5G 모바일 액세스용 광 부품 기술 동향

Technical and Industrial Trends of Optical Components for 5G Mobile Access

권오균 (O Kyun Kwon, okyun@etri.re.kr) 광통신부품연구실 책임연구원
김남제 (Namje Kim, namjekim@etri.re.kr) 광통신부품연구실 책임연구원
박미란 (Miran Park, miranp@etri.re.kr) 광통신부품연구실 책임연구원
김태수 (Tae Soo Kim, kts@etri.re.kr) 광통신부품연구실 선임연구원
안신모 (Shinmo An, shinmo.an@etri.re.kr) 광통신부품연구실 선임연구원

ABSTRACT

The world's first 5G commercial service started in Korea in April 2019. This makes us proud of our status as an ICT powerhouse, and of the domestic optical network industry ecosystem that has served as a lever to make this significant leap forward in technological and industrial competitiveness. Above all, Japan's trade regulations on core parts and the COVID-19 pandemic have led to new changes across cultures, societies, and economies, and 5G networks have become important. The relevant technology for core material parts is a major concern not only of a few industries, but an entire section of society in terms of national competitiveness. In this article, we discuss the role of industries through the analysis of prospects of optical component technology with regard to the changes in the economic and social paradigm caused by the COVID-19 pandemic and Japan's export regulations.

KEYWORDS 5세대 이동통신, 모바일 액세스, 광 부품, 언택

Ⅰ. 서론

대한민국은 2019년 4월 기술 개발 및 사전 서비스 실증 등을 통하여 세계 최초로 5G 상용화 서비스 실현의 위업을 달성하였다[1]. 초고속, 초연결 및 초 저지연의 서비스 차별화로 5G는 4차 산업혁명의 기반으로써 새로운 패러다임을 통한 핵심적인 성장 동력이 되고 있다[2].

하지만, 2019년 중반부터 촉발된 일본의 핵심 소재·부품 기술에 대한 수출규제는 5G 망 확대 및 이를 통한 4차 산업혁명 기반 구축을 국가 중요 정책으로 추진하던 대한민국에 핵심 소재·부품의 높은 대외 의존도가 전략적으로 매우 중요한 위협이 될 수 있음을 강하게 각인시키는 계기가 되었

* DOI: https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350405
* 본 문서는 과학기술정보통신부의 재원으로 '범부처 GIGA KOREA 사업'의 지원을 받아 수행한 사업과 관련된 내용을 포함하고 있음[과제번호: GK19N040, 5G 이동통신 기지국용 디지털 기반 프론트홀 광 링크 기술 개발].

본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.
©2020 한국전자통신연구원

다. 또한, 핵심 소재·부품을 수입하여 중간 가공을 통하는 경제구조는 5G 구축과 같은 국가 전략적 기간망 구축에 심각한 장애를 유발할 수 있을 뿐만 아니라, 핵심 소재·부품의 외산 의존성으로 인한 낮은 수익성을 갖는 산업구조 및 체질에 대한 문제점들이 대두되었다[3].

또한, 2019년 말부터 확산되기 시작한 코로나19 팬데믹은 산업 기술 및 사회 전반에 큰 변혁을 불러 왔다. 코로나19에 기인한 비대면(Untact) 서비스의 폭증은 네트워크 트래픽 폭증을 유발하여, 2010년 3월 기준으로 전년도 대비 30% 이상 증대로 인하여 접속지연 및 연결오류가 빈번히 발생하고 있다. 코로나19 이후 사회는 온라인을 통한 의료, 교육, 유통 서비스 등과 같은 새로운 소매 서비스가 폭발적으로 증가하며, 네트워크를 통한 비즈니스가 크게 대두될 것으로 예상된다[4].

고화질 및 몰입형 영상서비스에 기반한 5G 기술은 코로나19 이후 비대면 서비스에 최적화되어 네트워크 기반 제공을 넘어 콘텐츠 서비스에 진입하고 있는 상황이다. 향후 4차 산업혁명 견인을 통해 국가 경제성장을 주도할 것으로 기대되며, 관련 핵심 네트워크 소재·부품 기술의 확보를 통하여 산업 경쟁력 제고 및 고수익성 산업체질로의 전환이 요구되고 있다.

본 고에서는 비대면 서비스를 위한 5G 모바일 액세스망 고도화를 위해서 요구되는 소재·부품의 기술적 사항, 모바일 기술에 적용되는 부품 기술 동향을 분석하고자 한다. 또한, 향후 지속적인 소재·부품의 자립화와 더 나아가 경쟁력 우위 확보를 위한 부품산업이 직면한 당면 과제들을 고찰해 보고자 한다.

Ⅱ. 기술동향

대한민국에서는 5G 상용화 서비스를 조기에 실현하고자 장기간의 정책수립 및 기술개발 지원을 해왔다. 대표적으로 기가코리아 사업단은 범부처 차원의 정부지원을 실행하기 위해 발족되어 선행 기술개발 지원, 실증사업 수행 등 다양한 프로모션 이벤트를 진행하였다[5].

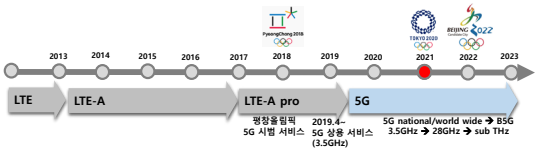


그림 1 이동통신 기술의 진화 동향 및 세계적인 이벤트 일정

그림 1은 세계적인 이벤트와 관련 이동통신 기술 변혁을 도식화하여 나타내고 있다. 대한민국은 2018년 평창 올림픽을 5G 시범 서비스의 장으로 활용하여, 2019년 4월 세계 최초로 5G 상용 서비스를 성공적으로 이룰 수 있었다.

