

# 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술

## THz Short-range Transmission Technology Based on Photonics

조승현 (Seung-Hyun Cho, shc@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원  
 문상록 (Sang-RoK Moon, srmoon@etri.re.kr) 광네트워크연구실 선임연구원  
 이준기 (Joon Ki Lee, juneki@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원/실장

### ABSTRACT

Recently, research and development for next-generation mobile communication and short-range wireless communication has begun worldwide along with the provision of commercial services of 5G mobile communication technology. In response to this trend, the THz band has attracted considerable attention as a frequency band for transmitting 100 Gbps of large-capacity wireless data. For communication in the THz band, research and development of approaches based on photonics and electronics is being actively performed; the configurations, characteristics, and performances of these two methods for THz transmission have been seriously examined. Among them, we reviewed the technical issues in implementing THz wireless transmission technology using photonics technology. We also introduced the Electronic and Telecommunications Research Institute's (ETRI) development of photonics-based THz short-range transmission technology starting from 2019 and including some initial results. In the near future, 100 Gbps high-capacity wireless data transmission technology utilizing photonics technology is expected to be commercially available and applied to various applications, such as 3D hologram transmission, uncompressed large capacity medical data transmission, and multiple augmented reality/virtual reality (AR/VR).

**KEYWORDS** 테라헤르츠, 근거리 전송, 포토닉스, LD, UTC-PD, 믹서, 주파수 변환

## 1. 서론

2019년 4월 전 세계 최초로 한국은 5G 상용 서비스 제공을 시작하였다. 이를 통해 향후 수년 내

에 초고속·초저지연·초연결 특성을 갖는 5G 기술을 다른 산업과 접목한 다양한 융합서비스 창출이 가속화될 것으로 예상된다. 5G 이용이 본격화되고 다양한 산업 분야의 사물까지 연결되는 Beyond 5G

\* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340606>

\* 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '국가과학기술연구회연구운영비지원(주요사업비)'의 지원을 받아 수행된 연구임[19ZH1700, 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 핵심 기술 개발].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2019 한국전자통신연구원

표 1 근거리 무선 전송 기술 진화 및 예상 성능

	IEEE 802.11ac (WLAN)	IEEE 802.11ax (WLAN)	IEEE 802.11ad (Wigig)	IEEE 802.11ay (mmWave WPAN)	Next ?
Year of approved	2008	2019 (expected)	2014	진행 중	2020 이후
Peak data rate	~4Gbps	<10Gbps	<8Gbps	<20Gbps	<100Gbps
Carrier frequency	5GHz	2GHz/5GHz	60GHz	60GHz	sub-THz
Radio link latency	<100ms	<12ms	<10ms	<10ms	-
Channel bandwidth	<160MHz	<160MHz	2.16GHz	8.64GHz	-
Coverage distance	<100m	<100m	<10m	<10m	<10m

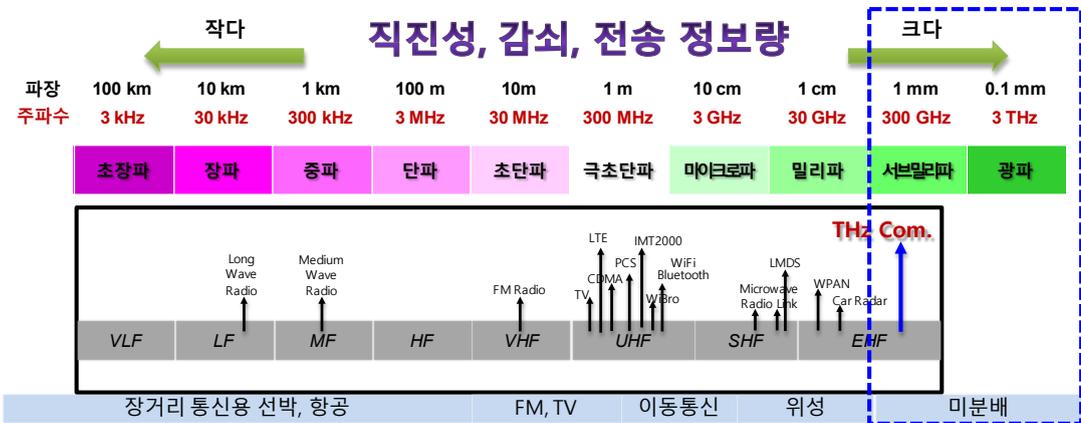
시대에는 100Gbps급의 초광대역 서비스 제공에 필요한 새로운 개념의 근거리 무선 전송 기술이 요구될 것으로 전망된다. 이에 전 세계적으로 100Gbps급의 전송속도를 실현할 수 있는 주파수 자원인 THz 대역에서의 다양한 전송 기술에 대한 연구개발이 진행되고 있다. 본 고에서는 특별히 포토닉스 기술을 활용한 THz 근거리 전송 기술을 소개하고자 한다.

