

5G 모바일 프론트홀 광전송 기술 동향

Enhancement of Optical Transport Technology for 5G Mobile Fronthaul

장순혁 (S.H. Chang, shchang@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원
 황인기 (I.K. Hwang, ikhwang74@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원
 강현식 (H.S. Kang, gadin@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원
 이승우 (S.-W. Lee, beewoo@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원
 이준기 (J.K. Lee, juneki@etri.re.kr) 광네트워크연구실 책임연구원/실장

ABSTRACT

This paper provides an overview of optical transport technology for 5G mobile fronthaul. The configuration of fronthaul network is classified with dedicated fiber, passive WDM(Wavelength Division Multiplexing), active WDM, and semi-active WDM, which has its own advantages and drawbacks. Various WDM technology is applied for fronthaul transport, depending on the wavelength bands, required number of wavelength channels, configuration of fronthaul network, etc. In order to meet the increasing transport capacity, a 50/100 Gbps optical transceiver will be used in place of the present 10/25 Gbps technology. Trends will be continued to enhance the flexibility and reliability of the fronthaul optical network supporting highly advanced 5G mobile services.

KEYWORDS 5G, 광전송, 광트랜시버, 엑스홀, 프론트홀

1. 서론

2019년 4월 세계 최초로 한국에서 5G 이동통신 상용화 서비스가 시작된 이후로 5G 서비스는 괄목할 만한 성장세를 보이고 있다. 에릭슨 모빌리티 리포트에 따르면 2021년 말에 전 세계적으로 200개의 MNO(Mobile Network Operator)가 5G 서비스를 시작하였으며, 5G 가입은 6억 6천만 건을 넘어선 것으로 집계되고 있다[1]. 5G의 RAN(Radio

Access Network)은 높은 성능을 보장하고 확장성을 확보하는 한편, 낮은 비용으로 구축할 수 있도록 C-RAN(Centralized or Cloud RAN) 구조로 발전하고 있다. 5G 기지국(Base Station)은 세부 기능 분리에 따라 RU(Radio Unit), DU(Distributed Unit), CU(Central Unit)로 분화될 수 있다[2]. 셀 사이트의 안테나를 포함하는 RU와 실시간 처리가 가능한 L1/L2 기능을 담당하는 DU 사이의 전송 구간을 프론트홀(Fronthaul)이라 한다. CU는 비실시간 처리가 가능

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2022.J.370303>

* 본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2020-0-00847, 5G+ 기지국 프론트홀 기술 개발].

한 L2/L3 기능을 포함하는데, DU와 공간적으로 분리될 수 있으며 이 전송 구간을 미드홀(Mid-Haul)이라 부른다. 프론트홀은 보통 10~15km, 최대 20km 거리로 구성되며, 미드홀은 보통 40km 이내, 최대 80km의 거리로 형성된다.

RAN 장비들이 공간적으로 분리됨에 따라 광섬유를 이용한 광선로에 의해 서로 연결되며 광선로의 특성에 따른 광전송 기술이 요구된다. 특히, 5G에서 요구되는 광대역, 초신뢰, 저지연 서비스를 만족하기 위한 RAN 구조를 위해 여러 형태의 프론트홀 광전송 기술이 개발되고 실제 현장에서 구축되고 있다. 본고에서는 5G 프론트홀에 적용되는 광전송 기술 현황을 소개하고 향후 발전 방향을 조망하였다.

II. 프론트홀 광 네트워크 구성

프론트홀에 적용할 수 있는 광 네트워크 구성 방식에 따라 그림 1과 같이 구분할 수 있다. 그림 1에서 (a) dedicated fiber, (b) passive WDM(Wavelength Division Multiplexing), (c) active WDM, (d) semi-active WDM의 방식을 나타낸 것으로 각 방식의 특징은 다음과 같다.

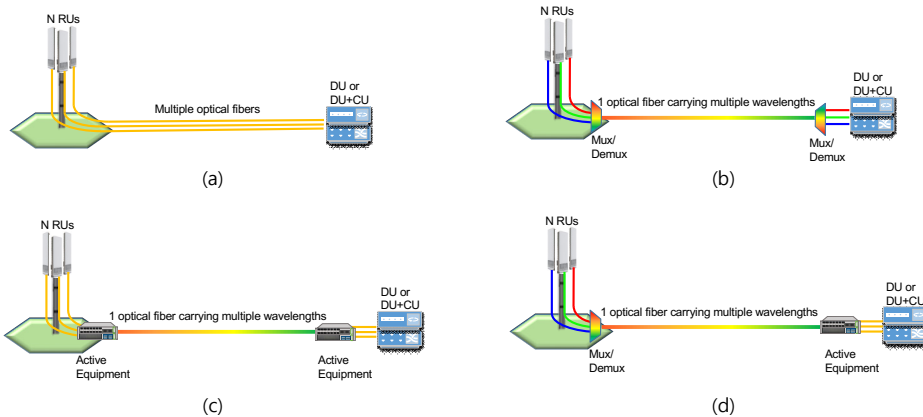


그림 1 프론트홀 광 네트워크 구성 방식:
(a) dedicated fiber, (b) passive WDM, (c) active WDM, (d) semi-active WDM

