

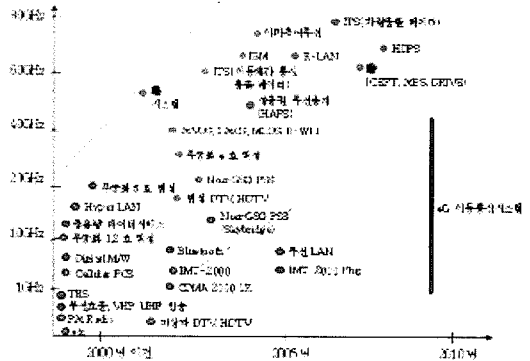
밀리미터파 응용 시스템과 전망

문 주 영 · 윤 상 원
서강대학교 전자공학과

I. 서 론

각종 이동 및 고정 통신 시스템의 상용화로 마이크로파 대역의 주파수 사용이 포화됨에 따라, 더 주파수가 높고 넓은 대역을 차지하는 밀리미터파 대역으로의 확장은 이미 오래 전부터 진행되어왔다. 넓은 주파수 대역은 초고속 통신 시스템으로 활용할 수 있는 장점이 있다. 그러나 밀리미터파 대역은 짧은 파장으로 인하여 안테나를 포함한 각종 소자 및 회로의 소형화에는 유리한 반면 마이크로파 대역에 비해 높은 대기 감쇄 특성과 고출력 발생 시 드는 비용 등으로 인해 통신 시스템으로의 응용은 LMDS와 같은 고속이나 근거리 시스템 위주로 진행되어왔다. 한편으로는 밀리미터파 대역은 짧은 파장을 갖는 특성으로 인해 회로 및 시스템의 초소형화가 가능하며, 분해능이 좋고, 많은 물질이 여러 밀리미터파 파장에 반응하는 등 특수한 성질을 가지고 있어, 통신 이외의 능동 및 수동 이미지 센서(active and passive image sensor)로, ITS 응용, 특정한 물질의 분자를 검출하고, 측정하는 시스템과 이를 응용한 의료 영상 진단 시스템, 그리고 각종 군사용 송수신 시스템에 응용되어 왔다. 본 고에서는 이러한 밀리미터파의 특성을 응용하는 시스템의 소개와 이에 대한 국내 연구 활동에 초점을 맞추어 고찰하고자 한다.

밀리미터파 대역은 30 GHz 이상 300 GHz 이하의 넓은 주파수 대역을 차지하고 있으며, 대역에 따라 대기 중 산소 및 물 분자에 의한 감쇄 특성도 매우 달라 그에 따른 응용 분야가 [그림 1]에서 보듯이 다양하여, 1 Gbps급 초고속 데이터 전송이 가능한 PAN(Personal Area Network) 또는 LAN으로의 응용 시스템,



[그림 1] 무선통신, 방송 서비스 및 주파수 이용 추세

악천후에서 시야를 확보함으로써 차량의 충돌을 방지하는 시스템, 은밀하게 사람의 몸에 숨겨진 물체를 찾아내는 시스템, 이동체에서 안개나 먼지 속에서 길이나 물체를 찾아내는 등 이러한 응용이 가능한 능동 및 수동 이미지 센서, 외계에서 오는 가시광선보다 짧은 파장을 갖는 전파를 탐지하는 전파망원경 및 대기 중 원소 측정 시스템과 의료 영상 진단 시스템 등 다양한 응용 분야를 가지고 있다^[1].

