용하기에는 어려운 점이 많다. 또한 안테나 빔폭이 좁아서 고속 이동체의 추적이 어려운 단점이 있다. 이를 해결하기 위해서

- (1) 위상어레이 안테나 시스템 개발
- (2) 고정국 쪽의 다이버시티 기술 확보
- (3) 송/수신 전환제어기술 확보
- (4) 고효율, 고출력의 단말기 개발
- (5) 발진주파수 안정화 기술, 고도의 변복조 기술, MCA기술

등이 필요하다.

4. 실내통신 분야

실내 무선 랜과 같이 비교적 좁은 공간에서 대용량의 무선 네트워크를 운용하는 경우 근접 반사에 의한 다중경로의 영향을 잘 고려해야 하는데, 이를 위해선 밀리미터파의 전파경로를 예측할 수 있는 실내 전파 (indoor propagation) 시뮬레이션 기술에 대한 연구가 필요하다.

5. 방송 분야

서비스를 시행하는 공간의 전자파전파특성을 미리 파악하고 그에 따른 송신안테나의 패턴을 설정하여 설계하는 것이 중요하다.

6. 위성통신 분야

위성을 이용한 개인단말통신의 경우 가입자가 늘어나게 되면 전체 시스템의 소요대역폭이 커진다. 그런데 전체의 대역폭을 무한정 늘릴 수는 없으므로, 이를 해결하기 위해

(1) 데이터 흐름의 효율적 제어

- (2) 소형, 저가격의 고성능 단말기의 개발
- (3) 주파수를 효율적으로 사용하는 네트워크 운용기술

이 필요하고, 그 외에도

- (4) 위성 탑재용 고이득 다중빔 안테나의 설계 기술 등
- 의 개발이 중요하다.

7. 공통 과제

밀리미터파의 응용분야에서 공통적으로 확보해야 할 기술 과제는 다음과 같다.

- (1) 다중반사특성, 산란특성에 대한 수치계산 이론 확립
- (2) 고성능 MMIC의 개발
- (3) 안테나 급전시스템과 송신 시스템의 저손실 설계기술 개발
- (4) 주파수 안정화 기술
- (5) 밀리미터파 통신망 구성 및 제어기술
- (6) 강우에 대한 마진 설정

제 3 장 밀리미터파의 표준측정방법

밀리미터파 회로와 소자, 장치, 시스템 등을 연구·개발하기 위해서는 이들 제품의 특성에 대한 측정이 필수적이다. 밀리미터파의 측정기술은 대부분이 마이크로파대역 측정기술과 맞물려 있으며, 상대적으로 낮은 주파수에서는 동축케이블을 이용하고 주파수가 높아지면 주로 도파관을 이용한 측정 기술이 기본이 된다. 밀리미터파를 이용하는 시스템은 그 크기가 작으며 발진기나 믹서 등이 극초고주파에서 동작해야 한다는 이유 때문에 그 측정대역에 제한을 받게 된다. 따라서 범용으로 마이크로파대와 같은 성능으로 측정할 수 있는 대역은 110GHz 정도까지이나, 최근에 와서 선진국에서는 300GHz 대의 측정기술도 개발된 것으로 전해지고 있다.

제 1 절 측정물리량별 표준측정방법

이 절에서는 밀리미터파 측정기술 가운데 회로 소자, 장치 및 시스템을 개발할 때 기본이 되는 주파수, 전력, 잡음 및 각종 회로량에 대한 표준측정방법을 제안한다.

1. 표준 주파수 측정법

밀리미터파 뿐만 아니라 전자파의 모든 대역에서 주파수의 측정은 가장 기본이 된다. 표 3.1.1은 밀리미터파대에서 널리 쓰이고 있는 주파수 측정법을 소개하고 있다.

표 3.1.1 밀리미터파 주파수 측정법

측정 장치	측정 범위	특징
주파수 카운터	30-110 GHz	기준발진기가 내장되어 있으므로 아주 정확, 고가
공동 주파수계	30-110 GHz	가격이 저렴, 정확도 낮음
스펙트럼 분석기	30-110 GHz	높은 주파수까지 측정 가능, 가격이 고가, 고조파믹서를 사용하므로 신호의 식별(분석)이 필요함

가. 주파수카운트

주파수카운터에 의한 측정법은 마이크로파대에서도 널리 쓰이고 있으며, 현재 밀리미터파대에서 110GHz까지 정밀하게 측정할 수 있는 것이 시판되고 있다. 그림 3.1.1은 주파수 카운터의 원리도이다.

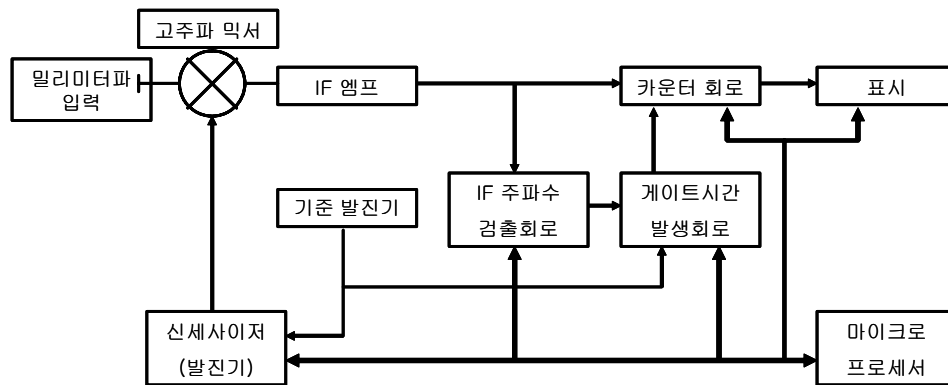


그림 3.1.1 주파수 카운터의 원리도

나. 공동주파수계(공동파장미터)

공동파장미터는 도파관 내에 두 장의 단락 막을 두어 공동(cavity)으로 만든 다음 작은 구멍을 뚫어 밀리미터파를 인가하면 두 단락 막의 간격이 관내파장 λ_g 의 정수배가 되면 공진한다는 점을 이용해서 주파수를 측정하는 기기이다.

(1) 측정 방법

그림 3.1.2는 공동파장미터를 이용한 주파수 측정법을 나타낸다.

