

# 주요국가별 교육 및 과학 연구망 인프라/운영/서비스 현황 조사 및 비교/분석

박성진\*, 조부승\*, 노민기\*, 이원혁\*, 김동균\*,  
조진용\*, 권우창\*, 박찬진\*, 김승해<sup>o</sup>

## Survey and Comparative Analysis of Infrastructure, Operation, and Service Status of NREN in Major Countries

Seongjin Park\*, Buseung Cho\*, Minki Noh\*, Wonhyuk Lee\*, Dongkyun Kim\*,  
Jinyong Jo\*, Woo Chang Kwon\*, Chanjin Park\*, Seunghae Kim<sup>o</sup>

### 요약

데이터 중심의 거대과학 연구, 교육 및 연구를 포함한 산업 전반의 언택트 환경 등으로 인한 보다 높은 성능과 안전성을 갖춘 네트워크에 대한 필요성과 중요성이 커지고 있다. 주요 국가들은 일반인들을 대상으로 하는 상용망 이외의 교육 및 연구 목적의 네트워크를 구축 및 운영하는 NREN(National Research and Education Networks)이 있다. 본 논문은 주요 국가의 NREN 현황을 크게 백본 인프라, 네트워크 운영, 서비스 관점에서 조사하고 그에 대한 비교 및 분석과 시사점을 논의해보고자 한다. 비록 주요국 NREN들의 대상 지역 및 인원과 투자 규모, 운영 목적 등의 차이가 있으나 논문에서 정의한 비교항목을 기준으로 투자, 기술, 개발 등의 포괄적인 조사를 수행하고자 한다. 이를 통해 주요 NREN들이 적용한 최신 네트워크 기술들과 개발 및 투자 현황들을 확인하고 차세대 NREN 비전을 조명해 보고자 한다.

**키워드** : 국가연구망, 백본 인프라, 네트워크 운영, 보안 서비스, T&I 서비스

**Key Words** : NREN, backbone Infrastructure, Network Operation, Security service, Trust & Identity (T&I) service

### ABSTRACT

Due to data-intensive scientific research and the transition to untact, the demand for a network with higher performance and safety is increasing. Major countries have the National Research and Education Network (NREN), which builds and operates networks for educational and research purposes other than general-purpose commercial networks. Although there are differences in NREN's vision, members and investment scale, we intend to conduct a comprehensive investigation on investment, technology, and development based on the comparative index defined in the paper. Through this, this study intends to check the latest network technologies applied by major NRENs, the status of development and investment, and illuminate the vision of the next generation of NRENs.

\* 본 연구는 2022년도 한국과학기술정보연구원(KISTI) 주요사업 과제로 수행되었습니다.

• First Author : Korea Institute of Science and Technology Information, xkqekdl@kisti.re.kr, 정희원

◦ Corresponding Author : Korea Institute of Science and Technology Information, shkim@kisti.re.kr, 정희원

\* Korea Institute of Science and Technology Information, {bscho, mknoh, livezone, mirr, jiny92, wckwon, pcj0722}@kisti.re.kr  
논문번호 : KICS202203-028-B-RN, Received March 4, 2022; Revised May 9, 2022; Accepted May 18, 2022

## I. 서 론

NREN (National Research and Education Network)은 국가의 교육 및 연구 목적으로 네트워크를 구축/운영하는 특별한 네트워크 서비스 제공자이다. NREN의 역할은 연구 및 교육 목적의 기관 및 그룹을 대상으로 상용망과 분리된 고성능의 네트워크 서비스를 제공하는 것으로 최근들어 그 중요성이 부각되고 있다. 그 이유는 첫 번째로 전세계의 연구 생태계가 빅데이터 중심의 융합 및 협업 연구로 전환되고 있기 때문이다. 에너지/물리, 천문/우주, 바이오, 기상/기후 분야 등 다양한 과학연구 분야들로부터 방대한 양의 데이터가 생산되고 있으며 이를 통한 연구 그룹 및 기관 간 데이터 기반의 융합 및 협업 연구가 유의미한 성과를 거두고 있다. 이러한 연구 패러다임은 계속해서 이어질 예정이며, CERN의 입자가속기 활용 연구, 인공태양 등의 핵융합에너지 연구, SKA, LSST와 같은 거대 전파 망원경 기반 연구 등의 실제적 요구들이 증가하고 있는 추세이다. 두 번째 이유는 팬데믹으로 인한 연구 및 교육 환경의 언택트로의 전환이다. 원격 교육, 재택 근무 등 비대면 생활 방식은 네트워크 미래 수요 및 활용 패턴에도 큰 변화를 일으켰다. 특히, 언택트 기반의 교육 방식의 급격한 변화로 인해 기존의 상용망을 사용하던 교육기관들은 급증하는 네트워크 수요를 감당할 수 없는 수준이다. 이와 더불어 교육 및 연구 분야에서 클라우드 서비스들에 대한 요구가 네트워크 수요를 가중시키고 있다. 따라서, 국가의 연구 및 교육 목적의 고성능 네트워크 서비스를 제공하는 NREN의 역할의 중요성은 갈수록 부각될 것으로 보인다. 이와 같은 관점에서 본 논문은 주요국가의 NREN들의 현황 및 수준을 분석하고 조사 결과를 바탕으로 향후 국내의 NREN의 발전방향을 조명해보고자 한다. 보다 객관적인 비교와 가치있는 분석 결과를 위해서는 비교 항목을 타당하게 정의하는 것이 중요하다. 이에 주요 국가의 NREN에 대해 조사한 결과를 크게 인프라/운영/서비스 항목별로 정리하고 비교 및 분석한 후 그 시사점에 대해 논의해 본다.

본 논문의 조사방법은 주요국 NREN들의 운영 홈페이지, 학회/세미나/워크숍 발표, 연간 보고서 등 온라인 중심으로 이루어졌다.

본 논문의 구성은 크게 세 파트로 나뉜다. 첫 번째 파트에서는 비교 항목 정의와 조사대상 NREN 선정 이유에 대하여 설명한다. 두 번째 파트에서는 조사를 실시한 주요 NREN들의 현황 및 수준을 각 항목별로

비교/분석한다. 세 번째 파트에서는 본 조사의 비교 및 분석 결과에 따른 시사점에 대해 논의한다.

## II. 비교 항목 및 조사대상 선정

### 2.1 비교 항목 정의

본 장에서는 주요국 NREN들의 수준을 비교/분석하기 위한 비교 항목별 세부 수준을 정의한다. 모든 항목별 수준은 A(100% 수준), B(75% 수준), C(50% 수준), D(25% 수준)의 네 단계로 분류하였다.

#### 2.1.1 인프라 부문

첫 번째로 정의할 비교항목은 백본 인프라 부문이다. 주요 국가의 각 NREN들은 국내 연구자들을 위한 국내 백본망 구축은 물론 전세계 연구자들 간의 협업을 위해 국제 간 망운영 서비스를 제공한다. 따라서, 백본 인프라에 대한 수준 분석은 크게 국내와 국제 파트로 나눌 수 있다.

객관적인 비교를 위해 국내 백본 인프라 구축 및 운영 수준은 표 1과 같이 단일 파장 당 전송속도를 기준으로 한다. 광 전송기술의 발전으로 단일 파장 기준 전송속도는 10Gbps/40Gbps/100Gbps 순으로 증가하였다. 최근에는 400Gbps 이상의 전송속도로 전송이 가능하다. 따라서 가장 높은 A 수준은 백본 전체 혹은 일부 구간에서 단일 파장 당 400Gbps 이상의 망을 구축 및 운영하는 것으로 정의하였다. 추가적으로 현재 미사용 중이나 언젠가 사용 가능한 광케이블인 dark fiber를 확보한 경우도 A 수준으로 정의한다.

