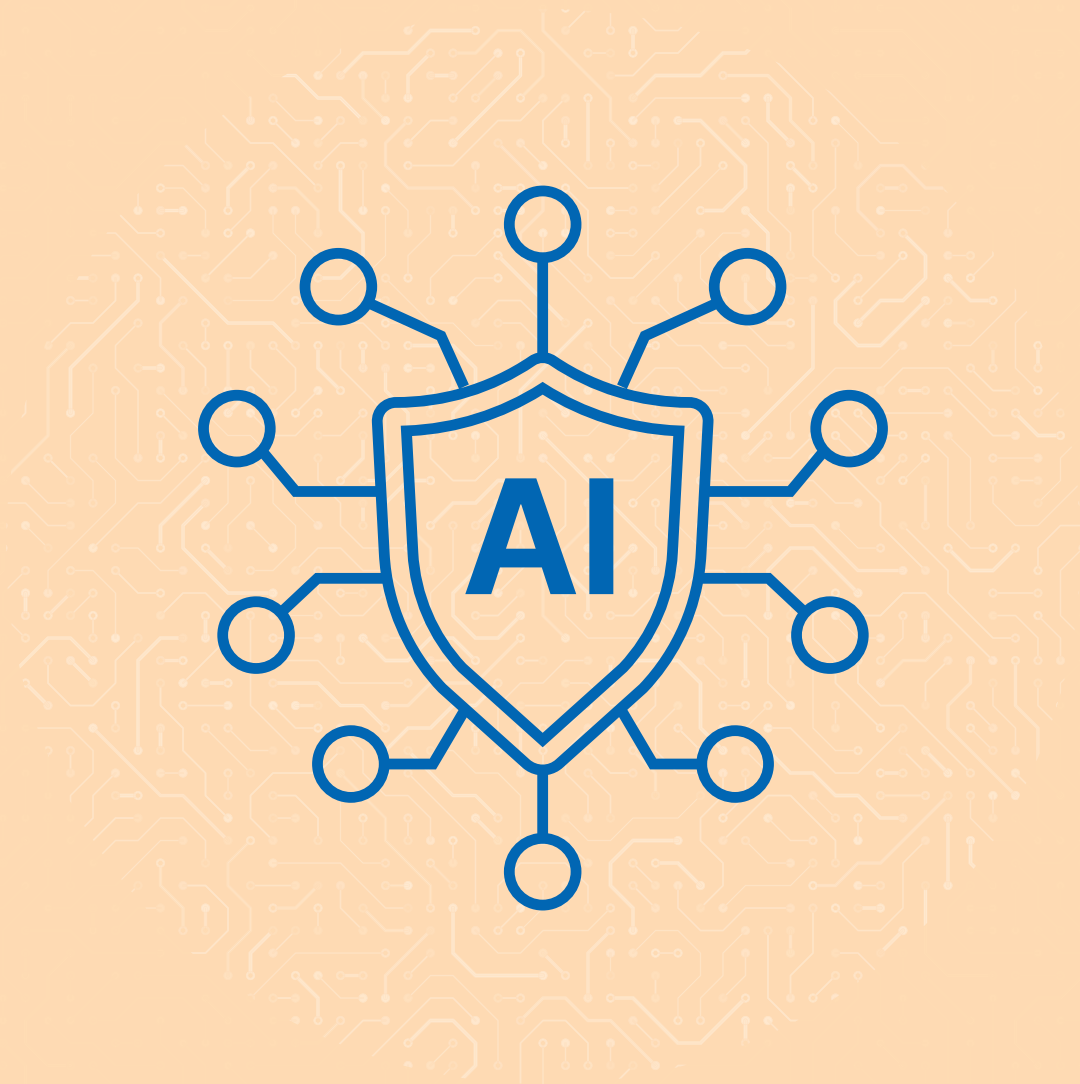


AI 통신망의 대전환

: 지능형 인프라에서 양자보안·6G까지



AI 통신망의 대전환

: 지능형 인프라에서 양자보안·6G까지

- 본 리포트는 과학기술정보통신부의 '차세대 네트워크 선도 연구시험망(KOREN) 구축·운영' 사업의 일환으로 수행된 결과물입니다.
- 본 리포트는 급변하는 국내외 정보통신기술 동향을 분석하고 미래 발전 방향을 제시하기 위해 발간하였습니다.
- 본 리포트에 수록된 내용은 집필진의 개인적인 견해이며, 발행처의 의견과 다를 수 있습니다.
- 본 리포트는 저작권법에 따라 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 복제를 금합니다.

ICT트렌드 리포트 편집위원

편집위원장 고려대학교 백상헌 교수
편집위원 경희대학교 강선무 교수
한국전자통신연구원 고남석 실장
(주)우리넷 박성혁 이사
(주)케이티 이광국 팀장

발행일 2026년 7월

발행처 한국정보통신기술협회(alps62@tta.or.kr)

한국지능정보사회진흥원

Contents

서언 _ AI 통신망의 대전환: 지능형 인프라에서 양자보안·6G까지 백상헌 교수(고려대학교)	04
Report	05
• Agentic AI 시대의 AI 데이터센터 진화 방향 백상헌 교수(고려대학교)	09
• Byte에서 Token으로 AI 시대 네트워크 가치의 대전환 고남석 실장(한국전자통신연구원)	17
• 양자컴퓨터 시대를 대비하는 통신망 김형수 부사장(아이오티커뮤니케이션테크㈜)	22
• 해저 광케이블 기반 광전송망 현황과 기술 발전 전망 박성혁, 임헌택 이사(㈜우리넷)	31
• 3GPP 제112차 RAN 기술총회로 본 6G 표준화 추진 현황 정재윤 수석(한국정보통신기술협회)	

서 언

AI 통신망의 대전환: 지능형 인프라에서 양자보안·6G까지

고려대학교 백상현 교수

최근 통신 산업은 생성형 AI와 Agentic AI의 확산을 계기로 새로운 전환점을 맞이하고 있다. 통신망은 더 이상 데이터를 전달하는 수동적 인프라에 머무르지 않고, AI 모델의 학습과 추론, 에이전트 간 협업, 데이터센터 간 대규모 연산을 지원하는 지능형 디지털 인프라로 진화하고 있다. 이에 따라 네트워크의 성능과 가치는 단순한 전송속도나 트래픽 처리량을 넘어 컴퓨팅 자원과의 연계, 서비스 실행 효율, 보안성과 복원력까지 함께 고려하는 방향으로 확대되고 있다.

본 ICT 트렌드 리포트에서는 이러한 변화의 흐름을 반영하여 AI 통신망의 진화 방향을 다섯 가지 핵심 주제를 중심으로 살펴보고자 하였다. 먼저 대규모 AI 워크로드를 안정적으로 지원하기 위한 AI 데이터센터 네트워크의 구조와 전송기술 변화를 분석하고, 인터넷 시대의 Byte 중심 가치체계가 AI 시대의 Token 중심 가치체계로 전환되는 과정과 그 의미를 조망한다.

또한 양자컴퓨터의 발전이 기존 암호체계에 미치는 위협과 이에 대응하기 위한 양자내성암호, 양자키분배 및 하이브리드 보안 구조를 살펴본다. 이와 함께 AI·클라우드 트래픽 증가를 뒷받침하는 해저 광케이블과 차세대 광전송망의 기술 발전 방향을 분석하고, 제112차 3GPP RAN 기술총회 결과를 바탕으로 첫 번째 6G 규격인 Release 21을 향한 표준화 추진 현황과 주요 기술적 쟁점을 정리하였다.

이들 주제는 서로 독립된 기술 동향이라기보다 하나의 연속된 변화로 이해할 필요가 있다. Agentic AI와 Token Economy는 새로운 서비스와 대규모 트래픽 수요를 만들어 내고, AI 데이터센터와 해저 광전송망은 이를 처리하고 전달하는 물리적·논리적 기반을 제공한다. 양자보안 기술은 이러한 디지털 인프라의 신뢰성을 보장하며 6G 표준화는 AI, 네트워크, 컴퓨팅과 보안을 미래 통신 체계에 통합하기 위한 공통의 기술적 틀을 마련한다.

본 리포트가 AI 시대 통신망의 구조적 변화와 주요 기술 흐름을 이해하고, 향후 기술개발과 인프라 투자, 표준화 및 산업 전략을 수립하는 데 유용한 참고자료가 되기를 기대한다.

Agentic AI 시대의 AI 데이터센터 진화 방향

백상헌 교수
고려대학교

1. 머리말

초대형 AI 모델 기반 서비스가 확산되면서 이를 지원하기 위한 AI 데이터센터 네트워크 기술에 대한 연구개발도 빠르게 진행되고 있다. AI 데이터센터에서는 수만에서 수십만 개의 XPU, 즉 GPU, TPU, DPU 등이 하나의 학습 또는 추론 작업을 위해 병렬·분산적으로 투입된다. 이러한 환경에서는 개별 XPU의 연산 성능뿐만 아니라 XPU 간 데이터 교환을 담당하는 네트워크의 지연 시간, 지터, 장애

복원력이 전체 시스템의 가동률과 활용률을 결정하는 핵심 요소가 된다. 특히 분산 학습 과정에서는 다수의 연산 결과를 동기적으로 취합해야 하므로, 가장 늦게 도착하는 패킷 또는 플로우가 전체 작업의 진행 속도를 결정하는 꼬리 지연시간(Tail Latency) 문제가 매우 중요하다.

기존 데이터센터 네트워크는 일반적으로 Fat-tree 또는 Clos 기반의 계층형 토폴로지와 RoCEv2 기반 RDMA 전송을 핵심 기술로 활용해 왔다. 그러나 AI 학습 클러스터의 규모가 수십만 XPU 수준으로 확대되면 기존의 고대역폭 단일 링크 중심 설계는 3계층 이상의 복잡한 네트워크 구조를 요구하게 된다. 이 경우 많은 수의 스위치와 라우터가 필요하고, 이에 따른 전력 소모, 비용, 장애 가능성도 증가한다. 또한 계층형 구조에서는 상위 계층 장비나 링크에 장애 또는 혼잡이 발생할 경우 그 영향이 넓은 영역으로 확산될 수 있다. 프로토콜 측면에서도 RoCEv2는 높은 성능을 제공하지만, 무손실 동작을 위해 사용되는 PFC(Priority Flow Control)가 혼잡 발생 시 이전 노드의 전송을 정지시키는 방식으로 동작하기 때문에 Head-of-Line blocking이나 congestion spreading과 같은 부작용을 유발할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 대규모 AI 데이터센터를 운영하는 빅테크에서는 보다 효과적인 데이터센터 구조와 관련 프로토콜을 개발하여 자사의 AI 데이터센터에 적용하고

운용하고 있다. 본 고에서는 OpenAI 중심의 MRC와 AWS의 RNG 기술을 중심으로 AI 데이터센터의 기술 발전 동향을 살펴보고자 한다.

2. 본문

앞서 언급한 한계를 극복하기 위해 OpenAI, Microsoft, Broadcom 등은 MRC(Multipath Reliable Connection)를 제안하였다. MRC는 기존 RoCE 기반 RDMA 구조와의 연속성을 유지하면서도 AI 학습 워크로드에 적합하도록 다중 경로 전송, 패킷 단위 부하 분산, 빠른 장애 우회를 지원하는 새로운 전송 프로토콜이다. OpenAI는 MRC가 최신 800Gb/s NIC에 구현되어 하나의 전송을 수백 개 경로로 분산하고, 장애 발생 시 마이크로초 단위로 우회할 수 있도록 설계되었다고 설명한다. 또한 MRC는 RoCE를 확장하면서 SRv6 기반 소스 라우팅을 활용하여 송신자 또는 NIC가 경로 선택에 더 적극적으로 관여할 수 있도록 한다.

