25기가 촉각 인터넷 기술

글. 정환석 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원/PL

요즘은 전국 어디를 가든지 항상 와이파이나 기지국이 있어 인터넷에 쉽게 접속할 수 있고, 인터넷을 통해 우리는 원하는 정보를 찾거나 좋아하는 방송과 영상, 콘텐츠를 사용한다. 이뿐 아니라 메신저 대화, 쇼핑, 신용카드 결제 등 많은 일상생활이 인터넷과 네트워크를 통해 이루어진다. 다양한 정보와 데이터는 우선 인근에 있는 와이파이나 기지국에 연결되어 광으로 바뀌고 통신국사로 연결되는데, 이러한 네트워크를 광액세스망이라고 한다. 광섬유와 레이저를 사용하는 광액세스망 기술은 대용량의 정보 전달에 최적화되어 2000년대 초고속 정보화 사회를 성공적으로 이끌어 왔고, 최근 5세대 이동통신과 초연결 지능정보 사회 도래에 따라 더욱 관심이 커지고 있다. 2000년대 초기에는 광섬유망을 이용하여 주로 댁내(Home)에 초고속 인터넷을 제공하는 FTTH(Fiber-To-The-Home)에 집중했다면, 2010년대를 지나면서 폭증하는 모바일 트래픽의 수용을 위한 광액세스망, 즉 이동통신을 위한 안테나를 수용한다는 의미의 FTTA(Fiber-To-The-Antenna)로 그 적용 범위를 넓히고 있다.

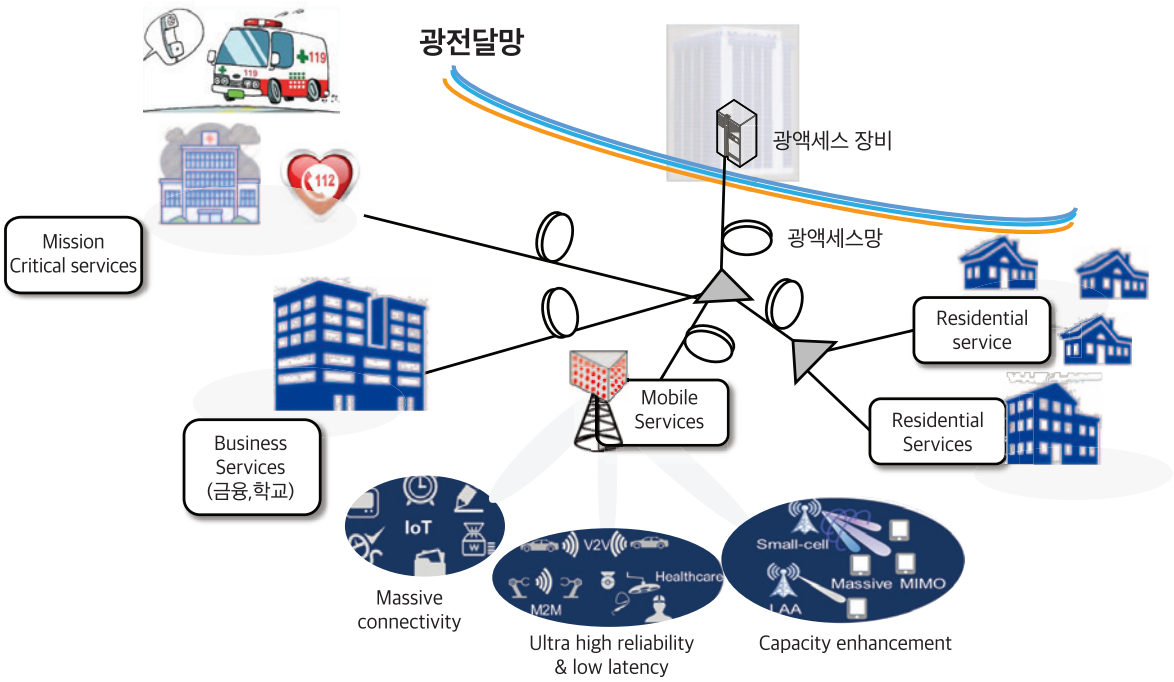

그림 1. 광액세스망 (Mobile, Business, Residential 분야의 다양한 서비스들이 광섬유 기반의 광액세스망을 통해 제공)

이 글에서는 4K UHD 방송, 가상현실과 증강현실, 대용량 빅데이터와 인공지능의 결합, IoT 단말의 증가와 같은 새로운 서비스의 확산에 따라 초실감화, 초저지연, 초지능화, 초연결화 서비스를 수용하기 위한 새로운 인터넷 기술에 대해서 살펴보고, 최근 개발된 25기가급 촉각 인터넷 기술에 대해 다루고자 한다.

