

밀리미터파 응용기술

박현창 · 이문교 ·
김삼동 · 이진구

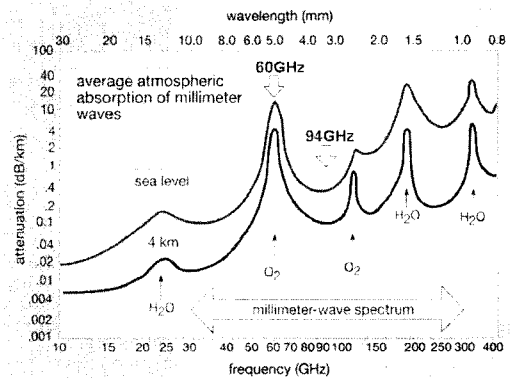
동국대학교 밀리미터파
신기술연구센터(MINT)

I. 서 론

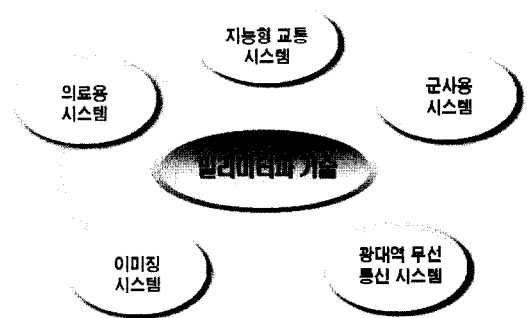
밀리미터파란 자유 공간에서 주파수가 30 GHz 이 상 300 GHz 이하의 범위로, 밀리미터(mm) 단위의 파장을 갖는 전자기파를 의미한다. 밀리미터파 대역은 전통적으로 군사용으로 주파수가 할당되어 12~45 GHz 대역의 군사용 위성통신 3~95 GHz 대역의 차량 탑재 군사용 레이더, 전자전 무기, 미사일 추적 장치 등이 연구되어 왔다. 그러나 최근 상업적 필요성이 대두되면서 기지국과 가입자간의 통신로를 무선화 하는 BWA(Broadband Wireless Access)와 초고속 무선 LAN 및 차량 충돌 방지 시스템(Car Collision Avoidance System) 등 민수용 부문의 응용 기술이 점차 보급되고 있다.

밀리미터파 대역은 마이크로파 대역에 비해서 직진성이 강한 특성을 가지며, 전송 특성은 대역에 따라 대기 중의 물 분자나 산소 분자에 잘 흡수되는 Shadow 대역과 대기중 감쇠가 비교적 작은 Clear 대역으로 구분된다. [그림 1]은 밀리미터파 대역의 km당 평균적인 흡수 특성을 보여주고 있다^[1]. 이러한 감쇠 특성을 이용하여 [그림 2]에 나타난 바와 같이 통신, 의료, 교통, 이미징, 군사용 시스템 등 다양한 분야에서 응용 기술이 연구·개발되고 있다.

밀리미터파 대역의 이용을 위해 ITU(International Telecommunication Union)에서는 30~275 GHz 대역의 밀리미터파를 용도에 맞게 분배하여 밀리미터파 관련 연구·개발의 기준을 정하였고, 특히 60 GHz 대역은 산소 분자의 강력한 신호 흡수 특성으로 인



[그림 1] 밀리미터파의 대기 감쇠 특성



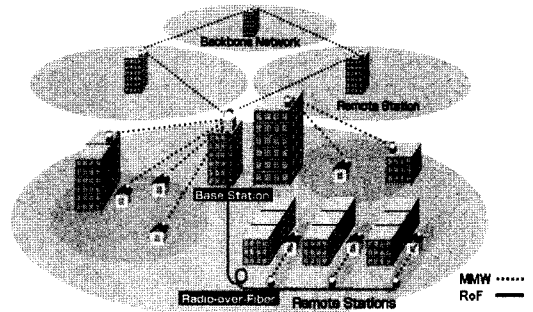
[그림 2] 밀리미터파 기술의 응용 분야

해, 상업적으로는 무선 LAN 응용으로 표준화가 진행되었다. 국내에서도 밀리미터파 대역에 대한 이용은 한국전파진흥협회에 의해 주파수 분배가 이루어져 있다. 국내의 밀리미터파 대역 무선 통신 시스템 관련 연구·개발은 V-band(50~75 GHz)에서 Gbps 급 시스템을 중심으로 이루어지고 있다. 차량 충돌 방