국제망의 경우, 전송속도뿐만 아니라 얼마나 많은 대륙 및 국가 간 망을 연동 및 운영하고 있는지가 중요하다. 대부분 주요국 NREN들은 현재 국제망 연동을 위해서 400Gbps 이상으로 전송속도를 증가시키는 것보다는 다수의 대륙 및 국가 간 연동을 늘리는 것이

표 1. 국내망 백본 인프라 수준  
Table 1. Rating of domestic network backbone infrastructure

수준	내용
A	Dark Fiber 확보 또는 일부 구간 단일 파장 기준 400Gbps 전송 인프라 구축/운영
B	단일 파장 기준 최소 100Gbps 전송 인프라 구축/운영
C	단일 파장 기준 최소 10Gbps 전송 인프라 구축/운영
D	단일 파장 기준 1~10Gbps 전송 인프라 구축/운영

표 2. 국제망 백본 인프라 수준  
Table 2. Rating of international network backbone infrastructure

수준	내용
A	해저케이블 일부 소유 또는 대륙 간 4x100Gbps 이상의 국제 인프라 구축 및 확보
B	대륙 간 100Gbps급 이상, 국가 간 다수의 100Gbps급 이상의 국제 인프라 구축 및 확보
C	대륙 간 10Gbps급 이상, 국가 간 10Gbps급 이상의 국제 인프라 구축 및 확보
D	국가 간 10Gbps급 이상의 국제 인프라 구축 및 확보

중요하다고 판단하고 있다. 따라서 국제망 인프라의 A 수준은 대륙 간 100Gbps 급의 전송속도로 4개 이상을 연동하는 인프라 구축 및 운영하고 있는 것으로 정의한다. B 수준은 대륙 간 4개 이상의 연동을 하고 있지는 않지만 다수의 국가 간 100Gbps 급 전송속도의 인프라를 구축 및 운영 중인 NREN으로 정의한다.

2.1.2 운영 부문

두 번째로 정의할 비교항목은 네트워크 운영 수준이다. 백본 인프라와 마찬가지로 국내망 운영과 국제망 운영 부분을 구분하여 정의한다.

국내망 운영의 경우, 현재 대다수의 NREN에서 L2/L3 VPN 등의 망 자원 할당 서비스를 제공하고 있다. 최근 망 운영과 관련된 새로운 이슈는 네트워크 운영 자동화 및 지능화이다. 따라서, 상용 수준의 네트워크 운영 자동화를 도입한 NREN은 A 수준으로 정의하고 프로토타입을 정립하고 있는 NREN은 B 수준으로 정의하였다. 기존 방식인 매뉴얼대로 직접 네트워크를 운영하고 있는 NREN은 C 수준이다.

국제망 운영의 경우, 국가 간 연구망 트래픽 교환을 위한 협의체에서 명시된 정책을 따르는 NREN은 A 수준으로 정의한다.

표 3. 국내망 운영 수준  
Table 3. Rating of domestic network operation

수준	내용
A	상용 수준의 네트워크 운영 자동화 및 서비스 오케스트레이션
B	네트워크 운영 자동화 및 서비스 오케스트레이션 프로토타이핑
C	네트워크 매뉴얼(비자동화) 운영
D	R&E IP Routed 네트워킹 서비스 제공

표 4. 국제망 운영 수준  
Table 4. Rating of international network operation

수준	내용
A	명시적 운영정책 기반 production GXP/GOLE 운영 및 멀티도메인간 동적자원할당서비스 제공
B	명시적 운영정책 기반 production GXP/GOLE 운영 또는 멀티도메인간 동적자원할당서비스 제공
C	컨소시엄 단위의 IP Routed 국제연구망 트래픽 교환 및 단일도메인 내 동적자원할당서비스 제공
D	비교환노드 기반 국제 연구망과 단대단 연동 및 동적자원할당서비스 제공하지 않음

2.1.3 서비스 부문

세 번째로 정의할 비교항목은 서비스 수준이다. 서비스 항목에는 주요국 NREN들이 대부분 제공하고 있는 서비스인 보안, T&I (Trust & Identity) 서비스가 포함된다.

주요국 NREN들은 기본적으로 보안 관계 서비스를 제공 중이다. 최근에는 라우팅 보안, DDoS mitigation, 양자암호 등 추가적인 보안 체계를 구축하는 NREN들이 증가하고 있다. 따라서 보안서비스를 L1/L2/L3/L4 이상으로 분류를 하고 계층별 보안서비스를 체계적으로 운영하고 있는 NREN일수록 높은 수준으로 정의하였다.

또한 주요국 NREN들은 연구자 간 신뢰성과 편의성을 바탕으로 한 협업 환경을 제공하기 위한 인증 서비스, 즉 T&I 서비스를 제공 중이다. 객관적인 비교를 위해 각 NREN이 제공하는 T&I 서비스의

표 5. 보안서비스 수준  
Table 5. Rating of security service

수준	내용
A	2개 이상의 다중 계층 보안 서비스 제공
B	1개 이상의 다중 계층 보안 서비스 제공
C	보안관계 서비스 이외의 보안 서비스 미제공
D	보안관계 및 일반적인 네트워크 보안 서비스 미제공

표 6. T&I 서비스 수준  
Table 6. Rating of T&I service

수준	내용
A	100개 이상의 IDP 및 100개 이상의 SP 제공
B	50개 이상의 IDP 및 50개 이상의 SP 제공
C	위 A, B에 해당하지 않으며 1개 이상의 IDP와 1개 이상의 SP를 제공
D	Trust & Identity 서비스를 제공하지 않음

IDP(Identity Provider)와 SP(Service Provider)의 개수로 해당 항목의 수준을 비교하였다.

### 2.2 조사대상 선정

본 논문에서는 비교 및 분석을 위해 6개의 해외 국가NREN을 조사 대상으로 선정하였다. 대륙별 국가별로 대표성이나 우수성이 입증된 국가연구망들로 선정을 하였고 국내 NREN은 조사 대상에서 제외하였다. 표 7과 같이 북미 지역에서 2개, 유럽 지역에서 2개, 아시아 지역에서 1개, 오세아니아 지역에서는 1개의 국가연구망을 조사 대상으로 선정하였다.

표 7. 조사 대상 NREN 선정 결과  
Table 7. NREN selected for survey

대륙	조사대상 NREN
북미	Internet2 / ESnet
유럽	GEANT / SURF
아시아	SINET
오세아니아	AARnet

## III. 항목별 NREN 현황 조사

### 3.1 인프라 부문

그림 1은 국가별 NREN의 국내/국제 인프라 현황을 A(100%), B(75%), C(50%), D(25%)의 수준별로 비교한 그래프이다.

#### 3.1.1 국내망 인프라 구축 현황

본 논문의 조사 대상인 주요국 NREN들의 국내 백

본망은 단일파장 당 400G급 광전송망 기술을 적용하여 일부 구간에는 구축을 완료하여 운영 중이다. 각 NREN들의 400G급 광전송망 구축 완료가 확인된 구간은 SURF가 Breda - Utrecht, AARnet이 Sydney - Canberra, SINET이 Tokyo - Osaka이다. Internet2는 2021년 12월 기준으로 N\*400G급의 백본망 구축을 완료한 것으로 확인되었다. 이로 인해, Internet2는 800Gbps 이상의 노드 간 전송 속도의 백본망을 구축 및 운영 중이다. Internet2, GEANT, SURF, AARnet은 미사용 중이지만 필요에 따라 사용 가능한 광회선, 즉, dark fiber를 상당 수준 확보한 것으로 확인되었다. 특히, GEANT과 SURF가 속한 유럽의 NREN들은 10년 이상의 장기간 회선 임차 방식인 IRU를 통해 총 150,000km 이상의 dark fiber를 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 따라서 본 논문의 조사대상인 주요국 NREN들은 백본망 인프라 항목 부문에서는 모두 A 수준으로 조사가 되었다.

