

논문 2008-45TC-12-19

무선 및 유비쿼터스 통신을 위한 광 기술 응용의 직접 광/RF 변환

(Conversion of Optical/Radio-frequency by Applying Optical
Technology for Wireless and Ubiquitous Communication)

박 기 환*

(Ki-Hwan Park)

요 약

본 연구는 미래의 무선 및 유비쿼터스 통신을 위한 광/밀리미터파 신호의 직접 변환(생성) 실험을 50-60 GHz 범위에서 광 기술을 응용하여 성공적으로 수행하였다. 이 실험에서 22.5mW의 광신호가 광 도파로 내에 입사되었고, 밀리미터파 도파관 내부로 방사된 밀리미터파 신호는 밀리미터파 검출기에 의해 검출되었다. 밀리미터파 신호의 스펙트럼 선폭은 1 KHz 이하를 나타냈다. 또, 50-60GHz 범위에서, 밀리미터파 신호의 Power 피크치 변위가 1.2dBm 이하인 이득특성을 나타냈다.

Abstract

A 50-60GHz continuous-wave(cw) millimeter-wave(MMW) was converted(generated) by applying optical technology for future wireless and ubiquitous communications. The optical power of 22.5mW was injected into optical waveguide in this experiment. The generated MMW signals were radiated in a millimeter waveguide and detected through a millimeter detector on the inside of a millimeter waveguide in this experiment. The spectral linewidth of the MMW signals was less than 1 kHz. The power fluctuation of the MMW was less than 1.2 dBm over 50-60 GHz range.

Keywords : millimeter-wave, optical waveguide, ubiquitous communication, wireless networks, optical/RF systems

I. 서 론

21세기 정보 네트워크 사회에 있어서, 지식과 정보는 사회활동의 기본 수단으로서 응용될 것이다. 무한한 정보와 세계의 넓은 시장에 기초한 열린 경쟁사회는 네트워크를 통해 형성되어 사람들은 휴대 통신기기를 통해 시간과 장소에 구애됨이 없이 정보를 교환하고, 광 멀티미디어 통신을 포함하는 FTTH(Fiber To The Home)와 정보수신의 위치 및 이동거리에 제한을 받지 않으며 대용량의 정보를 초고속으로 전송할 수 있는 무

선통신의 상호 접속에 의한 유비쿼터스 통신 네트워크를 통해 교육, 관리, 질병치료, 원격쇼핑 등 진보된 서비스를 요구할 것이다^[1].

지난 10여 년간 광통신 분야에 있어서, 많은 연구자들은 광 시스템 구축에 있어서 필수 불가결한 광 디바이스, 대용량의 정보를 초고속으로 전송하기 위한 광 시스템, 광 네트워크의 중요한 역할을 인식하고 연구에 몰두하여 왔으며, 그 결과 큰 진전을 이루었다^[2]. 한편, 이동통신, 무선통신에서 밀리미터파는 유용한 데이터 전송매체로서 사용되어 왔으며, 장래에는 더 높은 비트율로써 양질의 서비스를 가입자에게 제공하기 위한 유용한 수단으로 사용될 것이다^[3]. 또한 밀리미터파는 언제, 어디서나 정보를 교환할 수 있는 미래의 유비쿼터스 통신을 지원하게 될 것이다^[4].

미래의 확장된 무선 통신시스템의 실현을 위한 하

* 정회원, 세종대학교
(Sejong University)

※ “이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2005-D00548)