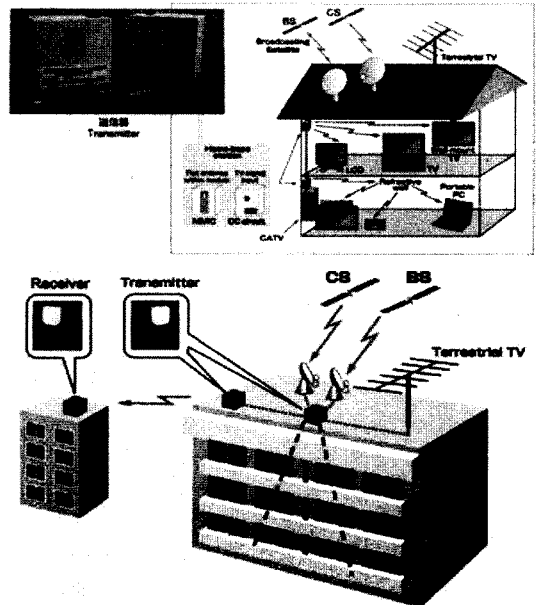
지 시스템은 77 GHz와 94 GHz 대역을 활용하여 차간 거리를 감지하는 레이더 응용으로, 차량 안전 운행을 도모할 수 있는 지능형 교통 시스템의 핵심 기술이다. 또한, 자연 상태에서 물체로부터 방사되는 밀리미터파 잠음 전력을 감지하는 밀리미터파 이미징 기술이 최근 보안 검색 및 의료, 천체 관측용으로 응용되고 있다. 밀리미터파 대역의 시스템 구현을 위해서는 밀리미터파 대역에서 동작 특성이 우수한 초고속 소자 및 이를 이용한 부품 개발이 선행되어야 한다. 즉, 저가격화와 신뢰성 있는 밀리미터파 응용 시스템 개발을 위해 시스템의 핵심 부품인 초고속으로 동작하는 반도체 능동 소자와 이를 집적한 MIMIC (Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuits)의 개발이 필수적이다. 따라서 본 기고에서는 현재 개발이 주로 진행되고 있는 밀리미터파 통신, 이미징, 레이더 응용 분야로 나누어 국·내외 연구 현황을 소개하고, 관련 MIMIC 부품 개발 동향과 함께 실제 응용된 사례를 중심으로 기술하고자 한다.

II. 밀리미터파 무선 통신 기술

밀리미터파 무선 통신은 57~64 GHz 범위가 주파수 비허가 대역인 ISM(Industrial Scientific Medical) 밴드로 지정되어, 현재 기반 기술 및 응용 연구가 활발히 진행되고 있다. 일본의 NICT에서는 밀리미터파 표준화 연구를 위하여 여러 형태의 무선 통신 모델을 제시하였다^[2]. [그림 3]은 30 GHz 대역의 무선 통신 응용 예로서 3 km 범위 내에서 1.2 Gbps 급으로 Yokosuka 시내의 건물들을 P-P(Point to Point) 링크한 후, P-MP(Point to Multi-point) 링크로 회사나 가정에 400 Mbps 급으로 분배해 주는 시스템을 2004년도에 시연 완료하였다. [그림 4]의 P-MP 시스템은 인공위성이나 백본망을 통해 받은 대용량 데이터를 아파트 내 다세대 가구들에 분배해 주고, 다시 가정 내에 있는 밀리미터파 분배 장치를 이용하여 다양한

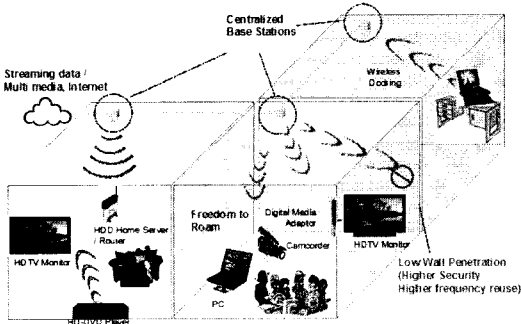


[그림 3] NICT broadband wireless access 개념도



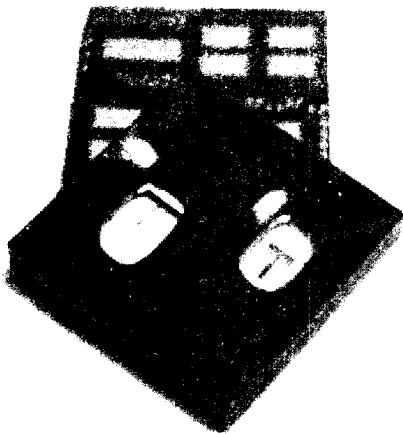
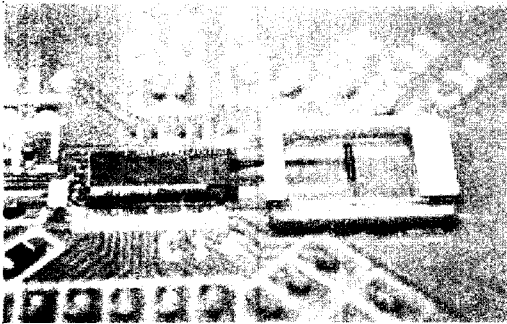
[그림 4] NICT P-MP 밀리미터파 응용

전자기에 고속으로 데이터를 전송해 주는 역할을 한다. [그림 5]는 미국 IBM의 60 GHz 무선 통신 응용 개념도이다^{[3],[4]}. 옥내에 멀티미디어 중계기를 설치하고 HDTV나 PC 등에 광대역 데이터를 무선으로 전송하는 방식으로 여기에 사용되는 밀리미터파 송·수신 장치들은 RF CMOS 기술을 이용한다. 2006년도에 IBM은 60 GHz 대역 송·수신 장치와 안테나



[그림 5] IBM의 60 GHz 무선 통신 응용 개념도

를 [그림 6]과 같이 약 15 mm^2 크기로 제작하여 시연하였고, 현재는 베이스밴드 신호 처리 장치들을 집적화하는 단계에 있으므로 조만간에 양산품을 이용