대부분의 조사대상 NREN들은 백본망 업그레이드를 추진 중인데, Internet2는 NGI, ESnet은 ESnet6, GEANT은 GN4-3N, SINET은 SINET6가 각 NREN들의 프로젝트에 해당한다. SURF는 2017년부터 SURFnet8 프로젝트를 시작하였고, 2018년까지 백본 인프라 부문에 대한 업그레이드를 완료하였다. 그 이후에는 네트워크 서비스 고도화 작업을 진행하였다. 최근 주요국 NREN들의 네트워크 업데이트 추진은 대용량 전송을 위한 고성능 백본망 구축과 함께 소프트웨어 기반의 효율적 네트워크 운영 및 자원 할당을 함께 고려하고 있다. 소프트웨어 기반 네트워크 업그레이드에 관한 자세한 내용은 네트워크 운영 항목에

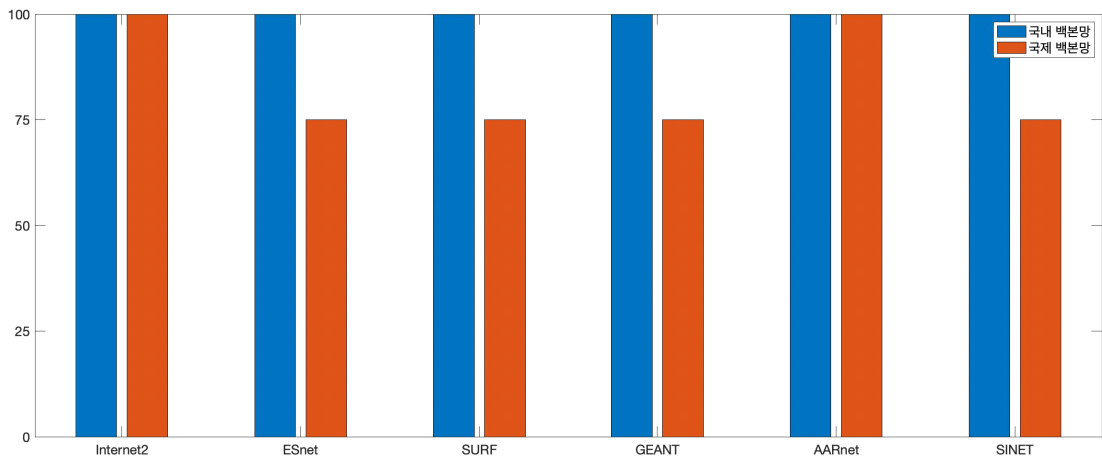


그림 1. 인프라 현황 조사 결과  
Fig. 1. Survey results on infrastructure status

### NGI Packet: 400 Gbps Backbone Commissioning Status

4.2.21

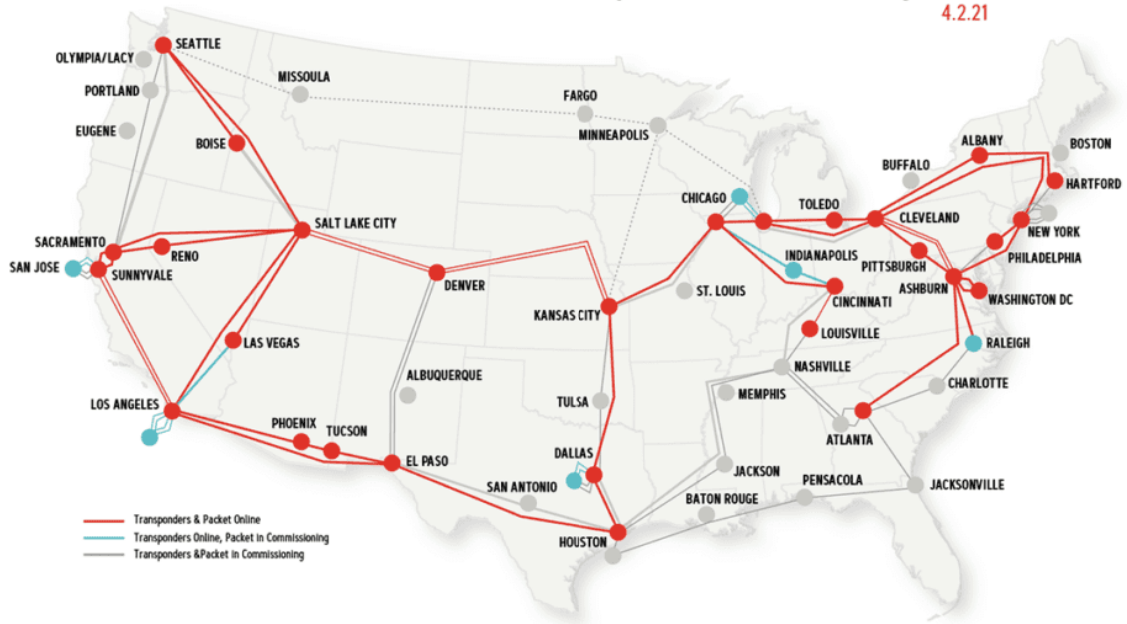


그림 2. Internet2의 400Gbps 이더넷 회선 연동 현황 (2021.04.21.)[2]  
 Fig. 2. 400Gbps Ethernet line on Internet2 (04.21.2021.)[2]

서 다르다.

#### 3.1.1.1 Internet2

Internet2는 NGI (Next Generation Infrastructure) 프로그램의 일부로 400G/800G 급의 전송 인프라 업그레이드를 추진하고 있다. 2021년 2월, Phoenix와 Tucson 구간 사이 단일 램다 기준 800Gbps의 광 전송망 구축을 시작으로 미국 전역에 걸친 광 전송망 업그레이드를 추진 중이다<sup>[1]</sup>. 2021년 4월경에는 그림 2와 같이 Cisco 8201 라우터 장비를 도입하여 400Gbps 전송속도의 이더넷 연동 회선을 29개 지점에 구축 완료하였다<sup>[2]</sup>. 2021년 5월에는 서부 지역인 Los Angeles와 동부 지역인 Washington D.C. 간 중간 지점들을 포함한 양방향으로 395Gbps 이상의 속도로 패킷 손실 없이 실제 데이터 전송에 성공하였다<sup>[3]</sup>.

#### 3.1.1.2 ESnet

ESnet은 2023년까지 ESnet6로의 네트워크 업그레이드를 추진하고 있다. 이와 관련하여 ESnet6은 2020년 10월 Infinera와의 계약 체결을 공식 발표하였다. 해당 파트너십을 통해 ESnet은 600G에서 800G급의 광 전송 백본망으로의 업그레이드 계획을 밝혔다. 또한, 광 전송망 구축을 기반으로 400G급 이더넷 서비

스 제공이 가능할 것으로 전망하고 있다<sup>[4]</sup>.

#### 3.1.1.3 SURF

SURFnet은 기존 SURFnet7에서 SURFnet8으로의 네트워크 업그레이드를 통해 기본 100G, 최대 400G 급의 백본망을 구축하였다. 2017년 이전을 시작하여 2018년에 광 전송망 구축을 완료하였다. 2017년 6월 9일에는 Breda 와 Utrecht 구간 간 400Gbps의 연결을 구축하여 테스트를 진행하였다. 또한, 광 전송망 구축 이후에 2018년부터 서비스 계층 업그레이드를 위한 장비 교체 작업을 2020년까지 완료하였다<sup>[5]</sup>.

