

AI 시대 네트워크 인프라의 혁신, 전광(全光) 통신망

저자 : 이동원



차세대 네트워크 인프라로 전광 통신망이 부상하고 있다.

- 전광 통신망, 왜 부상하나?
- 기존 통신망과 전광 통신망의 차이점
- 혁신 광통신네트워크 포럼, 글로벌 생태계 구축 추진
- 전광 통신망의 도전 과제

최근 AI와 클라우드 서비스가 급성장하면서 네트워크 인프라 분야에 새로운 도전이 본격화되고 있다. 초저지연, 대용량 데이터 전송, 전력 효율 개선에 대한 요구가 기존 네트워크의 성능 한계를 넘어서고 있기 때문이다. 이에 따라 전광 통신망(All-Photonics Network)과 같은 데이터 인프라의 새로운 대안 기술 적용이 빠르게 부상하고 있다.

전광 통신망은 데이터를 광신호 상태로 유지한 채 처리하고 전송하는 차세대 네트워크 기술이다. 기존 네트워크와 달리 중간 과정에서 빛의 상태 그대로 데이터를 전송함으로써 초저지연과 고효율을 실현할 수 있다. 이 개념은 1980년대부터 제시되어 왔지만 광 신호 제어의 복잡성과 고비용 때문에 오랫동안 상용화와는 거리가 있는 미래 인프라로 인식되어 왔다.

전광 통신망, 왜 부상하나?

AI 기반의 실시간 서비스가 확산되면서 **초저지연에 대한 요구**가 급증하고 있다. 자율주행 시스템의 경우 센서 데이터 전송부터 AI 판단 결과 수신까지 0.01초 이내에 완료되어야 하고, 생성형 AI는 반응이 0.1초 이상 지연되면 사용자가 불편함을 느끼기 시작한다. 아마존의 연구에 따르면 0.1초의 지연이 매출 1% 감소를 초래하며, 금융 거래에서는 이러한 지연 시간 단축이 수백만 달러의 가치를 만들 수 있다. **전송 데이터의 대용량화**도 차원이 달라지고 있다. 클라우드 기반 AI 서비스는 실시간 영상 분석, 대규모 언어모델 서비스, 분산 컴퓨팅 등을 수행하여 데이터센터 간 전송하는 데이터량이 수백 배 이상 증가하고 있다. 동시에 **데이터 전송 과정의 전력 효율성 향상**에 대한 요구도 커지고 있다. 대용량 데이터를 처리하는 네트워크 장비들의 전력 소모가 늘어나면서 보다 효율적인 전송 방식의 필요성이 부각되고 있기 때문이다.

이러한 고난이도의 네트워크 성능 요구사항을 충족하기 위해서는 통신망의 근본적 한계 극복이 필요하다. 현재 네트워크도 광섬유로 데이터를 전송하지만 중간 네트워크 장비에서 광신호를 전기신호로 변환하는 과정에서 지연과 에너지 손실이 발생하고 있다. 메타의 연구에 따르면 AI 추론 지연의 최대 30%가 네트워크 전송 과정에서 발생하며, AI 학습에서는 네트워크가 1% 지연될 때마다 학습 시간이 최대 2.5% 증가한다고 한다. 이러한 배경에서 광신호를 전기로 변환하지 않고 빛 상태 그대로 전송하는 전광 통신망이 차세대 네트워크 인프라의 유력한 대안으로 주목받고 있다.