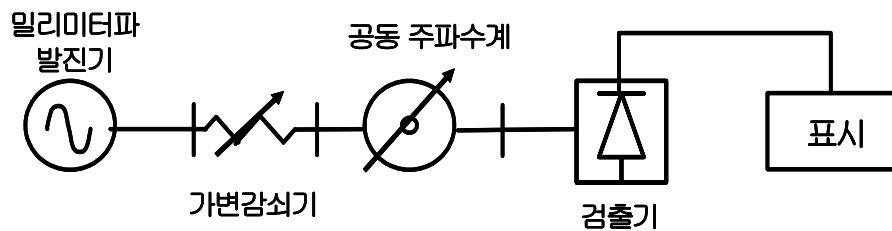


그림 3.1.2 공동파장미터를 이용한 주파수 측정법

발진기에서 발진된 밀리미터파가 공동기(cavity)를 통과해서 전력계에 도달하게 되는데, 이때 공동기의 크기를 조정하여 공동기가 발진된 밀리미터파(피측정파)와 공진이 되도록 하면 그때 전력계에 표시되는 전력은 최소가 된다. 이때 공동기에 표시된 파장을 읽어서 주파수로 환산하여 측정하는 방법이다.

(2) 장/단점

(장점) 주파수 측정이 용이하다.

(단점) 100GHz 이상에서는 손실이 커지기 때문에 주파수 손실을

교정해 두어야 한다.

다. 스펙트럼분석기

스펙트럼분석기는 피측정 신호의 주된 성분만을 측정하는 것이 아니라 신호 중 모든 주파수 성분을 측정할 수 있기 때문에 매우 편리한 기기이다. 현재 50GHz 까지 측정할 수 있는 기기가 시판되고 있으며, 하모닉믹서를 사용하여 주파수 체배를 하면 110GHz까지도 측정이 가능하다.

스펙트럼 분석기에 대한 더욱 자세한 내용은 다음 장에서 다루기로 한다.

2. 표준 전력 측정법

밀리미터파의 전력 측정 방법은 170GHz 대까지는 마이크로파와 거의 동일하다. 칼로리미터, 볼로미터, 열전쌍 전력계, 다이오드검파형 전력계를 이용해서 측정할 수 있다.

가. 칼로리미터(calorimeter)

밀리미터파대의 고주파 전력을 열로 변환시켜 전력을 측정하는 방법이다. 밀리미터대역에서 주로 사용하는 것으로는 드라이 칼로리미터가 있으며, 소전력(mW대)을 측정하는데 적합한 방법이다. D-밴드(110-170GHz) 대에서는 이 방법이 가장 적합하고 널리 쓰인다.

그림 3.1.3은 칼로리미터의 원리도이다.

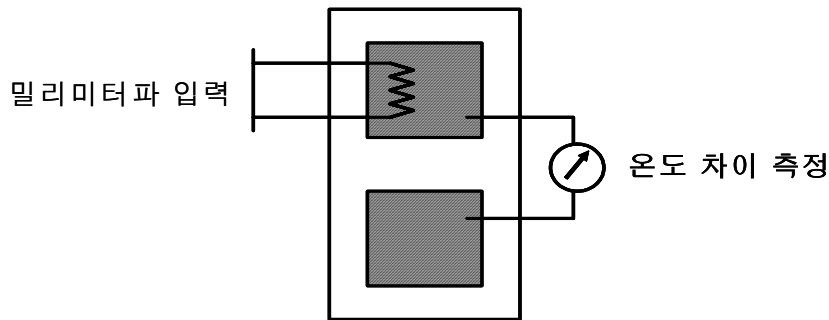


그림 3.1.3 칼로리미터의 원리도

칼로리미터는 직류로부터 고주파에 이르기까지 저항이 일정한 두 개의 열 부하로 구성되어 있다.

(1) 측정 방법

두 가지 측정법이 있다.

(가) 방법1 : 하나의 부하에는 피측정 밀리미터파를 입력하고 나머지 하나는 무부하 상태로 둔다. 그러면 파가 가해진 쪽은 가해진 전력에 대응하는 온도가 발생하게 되는데, 이때 두 부하간의 온도 차이를 측정해서 측정된 온도차로부터 전력을 환산한다.

(나) 방법2 : 하나의 부하에는 피측정 밀리미터파를 입력하고 나머지 하나는 직류전류를 인가하여 두 온도 부하간의 온도차이가 '0'이 되도록 한다. 이때 인가된 직류 전력을 구하면 그것이 밀리미터파의 전력이 된다.

(2) 장/단점

(장점) 광대역 측정이 가능하며 그 측정 정확도가 높다.

(단점) 장치와 측정 조작이 복잡한 단점이 있다.

나. 볼로미터(bolometer)

온도에 따라 저항값이 변화하는 소자(볼로미터)에 고주파(mm파)를 흡수시켜 그 저항값의 변화를 측정하여 전력을 측정하는 기구이다. 그림 3.1.4에서처럼 브리지 형태로 사용한다. 볼로미터로는 서미스터(thermistor)와 배레터(barretter)를 사용한다.

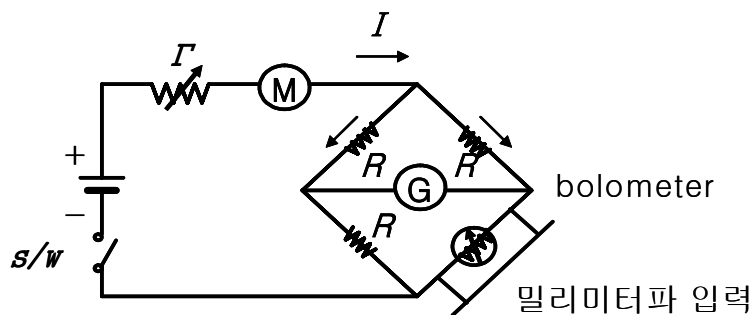


그림 3.1.4 볼로미터를 이용한 전력 측정

가. 측정 방법

그림에서 브리지가 평형을 이루도록 전류를 제어해 준다. 볼로미터에 전력을 공급했을 때와 하지 않았을 때 브리지에 입력되는 전

류를 각각 I_1 과 I_2 라 하면 전력은 다음 식으로 계산된다.

$$P = \frac{(I_2^2 - I_1^2)R}{4} \quad (3.1.1)$$

나. 장/단점

배레터 장착 볼로미터 : 아주 가는 백금선을 금속 켈술에 넣은 것으로 제곱점파특성이 우수하나 고전력이 입력되면 끊어지기 쉬워 요즘은 잘 쓰지 않는다.

써미스터 장착 볼로미터 : 배레터에 비해 저항값의 변화가 뛰어나므로 감도가 좋으며, 튼튼하다.

8개의 도파관 마운트를 사용하면, 26.5GHz~170GHz 대의 주파수 대역에서 -20dBm~+10dBm의 전력을 측정할 수 있다.