초연결 지능정보사회는 물리 공간과 사이버 공간에서 생성된 데이터가 서로 교환되면서 경계가 없어지고, 그 접점에 있는 광액세스망의 중요성이 커질 것이다. 주변에서 흔히 접하고 사용하는 와이파이(Wi-Fi)나 이동통신 안테나 뒤에는 사용자와 통신국사를 연결하는 광액세스망이 항상 적용되는 이유다. 5G부터는 고주파 대역의 넓은 대역을 활용해 더 많은 데이터를 보내야 해서, 고주파 특성상 무선 구간은 점점 짧아지고, 이를 뒷받침하기 위해서 광액세스 기술의 적용 범위는 더욱 넓어지게 될 것이다. [그림 1]과 같이 광액세스망은 주거지역(Residential area), 비즈니스 고객(빌딩, 사무실, 스마트빌딩), 모바일망 용도로 광범위하게 적용되고 있다. 가정이나 사무실, 커피숍 등지에서 기가급 서비스가 이미 제공되고 있고, 비즈니스 사업자 그룹은 주거지역 가입자에 비하여 규모가 비교적 큰 용량을 필요로 한다. 모바일망 트래픽 수용을 위한 프론트홀/백홀/스몰셀을 위한 광액세스망 속도는 10기가급 이상으로 증가하고 있다.