1. 5G 기술의 핵심 성능 파라미터

표 1에 5G 기술이 4G 기술과 차별화되는 핵심

표 1 4G 및 5G 서비스의 핵심 성능 파라미터 비교

핵심 성능 파라미터	4G IMT-advance	5G ITU-R WP
체감 전송률 (User experience data rate)	10Mbps (Urban/suburban)	100Mbps~1Gbps 100Mbps(Urban) 1Gbps(Hotspots)
최대 전송률 (Peak data rate)	1Gbps	20Gbps
이동성(Mobility)	350km/h	500km/h
전송 지연(Latency)	10ms (Radio Interface)	1ms (Radio Interface)
최대 연결 수 (Connection density)	10^5 per km^2	10^6 per km^2
에너지 효율 (Energy efficiency)	–	4G 대비 100배 (for Network)
주파수 효율 (Spectrum efficiency)	–	4G 대비 2/3/5배
면적당 (Area traffic capacity)	0.1Mbps/m^2	10Mbps/m^2

성능지표를 정리하였다. 4G 기술은 2GHz 주파수 대역에서 10MHz 및 20MHz 대역폭을 활용하여 최대 1Gbps급 데이터 서비스를 제공하고 있다. 반면 5G는 무엇보다도 기지국의 최대 전송 속도 20Gbps, 무선 전송구간 지연 1msec 이하와 최대 기기 접속수 $10^6/km^2$로 대표할 수 있는 성능 제공이 가능하다[2].

2. 5G 모바일 기지국 광 링크

모바일 무선 서비스를 수행하기 위해서는 기지국과 상위 네트워크 간의 연결을 위한 링크 기술이 필요하며, 기지국 안테나 단에서부터 상위 네트워크 방향으로 프론트홀(front-haul), 미드홀(mid-haul) 및 백홀(back-haul) 구간으로 정의하고 있다.

이미, 4G 기지국을 연결하는 프론트홀 구간은 CPRI(Common Public Radio Interface) 표준규격을 기반으로 광 연결 기술이 사용되고 있으며, 앞 절에서 언급하였듯이, 5G 기지국은 4G 대비 최대 전송속도가 20배 이상이며, 프론트홀 광 연결 구간은 이를 지원할 수 있어야 한다[6].

4G 기지국에서 5G 기지국으로 진화함으로써 프론트홀 구간 광 링크에서 CPRI 전송속도를 예시로 광소자 부품 및 광 링크에 부과되는 사항을 살펴보자.

예시로써 20MHz 대역폭을 사용하고, 2×2 MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output)를 지원할 경우 CPRI 전송속도는 약 2.45Gbps가 필요하다.

30MHz(sampling rate) × 15(bit per sample) × 2(IQ) × 2(antenna) × 1.2(CPRI overhead) ≃ 2.45 Gbps [6]

이는 일반적으로 2.5Gbps급 SFP 광모듈 1개로 가능한 용량이다. 하지만, 5G 기지국에서 100MHz 대역폭에 8×8 MIMO 시스템을 지원할 경우, 단위 프론트홀 속도는 28Gbps로 증대되며, 요구 대역폭이 800MHz로 높아질 경우 2.24Tbps의 광 링크 용량이 예상된다. 이러한 광 링크 용량 상승은 광섬유 증설, 파장당 전송속도가 높은 광소자 부품 사용 등의 방안을 요구하게 된다.

3. 모바일 액세스 적용 파장

모바일 광 링크에 광선로가 사용되면서, 사용되는 파장 규정이 중요해진다. 그림 2는 현재까지 제안된 액세스 기술 및 망을 위한 파장 할당 현황이다. 광선로에서 대표적인 파장대역은 장거리 통신의 경우 광 손실이 적은 c-band를, 상대적으로 단거리의 경우 낮은 색 분산(Chromatic dispersion) 특성의 o-band 대역을 전통적으로 사용하고 있다. 최대 10Gbps 변조 기준으로 4G LTE(Long Term Evolution) 및 유선 액세스 기술은 현재까지 광전송거리 20km를 기준으로, 넓은 파장대역에서 큰 기술적 제약 사항 없이 사용이 가능하였다.

하지만, 앞 절에서도 언급한 바와 같이 프론트홀 광 링크 용량이 증대되면서, 다양한 해결 방안에도 불구하고 광소자 부품 및 모듈의 파장당 속도 증대는 필연적인 상황이다. 이는 광소자의 동적속도 증대에 따른 동작파장 및 전송 선로 간의 상호 작용으로 발생하는 다양한 기술적 문제점들에 대한 해결책을 요구한다.

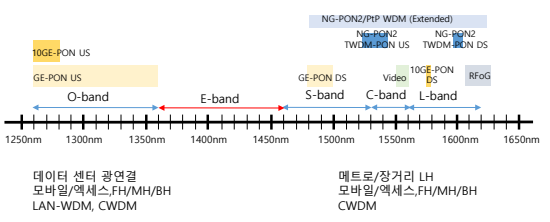


그림 2 액세스망을 위한 파장 할당 현황

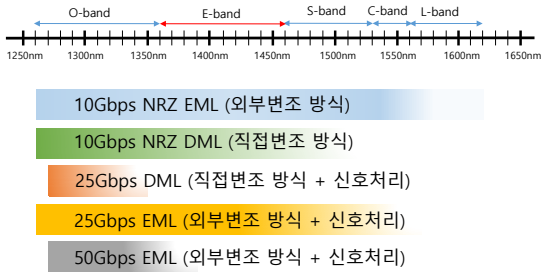


그림 3 단일모드 광섬유에서 10Gbps, 25Gbps 및 50Gbps 변조 속도 및 변조 방식에 따른 20km 전송 시 가능한 파장대역 범위

광섬유 분산 효과에 의한 광신호의 상호 간섭 허용 정도는 광섬유 길이(L)와 비트속도(B)^{2}의 곱으로 표현된다[7,8]. 이들 관계로부터 NRZ(Non-Return to Zero) 변조 신호 기준으로 125km×(10Gbps)^{2}은 대략적으로 20km×(25Gbps)^{2}와 동일한 분산효과를 가짐을 알 수 있다.