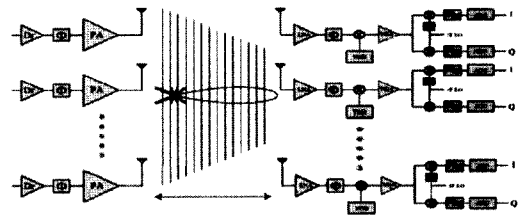


[그림 6] IBM사의 60 GHz 송·수신기

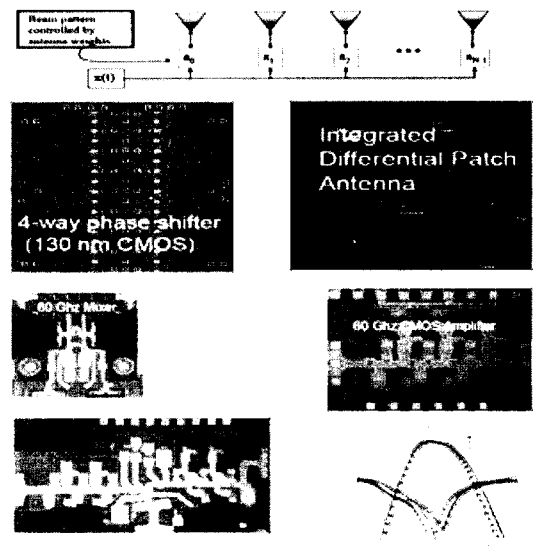
할 수 있을 것으로 예상된다.

미국의 Berkeley 대학에서는 BWRC(Berkeley Wireless Research Center)를 중심으로 RF CMOS를 이용한 60 GHz 시스템 개발을 목표로 안테나 빔 스티어링 구조 및 다양한 형태의 칩들을 발표하고 있다^[5]. 현재는 60 GHz 송·수신부와 베이스밴드 신호처리부를 집적하는 단계에 있으며, 안테나와 패키징은 연구가 현재 진행중이다. [그림 7]과 [그림 8]에 Berkeley 대학에서 추진하고 있는 시스템 개념도와 개발된 칩들을 나타내었다.

국내에서는 1999년도부터 동국대학교 MINT(Milli-



[그림 7] Berkeley 대학의 60 GHz 시스템 개념도



[그림 8] Berkeley 대학의 60 GHz CMOS 칩

meter-wave INnovation Technology research center)에서 GaAs 기반의 자체 파운드리를 이용하여 60 GHz 양 방향 송·수신 시스템 prototype 개발을 위한 연구가 진행되어, Mixer, LNA, PA, Oscillator 등을 제작하였고, super-heterodyne 및 self-heterodyne 방식의 시스템을 시연하였다^{[6],[7]}. [그림 9]에 MINT에서 시연된 무선 통신 시스템과 자체 개발된 칩들을 나타내었다. 이밖에도 서울대학교의 빔 스티어링 안테나 및 MIMICs, ETRI의 60 GHz 무선 통신 시스템 등이 보고되었다^{[8],[9]}.

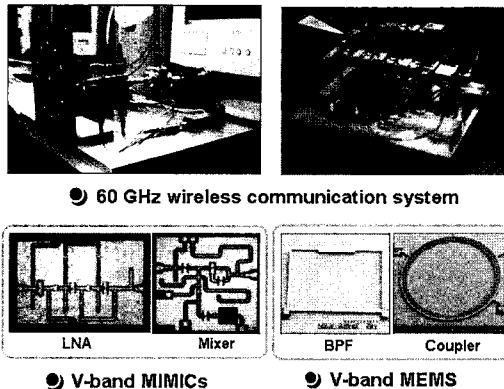
Ⅲ. 밀리미터파 이미징 기술

밀리미터파 이미징 기술은 물질 자체에서 나오는 밀리미터파와 잡음 전력을 빔 폭이 좁은 안테나로 감지하여 목표물을 공간에 따라서 맵핑하는 기술이다. 비나 눈, 안개, 장애물 등으로 인하여 시야가 확보되지 않는 곳에서도 영상화 할 수 있는 장점 때문에 항공기, 천문, 보안용으로 유망한 분야라고 할 수 있다. InP나 GaAs 기반의 소자 기술 발달로 MIMIC LNA의 잡음지수가 낮아져 더 낮은 레벨의 전력을 감지할 수 있게 됨에 따라 최근 수동 이미징 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 수동 이미징은 X-ray처럼 신