나. 열전쌍(thermocouple) 전력계

열전쌍의 접점부위에 밀리미터파를 입사시켜 열전쌍에서 발생된 기전력을 직류로 변환시켜 읽어내는 장치이다. 가장 널리 사용되는 장치이다. 그림 3.1.5는 열전쌍 전력계로 전력을 측정하는 원리를 나타낸다.

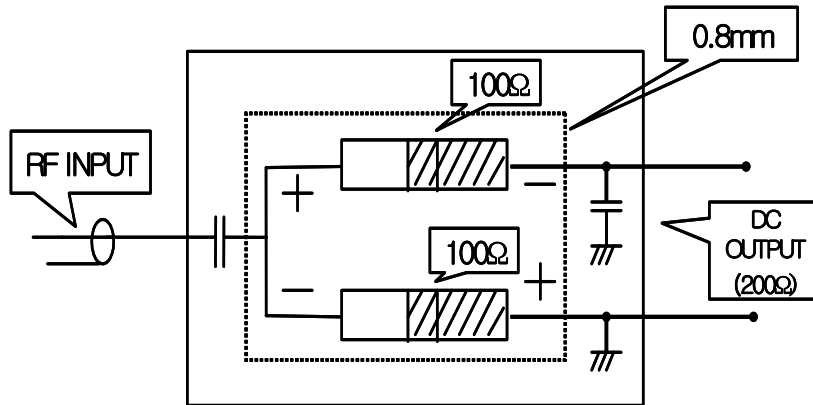


그림 3.1.5 열전쌍 전력계로 전력을 측정하는 원리도

(1) 측정 방법

열전쌍의 접점부위에 밀리미터파를 입력시키면 두 열전쌍 사이에 기전력이 유기된다. 이 기전력을 직류로 변환하여 대응하는 전력을 측정한다.

(2) 장/단점

(장점) 볼로미터에 비해 드리프트와 VSWR이 낮고 저잡음이라 고 감도 측정이 가능하다. 장시간 사용에도 적합하다.

8개의 도파관 마운트를 사용하면, 26.5GHz~170GHz 대의 주파수 대역에서 -30dBm~+10dBm의 전력을 측정할 수 있다.

다. 다이오드 검파형 전력계

그림 3.1.6은 다이오드검파형 전력계로 전력을 측정하는 방법을 나타낸다. 싱글 다이오드형과 더블 다이오드형이 있다.

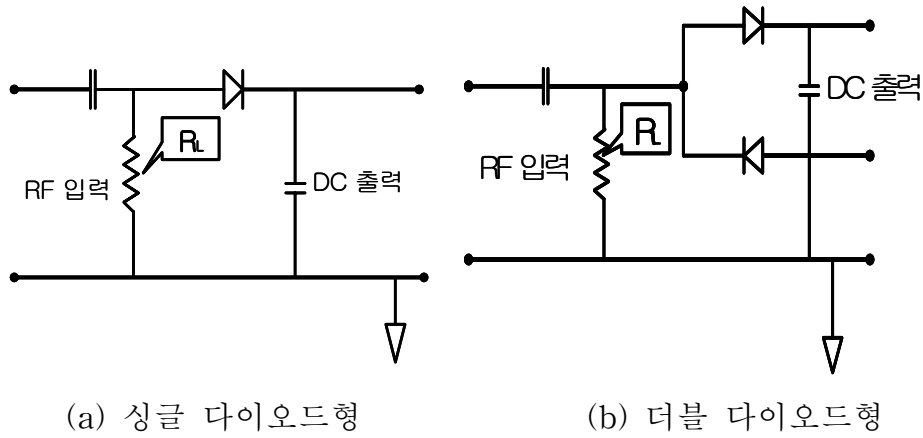


그림 3.1.6 다이오드검파형 전력계

(1) 측정 방법

밀리미터파 신호를 다이오드에 인가해서 검파하여 그때 나오는 직류전압을 측정한다. 그때 검출된 직류전압은 전력에 비례한다.

(2) 장/단점

(장점) 고감도 전력 측정을 할 수 있다.

8개의 도파관 마운트를 사용하면, 26.5GHz~110GHz 대의 주파수 대역에서 -50dBm~+10dBm의 전력을 측정할 수 있다.

3. 잡음 측정

미약한 신호를 다루는 경우 수신시스템이나 부품 등의 잡음량을 측정하는 것이 매우 중요하다. 시스템이나 부품이 갖는 잡음 특성을 나타내는 요소로 등가잡음온도(equivalent noise temperature)와 잡음지수(noise figure)가 있다.

가. 등가잡음온도 T_e (equivalent noise temperature)

수신시스템이나 부품들에서 발생하는 잡음스펙트럼의 전력밀도를 열잡음의 크기로 환산한 것이 등가잡음온도이다. 이는 시스템 잡음의 대부분이 실제로는 열잡음에 의한 것이라는 사실에서 출발한 것이다.

피측정 시스템의 잡음 전력을 N , 대역폭을 B , 절대온도를 K 라고 하면 등가잡음온도는 식 (3.1.2)와 같이 표현된다. 등가잡음온도의 단위는 $^{\circ}\text{K}$ 이다.

$$T_e = \frac{N}{kB} \quad (3.1.2)$$

나. 잡음지수

증폭기 등과 같은 전자회로 내부의 잡음은 잡음지수와 입력환산 잡음온도로 쓸 수 있다. 잡음지수의 경우 피측정 회로가 갖는 잡음 출력의 대역폭 B 에 대한 유효전력을 N_o 라 하면 잡음지수는 다음과 같이 정의된다.

$$F = \frac{N_o}{GkT_oB} \quad (3.1.3)$$

여기서 G 는 증폭기의 유효전력이득, k 는 볼츠만 상수, T_o 는 기준온도(290°K)이다. 잡음지수는 주로 dB로 표현하므로

$$F_{dB} = 10 \log F \text{ (dB)} \quad (3.1.4)$$

로 된다.