그림 3으로부터 단일모드 광섬유에서 20km 전송거리에 대해서 10Gbps 및 25Gbps 변조 시 EML (Electro-absorption Modulated Laser) 방식이 DML (Direct Modulated Laser) 방식보다, o-band 대역이 c-band 대역보다 광 링크에 월등히 유리함을 알 수 있다[7,8].

4. 모바일용 광소자 부품

광통신을 위한 광소자에는 직접변조 방식의 DFB(Distributed Feed-Back laser) 소자와 외부변조 방식의 EML 소자를 대표적으로 예시할 수 있다.

직접 변조방식을 대표하는 DFB의 경우 반도체 다이오드에 전기적 신호를 전류 형태로 인가하며, 소자의 구조와 동작이 매우 간단한 장점이 있다. 반면, 전류 주입에 의한 레이저 신호에 유입되는 처프(Chirp) 특성에 의해서 고속 변조 및 장거리 전송 시 광섬유의 색분산 특성과 결합하여 신호 품질 저하를 일으킨다.

반면, 외부변조 소자의 대표인 EML 소자는 DFB 소자와 광변조 소자를 결합하여, DFB에서 일정한 세기로 방출하는 레이저를 광변조기 부에서 전기신호에 의해서 전광변환을 하는 소자이다. DFB에 비하여 소자 제작의 복잡성을 가지나, 상대적으로 광 신호 생성 시 처프가 낮아 신호의 품질이 우수하고 장거리 송신에 유리하다[7,8].

다음에서는 5G 기지국 프론트홀 지원을 위한 광소자 부품 개발 국내 동향을 소개한다. 세계 최초로 5G 상용 서비스에 성공한 대한민국에서 진행되었던 대표적인 결과로 25Gbps-20km 적용이 가능한 EML, DFB 및 파장가변소자 등의 개발 결과들이다.

가. EML 광소자 및 부품 기술

EML은 단일 모드 DFB와 EAM(Electro-Absorption Modulator)의 집적된 소자이다. EML은 각 소자의 안정적인 정(static) 특성 및 동(dynamic) 특성이 확보되어야 할 뿐만 아니라, 고속 동작 상황에서 두 소자 간의 상호 간섭 작용으로 발생하는 전기/광학적 cross-talk을 제어하여야 한다[9]. 또한, c-band에서 동작하는 EML은 전송선로 상에서 색분산 효과를 고려해야 하며, 장거리 전송을 목적으로 하는 경우에 negative chirp 특성을 갖도록 설계 및 제작하는 것이 중요하다. InGaAsP 기반의 다중양자우물(Multiple Quantum Wells)을 이용하여 negative chirp 특성을 갖도록 설계하였으며, EML의 제작에서는 재성장 및 공정을 포함한 집적화 제작과정에서 공정조건에 민감한 doping profile 제어가 소자 성능 확보에 중요하다[10].

그림 4는 한국전자통신연구원(ETRI)에서 개발된 25Gbps급 InGaAsP EML 칩과 ETRI 칩을 내장하여 국내 광부품 업체에서 제작한 SFP28(Small

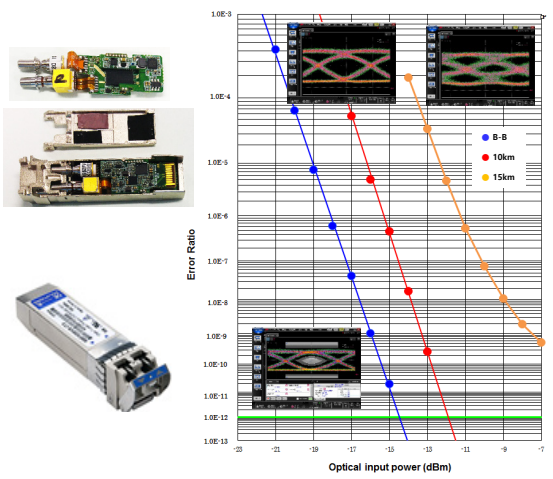


그림 4 InGaAsP 기반의 EML칩, EML칩이 실장된 TOSA, PCB assembly 및 SFP28(좌), 개발된 SFP28의 전송 특성

Form-Factor Pluggable) 광송수신기의 성능을 보여준다. 무엇보다도 개발된 25G EML 소자의 특징은 색 분산 특성이 큰 c-band에 맞추어 개발되었으며, 처프 제어 및 SOA 집적을 통하여 20km 전송 확장이 가능함도 확인하였다. 동적 특성 달성을 위해 단순한 lumped 전극을 채택하여 38GHz 이상의 RF 응답특성까지 확보하였다. 간결한 EML 소자 구조를 채택함으로써 동일한 소자 설계 사상과 공정기술을 활용하여 o-band 대역 등에 쉽게 적용되도록 개발되었다. 이러한 기술적 바탕을 활용하여 국내 기업에서는 ETRI와 기술 협력을 통하여 양산 기술개발을 진행하고 있다.