100Gbps급의 트래픽이 요구될 것으로 전망되며, 이러한 초고속·광대역의 데이터 전송을 위해 활용 가능한 주파수 대역은 0.1~0.3THz 영역으로 알려져 있고, 전 세계적으로 많은 연구가 진행되고 있다.

그림 1에는 국립전파연구원에서 고시한 국내 주파수 할당 현황을 나타내었다. 이동통신 기술의 진화 및 다양한 응용 분야의 출현에 따라 가용 주파수 자원 고갈 문제 해결을 위한 범정부 차원의 신규 전파자원 발굴이 필요함을 알 수 있다[1,2]. THz 주파수 자원은 상술한 요구사항을 만족하는 것으로 알려져 있다. 더불어 ITU-R은 광대역 전송이 가능하고 보안성이 우수한 270~450GHz 대

## II. THz 근거리 전송 기술 필요성

WLAN/WPAN 기술로 대표되는 무선 근거리 전송 기술은 표 1과 같이 진화되어 왔다. 2020년 이후



출처 Reproduced from [https://rra.go.kr/ko/license/H\\_a\\_Rfpage.do](https://rra.go.kr/ko/license/H_a_Rfpage.do)

그림 1 국립전파연구원 고시 국내 주파수 할당 현황

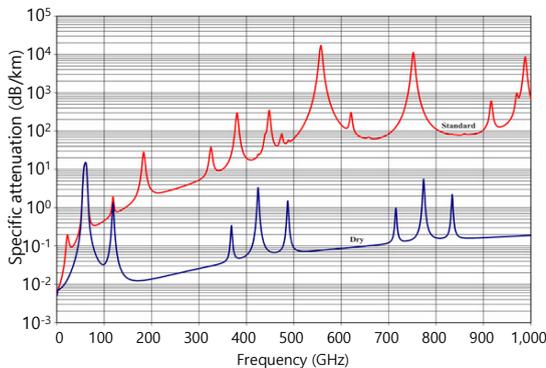
역을 Land-Mobile과 Fixed Service 응용을 위한 전파 자원으로 고려 중이다[3]. THz 주파수 대역을 활용한 초고속·광대역 전송 기술의 응용을 위해 현재 고려 중인 분야는 3D 홀로그램 전송, WPAN/D2D, 다중 AR/VR, 스마트오피스 및 모바일 백홀 등이 있다[4].

### III. THz 전송 기술 개발 시 고려 사항

일반적으로 THz 주파수 대역은 광대역의 주파수를 활용하여 많은 데이터량을 일시에 보낼 수 있는 장점은 있으나 높은 주파수로 인해 전파의 직진성이 강하고, 대기 중 감쇄가 심하다는 근본적인 단점을 갖고 있다.

이를 해결하기 위한 기술적 이슈로 (1) THz 광/전자 소자 설계, (2) THz 주파수 대역에서의 채널 모델, (3) 전송 가능한 거리(구간)에 대한 계획, (4) 이동성 지원, (5) 효율적인 매체 접근 제어 기술 등이 제기되어 해결 방안이 논의 중이다[4]. 그림 2에는 일반적인 경우와 건조한 대기 조건에서 THz 대역의 주파수별 감쇄 특성을 나타내었다[5].

그림 2에서 파악할 수 있듯이 현재 THz 대역 중



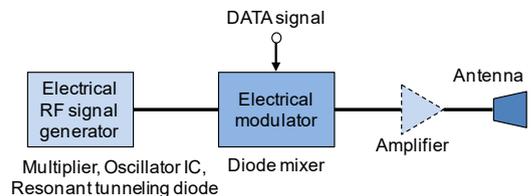
출처 Reproduced with permission from International Telecommunication Union ITU-R P.676-12: Attenuation by atmospheric gases and related effects (ITU, 2019)

그림 2 THz 대역의 주파수별 감쇄 특성

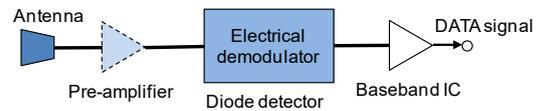
가장 많은 관심을 끌고 있는 주파수 영역은 상대적으로 감쇄가 적은 대역에 집중되어 있으며, 기본 감쇄량에 따라 적절한 응용 분야가 도출되어 해당 대역 사용을 위한 연구개발이 진행 중이다. 참고문헌 [6](DOI: <https://doi.org/10.1038/nphoton.2016.65>)에는 THz 대역의 주파수별 링크 버짓이 구체적으로 도시되어 있다. THz 대역에서의 링크 버짓은 200~320GHz 대역에서 100m 전송을 위해 약 110dB 정도가 필요한 것으로 보이며, 1km 전송을 위해서는 140dB 정도가 필요하다[6]. 이처럼 THz 대역의 높은 감쇄 특성으로 인하여 광대역 신호 증폭기, 안테나 및 빔 형성/제어 관련 기술들에 대해서 전 세계적으로 많은 연구가 진행 중이다.