1. Dedicated fiber

그림 1(a)에서는 RU에서 DU까지 연결하는 데 필요한 개수만큼 광섬유를 사용하는 광 네트워크 구성을 보이고 있다. RU의 커넥션을 위해 광트랜시버를 사용하여 광섬유로 직접 연결되는 방식이다. 1개의 RU에 1개의 광 인터페이스가 있는 경우, 업링크(Uplink), 다운링크(Downlink) 용도로 각각 광섬유가 필요하므로, N개의 RU를 연결하기 위해서는 2N개의 광섬유 연결이 요구된다. 광트랜시버 기준으로는 송신용(Tx), 수신용(Rx) 별개의 광섬유에 연결되는 것으로 이해할 수 있다.

한편, 광트랜시버가 Tx, Rx 서로 다른 파장을 사용하는 양방향(BiDi: BiDirectional) 광트랜시버를 사용하는 경우, 한 가닥의 광섬유를 이용하여 양방향 통신이 가능하므로 같은 경우에서 N개의 광섬유로 연결이 가능하다.

이 방식은 추가적인 장비 등이 요구되지 않으므로 구축이 간단하여 충분히 많은 포설된 광섬유를 보유하고 있다면 가장 쉽게 접근할 수 있는 구축 방식이다. 그러나 많은 개수의 광섬유가 요구되므로 확장성에 한계가 있다.

2. Passive WDM

Passive WDM 방식은 그림 1(b)와 같이 RU에 WDM용 광트랜시버를 직접 연결하는 경우이다. 각각의 RU에 연결되는 광트랜시버는 서로 다른 파장 채널로 동작하며, 여러 개의 RU에서 출력되는 여러 개의 파장 채널을 광 다중화기(Optical Multiplexer)에 의해 다중화하여 1개의 광섬유로 전달한다. 1개의 광섬유를 이용하여 여러 파장 채널을 전달하는 WDM 광전송 방식으로 동작한다. N개의 RU를 연결하는 경우 Tx, Rx용 서로 다른 파장이 필요하므로 2N개의 파장 채널을 사용하게 된다.

이 방식은 광섬유의 개수를 현저히 감소시킬 수 있으며, 부가적인 전송 장비를 사용하지 않아 비용이 낮고 에너지 효율이 좋은 장점을 가진다. 그러나 점 대 점 연결로 국한되므로 프론트홀 네트워크의 유연성 및 보호(Protection) 등에서 한계를 가진다. 특히 OAM(Operations, Administration and Maintenance) 기능이 없거나 제한적인 기능만 가능하며, 유지 보수에 어려움이 있을 수 있다.

3. Active WDM

그림 1(c)에서는 능동형 전송 장비(Active Equipment)를 사용하는 active WDM의 경우를 보이고 있다. RU와 능동형 전송 장비 사이는 grey 광트랜시버를 사용하여 짧은 길이의 광섬유를 이용하여 연결된다. Grey 광트랜시버는 파장 채널을 가지는 WDM용이 아닌 광트랜시버를 의미하며, WDM용 광트랜시버에 비하여 비용 측면의 장점을 가진다.

능동형 전송 장비에서는 RU 또는 DU 방향의 grey 광트랜시버 연결을, 프론트홀 전송 방향의 WDM용 광트랜시버로 변환한다. 또한, 여러 개의

WDM용 광트랜시버 출력은 광 다중화기를 이용하여 파장 채널을 다중화하여 1개의 광섬유를 이용하여 전송한다.