MRC의 중요한 특징 중 하나는 하나의 고대역폭 링크를 여러 개의 저대역폭 링크로 분할하여 다중 평면(multi-plane) 네트워크를 구성한다는 점이다. 예를 들어 800Gb/s 인터페이스를 여러 개의 100Gb/s 링크로 나누면 하나의 NIC가 여러 스위치에 동시에 연결될 수 있고, 이를 통해 더 높은 경로 다양성과 장애 복원력을 확보할 수 있다. OpenAI는 이러한 방식을 통해 약 13만 개 수준의 GPU를 2계층 스위치 구조만으로 연결할 수 있으며, 기존 800Gb/s 기반 네트워크에서는 3계층 또는 4계층 구조가 필요할 수 있다고 설명한다.

또한 MRC는 단일 경로 기반 전송에서 발생하는 플로우 충돌과 네트워크 혼잡을 완화하기 위해 패킷 스프레이(Packet Spraying)를 활용한다. 이는 하나의 대용량 전송을 여러 경로로 분산시켜 특정 링크나 스위치에 트래픽이 집중되는 것을 줄이는 방식이다. 여기에 SRv6 기반 정적 소스 라우팅을 결합함으로써 BGP와 같은 동적 라우팅 프로토콜의 수렴 지연에 의존하지 않고, 송신 측에서 장애 또는 혼잡을 우회할 수 있는 경로를 빠르게 선택할 수 있다. OpenAI는 MRC가 AI 학습 작업에서 네트워크 장애로 인한 중단 가능성을 줄이고, 대규모 학습 클러스터의 예측 가능한 성능을 확보하기 위한 기술이라고 설명한다.

한편 AWS는 MRC와 거의 유사한 시기에 Resilient Network Graphs(RNG)라는 새로운 데이터센터 네트워크 구조를 발표하였다. RNG는 기존 Fat-tree와 같은 계층형 구조에서 벗어나, 라우터들이 보다 평면적이고 준무작위적인 방식으로 연결되는 네트워크 구조를 지향한다. 완전한 랜덤 토폴로지는 라우팅 계산과 물리적 배선 측면에서 현실적으로 구현하기 어렵기 때문에, AWS는 수학적으로 설계된 준무작위(quasi-random) 토폴로지와 이를 실제 배선 환경에서 구현하기 위한 ShuffleBox라는 수동 광학 장치를 제안하였다. ShuffleBox는 외부에서는 규칙적으로 케이블을 연결하더라도 내부적으로는 연결을 셔플링하여 논리적으로 준무작위 네트워크를 구성하도록 돕는다.

RNG의 핵심은 네트워크를 평면화함으로써 경로 다양성을 극대화하고, 특정 계층이나 특정 장비에 혼잡과 장애가 집중되는 문제를 완화하는 데 있다. AWS는 RNG가 기존 Fat-tree 대비 라우터 수를 69% 줄이고, 처리량을 최대 33% 향상시키며, 네트워크 장비의 전력 소모를 약 40% 줄일 수 있다고 설명한다. 또한 랜덤 그래프 기반 네트워크에서는 특정 장비의 장애가 전체 네트워크에 미치는 영향이 집중적으로 나타나기보다, 장애 비율에 비례하여 용량이 감소하는 비례적 복원력(Proportional Resilience)을 기대할 수 있다.

RNG에서는 라우팅 방식도 기존 최단 경로 중심 방식에서 벗어난다. AWS는 Spraypoint라는 라우팅 알고리즘을 통해 송신 라우터가 트래픽을 이웃 노드로 분산시키고, 목적지 주변의 웨이포인트(waypoint)를 활용하여 트래픽이 목적지 근처에서 혼잡해지는 것을 완화한다. 이를 통해 기존 최단 경로 라우팅보다 더 많은 독립 경로를 활용할 수 있으며, 혼잡 또는 장애가 발생한 경로를 자연스럽게 우회할 가능성을 높인다.

정리하면 MRC와 RNG는 모두 AI 시대의 데이터센터 네트워크가 기존의 단일 경로, 계층형, 무손실 중심 구조에서 벗어나야 한다는 문제의식에서 출발한다. 다만 MRC는 RoCE/RDMA 기반 전송 프로토콜을 확장하여 다중 경로 전송, 패킷 스프레이, SRv6 기반 소스 라우팅을 지원하는 전송 프로토콜 중심 혁신에 가깝다. 반면 RNG는 데이터센터 물리 토폴로지 자체를 Fat-tree에서 준무작위 Flat 구조로 전환하고, ShuffleBox와 Spraypoint를 통해 이를 실제 대규모 환경에서 구현하려는 토폴로지 및 라우팅 구조 중심 혁신으로 볼 수 있다.

항목	MRC(OpenAI)	RNG(AWG)
주요 설계 목표	전송 프로토콜 혁신 및 계층 축소	수학적 최적 토폴로지 구현(Flat)
부하 분산 방식	패킷 스프레이 및 송신자 중심 선택	Spraypoint(무작위 분산 + 웨이포인트)
장애 복원력 모델	SRv6 기반 초고속 우회(BGP 무관)	비례적 복원력(1% 장애 시 1% 용량 감소)
물리적 구조/배선	다중 평면의 Fat-tree 구조	ShuffleBox 기반 준무작위 Flat 구조
전략적 임팩트	기존 RoCEv2 Verbs API 호환성 유지	ShuffleBox를 통한 대규모 물리 효율성
핵심 성과	2계층 구조로 12.8만 XPU 수용	라우터 69% 절감, 처리량 33% 향상

3. 맺음말

이러한 흐름을 종합하면, 미래 AI 데이터센터 네트워크는 기존의 깊은 계층형 구조에서 벗어나 보다 평면적이고 경로 다양성이 높은 구조로 진화할 가능성이 크다. 또한 대규모 동기식 AI 학습에서 발생하는 순간적 대용량 트래픽과 꼬리 지연시간 문제를 해결하기 위해, 패킷 단위 다중 경로 전송, 소스 라우팅, 경량 혼잡 제어, 장애 우회 기술의 중요성이 더욱 커질 것이다. 궁극적으로 AI-DC 네트워크는 단순히 서버와 스위치를 연결하는 인프라가 아니라, XPU, NIC, 스위치, 라우팅, 전송 프로토콜, 학습 프레임워크가 함께 최적화되는 풀스택 시스템으로 발전할 것으로 예상된다.

따라서 국내에서도 단순히 GPU 클러스터를 구축하는 수준을 넘어, AI 워크로드 특성을 이해하는 네트워크 프로토콜, 고속 NIC 및 스위치 제어, 분산 학습 프레임워크 연계 기술을 함께 연구할 수 있는 풀스택 엔지니어 양성이 필요하다. 특히 MRC와 RNG의 사례는 향후 AI 인프라 경쟁력이 단순한 연산 자원 확보가 아니라, 연산 자원을 얼마나 효율적이고 안정적으로 연결할 수 있는가에 의해 결정될 수 있음을 보여준다. 그리고 이러한 새로운 구조/기술을 실증하고 검증하는 차원에서 국가 연구교육망인 KOREN이 활용될 수 있도록 저변 확대와 기능 확장 등에 대한 노력도 필요할 것으로 사료된다.



참고문헌

- [1] OpenAI, "Supercomputer networking to accelerate large scale AI," May 5, 2026.
- [2] J. Araujo et al., "Resilient AI Supercomputer Networking using MRC and SRv6," arXiv:2605.04333, May 2026.
- [3] Amazon Science, "How flat is replacing fat in AWS data center networks," 2026.

Byte에서 Token으로: AI 시대 네트워크 가치의 대전환

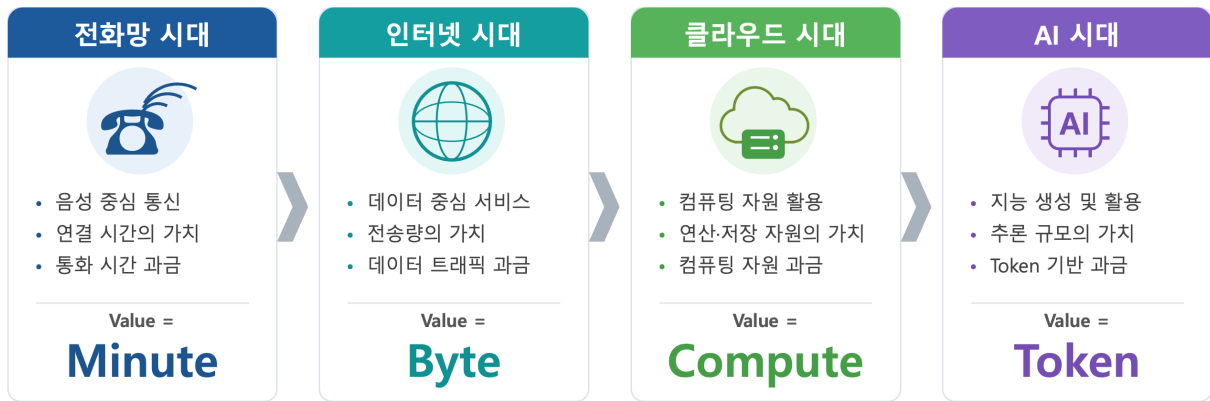
고남석 실장
한국전자통신연구원

1. 머리말

통신 네트워크의 가치는 시대에 따라 통화 시간(Minute), 데이터 전송량(Byte), 컴퓨팅 자원(Compute) 등 서로 다른 단위로 측정되어 왔다. 생성형 AI와 대규모 언어모델(LLM)의 확산은 여기에 새로운 전환점을 만들고 있다. ChatGPT, Gemini, Claude와 같은 서비스는 정보를 검색·전달하는 데 그치지 않고 사용자의 요청을 추론하여 새로운 결과를 생성하며, 이 과정에서 사용량과 비용을 설명하는 핵심 단위로 토큰(Token)이 부상하였다 [1].

토큰 수는 모델의 연산량과 컴퓨팅 자원 소비에 직접 영향을 미친다. 인터넷 시대의 Byte가 데이터 전달량의 척도였다면, AI 시대의 토큰은 추론 규모와 컴퓨팅 자원 소비를 설명하는 척도이다. AI 서비스가 확산될수록 네트워크는 사람과 서버를 연결하는 역할을 넘어 AI 모델, GPU 데이터센터, 엣지 컴퓨팅, AI 에이전트 간 상호 작용을 지원하는 방향으로 진화할 것이며, 특히 추론형 AI와 에이전트형 AI(Agentic AI)는 대규모 토큰 소비를 유발하며 미래 네트워크에 새로운 요구사항을 제기한다.

본 트렌드 리포트는 Byte 중심의 인터넷 경제에서 토큰 중심의 AI 경제로 이행하는 흐름과 그것이 네트워크 구조·서비스 모델에 미치는 영향을 분석하고, 토큰 인지형 네트워크(Token-aware Network), 컴퓨팅-네트워크 통합, AI를 위한 네트워크(Network for AI) 개념을 통해 AI 시대 네트워크의 진화 방향과 KOREN 기반 활용 가능성을 제시한다. ICT 서비스의 가치 단위 진화 과정은 <그림 1>과 같다.