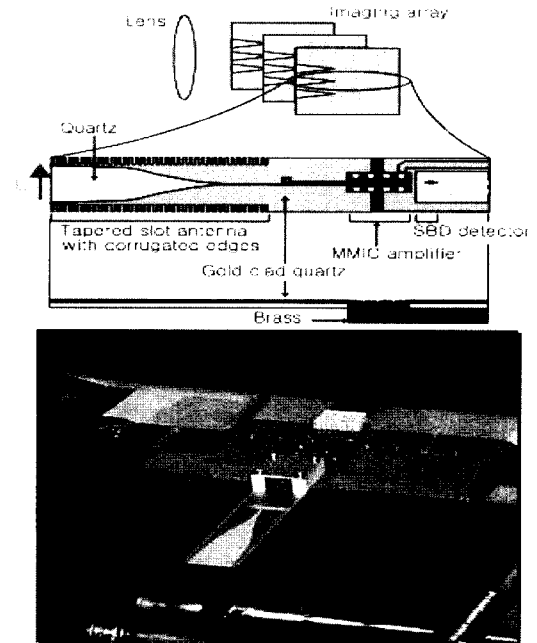
호원을 목표물에 방사시키지 않으므로 인체에 해가 없고, 구조가 간단한 장점을 갖는다. 일본의 Tohoku 대학에서 개발된 수동 이미징 센서의 기본 구조를 [그림 10]에 나타내었다^[10]. 목표물로부터 방사된 밀리미터파 잡음 신호는 슬롯 라인 안테나를 통해 MIMIC LNA로 인가되고, 다이오드 디텍터를 이용하여 신호 레벨을 전압 형태로 읽어 들인다. [그림 11]에서 딸기의 숙성도에 따라 출력 이미지가 서로 다르게 나타났으며, 사람의 옷 속에 있는 은닉물도 수동 이미징을 통해 검색할 수 있음을 알 수 있다.

미국에서는 Trex Enterprises사에서 항공기 및 공항 보안 검색용으로 [그림 12]와 같은 제품을 출시하여 판매하고 있다^[11].

독일의 Fraunhofer Institute IAF 연구 그룹은 2002년도에 94 GHz 대역에서 자체 개발한 GaAs MIMIC 기반의 FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) 레이더 구조를 이용하여 근거리(2 mm)에서 [그림 13]

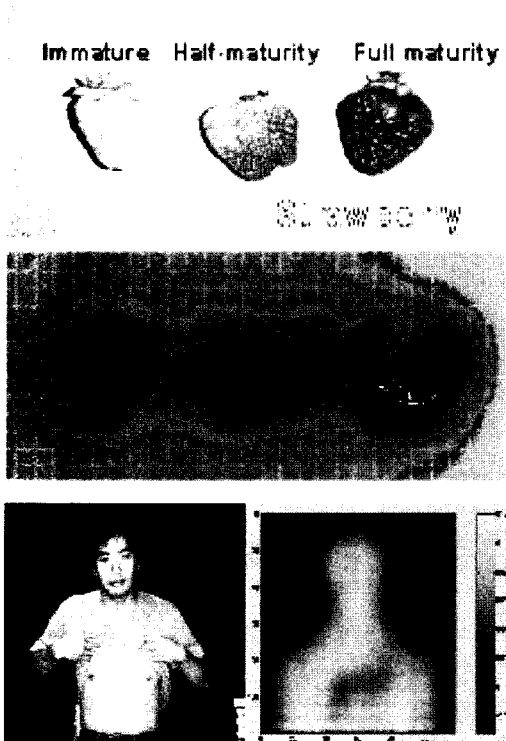


[그림 9] MINT의 60 GHz 연구 결과

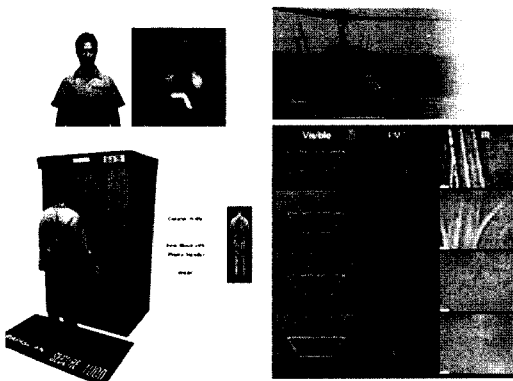


[그림 10] Tohoku 대학의 수동 이미징 시스템

과 같은 능동 이미징을 선보였다^[12]. 현재는 220 GHz 대역에서 고해상 이미징 시스템을 위한 MIMIC LNA를 연구하고 있다. 발표된 LNA 모듈은 220 GHz에서



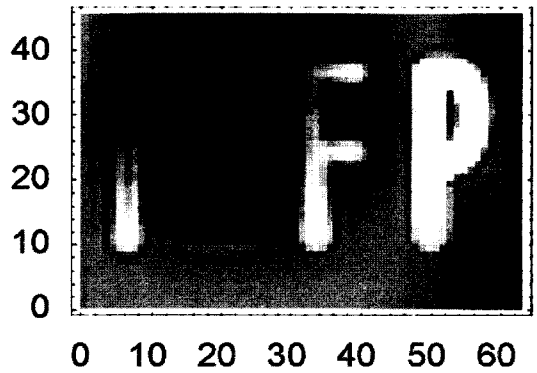
[그림 11] Tohoku 대학의 수동 이미징



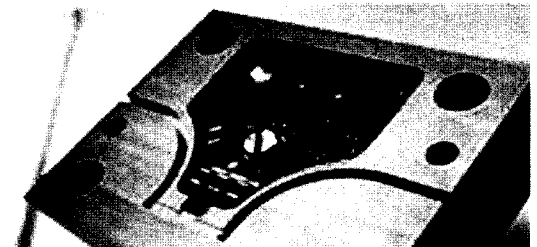
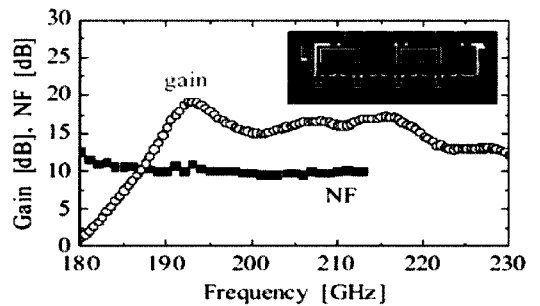
[그림 12] Trex Enterprises사의 수동 이미징 시스템

15 dB의 이득과 9.5 dB의 잡음 지수 특성을 가지며, [그림 14]에 모듈 및 그 특성을 나타내었다^[13].