#### 3.1.1.4 GEANT

GEANT은 GN4-3N 프로젝트의 지원 아래에서 IRU 기반의 네트워크 확장을 추진하고 있다. 이를 통해, 그림 3과 같이 25개국 이상의 나라가 GEANT 네트워크를 통해 연동되고 추가적으로 확보할 dark fiber의 길이도 늘어날 예정이다. 또한, 2020년 7월에는 Infinera와의 계약 체결을 공식 발표하였고, DCI (Data Center Interconnect) 폼팩터의 트랜스폰더와 결합한 최신 OLS (Open Line System), FlexILS 기술을 적용해 2022년에는 새로운 스펙트럼 서비스를 제공할 계획이다<sup>[6]</sup>. 스펙트럼 서비스는 모바일 네트워크에서

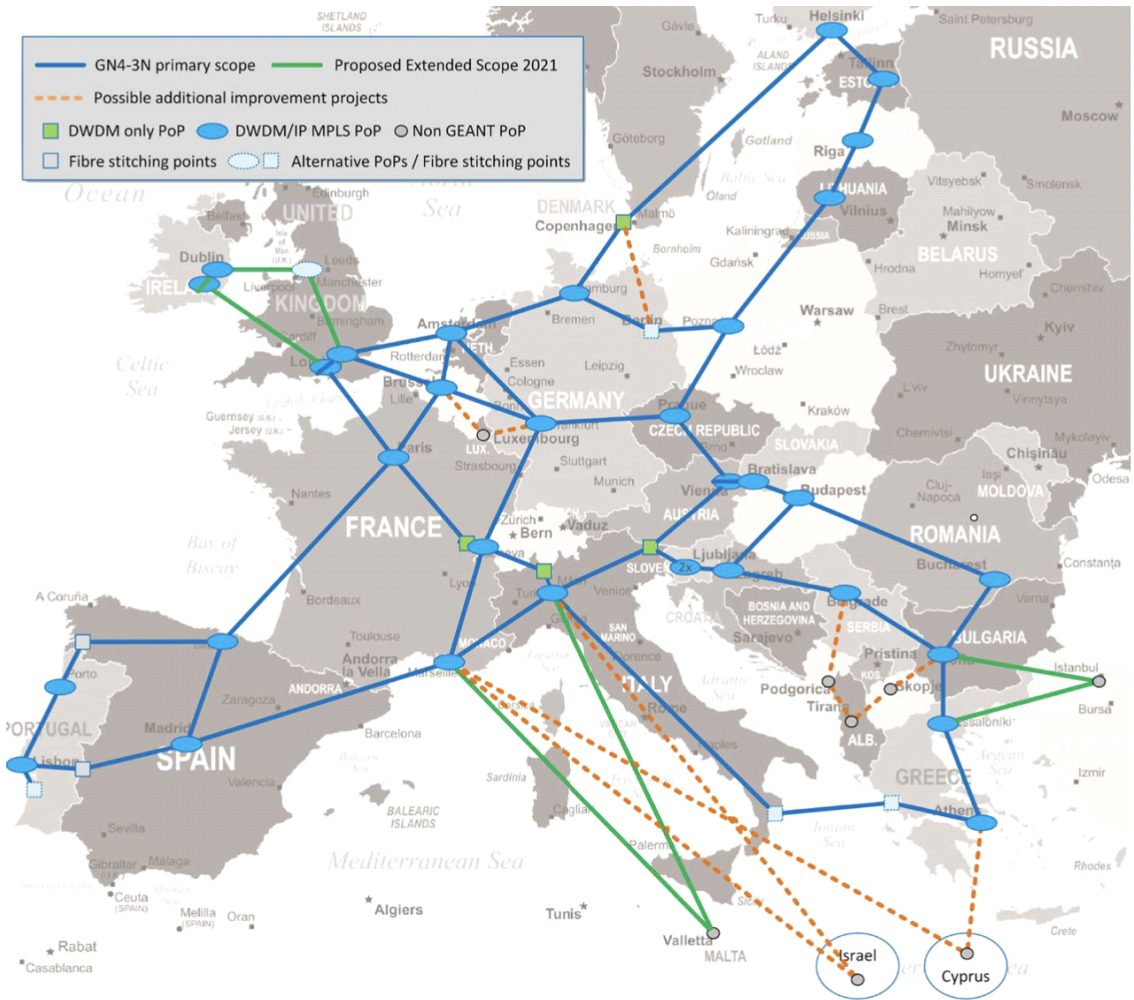


그림 3. GEANT의 네트워크 토폴로지 (GN4-3N 프로젝트)[6]  
Fig. 3. GEANT's Network Topology (GN4-3N Project)[6]

처럼 광 네트워크의 광 스펙트럼을 나누어 보다 사용자들에게 효율적으로 분배할 수 있는 방법으로 GN4-3의 지원 아래 진행되고 있다.

### 3.1.1.5 AARnet

AARNet의 백본망 업그레이드 계획은 확인할 수는 없으나 100G급 이상의 국내 백본망 네트워크를 구축한 상태이다. 2020년 9월에는 Sydney와 Canberra 구간 간 400Gbps의 링크를 연결하여 운영하고 있다<sup>7)</sup>.

### 3.1.1.6 SINET

SINET은 400G급의 백본망 네트워크 업데이트를 목표로 하는 SINET6를 추진하고 있다. 2019년 12월

에는 그림 4와 같이 Tokyo와 Osaka 구간 간 400Gbps 링크를 추가하였다<sup>8)</sup>.

### 3.1.2 국제망 인프라 구축 현황

국제 백본망은 현재 400G급으로 전송속도를 향상시키는 것보다는 대륙 간 또는 국가 간 100G급의 연동 구간을 늘리는 것에 집중을 하고 있는 추세이다. 미국은 NSF(National Science Foundation)의 IRNC(International Research and education Network Connections) 프로그램을 통해 국제망 백본을 구축 및 운영하고 있으므로 Internet2가 단독으로 운영한다고 보기는 어렵다. 하지만, Internet2가 북미 최대 국가연구망으로서 네트워크가 직접 연동되어 있고 IRNC 핵심 파트너로서 참여하고 있다. 따라서 국가연구망들만

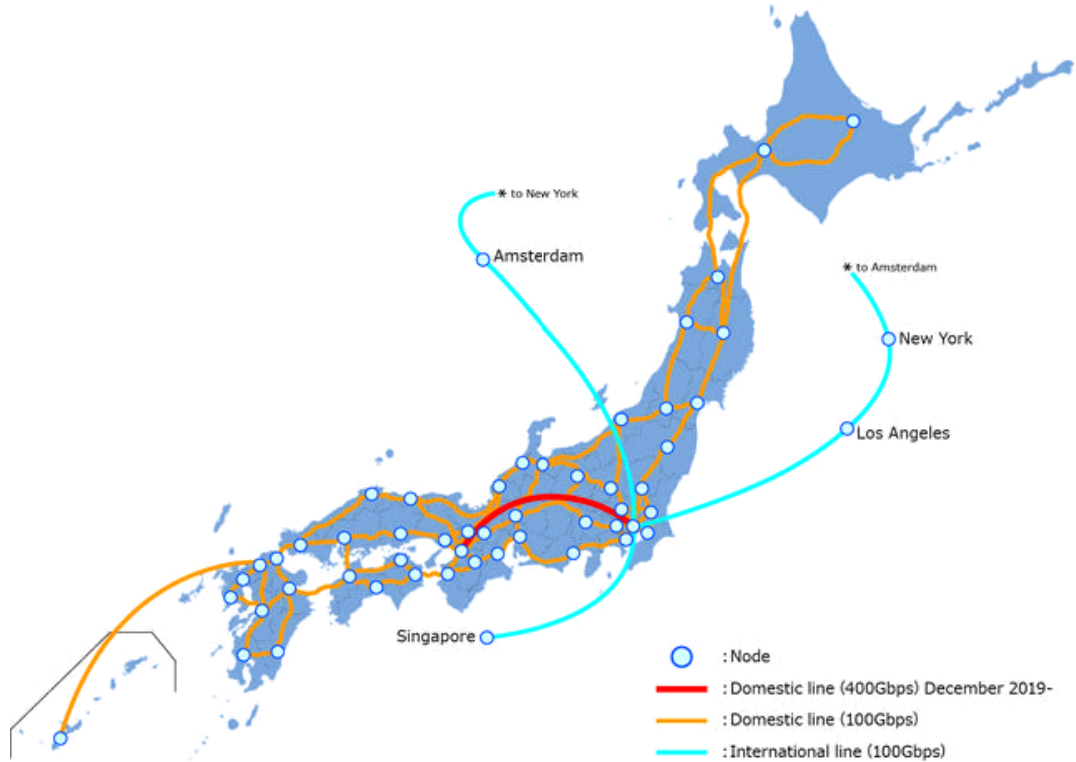


그림 4. SINET5의 네트워크 토폴로지 (2019.12.6.)[8]  
 Fig. 4. Network topology of SINET5 (12.6.2019.)[8]