접수일자: 2008년8월6일, 수정완료일: 2008년12월11일

나의 방법으로써, 연구자들은 광섬유를 통해 밀리미터파를 전송하는 radio-over-fiber(ROF) 시스템을 보고 하였다^[5~6]. ROF 시스템은, 밀리미터파의 유, 무선 전송에 있어서의 단점, 즉 밀리미터파를 동축케이블을 사용하여 전송함으로써 수반되는 높은 유선비용, 밀리미터파의 공간방사에 따른 신호의 큰 손실을 보상하기 위해 일정한 거리간격으로 설치하는 중계기의 높은 무선 전송비용, 밀리미터파의 전파를 방해하는 고층건물, 눈이나 비, 대기중의 먼지 등의 자연환경에 의해서 발생하는 신호의 큰 손실 등의 문제점을 해결하기 위하여 가볍고 저렴하며 부피가 작은 광섬유를 통해 밀리미터파 신호를 목적지까지 전송하는 방식이다. 광 네트워크와 무선 네트워크가 상호 접속되어 있는 ROF 시스템은 모든 신호의 흐름을 제어하는 central station (CS)과 CS에서 전기적 처리에 의해 변환된 밀리미터파 신호를 광섬유를 통해 전송 받아 안테나를 통해 방사하는 base station(BS) 등의 구성으로 연구자들에 의해 연구되어 왔다^[7]. 그러나 밀리미터파가 광섬유를 통해 전송되는 이러한 전송방식은 광섬유 내에서의 밀리미터파 전파특성 때문에 신호의 큰 손실이 수반되고 CS로부터 BS까지의 거리에 제한을 받게 되는 결과를 초래하여 정보 전송매체인 밀리미터파 신호의 장거리 전송에는 적합하지 못하다는 단점을 갖고 있다. 그러므로 미래의 무선 통신 시스템은 광 네트워크로부터 전송된 광 신호를 BS까지 광 섬유를 통해 직접 전송함으로써 신호의 손실을 방지하고, BS에서 직접 광 신호를 밀리미터파로 변환하여 안테나를 통해 방사하는 구조로 개발 되어야 할 것이다. 즉, ROF 시스템의 단점을 해결할 수 있는 전송거리로부터 자유롭고 전송효율이 높은 새로운 전송 시스템의 개발이 필요하다. 지금까지 연구자들은 비선형 광 매질을 사용하여 Difference-Frequency Generation (DFG)에 의한 밀리미터파 변환(생성)에 대하여 연구해 왔다^[8]. DFG를 이용하는 방법은 입력하는 광 신호들의 주파수 간격을 제어함으로써 손쉽게 원하는 밀리미터파 주파수를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 대부분의 연구자들은 광 비선형 물질로써 Periodically Poled LN(PPLN)을 채택하였으며, 실험에는 피코, 또는 펨토 초의 광 펄스를 사용하였기 때문에 생성된 밀리미터파 신호의 시간적 코히어런스를 유지하기가 매우 어려웠다. 더구나, 실험에 있어서, 피코, 펨토 초의 펄스파를 사용했기 때문에 매우 높은 피크의 광 파워가 요구 되었다. Dual-mode distributed feedback (DFB)은 광대역의 이동통신,

ROF 시스템에 사용 될 밀리미터파의 변환(생성)을 위해 연구되어 왔다^[9]. 그러나 지금까지 밀리미터파 신호의 스펙트럼 선폭은 미래의 통신 시스템에 적용하기에는 너무 넓다.

이전의 연구에서 LN 기반 위에 광 도파로를 만들어 광 신호를 전파시키고 광 기술을 응용함으로써 광 신호로부터 직접 변환(생성)된 밀리미터파를 광 도파로를 덮어씌운 metal strip-waveguide를 통해 10-40 GHz의 연속파(cw) 밀리미터파 검출에 성공했음을 보고 하였다^[10]. 그러나 금속은 50-60 GHz의 밀리미터파에서 가장 큰 손실특성을 갖고 있어 50-60 GHz 주파수 대역의 밀리미터파를 금속 스트립선로에 의해 검출하는 방식은 부적절하다. 따라서 이 범위의 밀리미터파 변환(생성) 및 검출을 위한 새로운 방식의 개발이 필요하다.

본 논문은 광 신호로부터 직접 밀리미터파로 변환(생성)하는 Optical/Radio frequency(O/RF) 시스템에 있어서, 밀리미터 도파관 내부에 삽입된 Ti-확산 광 도파관을 이용하여 50-60 GHz 범위 밀리미터파의 직접 변환(생성)과정을 설명한다. 변환(생성)된 밀리미터파는 밀리미터 도파관 내부로 방사되고 검출기에 의해 검출된다. 밀리미터파 신호의 스펙트럼 선폭은 1 KHz이하를 나타내었으며, Power 피크치 변위가 1.2dBm 이하인 이 특성을 나타내었다.