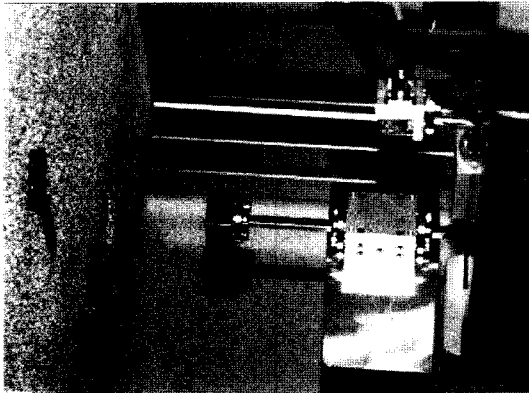
국내에서는 동국대학교 MINT에서 2001년부터 약 4년간 일본의 Tohoku 대학과 38 GHz 이미징 시스템을 공동 연구하였으며, 이후 상용 모듈을 이용한 94 GHz 이미징 시스템 연구를 시작하였다^{[14],[15]}. [그림 15]는 자체 제작한 안테나와 상용 LNA, 디렉터 모듈로 제작된 94 GHz 이미징 시스템이다. 최근 촬영한



[그림 13] Fraunhofer Institute의 능동 이미징



[그림 14] Fraunhofer Institute의 LNA 모듈



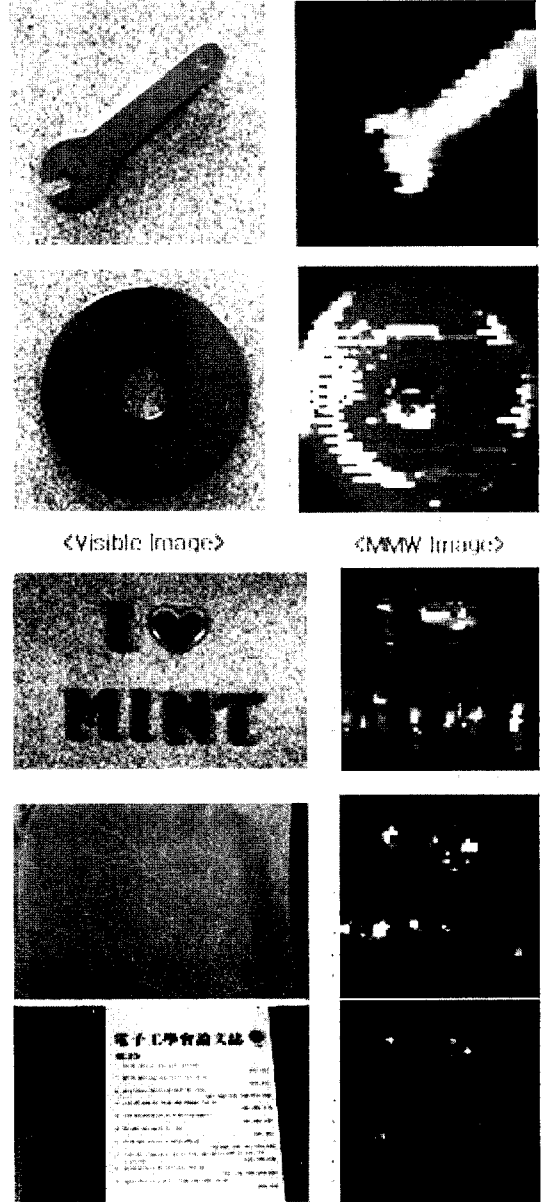
[그림 15] MINT의 94 GHz 수동 이미징 시스템

94 GHz 수동 이미징 결과를 [그림 16]에 나타내었다. 천이나 책으로 금속물을 가린 경우에도 우수한 이미지를 얻었음을 확인할 수 있다.

IV. 밀리미터파 레이더 기술

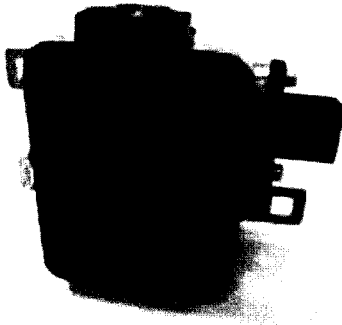
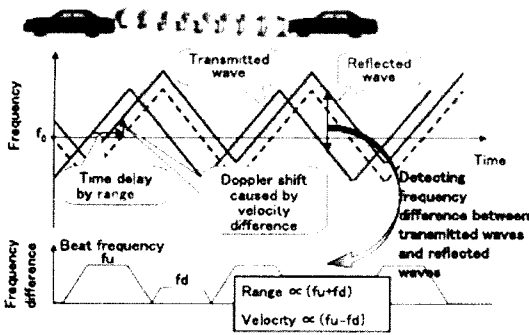
레이더에서 시스템의 전체 크기는 안테나의 크기에 좌우되는데, 밀리미터파는 파장이 마이크로파에 비해 작기 때문에 소형 레이더를 구현할 수 있는 장점이 있다. 그러나 주파수가 올라감에 따라 전력이나 잡음 특성이 떨어지기 때문에 감지 거리가 짧아지는 경향이 있다. 따라서 밀리미터파 레이더는 주로 자동차 충돌 방지나 군사용 근거리 탐색기용으로 사용된다. 