이는 정부 주도의 5G 지원정책으로 추진된 산업체와 연구기관 협력 개발 성과의 결과물과 이를 기반으로 산업체의 대규모 투자 유도와 기업의 양산 기술개발을 위한 산·연 협력의 대표적 사례의 하나라고 할 수 있다.

나. DFB 광소자 및 부품 기술

광섬유의 분산 보상이 중요한 c-band의 경우에는 EML 소자에 대한 기술개발을 통하여 향후 o-band 적용에 필요한 핵심기술을 확보하였다. DFB 소자의 경우는 다소 고려해야 할 사항이 존재하는데, 직접변조에 의한 transient 처프와 c-band 대역의 큰 색 분산 특성이 큰 걸림돌이다[7,8]. 또한 직접 변조 시에는 소자가 고속 응답하기 위해서는 주입전류에 의한 미분 이득이 큰 소재가 요구된다[11]. 높은 미분이득을 갖는 InAlGaAs 활성층의 도입이 직접변조 방식에서는 중요하다. 본 개발에서는 광섬유의 낮은 분산특성으로 장거리전송에 유리한 o-band 대역에서 동작하는 DML 개발을 목표로 연구를 수행하였다.

그림 5는 InAlGaAs 활성층을 기반으로 하는 DFB 소자를 제작 후, 측정한 칩 이미지와 특성이다. 소자는 reverse mesa ridge waveguide 구조로 구현하였고, λ/4 위상 천이(phase-shifted) grating 구조와 칩 양 단면을 무반사 coating하여 높은 단일 모드 수율을 갖도록 하였다. 25Gbps 동작을 위해서는 칩 길이가 통상적인 10Gbps급 300μm 칩 길이에 비해 짧아야 하며, 150μm, 200μm 및 250μm 길이로 각각

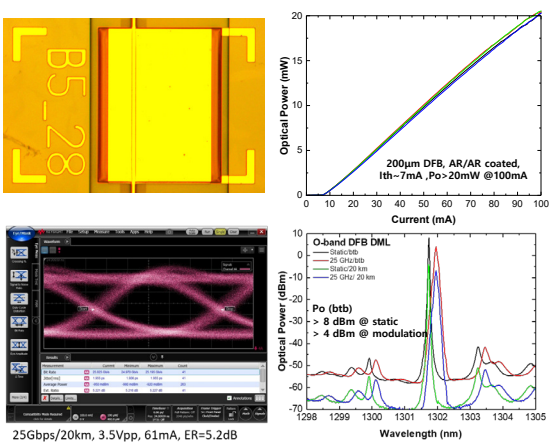


그림 5 25Gbps InAlGaAs DFB 칩(좌상), 주입 번류에 대한 광출력 특성(우상), 25Gbps 동특성(좌하) 및 동적 스펙트럼 특성(우하)

제작하였다. 광신호의 SMSR(Side-Mode Suppression Ratio)은 45~50dB로 측정되었으며, 100mA 이상의 전류에서도 단일-모드를 유지함으로써 개발된 DFB 구조가 높은 수율로 그 특성이 우수함을 확인하였다.

InAlGaAs DFB 칩은 온도 특성상수 값인 To가 90K 이상의 높은 고온 특성, 칩 길이 250μm에서도 25Gbps 동작하여 칩 길이 확보를 위한 재성장이 필요 없는 구조적 장점을 보유하고 있다. O-band 뿐만 아니라 c-band 대역에서도 InAlGaAs 활성층 기반의 DFB를 개발 테스트하여 O-band와 동등 수준의 특성을 확인하였다. 핵심 결과들은 국내 산업체를 통하여 InAlGaAs DFB 칩 기반의 모듈 및 제품 개발 테스트가 진행 중이다.

O-band InAlGaAs DFB의 경우 우수한 To 특성, 높은 가격 경쟁력 등으로 향후, 옥외 기지국 모바일용 광소자 부품으로 폭발적 수요 증대가 예상되고 있다.

다. 파장가변 광소자 및 부품 기술

5G 기지국 프론트홀 전송용량 증대는 단순한 TDM(Time Division Multiplexing) 기반의 광전송 방식으로는 비용적 한계가 존재한다. 이를 해소하려는 방안 중의 하나가 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술이며, 여러 파장을 단일 광섬유에 묶어 전송함으로써 광선로 전송효율을 높임과 동시에 다수의 파장을 전송함으로써 광 링크 용량을 높일 수 있다. 이러한 WDM 방식에서 파장가변 광원을 사용함으로써 고정파장의 광소자 부품을 사용하는 것에 비하여 유지, 보수 및 관리 비용을 절감할 수 있다.

그림 6은 DBR(Distributed Bragg Reflector) 영역을 이용한 파장가변 레이저에 25Gbps에서 동작하는

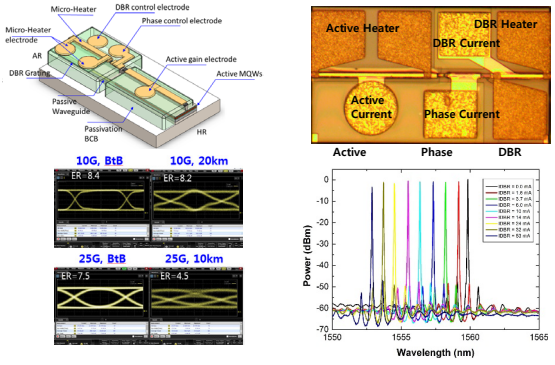


그림 6 DBR 파장가변 레이저(좌상), 마이크로 히터가 장착된 DBR 레이저(우상), 10Gbps/20Gbps 전송에 따른 특성(좌하), DBR 전극에 전류를 주입함에 따른 파장가변 특성(우하)