능동형 전송 장비의 기능에 따라 active transparent WDM과 active framed WDM으로 구분될 수 있다. Active transparent WDM의 경우는 RU/DU 방향의 grey 광트랜시버를 WDM용 광트랜시버로 1:1로 변환하는 역할을 하는 반면, active framed WDM의 경우는 RU/DU 방향의 신호들을 전송용 디지털 프레임을 이용하여 다중화(Multiplexing)와 aggregation을 거쳐 WDM용 광트랜시버로 연결하게 된다. 이때 사용되는 전송 프레임은 이더넷 또는 OTN(Optical Transport Network) 프레임을 사용할 수 있다. 예를 들어 grey 광트랜시버는 10Gbps를 사용하는 경우, 여러 개의 신호를 다중화하여 25Gbps 또는 50Gbps의 WDM용 광트랜시버를 이용하여 프론트홀 전송을 하는 방식이다.

Active WDM는 여러 개의 파장 채널을 사용하므로 광섬유의 개수를 현저히 감소시킬 수 있으며, 능동형 전송 장비를 이용한 높은 수준의 OAM 기능의 구현이 가능하여 프론트홀 네트워크의 구성이나 관리 보수 면에서 장점을 가진다. 또한, 추가 설치하는데 있어 다른 RU/DU 등의 RAN 장비들에 영향이 없어 빠른 설치가 가능하다. 점 대 점(Point-to-Point) 연결, 점 대 다중점(Point-to-Multipoint), 링(Ring)형 등 다양한 망의 토폴로지가 가능하며, 네트워크의 보호 기능을 쉽게 구현할 수 있다.

Active WDM은 능동형 전송 장비 사용에 따라 전력 소모나 공간 이용 문제로 인해 구축 비용이 상대적으로 비싼 점이 있다. 그러나 프론트홀의 전송 용량이 증가함에 따라 프론트홀 네트워크의 유지 관리의 중요성이 높아졌고, 이에 따라 active WDM 방식에 대한 관심이 높아지고 있다.

4. Semi-active WDM

그림 1(d)는 semi-active WDM 방식을 보이고 있다. 셀 사이트에서는 광 다중화기를 사용하여 WDM 파장 채널을 다중화하고, DU 앞에서는 능동형 전송 장비를 사용하고 있다. 이 방식은 셀 사이트에서 부가적인 전력을 사용할 필요가 없는 passive WDM 방식의 장점을 가진다. 이와 함께 능동형 전송 장비를 사용하여 OAM 기능을 구현할 수 있어 네트워크의 신뢰성, 유연성을 높일 수 있다.

III. 프론트홀 네트워크 WDM 기술

프론트홀 네트워크를 연결하는 광선로로 사용되는 광섬유는 단일 모드 광섬유(SMF: Single Mode Fiber)이다. SMF의 특성은 표준으로 잘 정리되어 있으며 ITU-T의 G.652를 따른다[3]. SMF에서는 1,260~1,625nm 파장 대역을 광전송에 사용할 수 있으며, 이를 그림 2(a)와 같이 O-밴드, E-밴드, S-밴드, C-밴드, L-밴드로 구분하고 있다.

이 중에서 단거리의 데이터 통신에 주로 사용되는 O-밴드(1,260~1,360nm)와 광증폭기를 이용한 장거리 통신에 사용되는 C-밴드(1,530~1,565nm), L-밴드(1,565~1,625nm)는 광원 및 광소자 등 관련 기술과 시장이 갖추어져 있어 프론트홀 광전송에서 적극적인 활용이 가능한 파장 대역이다.

그림 2는 프론트홀에서 이용되고 있는 WDM 파장 채널을 설명하고 있다. 그림 2(a)에서는 CWDM (Coarse WDM) 파장 채널을 보이고 있다[4]. 각 파장 채널의 중심 파장은 1,271~1,611nm까지 20nm 간격이며, 각 파장 채널의 통과대역(Passband)은 13nm이다. 프론트홀 광전송 적용의 한 예를 들면, 1,271~1,371nm에서 6개의 파장 채널이 가능하므로 3개의 RU에 대하여 상향 3파장 채널, 하향 3파장

채널을 이용하는 WDM 방식의 프론트홀 구성이 가능하다.

그림 2(b)에서는 단거리의 데이터 통신에 많이 사용되는 LAN-WDM 파장 채널을 보이고 있다. 파장 채널의 간격은 800GHz(~4.5nm)이며, 통과대역은 2.5nm가 된다. 상향 4채널, 하향 4채널의 구성이 가능하다.

많은 수의 파장 채널을 이용하기 위하여 밀접한 파장 간격을 이용하는 DWDM(Dense WDM) 방식도 이용되고 있다. 국내 표준[5]에서는 각 CWDM 파장 채널의 통과대역을 다시 150GHz 또는 137.5GHz 간격으로 세분하여 16개의 DWDM 파장 채널을 정의하고 있다. 그림 2(c)에서는 1,291nm 대역을 150GHz 간격의 16개 파장 채널로 구분한 구성을 보이고 있다. 상향 8파장 채널, 하향 8파장 채널을 이용한 프론트홀 전송이 가능하다.