### IV. THz 근거리 전송 기술 구현 방안

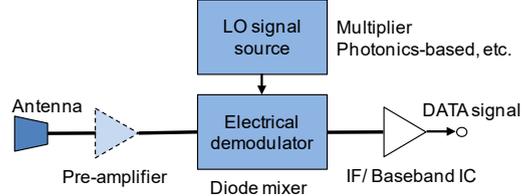
#### 1. 전기적 접근방식



[전기적 접근 방식에 따른 THz Transmitter 구조]



[전기적 접근 방식에 따른 THz receiver without LO 구조]



[전기적 접근 방식에 따른 THz receiver with LO 구조]

출처 Reproduced with permission from Tadao Nagatsuma et al., "Recent progress and future prospect of photonics-enabled terahertz communications research," IEICE Trans. Electron. vol. E98-C, no.12, p. 1060, 2015, "Copyright (c)2019 IEICE".

그림 3 전기적 접근방식에 의한 THz 송신기와 수신기 구조

표 2 전기적 접근방식의 THz 송수신기 변조 방식 비교

파라미터	OOK	QPSK/QAM
전력 소모	High	Low
전송 속도	Low	High
출력 파워	High	Low
구현의 용이성	High	Low

표 3 전기적 접근방식에 의한 THz 송수신기 성능 요약

참고문헌	[8]	[9]	[10]
공정	65nm CMOS	32nm SOI CMOS	40nm CMOS
주파수	260GHz	210GHz	302GHz
LO Harmonic	4th	1st	2nd
변조 방식	OOK	OOK	32QAM
전송 속도	14Gbps	10Gbps	105Gbps
출력 파워	0.5dBm/ +5dBm (EIRP)	5dBm/ +5dBm (EIRP)	-5.5dBm
크기	4cm	14cm	-
소비 전력	688mW	240mW	1.4W

전기적 접근방식에 의한 THz 송신기와 수신기의 구조를 그림 3에 나타내었다.

전기적 접근방식에 따른 THz 송신기가 약 200GHz 이상의 주파수 대역에서 동작하기 위해서는 (1) 고출력 증폭기의 제한된 이득과 대역폭 문제, (2) 낮은 주파수 변환 이득, (3) 신호 혼성 등의 주요한 기술 이슈가 제기되었으며 이를 해결하는 방향으로 연구개발이 진행 중이다[7]. 더불어 THz 송수신기의 변조 방법에 따라 표 2와 같은 특성을 갖는다. 최근에는 높은 분광학적 효율성을 갖는 QPSK 및 QAM 변조 방식을 선호하는 추세이다.

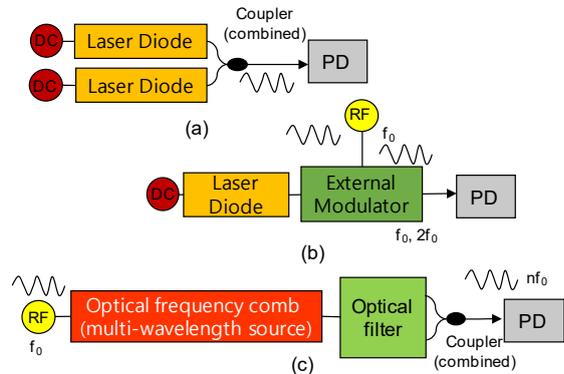
전기적 접근방식의 THz 수신기는 일반적으로 소형의 단순한 구조를 요구한다. 하지만 최대 컷오프 주파수 특성으로 인해 상대적으로 낮은 이득을 갖는 저잡음 증폭기, 믹서와 증폭기 등이 다단으로

구성되면서 수신기 전체의 잡음 지수를 줄이기 위해 구조 자체의 복잡도 증가, 저잡음 증폭기 및 안테나의 대역폭 등이 중요한 기술적 한계로 인식되고 있다.

지금까지 발표된 전기적 접근방식에 의한 THz 송수신기의 대략적인 성능을 살펴보면 표 3과 같다[8-10].

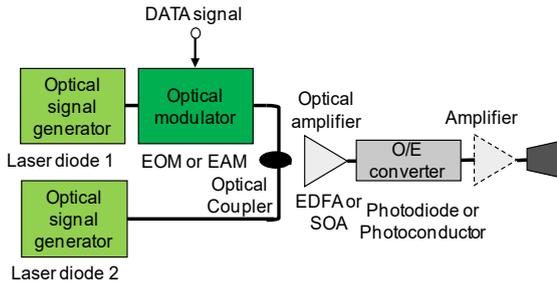
## 2. 광학적 접근방식

그림 4에는 THz 신호 생성을 위한 광학적 구성 방법을 나타내었다[7]. 광학적 THz 생성방식은 그림 4의 (a)에 나타낸 바와 같이 2개의 LD에서 나오는 빛을 Photomixer로 동작하는 PD에 입력 후 비팅시키고, 그 결과로 두 개의 LD 파장 차이에 해당하는 THz파가 만들어지는 원리를 이용하거나, (b)와 같이 CW로 동작하는 단일 LD 출력을 외부변조기에 입력하고, 외부변조기를 임의의 주파수로 변조시키면 입력된 광신호가 double-side band로 변조된다. 이렇게 출력된 2개의 광파를 PD에 입력시켜 비팅시키고, 두 개 광파의 주파수 차이에 해당하는



출처 Reproduced with permission from Tadao Nagatsuma et al., "Recent progress and future prospect of photonics-enabled terahertz communications research," IEICE Trans. Electron. vol. E98-C, no.12, p. 1060, 2015, "Copyright (c)2019 IEICE".