EAM을 집적한 파장가변 레이저이다. 레이저는 활성층인 양자우물을 포함하는 이득(gain) 영역과 파장가변을 위한 DBR 영역, 그리고 광변조를 위한 EAM 영역으로 구성되어 있다. DBR 영역은 Butt-joint 방식으로 집적된 수동 도파로 영역으로 구성하였으며, 전류 주입을 위한 전극을 구성하였다. 파장가변 동작의 경우 DBR 영역에 전류를 주입하면 단파장으로 발진파장이 이동하며, 대략 전류주입 방법에 의해서 6~7nm 정도 가변이 가능하다. 별도로 마이크로 히터를 장착하여 열을 가할 경우 장파장으로 대략 5nm 이상의 파장가변이 가능하다. 대략 두 가지 방법을 조합함으로써 약 12nm 이상의 파장가변이 가능한 파장가변 레이저 광원 구조이다. 전체 영역에서 SMSR은 약 45dB 이상으로 나타났다.

대한민국의 경우 이미 세계 최고의 WDM-PON 기술을 보유하고 있으며, 관련 핵심 소자 부품 기술이 산업체에 내재화되어 있다. 이러한 기반은 국내 통신사에서 모바일 및 액세스용 광 부품으로 활용되고 있으며[12], 이러한 파장가변 광소자 부품 기술들은 향후 통신망의 지속적인 업그레이

드에 활용될 것으로 기대되고 있다.

라. 고차 변조 소자 및 부품 기술

5G 프론트홀에서의 전송용량을 해결하는 방법의 다른 하나는 종래의 NRZ 신호에서 광신호 심볼당 비트수를 높여 전송하는 방법이다[13]. 상대적으로 저렴한 10Gbps급 광 부품을 이용하여 PAM(Pulse Amplitude Modulation)4 25Gbps – 20km 전송은 효과적인 방안으로 기대된다.

특히, WDM-PON용 광 부품 기술 개발에서 개발된 colorless 특성을 갖는 REAM(Reflective Electro-Absorption Modulator) – SOA(Semiconductor Optical Amplifier) 소자의 활용은 파장가변 광원과 동일하게 유지, 보수 및 관리 비용을 절감할 수 있는 소자 특성을 가지고 있다[14].

그림 7은 REAM/SOA, TOSA(Transmitter Optical Sub-Assembly) 모듈 및 동적 특성을 나타낸다. REAM/SOA의 동 특성은 NRZ 25Gbps 이상 동작하였다. REAM/SOA TOSA 모듈은 PAM4 25Gbps 변조를 통하여 c-band 대역에서 안정적으로 20km 이상 전송이 가능하였다. 또한, PAM4 50Gbps 변조 신호도 FEC(Forward Error Correction)/EDC(Electronic Dispersion Compensation) 기술 등을 활용

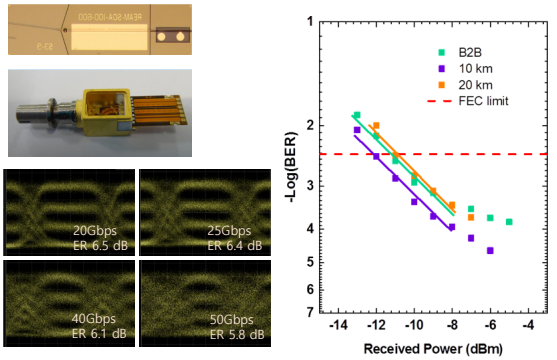


그림 7 REAM/SOA 칩 및 TOSA(좌상), BER 전송 특성(우상) 및 Eye 전송특성(하)

하여 전송거리를 20km까지 확대가 가능할 것으로 기대된다.

무엇보다도 REAM-SOA는 약 18nm 이상 파장 범위에서 주입 광신호의 파장에 무관하게 동일한 특성으로 동작함으로써 WDM 방식 적용 시 Inventory의 장점을 갖고 있다. 또한, PAM4와 같은 고차 변조기술을 적용하여 상대적으로 저렴한 광학 부품을 활용하여, 5G 모바일에서 요구하는 광링크 용량을 제공할 수 있어 다양한 광연결 장치에 적용이 기대된다.

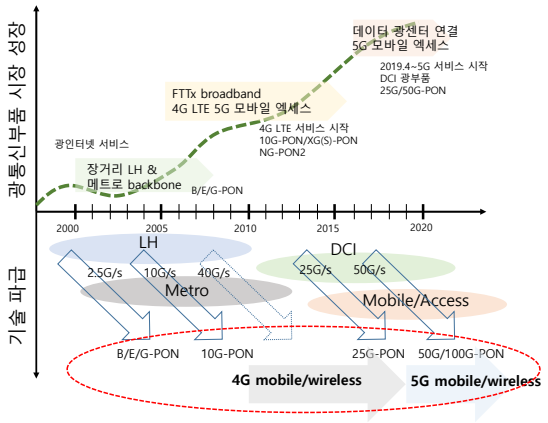
Ⅲ. 모바일 광 부품기술 전망

1. 국외 기술 및 시장 동향

최근, 전 세계 광 부품 시장을 견인하고 있는 것은 5G 모바일/액세스 네트워크와 데이터센터용 광 부품이다. 그림 8에서 살펴보듯이, 2000년도를 기점으로 장거리 광통신망이 포설되기 시작한 이후로 2010년경에 광가입자망, 2015년경에 데이터센터 구축 및 그리고 2020년 5G 모바일 네트워크 구축이 광 부품 시장의 성장을 지속적으로 이끌어 왔다[15,16].