II. 밀리미터파대 응용 시스템의 종류 및 특성

밀리미터파 응용 시스템으로 가장 먼저 떠오르는 것은 역시 무선 통신 시스템이다. 그러나 대기 중 감쇄특성이 양호하고 MMIC를 포함한 부품 가격이 마이크로파 대역에 비해 상대적으로 비싸기 때문에 상용화까지는 시간이 걸릴 것으로 예상하고 있다. 그러나 국내에서도 외국 못지않게 밀리미터파대의 통

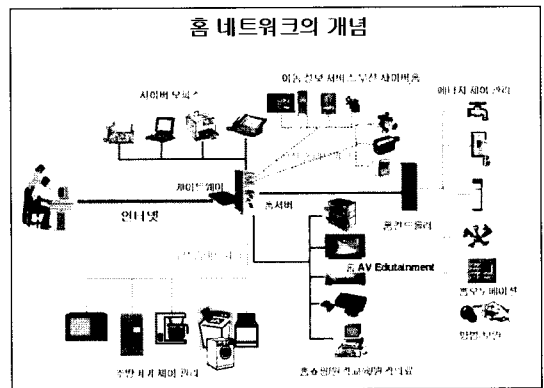
신 시스템 또는 RF Front-end 시스템을 활발하게 연구개발 해오고 있다. 유럽형 LMDS(Local Multimedia Distribution System)인 MVDS(Multipoint Video Distribution System)은 40 GHz 대역(40.5~43.5 GHz)을 사용하고 있다. 10년 전부터 국내 RF 전문 업체들은 이 대역에서의 RF Front-end를 MMIC를 사용하여 자체 설계하고 제작하여 유럽에 수출하고 있다. 따라서 wire bonding 기술과 패키지 기술을 오래 전부터 확보하고 있다. 그리고 대기 감쇄가 심하여 원거리 전송이 어려운 60 GHz대(57~64 GHz)를 사용하는 근거리 송수신 시스템이 개발되었다. 이는 60 GHz대 ISM 대역에서 PAN 및 LAN에 적용하기 위한 시스템으로, MMIC chip을 기반으로 하여 한국전자통신연구원과 삼성전자가 무선 송수신 시스템의 Prototype을 개발하였다^[2]. [그림 2] 및 [그림 3]에서 보는 바와 같이 광대역 무선 접속망과 홈 네트워크를 구성하기 위한 구체적인 방안까지 도출되었다^[1].

또한, 이 주파수 대역에서는 일본의 Yoneyama 교수가 1981년도에 제안한 NRD(NonRadiating Dielectric) guide를 기반으로 하여 MMIC를 기반으로 하는 시스템과 동일한 기능을 하는 LAN용 송수신 시스템이 개발되었다^[3]. 이러한 근거리 초고속 통신 시스템들은 이동 통신 및 무선 인터넷을 접속 시스템의 국

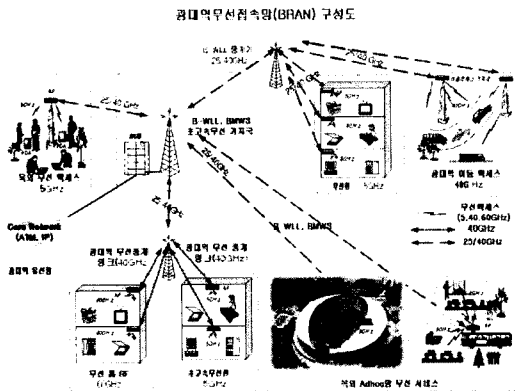
내의 시장이 확대되며 활성화되기를 기다리고 있는 형편이다.

대표적인 능동 센서인 자동차 충돌 방지 시스템(car collision avoidance system)은 역시 대기 감쇄가 심한 대역인 77 GHz대에서 상용화 제품이 외국에서는 출시되었으며, 국내에서도 활발히 연구 개발이 진행되고 있다. [그림 4]와 같은 송신 및 수신 블록을 갖는 본 시스템은 이미 전자파 기술의 주제로 또한 많은 워크샵에서 주제로 다루어졌기 때문에 참고 문헌들을 제시하는 것으로 대신한다^[4~7].