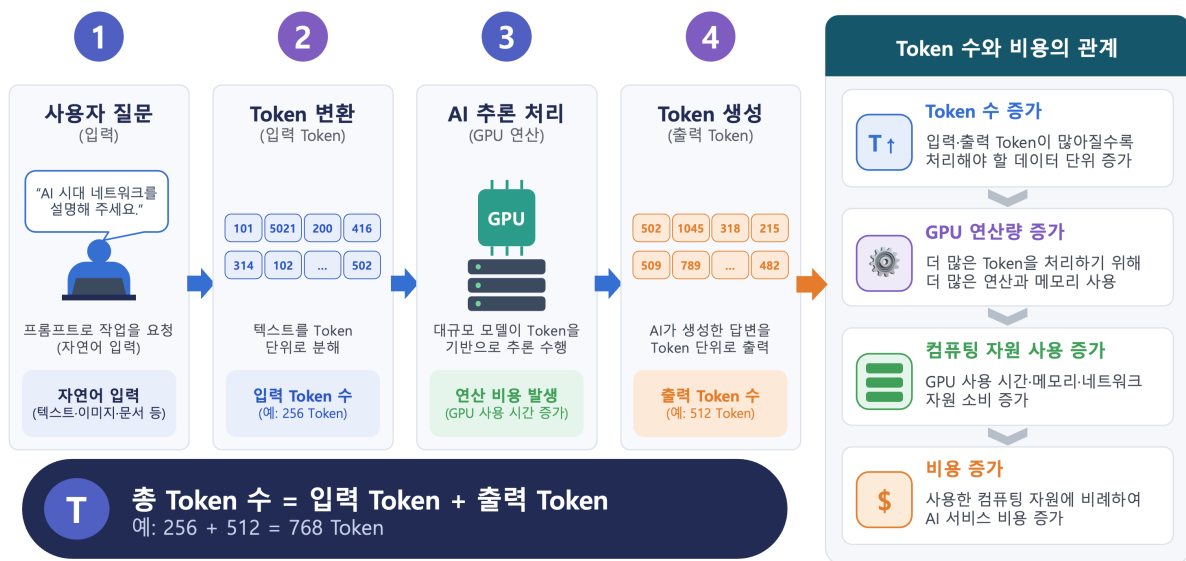
〈그림 1〉 ICT 서비스 가치 단위의 진화: Minute에서 Byte, Compute, Token으로

2. Token Economy의 등장: AI 서비스의 새로운 경제학

2.1 토큰이란 무엇인가

토큰은 단순한 과금 단위가 아니라 AI 서비스가 동작하는 기본 처리 단위이다. LLM은 입력 문장을 토큰 단위로 분해하여 이해·생성하며, 질문(Prompt)과 답변(Response)이 모두 토큰으로 변환되어 처리된다 [1].

예를 들어 짧은 문장은 약 5~6개, A4 한 페이지는 약 700~1,000개의 토큰으로 표현된다. 모델은 토큰을 기반으로 다음 토큰을 예측하는 과정을 반복하므로, 처리할 토큰 수가 늘수록 더 많은 GPU 연산과 메모리가 필요하다. 즉, 토큰은 AI 서비스가 소비하는 컴퓨팅 자원 규모를 나타내는 지표이다(그림 2).



〈그림 2〉 Token과 AI 서비스 비용의 관계

2.2 서비스의 과금 모델 변화

통신 산업은 전화망의 통화 시간(Minute), 인터넷의 데이터 사용량(Byte), 클라우드의 컴퓨팅 자원(Compute)으로 사용량 기반 과금을 발전시켜 왔다. 생성형 AI는 다시 새로운 기준을 제시하며, 주요 AI 사업자는 대부분 토큰 기반 과금을 채택해 사용자는 전송 데이터량이 아니라 처리된 토큰 수와 추론 규모에 따라 비용을 지불한다.

특히 추론형 AI 모델은 동일한 질문에도 더 많은 연산과 내부 사고 과정을 수행하므로, 서비스 비용은 토큰 소비량과 컴퓨팅 자원 사용량으로 결정된다 [3]. 월 정액 구독 서비스 역시 내부적으로는 토큰 사용량과 GPU 자원 소비를 기준으로 운영된다.

2.3 Byte Economy에서 Token Economy로

인터넷 시대의 경제는 데이터 전달을 중심으로 형성되어, 얼마나 많은 데이터를 얼마나 빠르게 전달하는가로 가치가 결정되었다. 반면 생성형 AI에서 사용자가 원하는 것은 데이터 자체가 아니라 코드, 이미지, 분석 결과처럼 추론을 통해 생성되는 결과물이다. 따라서 핵심 자원은 데이터에서 컴퓨팅으로, 다시 토큰으로 이동하며, Token Economy는 AI 산업이 데이터 중심에서 지능(Intelligence) 중심 구조로 이동하는 경제적 전환을 의미한다(표 1).

〈표 1〉 Byte Economy와 Token Economy의 비교

구분	인터넷 시대 (Byte Economy)	AI 시대 (Token Economy)
가치 단위	Byte	Token
핵심 자원	네트워크 대역폭	GPU 및 컴퓨팅 자원
주요 비용	데이터 전송	AI 추론
대표 서비스	웹, 동영상, 클라우드	생성형 AI, AI Agent
경쟁력	전송 속도	추론 품질

3. 추론형 AI와 Agentic AI가 만드는 Token 폭증

초기 생성형 AI는 텍스트 생성 수준에 머물렀고 입력과 출력이 토큰 사용량의 대부분이었다. 그러나 최근 AI는 추론(Reasoning), 도구 사용(Tool Use), 검색증강생성(RAG), 다중 에이전트(Multi-Agent), 에이전트형 AI(Agentic AI)로 발전하며, 성능을 높이는 동시에 토큰 사용량을 크게 증가시킨다.

3.1 추론형 AI와 도구 사용에 따른 토큰 증가

최근 모델은 즉시 답하지 않고 문제 이해, 전략 수립, 중간 결과 생성, 논리 검증, 최종 생성의 단계를 거친다. 이

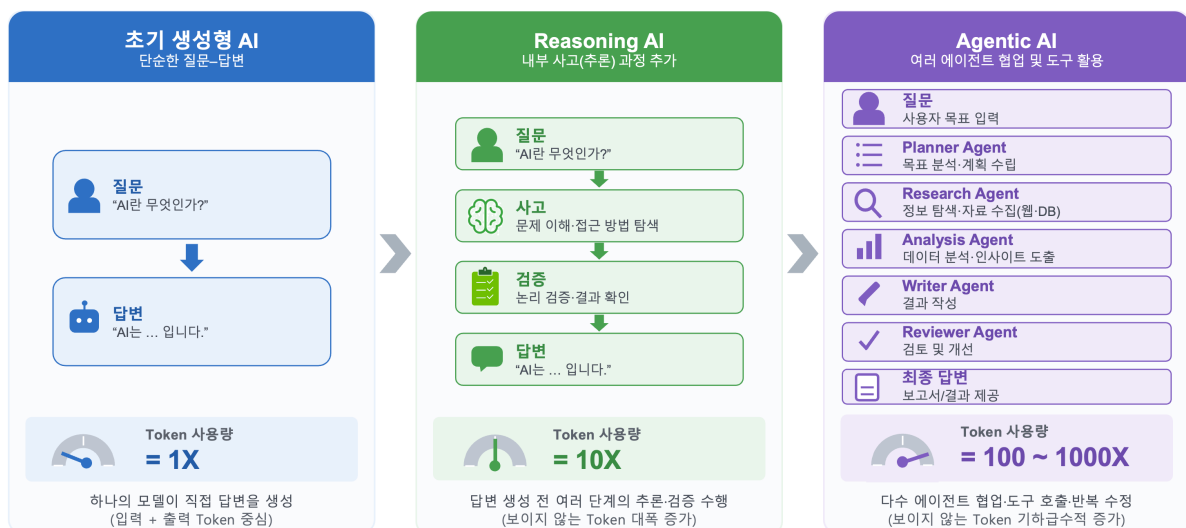
러한 단계적 추론은 사고 사슬(Chain-of-Thought)에 기반하며 [2], 보이지 않는 다수의 중간 토큰을 생성해 상당한 GPU 연산을 소비한다. 추론 능력이 높아질수록 토큰 소비도 늘며, OpenAI의 o3와 Deep Research가 추론 시점 연산(test-time compute)을 더 많이 투입하는 대표 사례이다 [3].

AI 서비스는 더 이상 단일 모델로 동작하지 않고 웹 검색, 데이터베이스 조회, 코드 실행, 외부 API 등 다양한 도구와 연동한다. 특히 외부 지식을 검색해 생성에 반영하는 검색증강생성(RAG)은 정확도를 높이고 환각을 줄이는 대표 기법이며 [4], 이 과정에서 프롬프트와 응답이 반복 생성되어 추가 토큰 소비가 발생한다.

3.2 Agentic AI와 다중 에이전트 협업

가장 주목받는 변화는 에이전트형 AI(Agentic AI)이다. Agentic AI는 답변에 그치지 않고 목표 달성을 위해 스스로 계획을 세우고 행동한다. “글로벌 AI 시장 동향을 분석 보고서를 작성하라”는 요청에 대해 목표 분석, 업무 분해, 정보 수집, 분석, 작성, 검토를 수행하며, AI가 단순 응답 생성기를 넘어 디지털 작업자(Digital Worker)로 발전함을 보여준다.

또한 복잡한 업무는 계획·조사·분석·작성·검토 역할을 분담한 여러 에이전트의 협업으로 수행되며, 내부적으로는 수십 차례 이상의 대화와 추론이 오간다. 이를 지원하기 위해 모델 컨텍스트 프로토콜(MCP) [5], 에이전트 간 통신(A2A) 프로토콜 [6] 같은 표준이 등장하고 있다. 그 결과 Agentic AI는 기존 생성형 AI보다 훨씬 많은 토큰을 소비하며, 진화 단계별 토큰 사용량 증가 추세는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> AI 진화에 따른 Token 사용량 증가

3.3 AI 중심의 보이지 않는 트래픽

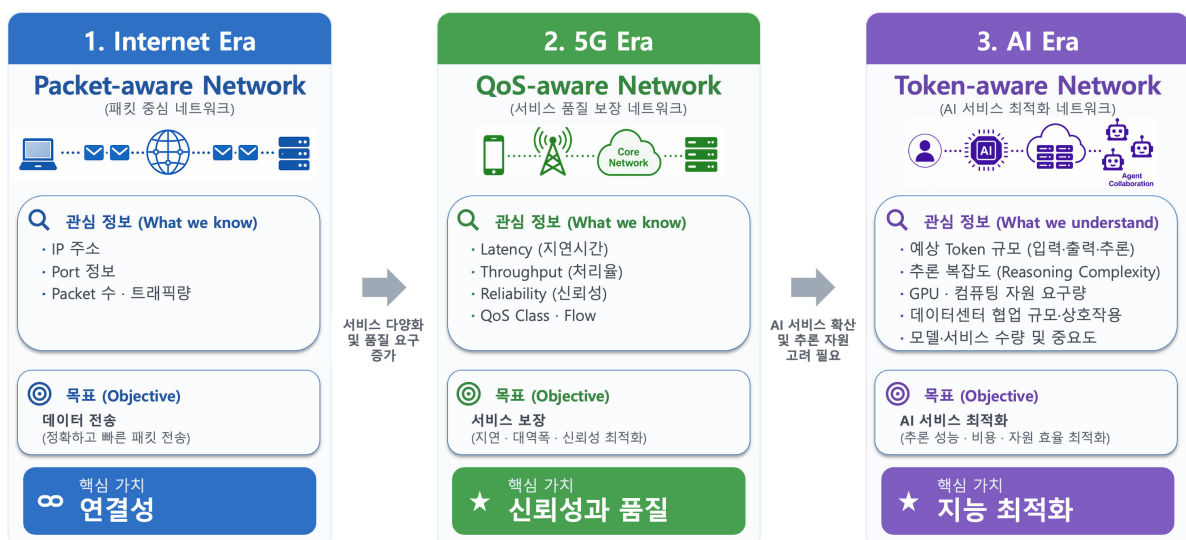
인터넷 시대의 트래픽은 대부분 사람이 생성했다. 반면 AI 시대에는 모델 내부 추론, 에이전트 간 대화, 도구 호출, 결과 검증 등 사용자가 인지하지 못하는 영역에서 대규모 ‘보이지 않는 트래픽’이 발생하고, AI 에이전트가 서로 직접 협력하면서 기계가 기계를 위해 트래픽을 생성하는 시대가 열린다. 이에 네트워크는 어떤 서비스가 더 많은 토큰을 생성하고 어디에서 추론하는 것이 효율적인지를 함께 고려해야 하며, 이는 패킷 인지형(Packet-aware)을 넘어 AI 서비스 특성을 이해하는 네트워크로의 진화를 시사한다.