그림 4 THz 신호 생성을 위한 광학적 구성방법

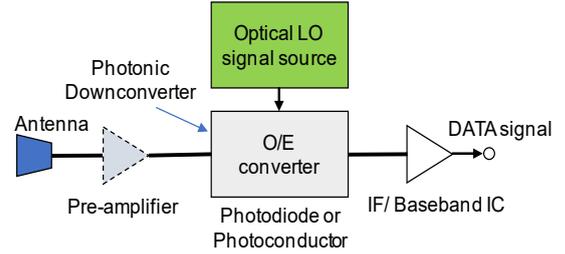


출처 Reproduced with permission from Tadao Nagatsuma et al., "Recent progress and future prospect of photonics-enabled terahertz communications research," IEICE Trans. Electron. vol. E98-C, no.12, p. 1060, 2015, "Copyright (c)2019 IEICE".

그림 5 광학적 접근방식에 의한 THz 송신기 구조

THz파가 만들어지는 원리를 이용한다. 마지막 방식은 임의의 주파수로 optical frequency comb을 구동하고, 인가된 임의의 주파수 간격으로 생성된 다중 파장 광원 출력을 광 필터에 통과시켜 그중 2개 출력만을 선택한 후 PD에 입력시켜서 이를 비팅시켜서 THz파를 생성한다.

광학적 접근방식에 의한 THz 송신기 구조를 그림 5에 나타내었다[7]. CW로 동작하는 레이저 다이오드 2개를 비팅 광원으로 이용하고, 그중 한 개 출력은 전계흡수변조기 또는 전기광학변조기 등의 외부변조기를 이용해 데이터를 변조하고, 나머지 한 개의 출력은 기준 신호로서 변조기를 거치지 않고 통과시킨 후 두 개의 빛을 광 결합기를 이용해 결합한다. 이후 증폭기 등을 거쳐 변조기 등에서 발생한 광 손실을 보상한 후 광전변환기인 PD에 입력시키고 전기신호로 변환된 THz파는 다시 THz 주파수 영역에서 동작하는 고출력 THz 증폭기와 안테나를 거쳐 자유 공간상으로 송신되는 원리를 이용한다. 그림 6에는 광학적 접근방식을 이용하는 THz 수신기 구조를 나타내었다. LO를 사용하는 전기적 접근방식의 THz 수신기 구조와 유사하나 LO가 광학적으로 구성되는 것과 검출기로



출처 Reproduced with permission from Tadao Nagatsuma et al., "Recent progress and future prospect of photonics-enabled terahertz communications research," IEICE Trans. Electron. vol. E98-C, no.12, p. 1060, 2015, "Copyright (c)2019 IEICE".

그림 6 광학적 접근방식에 의한 THz 수신기 구조

photodetector 또는 photoconductor와 같이 광학계 소자를 사용하는 것이 다르다. 일반적인 동작 원리는 전기적 접근방식과 유사하며 THz 검출은 Schottky barrier diode를 이용하여 THz파를 직접 검출하여 기저 대역 신호를 검출하는 방식과 부고조파 믹서를 이용하여 중간주파수로 주파수 변환 후 검출하는 방식을 주로 활용한다.

### 3. 전기적/광학적 방식 비교

지금까지 발표된 광학적 접근방식에 의한 THz 송수신기의 대략적인 성능 및 이를 포함한 THz 무선 링크 전송 시험 결과를 살펴보면 표 4와 같다

표 4 광학적 접근방식에 의한 THz 송수신 전송성능 요약

참고문헌	[11]	[12]	[13]
기술 및 구조	Coherent optical frequency comb	FDM	Enhanced UTC-PD
채널 수	1	6	1
주파수	425GHz	437.5GHz	350GHz
전송 속도	120Gbps	120Gbps	100Gbps
변조 방식	16-QAM	QPSK	16-QAM
전송 거리	50cm	142cm	2m

[11-13].