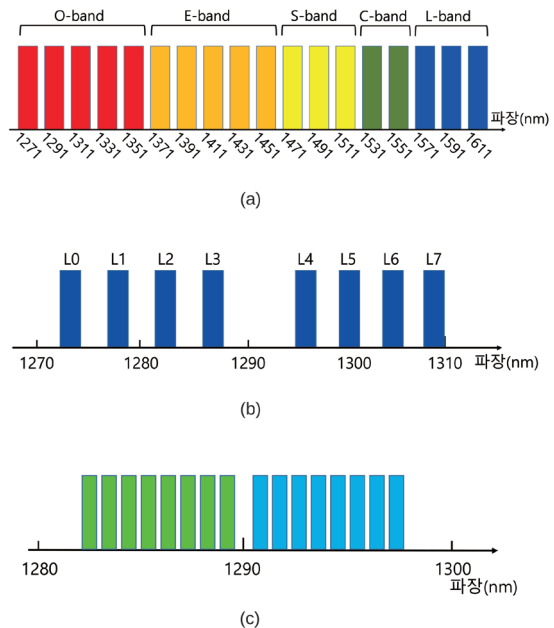


그림 2 WDM 파장 채널: (a) CWDM, (b) O-band LAN-WDM, (c) O-band DWDM

	CWDM	O-band LAN-WDM	O-band DWDM	C-band DWDM
Channel spacing	20nm	800GHz (~4.5nm)	150GHz (~0.83nm)	100GHz (~0.8nm)
Channel bandwidth (3dB passband)	13nm	~2.5nm	~0.5nm	~0.4nm
Guard band	7nm			
No. of wavelength channel	Typ. 6	8	16 (in a CWDM passband)	Typ. 40

그림 3 WDM 방식에 따른 파장 채널 특성

C-밴드 DWDM 기술은 장거리 광통신에서 많이 이용되고 있는 방식이다[6]. C-밴드에서 개발된 기존 기술을 활용하여 프론트홀에 적용하여 100GHz 간격의 40채널 DWDM 파장 채널을 이용할 수 있다. 또한, C-밴드에서는 파장 가변 광원이 잘 개발되어 있어 이의 적용이 가능하다.

그림 3에서는 앞에서 설명한 WDM 기술에 따른 특성 차이를 보이고 있다. DWDM 방식으로 파장 간격이 좁아질수록 파장 채널의 개수를 증가시킬 수 있는 장점을 가진다. 그러나 파장의 변동을 제어하고 파장 채널을 유지하기 위하여, 광원의 온도 제어 또는 파장 록커(Wavelength Locker) 등의 추가적인 기술이 요구된다. 반면, CWDM과 같이 파장 채널 간격이 넓은 경우는 상대적으로 저가의 광원을 적용할 수 있으나 파장 채널 수가 한정적이므로 확장성에 한계를 가진다.

프론트홀 광 네트워크를 구성하고 광전송 링크를 설계하는 데 있어 광섬유의 손실과 분산(Dispersion)에 의한 전송 페널티를 고려하여야 한다. O-밴드에서는 분산 계수가 $-6.4\sim 5.2\text{ps/nm/km}$ 로 작은 반면, 손실 계수는 0.4dB/km 정도로 다른 밴드에 비해 크다. 반면 C-밴드는 손실 계수는 0.3dB/km 이하로 작으나 분산은 최대 19ps/nm/km 의 값을 가진다[3].

광링크에서 발생하는 광 손실은 광섬유뿐만 아니라 광 다중화기 및 커넥터 등의 광 손실을 모두 고려하여야 한다. 그림 4에서는 passive WDM을 가정

	O-band	C-band
광섬유 손실(20km)	8dB	6dB
Optical multiplexer(2개)	6dB(16채널)	8dB(40채널)
Fiber connector loss (0.3dB/회)	1.2dB	1.8dB
분산 보상 광섬유	-	1.5dB
분산 페널티	1.0dB	1.0dB
광링크 손실	16.2dB	18.3dB

그림 4 광링크 손실 계산의 예

하여 프론트홀 광링크 손실 계산의 예를 보이고 있다. C-밴드에서는 분산 값이 커서 높은 전송 속도의 광신호를 보내기 위해서는 분산 보상이 요구된다. 프론트홀 네트워크를 구성할 때 WDM 방식, 파장 채널 등의 광전송 기술 선택에 따라 광링크의 특성이 다른 점을 고려하여야 한다. 특히 프론트홀에서 10/25Gbps 이상의 고속 신호를 전송하게 됨에 따라 광링크의 설계가 중요한 사항이 되고 있다.