4. Network for AI: AI 시대 네트워크의 새로운 역할

인터넷은 데이터 전달을 위해 설계되었고, 5G 시대에는 QoS 기반 제어로 지연·시간·처리율·신뢰성을 고려해 서비스를 차등 지원했다. 그러나 생성형 AI에서 사용자가 요구하는 것은 데이터 전달이 아니라 답변, 코드, 이미지 같은 추론 결과이므로, AI 시대의 네트워크는 데이터 전달을 넘어 AI 서비스 수행을 지원하는 역할을 요구받는다.

4.1 토큰 인지형 네트워크와 QoAI

토큰 인지형 네트워크는 국제 표준의 공식 용어는 아니지만, 본 리포트에서는 AI 시대 네트워크의 진화 방향을 설명하기 위해 사용한다. 기존 네트워크가 IP 주소, 포트, 패킷 수, 트래픽량, QoS를 기반으로 동작한다면, AI 서비스에서는 예상 토큰 규모, 추론 복잡도, GPU 요구량, 모델 유형, 에이전트 협업 규모가 중요해진다. 예컨대 동일 대역폭의 단순 질의응답과 수십 개 에이전트가 협력하는 Agentic AI 서비스는 네트워크 관점에서 유사해 보여도 실제 필요한 컴퓨팅 자원과 가치는 크게 다르다. 토큰 인지형 네트워크는 이 차이를 이해하고 AI 서비스 특성을 반영하는 개념이다(그림 4).



〈그림 4〉 네트워크 진화 방향: Packet-aware에서 Token-aware로

AI 서비스 품질은 네트워크 성능만으로 결정되지 않는다. 사용자가 체감하는 품질은 응답시간뿐 아니라 추론 정확도, 모델 성능, 추론 비용, 컨텍스트 유지 능력에 좌우되며, 동일한 지연시간이라도 모델과 GPU 자원에 따라 결과가 달라진다. 이런 관점에서 QoS를 넘어 네트워크와 컴퓨팅 자원을 통합 고려해 AI 서비스 품질을 최적화하는 QoAI(Quality of AI Service) 개념이 논의된다.

4.2 컴퓨팅-네트워크 통합(Computing-Network Integration)

AI 시대 네트워크의 가장 큰 변화는 네트워크와 컴퓨팅의 경계가 사라진다는 점이다. 인터넷 시대에 ‘어디로 데이터를 보낼 것인가’가 중요했다면 이제는 ‘어디에서 추론할 것인가’가 더 중요하다. 동일 모델이 여러 데이터센터에 배치된 경우 네트워크는 가장 가까운 위치가 아니라 네트워크 상태, GPU 가용성, 비용, 응답시간을 종합 고려해야 하며, 이를 컴퓨팅-네트워크 통합이라 한다.

이러한 변화는 표준화에서도 나타난다. 3GPP는 6G 아키텍처 연구(FS_6G_ARC)에서 컴퓨팅 지원(Computing Support)을 주요 주제로 다루며 자원 발견·선택·노출, 서비스 연속성, 네트워크-컴퓨팅 협조 기능을 논의하고 있다 [7]. 이는 이동통신 네트워크가 단순 연결을 넘어 컴퓨팅 서비스 플랫폼으로 발전하고 있음을 보여준다.

4.3 Open Gateway와 AI 플랫폼

Open Gateway는 네트워크 기능을 API로 외부에 제공하는 구조이다. GSMA Open Gateway와 CAMARA 프로젝트를 통해 현재는 인증, 위치정보, 주문형 품질(QoS) 등이 주요 대상이지만 [8], 향후 컴퓨팅 자원과 AI 서비스도 API로 제공될 수 있다. 이 경우 AI 애플리케이션은 엣지 GPU 위치, 가용 자원, 예상 지연, 비용 정보를 활용할 수 있어 Open Gateway는 AI 플랫폼과 네트워크를 잇는 핵심 인터페이스로 발전할 수 있다.

과거 네트워크가 사람과 정보를, 클라우드 시대에 사람과 컴퓨팅 자원을 연결했다면 AI 시대에는 사람과 지능(Intelligence)을 연결한다. AI 모델, GPU 클러스터, 데이터센터, 엣지 컴퓨팅이 하나의 AI 인프라를 구성하고 네트워크가 이를 연결하는 핵심 플랫폼이 된다. Network for AI는 미래 네트워크가 데이터 전달을 넘어 AI 서비스에 필요한 컴퓨팅 자원을 발견·선택·연결·최적화하는 지능형 플랫폼으로 발전함을 설명하는 개념이다.

5. 시사점 및 활용 전략

생성형 AI의 확산은 네트워크 산업의 가치 구조 자체를 바꾸고 있다. 인터넷 시대의 경쟁력이 데이터 전달 능력이었다면, AI 시대에는 지능을 얼마나 효과적으로 생성·활용하는가가 새로운 경쟁력이 되며, 이는 통신사업자, 연구기관, 표준화 기구, 정책 기관 모두에게 전략적 대응을 요구한다.

AI 경쟁의 중심은 AI 모델에서 AI 인프라로 이동하고 있다. 미국 Stargate, 유럽 AI Factory, 일본·싱가포르의 국가 AI 인프라 정책이 이를 보여주며, 자국의 언어·데이터·산업을 반영한 AI를 독립 운영하는 Sovereign AI 개념도 부각된다. 이를 위해서는 AI 모델뿐 아니라 데이터센터, GPU 클러스터, 데이터센터 간 연결망(DCI), 엣지 컴퓨팅, AI 서비스 플랫폼이 함께 필요하며, 경쟁력은 이들을 얼마나 효과적으로 통합하는가에 달려 있다.

AI 시대는 통신사업자에게 새로운 기회이다. 핵심 역할이 연결성(Connectivity) 제공에서 네트워크와 컴퓨팅 자원을 함께 제공하는 플랫폼 사업자로 전환이 요구된다. 엣지 AI, GPU-as-a-Service, AI 에이전트 호스팅, AI API 플랫폼, QoAI 기반 서비스가 그 예이며 Open Gateway가 출발점이 될 수 있다. 3GPP도 6G 연구에서 AI 네이티브 네트워크, 컴퓨팅 지원, 데이터 프레임워크를 다루고 있어 [7], 국내에서도 기술 개발과 표준화 참여를 연계한 대응이 필요하다.

KOREN은 차세대 네트워크 기술을 검증하는 국가 연구망으로서 중요한 역할을 수행해 왔다 [9]. AI 시대에도 KOREN은 새로운 네트워크 구조를 검증하는 핵심 테스트베드가 될 수 있다. 기존 연구망이 데이터 전달 성능을 검증하는 역할을 수행하였다면, 미래에는 AI 서비스 수행 능력을 검증하는 AI 실험 플랫폼으로 역할이 확대될 수 있다. KOREN은 AI 데이터센터, 엣지 컴퓨팅, Agentic AI 서비스가 결합된 미래 네트워크 환경을 검증하는 국가 차원의 테스트베드로 발전할 것으로 기대된다.

〈표 2〉 KOREN 기반 AI 시대 네트워크 활용 영역

활용 영역	주요 내용	기대 효과
AI 서비스 실증	Agentic AI 및 Multi-Agent 서비스 검증	AI 서비스 기술 확보
Edge AI	분산 추론 및 Edge Computing 검증	서비스 품질 향상
AI 데이터센터	DCI 및 GPU 클러스터 연계 실험	인프라 기술 확보
표준화 연계	3GPP Computing Support 검증	국제 표준 대응
Network for AI	Computing-Network Integration 시험	차세대 네트워크 검증

6. 맺음말

생성형 AI의 확산은 네트워크가 제공하는 가치 자체를 바꾸는 구조적 전환이다. AI 서비스의 핵심 자원은 데이터에서 컴퓨팅으로 이동하고, 토큰은 추론 규모와 컴퓨팅 자원을 설명하는 새로운 단위로 부상한다. 특히 추론형 AI와 Agentic AI는 토큰 소비를 빠르게 늘려 네트워크가 지원할 서비스의 특성을 바꾸며, 미래 네트워크는 패킷 전달을 넘어 AI 모델·컴퓨팅 자원·데이터센터·에이전트 간 협력을 지원하는 방향으로 진화할 것이다. 3GPP의 컴퓨팅 지원과 Open Gateway의 발전은 네트워크와 컴퓨팅의 통합이 현실화되고 있음을 보여준다.

토큰 인지형 네트워크나 에이전트형 네트워크는 아직 초기 비전이지만, 미래 네트워크의 경쟁력이 더 이상 데이터 전달 능력만으로 결정되지 않으리라는 점은 분명하다. 앞으로의 네트워크는 사람과 정보를 넘어 사람과 지능을, 나아가 인간과 수많은 AI 에이전트가 협력하는 디지털 생태계의 기반으로 진화할 것이다. Byte에서 토큰으로의 변화는 네트워크의 가치가 데이터 전달에서 지능 생성·활용 중심으로 이동함을 의미하며, 6G와 AI 네이티브 네트워크 시대의 방향성을 제시한다.



참고문헌

- [1] A. Vaswani et al., “Attention is all you need,” in Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), Long Beach, CA, USA, 2017, pp. 5998–6008.
- [2] J. Wei et al., “Chain-of-thought prompting elicits reasoning in large language models,” in Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 24824–24837.
- [3] OpenAI, “Learning to reason with LLMs,” Sep. 2024. [Online]. Available: <https://openai.com/index/learning-to-reason-with-llms/>
- [4] P. Lewis et al., “Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks,” in Proc. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2020, pp. 9459–9474.
- [5] Anthropic, “Introducing the Model Context Protocol,” Nov. 2024. [Online]. Available: <https://www.anthropic.com/news/model-context-protocol>
- [6] Google, “Announcing the Agent2Agent protocol (A2A),” Google Developers Blog, Apr. 2025. [Online]. Available: <https://developers.googleblog.com/en/a2a-a-new-era-of-agent-interoperability/>
- [7] 3GPP, “6G architecture to enable capabilities beyond connectivity,” Study FS_6G_ARC (Rel-20), 2025. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/technologies/6g-architecture>
- [8] GSMA, “Open Gateway: Unlocking the power of network APIs,” 2025. [Online]. Available: <https://www.gsma.com/solutions-and-impact/gsma-open-gateway/>
- [9] National Information Society Agency (NIA), “KOREN: Korea Advanced Research Network,” 2025. [Online]. Available: <https://www.koren.kr/>

양자컴퓨터 시대를 대비하는 통신망

김형수 부사장
아이오티커뮤니케이션테크(주)

1. 머리말

양자 기술의 눈부신 진화는, 실험실에 머무르지 않고 실제 통신망에의 적용을 고민하는 시기가 되었다. 양자물리학에 기반하는 ICT 기술은 초고보안, 초고연산 그리고 초고민감 능력을 제공할 수 있다고 알려져 있다. 양자(암호) 통신, 양자 컴퓨팅 그리고 양자 센싱이 각각 그 대표적인 응용으로 여겨진다. 본 고에서는 양자(암호)통신 중심으로 기술에 대한 이해와 더불어 통신망에의 적용 방안

및 표준화 동향을 살펴본다.