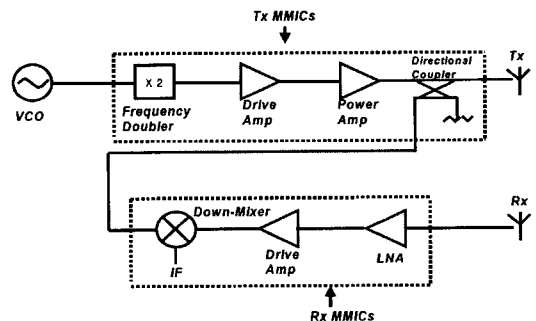
반면에 수동 센서는 우리가 빛의 반사로 물체를 보는 원리와 동일하게 RF부는 수신부만 탑재하고



[그림 3] 홈네트워크 구성 개념도



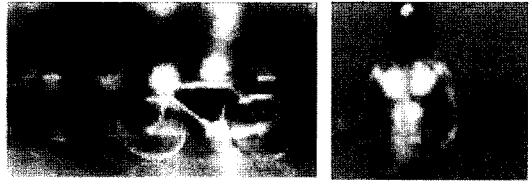
[그림 2] 광대역 무선 접속망(BRAN) 구성도



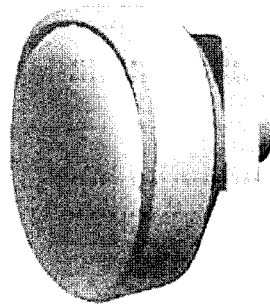
[그림 4] 한국전자통신연구원에서 개발한 77 GHz FMC 레이더의 RF Front-End Module 블록도

있다. 즉, 다른 전파 발생원에서 방사된 전파가 우리가 관찰하고자 하는 물체에서 반사되는 것을 수신함으로써 그 물체의 모양을 파악하는 것이다. 수동형이므로 발진기를 포함한 송신부가 필요치 않으나 물체에서 발생하는 미약한 열잡음을 수신하여 처리함으로써 영상 신호를 복원하여야 하므로 고감도의 수신기가 필요하다. 미국, 일본 등에서는 오래 전부터 연구되어 왔으며^[8] 국내에서도 광주과학기술원과 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 중심으로 연구되고 있다^{[9],[10]}. 이러한 수동 밀리미터파 이미징 시스템(PMMWI: Passive Millimeter-wave Imaging System)은 안개나 먼지 등으로 인한 약천후에서 비행기 착륙 보조 장치, 화재 시 사람의 움직임을 탐지하는 시스템, 분화에 의한 화산 관측, 은닉 무기나 폭발물의 탐지, 도로상의 안개에 의한 추돌 사고 방지 또는 감지 시스템 등에 응용되고 있다. 최근에는 심장 이상 검출 시스템, 유방암/췌장암 진단 시스템 등 의료용과 대기의 오존 농도 관측 시스템 등 환경 분야의 응용도 계속적으로 연구되고 있어 향후 수요가 대단히 커질 것으로 예상된다.

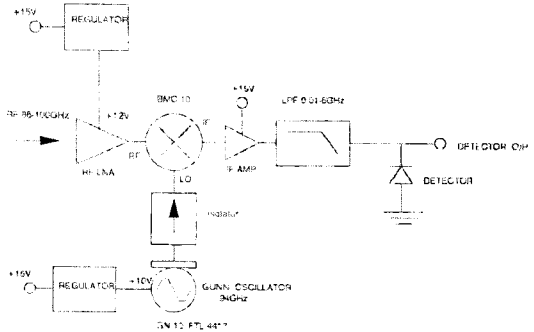
초기에 개발된 밀리미터파 수동 이미징 시스템은 약천후에서도 시야를 확보하기 위한 목적이 주이었다. [그림 5]와 같이 물체를 식별하는 데 초점이 맞춰져 있었다^[11]. RF 시스템은 [그림 6]과 같은 안테나를 비롯하여 [그림 7]과 같은 down-converter로 구성되어 있다. 기술이 더욱 발전하고, 미국의 9.11 사건 이후 많은 테러리스트들의 위협이 증가함에 따라 급속 탐지기만으로는 비금속류의 폭발물을 검색해 내기가 힘들어지자 은닉된 총기 및 화학류를 찾아내는 시스템으로 진화하였다. [그림 8]은 일본의 Maspro Denkoh사에서 개발한 밀리미터파 수동 이미징 시스템으로 이러한 목적으로 개발된 것이다. 최근 미국 TSA(Transportation Security Administration)에서는 밀리미터파 수동 이미징 시스템의 도입을 결정하였다. 밀리미터파 수동 이미징 센서는 목적물에서 반사되