IV. 프론트홀 광전송 기술의 변화

1. 프론트홀 전송 용량

4G LTE에서는 1개 채널의 주파수 대역폭이 최대 20MHz로 제한되었으며, 20MHz 주파수를 이용해 낼 수 있는 최대 속도는 150Mbps이었다. 이때 20MHz 주파수 대역폭, 2×2 MIMO를 사용하는 경우, 프론트홀의 CPRI(Common Public Radio Interface) 링크의 전송 속도는 2.46Gbps를 사용하였다.

4G LTE에서 CA(Carrier Aggregation)로 묶어 이론상 750Mbps의 속도를 낼 수 있도록 하였으며, 이러한 대역폭 확대와 CA 기술을 수용하기 위하여 CPRI 링크는 Option 7(9.83Gbps)~Option 10(24.33Gbps)의 전송 속도를 정의하고 있다[7].

국내의 경우 5G 서비스를 위해 3.5GHz 대역에서 최대 100MHz, 28GHz 대역에서 800MHz씩 각 무선 사업자에 할당되어 있으며, 정부에서는 ‘5G+ 스펙트럼 플랜안’에서 2026년까지 단계적으로 5G 주

3GPP Functional Split	Number in Gbps	4G LTE 2x2 MIMO, 20MHz	5G NR with massive MIMO, 200MHz			
			Hybrid Beamforming		Digital Beamforming	
		2 layers	100MHz, 4 layers	8 layers	16 layers	8x8 MIMO
Option 8	Per link	2.46	16.2	64.9	129.8	519.1
	Per cell (3 RU's)	7.37	48.7	194.6	389.3	1557.1
Option 7-1	Per link			~32	~65	~260
	Per cell (3 RU's)			~97	~195	~779
Option 7-2	Per link			~7	~13	~52
	Per cell (3 RU's)			~20	~39	~156

그림 5 프론트홀 광전송 링크의 전송 용량

파수 대역폭을 2배로 확장할 계획을 발표하였다[8]. 5G 사용 주파수 대역은 향후 단계적·지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 프론트홀의 전송 용량 역시 이에 비례하여 증가할 것으로 예측되고 있다.

그림 5에서는 프론트홀 광전송 링크의 전송 용량의 예로서, 5G 주파수폭 200MHz로 가정한 경우, 빔포밍(Beamforming) 및 기능 분리(Functional Split)에 따른 변화를 보이고 있다.

5G에서는 베이스밴드에서 디지털 빔포머를 사용함과 함께, 안테나에 연결된 위상천이기와 신호감쇄기의 위상 및 진폭 값을 변화하여 빔의 방향과 모양을 형성하는 하이브리드 빔포밍을 사용하고 있다. 향후 5G 그리고 6G 이동통신에서 적용을 목표로 전 디지털(All Digital) 빔포밍 방식이 많이 연구되고 있다.

그림 5에서 16layer의 하이브리드 빔포밍을 사용하는 경우, CPRI 링크당 129.8Gbps의 전송 용량이 요구되며, 8x8 MIMO를 사용하는 디지털 빔포밍 기술을 사용하는 경우 519.1Gbps로 전송 용량이 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이와 같이 프론트홀 전송 용량이 급격히 증가

할 것으로 예상됨에 따라, C-RAN 구조에서 RU와 DU, CU의 역할을 재분배하는 기능 분리(Functional Split)에 대한 연구와 제안이 이루어졌다. 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 Option 1~Option 8에 이르는 기능 분리 방안이 정의되고 이에 대한 논의가 이루어지고 있다[2].

기존의 C-RAN 구조에서는 Option 8에 해당하는 CPRI 연결을 이용한 반면, Option 7은 PHY layer split으로 기존의 C-RAN의 장점을 유지하면서 프론트홀 전송 용량을 줄일 수 있다. 그림 5에서 Option 7-1에서는 Option 8에 비해 ~50%, Option 7-2에서는 Option 8에 비해 ~10% 정도의 전송 용량으로 예상된다[9].