표 5에는 현재까지 발표된 각종 참고문헌을 조사하여 THz 전송을 위한 송수신기 구현 방식별 기술 비교를 한 결과를 나타내었다[8-17]. 전기적 접근방식의 경우 아직은 전송속도 및 가용 주파수 대역 등에 있어서 광학적 접근방식과 비교해 성능이 상대적으로 뒤지는 면이 있으나 기술 경쟁력이 뛰어난 실리콘 및 화합물 반도체 제조 공정을 이용해 구현할 경우 소형화/집적화/저전력화가 가능하여 추후 상용화 시 가격 측면에서 장점을 제공할 것으로 예상된다. 반면에 광학적 접근방식을 사용하는 경우는 아직은 전기적 접근방식과 비교하면 우월한 전송성능을 제시하고는 있으나 대량 생산 및 저가화를 위해서는 기존의 PIC 기술을 활용한 집적화/소형화 등의 기술적 난제를 해결해야 하는 문제를 안고 있다고 할 수 있다.

참고문헌 [17] (DOI: <http://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1600300>)에는 지금까지 발표된 THz 전송 기술 결과와 관련하여 연도별로 기술이 진화

하면서 무선 전송 속도와 무선 전송 거리를 표기하였다[17]. 점선은 지금까지 논문 등에서 발표된 결과를 근거로 2020년경에 출현할 것으로 예상되는 전송 거리별 데이터 전송 속도를 예측한 결과를 나타내었다. 대략 2020년경에는 전송 거리 1m 이하에서는 150Gbps, 전송 거리 10m 이하에서는 100Gbps, 전송 거리 10m 이상에서는 약 60Gbps급의 전송 결과가 발표될 것으로 예상된다[18].

### V. 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술 이슈

표 6에는 상용화를 고려한 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술 구현 시 주요 전송성능별 목표치와 그에 대응되는 주요 기술 이슈들을 나열하였다. 포토닉스 기술의 장점을 극대화하기 위해서는 광대역 다중 채널 전송 기술을 기반으로 전송 속도와 전송 거리를 증가시키는 방향으로 기술이 발전해 나갈 것으로 예상되며, 이를 위해서는 광

표 5 현재까지 보고된 THz 전송을 위한 송수신기 구현 방식별 기술적 특징

파라미터	전기적 접근방식		광학적 접근방식	
	Si 반도체 기반 전기회로	III-V 화합물 반도체 기반 전기회로	광학적 단일 채널 전송	광학적 다중 채널 전송
가용 주파수 대역	<240GHz	<300GHz	<1THz	<1THz
최대 전송 속도	10Gbps	100Gbps	100Gbps	>160Gbps
변조 방식	16-QAM		16-QAM	
단일 및 다중 채널 지원	지원 가능		지원 가능	
최대 무선 전송 거리	0.14m	2.2m	2m	0.5m
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>소형화/집적화/저전력화 구현 및 활용 가능</li> <li>성숙된 Si/III-V 화합물 반도체 제조 공정 활용 가능</li> <li>Frequency multiplier chain의 비선형 특성에 따른 SNR 확보 노력 필요</li> <li>Diode mixer 등을 활용한 신호 변복조 시 modulation index 제한</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>광대역 및 초고속 특성을 갖는 광통신용 부품/전송 기술 활용이 가능하고 기존의 대용량 광 가입자망과 seamless한 연결 가능</li> <li>광학적 THz 캐리어 생성 및 광변조 기법을 활용해 SNR 확보가 용이하여 전송 거리 확대에 유리</li> <li>Optical coherent 전송 기술을 활용해 amplitude/phase 변조 가능</li> <li>향후 PIC 기술을 이용한 소형화/집적화/저전력화 구현 노력 필요</li> </ul>	

변조기, PD, PD array 등의 포토닉스 소자와 증폭기와 안테나 등의 전자 소자의 성능이 함께 진화되어야 할 것이다. 또한, 상용화를 위해서는 저가 구현 및 대량 생산이 가능해야 하므로 기존의 반도체 제조 공정을 활용하여 소자 자체의 가격 경쟁력 및 핵심 성능을 개선해야 할 것이다. 이를 위해서는 주요 핵심 소자 자체의 물리적 특성 개선과 새로운 물질 및 소자 개발이 병행하여 개발되어야 하며, 또한 THz 채널 모델 및 채널 에뮬레이션 그리고 스펙트럼 할당 등을 포함한 표준화가 동시에 추진되어야 할 필요가 있다[6].

## VI. ETRI 연구개발 현황

ETRI는 2019년 1월부터 2023년 12월까지 5년의

기간 동안 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술개발 사업을 시작하였다. 100Gbps급 이상의 초고속 무선 데이터 서비스를 최대 10m 거리 내에서 제공이 가능토록 하는 것이 최종목표이며, 이를 도식화한 기술 개념도를 그림 7에 나타내었다. THz 근거리 전송 기술은 현재의 이동통신용 인더어 분산 안테나 시스템과 유사하게 THz Hub Unit, THz Remote Unit 및 THz 단말 장치로 구성되며, THz Hub Unit은 기존 유·무선 네트워크와 연동되는 건물 내 지하 등에 위치하며, 다수의 THz Remote Unit 들에게 초고속 무선 데이터를 전송하기 위한 집선 장치 역할을 수행한다. THz Remote Unit은 기존의 WLAN 등을 구성하는 AP와 같은 역할을 수행한다. 마지막으로 THz 단말은 스마트폰 또는 태블릿 PC 등과 같이 사용자 단말 장치의 기능을