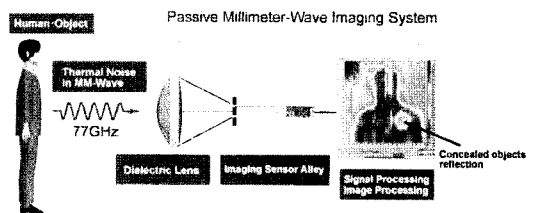
[그림 5] PMMWI 시스템으로 복원된 이미지



[그림 6] PMMWI 시스템



[그림 7] PMMWI RF down-converter의 블록도



[그림 8] Maspro Denkoh 사의 밀리미터파 이미징 시스템

는 thermal noise를 검출하여 금속 이외의 액체류, 플라스틱류, 파우더류 등 폭발물도 검출해 낼 수 있다.

<표 1>은 앞에서 소개한 밀리미터파 이미징 센서와 주파수가 다른 여러 가지 종류의 이미징 센서들의 장·단점을 비교한 표이다. 밀리미터파 이미징 센서는 다른 주파수 대역의 센서들에 비하여 비교적 낮은 해상도를 가지는 단점이 있지만, 날씨 등의 주변 환경에 영향을 받지 않고 전천후로 동작하며 물체 투과력이 우수하고 이미지 데이터 획득이 가능한 여러 가지 장점들이 부각되어 다른 주파수 대역의 센서들과 차별화 되고 있다.

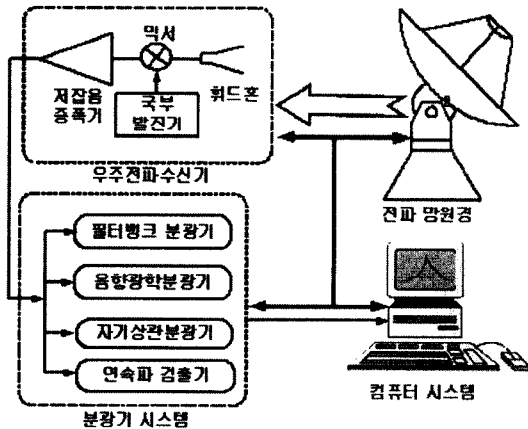
국내외에서 가장 먼저 밀리미터파를 사용하고 이

를 위한 연구가 활발하게 진행된 분야는 전파망원경 시스템([그림 7]) 분야로서, 외계의 별과 성간 물질에서 방사되는 전파를 수신하는 시스템을 일컫는다. 본 시스템들은 quasi optical technique([그림 8])을 많이 사용하는 대형 시스템들이다. 우리나라에서는 1986년 대전에 있는 한국천문연구원에 직경 14 m 안테나가 설치되고, 100 GHz대 수신기가 도입되어 설치된 이후, Q-Band(35 GHz대), W-Band (90~110 GHz)를 거쳐 D-Band(140 GHz대) 수신기가 천문연구원에서 자체 개발되어 관측에 사용되고 있다. 서울대학교에서도 2001년 70~270 GHz에서 관측이 가능한 지름 6 m 전파망원경 시스템이 한국천문연구원의 도움으로 개