II. 광/RF 시스템의 개요

광과 무선 네트워크의 연결에 의해 구축된 유비쿼터스 통신 네트워크가 그림 1에 나타나 있다. 광 네트워크는 FTTH (Fiber To The Home)를 실현하기 위한 국가 기간 망으로써 각 도시를 연결하는 Trunk 네트워크와 LAN(Local Area Network), MAN(Metropolitan Area Network), WAN(Wide Area Network) 등과 같이 지역을 연결하는 가입자 네트워크로 구성되며 광섬유로 구성된다. 여기서 LAN 등은 Trunk 네트워크에 연결되어 정보를 전송하고 받아들여지게 되며 모든 정보의 송수신은 광 신호로써 이루어져 LAN에 접속된 가입자들, 즉 FTTH에 의한 일반 가정에서의 가입자, Fiber To The Building(FTTB), Fiber To The Office (FTTO)에 의한 사무실 내의 직원들 또한 광 신호를 이용하여 정보를 주고받게 된다.

그림 1에서 FTTO, FTTH의 관점에서 살펴보기로 하자. FTTO의 지역 네트워크에 있어서, 빌딩의 각 층, 각 사무실은 광섬유를 통해 Wavelength Division

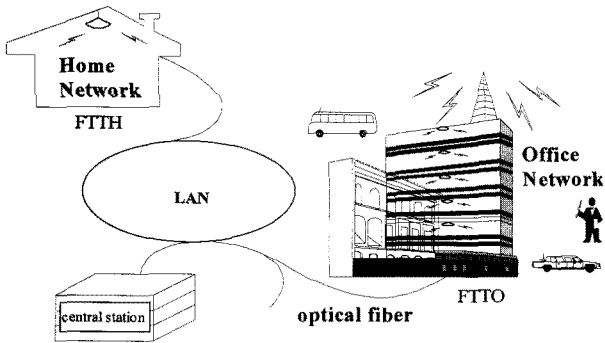


그림 1. 광과 무선 네트워크의 연결에 의해 구축된 유니버시티스 통신 네트워크
 Fig. 1. Ubiquitous communication network constructed by connection of an optical and a wireless network.

Multiplexing(WDM) 광 네트워크에 접속되어 있을 것이다. 따라서 광섬유를 통해 지역 네트워크로부터 다파장의 광 신호가 각 층, 각 사무실로 전송되면 광 필터에 의해 사전에 정해져 있는 파장만을 추출하여 각 층, 또는 각 사무실에 설정된 주파수 밴드에 맞추어 밀리미터파로 변환하고자 하는 것이다.

또한, BS에서는 광 네트워크에 연결된 CS로부터 수신한 광 신호를 이용하여 밀리미터파로 직접 변환한다. O/RF 변환 시스템에 있어서, 상온에서 대용량의 정보를 전송할 수 있는 협대역 스펙트럼을 가지며 코히런트한 cw 밀리미터파로 직접 변환(생성)하기 위한 광 기술의 개발이 우선적으로 필요할 것이다. 사용자는 이러한 광 기술에 의해 직접 변환(생성)되는 밀리미터파를 자유롭게 제어할 수 있으며 각 층이나 각 사무실에 설정된 주파수 대역에 맞추어 사용할 수 있다. 또, 광 기술에 의해 변환(생성)된 밀리미터파는 좁은 선폭과 라인 형태를 갖게 되어 대용량 정보의 전송, 그리고 광 대역 서비스를 제공하는데 매우 유용하며, 미래의 무선, 유니버시티스 통신 시스템의 구축에 필수불가결한 요소가 될 것이다.

본 연구에서 제안하는 일반가정, 사무실의 천정, 빌딩의 옥상에 설치된 안테나까지 광 네트워크에 연결된 광섬유를 통해 전송되어 온 광 신호로부터 밀리미터파 신호를 직접 변환(생성)할 수 있는 광/RF 시스템은 미래의 무선, 유니버시티스 통신을 위하여 매우 유용하고 구체적인 수단이 될 것이다.