표 6 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술의 주요 기술적 이슈

주요성능	기술 이슈 및 옵션
전송속도	<ul style="list-style-type: none"> <li>다중 채널 시스템(다중 캐리어 변조 방식 고려, OFDM 등)</li> <li>초광대역 광변조기</li> <li>목표값: &gt;100Gbps</li> </ul>
전송거리	<ul style="list-style-type: none"> <li>고출력 PD</li> <li>고출력 PD array</li> <li>고출력 및 저잡음 THz 증폭기</li> <li>PD, 증폭기, 안테나의 집적화 이슈</li> <li>포토닉스 기반 빔 형성 및 빔 조정 기술</li> <li>목표값: &gt;10m</li> </ul>
가격 및 효율성	<ul style="list-style-type: none"> <li>포토닉스 기반 집적화 기술(III-V 화합물 반도체 및 Si 기반 포토닉스)</li> <li>frequency multiplier 및 harmonic oscillator의 성능 개선</li> </ul>
주요 핵심 소자	<ul style="list-style-type: none"> <li>저손실 도파로 및 상호 연결 기술</li> <li>광대역, 저손실, 재구성 가능한 안테나 기술</li> <li>광대역 수동 소자(필터, 커플러, 다이플렉서 등)</li> <li>새로운 물질 및 소자(메타물질, 파라핀, 플라즈마 웨이브 등)</li> </ul>
기타사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>THz파 전송 및 간섭 모델(채널모델, 채널 에뮬레이션, 시험 등)</li> <li>표준화(스펙트럼 규제 등)</li> </ul>

표 7 핵심기술별 주요 연구 내용

핵심 기술	주요 연구내용
포토닉스 기반 THz 신호 생성 및 복원 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>다파장 광원을 이용한 포토닉스 기반 THz 신호 생성 기술</li> <li>부고조파 믹서를 이용한 THz 신호 복원 기술</li> <li>포토닉스 기반 THz 캐리어 주파수 안정화 및 위상 동기 기술</li> <li>THz 신호 생성기 및 복원기 집적화 기술</li> </ul>
포토닉스 기반 THz 송수신 프론트엔드 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>THz 송신 및 수신 프론트엔드 정합 기술</li> <li>THz 수신용 증폭기 기술</li> <li>THz 송수신 프론트엔드 집적화 기술</li> </ul>
포토닉스 기반 THz 근거리 PoC 플랫폼 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>포토닉스 기반 THz 전송성능 검증을 위한 테스트베드</li> <li>다중 캐리어 기반 지저 대역 신호 생성 및 검출 기술</li> <li>광대역/다중 채널 신호 전송성능 열화 보상 기술</li> </ul>
THz 발생/수신용 부품기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>고출력 THz 발생(UTC-PD) 칩/모듈 기술</li> <li>어레이형 THz 발생기 기술</li> <li>전송 거리 증대를 위한 파면제어 기초 기술</li> <li>THz 고이득 안테나 기술</li> <li>고감도 THz 수신(mixer) 칩/모듈 기술</li> <li>반도체 콤(comb) 레이저 칩/모듈 개발</li> </ul>

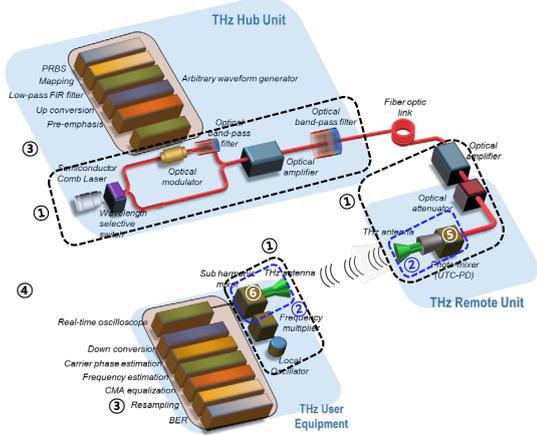
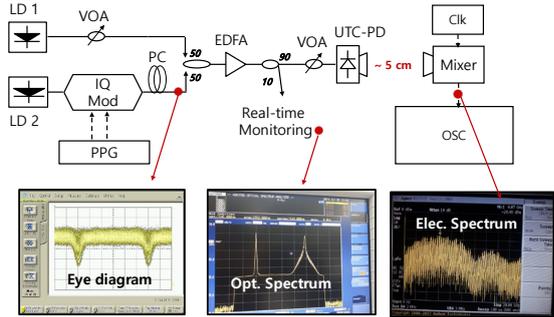


그림 7 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술개발 기술 개념도

수행한다. 그림 7 내에 표기된 번호는 핵심 결과물을 나타낸다. 본 사업에서의 핵심 결과물은 ① 포토닉스 기반 THz 신호 생성 및 복원기, ② 포토닉스 기반 THz 송수신 프론트엔드, ③ 포토닉스 기반 THz 기저 대역 신호 처리 핵심 IP, ④ 포토닉스 기반 THz 근거리 PoC 플랫폼, ⑤ 고효율 THz 발생(UTC-PD) 칩/모듈, ⑥ 고감도 THz 수신(Mixer) 칩/모듈로 구성된다.