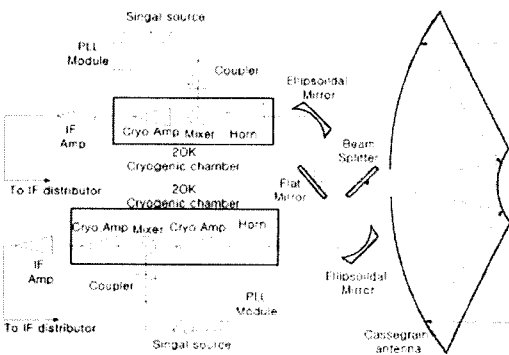
<표 1> 주파수에 따른 이미지 센서 종류의 장·단점^[16]

감지 센서	장점	단점
Microwave/ mm-wave radar (Active mode)	-날씨와 상관없이 전천후 동작 (구름, 안개, 먼지, 가는 비 투과) -벽/옷/나무잎과 같은 물체 투과 -넓은 감시 범위를 가짐 -주야간 모두 사용 가능 -거리측정 및 이미지 데이터 획득 -속도 측정 가능	-비교적 낮은 해상도 -적에게 노출됨 -교란용 방해 전파에 약함
Microwave/ mm-wave radiometer (Passive mode)	-노출되지 않고 물체 감지 -날씨와 상관없이 전천 후 동작 (구름, 안개, 먼지, 가는 비 투과) -벽/옷/나무잎과 같은 물체 투과 -넓은 감시 범위를 가짐 -주야간 모두 사용 가능 -이미지 데이터 획득	-매우 낮은 전파 강도 -비교적 낮은 해상도 -거리 측정이 어려움
Infrared imager	-높은 해상도와 주파수 분해능 -노출되지 않고 물체 감지 -주야간 모두 사용가능	-비, 안개, 먼지, 연기의 영향이 큼 -물체 투과력이 약함 -거리특정이 어려움
Laser radar	-높은 해상도와 주파수 분해능 -거리, 속도 측정 가능 -주야간 모두 사용가능	-비, 안개, 먼지, 연기의 영향이 큼 -물체 투과력이 약함
Visible Imager	-매우 높은 해상도 -노출되지 않고 물체 감지 -기술 개발이 성숙되어 있음	-주간에만 사용함 -비, 안개, 먼지, 연기의 영향이 큼 -물체를 투과하지 못함

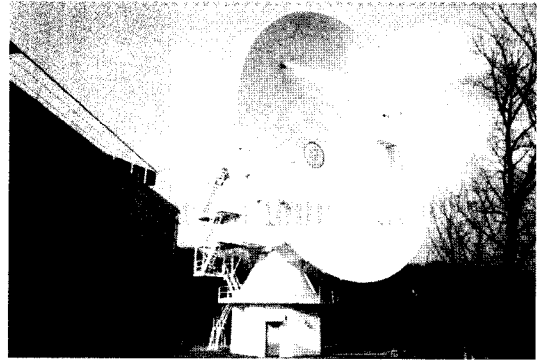
발되었으며, 85~115 GHz대의 수신기가 장착되어 사용되고 있다^[12]. 특히, 최근에 한국천문연구원의 주도하에 연세대학교([그림 9]), 울산대학교([그림 10])와 제주 탐라대학교의 세 곳에 설치되는 21 m 전파망원경 시스템은 ‘한국우주전파관측망(KVN: Korean VLBI Network)’으로 이 KVN은 세 대학의 시스템이 연결될 경우 지름 480 km 짜리 망원경의 효과를 내게 된다. 이처럼 서로 멀리 떨어진 두 대 이상의 전파망원경이 우주 천체들에서 나오는 전파를 수신해 합성, 관측하는 시스템을 ‘VLBI’라고 한다^[13].
본 시스템은 조만간 완공될 예정이다.