그림 3.1.7에서 다단 연쇄접속된 시스템의 총 잡음지수를 F_t 라 하면

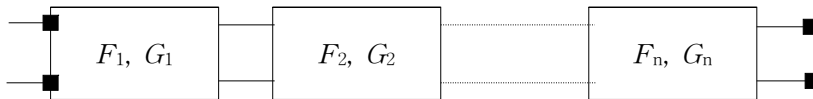


그림 3.1.7 다단 연쇄접속된 시스템의 총 잡음지수

F_t 는 다음과 같이 구해진다.

$$F_t = (F_1 - 1) + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \frac{(F_3 - 1)}{G_1 G_2} + \frac{(F_4 - 1)}{G_1 G_2 G_3} + \dots + \frac{(F_n - 1)}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (3.1.5)$$

다. 입력환산 등가잡음온도 T_{in}

입력환산 등가잡음온도는 피측정 회로(증폭기 등) 내부에서 발생하는 잡음을 신호원에서 발생하는 열잡음의 증가분으로 보고 정의

하는 방식이다. 따라서 다음과 같이 정의한다.

$$T_{in} = (F-1) T_o \quad (3.1.6)$$

다. 표준잡음원

고주파영역의 잡음을 측정할 때에는 잡음발생기의 잡음을 기준으로 피측정 회로에서 발생하는 잡음을 고감도 검출기 검출하여 비교 측정하는 방법이 이용된다. 이때 기준이 되는 잡음발생기를 표준잡음원이라 한다. 따라서 표준잡음원은 자신이 갖는 잡음의 특성이 명확히 명시되어야 한다. 표준잡음원의 특성은 잡음원 자체의 ENR (Excess Noise Ratio, 과잉온도 잡음비)에 의해 나타낸다.

$$ENR = (T_e - T_0) / T_0 \quad (3.1.7)$$

$$ENR \text{ dB} = 10 \log ENR \quad (3.1.8)$$

(표준잡음원의 요구조건)

- 표준잡음원에서 요구되는 성능으로는 등가잡음온도가 피측정 잡음과 같은 정확도를 가져야 한다.
- 임피던스는 Z_0 와 같고 반사계수는 0이 되어야 한다.

(1) 반도체 잡음원

avalanche diode의 avalanche 효과 때 발생하는 잡음을 이용한 것이다. 100GHz대까지 이용되며, 등가잡음온도는 약 10^6°K 이다. 그림 3.1.8은 반도체 잡음원을 이용한 잡음측정 개요도를 나타낸 것

이다. 여기에는 다이오드를 ON/OFF 시키는 변조회로, 잡음원 (avalanche diode) 및 출력 정합회로로 구성된다.

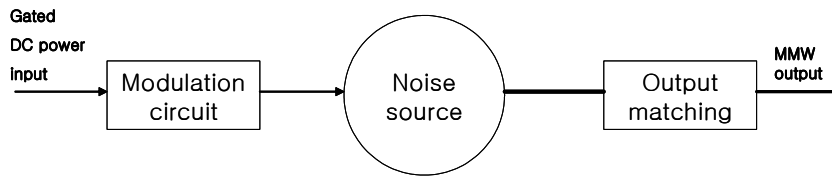


그림 3.1.8 반도체 밀리미터파 잡음원

(2) 방전관 잡음원

100GHz 이상, 가스방전관의 양광주(positive column) 부분의 플라즈마에서 방출되는 잡음을 이용하는 것. 방전관 밀리미터 잡음원의 구조는 그림 3.1.9와 같다.

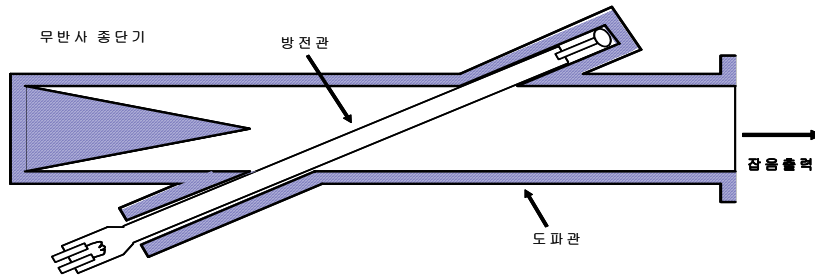


그림 3.1.9 방전관 밀리미터파 잡음원

라. Y-factor 법에 의한 표준 잡음지수 측정법

잡음지수는 현재 26.5GHz까지 측정할 수 있는 잡음지수미터가 시판되고 있다. 여기서는 잡음지수미터로 측정이 곤란한 영역에까지도 적용이 가능한 Y-factor 법에 의한 표준잡음지수 측정법을 제안하기로 한다.

그림 3.1.10은 표준잡음원을 이용한 잡음지수 측정회로를 나타낸다. 그림의 회로에서 먼저 입력 측에 기준온도가 T_0 인 무반사종단기를 연결한 후 회로에서 나오는 잡음출력전력을 측정하고 그것을 N_0 라 한다. 다음에 입력임피던스가 Z_0 , 등가잡음온도가 T_s 인 표준잡음원을 입력측에 접속하여 그때 회로의 잡음전력을 측정하고 그것을 N_{0s} 라 한다. 이때 회로의 잡음지수는 다음과 같이 계산된다.

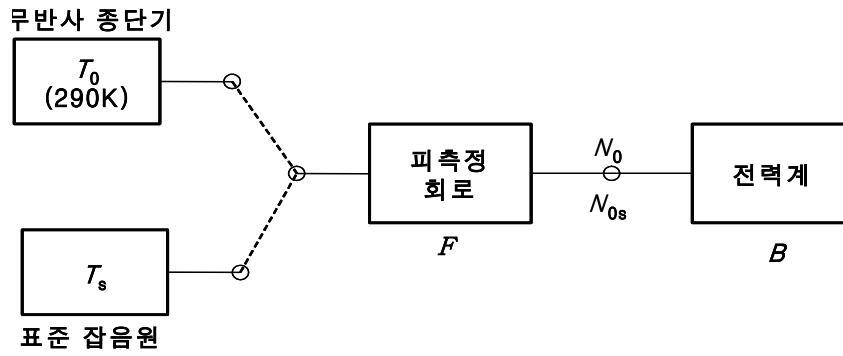


그림 3.1.10 표준잡음원을 이용한 잡음지수 측정회로 (Y-factor법)

$$F = \frac{(T_s/T_0) - 1}{Y - 1} \quad : \text{잡음지수} \quad (3.1.9)$$

여기서

$$Y = N_{0s}/N_0 \quad : \text{잡음출력전력비 (Y-factor)} \quad (3.1.10)$$

$$N_0 = FkT_0BG \quad : \text{회로의 잡음출력전력} \quad (3.1.11)$$

$$N_{0s} = kT_sBG + (F - 1)kT_0BG \quad : \text{표준 잡음원을 입력측에 접속한 상태의 회로의 잡음출력전력} \quad (3.1.12)$$

이다.