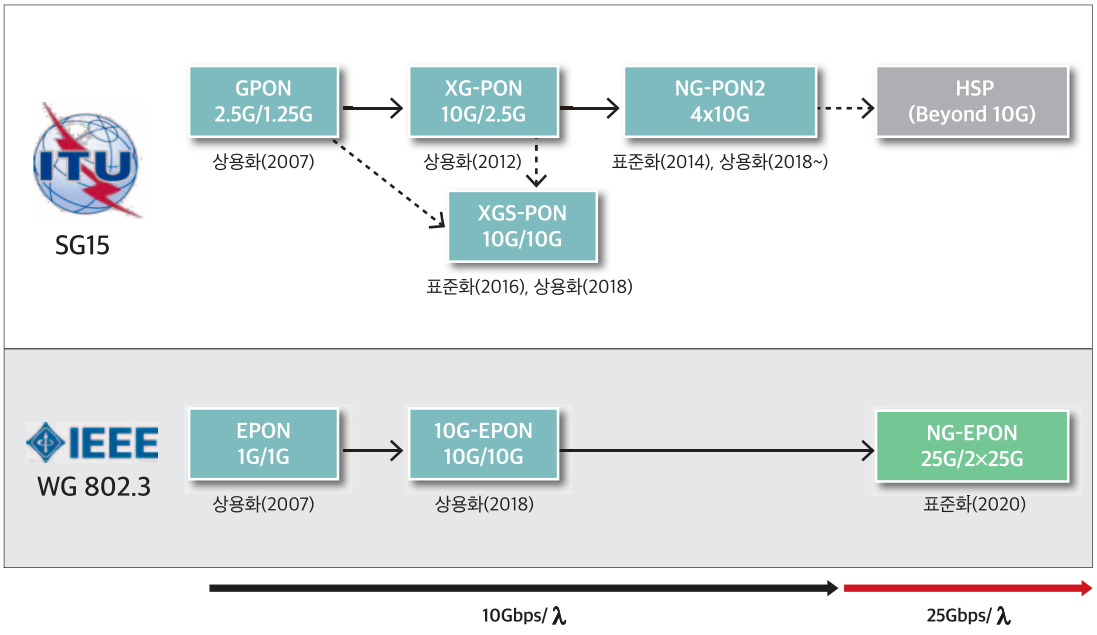

그림 2. 광액세스망 표준화 동향

광액세스망, 또는 인터넷 기술은 ITU-T와 IEEE에서 각각 진행되어 왔으며, 파장당 1~2.5Gbps를 사용하는 표준에서부터 시작하여 파장당 10Gbps 속도를 제공하는 10G-EPON 및 XGS-PON 표준이 IEEE와 ITU-T에서 완료되었다. 폭넓게 사용되고 있는 광액세스망의 속도는 G-PON 방식의 2.5Gbps이고, 한국에서는 국정과제로 추진되고 있는 10기가 인터넷사업의 일환으로 2018년 하반기부터 10G-PON에 대한 상용화가 시작되고 있다. 파장당 10Gbps를 기반으로 파장을 추가하여 40Gbps의 용량을 제공하는 NG-PON2 기술 표준이 ITU-T에서 2014년 완료되었고, 미국의 VERIZON 등 일부 통신사업자에서 상용화가 진행되고 있다. NG-PON2 기술은 사용자 장치인 ONU(Optical Network Unit)에서 파장을 변경하여 필요한 파장에 맞추어 광송수신이 이루어지는 파장가변광원을 사용하는 것을 표준화하였으며, 이로 인해 가격과 성능을 동시에 만족하는 기술을 찾아야 하는 이슈로 대두되고 있다. 광액세스망의 용량 증대를 위해 파장당 속도를 25Gbps로 증가시키기 위해 파장을 증가시키는 방식의 표준이 IEEE에서 2016년 시작되어 2020년경 표준화

완료될 전망이다. ITU-T에서도 파장당 속도를 10Gbps 이상으로 증가시키기 위한 Higher Speed PON(HSP) 기술을 위한 다양한 논의가 진행되고 있다.

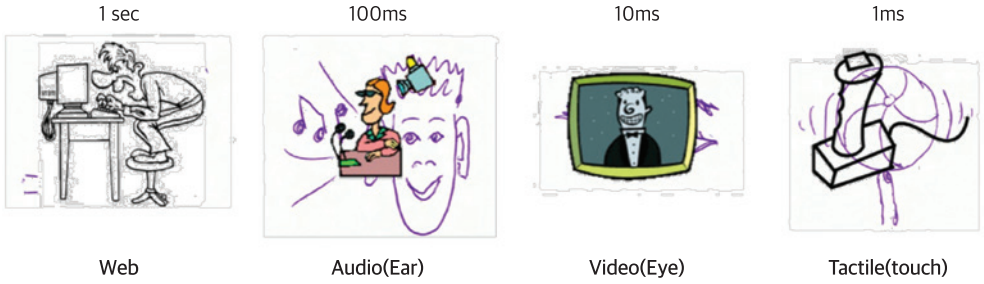

그림 3. 서비스 종류와 반응 시간 / 출처: 5G-What Will It Be: The Tactile Internet, ICC 2013

네트워크는 용량 증대와 더불어 지연 시간에 대한 고려가 함께 필요하다. 우리는 오감으로 오디오, 비디오, 디바이스 등 주위 환경과 상호 교감을 하고 있고, 인터넷을 통한 미디어 이용을 위해서 네트워크는 우리가 주위 환경과 교감하는 반응시간을 충족해야 한다. [그림 3]은 서비스 종류와 필요한 반응 시간을 나타낸다. 일반적인 웹서핑을 위한 네트워크 시간은 1초 정도면 충분하다. 귀로 즐기는 오디오는 1/10초, 눈으로 보는 영상은 1/100초, 그리고 손으로 느낄 수 있는 촉각의 반응시간 1/1000초가 필요하다. ITU에서는 촉각이 느낄 만큼 정보를 매우 빠르게 전송하는 인터넷 서비스를 '촉각 인터넷'이라 정의했다. 1920년 11월 미국 웨스팅 하우스사의 최초의 라디오 방송국 설립과 공중파 방송으로 듣는 시대를 열었다면, 1954년 1월 미국 NBC 사의 최초 컬러TV 방송으로 보는 시대를 열었다고 할 수 있다. 이후, 영상의 화질은 점점 더 선명하고 실감 나게 발전해 왔고, 2010년대에는 스마트폰으로 다양한 영상을 즐기고 있다. 2010년대가 모바일(Mobile) 인터넷 시대였다면, 2020년대는 촉각(Tactile) 인터