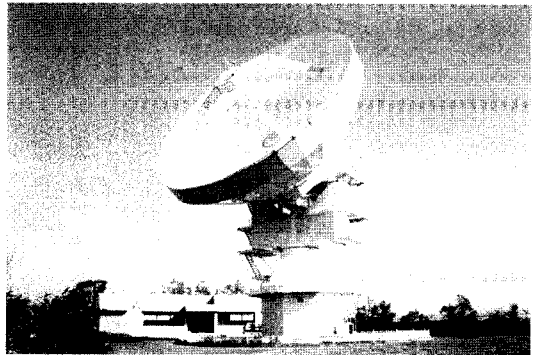
[그림 9] 전파망원경 블록도



[그림 10] 우주 전파 수신기 블록도



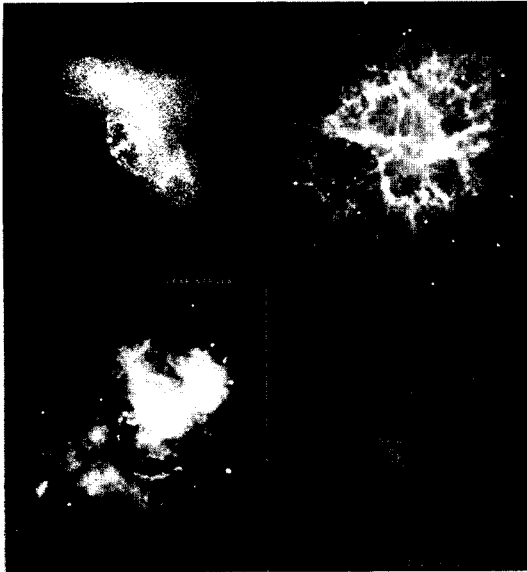
[그림 11] 연세대에 설치된 전파망원경



[그림 12] 울산대에 설치된 전파망원경

이러한 전파망원경으로 외계의 천체에서 방사되는 밀리미터파를 수신한 이미지가 [그림 13]이다. NASA의 Chandra X-ray Observatory에서 찍은 지구에서 약 5,000 광년 떨어진 Crab Nebula(게 성운)의 이미지로 X-Ray, 가시광선, 적외선 밀리미터파 대역의 신호를 수신하여 복원한 이미지이다^[14]. 일반적으로 방사에너지가 적은 행성이나 성간 물질에서는 밀리미터파 신호가 주로 발생하는 것으로 알려져 있다.

마이크로파 및 밀리미터파 대역에서 분자들이 전파를 흡수 또는 방출하는 특성을 가지고 있다. 국내에서도 밀리미터파 대역의 전파를 통해 대기 중의 오존 등을 측정하는 시스템이 운용되고 있다. 속명 여대 지구환경연구소에서 사용되고 있는 시스템은



[그림 13] Chandra X-ray Observatory에서 찍은 Crab Nebula(게 성운) 사진

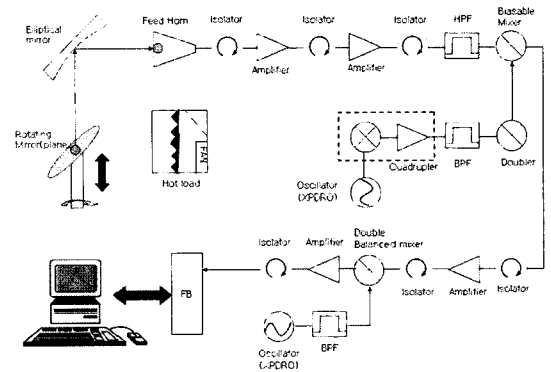
성층권 오존을 관측하는 시스템으로 SORAS(Stratospheric Ozone Radiometer in Seoul)라는 명칭으로 불리며, 본 시스템은 W-Band 수신기로서 성층권 오존에서 방출되는 110.836 GHz 전파를 수신하는 시스템을 통해 오존의 농도를 장기간에 걸쳐 관측함으로써 동북아 대기 환경을 감시하는 것을 목적으로 하고 있다^[15]. 이 시스템의 블록도는 [그림 14]와 같으며, 역시 quasi optical 방식을 초단에 사용하고 있다. 이러한 환경 모니터링 밀리미터파 라디오미터 시스템은 다양한 응용 분야에서 적용되고 있다. 국부적인 폭우, 폭설 등 돌발적인 기상 변동의 관측을 위한 센서, 해수면의 온도 분포라든가 적조 발생을 감시하는 해양 관측 시스템, 땅의 표면 온도나 땅의 수분 함유량 등을 모니터링하는 토양 관측 시스템 등에 응용되고 있다.