III. 실험

광 기술에 의해 직접 변환(생성)된 50-60 GHz 범위

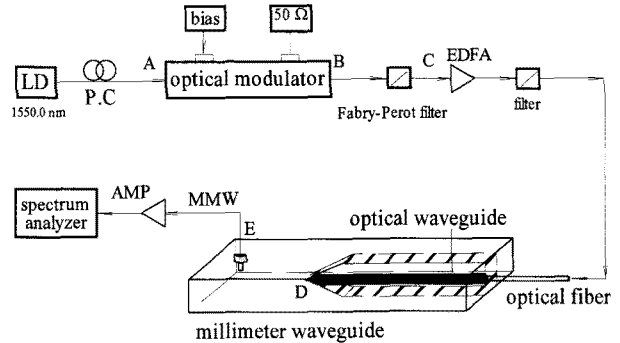


그림 2. 실험도
 Fig. 2. Experimental setup.

의 밀리미터파를 광 도파로 위의 금속 피복을 통해 검출하는 것은 적절하지 못함을 위에 언급하였다. 따라서 10-40 GHz의 검출에서와 같이 금속 스트립 선로에 의한 직접 검출이 아닌 밀리미터의 공간방사에 의한 검출 방법을 사용한다. LN 기반 위에 만들어진 광 도파로는 밀리미터파가 방사되기 쉽게 하기 위하여 전면의 단면이 테이퍼 형으로 만들어져 있으며 밀리미터파 도파관의 중앙 공간에 삽입되고 고정된다. 밀리미터파 도파관 내부의 중앙 끝단에는 밀리미터파 검출기가 설치되어 있다. 광 기술에 의해 광 도파로에서 변환(생성)된 밀리미터파는 LN을 따라 전파되고 테이퍼 단면으로부터 밀리미터파 내의 공간으로 방사된다. 공간으로 방사된 밀리미터파는 밀리미터파 도파관 내의 검출기에 의해 검출된다.

그림 2는 실험도이다. 실험도는 광원으로 사용되는 레이저 다이오드, 변조기로 입사하는 광신호의 편광을 제어하여 출력 파워를 크게 하기 위한 편광 제어기, 광 변조를 하기 위한 적절한 주파수의 밀리미터파 발생기에 접속되어 있는 광 변조기, 변조된 광 출력을 받아 반송파 및 설정된 파장 이외의 광 고조파를 제거하고 원하는 두 파장의 광 신호만을 통과시키기 위한 패브리-패롯 필터, 광 도파로에 큰 광 신호를 입사시키기 위해 광 신호를 증폭시키는 광 증폭기, 광 증폭기로부터 출력된 신호의 잡음을 제거하기 위한 광 필터, LN 기반 위에 Ti 확산에 의해 만들어진 광 도파로, 광 도파로가 삽입되고 공간에 방사된 밀리미터파를 유도하기 위한 밀리미터 도파관, 방사된 밀리미터파를 검출하기 위한 검출기, 검출된 밀리미터파를 증폭하기 위한 밀리미터파 증폭기, 밀리미터파의 스펙트럼을 분석하기 위한 스펙트럼 분석기 등으로 구성된다.

실험 원리는 다음과 같다. 1550.0 nm의 광 신호가 편광 제어기를 통해 광 변조기에 입사되며, 25-30GHz 의

밀리미터파 변조신호는 RF 신호원으로부터 바이어스 티를 통해 광 변조기에 공급된다. 그 결과, 광 변조기를 통과하는 광 신호는 밀리미터파에 의해 변조되어 광 변조기의 출력 단으로 출력된다. 이때, 밀리미터파 변조신호에 의한 반송파를 중심으로 양측파 영역의 같은 거리에 한 쌍씩 같은 크기의 광 신호들이 늘어서게 된다.