2. 양자시대의 도래

1981년 리처드 파인만이 양자 컴퓨터 작동 원리를 고안한 이후, 1994년 피터 쇼어가 양자 알고리즘으로 현대 암호체계를 무력화할 수 있음을 증명함으로써, 양자 컴퓨터의 위협이 실체화되기 시작하였다. 현재는 양자 기술의 능력이 언제 상용화될 것인가에 대한 이견이 있을 뿐, 그 능력 자체에 대한 의문은 존재하지 않는다. 특히 양자 컴퓨터가 초래하는 보안 이슈는 가장 우선시되는 주제이다.

현대 국가사회경제 인프라를 대표하는 통신망 역시 현대 암호체계에 기반하고 있어, 양자 컴퓨터 보안 이슈에서 자유로운 입장은 아니다. 따라서, 양자 컴퓨터의 공격에도 견딜 수 있다고 알려진 ‘양자 내성 암호(PQC, Post Quantum Cryptography)’와 ‘양자 키 분배(QKD, Quantum Key Distribution)’기술에 대한 이해와 적용 방안 검토가 필요하다.

3. 양자 내성 암호(PQC)와 양자 키 분배(QKD)

양자 내성 암호는 리베스트-샤미르-애들먼(RSA, Rivest-Shamir-Adleman) 암호체계나 타원 곡선 암호(ECC, Elliptic Curve Cryptosystem)와 같은 공개키 암호 기술이, 양자 컴퓨터에 의해 무력화되는 위협에 대비하기 위한 차세대 암호 기술이다. 지난 2017년부터 미국 국립표준기술연구소(NIST, National Institute of standards and technology)가 공개 공모와 평가를 통해

ML-KEM(Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism), ML-DSA(Module-Lattice-based Digital Signature Algorithm), SLH-DSA(StateLess Hash-based Digital Signature Algorithm)과 같은 표준을 개발하고, 추가 알고리즘 선정 및 표준화를 진행하고 있다 [1]. 대부분의 국제표준기구와 국가들은 기존 암호화 알고리즘 사례와 같이 NIST 표준을 양자 내성 암호용으로 활용할 것으로 예상된다.

한편 한국은 2021년부터 정부 주도로 한국형 양자 내성 암호 기술(KpqC, Korean post-quantum Cryptography) 확보를 위해 역시 공개 공모와 평가를 진행하여, 4종의 알고리즘을 선정하였다(AIMer, HAETAE, NTRU 및 SMAUG-T). 향후 국가표준화 추진과 시범사업을 통해 실용화 기술 개발과 범국가 암호체계 전환을 준비하고 있다 [2].

반면 양자 키 분배 기술은 양자 신호의 송수신을 통해 양자 물리학의 불확정성 및 복제 불가능성 원리를 기반으로 도청이 불가능한 보안성을 제공한다. 1984년에 제안된 BB-84(Bennett-Brassard) 프로토콜이 대표적인 방식으로, MDI(Measurement-device-independent)-QKD, TF(Twin-Field)-QKD, Phase-matching QKD, MP(Mode-Pairing) QKD 등의 다양한 프로토콜이 개발되어 있다 [3]. 국내외에 걸쳐 오랫동안 기술개발과 시범사업이 진행되어, 현재는 한국을 포함하는 많은 국가에서 상용 서비스를 제공하고 있다.

아래 <표 1>은 양자 컴퓨터 대응 두 가지 기술의 비교를 보여주고 있다.

<표 1> 양자 내성 암호와 양자 키 분배 비교

	양자 내성 암호(PQC)	양자 키 분배(QKD)
특성	수학적 복잡성에 기반	양자물리학 원리에 기반
암호 방식	비대칭키(공개키)	대칭키(비밀키)
구현 방법	소프트웨어(알고리즘)	하드웨어(전용장비 및 전용장비간 양자 신호용 매체; 광케이블, 위성/이동통신 채널 등)
주요 대상	상용 인터넷	국가·국방·금융용 전용통신
장점	상대적 저비용	이론적 보안성 검증 완료
단점	양자 컴퓨터 진화에 따른 검증 미완료	상대적 고비용과 운용관리 부담

4. 통신망 적용

앞 절의 <표 1>에서 양자 내성 암호와 양자 키 분배 기술을 비교했듯이, 암호 방식과 주요 적용 대상의 차이점을 감안하여, 통신망 적용에 있어서도 서로 다른 방법론이 고려된다. 양자 내성 암호는 기존 현대 암호체계에 적용되는 알고리즘을 대체하거나 추가하는 방식으로 적용할 수 있다. 이 경우 주로 단말 장치(스마트폰, PC 등) 혹은 응용서비스(web, 인증 앱 등)의 펌웨어 업데이트가 대표적이다.

반면 양자 키 분배 기술은 전용 장비와 양자 신호용 매체를 대상 통신망 링크에 추가해야 한다. 추가로 전용 인터페이스와 설치 공간도 필요하다. 따라서, OSI 7계층 기준으로, 양자 내성 암호는 상위 계층에, 양자 키 분배는 하위 계층을 대상으로 적용할 수 있다.

그러나 최근에는 서로 혼합된 하이브리드 방식 적용이 대두되고 있다. 즉, 주요 구간별 통신 링크(유·무선 전송망)는 양자 키 분배 기술을, 모바일 액세스 구간은 양자 내성 암호를 적용하는 방식이다. 물론 보안 레벨과 비용 측면에서의 적정성 우려가 존재할 수 있으나, 양자 키 분배 기술이 아직 이동형 구간에 대해 양자 신호 채널 구성이 불가능한 점과 위성 양자 키 분배 기술 대비 양자 내성 암호가 제공하는 비용 효율성을 감안하면 유사한 형태의 하이브리드 방식은 점차 다양화되고 구체화될 것으로 예상된다.

아래 <그림 1> 1-a)는 양자 키 분배 기술이 제공하는 암호키를 양자 내성 암호가 적용된 현대 암호체계가 활용하는 하이브리드 방식을, 그림 1-b)는 종단간 암호 체계를 양자 키 분배와 양자 내성 암호 기술이 각각 담당하는 하이브리드 방식을 보여준다 [4].



<그림 1> 통신망 적용을 위한 하이브리드 방식 사례

5. 국제표준화 동향

국가간 양자 기술 개발 경쟁 못지 않게 국제표준화 기구간 경쟁이 치열하다. 유럽표준화기구(ETSI)는 가장 먼저 양자 키 분배 기술 표준화를 시작했고, 국제전기통신연합(ITU)은 ITU-T SG11, SG13 및 SG17에 걸쳐 비용 효율측면의 양자 키 분배망(QKD network) 기술에 대한 표준화를 집중하고 있으며, 국제표준기구(ISO) 및 국제전기위원회(IEC)는 양자 기술 전담 JTC3를 설립하고 산하 WG

16에서 양자 통신 표준화에 착수했다. 앞 절에서 서술한 바와 같이 양자 내성 암호는 미국 NIST와 한국의 KpqC가 진행하고 있는데, 하이브리드 방식에 대해서는 주로 ITU-T와 IETF간 협업으로 표준화를 시작하였다 [5].

다행히 ITU-T에서의 양자 키 분배망 표준화는 한국이 선점하고 주도하고 있어, 한국형 양자 내성 암호를 포함하는 하이브리드 방식 표준화 역시 TLS(Transport Layer Security), IKE(Internet Key Exchange), IPsec (Internet Protocol Security)와 같은 현대 암호체계와의 결합을 중심으로 선행하고 있다.

6. 맺음말

양자 내성 암호와 양자 키 분배 기술은 관련 국제표준이 성숙화 과정임에도 불구하고, 실제 통신망 적용을 위해 각각 경량화와 소형화라는 추가 기술개발이 진행되고 있다.

통신망에서 양자 내성 암호 적용이 필요한 대표적인 단말의 하나가 IoT이다. 그러나 운용 중인 대부분이 IoT 단말은 기존 암호 알고리즘에 최적화된 용량을 보유하고 있어, 복잡도가 높은 양자 내성 암호를 대체 설치하기에는 어려움이 있다. 따라서, 보안성을 약화시키지 않는 경량 알고리즘 개발이 필요하다.

양자 키 분배 기술은 소형화에 집중하고 있다. 노트북이나 PC 크기 단말기에도 장착 가능토록 신용카드 크기로 소형화 할 경우 시장 확대와 기술 보편화가 가능하기 때문이다.

양자 기술이 약속하는 혁신적 특징점에도 불구하고, 이제야 과학기술계에서 산업계로 진입하고 있다. 그간 원천기술 확보에 집중해 온 한국 양자 기술 생태계는, 서둘러 산업화를 목표하는 기술개발에도 힘써야 할 시기이다. 가장 먼저 상용화가 진행되고 있는 양자 내성 암호 및 양자 키 분배 기술에 대한 통신망 적용 방안 검토는, 그래서 시의적절하다.

기술 성숙도가 높지 않아 구체적 통신망 적용 방안을 다루지는 못하지만, 차세대 인터넷으로 일컬어지는 양자 인터넷에 대한 추가 고려도 필요하다. 양자 얽힘(entanglement)이라는 디지털과는 전혀 다른 물리적 현상을 활용하는 네트워크는, 우리에게 새로운 통신망 환경을 제공할 것으로 기대된다.



참고문헌

- [1] NIST, <https://Post-Quantum Cryptography | CSRC>
- [2] 양자내성암호연구단, <https://www.kpqc.or.kr>
- [3] ITU, “ITU-T X.1711, Framework of quantum key distribution (QKD) protocols in QKD network” (’26.03)
- [4] ITU, “ITU-T Y Suppl. 79, ITU-T Y.3800 series Quantum key distribution networks – Role in end-to-end cryptographic services with non-quantum cryptography” (’23.11)
- [5] 김형수, “국내외 양자기술 표준화 현황 및 방향”, IT21 글로벌 컨퍼런스 (’25.04)

해저 광케이블 기반 광전송망 현황과 기술 발전 전망

박성혁, 임현택 이사
(주)우리넷

1. 머리말

AI, 클라우드, 빅데이터 및 초고화질 콘텐츠 서비스의 확산에 따라 국내외 데이터 트래픽은 지속적으로 증가하고 있다. 특히 생성형 AI 서비스의 등장으로 데이터센터 간 대용량 데이터 전송 수요가 급격히 증가하면서 국가 기간망과 해저 광통신 인프라의 중요성이 더욱 부각되고 있으며, 국가 디지털 경제를 지탱하는 핵심 기반시설로 확인되었다.

해저 광케이블은 국가 간 국제 통신을 지원하는 핵심 인프라이자 제주도 및 울릉도와 같은 국내 주요 도서 지역을 연결하는 필수 통신망으로 활용되고 있다. 최근에는 데이터센터 간 연결(DCI, Data Center Interconnect), 클라우드 서비스, 국가 재난 통신망 등 다양한 디지털 서비스의 기반 인프라로 그 역할과 중요성이 지속적으로 확대되고 있다.

본 이슈 리포트는 국내 해저 광케이블 구축 및 운용 현황과 이를 구성하는 ROADM(Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer) 기반 광전송 기술을 살펴보고, 글로벌 해저 광통신망의 기술 동향과 향후 발전 방향을 이해한다. 이를 통해 국내 해저 광통신 인프라의 발전 방향을 조망하고, 향후 국가 차원의 해저 광전송망 구축 및 고도화를 위한 시사점을 도출하고자 한다.

2. 국내 해저 광케이블 및 광전송망 현황

2.1 광케이블 현황

국내 해저 광케이블은 도서지역 통신 서비스 제공을 넘어 국가 디지털 경제와 정보통신 인프라를 뒷받침하는 핵심 기반시설로 자리매김하고 있다. 특히 제주도와 울릉도는 육지와 분리된 지리적 특성으로 인해 통신망의 안정성과 생존성을 확보하기 위한 다중 경로 기반의 해저 광케이블 구축이 필수적이다.

현재 국내 주요 통신사업자들은 제주도 및 울릉도 등과 다른 섬과 육지를 연결하는 복수의 해저 광케이블을 운영하고 있다.