(기타 사항)

- 표준잡음원으로는 절대온도 77°K를 갖는 액체질소(LN₂) 내에 담긴 무반사 종단기를 이용한다. 이때는 측정 오차 등을 고려하여 $T_s \approx 80$ (°K)로 간주한다.
- 액체질소가 담긴 용기에 결빙이나 이슬이 맺히지 않게 주의한다.
- 잡음지수미터로 측정하지 못하는 경우에까지도 적용이 가능하고 측정결과도 아주 정확하며, 시스템 전체의 잡음지수를 한꺼번에 측정할 수 있는 장점이 있다.

4. 표준반사계수 측정법

회로의 반사계수 측정법 중 피측정회로의 입사파와 반사파에 비례하는 신호를 검출하여 그것으로부터 반사계수를 산출하는 반사미터법이 있다. 위상정보가 필요하지 않는 경우에는 스칼라반사미터(scalar reflectometer)법을 쓰는데, 방법이 간편하여 널리 쓰이고 있다. 여기서는 스칼라반사미터법에 의한 반사계수 측정법을 설명하기로 한다. 그림 3.1.11은 스칼라반사미터를 이용해 반사계수를 측정하는 회로를 나타낸다.

(1) 측정 방법

- (가) 회로에 DUT를 접속하여 검출기에 나타나는 출력을 측정한다.
- (나) DUT 대신 쇼트 회로를 연결한 후, 가변감쇠기를 조절하여 검출기에서 이전과 같은 출력이 표시되도록 한다.
- (다) 가변감쇠기로 조절한 양(감쇠량)을 L (dB)라 하고 반사계수를 Γ , SWR을 s 라 놓는다.
- (라) 식 (3.1.13)으로부터 반사계수를 계산한다.

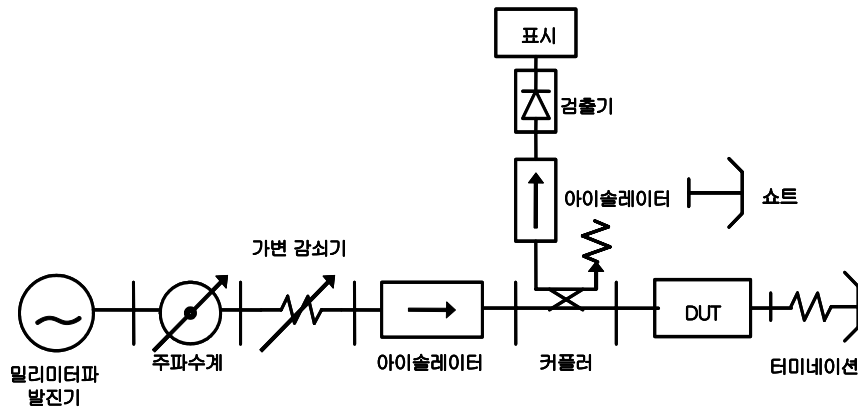


그림 3.1.11 스칼라반사미터를 이용한 반사계수 측정법

$$L_{dB} = 20 \log \left(\frac{1}{|F|} \right) = 20 \log \left(\frac{s+1}{s-1} \right) \quad (3.1.13)$$

(2) 주의 사항

○ DUT에서 반사되는 신호가 작을 때는 방향성이 아주 높은 커플러를 사용해야 한다.

○ 보통 이 방법으로 측정이 가능한 주파수대는 170GHz까지이며, 회로의 일부를 바꾸면 300GHz까지도 가능하게 된다.

5. 표준 정재파 측정법

그림 3.1.12는 표준 정재파 측정회로도를 나타낸다.

(1) 측정 방법

- (가) 회로에서 도파관 끝을 따라 이동하는 프로브를 이용하여 도파관 내부의 전계분포를 측정한다.
- (나) 측정된 최대 전계값을 E_{\max} , 최소 전계값을 E_{\min} , 최소 전계 발생 위치를 X_{\min} , 관내파장을 λ_g 및 반사계수의 위상각을 θ 라 놓는다.
- (다) 식 (3.1.14)~식 (3.1.16)로부터 정재파비와 반사계수를 계산한다.

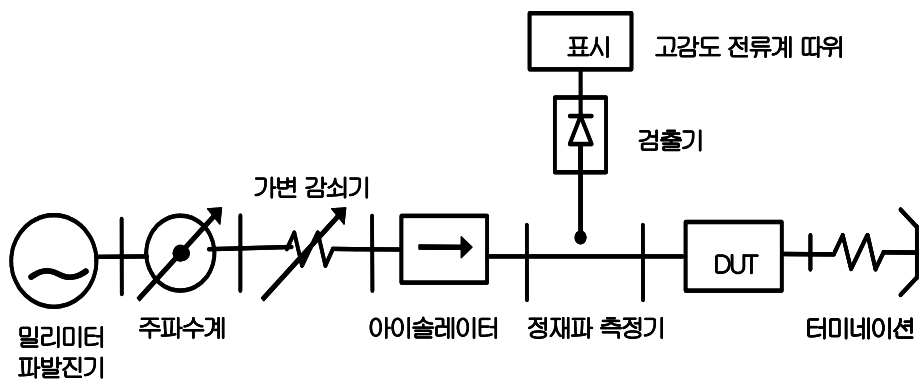


그림 3.1.12 정재파 측정 개요도

$$s = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \quad (3.1.14)$$

$$| \Gamma | = \frac{s-1}{s+1} \quad (3.1.15)$$

$$\theta = (1 + 4X_{\min}/\lambda_g) \pi \quad (3.1.16)$$

(2) 장/단점

(장점)

- scalar reflectometer 법보다 측정 결과가 더 정밀하다.
- 위상정보도 얻을 수 있다.
- 현재 170GHz 정도까지 측정이 가능하다.

(단점)

- scalar reflectometer 법보다 다소 복잡하다.

6. 표준 투과계수 측정법

증폭기의 이득이나 필터의 손실 및 감쇠기의 감쇠량 등은 s-parameter의 투과계수를 측정함으로써 구할 수 있다. 그림 3.1.13은 표준 투과계수 측정회로를 나타낸다.

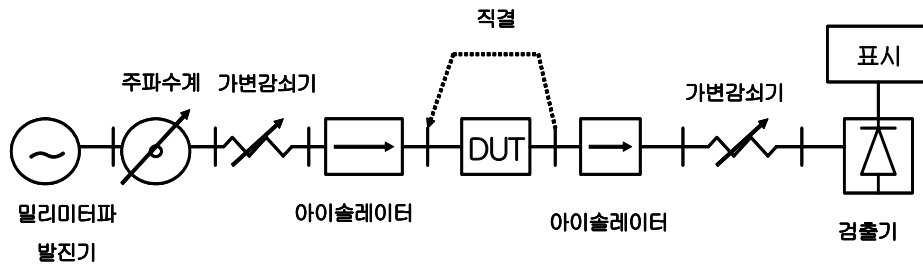


그림 3.1.13 투과계수측정회로

(1) 측정 방법

- (가) DUT를 접속한 상태에서 검출기에 나타나는 출력전력을 읽는다.
- (나) DUT를 제거하고 회로를 직접 연결하여 검출기의 출력을 읽는다.
- (다) 위 두 경우 측정된 전력으로부터 전력투과계수의 절대치를 환산한다.