그림 3은 변조기에 의해 변조된 광 신호(그림 2 실험도의 B 포트)를 나타낸다. 27.50 GHz 의 밀리미터파 변조신호가 공급되었을 때, 광 변조기의 출력 신호들은 반송파(1550.0nm)를 중심으로 좌측 첫 번째에 1549.78 nm, 우측 첫 번째에 1550.22 nm 의 파장을 가진 광 신호의 한 쌍이 나열되고, 좌측 두 번째는 우측 두 번째와 반송파를 중심으로 좌우 한 쌍으로 나열되며, 이러한 나열은 좌우 세 번째, 네 번째에도 동일하게 적용된다. 이들 좌우 첫 번째 두 광 신호의 주파수 차이는 50 GHz가 된다. 반송파와 반송파를 중심으로 좌우 두 번째 이후로 나열된 각 쌍의 광 신호들은 대부분 패브리-페롯 필터에서 억압되어 통과하지 못하게 되고, 패브리-페롯 필터의 바이어스 및 미세조정에 의해 좌측 첫 번째, 우측 첫 번째 50 GHz의 광 신호 한 쌍만이 통과하게 된다. 그 한 쌍의 광 신호들은 광 증폭기에 의해 증폭되고 광 섬유로 연결된 광 도파관에 들어가게 된다. 광 도파로는 티타늄(Ti) 확산에 의해 만들어지며, 길이는 0.04m 이고 넓이는 7 μm, 높이는 6 μm 이다

광 도파로에서 변환(생산)된 밀리미터파는 LN 기판을 통해 광 신호와 같은 방향으로 전파되어 경사진 단면으로부터 밀리미터 도파관 내부로 방사되며 그림 2의 출력단 E로부터 검출된다. 검출된 밀리미터파는 밀리미

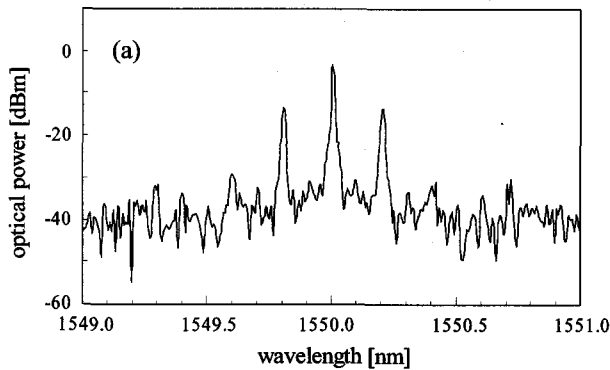


그림 3. 변조기에 의해 변조된 광 신호(그림 2 실험도의 B 포트). 중앙의 광 반송파를 중심으로 각 모드들은 같은 간격이다.

Fig. 3. Optical signal modulated by a modulator(B port of fig. 2). Each mode has the same interval around the central optical carrier wave.

터파 증폭기에 의해 증폭되고 높은 분해능의 스펙트럼 분석기에 의해 분석된다.

밀리미터파가 DFG의 원리에 의해 생성되고, 또 생산 매카니즘의 손실이 무시될 수 있을 정도로 적다면, 생성된 밀리미터파의 파워 레벨은 다음 식에 의해 정의된다^[11].

$$P_3 = \frac{w_3^2 l^2 d^2}{2n_1 n_2 n_3} \sqrt{\frac{\mu_o^3}{\epsilon_o}} \frac{P_1 P_2}{A} \quad (1)$$

여기서 n_1, n_2, n_3 는 굴절률, l 은 비선형 광 도파로의 길이, d 는 LN의 광 비선형 계수, w_3 생산된 밀리미터파의 각 주파수, $\sqrt{\mu_o/\epsilon_o}$ 은 공기의 특성 임피던스이며, A 는 광 도파로의 단면적이다. P_1 과 P_2 는 두 개의 광 입력 파워이다.

IV. 실험결과

그림 4는 변조기에 의해 변조된 광 신호가 패브리-페롯 필터 통과 후(그림 2 실험도의 C 포트) 검출된 밀리미터파 스펙트럼을 나타낸다. 중앙의 광 반송파 모드와 변조에 의해 발생된 다른 고조파 모드들은 패브리-페롯 필터에 의해 모두 억압되어 있음을 볼 수 있다.