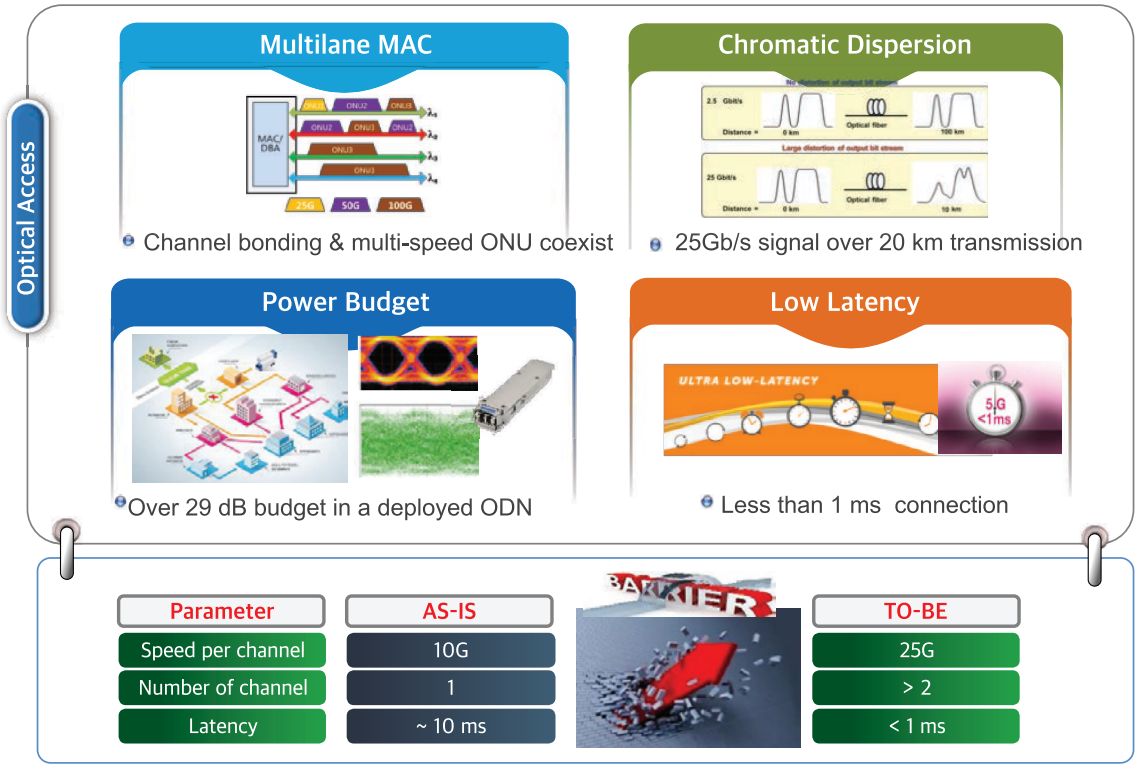

그림 4. 25기가 촉각 인터넷 실현을 위한 기술적 난제

"1920년 11월 미국 웨스팅 하우스사의 최초의 라디오 방송국 설립과
공중파 방송으로 듣는 시대를 열었다면,
1954년 1월 미국 NBC 사의 최초 컬러TV 방송으로 보는 시대를 열었다.
2010년대가 모바일(Mobile) 인터넷 시대였다면,
2020년대는 촉각(Tactile) 인터넷 시대가 펼쳐질 것이다."

넷 시대가 펼쳐질 것이다.

[그림 4]는 25기가급 촉각인터넷 실현을 위한 기술적 난제를 나타낸 것이다. 우선, 파장당 25기가 신호를 파장분할다중화를 사용하여 용량을 증대시키면서 사용자가 느끼는 속도를 높이기 위한 채널 본딩 기술과 서로 다른 속도의 사용자 장치가 하나의 광섬유망에 공존하는 Multi-lane MAC 기술이 필요하다. 이미 포설된 광섬유망의 교체 없이 송수신 장치의 교체만으로 속도를 증가시켜야 하기 때문에 큰 광섬유 손실을 감당하기 위한 Power budget 유지 기술, 40ps로 매우 짧은 펄스가 광섬유를 따라 전송될 때 펄스 퍼짐에 의한 신호의 왜곡을 억제하는 광섬유 색분산(Chromatic Dispersion) 극복 기술이 필요하다. 광액세스망은 하나의 통신국사 장치에 다수개의 사용자 장치가 연결된 Point-to-Multipoint(P2MP) 구조가 주로 사용되고 있고, 여러 개의 사용자 장치가 시간분할다중화를 통해 통신국사 장치에 접속을 하게 된다. 따라서, 1/1000초 이내에 데이터를 전달하기 위한 저지연 대역 할당 및 매체 접근 제어 기술이 필요하다.