2. 국내 기술 동향

국내의 경우, SKT는 5G 프론트홀에서 그림 1(d)에서 설명한 semi-active WDM 방식을 이용하고 있다. SKT에서 호칭을 '5G-PON'으로 부르는 구조는 광선로를 절약하기 위해 링 토폴로지를 이용하여 12개까지의 셀 사이트를 하나의 링에 연결할 수 있도록 하고 있다[10,11]. 또한 그림 2(c)에서 설명한

바와 같이 각 CWDM 대역을 16개 파장 채널로 분할한 DWDM을 같이 이용하여, 하나의 링에 100개 이상의 파장 채널을 수용할 수 있도록 하고 있다. 중앙집중국(CO: Central Office)에 위치한 능동형 전송 장비를 이용하여 링 네트워크의 보호 절체, 연결 품질 감시 등의 기능을 구현하였다.

현재 10Gbps의 광트랜시버를 주로 사용하여 프론트홀을 구성하고 있으며, 25Gbps 도입을 준비하고 있는 것으로 알려져 있다. 특히 4개 파장 채널의 가변이 가능한 협대역 파장가변 10Gbps 광트랜시버를 국내 기업들과 연계하여 개발하여 활용하고 있다.

KT는 5G 프론트홀을 구성하는 데 있어 4G에서와 마찬가지로 점 대 점 연결의 passive WDM 방식을 이용하고 있다[10,12]. KT에서 호칭을 '5G MUX'로 부르는 이 방식은, 수동형 광 다중화기를 이용하여 여러 파장 채널을 다중화하여 전송하고 있다. 그림 2(b)에서 설명한 O-밴드 LAN-WDM 파장 채널 중 6개를 할당하여, 각 25Gbps로 연결할 수 있도록 하고 있다. 또한, 기존의 4G 프론트홀의 광선로를 같이 이용할 수 있도록 하여 4G, 5G를 동시에 수용할 수 있도록 하였다.

LGU+의 경우는 KT와 마찬가지로 passive WDM 방식을 사용하는 것으로 알려져 있으며, C-밴드 WDM을 이용한 10Gbps, 25Gbps 연결을 주로 이용하고 있다[10].

이상에서 살펴본 바와 같이 국내 3사의 경우에 프론트홀 네트워크의 구성 및 WDM 전송 방식이 서로 다르고 다양한 광전송 기술이 적용되고 있는 것을 확인할 수 있다.

3. 해외 기술 동향

CPRI 포럼에서는 PHY layer의 기능 분리를 이용해 전송 용량을 감소시키고, 전송 효율성을 높이기

위한 새로운 인터페이스로 eCPRI를 정의하였다 [13]. eCPRI는 패킷 기반의 전송 기술을 이용할 수 있도록 제안되었으며, 이더넷을 이용하여 전송할 수 있다.

5G를 위한 효율적이고 확장성 있는 프론트홀 인터페이스의 재정의의 위해 IEEE에서 NGFI(Next Generation Fronthaul Interface) 추진이 발의되고, IEEE 1914.1 packet-based fronthaul transport networks와 1914.3 radio over ethernet(RoE) encapsulations and mappings 프로젝트가 진행되어 표준화가 진행된 바 있다[14,15]. RoE 기술은 이더넷 기반의 프론트홀을 위한 전달 프로토콜 및 encapsulation 포맷 등을 정의하고 있다. 특히 RoE 기술은 CPRI 신호를 이더넷 프레임에 매핑하는 기능을 포함하고 있어 4G의 CPRI 신호를 이더넷을 이용하여 전송할 수 있도록 하고 있다.

eCPRI 및 RoE 기술은 패킷 기반의 프론트홀 전송을 가능하게 하며 통계적 다중화로 인한 프론트홀 전송의 대역폭 효율성을 높이고, CoMP(Coordinated Multi-Point) 등의 cell coordination 알고리즘의 효율적 지원이 가능하도록 하고 있다.

기존의 CPRI를 사용한 프론트홀은 TDM 기반의 점 대 점 연결에 국한되었다. 반면, 패킷 기반의 프론트홀 기술은 다중점 대 다중점 등의 다양한 토폴로지가 가능하다. 그림 6에서는 패킷 기반의 프론트

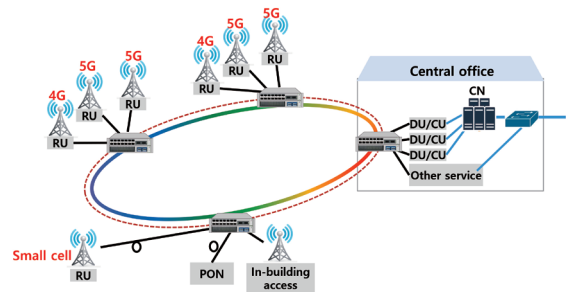


그림 6 패킷 기반의 프론트홀 전송 기술의 적용

홀 전송 기술의 적용의 한 예를 보이고 있다. 4G의 CPRI 신호와 5G의 eCPRI 신호를 동시에 수용하는 프론트홀의 역할과 함께 스몰셀, 인빌딩 액세스의 백홀 네트워크로 동시에 동작할 수 있는 전송 네트워크를 보이고 있다.