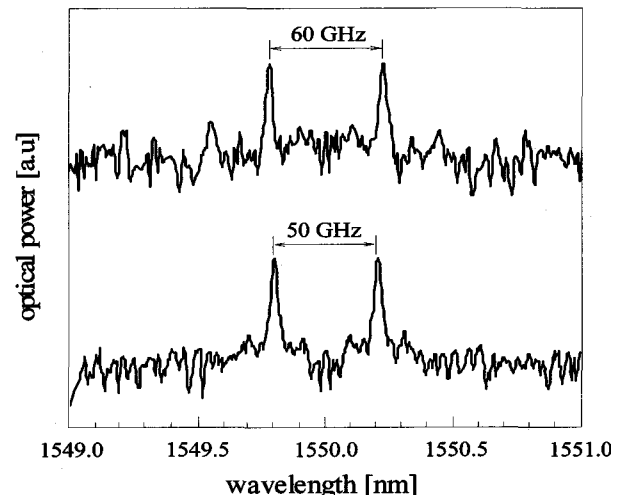


그림 4. 그림 2의 C 포트에서 검출된 밀리미터파 스펙트럼. 위쪽은 두 개의 피크 치 사이의 주파수 차가 60 GHz, 아래쪽은 두 개의 피크 치 사이의 주파수 차가 50 GHz

Fig. 4. The millimeter wave spectrum detected at C port of fig. 2. Upper figure shows the frequency difference of 60 GHz and the figure at the bottom represents the frequency difference of 50 GHz.

그림 4의 위쪽 스펙트럼에서, 각각의 피크 치는 1549.76nm 와 1550.24nm로서 주파수 차는 60GHz이며, 아래쪽 스펙트럼에서는 각각의 피크 치가 1549.80nm 와 1550.20nm로서 50GHz의 주파수 차를 나타내고 있다. 두 개의 광신호는 광 증폭기(EDFA)에 의해 증폭되고 LN 광 도파로에 입사된다. 광 신호로부터 변환(생성)된 밀리미터파 신호는 포트 E에서 검출되고 증폭기에 의해 증폭된다.

그림 5는 출력단(그림 2 실험도의 E 포트)에서 검출기에 의해 검출된 밀리미터파 신호의 스펙트럼을 나타낸다. 생성된 밀리미터파의 스펙트럼 선폭은 1 KHz 이하이다. 금속의 스트립 선로를 전파하는 밀리미터파의 신호는 50-60GHz에서 가장 손실이 크다고 알려져 있다. 그러나 이 실험에서 얻어진 Power 스펙트럼은 고주파일수록 나타나는 큰 손실을 고려하더라도 30-40GHz에서의 Power 스펙트럼과 비교하여 큰 차이를 보이지

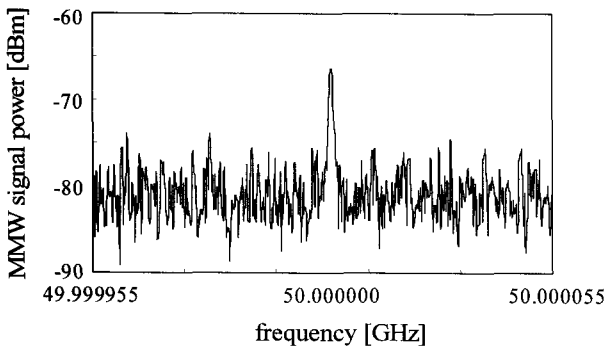


그림 5. 그림2의 E 포트에서 검출된 밀리미터파 스펙트럼.

Fig. 5. The millimeter wave spectrum detected at E port of fig. 2.

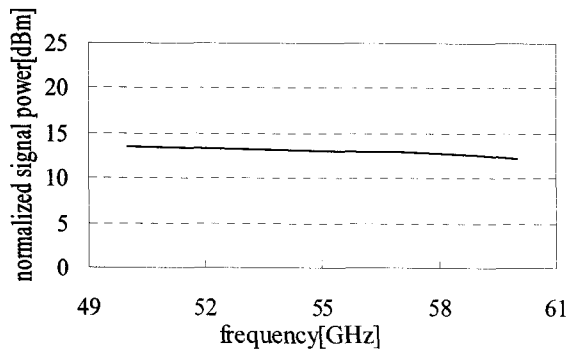


그림 6. 두 광신호 사이의 주파수 차의 함수로써 나타낸 밀리미터파 신호의 Power 피크치의 변위 (50-60GHz)

Fig. 6. Peak power fluctuation of the measured millimeter wave signal shown as a function of frequency difference between two optical signals.