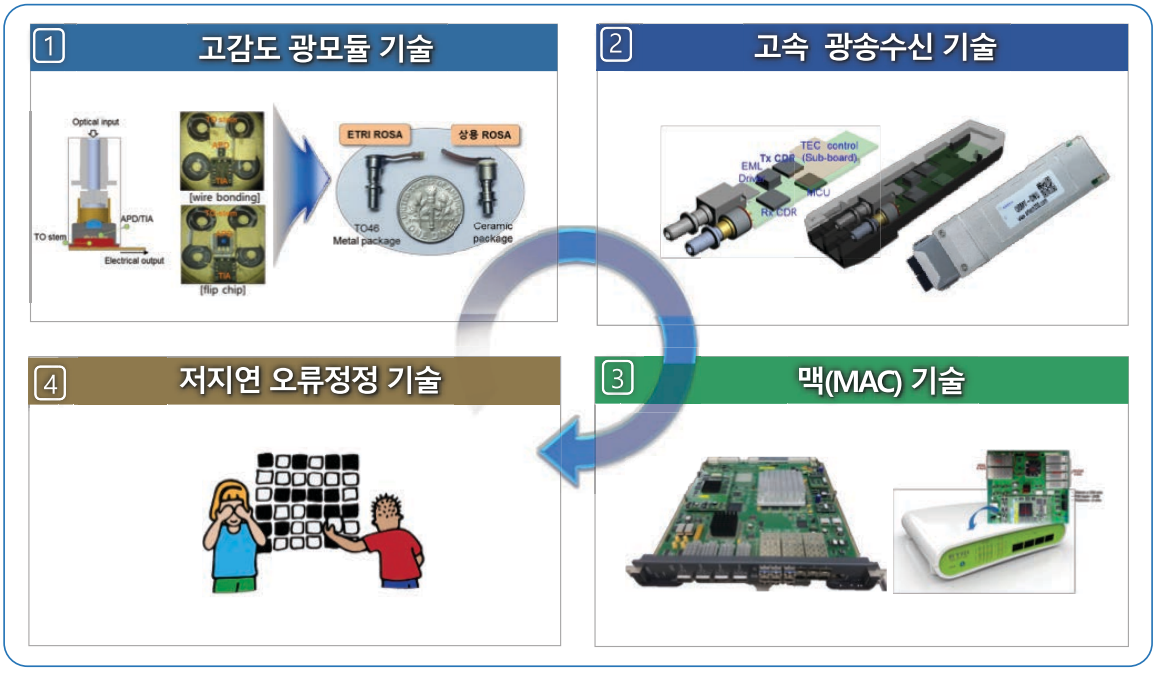

그림 5. 25기가 촉각 인터넷 (TIC-TOC: Time Controlled-Tactile Optical Access) 핵심 기술

ETRI에서는 인터넷에 연결되었을 때 손으로 느끼듯이 정보를 전달받고, UHD 고화질 방송, 가상현실과 증강현실 등의 초실감 미디어, 빅데이터 등 거대한 정보의 소통과 활용이 가능해지도록 광대역 용량 제공과 빠른 정보 전달이 가능한 25기가급 촉각 인터넷 기술을 개발하고 있다. 인터넷은 이동통신 기지국이나 와이파이에 연결되어 우리에게 제공된다. 하지만, 사용자가 많아지면 인근 통신국사까지 20km 내 존재하는 액세스망에 트래픽이 늘어나 처리 속도도 느리고 시간도 오래 걸리는 한계가 있었다. 통신 장애는 공연장이나 갑자기 사람들이 밀집되는 장소에서 한 번씩 느껴 보게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 25기가급 촉각 인터넷 기술을 개발하고, 'TIC-TOC(Time Controlled-Tactile Optical Access)'이라고 명명했다. TIC-TOC은 원래 '똑딱똑딱' 시계 소리를 묘사하는 영어 단어 TICK-TOCK의 개념에서 음만 가져온 것이다. 광액세스망에 시간 개념을 도입하여 메트로놈처럼 정확한 시간 안에 원하는 데이터를 전달한다는 의미이다.