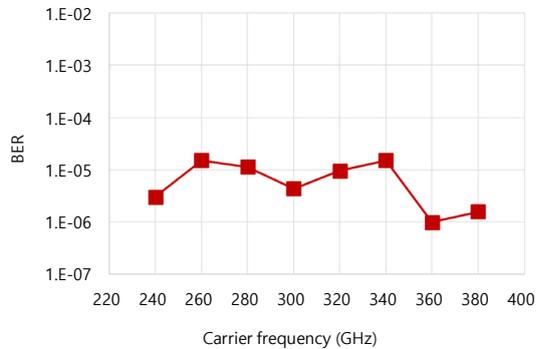
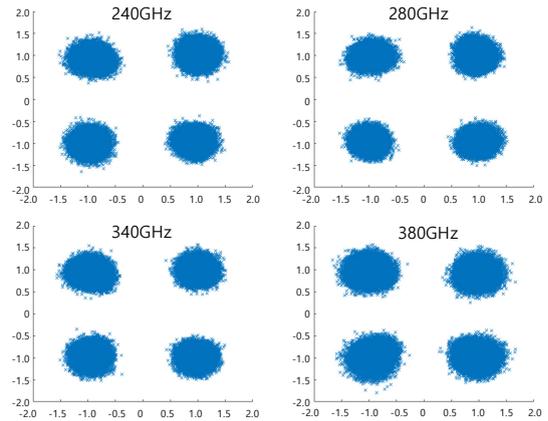
각각의 핵심 기술별 주요 연구내용은 표 7과 같다. 2019년 10월 현재까지 개발된 포토닉스 기반 THz 신호 생성 및 복원 기술 중 50Gbps급 QPSK 신호의 5cm 전송 실험 셋업 및 전송 결과를 그림 8과 9에 각각 나타내었다[19].

일반적으로 많이 사용되는 광학적 THz 생성 방식인 2개의 레이저 다이오드를 비팅용 광원으로 사용하는 방법을 활용하였으며, 두 개의 빛의 주파수 간격은 240~360GHz까지 변화시켰다. 둘 중 하나의 LD 출력은 비팅을 위한 기준 신호로 사용하였고 나머지 LD의 출력은 데이터 변조를 위해 사용하였다. 데이터 변조는 광학적 IQ 변조기를 사용하였다.



출처 Reproduced from Sang-Rok Moon et al., "50 Gb/s QPSK Signal Transmission using photonic-based THz signal emitter with silicon lens," Proceedings of MTS 2019, Mo-POS-22.

그림 8 50Gbps급 QPSK 신호의 5cm 전송 실험 셋업



출처 Reproduced from Sang-Rok Moon et al., "50Gb/s QPSK Signal Transmission using photonic-based THz signal emitter with silicon lens," Proceedings of MTS 2019, Mo-POS-22.

그림 9 50Gbps급 QPSK 신호의 5cm 전송 시 주파수에 따라 측정된 성능도 및 BER 성능

기존 신호와 데이터 변조가 된 두 개의 빛은 광 결합기를 통해 합쳐진 후 EDFA를 거쳐 증폭되어 포토믹서인 UTC-PD로 입력되어 THz파로 변환되어 자유 공간상으로 방사되었다. 수신 단은 THz 믹서와 LO 및 오프라인 신호처리가 가능한 수신기 DSP로 구성된다. 그림 9에는 THz 주파수에 따른 BER 및 성상도를 나타내었다. 주파수에 따른 성상도의 왜곡은 눈에 띄지 않았으며, 측정된 BER도 거의 눈에 띄는 변화 없이  $1 \times 10^{-5}$  이하 수준을 얻었다.

## VII. 결론

최근 5G 이동통신 기술의 상용서비스 제공과 더불어 B5G 이동통신 및 차세대 근거리 무선 통신을 위한 연구개발이 전 세계적으로 시작되고 있다. 이런 추세에 대응하여 100Gbps급 이상의 대용량 무선 데이터 전송을 위한 주파수 대역으로 THz 밴드 대역이 많은 관심을 받고 있다. THz 밴드 대역의 통신을 위해서 광학적 접근방식과 전기적 접근방식의 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, THz 전송을 위한 두 가지 방식의 구조, 성능, 특징 등을 살펴보았다. 그 중 광학적 접근방식인 포토닉스 기술을 활용한 THz 무선 전송 기술 구현 시 기술적 이슈들을 검토하였고, 2019년부터 시작된 ETRI의 포토닉스 기반 THz 근거리 전송 기술개발 내용 및 일부 초기 결과를 소개하였다. 가까운 미래에 포토닉스 기술을 활용한 100Gbps급의 대용량 무선 데이터 전송 기술이 상용화되어 3D 홀로그램 전송, 무압축 대용량 의료 데이터 전송 및 다중 AR/VR 등의 응용 분야에 적용될 것으로 예상된다.