(2) 주의점

- (가) 가변감쇠기의 정밀도에 따라 측정정밀도가 달라진다. 따라서 측정주파수대도 함께 달라진다.
- (나) 가변감쇠기의 정밀도는 감쇠량에 따라 변화하므로 정밀한 측정을 하기 위해서는 가변감쇠기를 다단으로 연결해 주어야 한다.
- (나) 현재 약 170GHz 대까지 측정이 가능하다.

7. 회로망 분석기(Network Analyzer)

가. 개요

회로망 분석기는 결론적으로 주파수합성기(발진기)와 검출기(스펙트럼분석기)를 묶어서 하나의 계측기로 만든 형태이다. 회로망분석기의 종류로는 회로량의 크기만을 측정할 수 있는 스칼라회로망분석기(scalar network analyzer)와 크기와 위상각까지 측정이 가능한 벡터회로망분석기(vector network analyzer)가 있다. 벡터회로망분석기는 복소량을 측정하므로 측정계의 불완전성에 의한 오차를 보정할 수 있으며, 측정 범위가 넓고 정밀하다는 장점이 있으나 장비의 가격이 고가라는 단점이 있다.

나. 테스트 유형

측정할 수 있는 물리량은 주로 회로의 s -파라미터를 중심으로 하여 반사/투과계수, 정재파비, 입/출력임피던스, 안테나 복사패턴, 지연시간 등의 측정이 가능하다.

측정 시스템의 구성은 주로 발진기, 커플러, 검출기를 조합해서 사용한다. 동축케이블 형태의 포트를 쓰면 최고 60GHz대까지 측정이 가능하며, 도파관 포트를 쓰면 최고 300GHz까지 가능하다. 현재 시판되는 장비로는 110GHz 정도까지 측정이 가능하다.

그림 3.1.14는 회로망분석기를 이용한 회로량 측정도의 예를 나타낸다.

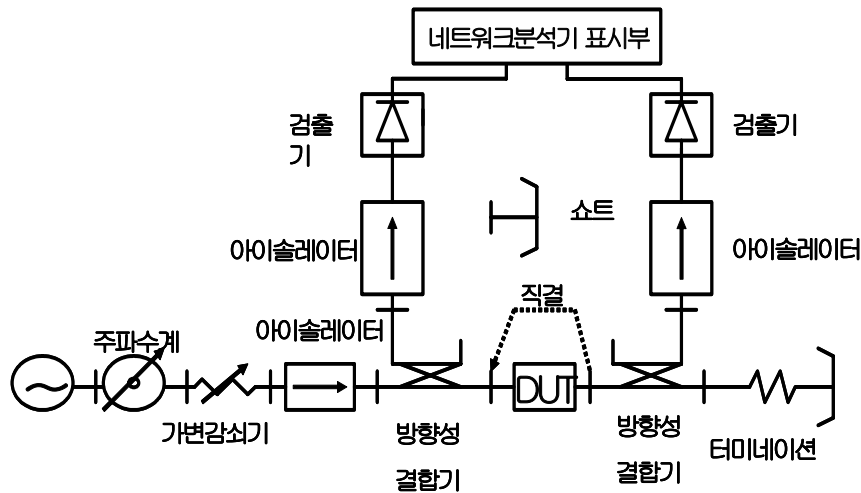


그림 3.1.14 회로망분석기를 이용한 측정도

회로망 분석기를 이용한 각종 회로량의 구체적인 측정법은 추후의 연구과제로 미루기로 하고 여기서는 생략한다.

8. 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)

가. 개요

frequency domain에서 신호를 분석하여 성능을 판정하고 문제점을 발견하기 위한 측정기로서 단지 디스플레이만 하는 수동형 수신기에 해당한다.

나. 테스트 유형

일차적으로는 전압, 전력, 주기, 파형, 주파수를 측정한다. 이를 통해서 하는 일반적 테스트 유형에는 modulation, distortion, noise

관련 사항을 분석하는 것이 있다.

다. 종류(방식)

Fourier Analyzer와 일반적으로 많이 사용하는 Swept-Tuned Analyzer (Super-heterodyne Analyzer)이 있다.

라. 내부 구성

RF input attenuator, IF amp., IF filter, Video filter, Local Oscillator, Sweep Generator, CRT Monitor로 구성된다. 그림 3.1.15는 스펙트럼 애널리저의 내부 구성도이다.

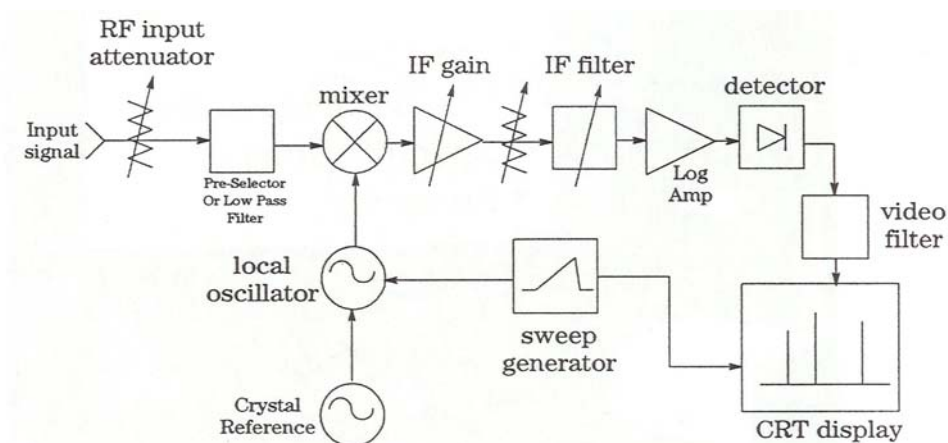


그림 3.1.15 스펙트럼분석기의 구성도

마. 각 부의 동작 원리 및 기능

(1) Mixer : 입력된 신호를 다음단의 IF filter가 검출할 수 있도록 IF 신호로 변환하는 역할을 한다. 그림 3.1.16은 스펙트럼 분석기 내부의 믹서를 나타낸다.