을 조사대상으로 한정된 본 논문에서는 IRNC 현황을 Internet2의 국제망 인프라 수준으로 반영하였다. 북미는 IRNC를 통해 아시아 대륙을 연동하는 TransPAC5, 유럽 및 아프리카 대륙을 연동하는 NEA3R, 남미와 아프리카 대륙을 연동하는 AmLight-Exp 프로젝트를 추진 중이다. 위 프로젝트들을 통해 북미는 대륙 간 다수의 100G급 백본망을 구축 및 운영하고 있는 것으로 확인되었다. AARnet은 Indigo, JGA와 같은 해저 케이블 사업에 직접 참여함으로써 대륙 간 연동 케이블을 소유하고 있다. 따라서, 국제망 백본 인프라 부문에서는 그림 1과 같이 Internet2와 AARnet이 가장 높은 A 수준으로 분류되었다. 이외에도 조사대상인 NREN들은 컨소시엄에 참여함으로써 100G급의 대륙 간 연동을 하고 있다. 따라서, ESnet, GEANT, SURF, SINET은 B 수준으로 분류되었다. 현재 다수의 NREN들은 다수의 컨소시엄을 형성해 경제적이고 효율적인 방식으로 대륙 간 또는 국제 간 네트워크 연동을 확장해나가고 있다.

### 3.1.2.1 Internet2

미국의 국제 NREN은 NSF의 IRNC 프로그램으로

부터 지원을 받아 운영되고 있다. IRNC의 일환으로 인디애나 대학은 APR (Asia Pacific Ring)을 연동하는 프로젝트인 TrasPAC5를 추진하기 위해 NSF로부터 2020년부터 5년간 약 4.75M 달러를 지원받는다<sup>[9]</sup>. 또한, 인디애나 대학은 북미, 유럽, 아프리카, 북극 (Arctic) 지역을 연동하는 NEA3R (Networks for European, American, African, and Arctic Research) 프로젝트를 추진함으로써 NSF로부터 2020년부터 5년간 약 4.75M 달러를 지원받는다<sup>[10]</sup>. 플로리다 국제 대학은 남미와 아프리카 지역을 연동하는 AmLight-Exp (Americas-Africa Lightpaths Express and Protect) 프로젝트를 추진하기 위해 NSF로부터 2020년부터 5년간 약 3.8M 달러를 지원받는다<sup>[11]</sup>. 2021년 10월에는 Guam과 Singapore를 100G로 연결하는 컨소시엄에 Internet2, 인디애나 대학, AARnet, ARENA-PAC가 참여한다고 공식 발표하였다<sup>[12]</sup>.

### 3.1.2.2 ESnet

ESnet은 그림 5와 같이 100Gbps 3개, 40Gbps 1개의 구간을 유럽 대륙과 연동하는 국제망 인프라를 구축 및 운영하고 있다.

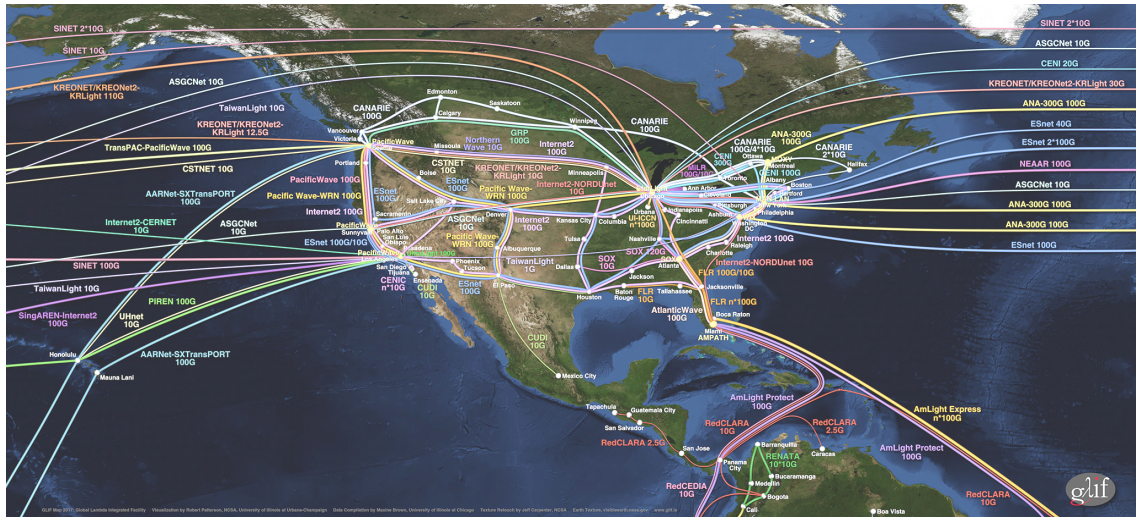


그림 5. 북미 지역 GLIF Map (2017년)[13]  
Fig. 5. North America GLIF Map (2017)[13]

### 3.1.2.3 SURF

SURF는 그림 6과 같이 북미 지역과 유럽 지역을 연동하는 ANA (Advanced North Atlantic) 컨소시엄을 참여하고 있다.

### 3.1.2.4 GEANT

GEANT은 그림 6과 같이 아시아-태평양 지역과 유럽을 연동하는 CAE-1(Collaboration Asia Europe-1) 컨소시엄과 북미와 유럽을 연동하는 ANA 컨소시엄에 참여하고 있다.

### 3.1.2.5 AARnet

AARnet은 Indigo, JGA와 같은 해저케이블 사업에

직접 참여하여 케이블을 소유하고 있다. Indigo 프로젝트는 Sydney-Perth-Singapore 구간을 연결하고 JGA 프로젝트는 Sydney-Guam-Japan 구간을 연결한다<sup>14)</sup>.

### 3.1.2.6 SINET

SINET은 NII(National Institute of Informatics)의 지원을 받아 유럽 지역과 북미 지역을 100Gbps로 연동하는 국제망을 구축 및 운영하고 있다<sup>15)</sup>.

## 3.2 운영 부문

그림 7은 국가별 NREN의 국내/국제 네트워크 운영 현황을 A(100%), B(75%), C(50%), D(25%)의 수

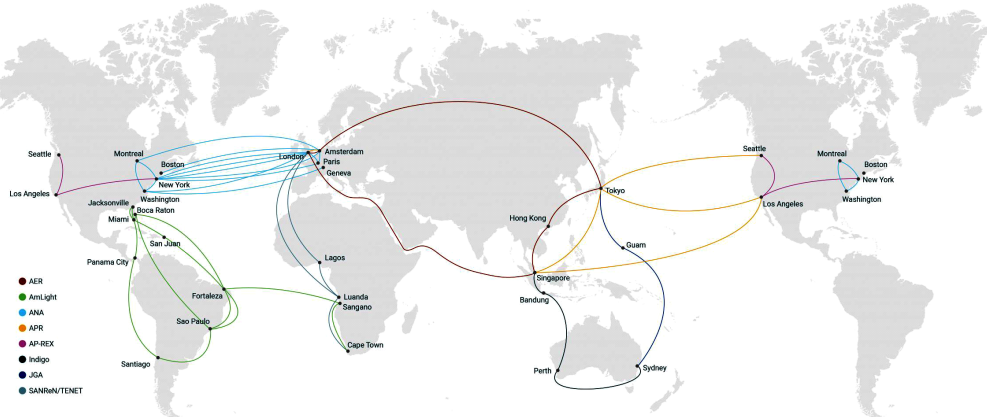


그림 6. 국제망 네트워크 구성도[13]  
Fig. 6. International Network Map[13]