광통신 분야의 분류 체계는 LH(Long-Haul)과 metro를 합쳐 WAN(Wide Area Network), 유선 및 모바일을 합쳐 Access 및 데이터 센터 연결 중심의 Datacom으로 분류하고 있다. 적용 분야별 특성을 살펴보면,

1) WAN 광 부품의 경우 기술적 난이도가 높고, 파장당 전송속도가 매우 높은 고가의 광 부품에 의존성이 높으며,
2) Access용 광 부품의 경우 저가의 매우 많은 물량 특성과 최근의 5G 모바일로 인하여 파장당 고속화 경향을 가지며,
3) Datacom은 2010년경 이후 데이터센터 구축



출처 ECOC/OFC 등 자료 참조하여 ETRI에서 도표 편집 작성

그림 8 연차별 광통신 시장 성장 동력과 적용 영역간의 기술 파급 경향성

으로 급성장하여 가격 경쟁력과 많은 물량을 공급할 수 있어야 하며, 기술적으로는 모듈 내에 4개 혹은 8개의 광 부품 lane을 이용하여 속도를 높여가는 방식의 광모듈 실장화 기술에 의존하는 특성을 가지고 있다.

또한, 그림 8에는 최근의 광통신 부품 기술의 적용영역 간의 전이(transfer) 특성도 나타내었다. 전통적으로 LH의 높은 기술이 점차로 metro로 다시 근거리의 access로 이전되는 기술 중심의 방식에서, 최근에는 시장규모가 커진 데이터 센터용 규격이 모바일/액세스로 전이되는 시장규모화 및 기술 공통화에 기반한 방식의 나타나고 있다.

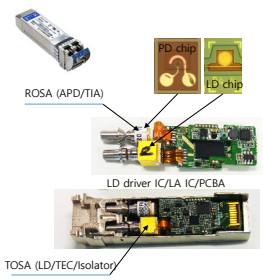
이미, 광트랜시버의 경우 데이터 센터의 표준 모듈인 pluggable기반의 form factor가 광통신 전 적용영역으로 확장되었으며, 이를 통한 제조사에 무관하고 다양한 시스템 간의 호환성을 고려한 산업표준에 기반하고 있으며, 광소자 부품의 성능 규격 또한 기술적 공통화 과정을 거치고 있음을 뚜렷하게 보여준다.

비록 본 고에서는 주로 화합물 반도체 중심의 광 부품 기술과 모바일 적용에 국한하여 논하였지만, 서구의 광통신 산업은 실리콘 포토닉스를 필두로 광통신 부품산업을 전통적인 다품종 소량산업에서 제조 기술의 공통 플랫폼화를 통하여 CMOS (Complementary Metal – Oxide – Semiconductor) 반도체 산업의 대량 생산화 방식으로 진화하고 있다. 중국 등과 같은 저가 노동력중심의 제조업에 대항하기 위한 서구 산업체의 경쟁력 확보 전략 중의 하나로 이해된다.

이러한 전략은 대량생산과 공급이 가능하여 높은 가격 경쟁력 확보가 가능하고, 궁극적으로 규모의 경제화 추구를 통하여, 전 세계 광 부품 시장을 주도하려는 전략이다. 이미 실리콘 포토닉스 기술을 통하여 다양한 칩 제조의 단일 플랫폼화가 이루어졌으며, 데이터센터–모바일/액세스, 데이터센터–WAN 적용 분야 간의 소자부품의 기술적 공통 플랫폼화 등이 진행되고 있다. 향후, 이를 통하여 다양한 소자 부품과 적용 영역에 필요한 기술을 단일 플랫폼화함으로써 광 통신 시장에서 경쟁력 우위를 차지하기 위한 경향이 뚜렷해지고 있다.

2. 국내 현안 및 전망

국내 광 부품 산업은 2019년 기준으로 5%대의 세계 시장점유율과 국내 생산 규모 약 5,000억 원대로 성장하였으며, 세계 최초의 5G 상용화 서비스망 구축에 크게 기여하고 있다. 모바일/액세스 분야가 국내 광 부품 산업의 주류로서 역할을 해왔지만, 앞에서 언급한 바와 같이 여전히 고부가 칩 제품에 대한 해외 의존도가 높다. 광 네트워크에서 핵심 제품인 광트랜시버의 경우, 그림 9에서 보이듯이 광소자 칩 및 광 모듈 가격비중이 80% 이상을 상회하고 있으며, 핵심 부품의 대부분을 외산에 의존하고 있다.

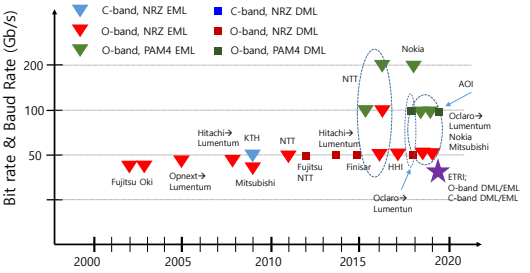


80km SFP+

Components		Vendors	%	Comments
TOSA		일본	68 %	EML
ROSA		일본	21 %	
PCBA		국내	1.7 %	
IC	EML LDD	일본	4.7 %	
	CDR	미국	1.4 %	
	μ-Pro	미국	0.6 %	
	RLC chips	국내	0.1 %	
	IC	-	1.5 %	
Mechanics		자체 제작	0.5 %	금형비 4천만원
기타			0.2 %	포장, Dust cap
Total			100 %	

출처 국내 광 부품 업체 설문을 참조하여 ETRI에서 편집

그림 9 광트랜시버 구성도(좌), 1,550nm 10G-80km IT SFP+의 재료 원가 비중 예시(우)



출처 ECOC/OFC 등 자료 참조하여 ETRI에서 도표 편집 작성

그림 10 EML/DML 소자의 NRZ 및 PAM4 변조 속도 기술 개발 현황

광네트워크 기술은 광소자 부품의 성능 및 기능, 그리고 가격에 크게 의존하고 있다. 대표적인 예로써 세계 최고의 기술을 보유했던 WDM-PON은 경제적 관점에서 크게 확산되지 못했었고, 가장 주된 원인은 광 부품에 기반한 낮은 가격 경쟁력 사례를 상기할 필요가 있어 보인다. ICT 기반 구축을 통하여 후방 산업 성장에 기여한 역할도 매우 중요했지만, 광 부품 산업은 이미 그 자체로도 매우 큰 세계 시장이 되었다. 과거와 달리 신규 망 구축이나 증설 시 핵심 부품 수급 문제점이 미칠 영향을 일본 수출규제 사건으로도 학습하였다.