이들 해저 광케이블은 인터넷 서비스, 이동통신, 국가재난통신망, 공공기관 전용망, 클라우드 서비스 등 다양한 통신 트래픽을 수용하는 핵심 인프라 역할을 수행하고 있다. 특히 최근 제주 지역 데이터센터 구축 확대와 공공기관의 디지털 전환 수요 증가에 따라 트래픽 규모가 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 해저 광케이블의 중요성은 더욱 커지고 있다.

또한 생성형 AI 서비스와 클라우드 기반 서비스 확산으로 수도권 데이터센터와 대용량 데이터 전송 수요가 증가할 것으로 전망된다. 이에 따라 향후 해저 광케이블의 추가 구축과 함께 차세대 ROADМ 기반 광전송망 고도화, 전송 용량 증설 및 네트워크 이중화 강화가 주요 과제로 부상할 것으로 예상된다.

한편 국내 해저 광통신 인프라는 상용 통신사업자뿐 아니라 공공 부문에서도 중요한 역할을 수행하고 있다. 과학기술정보통신부 산하 한국지능정보사회진흥원(NIA, National Information Society Agency)은 국가 정보화 및 디지털 인프라 정책을 총괄하는 기관으로, 국가 백본망과 연구개발망의 구축·운영을 지원하고 있다. 특히 NIA는 도서·산간 등 통신 취약 지역의 디지털 격차 해소와 공공 통신망의 안정성 확보를 위한 기반 인프라 정책을 추진하고 있으며, 제주·울릉도 등 도서 지역을 연결하는 해저 광케이블은 이러한 공공 통신 기반의

핵심 구간으로 기능하고 있다.

또한 NIA가 구축·운영하는 국가연구개발망인 KOREN(Korea Advanced Research Network)은 대학·연구기관·기업의 첨단 네트워크 연구와 신기술 실증을 지원하는 비상용 시험망이다. KOREN은 SDN/NFV, 초고속 광전송, 차세대 ROADMs, 5G·6G 등 신규 네트워크 기술을 상용망 도입 이전에 검증할 수 있는 테스트베드를 제공하며, 전국 주요 거점을 광전송 기반으로 연결하고 있다. 제주 등 도서 지역까지 연결되는 구간에서는 해저 광케이블을 경유하므로, KOREN은 국내 해저 광전송 기술의 실증·고도화를 위한 중요한 검증 환경으로 활용될 수 있다.

2.2 광전송망 현황

국내 해저 광전송망은 1990년 전라남도 고흥과 제주도를 연결하는 약 150km 구간의 해저 광케이블 개통을 시작으로 본격적인 발전을 시작하였다. 이는 국내 최초의 해저 광전송망으로, 제주 지역의 통신 품질을 획기적으로 향상시키고 국가 기간통신망 확충의 중요한 전환점이 되었다.

이후 1990년대 후반부터 WDM 및 DWDM 기술이 도입되면서 하나의 광섬유를 통해 다수의 파장을 동시에 전송할 수 있게 되었으며, 2000년대 초반에는 10Gbps급 전송 시스템이 상용화되었다. 이를 통해 제한된 광섬유 자원으로도 전송 용량을 크게 확대할 수 있게 되었으며, 국내 해저 광전송망의 고도화가 본격적으로 추진되었다.

2010년대 이후에는 40Gbps 및 100Gbps급 전송 기술이 출현하여, DSP 기반의 Coherent 광전송 기술이 상용화되면서 장거리 고속 전송 성능이 크게 향상되었다.

Coherent 기술은 광신호의 위상(Phase)과 편광(Polarization) 정보를 동시에 활용하여 전송 효율을 높이는 기술로, 현재 해저광통신망의 핵심 전송 기술로 자리 잡아가고 있다.

최근에는 100Gbps급 전송을 넘어 200Gbps, 400Gbps, 500Gbps급 서비스가 해저 전송망에 적용되고 있으며, 일부 글로벌 사업자들은 800Gbps급 Coherent 전송 기술을 도입하고 있다. 이러한 초고속 전송 서비스를 효율적으로 수용하기 위해 기존 50GHz 채널 간격 방식에서 벗어나 Flexi-Grid 기술이 확대 적용되고 있다.

Flexi-Grid는 서비스 용량에 따라 필요한 스펙트럼을 유연하게 할당할 수 있어 광대역폭 활용 효율을 높이고 고속 Coherent 전송을 효과적으로 지원할 수 있다.

최근 급속히 확산되고 있는 생성형 AI 서비스와 하이퍼스케일 데이터센터는 해저 광전송망의 발전을 가속화하는 주요 요인으로 작용하고 있다.

AI 학습 및 추론 서비스는 수천 ~ 수만 대 규모의 GPU 클러스터 간 대용량 데이터 교환을 필요로 하며, 이에 따라 데이터센터 간 연결 (DCI) 트래픽이 급격히 증가하고 있다. 이러한 환경에서는 단순한 전송 용량 증설뿐

아니라 네트워크 자원을 실시간으로 최적화하고 파장을 유연하게 제어할 수 있는 대용량, 장거리 구간에 해저 광전송망 기술로 차세대 ROADMs의 중요성이 더욱 커지고 있다.

최근 국내 해저 광전송망은 100Gbps 신호는 물론 최신 기술인 400Gbps 이상의 용량까지 적용되고 있으며, 최근 국내 해저 광전송망에서 주로 사용되는 주요 광전송망 장비 벤더 및 장비 정보는 다음과 같다.

랜딩 스테이션	글로벌 벤더	모델	최대 신호 용량
제주	시에나	6500 / WaveLogic	500Gbps
	노키아	1830PSS ROADMs	200Gbps
울릉도	노키아(구,인피네라)	hiT7300 ROADMs	200Gbps

2.3 주요 적용 기술

국내 해저 광전송망을 구성하고 적용되고 있는 최신 기술은 다음과 같다.

① **Coherent 광 전송 기술** : 송신된 광신호의 진폭, 위상, 편광 정보를 DSP(Digital Signal Processor)를 통해 복원하여 장거리에서도 고속·고용량 전송을 가능하게 하는 기술이다. 현재 100Gbps급~800Gbps급 광 전송 기술로 활용되고 있으며, 해저 광케이블과 데이터센터 간 DCI 구축에 필수적인 기술로 사용되고 있다. 최근 Coherent 기술이 적용된 1Tbps 이상 신호의 구축도 준비 중.

② **유연 채널 간격(Flex Grid) 기술** : 기존 50GHz 고정 채널 간격(Fixed Grid) 방식과 달리, 서비스 신호 용량에 따라 광 스펙트럼 대역폭을 유연하게 할당하는 차세대 ROADMs 기술이다. 이를 통해 광섬유 스펙트럼 효율을 향상시키고 50GHz 대역으로 전송이 어려운 400Gbps, 800Gbps 이상의 Coherent 광신호를 효율적으로 전송할 수 있는 ROADMs 기반 핵심 기술로 활용되고 있음.

③ **라만(Raman)과 고이득 라만(High Gain Raman) 기술** : 광섬유 자체를 증폭 매체로 활용하여 광 신호를 증폭하는 기술로, 일반적으로 1420~1500nm 대역의 고출력 펌프 레이저를 사용하여 C-밴드 광 신호를 증폭한다. 이를 통해 전송 구간 전반에 걸쳐 신호 품질(OSNR, Optical Signal-to-Noise Ratio)을 향상시키고 전송 거리를 확대할 수 있어 장거리 해저 광케이블에서 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)와 함께 널리 사용되는 핵심 광증폭 기술임.

라만 증폭 기술을 고도화하여 더 높은 이득(Gain)과 우수한 신호 품질(OSNR, Optical Signal-to-Noise Ratio)을 제공하는 광 증폭 기술이다. 다중 고출력 펌프 레이저를 이용하여, 해저 광케이블과 초장거리 광전송망의 전송 거리 확대 및 중계기 수 감소에 기여한다. 향후 1.2Tbps 이상 초고속 전송 시스템의 성능 향상을 위한 핵심 증폭 기술로 활용 중.

3. 국제 해저 광케이블 현황

전 세계 국제 인터넷 트래픽의 약 90% 이상은 해저 광케이블을 통해 전달되고 있으며, 해저 광케이블은 글로벌 디지털 경제와 국가 간 통신을 지원하는 핵심 인프라로 자리잡고 있다. 위성 통신이 광범위한 서비스 영역을 제공하는 반면, 대용량 데이터 전송과 낮은 지연시간이 요구되는 인터넷 및 데이터센터 간 연결은 대부분 해저 광케이블에 의존하고 있다.

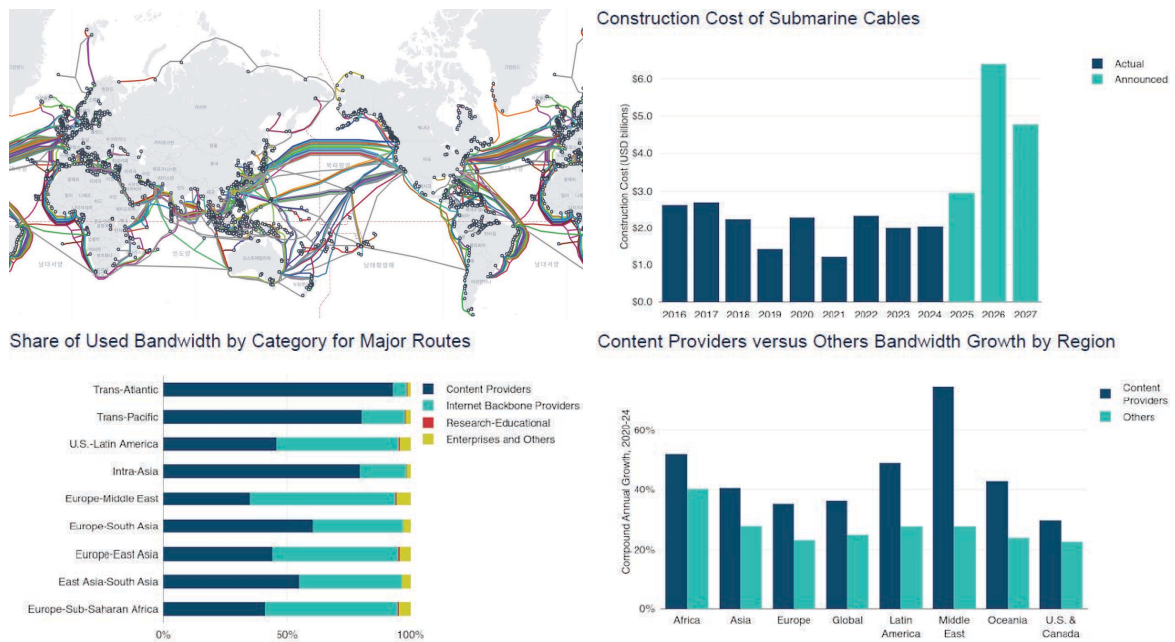
최근에는 생성형 AI, 클라우드 컴퓨팅, OTT 서비스 및 글로벌 데이터센터 확산으로 인해 국가 간 데이터 트래픽이 급격히 증가하면서 해저 광케이블의 중요성이 더욱 확대되고 있다. 이에 따라 구글, 메타, 마이크로소프트, 아마존 등과 같은 글로벌 하이퍼스케일러 업체들은 통신사업자에 의존하던 과거와 달리 직접 해저 광케이블 구축에 투자하거나 공동 컨소시엄을 구성하여 신규 해저 광케이블 프로젝트를 추진하고 있다.