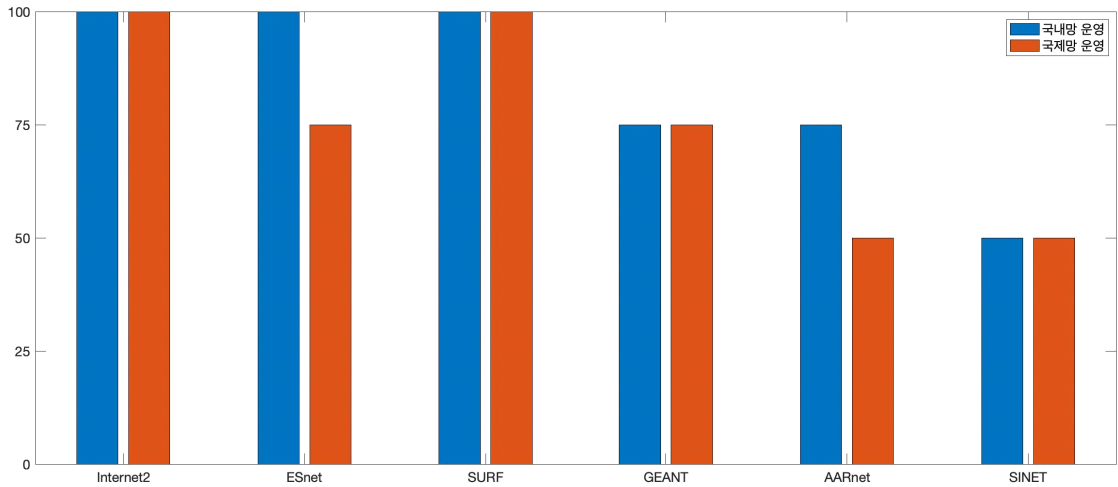


그림 7. 네트워크 운영 현황 조사 결과  
Fig. 7. Survey results on network operation status

준별로 비교한 그래프이다.

### 3.2.1 국내망 운영 현황

백본 인프라 부문에 대한 비교/분석에 언급하였듯이 네트워크 업그레이드를 추진하는 대부분의 주요국 NREN들은 백본망 고도화와 동시에 소프트웨어 기반의 네트워크 운영 및 서비스 고도화를 진행 중이다. 네트워크 운영 항목은 백본 인프라 부문과 마찬가지로 국내망 운영과 국제망 운영 부문을 구분하여 분석한다. 국내 백본망 운영의 경우, 조사대상인 주요국 NREN들은 L2/L3 VPN 등의 자원 할당 서비스를 제공하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 네트워크 운영 및 서비스의 최근 이슈인 네트워크 자동화 및 지능화 플랫폼에 대한 개발에 대한 수준을 비교/분석한다. SURF는 SURFnet8으로의 네트워크 업그레이드 시작 시점인 2017년부터 네트워크 자동화 및 오케스트레이션 플랫폼에 대한 개발을 시작하였다. 애자일 방식의 개발을 통해 orchestrator를 개발하였고, 2021년 이후의 최신 버전은 v4.1로 확인되었다. 네트워크 자동화 및 오케스트레이션 플랫폼 구축 및 서비스를 위한 프로젝트들은 오픈소스 기반으로 진행되고 있으며 사용자가 설치 및 테스트할 수 있도록 배포중이다. ESnet은 SURF의 오케스트레이터 엔진에 기반한 네트워크 자동화 및 오케스트레이션 플랫폼을 자체 개발 및 구축 중이다.

#### 3.2.1.1 Internet2

Internet2의 NGI 프로젝트는 CISCO 사의 NSO (Network Services Orchestrator)를 통한 소프트웨어

기반의 네트워크 운영 자동화 및 서비스 오케스트레이션을 하나의 주요한 목표로 삼고 있다<sup>16)</sup>. Internet2는 2020년부터 본격적으로 NSO 기반의 소프트웨어 계층을 설계 및 구축하고 있다. 이를 통해, 네트워크 운영 자동화, 자원 및 서비스 오케스트레이션 플랫폼을 제공하고자 한다. 이를 통해 Internet2는 기존의 매뉴얼 방식으로 진행되던 네트워크 설정 작업들을 NSO 기반의 자동화된 방식으로의 실제적 전환을 추진하고 있다.

#### 3.2.1.2 ESnet

ESnet은 SURF의 workflow 엔진을 네트워크에 적용하였다. 이를 기반으로 소프트웨어 기반 네트워크 오케스트레이션 및 자동화 플랫폼 구축을 위한 계층별 개발을 진행하고 있다<sup>17)</sup>. ESnet의6의 소프트웨어 기반 구조는 크게 2개 계층으로 구분하는데 각 각 Hollow core, Smart services edge로 명명하였다<sup>18)</sup>. Hollow core 계층에서는 실제 백본망 자원의 상태 및 성능 모니터링과 대역폭 할당 등을 자동화하기 위한 소프트웨어 기반 API들을 제공한다. Smart services edge 계층에서는 엣지 라우터/스위치의 Telemetry를 위한 소프트웨어 기반 API 및 SDN(Software Defined Network)/NFV(Network Function Virtualization) 기반 서비스 등을 제공한다. 또한 수집한 대용량 네트워크 데이터를 이용한 NetPredict, DeepRoute와 같은 네트워크 지능화 알고리즘 및 서비스를 개발하고 있으며, 이를 위한 저지연의 실시간 네트워크 처리를 위해 Xilinx사와 FPGA 기반의 smartNIC를 제작 및 관

런 프로젝트를 추진하고 있다<sup>19)</sup>.

### 3.2.1.3 SURF

SURF는 2017년부터 네트워크 A&O(Automation and Orchestration)를 위한 플랫폼 개발을 시작하였다<sup>20)</sup>. 자체 개발 오케스트레이터인 워크플로우 엔진을 구현하였고, 해당 코어는 ESnet의 네트워크에 적용되었다. 워크플로우 엔진의 목적은 다양한 자동화 및 오케스트레이션 서비스들을 하나의 오케스트레이터에 연결 및 구동하여 사용자들에게 편의성과 효율성을 제공하기 위한 것이다. 가장 최근에 개발한 버전은 Orchestratot v4.1으로 확인되었으며, 애자일 방식의 개발을 진행하고 있다. SURF는 오픈소스의 기반의 프로젝트들을 개발 중에 있으며, 사용자들이 설치 및 테스트할 수 있도록 배포중이다<sup>21)</sup>.

### 3.2.1.4 GEANT

GEANT은 GN4-3 프로젝트의 WP6 그룹 두 번째 Task (Network Services Evolution and Development)에서 OAV (Orchestration, Automation and Virtualization) 프로젝트를 추진 중이다<sup>22)</sup>. GEANT은 OAV 프로젝트를 통해 OAV 구조, Open API, 네트워크 자동화 및 오케스트레이션 플랫폼 개발 현황 등에 대한 서베이 조사 및 관련 커뮤니티 활동을 지원하고 있다. 세부적으로는 OAV wiki, 커뮤니티 포털, OAV 학습 포털 등이 포함된다. GEANT은 서비스 관리 플랫폼 구축을 위한 SPA(Service Provider Architecture)를 제시하였다<sup>23)</sup>. SPA는 블록화된 구조의 TM forum ODA (Open Digital Architecture)를 준수하고 있다. SPA 세부 컴포넌트들은 UI(User Interface), 서비스 오케스트레이터 등을 포함한다. 또한, GN4-3의 WP6 그룹 세 번째 Task (Monitoring and Management)에서는 캠퍼스 네트워크 자원 원격 구성 및 관리에 관한 프로젝트인 CNaaS(Campus Network Management as a Service)를 추진하고 있다. GEANT은 OAV를 CNaaS를 위한 요소 기술로 보고 있다.

### 3.2.1.5 AARnet

AARnet은 네트워크 오케스트레이션 및 자동화 플랫폼 구축을 위한 프로토타입을 진행 중임을 확인하였으나 현재 정확한 추진 현황은 파악할 수 없었다.

### 3.2.1.6 SINET

SINET은 현재 네트워크 자동화&오케스트레이션

플랫폼 구축 계획 및 개발현황을 확인할 수 없었다.