그림 10은 화합물반도체 기반 DFB/EML 소자의 변조속도 및 전송기술의 동향을 나타내었다. 이미, 선진 기업들은 장기간의 기술개발 투자를 통하여 NRZ 56Gbps/NRZ 100Gbps 급의 기술개발 결과들을 발표 및 상용화 단계에 진입하고 있다[11]. 국내에서도 근접한 수준의 R&D 결과들을 일부 보유하고 있으나, 상용화 및 산업체와의 연계 관점에서는 다소 뒤처져 있다.

대한민국은 조기 5G 상용화 서비스를 위한 지원 정책으로 국가 미래 사회 변혁을 준비하였고, 최근 일련의 코로나19 팬데믹은 비대면 서비스를 위한 네트워크 기반의 중요성을 부각시킴으로써 큰 빛을 발휘하였으며, 산업적으로는 미약했던 광 부품 산업이 규모나 기술 경쟁력에서 한 단계 성장하는 계기가 되게 하였다.

코로나19 팬데믹은 우리 사회를 5G 시대에서 안주하지 않고 5G+/6G로의 진화를 더욱 재촉할 것으로 예상된다. 그림 11에는 국내 광 부품 산업이 모바일/액세스 분야에서 당면한 기술 및 시장적용 과제를 나타내고 있다. 모바일/액세스 광 부품은 근본적으로 옥외(Outdoor) 환경에서 사용되는 소자 부품이다. 모바일/액세스뿐만 아니라 데이터 센터용으로 파장당 50Gbps/100Gbps 광소자 부품의 수요 증가, 낮은 소모전력의 InAlGaAs 소재 기반의 IT, super-IT급 광모듈 및 PAM4와 같은 고차 변조기술 요구에 대응하여야 한다.

5G mmWave 주파수 대역의 확대는 기지국 밀도가 높아져 더 많은 광 부품 수요가 예측되고 있다. 소자 칩 기술에 대한 국내산업 내재화가 바탕이 되어야 가격, 기술 경쟁력 및 규모 중심의 데이터 센터와 같은 큰 시장 진입이 가능해져 더욱 큰 산업 성장이 가능해질 것이다. 또한 mmWave에 따른 옥내(Indoor) 모바일 서비스 제공의 필요성 증대로 인한 In-door/In-building 연결을 위한 광 부품 수요가 급증할 것으로 예상되며, 이에 대한 대응도 필

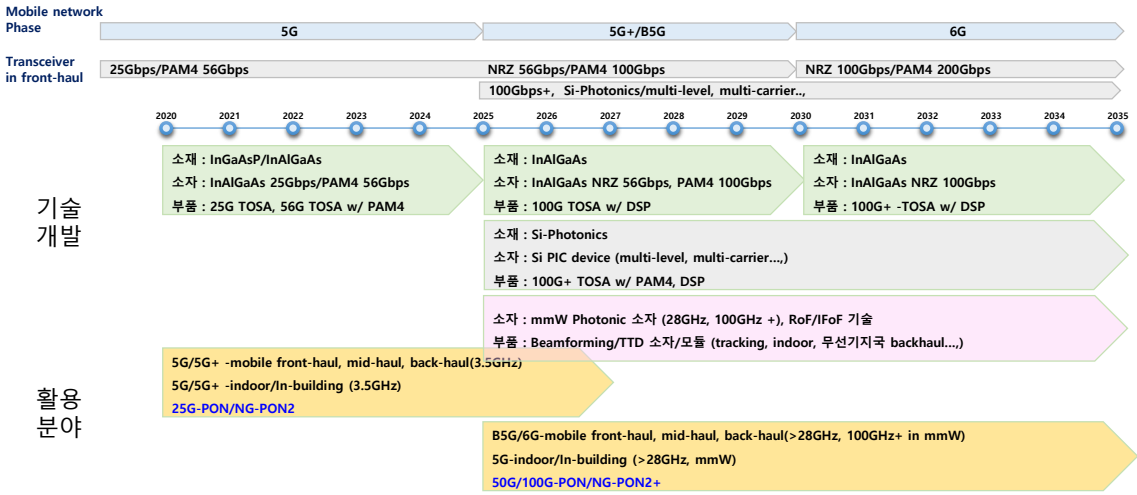


그림 11 국내 광 부품 산업의 모바일/액세스 기술 전망

요할 것이다.

Ⅳ. 결론

본 고에서는 세계적으로 선도적인 5G 상용망 구축과 관련한 국내의 모바일/액세스 광 부품 기술에 대해서 살펴보았다. 5G 세계 최초 및 최고의 영광과 함께, 연이어 벌어진 일본의 핵심 소재 부품 수출규제와 코로나19 펜데믹으로부터 모바일/액세스 광 부품 산업이 국가적으로 중요한 이유는 다음과 같이 명백한 것 같다.