밀리미터파의 짧은 파장으로 인한 고분해능 특성을 응용하는 시스템으로 의료 영상 진단 시스템이 있다. 밀리미터파 레이디오미터를 사용하여 심장 혈

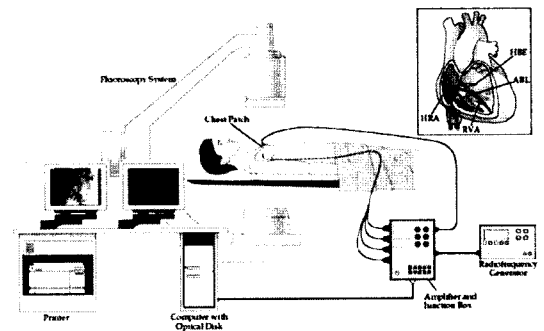
관 이상을 검출하거나 [그림 15], [그림 16]과 같이 유방암을 검출하는 시스템이 있다. [그림 17]과 같이 이미지를 통하여 암의 발병 여부를 확인할 수 있다.

III. 결 론

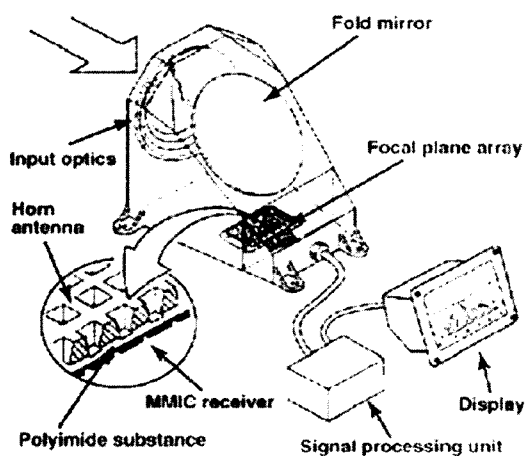
30 GHz에서 300 GHz에 이르는 광대한 밀리미터파 대역은 통신 시스템으로부터 각종 전파 센서, 의료 진단 시스템 등 그 응용 분야는 마이크로파 대역에 비해 대단히 광범위하다. 위에서 소개한 응용 시스템들조차도 각각이 다양하게 진화하고 있다. 국내에서도 많은 학교와 연구 기관에서 밀리미터파를



[그림 14] 성층권 오존 관측용 수신 시스템 SORAS의 블록도

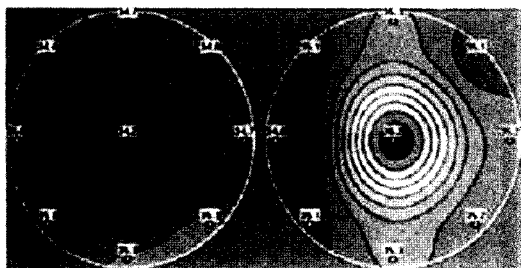


[그림 15] 심장 혈관 이상 진단 시스템



[그림 16] 압 진단 시스템

건강한 가슴(왼쪽)과 암세포가
검출된 가슴(오른쪽)



[그림 17] 압 진단 이미지

응용하는 시스템에 대한 연구와 활용이 이루어지고 있으나, 일부 분야를 제외하고는 아직 세계적인 발전 추세에 못 미치는 분야가 너무 많다. 앞으로 미개발 상태이나 잠재력이 큰 밀리미터파 대역의 개발에 정부의 적극적인 투자를 기대해 본다. 다만 여기서 군사용 밀리미터파 응용 시스템은 상대적으로 알려진 것이 적어 제외하였으나, 차후 별도로 다루어져야 할 부분으로 생각한다.