## 3.2.2 국제망 운영 현황

주요국 NREN들의 국제망 운영 수준을 나누는 기준으로 국제 간 광 교환노드 운영 수준과 NREN 간 동적자원할당 서비스 개발 현황을 고려하였다. 국제 간 광 교환노드 운영 수준은 전세계 NREN이 참여하는 최대 컨소시엄인 GNA-G의 명시적 표준을 따르는 GXP(Global eXchange Point)를 운영하는 NREN인 Internet2, SURF, GEANT이 높은 수준으로 분류되었다. 글로벌 NREN 간 동적자원할당 서비스 개발 현황은 GNA-G의 AutoGOLE/SENSE 워킹 그룹에 참여하여 NREN 간 자동화된 트래픽 교환을 위한 개발을 진행 중이며 네트워크가 연동되어 있는 Internet2, ESnet, SURF가 높은 수준으로 분류되었다. 따라서, 국제 간 광 교환노드 운영 및 동적자원할당 서비스 개발 현황과 관련하여 A 수준으로 분류된 NREN은 그림 7과 같이 Internet2와 SURF이다.

### 3.2.2.1 국제망 교환노드 운영 현황

GNA-G(Global Network Advancement Group)는 기존의 GNA(Global Network Architecture) Technical WG(Working Group)과 GLIF(Global Lambda Integrated Facility)가 합쳐진 그룹이다. 기존의 GLIF에서는 국제간 연구/교육망 트래픽 교환을 위한 non-blocking GOLE(GLIF Open Lightpath Exchange) 현황을 파악할 수 있는데 본 벤치마킹 대상 NREN 중에서는 Internet2, SURF, GEANT이 해당된다<sup>13)</sup>. GNA-G에서는 기존 GOLE의 개념을 포괄하는 개념으로 GXP(Global Exchange Point)를 정의하고 요구 조건을 명시하였다. 벤치마킹 대상 중 GNA-G의 요구 조건을 충족하는 GXP를 운영하는 NREN은 그림 8과 같이Internet2, SURF, GEANT이 해당된다.

### 3.2.2.2 국제망 동적자원할당

AutoGOLE/SENSE(Software-defined network for End-to-end Networked Science at Exascale)는 GNA-G 그룹 내에서 국제간 연구/교육망 트래픽을 중단 간 완전히 자동화된 방식으로 교류하는 것을 목표로 하는 WG(Working Group)이다. AutoGOLE/SENSE WG에 참여하여 연동된 네트워크는 Internet2, ESnet, SURF가 해당된다<sup>13)</sup>.

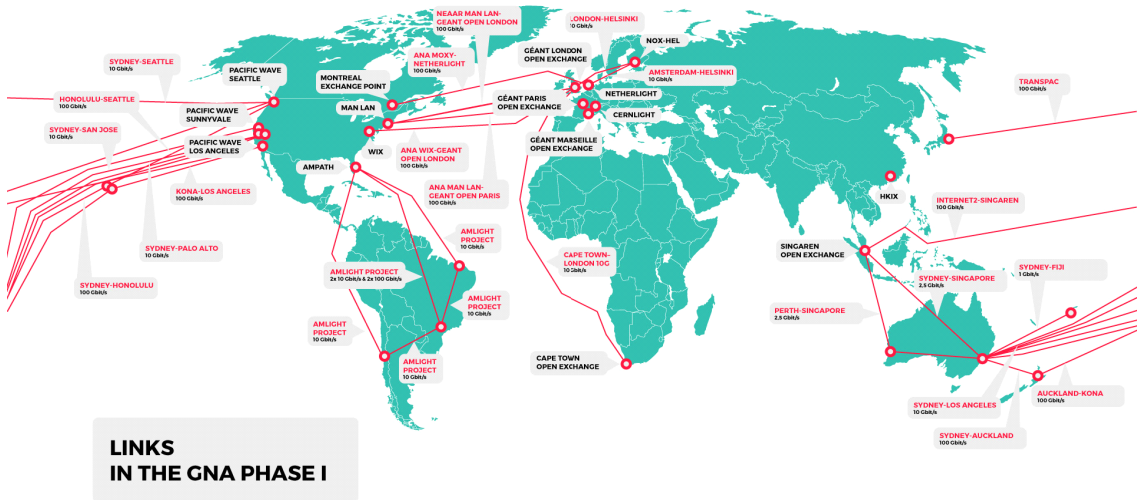


그림 8. GNA compliant GXP 링크 연동 현황 (2017년)[13]  
 Fig. 8. GNA compliant GXP Links (2017)[13]

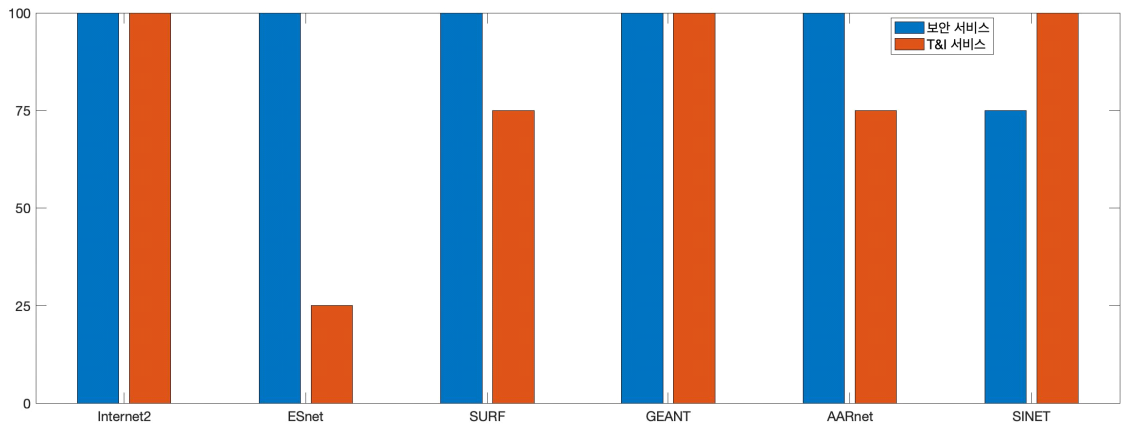


그림 9. 서비스 현황 조사 결과  
 Fig. 9. Survey results on network service

### 3.3 서비스 부문

그림 9는 국가별 NREN의 보안 및 T&I 서비스 현황을 A(100%), B(75%), C(50%), D(25%)의 수준별로 비교한 그래프이다.

#### 3.3.1 보안 서비스 현황

보안 서비스 항목에서는 주요국 NREN에서 네트워크 사용자들을 위한 기본적인 보안관계 서비스 이외의 제공 중인 계층별 보안서비스에 대하여 조사를 실시하였다. 특히, OSI 3계층인 라우팅 관점에서 라우팅 정보의 무결성을 인증하는 RPKI 방식의 라우팅 보안을 제공하는 NREN들이 증가하였다. MANRS는 글로벌 인터넷 라우팅 보안을 목적으로 국제 인터넷 협회

(Internet Society)에 의해 출범된 커뮤니티 기반 활동이다. MANRS에 가입된 기관들은 ISP 등의 네트워크 운영 기관, IXP(Internet Exchange Point), 콘텐츠 및 클라우드 서비스 제공자, 장비 업체 등이 있다<sup>24)</sup>. 라우팅 보안 위협에 대비하여 해당 커뮤니티에 가입하여 활동 중인 NREN은 조사 대상 중 Internet2, ESnet, GEANT, SURF, AARnet이 있다. 또한, OSI 4계층 이상의 관점에서는 다양한 보안 서비스들이 존재할 수 있다. 그 중에서도 조사대상인 NREN들에서 공통적으로 제공하고 있는 보안 서비스는 DDoS mitigation 서비스이다. DDoS mitigation 서비스는 DDoS 공격에 대한 감지와 대피소 등의 대비책을 마련한다.