일본의 레이더 개발 사례를 보면, 2008년도에 Fujitsu사에서 [그림 17]에 보이는 76 GHz 대역 차량용 FMCW 레이더를 개발하였다^[16]. 자동차에 장착된 레이더를 이용하여 주행 중에 위험 물체에 접근하면 경고나 안전 장치 작동 등의 기능을 수행할 수 있게 하며, 특히 안개와 같이 원거리 시야가 확보되지 않는 상황에서 유용하게 사용될 것으로 예상된다.

독일의 Fraunhofer Institute IAF 연구 그룹은 2002년 자체 개발한 MIMIC VCO를 포함한 단일 칩 형태로 소형의 1 mW급 출력 전력을 갖는 94 GHz FMCW

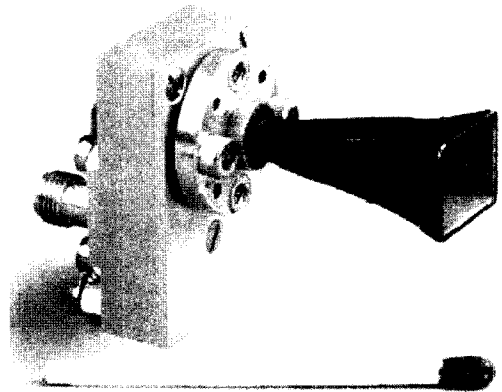
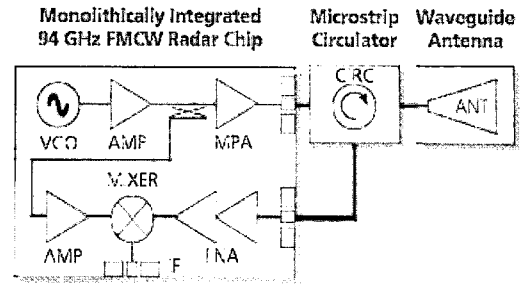


[그림 16] MINT의 94 GHz 수동 이미징

레이더 모듈을 연구하여 약 2 m 거리에서 금속 물질을 감지하는데 성공하였다^[12]. 현재는 220 GHz 레이더 연구를 진행하고 있으며, MIMIC Mixer 및 LNA 등을 발표하였다^{[13],[17]}. 94 GHz에서 개발된 레이더



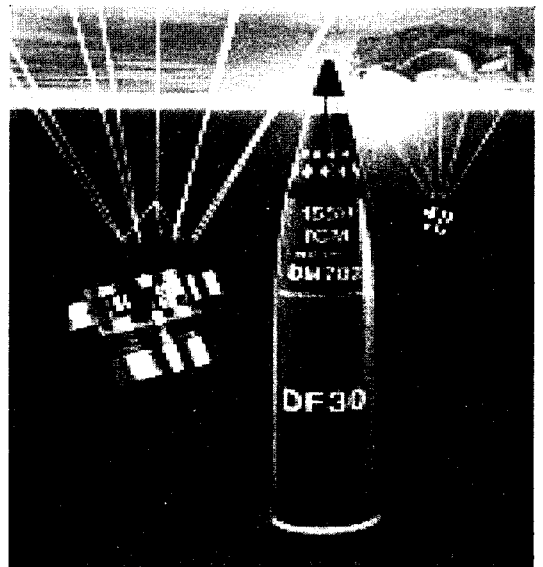
[그림 17] Fujitsu사의 차량용 76 GHz FMCW 레이더



[그림 18] Fraunhofer Institute의 FMCW 레이더

블록도 및 모듈을 [그림 18]에 나타내었다. 또한, 독일의 Rheinmetall Defence사는 [그림 19]와 같이 밀리미터파 레이더 모듈을 포탄에 장착하여 목표물을 감지하고 정밀 타격할 수 있는 지능탄 Smart 155를 양산하고 있다^[18].