대표적인 국제 해저 광케이블 프로젝트로는 메타가 주도하는 2Africa, 구글이 참여한 Apricot, 구글과 메타가 공동 투자한 Bifrost, 일본 - 미국을 연결하는 JUNO, 그리고 아시아 - 미국을 연결하는 E2A 등이 있다. 또한 2025년 메타는 5개 대륙을 단일 소유 구조로 연결하는 약 5만 km 규모의 Waterworth 프로젝트를 발표하며 하이퍼스케일러 주도의 초장거리 케이블 투자를 본격화하였다. 이러한 프로젝트는 수십 Tbps에서 수백 Tbps 이상의 전송 용량을 제공하며, 글로벌 데이터센터 및 클라우드 서비스를 연결하는 핵심 역할을 수행하고 있다.

국제 해저 광케이블에는 일반 육상 광케이블과 유사한 단일모드 광섬유(Single Mode Fiber)가 사용되지만, 해저 환경의 높은 압력과 외부 충격에 견딜 수 있도록 특수 구조로 제작되며, 심해(LW, Light Weight), 중간 수심(LWP, Light Weight Protected), 연안 수심(SA, Single Armored), 외부 충격 연안(DA, Dual Armored)으로 구분된다.

국제 해저 광케이블은 일반적으로 SubCom(미국), NEC(일본), ASN(프랑스), HMN(중국) 등 전문 해저 광케이블 시스템 공급업체가 설계 및 구축을 담당하고, 광전송 장비는 Nokia, Ciena, Ribbon, NEC 등의 글로벌 업체가 공급한다.

해저 광케이블의 주요 사용자는 전통적인 통신사업자뿐만 아니라 구글, 메타, 마이크로소프트, 아마존과 같은 글로벌 클라우드 사업자들도 포함된다. 최근에는 AI 데이터센터와 클라우드 인프라 확산에 따라 국가 및 대도시 간 AI 데이터센터 간 연결이 해저 광케이블 트래픽의 상당 부분을 차지하고 있다.



(출처 : www.telegeography.com)

4. 글로벌 주요 업체 동향

4.1 글로벌 최근 동향

최근 글로벌 해저 광케이블 및 광전송망 분야는 AI 트래픽 급증을 배경으로 빠르게 재편되고 있다. 주요 동향을 요약하면 다음과 같다.

- ① **하이퍼스케일러 주도의 초장거리 프로젝트 확대** : 메타(Meta)는 약 5만 km 규모로 전 세계를 단일 소유 구조로 연결하는 Waterworth 프로젝트를 2025년 공식화하였고, 구글은 태평양·대서양을 잇는 신규 케이블(예 : Sol, Nuvem, Pacific Connect 계열)에 대한 투자를 지속하고 있다. 이는 통신사업자 컨소시엄 중심에서 콘텐츠·클라우드 사업자 직접 투자 중심으로 시장 구조가 이동하고 있음을 보여준다.
- ② **SDM 기반 초고용량 케이블의 본격 상용화** : 공간 분할 다중화(SDM) 기술을 적용한 16~24 광섬유 페어(Fiber Pair) 케이블이 표준으로 자리잡으면서 단일 케이블당 수백 Tbps급 설계 용량이 일반화되고 있다. 펌프 전력을 다수의 광섬유에 분산하는 방식으로 단위 비트당 전송 비용을 낮춘 것이 핵심이다.
- ③ **800G~1.6T급 Coherent 및 C+L 밴드 확장** : 시에나 WaveLogic 6, 노키아 PSE-6s, 인피네라(현 노키아) ICE 계열 등 최신 Coherent DSP가 800Gbps 파장당 전송을 상용 단계로 끌어올렸으며, PCS(Probabilistic Constellation Shaping) 기반 고차 변조와 C+L 밴드 확장으로 광섬유당 수십 Tbps 전송이 가능해지고 있다. 1.6Tbps급 차세대 DSP 상용화도 가시화되고 있다.
- ④ **해저 케이블 보안·복원력(Resilience) 이슈 부각** : 발트해 및 대만 인근에서 발생한 해저 케이블 절단 사건을

계기로 케이블 보호와 경로 다양화가 안보 의제로 부상하였다. 국제전기통신연합(ITU)과 국제 해저케이블 보호위원회(ICPC)는 2025년 해저 케이블 복원력 자문기구를 출범시켜 국제 공조를 강화하고 있다.

4.2 해저 광케이블 시스템 업체

글로벌 해저 광케이블 시장을 주도하는 대표적인 시스템 공급업체는 SubCom(미국), NEC(일본), ASN(프랑스) 등으로, 최근 AI·클라우드 트래픽 증가에 대응하기 위해 초고용량 해저 광케이블과 차세대 광전송 기술 개발을 추진하고 있다.

SubCom(미국)	세계 최대 해저 광케이블 시스템 공급업체 중 하나로, 구글·메타·마이크로소프트·아마존 등 글로벌 하이퍼스케일러의 대형 해저 케이블 프로젝트를 다수 수행하고 있다. 최근 SDM 기반 초고용량 해저 광케이블 시스템과 차세대 중계기 기술 개발을 주도하고 있다.
NEC(일본)	설계, 제조, 설치, 유지보수까지 수행 가능한 E2E 해저 광케이블 구축 역량을 보유한 업체다. 아시아·태평양 지역을 중심으로 다수의 국제 해저 광케이블 구축 경험을 보유하고 있으며, AI 및 클라우드 트래픽 증가에 대응하기 위한 초고용량 해저 광케이블 기술 개발을 추진하고 있다.
ASN(프랑스)	유럽을 대표하는 해저 광케이블 시스템 전문 업체로, 대서양·지중해·아프리카 지역의 대규모 국제 해저 광케이블 프로젝트를 수행해 왔다. 최근에는 SDM(Space Division Multiplexing), 개방형 케이블 구조 및 차세대 Coherent 광전송 기술을 적용한 해저 광케이블 시스템 구축을 확대하고 있다.

4.3 주요 광전송 장비 업체

대표적으로 시에나(Ciena), 노키아(Nokia), 리본 커뮤니케이션스(Ribbon Communications) 등은 모두 Coherent 광 전송, 차세대 ROADMs, Flex Grid 기술을 기반으로 초고속 광 네트워크 솔루션을 제공하는 글로벌 광전송 전문 업체다. 또한 AI 데이터센터, DCI(Data Center Interconnect), 해저 광케이블 랜딩 스테이션 및 국가 백본망 시장을 핵심 성장 분야로 확대하고 있다.

시에나(미국)	WaveLogic Coherent DSP(Digital Signal Processor)와 GeoMesh 해저 광케이블 솔루션을 기반으로 글로벌 해저 광전송 시장을 선도하고 있다. 800Gbps 이상의 초고속 전송과 개방형 광 네트워크 분야에서 높은 경쟁력을 확보하고 있다.
노키아(핀란드)	1830 PSS 플랫폼과 Coherent 기술을 기반으로 장거리 광전송과 해저 광케이블 랜딩 스테이션 구축 경험을 보유하고 있으며, 고용량 DCI(Data Center Interconnect) 및 국제 백본망 시장에서 강점을 가지고 있다.
리본 커뮤니케이션스(미국)	Apollo 플랫폼을 기반으로 개방형 광 네트워크와 AI DCI(Data Center Interconnect) 시장을 적극 공략하고 있으며, 고성능의 대용량 Coherent 기술 및 차세대 ROADMs 기술을 보유하여 해저 광케이블 전송망 시장에 사업을 점차 확대하고 있다.

5. 향후 기술 진화 방향

해저 광케이블은 AI 서비스와 하이퍼스케일 데이터센터 확산에 따라 글로벌 디지털 인프라의 핵심 플랫폼으로 발전하고 있다. 이에 따라 해저 광전송망은 더 높은 전송 용량과 유연한 네트워크 운용을 지원하는 방향으로 진화하고 있다.

해저 광케이블 시스템 측면에서는 SDM(Space Division Multiplexing) 기술을 기반으로 다중 광섬유 페어(Multi-Fiber Pair) 및 다중 코어 광섬유(Multi-Core

Fiber)가 확대 적용되면서 전송 용량이 획기적으로 증가할 것으로 전망된다.

광전송망 장비 측면에서 Open Optical Network 및 Flex Grid 기술이 확대 적용되어 파장 자원의 유연한 운용과 자동화 기반 네트워크 관리가 가능한 차세대 CDC-F기반 ROADМ 도입이 확대될 것으로 예상된다. 또한 AI 기반 네트워크 자동화 기술이 접목되면서 장애 예측, 자동 복구 및 트래픽 최적화 기능을 갖춘 지능형 광전송망으로 발전할 것으로 전망된다.

전송 기술 측면에서는 현재 400Gbps~800Gbps급 Coherent 광전송에서 1.6Tbps급 이상 초고속 전송으로 발전하고 있으며, PCS(Probabilistic Constellation Shaping)기반 고차 변조 기술과 차세대 DSP(Digital Signal Processor) 기술을 통해 전송 효율이 지속적으로 향상되고 있다. 또한 기존 C-Band 중심의 전송 구조는 C+L Band 확장을 통해 수용 가능한 광 스펙트럼을 확대하는 방향으로 발전하고 있다. 이는 AI 데이터센터와 글로벌 클라우드 인프라 간 대용량, 장거리를 연결하는 차세대 광전송망 플랫폼의 기반이 될 것으로 예상된다.

6. 결론

해저 광케이블은 국가 디지털 경제와 AI·클라우드 생태계를 연결하는 전략적 인프라로 자리매김하고 있다. 특히 생성형 AI 확산과 데이터센터 간 연결(DCI, Data Center Interconnect) 수요 증가에 따라 국내 해저 광전송망의 중요성은 지속적으로 확대될 것으로 예상된다.

국내 해저 광전송망은 향후 제주도와 울릉도 등을 연결하는 단순 Point-to-Point 구조를 넘어 랜딩 스테이션, 국가 기간망, AI 데이터센터 및 클라우드 인프라를 연계하는 지능형 광네트워크로 발전할 것으로 전망된다. 이를 위해서는 대용량 Coherent 전송 기술, 차세대 ROADМ 기반 광전송망 확대 및 개방형 광네트워크 구조 도입이 필요하다.

더불어, 장기적으로 글로벌 해저 광케이블 프로젝트 참여를 위한 전략으로 많은 노하우를 보유하고 있는 글로벌 해저 광케이블 및 해저 광전송 장비 공급업체와의 연동성 및 사업 협력 기반을 확보하는 전략이 필요하다. 이를 위해서 계층별 전문 기술을 보유한 국내 기술과 글로벌 선도 해저 광전송 업체 간 사업협력을 기반으로 한 진입 장벽이 높은 생태계에 도전하기 위한 현실적이고 효율적인 방안으로 판단된다. 초기에는 기술협력을 통해 글로벌 기술, 검증, 운용 경험을 확보하고, 단계적으로 핵심 기술과 유지관리 등을 내재화함으로써 국내 기술

경쟁력 강화와 장기적으로 국내 광전송 기술의 해외 진출과 국제 해저 광통신 생태계 참여 확대에도 기여할 것으로 전망된다.

현재 국내에서도 과학기술정보통신부와 정보통신기획평가원 주관으로 차세대네트워크(6G) 산업기술 개발사업(2024~2028)으로 차세대 ROADМ 및 POTN(Packet Optical Transport Network) 광전송 장비 기술이 상용화 개발이 추진되고 있으며, 향후 CDC-F ROADМ, 운용 소프트웨어, Coherent 광전송, 광증폭기 등 핵심 기술, 장비 분야의 국내 경쟁력 확보를 통해 국내 차세대 광전송망을 비롯한 차세대 해저 광전송망 기술 및 장비 국산화를 위한 기반이 마련될 것으로 기대되며, 또한, NIA의 공공 인프라 정책과 KOREN 기반 연구망 실증 체계는 국내 해저 광전송망의 신기술 검증과 국산 장비 상용화를 연계할 수 있는 토대가 된다. 향후 차세대 ROADМ, Coherent 광전송, 광증폭기 등 국내 개발 기술을 KOREN 환경에서 선제적으로 실증하고 공공 통신망에 단계적으로 적용한다면, 국내 해저 광통신 인프라의 자립도와 경쟁력을 동시에 강화할 수 있을 것으로 기대된다.