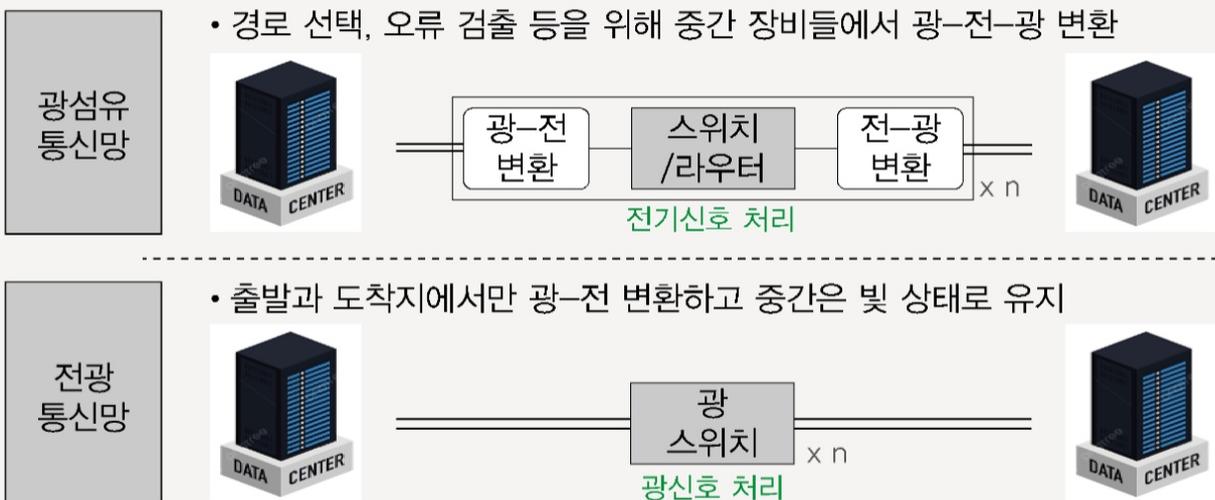
기존 통신망과 전광 통신망의 차이점

현재도 데이터 전송에 광섬유 통신망을 사용하고 있지만, 아직 진정한 의미의 ‘광 네트워크’는 아니다. 데이터가 서울에서 부산으로 전송될 때, 중간에 여러 번 광-전기-광(Optical-Electrical-Optical) 신호 변환을 거치기 때문이다. 이러한 변환이 필요한 이유는 현재의 네트워크 장비들이 경로 선택과 트래픽 관리, 오류 검출 등의 기능을 전기신호 상태에서만 수행할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 데이터들의 목적지 주소를 읽어 최적 경로를 결정하는 라우터 장비는 전기신호 상태에서만 작동한다.

하지만 데이터 관점에서 볼 때 이는 서울에서 부산까지 가는데 중간에 여러 번 기차-버스-기차로 갈아타는 것과 유사하다. 각 변환 지점에서는 세 가지 문제가 발생한다. 첫째, 변환 시간으로 인해 지연이 누적된다. 광신호를 전기신호로 바꾸고 처리한 후 다시 광신호로 바꾸는 과정에서 각각 지연이 발생하며, 이것이 여러 노드에서 반복되면 전체 지연 시간이 크게 증가한다. 둘째, 각 변환 과정에서 전력이 소모된다. 특히 고속 전자 회로의 동작과 신호 증폭 과정에서 많은 에너지가 필요하다. 셋째, 변환할 때마다 신호 품질이 저하될 가능성이 있다. 노이즈가 추가되거나 신호 왜곡이 발생해 장거리 전송에서는 신호를 다시 깨끗하게 만드는 과정이 필요하다.

전광 통신망은 이러한 문제를 해결하는 ‘중단 간 광신호로만 처리되는 네트워크’이며, 기존의 ‘광섬유를 사용하는 네트워크’에서 한 단계 더 발전한 개념이다. 핵심 아이디어는 데이터가 출발지부터 목적지까지 전기신호로 변환되지 않고 빛의 상태를 유지하는 것이다. 데이터 전송에서 변환 과정이 제거되면 지연 없이 빛의 속도에 근접한 통신이 가능해지며, 변환 과정의 전력 소모와 신호 품질 저하 문제도 해결할 수 있다. 또한 전기 처리 속도의 제약을 받지 않아 광섬유의 물리적 한계까지 대역폭을 확장할 수 있게 된다.

現 광섬유 통신망 vs 전광 통신망 (데이터센터 간 기준)



혁신 광통신네트워크 포럼, 글로벌 생태계 구축 추진

전광 통신망이 차세대 인프라로서의 가능성을 보여주고 있지만, 이를 현실화하기 위해서는 실제 환경에서 검증하고 상용화를 추진하기 위한 글로벌 협력이 필수적이다. 이러한 협력의 구심점 역할을 하고 있는 것이 일본 NTT가 주도하는 ‘혁신 광통신네트워크 포럼(Innovative Optical and Wireless Network Global Forum, 이하 ‘IOWN’)'이다.

2020년 1월 NTT는 인텔과 소니 등과 함께 미국에 IOWN을 설립했다. 글로벌 기업의 참여를 유도하기 위해 일본이 아닌 미국에 법인을 둔 것으로, 포럼이라는 이름과 달리 기술 개발과 실증, 표준화 등을 통합적으로 추진한다. IOWN은 현재 통신사, 클라우드 사업자, 반도체 기업, 네트워크 장비사 등 150개 이상의 글로벌 기업들이 참여하는 협력체로 성장했다.