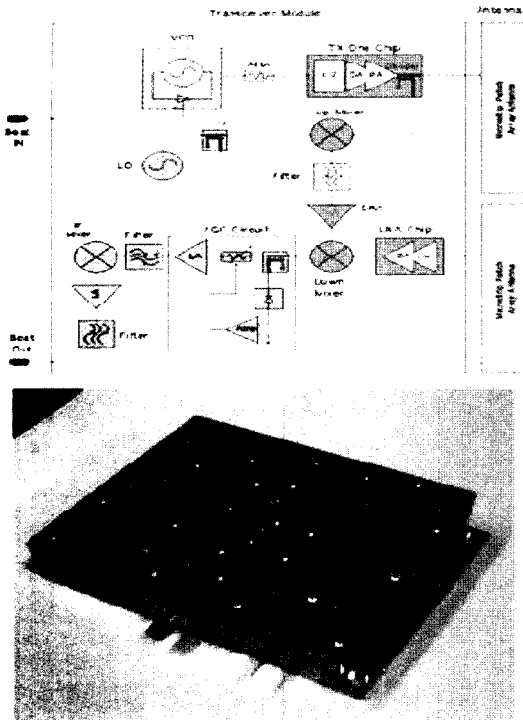
국내에서는 2008년도에 ETRI에서 송신부와 수신부 MIMIC LNA와 Mixer를 자체 제작하고 모듈화하여 10 mW급 출력 전력을 갖는 77 GHz FMCW 레이더를 발표하였다^[19]. [그림 20]에 블록도 및 모듈을 나타내었다. 동국대학교 MINT에서는 20 mW급 출력 전력 특성을 갖는 94 GHz FMCW 레이더 센서 모듈을 개발하였다^{[20],[21]}. 센서 모듈에 장착된 MIMIC 믹서 및 LNA 등을 자체 파운드리 기술로 제작하였으며, 현재 VCO의 핵심 소자인 건다이오드 연구·개발을 진행 중이다. [그림 21]에 94 GHz MIMIC 및 레이더 센서 모듈과 관련된 보유 기술을 나타내었다.



[그림 19] Rheinmetall Defence사의 밀리미터파 레이더를 적용한 지능탄

V. 결 론

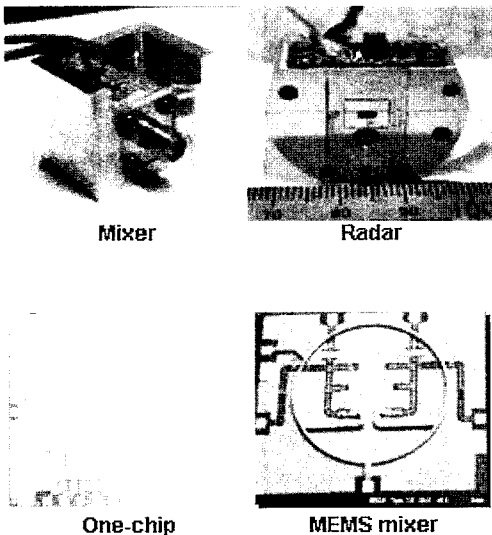
본 기고에서는 밀리미터파 기술의 최근 동향을 응용 시스템을 중심으로 기술하였다. 60 GHz 통신 시스템은 거의 상용화 단계에 도달하여 가까운 미래에 그 혜택을 누릴 수 있을 것으로 기대된다. 밀리미터파 이미징과 레이더 시스템은 현재 기술 개발이 가속화되고 있으므로 향후 전개될 시장에 대비한 지속적인 연구 개발이 필요할 것이며, 기타 신규 응용 분야를 개척하는 노력이 요구된다. 100~300 GHz 사이의 주파수 대역에서는 현재 응용 시스템 개발이 미진한데, 밀리미터파 능동 소자 및 MIMIC 성능의 한계에 기인하는 바가 크다. 따라서 향후 응용 시스템의 동작 주파수가 100 GHz 대역 이상으로 상향되었을 때도 요구되는 핵심 소자와 MIMIC의 성능을 확보할 수 있도록 충분한 선행 및 기반 기술 연구와 이에 대한 다양한 지원이 필요할 것으로 사료된다.



[그림 20] ETRI의 77 GHz FMCW 레이더

참 고 문 헌

- [1] M. Marcus, B. Pattan, "Millimeter wave propagation; spectrum management implications", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 6, no. 2, pp. 54-62, Aug. 2005.
- [2] <http://www.nict.go.jp>
- [3] <http://www.research.ibm.com/mmwave>
- [4] B. Floyd, S. Reynolds, U. Pfeiffer, T. Beukema, J. Grzyb, and C. Haymes, "A silicon 60 GHz receiver and transmitter chipset for broadband communications", *IEEE ISSCC Dig. Tech. Papers*, pp. 184-185, Feb. 2006.
- [5] <http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Publications>
- [6] Mun-Kyo Lee, Dan-An, Tae-Sin Kang, Bok-Hyung Lee, Sam-Dong Kim, Young-Hoh Kim, and Jin-Koo Rhee, "V-band MIMIC chip sets for millimeter-wave