Nokia, Infinera 등의 전송 장비 기업에서는 다양한 방식의 프론트홀 장비를 구비하고 있다[16,17]. Passive WDM, semi-active WDM 방식의 광전송 장비와 함께 RoE 기술 등을 이용한 패킷 기반의 프론트홀 구성을 위한 active WDM 장비 등을 공급하고 있다.

Verizon, AT&T의 통신 사업자는 기존 LTE 망에서 DWDM이나 CWDM을 선택적으로 사용하였으며, 5G에서 광 인터페이스를 추가하는 방향으로 구축하고 있다. Verizon의 경우 RoE 스위치를 이용한 프론트홀 구축을 포함하고 있으며, AT&T 역시 이더넷 망을 사용한 구조를 포함한 것으로 알려져 있다.

4. 프론트홀 광트랜시버 기술 동향

현재 5G 프론트홀 광전송을 위해 10Gbps 및 25Gbps의 광트랜시버 기술을 사용하고 있다. 차세대 프론트홀의 전송 용량 증가를 해결하기 위해서 50Gbps 또는 100Gbps급의 광트랜시버 기술이 요구된다. 100Gbps 광트랜시버의 경우 QSFP28 광트랜시버를 고려할 수 있으나 이는 25Gbps×4개 파장 채널을 이용하는 기술로 4개의 파장을 점유하게 되어 프론트홀의 전송 용량을 증대할 수는 없다. 따라서, 파장 채널당 전송 속도를 높일 수 있는 방법이 요구된다.

PAM4(4-level Pulse Amplitude Modulation) 변조 기술은 기존 NRZ 변조 방식에 비하여 같은 대역폭의 광/전기 소자를 이용하여 2배의 전송 속도를 얻을 수 있어 전송 속도를 높이는 데 있어 매우 효율적인

방식이다. 기존의 10/25Gbps 광트랜시버에서 사용되고 있는 폼 팩터(Form Factor) 표준인 SFP를 이용하여, 50Gbps PAM4 기술을 구현한 SFP56 광트랜시버가 개발되고 있으며[18,19], O-밴드 파장가변이 가능한 광원 LD 칩의 개발이 보고되고 있다[20]. 이러한 기술을 활용하여 프론트홀 적용을 위한 O-밴드 50Gbps WDM용 광트랜시버의 개발이 진행되고 있다.

100Gbps급 광트랜시버에서도 PAM4 변조 기술을 이용할 수 있으며, 단일 파장 채널을 이용하여 100Gbps급 광트랜시버가 개발되고 있다[21]. 프론트홀의 광전송 요구사항, 특히 대역폭, 파장가변 등을 만족할 수 있도록 개발이 요구된다.

100Gbps 또는 그 이상의 전송 속도를 구현하기 위한 방법 중 하나로 코히어런트 광트랜시버를 고려할 수 있다. 최근 400ZR 코히어런트 광트랜시버[22]의 개발이 진행되며, 관련 광/전기 소자 기술이 발전하고 시장이 확대되어, 단거리 광링크에서 코히어런트 기술의 적용 가능성이 높아지고 있다. 코히어런트 광트랜시버는 디지털 신호 처리를 이용하여 색 분산, 편광 모드 분산 등 광링크의 문제를 광트랜시버 자체에서 해결할 수 있다. 따라서 코히어런트 기술은 100Gbps 이상의 프론트홀 광트랜시버를 구현하기 위한 좋은 방법이 될 수 있을 것으로 전망된다.

V. 결론

본고에서는 5G 프론트홀에 적용되는 광전송 기술 현황을 소개하였다. II장에서 설명한 바와 같이 광섬유의 유무, 프론트홀 전송 용량, 연결되는 셀 사이트의 개수 등에 따라 프론트홀 네트워크의 구성이 달라지므로 다양한 방식의 프론트홀 광전송 기술이 이용되고 있다. 프론트홀의 전송 용량이 크게

증가함에 따라 WDM 기술을 적용함에 있어 많은 개수의 파장 채널을 요구하게 될 것으로 예상된다. 또한 프론트홀용 광트랜시버는 현재 10/25Gbps에서 50/100Gbps로 발전할 전망이다. 그리고 대용량, 저지연의 무선 서비스를 안정적으로 운영하기 위해 프론트홀 네트워크의 유연성, 안정성 등 고도화에 대한 요구가 높아지고 있다.