IOWN 주요 참여 기업

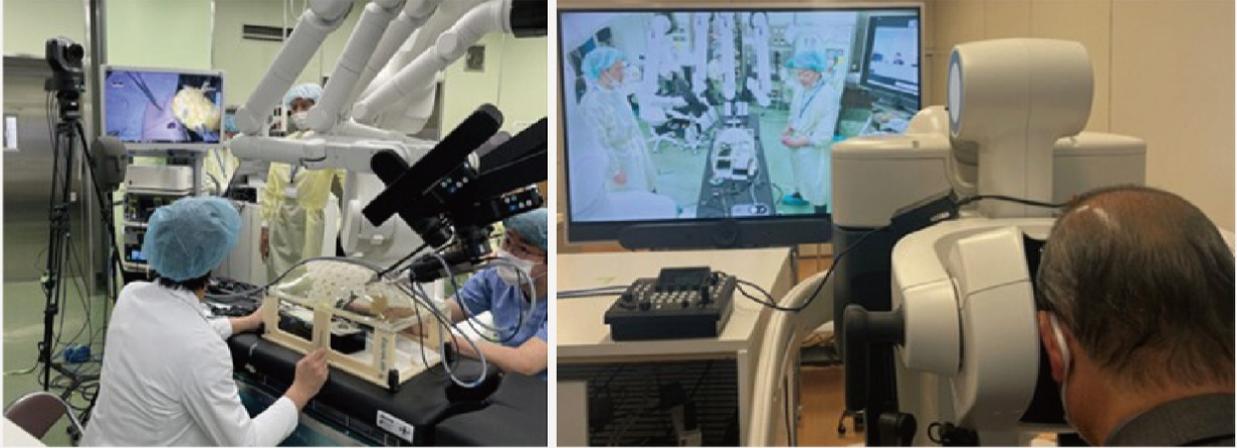
통신사	클라우드	반도체/칩	네트워크 장비	IT	기타
	<p>서버</p>				

가와조에 카츠히코 NTT CTO는 전광 통신망 기술을 “AI와 XR 시대의 기반 인프라로 진화할 네트워크”라고 표현한다. 실제로 IOWN은 데이터센터 간 연결부터 시작해 점진적으로 칩 내부까지 전광화를 확장한다는 장기 비전을 가지고 있으며, 2023년부터 실제 서비스를 시작했다. IOWN은 개방형 표준과 광범위한 생태계 구축이라는 전략으로 업계 주도권 확보를 추진하고 있고, 별도의 독자적 움직임으로 중국 화웨이 등도 자체 전광 통신망 기술을 개발하고 있다.

IOWN은 다양한 실증 실험을 통해 전광 통신망의 상용화 가능성을 구체적으로 검증하고 있다. 장거리 통신 분야에서 2022년 약 1,000km 구간에서 원격 음악 공연을 실시간 중계해 기존 인터넷 대비 33% 개선된 지연 성능을 보였고, 2024년에는 대만-일본 해저 연결 약 3,000km 구간에서 100Gbps 전송 속도와 17ms 지연을 기록하며 40% 이상 지연 시간을 단축했다.

AI 관련해서는 GPU와 데이터베이스 간 실험을 통해 기존 네트워크 대비 데이터 전송 시간을 60% 이상 단축하면서, 분산 AI 학습 환경에서 네트워크 병목 현상을 크게 줄일 수 있음을 확인했다. 의료 분야에서도 30km 떨어진 병원 사이에 초고화질 의료 영상을 실시간 전송하면서, 원격 수술의 가능성을 높였다. 특히 수술용 로봇 제어에 요구되는 극도의 초저지연 통신(0.00028초)을 전광 통신망으로 구현할 수 있음을 검증했다.