틱톡 기술의 핵심은 [그림 5]와 같이 '고속/고감도 광수신 모듈과 광송수신기' 기술과 '맥(MAC)과 저지연 오류정정' 기술이다. 이 두 가지를 통해 인터넷 선로로 이용되는 기존 광섬유를 그대로 사용하면서 널리 상용화된 2.5기가급 광액세스망 기술 대비 레이저 동작 속도를 10배 키워 많은 양의 데이터를 빠르게 전달할 수 있게 하였다. 고감도 광수신 모듈과 고속 광송수신기는 고속으로 변조된 신호가 손실이 큰 광섬유 선로를 통해 전달되면서 광세기가 낮아 졌을 때 낮은 광 입력 세기로도 깨끗하게 전기 신호를 복원하는 역할을 한다. 맥 기술은 광섬유로 전달되는 트래픽이 초저지연으로 처리될 수 있도록 패킷을 관리한다. 또한, 맥 기술은 여러 개의 레인에 있는 패킷을 묶어서 전송하는 채널본딩과 사용자 장치인 ONU에서 보내는 패킷을 저지연으로 처리하는 역할을 수행한다. 저지연 오류 정정 기술은 광선로를 통해 전달된 신호의 왜곡이나 에러가 발생했을 때 매우 빠르게 데이터를 복원하는 역할을 수행한다. 이러한 기술은 통신국사에 설치된 OLT(Optical Line Terminal) 장치와 아파트나 빌딩, 통신기지국 등에 있는 ONU 장치에 적용하여 기존 광액세스망을 업그레이드할 수 있고, 초고속, 초저지연 촉각 인터넷 서비스가 가능해진다. 특히 기존 인터넷에서는 하나의 채널로 사용자마다 속도를 나누어 썼다면 이번 기술은 채널 수와 속도를 증가시켜 많은 사람이 속도의 저하 없이 더 빠른 인터넷을 사용할 수 있다.