첫째, 코로나19 팬데믹을 통하여 대한민국은 그 어떤 국가보다도 우수한 공공 네트워크 기반으로 인하여 모범적인 대응이 가능했고, 이는 유·무선 인터넷 망에 따른 신속한 정보 유통 역량의 보유가 큰 몫을 담당하였다. 또한 현실에서 코로나19는 폭발적인 비대면 서비스 증가로 네트워크 트래픽을 일으켜, 더욱더 공공 네트워크 기반의 중요성을 각인시켰다.

둘째, 세계 최초의 5G 상용서비스 개시의 과정에서 일본의 핵심 소재 부품에 대한 수출규제는 선도적인 공공 네트워크 구축 시, 핵심 부품의 중요성과 관련 품목에 대한 해외 의존도가 국가 정책적 종속뿐만 아니라 산업경제 체질에서도 큰 변혁이 필요함을 우리들에게 일깨워줬다.

1990년 말 광인터넷이 상용화 서비스를 개시하였다. 당시에 ETRI는 광소자 불모지인 대한민국에서 1.25G/2.5G 광소자 부품을 개발하였으며, 사업화를 위해 삼성에 기술 이전을 시작으로 광 네트워크 산업의 주요 일원이 되었다. 30년이 지난 지금 ETRI 광 부품 기술은 5G 상용서비스에 기여하였고, 산업체와 협력하여 네트워크의 핵심인 광소자 부품의 국산화 및 양산화를 위해 협력하고 있다.

핵심 네트워크 부품 기술개발에 대한 정부의 지속적인 R&D 투자와 기술혁신을 위해 매진하는 산업체 및 연구기관의 노력으로 세계 최초 5G 상용화를 넘어 세계 최고의 5G 기반의 4차 산업혁명을 주도할 대한민국 광 네트워크 부품 산업의 미래를 기대해 본다.

용어해설

Chromatic dispersion 광섬유 매질에서 레이저의 주파수가 높을수록 굴절률을 크게 느껴 진행속도가 늦어지고, 주파수가 낮을수록 진행속도가 빠른 현상으로, 일반적으로 백색광을 프리즘에 투과시켰을 때 나타나는 현상과 동일한 원리의 현상임

Chirp 시간적으로 일정한 세기의 레이저의 주파수는 폭이 매우 좁고 단일하지만, 전기신호에 의한 광신호 변환 과정에 의해서 시간 축상에서 광세기 변화는 파장 축에서 주파수 폭이 넓어지는 현상으로, 이로 인해 생성된 광 신호는 광섬유와 색분산에 의해서 시간 축에서 신호 심볼의 왜곡을 발생시키는 원인이 됨

약어 정리

CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CPRI	Common Public Radio Interface
DBR	Distributed Bragg Reflector
DFB	Distributed Feed-Back
DML	Direct Modulated Laser
EAM	Electro-Absorption Modulator
EDC	Electronic Dispersion Compensation
EML	Electro-absorption Modulated Laser
FEC	Forward Error Correction
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output
NRZ	Non-Return to Zero
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PON	Passive Optical Network
REAM	Reflective Electro-absorption Modulator
SFP	Small Form-Factor Pluggable
SMSR	Side-Mode Suppression Ratio
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
TDM	Time Division Multiplexing
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing

참고문헌

[1] 과학기술정보통신부, "상상이 현실이 되는 5세대(5G) 이동통신 세상, 대한민국이 가장 먼저 시작합니다," 대한민국 정책 브리핑, Apr. 2019.

[2] Rec. ITU-R M.2083-0, IMT Vision-Framework and Overall Objectives of the future Development of IMT for 2020 and Beyond, Sept. 2015.

[3] 과학기술정보통신부, "일 수출규제에 따른 ICT분야 영향 점검회의," 정부 24, Aug. 2019.

[4] 과학기술정보통신부, "포스트 코로나시대, 정보통신기술(ICT)에서 답을 찾다," 보도자료, May. 2020.

[5] http://www.gkf.kr/

[6] http://www.cpri.info/

[7] T. Funada, "Brief consideration about loss budget and wavelength allocation," IEEE P802.3ca 100G-EPON, Mar, 2016.

[8] D. Umeda, "25G NRZ Transmission," IEEE P802.3ca 100G-PON Task Force meeting, Macao, Mar. 2016.

[9] M. Suzuki et al., "Electrical and Optical Interactions between Integrated InGaAsP/InP DFB Lasers and Electroabsorption Modulators," J. Lightw. Technol., vol. 6, no. 6, 1988, pp. 779-785.

[10] N. Kim et al., "25Gbps Electroabsorption modulated DFB laser diodes for digital fronthaul network," in Proc. Opto-Electron. Commun. Conf. (Jeju Island, Rep. of Korea), July 2018.

[11] K. Uomi, "Ultra High-Speed Quantum-Well Semiconductor Lasers," a tutorial at 2019 OFC, Apr. 2019.

[12] Seungjoo Hong et al., "SK telecom's High Capacity Mobile Fronyhaul Solution 5G-PON," MWCS 2018 Future Broadband Forum, June 2018.

[13] M. D. Santa et al., "Power Budget Improvement in Passive Optical Networks Using PAM4 Hierarchical Modulation," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 29, no. 20, Oct. 2017, pp. 1747-1750.

[14] D.-H. Lee et al., "Design and performance of 10-Gb/s L-band REAM-SOA for OLT Transmitter in next generation access networks," Optics Express, vol. 23, no. 3, Jan. 2015, pp. 2339-2346.

[15] M. Finch "Optical fiber and cable industry review," in CRU report, Feb. 2018.

[16] Ed Harstead, "NG PON and 5G," Market focus in 2019 ECOC, Sept. 2019.