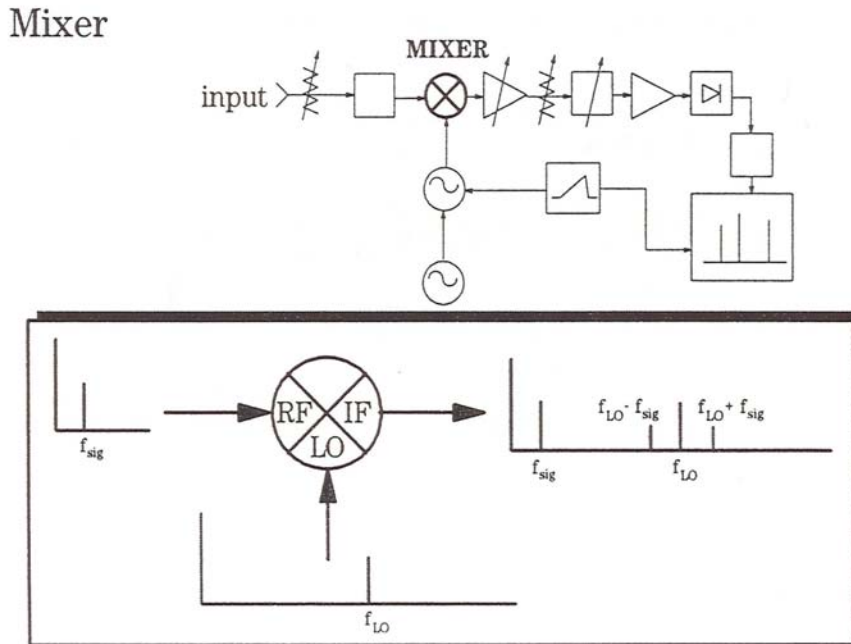


그림 3.1.16 스펙트럼 분석기 내부의 믹서

(2) IF filter : BPF, resolution bandwidth filter로서, 이 filter의 bandwidth가 좁을수록 분해능이 좋아진다. 그림 3.1.17은 스펙트럼 분석기 내부에 있는 IF 필터를 보여준다.

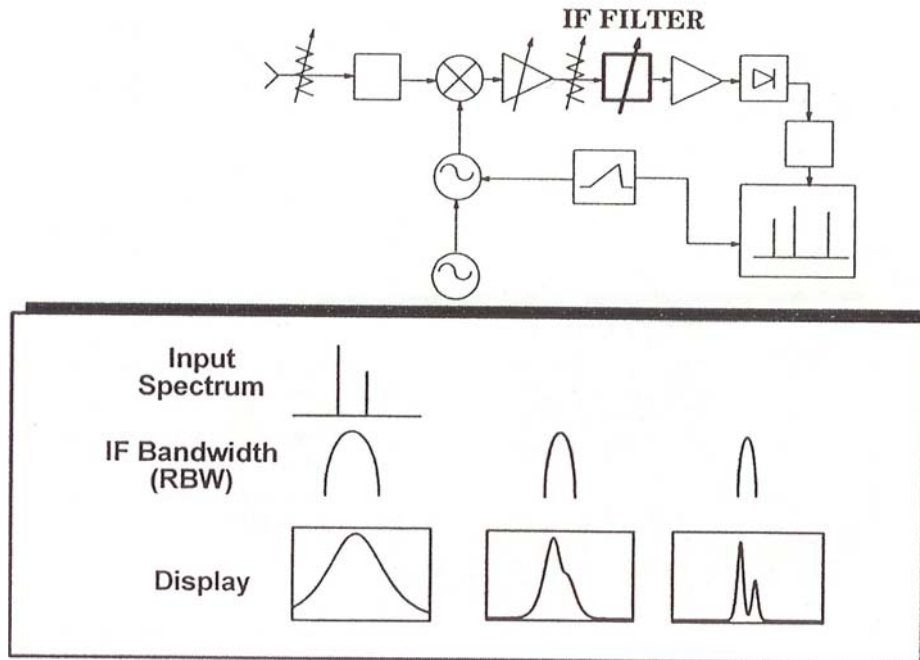


그림 3.1.17 스펙트럼 분석기 내부에 있는 IF 필터

(3) Detector : 측정된 신호를 모니터에 나타내기 위해서 IF 신호를 envelope detector을 이용해 baseband 또는 video 신호로 변환한다. 요즘은 a/d-converter를 이용해 analog 신호를 digital 신호로 변환시켜 표시하는 방식을 쓴다.

(4) Video Filter : LPF로써 envelope detector와 A/D-converter 사이에 위치한다. spectrum analyzer에 들어오는 신호에는 고주파 noise도 함께 포함되어 있으므로, 이것의 대역폭(VBW: Video Bandwidth)을 작게 설정하면 들어오는 노이즈의 피크 값을 줄일 수 있다. 즉, noise의 높은 주파수 성분을 차단. 출력파형의 평활

(smooth), 평균(average)하는 기능을 수행한다.

(5) Local Oscillator : 입력 신호와 spectrum analyzer를 동기시키는 역할을 한다.

(6) Sweep Generator : 모니터 화면의 x -축 영역과 y -축 영역이 서로 동기 되도록 함.

(7) RF input attenuator : mixer에 입력되는 신호의 크기를 조절한다. 그 이유는 믹서에 너무 큰 신호가 입력되면 mixer에서 distortion (mixer의 gain compression)이 발생하기 때문이다.

(8) IF Gain (IF amp.) : Mixer와 IF filter 사이에 위치. 입력감쇠기에서 감쇠된 신호를 자동으로 보상하여 스펙트럼분석기에 입력되는 신호의 크기를 일정하게 유지하는 역할을 한다.

(9) A/D-converter : analog 신호를 digital 신호로 변환한다.

(10) CRT monitor : 분석된 신호를 표시한다.

바. 다른 주요 기능

스펙트럼 분석기의 또 다른 기능 중에는 미약한 신호를 검출하는 기능이 있다. 분석기의 sensitivity는 작은 신호를 측정하는 능력을 나타낸다. 보통 $-90\sim-145\text{dB}$. 입력된 신호가 noise floor에 묻혀버리면 측정이 불가능하며, 믹서단에서 잡음이 제일 많이 발생한다.

사. 측정시 유의 사항

- (1) 가장 좁은 RBW를 선택한다. (측정 시간이 길어짐)
- (2) 최고의 SNR을 갖기 위해 RF/MMW 입력신호를 감쇠를 최소로 한다.
- (3) 작은 VBW를 선택한다. $VBW \leq 0.1 \sim 0.01RBW$, (측정 시간이 길어짐)
- (4) 최대의 감도를 낼 수 있는 setting을 한다.
- (5) 애널라이저 자체의 distortion을 어떻게 test할 것인가를 잘 결정한다.
- (6) 다이내믹 렌지를 어떻게 설정할 것인가를 잘 결정한다.