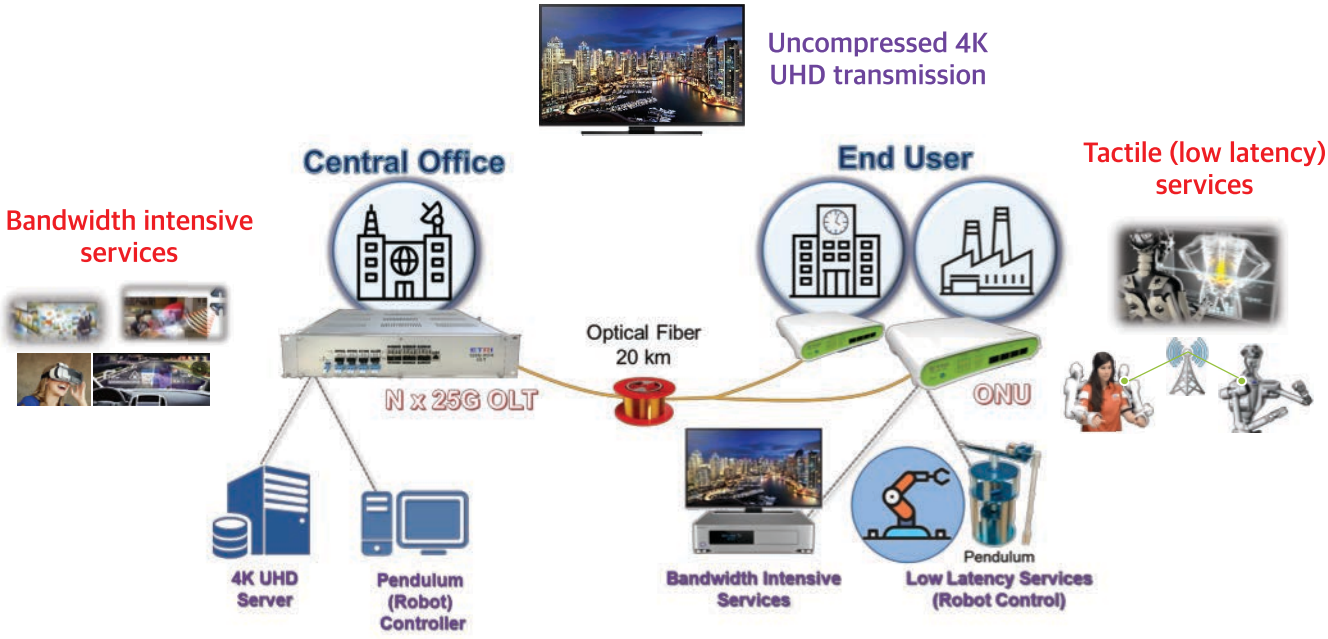

그림 6. 25기가 촉각 인터넷 기술 (TIC-TOC: Time Controlled Tactile Optical Access) 시연

25기가급 용량과 1/1000초 남짓의 전달시간을 가지는 TIC-TOC의 성능은 서울에서 대전 간 설치된 미래네트워크 선도시험망인 코랜(KOREN)을 통한 데이터 전송을 통해 검증하였다. 25기가급 용량은 3GB(기가바이트) 영화 1편을 1초에 내려받을 수 있는 속도이며, 260km 떨어진 서울 제어센터에서 대전 ETRI 연구동 실험실에 파일 다운로드 실험과 무압축 4K UHD 영상의 실시간 전송으로 확인하였다. 인간이 촉각을 느낄 수 있는 속도인 1/1000초 남짓의 시간은 서울에서 대전에 설치된 로봇(역진자 장치, 펜들럼)을 실시간 제어를 통해 확인하였다. 역진자의 위치정보가 실시간으로 빠르게 서울에 전달되고, 서울에서는 제어 신호를 대전의 역진자로 보내 역진자추가 바르게 직립하게 만드는 방식으로 초저지연 데이터 전달 특성을 평가하였다.

이처럼 큰 용량과 빠른 전달이 가능한 통신기술이 향후 고화질 1인 미디어 방송과 가상현실(VR), 증강현실(AR) 같은 실감형 엔터테인먼트 산업을 활성화할 수 있을 것이다. 아울러 사람이 접근하기 어려운 위험지역이나 재난지역에 로봇을 대신 투입해 정밀하게 조종하고 제어하는 작업도 쉬워져 로봇을 통해 사람 대신 일을 처리하는 제어용의 활용도 가능하다. 의료진단 영역 활용 측면에서도 개발 기술의 활용이 가능하다. 원격지의 환자를 대상으로 경험이 풍부한 의사가 다빈치 로봇과 촉각 소통을 하면서 매우 정밀한 진단과 치료가 가능해질 전망이다. 촉각 인터넷은 생활공간 속에서 다양하게 응용할 수 있다. 대표적인 분야로 자율주행차, 건강관리, 게임, 교육 및 문화 영역에서 촉각처럼 실시간 반응이 필요한 곳곳에서 새롭게 개척될 것이다. 촉각 인터넷에 차량이 연결되면 원격지에서 장애인이나 고령자가 탑승한 자율주행차 제어가 가능해지거나, 사람에게 닥칠 수 있는 교통사고 등과 같은 사고 위험을 미리 감지해서 알려주고 대응할 수 있는 시간적 여유를 제공할 수 있다. 촉각 인터넷 세상은 이처럼 우리 생활 주변에서 사물지능서비스와 함께 사람들의 편의성과 안전, 복지를 위해 세상을 바꾸어 갈 것이다.

본 글을 통해 광대역/저지연 특성을 가지는 25기가급 촉각인터넷 기술과 그 활용 방안을 살펴보았다. 촉각인터넷 기반 광액세스 기술은 앞으로 펼쳐질 4차 산업혁명과 지능정보사회에서도 핵심적인 역할을 지속할 것이다. 생명유지에 필요한 물과 공기와 같이 정보통신 네트워크 인프라와 광액세스 기술 개발에 더 박차를 가해야 하는 이유다.