[그림 21] MINT의 94 GHz MIMIC 및 레이더 센서모듈

- wireless transceiver system", *Proceedings of Korea Japan Microwave Workshop*, Oct. 2002.
- [7] Dan An, Mun-Kyo Lee, Sang-Jin Lee, Du-Hyun Ko, Jin-Man Jin, Sung-Chan Kim, Sam-Dong Kim, Hyun-Chang Park, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "V-band self-heterodyne wireless transceiver using MMIC modules", *IEEK Journal of Semiconductor Technology and Science*, vol. 5, no. 3, pp. 210-219, Sep. 2005.
- [8] Sanghyo Lee, Sangsub Song, Youngmin Kim, Jang-soo Lee, Chang-Yul Cheon, Kwang-Seok Seo, and Youngwoo Kwon, "A V-band beam-steering antenna on a thin-film substrate with a flip-chip interconnection", *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 18, no. 4, pp. 287-289, Apr. 2008.
- [9] Kyung Ho Lee, Woo Jin Chang, Dong Min Kang, Ju Yeon Hong, Sung Jin Kim, Jae Yeob Shin, Jin Hee Lee, Hyung Sup Yoon, Mun Kyo Lee, Young-Hoon Chun, Sam-Dong Kim, and Jin-Koo Rhee, "Fabrication of up-converter MMIC's and their modules for the application of 60 GHz mobile broadband system", *The 11th Seoul International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications-2002*, Cheju, Korea, Aug. 2002.
- [10] Min-Kyoo Joung, Yusuke Suzuki, Kentaro Kanari, Yoichi Suzuki, Soon-Koo Kim, Yukio Yamanaka, Yoshihiko Wagatsuma, and Koji Mizuno, "Calibration of millimeter wave radiometers (Equivalent temperature of objects)", *Proceedings of Korea Japan Microwave Workshop*, Oct. 2002.
- [11] <http://www.trexenterprises.com>
- [12] A. Tessmann, S. Kudszus, T. Feltgen, M. Riessle, C. Sklarczyk, and W. H. Haydl, "Compact single-chip W-band FMCW radar modules for commercial high-resolution sensor applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 50, no. 12, pp. 2995-3001, Dec. 2002.
- [13] A. Tessmann, A. Leuther, H. Massler, M. Riessle, M. Kuri, M. Zink, and W. Reinert, "220 GHz low-noise amplifier MMICs and modules based on a high performance 50 nm metamorphic HEMT technology", *Physica Status Solidi (c)*, vol. 4, no. 5, pp. 1667-1670, Apr. 2007.
- [14] 채연식, 김순구, 이용호, 이진구, "밀리미터파 복사계의 온도보정에 관한 연구", *대한전자공학회 논문지-TC*, vol. 43, no. 5, pp. 176-181, 2006년 5월.
- [15] 정경권, 채연식, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 센서 연구", *대한전자공학회 논문지-TC*, vol. 45, no. 2, pp. 1-7, 2008년 3월.
- [16] <http://www.fujitsu-ten.co.jp/>
- [17] S. E. Gunnarsson, N. Wadefalk, I. Angelov, H. Zirath, I. Kallfass, and A. Leuther, "A 220 GHz (G-Band) microstrip MMIC single-ended resistive mixer", *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 18, no. 3, pp. 215-217, Mar. 2008.
- [18] <http://www.rheinmetall-defence.com>
- [19] Dong Min Kang, Ju Yeon Hong, Hyung Sup Yoon, Kyung Ho Lee, and Ik Guen Choi, "A transceiver module for automotive radar sensors using W-band monolithic microwave-integrated circuit one-chip set", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 9, pp. 2371-2376, Jun. 2008.
- [20] 이문교, 임병욱, 문성운, 이상진, 고동식, 전병철, 백용현, 백태종, 한민, 김완주, 김삼동, 박현창, 이진구, "사파이어 기판을 이용한 94 GHz MIMIC 믹서모듈 설계 및 제작", 2008년도 춘계 마이크로파 및 전자전파 학술대회 논문집, 2008년 5월.
- [21] Mun-Kyo Lee, Byeong-Ok Lim, Sang-Jin Lee, Dong-Sik Ko, Sung-Woon Moon, Dan An, Yong-Hoh

Kim, Sam-Dong Kim, Hyun-Chang Park, and Jin-Koo Rhee, "A novel 94-GHz MHMET-based diode mixer using 3-dB tandem coupler," *IEEE Micro-*

wave and Wireless Component Letters, vol. 18, no. 9, pp. 626-628, Sep. 2008.

≡ 필자소개 ≡

박 현 창



1986년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1989년: 미국 Cornell University 전자공학과 (공학석사)
1993년: 미국 Cornell University 전자공학과 (공학박사)
1993년~1995년: 미국 University of Virginia, Research Associate

1995년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] MMIC, 안테나 및 전자기파 응용, 초고주파 반도체소자

이 문 교



1999년 2월: 배재대학교 전자공학과 (공학사)
2001년 8월: 동국대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 9월~현재: 동국대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 밀리미터파 시스템, MIMIC

및 패키징

김 삼 동



1985년 2월: 서울대학교 (공학석사)
1993년 1월: 미국 스탠포드대학교 (공학박사)
1993년~2002년: 하이닉스 반도체 근무
2002년~현재: 동국대학교 전자공학과 부교수

[주 관심분야] 밀리미터파 수동 및 능동 소자, 반도체 공정, MMIC 설계 및 제작

이 진 구



1969년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
1975년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1982년 6월: 미국 Oregon State University, 전기·전자공학과 (공학박사)
1990년 7월~1991년 8월: 미국 University of Michigan, Visiting Research Scientist

2005년: 대한전자공학회 회장
2008년: 과학기술훈장 수상
1985년 9월~현재: 동국대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 밀리미터파 소자, MIMIC