참고문헌

- [1] TeleGeography, Submarine Cable Map 및 Submarine Cable Frequently Asked Questions, <https://www.telegeography.com>.
- [2] Meta, "Project Waterworth: Building global subsea infrastructure," Engineering at Meta Blog, 2025.
- [3] Google Cloud, Subsea cable investments (Sol, Nuvem, Pacific Connect 등), <https://cloud.google.com/about/locations/network>.
- [4] ITU & ICPC, International Advisory Body for Submarine Cable Resilience, 2025.
- [5] SubCom, Open Submarine Cable Systems & SDM Technology White Papers, <https://www.subcom.com>.
- [6] NEC, Submarine Network Solutions, <https://www.nec.com/en/global/solutions/submarine>.
- [7] Alcatel Submarine Networks (ASN), SDM & Open Cable Technology, <https://web.asn.com>.
- [8] Ciena, WaveLogic Coherent Solutions & GeoMesh Extreme, <https://www.ciena.com>.
- [9] Nokia, 1830 Photonic Service Switch & PSE Coherent DSP, <https://www.nokia.com>.
- [10] Ribbon Communications, Apollo Optical Networking Platform, <https://ribboncommunications.com>.
- [11] 과학기술정보통신부·정보통신기획평가원(IITP), 차세대네트워크(6G) 산업기술개발사업 사업설명자료, 2024.
- [12] ITU-T G.694.1, Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (Flexible Grid 포함).
- [13] 한국지능정보사회진흥원(NIA), 기관 소개 및 국가 디지털 인프라 사업 안내, <https://www.nia.or.kr>.
- [14] KOREN(Korea Advanced Research Network), 국가연구개발망 소개 및 연구망 인프라 현황, <https://www.koren.kr>.

3GPP 제112차 RAN 기술총회로 본 6G 표준화 추진 현황

정재윤 수석
한국정보통신기술협회

1. 머리말

6G 이동통신은 2030년 상용화를 목표로 국제 표준화가 본격적으로 추진되고 있다. 국제 이동통신 표준화 협력 기구인 3GPP는 현재 Release 20을 통해 6G 기술 연구(SI, Study Item)를 진행하고 있으며, 이를 바탕으로 2027년부터 첫 번째 6G 규격인 Release 21 규격 개발에 착수할 예정이다. 이에 따라 6G 표준화는 새로운 기술의 필요성과 적용 가능성을 검토하는 연구 단계에서 실제 규격 개발을 준비하는 단계로 접어들고 있다.

이러한 표준화 추진 과정에서 2026년 6월 싱가포르에서 개최된 제112차 3GPP 기술총회에서는 첫 번째 6G 규격이 될 Release 21의 단계별 표준화 일정이 최종 확정되었으며, 무선접속망(RAN, Radio Access Network)의 6G 시나리오 및 요구사항 연구가 완료되었다. 또한 무선접속기술(6G Radio)에 대한 중간 점검을 통해 파형(Waveform), 채널 코딩(Channel Coding), 무선접속망 구조(RAN Architecture) 등 주요 기술에 대한 논의가 진전되었다. 이와 함께 비지상망(NTN), 개방형 무선망 구조, 5G-6G 전환 방안 등 향후 규격 개발 과정에서 검토해야 할 주요 기술 이슈들도 논의되었다.

이번 총회는 Release 20 연구가 중반 단계를 지나면서, Release 21 규격 개발의 방향이 정리되고 있다는 점에서 의미가 있다. 본 고에서는 제112차 RAN 기술총회의 주요 논의 결과를 중심으로 Release 21 표준화 일정과 6G Radio 연구의 주요 논의 결과를 정리하고, 현재 3GPP RAN에서 논의되고 있는 주요 연구 방향을 소개한다.

2. 제112차 RAN기술총회 주요 결과

2.1 Release 21 개발 일정 확정

제112차 기술총회 기간 중 개최된 RAN·SA·CT Joint Session에서는 6G 규격(Release 21)의 단계별 완료 일정이 최종 확정되었다 [1]. Release 21은 Release 20 연구 결과를 바탕으로 첫 번째 6G 규격을 개발하는 단계로, 2027년 3월 신규 표준화항목(Work Item) 승인과 함께 본격적인 규격 개발이 시작될 예정이다. 일부에서 제안된 일정 연장 의견은 채택되지 않고 원안이 유지됨에 따라, 첫 번째 6G 규격은 당초 계획대로 2028년 12월(ASN.1 2029년 3월) 완료를 목표로 추진될 예정이다(그림 1).

Rel-21 (5G-Adv and 6G)

- 5G-A/6G Package Approval: Mar 2027
- Stage-1 freeze : Mar 2027 (agreed in TSG#111)
- Stage-2 freeze : June 2028 (100%)
 - Stage-2 80% completion checkpoint: Mar 2028
- Stage-3 freeze : Dec 2028
- ASN.1/OpenAPI freeze: Mar 2029

Proposed Rel-21 Timeline – Additional Details for RAN

- 📶 Rel-21 5G-A/6G Package Approval: Mar 2027
 - Mar 2027 (RAN#115): Approve 5G-Adv RAN1/2/3 and RAN4 non-spectrum items and 6G WI
 - RAN#115 will be a 5-day meeting
 - Note: It is expected that RAN2/3/4 aspects of the 6G WID will be revised in June 2027 to reflect the final outcome of the 6G study in RAN2/3/4
 - Sep 2027 (RAN#117): Approve RAN4 spectrum items
- 📶 Rel-21 Stage-3 freeze: Dec 2028
 - RAN1 starts in Q2/2027 until Q3/2028
 - RAN2/3/4 starts in Q3/2027 until Q4/2028
- 📶 Rel-21 ASN.1 freeze: Mar 2029

〈그림 1〉 Proposed Release 21 Timeline

2.2 6G 시나리오 및 요구사항 연구 완료

이번 기술총회에서는 무선접속망 6G 시나리오 및 요구사항 연구(TR 38.914)가 최종 완료되었다[2]. TR 38.914는 6G 무선접속망이 지원해야 하는 서비스 시나리오와 성능 요구사항을 정의한 연구보고서로, 향후 Release 21 규격 개발의 기준으로 활용될 예정이다.

이번 회의에서는 전차 제111차 기술총회까지 축적된 연구 결과를 바탕으로 남아 있던 주요 쟁점을 중심으로 최종 논의가 이루어졌다. 주요 성능지표(KPI), 무선망 구조 및 마이그레이션, 다양한 단말 지원, 신규 서비스 및 시험 요구사항 등 미합의 사항을 조정하여 TR 38.914 v1.0.0을 최종 승인하면서 Release 20의 '6G 시나리오 및 요구사항' 연구를 마무리했다.

2.3 6G Radio 연구의 기술적 방향

6G Radio 연구는 Release 20에서 수행 중인 핵심 연구 항목으로, Release 21에서 규격화될 무선접속기술의 기반을 마련하는 연구이다. 이번 기술총회에서는 무선접속망 구조(RAN Architecture), RAN-CN(Core Network) 인터페이스, 물리계층(PHY) 기술 등 주요 요소 기술에 대한 중간 점검이 이루어졌으며, 향후 규격 개발의 방향이 한층 명확해졌다.

먼저 무선접속망 구조 측면에서는 High Layer Split(HLS)이 주요 논의사항으로 다루어졌다 [3][4]. HLS는 NR에서도 표준화된 구조이지만 실제 상용망에서는 제한적으로 활용되어 왔다. 이번 회의에서는 6G 환경에 적합한 기능 분담 구조를 마련하기 위해 Centralized Unit(CU)과 Distributed Unit(DU) 분리, 그리고 CU-Control Plane(CU-CP)과 CU-User Plane(CU-UP) 분리 구조를 중심으로 논의되었으며, HLS 적용 시 프로토콜 스택 내 분기점을 어디로 설정할 것인지도 논의되었다. 분기점에 따라 RRC 등 프로토콜 기능의 배치가 달라질 수 있는 만큼 산하 작업반(RAN3)에서 추가 연구를 진행하기로 했으며 차기 회의에서 세부 구조를 결정할 예정이다.

RAN과 코어망(CN) 간 인터페이스 구조에 대한 논의도 이루어졌다[5]. 현재 NR에서는 Connectivity services(기존 이동통신 서비스)를 위해 P2P(Point-to-Point) 인터페이스를 사용하고 있으며, 이번 회의에서는 6G에서도 이를 유지하기로 합의하였다. 반면 신규 서비스는 서비스 요구사항과 특성을 고려하여 P2P와 SBI(Service-Based Interface)를 모두 후보 구조로 검토하기로 결정하였다.

물리계층에서는 파형(Waveform), 변조(Modulation), 채널 코딩(Channel Coding) 등 핵심 무선기술의 연구 진행 상황을 점검하였다. Waveform은 기존 NR의 CP-OFDM 기반 단일 프레임워크를 유지하는 방향으로 합의되었으며, 채널 코딩은 6G 환경에 최적화된 BG3(Base Graph 3) 도입 방향을 확정하였다. 반면 변조 기술의 핵심 이슈였던 Constellation Shaping은 이번 회의에서 가장 치열한 논쟁이 이루어진 기술 가운데

하나였다. 일부에서는 실제 망 환경에서 성능 향상이 제한적인 반면, 구현 복잡도가 크게 증가한다는 이유로 연구를 종료하고 기존 변조 구조를 유지해야 한다고 주장한 반면, 다른 측에서는 Probabilistic Shaping(PS)이 6G의 성능 개선을 위한 핵심 기술이 될 수 있으므로 추가적인 검증이 필요하다더라도 도입해야 한다고 주장하였다. 이에 따라 총회는 PS와 Geometric Shaping(GS)을 모두 3개월간 추가 연구한 후 제113차 기술총회에서 채택 여부를 결정하기로 합의하였다 [6]. 다만 차기 회의에서도 합의에 이르지 못할 경우 Constellation Shaping 연구를 종료하기로 함으로써, Release 21 규격 개발 일정 내에서 기술 채택 여부를 결정하기로 하였다.

3. 맺음말

제112차 3GPP RAN 기술총회는 첫 번째 6G 규격인 Release 21의 개발 일정을 최종 확정하고, 6G 시나리오 및 요구사항 연구를 완료하는 한편, 6G Radio 연구의 주요 기술 방향을 보다 구체화했다는 점에서 의미가 있다. 특히 Release 20 연구가 중반 단계를 지나면서 6G 표준화 논의가 기술 연구 중심에서 실제 규격 개발을 위한 준비 단계로 전환되고 있음을 보여주었다.

향후 Release 20 연구는 2027년 3월까지 계속되며, 남아 있는 기술적 쟁점에 대한 합의를 거쳐 Release 21 규격을 구성할 핵심 기술과 네트워크 구조가 순차적으로 구체화될 것으로 예상된다.



참고문헌

- [1] RP-260868, "Release 21 Timeline", RAN Chair(Samsung), SA Chair(Intel), CT Chair(Huawei)
- [2] RP-261565, "TR 38.914 v1.0.0 on Study on 6G Scenarios and Requirements", CMCC(Moderator)
- [3] RP-261322, "Views on 6G HLS RAN Architecture", Verizon et al,
- [4] RP-261075, "Status of RAN3 interim milestones", RAN3 Chair(Nokia)
- [5] RP-261167, "Status on RAN-CN interface check point", RAN3 Chair(Nokia)
- [6] RP-261051, "Moderator's summary for 6G WG SI:Modulation", RAN1 Vice-Chair(Ericsson)