끝으로 이러한 시스템은 기본적인 부품으로 MMIC를 사용하고 있기 때문에 국내에서도 다양한 밀리미

터파 시스템을 안정적으로 생산하기 위해서는 무엇보다도 MMIC를 생산할 수 있는 Foundary의 활성화가 중요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 박석지, "무선기술발전에 따른 전파이용 활성화 방안", 한국전파진흥협회 전파진흥, 11(6), 2001년.
- [2] 김동영, 한진우, 전병혁, 이상석, "NRD(Nonradiative Dielectric) 도파로의 기술 개발 동향", 한국전자통신연구원 전자통신동향분석, 14(5), pp. 34-41, 1999년.
- [3] Tsukasa Yoneyama, Hirokazu Sawada, and Takashi Shimizu, "NRD-Guide passive components and devices for millimeter wave wireless applications", *IEICE Trans. Electronics*, vol. E90-C, no. 12, pp. 2170-2177, 2007.
- [4] 신천우, "NRD guide 방식을 이용한 자동차추돌 방지용 밀리파레이더 프론트엔드의 개발", 한국통신학회지, 16(9), pp. 42-57, 1999년.
- [5] 박공만, "Car Radar 기술발전 및 산업동향", 전파 제104호, 2002년.
- [6] 단거리 전용통신(DSRC)용 및 차량 레이더용 주파수 분배, 정보통신부, 고시 제2001-21호, 2001년.
- [7] 「무선설비 기술기준에 관한 연구」 최종 보고서, 전파연구소, 2006년.
- [8] 「밀리미터파 센서의 기술동향」 분석 보고서, 한국과학기술정보연구원, 2005년.
- [9] 정경원, 채연식, 이진구 "밀리미터파 수동 이미징 센서 연구", 대한전자공학회 전자공학회논문지, 45(2), pp. 1-7, 2008년 3월.
- [10] 이진구, "전자파기술 관련 대학 및 연구소 탐방기", 한국전자파학회 전자파기술, 19(3), pp. 78-

83, 2008년 5월.

- [11] A. H. Lettington, D. Dunn, N. E. Alexander, A. Wabby, B. N. Lyons, R. Doyle, J. Walshe, M. Attia, and I Blankson, "Design and development of a high performance passive mm-wave imager for aeronautical applications," *SPIE Proceedings Series, Radar Sensor Technology VIII and Passive Millimeter-wave Imaging Technology VII*, 2004.
- [12] 손태호, 김용훈, 한석태, 김기채 공저, 전자파 응용공학, 홍릉과학출판사, 2008년.
- [13] 조세형, 구본철, 광학 및 전파망원경을 활용한

천체분광관측연구; 70-270 GHz 수신용 전파망원경 시스템 개발, 서울대학교 출판부, 2001년.

- [14] X-ray Vision, "The orbiting Chandra X-ray observatory lifts the veil on exploding stars, pulsars, quasars, and black holes", *National Geographic*, pp. 42-53, Dec. 2002.
- [15] SORAS, 지구환경연구소 홈페이지, <http://spec.sookmyung.ac.kr>.
- [16] A 77 GHz Automotive Radar MMIC Chipset Fabricated by a 0.15 μ m MHEMT Technology, 강동민, 전자통신연구원, 2005년 11월.

≡ 필자소개 ≡

문 주 영



시스템

2001년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)

2003년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 밀리미터파 회로, 레이더

윤 상 원



1977년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1979년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1984년 5월: University of Texas at Austin (공학박사)

1988년 1월~12월: University of Texas at Austin 방문교수

1984년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 초고주파 및 밀리미터파 회로 설계, RF 시스템