않는다. 즉 도파로를 이용하여 공간에 생성된 밀리미터파 신호를 방사하고 검출하는 방식은 신호의 손실을 크게 줄이고 있음을 알 수 있다.

그림 6은 50GHz-60GHz 사이에서, 두 개의 광신호의 주파수 차의 함수로써 나타낸 밀리미터파 신호의 Power 피크치의 변위를 나타낸다. 50 GHz로부터 60 GHz까지의 피크 Power 변위는 1.2 dBm 이하이다.

V. 결 론

광 도파로를 이용한 밀리미터파의 직접 변환(생성) 실험이 50-60GHz 범위에서 성공적으로 수행되었다. 도파로에 내에서 생성된 50-60GHz 범위 밀리미터파 신호의 손실을 줄이기 위해 그 신호를 밀리미터파 도파관 내부로 방사시키고 검출기에 의해 검출하는 방식을 사용하였다. 검출된 밀리미터파 신호의 스펙트럼 선폭은 1 KHz이하를 나타내었다. 50-60GHz 사이에서, 두 개의 광신호의 주파수 차의 함수로써 나타난 밀리미터파 신호의 Power 피크치의 변위는 1.2 dBm 이하의 이득특성을 나타내었다.

본 연구에서 제안한, 협대역 스펙트럼을 가지며 코히런트한 연속파 밀리미터파를 직접 변환(생성)할 수 있는 광/RF 시스템은 가입자에게 양질의 서비스를 제공할 수 있으며 언제, 어디서나 정보를 교환할 수 있는 미래의 유비쿼터스 통신의 실현에 크게 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] R. Berezdivin, R. Breinig, and R. T. Raytheon, "Next-generation wireless communications concepts and technologies," IEEE communications magazine, pp.108-116, Mar. 2002.
- [2] K. H. Park, and N. S. Moon, "All-optical packet self-routing system for ultra-fast communication networks," Recent research development in Optical Engineering(Review), 5, pp.35-59, 2003.
- [3] M. F. Iskander, and Y. Zhengging, "Propagation prediction models for wireless communication systems," IEEE Transaction on MTT., 50, pp.662-673, 2002.
- [4] L. L. Yang, and L. Hanzo, "A multiple access scheme for ubiquitous broadband wireless communications," IEEE communications magazine, pp.116-124, October, 2003.
- [5] A. J. Seeds, "Microwave Photonics," IEEE Trans.

- on MTT., 50, pp. 877-887, 2002.
- [6] M. G. Larrode, A. M. J. Koonen, J. J. V. Olmos, and A. Ng'Oma, "Biredirectional Radio-over-Fiber link employing optical frequency multiplication," IEEE Photonics Tech. Lett., 18, pp.241-243, 2006.
- [7] C. Lim, A. Nirmalathas, M. A. Attygalle, D. Novak, and R. Waterhouse, "On the merging of millimeter-wave fiber-radio backbone with 25 GHz WDM ring networks," J. Lightwave Tech., 21, pp.2203-2210, 2003.
- [8] Hsu, S. L. Chuang, and T. Tanbun-Ek, "Tunable dual-mode operation in a chirped grating distributed-feedback laser," IEEE Photonics Tech. Lett., 12, pp.963-965, 2000.
- [9] Wake, C. R. Lima, and P. A. Davies, "Optical generation of millimeter waves signals for fiber-radio systems using a dual-mode DFB semiconductor laser," IEEE Trans. on MTT., 43, pp.2270-2276, 1995.
- [10] K-H. Park, W. Chujo, "Generation of continuous-wave millimeter-wave signals in a nonlinear lithium niobate optical waveguide," Optical Engineering, 41, pp. 2589-2591, 2002.
- [11] A. Yariv, Introduction to Optical Electronics, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1971.

 저 자 소 개



박 기 환(정회원)

1989년 고려대학교 전자전산
공학과 학사 졸업.

1991년 고려대학교 전자공학과
석사 졸업.

1998년 동경공대 물리 전자공학과
박사 졸업.

<주관심분야 : 광통신시스템, RFID, 광통신 네트
워크, BcN>