제 2 절 밀리미터파 측정기기

밀리미터파대의 시스템이나 소자 등을 연구하기 위해서는 여러 종류의 측정 자료를 얻어야 하며, 그러기 위해서는 다양한 종류의 측정기가 필요하다.

이 절에서는 밀리미터파 측정에 사용되는 측정기기의 종류에 대해서 지금까지 소개한 것을 포함하여 간략히 요약하기로 한다. 이들 측정기들에 관한 구체적인 측정 사항은 추후 연구로 미루고 여기서는 생략하기로 한다.

<측정기기의 종류>

1. 밀리미터파 신호발생기 (synthesizer, signal source)
2. 주파수 카운터

3. 스펙트럼 분석기(spectrum analyzer)

4. 전력계, power sensor

5. 회로망 분석기(network analyzer)와 정재파 측정기

6. 기타

가. 잡음측정기

나. 표준 잡음원(noise source)

7. 콤포넌트

가. 건 발진기

나. 증폭기

다. 믹서

라. 발진 체배기

마. 검출기, 위상검출기

바. 감쇠기

사. 이상기

아. 방향성 결합기, 하이브리드 T, 밀리미터파 T

자. 아이솔레이터, 서큘레이터

차. 종단기, 쇼트

카. BPF

타. 스위치회로(전자식, 기계식)

제 3 절 측정 환경 및 조건

밀리미터파는 주파수가 매우 높고 신호가 미약한 경우가 많기 때문에 측정 시 많은 주의가 요구된다. 또한 측정 환경이 조금만 바뀌어도 측정값이 크게 변화하며, 그 변화의 이유도 분명치 않은 경우가 많으므로 각별히 주의해야 한다.

또한 오차발생의 원인도 일반적으로 서적이나 문헌 등에서 알려진 것 외에 다양하게 나타나므로, 밀리미터파의 측정은 측정자의 경험이나 숙련도에 따라 그 결과의 정확도가 결정된다. 이러한 이유에서 밀리미터파의 측정환경은 매우 중요하며 추후 많은 연구가 이루어져야 할 분야로 판단된다.

측정 환경/조건에 관련된 사항을 요약하면 다음과 같다.

1. 투과계수 등을 측정할 때는 조정밀 가변감쇠기(variable attenuator)를 다단으로 접속하여 사용
2. 측정기와 실험실의 완벽한 접지를 유지하여 정전기 발생에 의한 과도현상 발생을 방지할 것
3. 특히 능동회로를 측정할 때 정전기 방지 손목밴드를 착용할 것
3. 반사계수 측정 시 방향성이 높은 커플러를 사용할 것
4. 장시간 측정 시 계측기 보정을 수시로 하고, 계측기 최초

구동 후 30분 이상 경과 후에 보정할 것

5. 실험실을 항온, 항습으로 유지할 것

6. 잡음지수 측정시 표준 잡음원으로 가급적 잡음온도가 확실한 액체질소를 이용하여 Y -factor법으로 산출할 것

7. F대역(90-140GHz) 이상에서 도파관 포트를 접속시키는 경우는 초정밀 clamp형 round pin contact 후렌지를 사용할 것

제 4 장 결 론

밀리미터파에 대한 특성을 검토하고 이용 사례와 차세대 연구과제 및 이용가능분야에 대해 연구하였다.

선진국의 이용기술 현황과 우리나라의 현 수준을 비교하여 앞으로 우리가 설정해야 할 연구방향을 모색하였다.

밀리미터파의 기본회로량 측정기술과 표준측정방법을 제안하고, 더욱 정밀한 측정을 위한 측정 환경과 요건을 제시하였다.

본 연구와 관련한 향후의 연구 과제로는

- (1) 밀리미터파의 대역별 실제 측정 시스템을 구축하고
- (2) 최적의 측정을 위해 측정이 사용되는 동축케이블, 도파관, 방향성 결합기, 감쇠기 등의 규격 등을 연구하며
- (3) 측정기와 실험실의 완벽한 접지와 차폐를 유지하기 위한 정량적 규격을 도출하고
- (4) 잡음 검출 시 사용되는 고감도 잡음검출기의 규격 등에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

본 연구 결과는 밀리미터파의 실제적 초정밀 측정기술 개발을 위한 준비단계의 연구로 활용될 수 있으며, 밀리미터파 측정에 관한 국가표준을 마련하기 위한 기초자료로도 이용될 수 있을 것이다.

또한 본 연구 결과를 민간에 이전하여 관련 산업의 활성화를 꾀

할 수도 있으며, 향후 국내 정보통신 정책 방향을 설정하기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것을 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] H. Yamasaki, J. Awaka, A. Takahashi, K. Okamoto, and T. Ihara, "Measurement of soil backscattering with a 60 GHz scattrometer", IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing, 30 pp.761-766, 1992
- [2] J. B. Mead and R. E. McIntosh, "A 225 GHz polarimetric radar", IEEE Trans. on MTT, 38, (9), pp. 1252-1258, 1990
- [3] K. Chang, *"RF and Microwave Wireless Systems"*, John Wiley and Sons, Inc, 2000
- [4] P. L. Lowbridge, et al., "Millimeter Wave Technology for Collision Avoidance and Cruise Control", 8th Int., Conference on Automotive Electronics, 1992
- [5] S. Isobe et. al., "Plan of Advanced Satellite Communications in MM-wave and Ka-band Using ETS-6", 16th. ISTS, 1988
- [6] H. H. Meinel, "Applications of Microwave and Millimeter Waves for Vehicle Communications and Control in Europe", IEEE MTT-S, Int. Microwave Symp. Digest, pp. 609-612, 1992
- [7] R. Lhermitte, "Cloud and precipitation remote sensing at 94 GHz", IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing, GE-26, pp. 207-216, 1988
- [8] A. J. Miller, "A Review of Satellite Observations of

Atmosphere', Plant. Space Sci., 37(12), pp. 1539-1554, 1989

[9] F. A. Benson, *"Millimeter and Submillimeter Waves"*,
London Ilife Books LTD.

[10] *"2001 마이크로파 및 밀리미터파 워크숍"*, 한국전자과학회,
2001

주 의

1. 이 연구보고서는 전파연구소의 연구개발사업비 재정지원으로 이루어진 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 전파연구소 연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다