본고에서는 프론트홀에 적용되는 광전송 기술 위주로 설명하였으나, 미드홀이나 백홀 등의 광 네트워크에서 전송 용량 증대 등의 프론트홀과 마찬가지로의 문제들이 발생하고 있어 다양한 광전송 기술이 그 해결책이 될 것으로 기대된다.

용어해설

WDM 여러 개의 파장 채널을 광 다중화기를 이용하여 다중화하여 하나의 광섬유로 전송하는 광 다중화 방식

RAN 무선 접속 네트워크(Radio Access Network), 휴대전화 등 사용자 장치(UE: User Equipment)와 무선 핵심망(CN: Core Network) 간의 연결 네트워크

프론트홀 셀 사이트의 안테나를 포함하는 RU와 실시간 처리가 가능한 L1/L2 기능을 담당하는 DU 사이의 전송 구간

약어 정리

3GPP	3 rd Generation Partnership Project
BiDi	BiDirectional
CA	Carrier Aggregation
CPRI	Common Public Radio Interface
C-RAN	Centralized or Cloud RAN
CU	Central Unit
CWDM	Coarse WDM
DU	Distributed Unit
DWDM	Dense WDM
LD	Laser Diode
MNO	Mobile Network Operator
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NRZ	Non-Return to Zero
OAM	Operations, Administration and Maintenance

OTN	Optical Transport Network
PAM4	4-level Pulse Amplitude Modulation
PHY	Physical layer
QSFP	Quad Small Form-factor Pluggable
RAN	Radio Access Network
RoE	Radio over Ethernet
Rx	Receiver
RU	Radio Unit
SFP	Small Form-factor Pluggable
SMF	Single Mode Fiber
TDM	Time Division Multiplexing
Tx	Transmitter
WDM	Wavelength Division Multiplexing

참고문헌

- [1] Ericsson Mobility Report, Nov. 2021, <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report>
- [2] 오돈성, 류득수, 이훈, "5G 이동통신을 위한 프론트홀 기술 동향," 전자통신동향분석, 제32권 제5호, 2017, pp. 97-106.
- [3] ITU-T Recommendation, "G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable," 2017.
- [4] ITU-T Recommendation, "G.694.2: Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid," 2003.
- [5] 한국정보통신기술협회(TTA), TTAE.KO-03.0022/R2: 다수의 서브 채널을 갖는 다채널 CWDM 광인터페이스, 2017.
- [6] ITU-T Recommendation, "G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid," 2020.
- [7] Common Public Radio Interface (CPRI) Specification V7.0, 2015.
- [8] <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&mId=113&mPid=112&bbsSeqNo=94&nttSeqNo=2335112>
- [9] IEEE 802.1, Fronthaul Bandwidth Analysis and Latency Constraint Considerations, July 2016.
- [10] 한국광산업진흥회, "2020 5G 통신 관련 핵심 부품의 기술·시장 동향," 2020.
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=SKsECX-TLQQ>
- [12] <https://www.edaily.co.kr/news/read?newsId=03391526622392816&mediaCodeNo=257>
- [13] eCPRI Interface Specification V2.0, Common Public Radio Interface: eCPRI Interface Specification, 2019.
- [14] IEEE 1914.1, Packet-based Fronthaul Transport Networks, 2020.
- [15] IEEE 1914.3, Radio Over Ethernet (RoE) Encapsulations and Mappings, 2018.

- [16] Nokia White Paper, "Optical optical anyhaul as an enabler of C-RAN," 2019.
- [17] <https://www.infinera.com/applications/cloud-ran-mobile-fronthaul/>
- [18] SNIA MSA, "SFF-8472, Specification Interface for SFP+, Rev. 12.4," 2021.
- [19] <http://www.eoptolink.com/product-solutions/50g/50g-sfp56SFP56>
- [20] O.K. Kwon et al., "16-channel tunable and 25-Gb/s EAM-integrated DBR-LD for WDM-based mobile front-haul networks," *Opt. Express*, vol. 29, no. 2, 2021, pp. 1805-1812.
- [21] 100GLambda MSA, 100G-FR and 100G-LR Technical Specifications Rev 2.0, 2018.
- [22] Implementation Agreement 400ZR, OIF-400ZR-01.0.