### 용어해설

**5G** 최대 속도가 20Gbps에 달하는 5세대 이동통신 기술로, 4세대 이동통신인 LTE에 비해 속도가 20배가량 빠르고, 처리 용량은 100배 많음. 강점인 초저지연성과 초연결성을 통해 4차 산업혁명의 핵심 기술인 가상현실, 자율주행, 사물인터넷 기술 등을 구현할 수 있음

**THz** 1초에 1조(테라, tera) 번 진동하는 전자(기)파의 단위. 'THz'로 표기한다. 1초에 10억 번에서 3,000억 번까지 진동하는 마이크로파와 파장이 길어 공기 투과성이 좋은 적외선 사이의 주파수를 일컫음

**ITU-R** ITU-R(ITU Radiocommunication Sector)는 국제 전기 통신 연합(ITU)을 구성하는 3가지 중 하나로서, 라디오 주파수 대역의 통신규약임

### 약어 정리

AR	Augmented Reality
CW	Continuous Wavelength
D2D	Device to Device
EAM	Electro-Absorption Modulator
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier
E/O	Electrical to Optical
EOM	Electro-Optic Modulator
FDM	Frequency Division Multiplexing
LD	Laser Diode
O/E	Optical to Electrical
PD	Photo Diode
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
UTC-PD	Uni-Traveling Carrier Photo Diode
VOA	Variable Optical Attenuator
VR	Virtual Reality
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

## 참고문헌

- [1] Spectrum policy, RRA, 2018.03.
- [2] [http://m.blog.daum.net/jhr2580/4237?np\\_nil\\_b=1](http://m.blog.daum.net/jhr2580/4237?np_nil_b=1).
- [3] ITU-R Res. 767 (WRC-15).
- [4] V. Petrov et al., "Terahertz Band Communications: Applications, Research, Challenges and Standardization Activities," 2016 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), p. 183, 2016.
- [5] International Telecommunication Union ITU-R, P.676-12: Attenuation by atmospheric gases and related effects (ITU, 2019).
- [6] T. Nagatsuma et al., "Advances in terahertz communications accelerated by photonics," *Nature Photonics* 10,371(2016).
- [7] Tadao Nagatsuma et al., "Recent progress and future prospect of photonics-enabled terahertz communications research," *IEICE Trans. Electron.* vol. E98-C, no.12, p. 1060, 2015.
- [8] J. D. Park et al., "A 260GHz fully integrated CMOS transceiver for wireless chip-to-chip communication," 2012 Symposium on VLSI Circuits (VLSIC), Honolulu, HI, pp. 48-49, 2012.
- [9] Z. Wang et al., "A CMOS 210-GHz Fundamental Transceiver With OOK Modulation," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 49, no. 3, pp. 564-580, Mar. 2014.
- [10] K. Takano et al., "A 105Gb/s 300GHz CMOS transmitter," 2017 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISS-CC), San Francisco, CA, 2017, pp. 308-309.
- [11] X. Pang et al., "Single Channel 106 Gb/s 16QAM Wireless Transmission in the 0.4 THz Band," *OFC* 2017.
- [12] X. Li et al., "120 Gb/s Wireless Terahertz-Wave Signal Delivery by 375GHz-500GHz Multi-Carrier in a 2x2 MIMO System," *OFC* 2018.
- [13] Kexin Liu et al., "100 Gbit/s THz Photonic Wireless Transmission in the 350-GHz Band With Extended Reach," *Photonics Technology Letters*, vol. 30, no. 11, p. 1064, 2018.
- [14] Pedro Rodríguez-Vázquez et al., "A 65 Gbps QPSK One Meter Wireless Link Operating at a 225-255 GHz Tunable Carrier in a SiGe HBT Technology," *IEEE RWS (radio wireless symposium)*, 2018.
- [15] Kexin Liu et al., "100 Gbit/s THz Photonic Wireless Transmission in the 350-GHz Band With Extended Reach," *Photonics Technology Letters*, vol. 30, no. 11, p. 1064, 2018.
- [16] Hadeel Elayan et al., "Terahertz Communication: The Opportunities of Wireless Technology Beyond 5G," 2018 International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking (CommNet), 2018.
- [17] <https://www.titech.ac.jp/english/news/2018/041717.html>
- [18] Vitaly Petrov et al., "Last Meter Indoor Terahertz Wireless Access: Performance Insights and Implementation Roadmap," *IEEE Communications Magazine*, p.158, Jun. 2018.
- [19] Sang-Rok Moon et al., "50 Gb/s QPSK Signal Transmission using photonic-based THz signal emitter with silicon lens," *Proceedings of MTSA 2019, Mo-POS-22*.