원격지 로봇 수술 진행 실증



자료: NTT

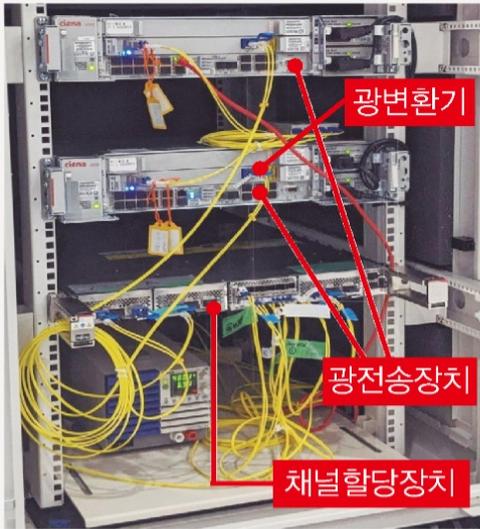
이러한 결과들은 전광 통신망이 실험실 단계를 넘어 실제 상용 환경에서도 적용될 수 있음을 보여준다. 특히 지연 시간에 민감한 응용 분야에서, 기존 네트워크 대비 눈에 띄는 성능 향상으로 전광 통신망의 상용화 가능성을 높이고 있다.

전광 통신망의 도전 과제

전광 통신망은 이렇게 유망한 기술이지만, 상용화를 위해서는 몇 가지 기술 과제 해결이 필요하다.

첫째, 광 제어 부품의 성능 향상 및 경제성 확보다. 전광 통신망 구현을 위해서는 빛 상태 그대로 신호를 제어하고 처리할 수 있는 고성능 광학 부품들이 필요한데, 현재 이러한 광 제어 부품들은 제조 공정이 복잡하고 비용이 높아 상용화의 걸림돌이 되고 있다. 따라서 광학 부품의 성능 개선과 대량 생산을 통한 제조 원가 절감이 중요하며 인텔, 브로드컴 등은 기존 반도체 공정 기술을 응용해 광학 부품의 성능을 높이면서도 대량생산이 가능한 제조 방식을 개발하고 있다.

전광 통신망 디바이스



자료: 닷케이



둘째, 광 신호 제어 기술 개선이다. 현재 네트워크는 전기신호로 데이터 경로를 결정하고 트래픽을 관리하지만, 광 신호로는 이런 복잡한 작업이 어렵다. 광 신호는 실시간으로 내용을 분석하거나 수정하기 어렵고, 최적 경로를 찾거나 장애 시 우회 경로를 설정하는 것도 복잡하기 때문이다. 소프트웨어를 통한 네트워크 제어 기술이 발전하면서 이러한 과제를 해결할 수 있는 가능성이 높아지고 있는데, 시스코, 노키아, 후지쯔 등이 중앙 컨트롤러를 통해 광 스위치들을 원격으로 제어하는 기술을 개발하고 있다.

셋째, 장비 간 호환성 확보다. 현재 네트워크 장비들은 모두 전기신호 기반으로 설계되어 있기 때문에 전광 통신망으로 한번에 변경하기는 어렵다. 따라서 기존 장비들과 새로운 광 네트워크 장비들이 함께 작동할 수 있는 중간 단계 솔루션이 필요하다. 이와 동시에 서로 다른 제조사의 전광 통신 장비들 간에도 호환성을 보장하는 표준화도 중요하다. 네트워크 장비 업체들은 전광 통신망과 기존 네트워크를 연결하는 중간 단계의 솔루션들을 개발하고 있고, IOWN에서는 제조사 간 호환성을 보장하는 표준을 개발하고 있다.

이러한 과제들이 극복되면 전광 통신망은 그 이점이 분명하고 기술적 제약이 적은 데이터센터 간 연결, AI 연산 서버 통신, 초저지연 서비스 등의 분야에 먼저 적용되어 점차 확산될 것으로 예상된다. 특히 데이터센터 사업 영향이 클 것으로 보이는데, 우선 데이터센터 입지 선정의 자유도가 높아질 수 있다. 광신호는 거리에 따른 지연이나 손실이 적으므로 데이터센터가 도심 가까이 있을 필요가 없어지는 것이다. 또한 분산 클라우드 컴퓨팅 모델이 현실화되어 규모가 작은 데이터센터의 활용도가 높아질 것이다. 전광 통신망을 통해 지연 시간이 획기적으로 줄어들면, 거리가 먼 데이터센터들도 하나의 논리적 시스템처럼 운영할 수 있으므로 필요에 따라 유연하게 컴퓨팅 규모를 조정할 수 있게 되는 것이다. 다만 광섬유 설치 거리 연장에 따른 비용 문제는 극복해야 할 중요한 이슈로 남아있다.