### 3.3.2 T&I 서비스 현황

T&I (Trust & Identity) 서비스 항목에서는 주요국 NREN들의 안전하고 효율적인 협업 연구를 위한 서비스 현황을 조사한다. Internet2는 InCommon Federation, SURF는 SURFconext Federation, GEANT은 eduGAIN, AARnet은 Australian Access Federation, SINET은 GakuNin Federation 이라는 각 NREN의 T&I 기관명을 가지고 있다. T&I 서비스 제공 수준을 비교하기 위해서 각 주요국 NREN들의 T&I IDP 개수와 SP 개수를 비교를 하였다<sup>25)</sup>. IDP와 SP의 개수가 각각 100개 이상으로 가장 높은 수준으로 분류된 NREN은 그림 9와 같이 Internet2, GEANT, SINET이다.

## IV. 비교 분석 및 시사점 논의

본 장에서는 조사대상인 주요국 NREN들의 비교 분석 결과를 통한 향후 NREN의 발전방향 및 시사점을 논의한다.

### 4.1 비교항목별 분석

주요국 NREN들은 급증하는 미래 네트워크 수요를 반영하기 위하여 현재 혹은 가까운 미래에 네트워크 업그레이드를 추진하고 있다. 이를 위해 400G급 광전송기술의 적용, dark fiber 확보, 고성능/고효율 네트워크 장비 도입 등의 투자 및 변화를 도모하고 있다. 이는 400G/800G급 광전송 기술의 발전과 함께 입자 물리, 유전체 바이오, 천체 우주 분야 등 방대한 양의 데이터를 기반한 거대과학, 팬데믹으로 인한 디지털 전환 등이 맞물려 네트워크 백본에 대한 업그레이드를 가속시키고 있는 것으로 분석된다.

EHT(Event Horizon Telescope)을 통한 블랙홀 관측, CERN의 LHC(Large Hadron Collider) 연구, 암흑물질/암흑에너지 관련 등의 연구를 위한 LSST(Large Synoptic Survey Telescope) 등의 대규모 데이터 중심의 글로벌 프로젝트들은 거대과학 연구에 특화된 고성능 국제 백본망을 요구한다. 이에 따라 주요국 NREN들은 100G급 이상의 대륙간 또는 국제간 광 백본망을 확충하는데 힘을 쏟고 있다. 국제간 다수의 백본망을 직접적으로 확보하기에는 한계가 있으므로 NREN들은 다양한 컨소시엄을 구성함으로써 국제 백본망 구축 및 운영에 동참하고 있다.

네트워크 운영 관점에서 주요국 NREN들의 최근 관심 화두는 네트워크 자동화/지능화 및 서비스 오케스트레이션이다. 고속의 백본망을 구축함과 동시에 네

트워크 운영 및 자원의 자동화/지능화를 통해 효율성을 극대화하기 위한 급속한 변화를 추진하고 있다. 나아가 사용자들에게 제공되는 네트워크 서비스 또한 오케스트레이터를 통한 자동화된 방식으로 전환을 추진 중에 있다. 완전한 자동화 및 지능화를 위해서는 아직도 많은 난관들이 있지만 주요국 NREN들은 신속하게 적용이 가능한 애자일 방식으로 다각도의 개발을 추진하고 있다. 차세대 네트워크의 자동화 및 지능화 방식의 운영 및 서비스를 위한 노력은 NREN들 뿐만 아니라 네트워크 장비 업체, 통신사, 학계 등의 공통적인 관심사이며 이를 위한, 표준화 작업, 하드웨어/소프트웨어 개발, 연구 등의 다방면의 투자가 이루어지고 있다. 따라서, P4(Programming Protocol-independent Packet Processor) 프로그래밍, SmartNIC, INT(In-band Network Telemetry), AI 기반 네트워크 고도화 기술 등의 최신 네트워크 기술의 연구 및 개발이 가속화되고 있다.

주요국 NREN들은 사용자들을 위한 다양한 네트워크 서비스들을 제공 및 개발 중이다. 그 중에서도 보안 서비스나 T&I 서비스는 대부분의 주요국 NREN들이 제공하는 주요 서비스이다.

데이터 중심의 거대과학 연구, 산업 전 분야의 디지털 전환 등의 요구가 증대함과 동시에 침해 사고를 예방하기 위한 관심도 커지고 있다. NREN들은 보안 강화를 위한 OSI 계층별 보안 서비스를 개발 및 구축하고 있다. 조사대상 NREN들이 공통적으로 제공중인 보안 서비스는 3계층의 RPKI 기반 라우팅 보안 서비스와 4계층 이상의 DDoS mitigation 서비스이다. 추가적으로 양자암호통신, 네트워크 보안 모니터링, AI 기반 IDS 등의 개발 및 연구가 이루어지고 있다.

또한 회원기관들의 국내/국제 간 협업 연구 및 언택트 업무를 위한 T&I 서비스의 요구도 증가하고 있다. 조사대상 NREN들은 T&I 기관을 운영하고 있으며 다수의 IDP와 SP를 제공 중이다. 또한, 다른 기관에 속한 사용자들 간의 원활한 협업을 위한 강화된 보안 및 도메인 간 인증 방안을 강구하고 있다.

### 4.2 항목별 시사점 논의

#### 4.2.1 백본 인프라

해외 주요 국가들의 NREN의 백본 인프라를 단일 램다 기준 400Gbps 또는 800Gbps 이상으로 업그레이드를 추진해야 하는 상황과 이유는 국내와 크게 다르지 않다. 첫 번째로 최근 첨단 과학 연구 분야에서는 방대한 양의 데이터가 생산되는 대형 관측 및 실험

장비들을 전 세계의 연구자들이 공동 활용함으로써 과학적 발견 및 유의미한 성과를 거두고 있다. 국내 첨단 과학 연구자들도 각 분야에서 중추적인 역할을 하고 있으며 국내의 NREN이 국내/국제 간 대용량 데이터 전송을 위해 기여를 하고 있다. 예를 들면, 2019년 M87 블랙홀의 모습을 관측하는데 천문/우주 분야 국내 연구기관들이 참여를 하였고 국내 NREN을 통해 관련 대용량 데이터를 전송하였다. 또한, 핵융합 에너지 분야에서도 국내의 KSTAR(Korea Superconducting Tokamak Advanced Research)가 선도적인 역할을 하고 있으며 향후 유럽에 설치될 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)와의 협력을 통해 해당 분야에서 국내/외 연구자들간 대용량의 데이터를 주고받을 것으로 예상된다. 이외에도 다양한 분야에서의 네트워크 전송에 대한 수요가 있으며, 국내 NREN도 이와 같은 전세계 연구 추세에 맞춰 백본 네트워크를 단일람다 기준 400Gbps 또는 800Gbps 이상의 전송속도로 구축하는 것이 시급하다고 볼 수 있다. 두 번째로 코로나-19 팬데믹 이후 근무, 교육, 연구 환경 등이 집으로 이동하는 이른바 Work-from-home 현상으로 재택근무, 원격 교육, 화상회의 등으로 인한 네트워크 수요가 급증하였다. 이러한 수요는 포스트 코로나-19 시대에도 계속 되어질 전망으로 국내도 네트워크 트래픽 집중화 현상을 해결해야 할 이슈가 존재한다. 코로나-19 이후로 발생한 트래픽의 특성은 대부분의 트래픽이 대형 데이터 센터를 기반한 것이라는 점이다. 이러한 현상은 코로나 이전부터도 진행되고 있었으나 코로나-19 이후 가속화되고 있는 추세이다. 현재 전 세계 인터넷 트래픽 중 절반 이상인 56.96%가 세계적 디지털 기업인 Google (Alphabet), Facebook (Meta), Netflix, Apple, Amazon, Microsoft가 점유를 하고 있다<sup>26)</sup>. 해당 기업들은 대부분 자사의 데이터 센터를 구축 및 운영하거나 공동 활용하고 있다. 본 논문의 조사대상 중 하나인 북미의 Interent2는 이러한 데이터 센터의 트래픽 집중화 현상에 대처하기 위하여 콘텐츠 사업자 또는 클라우드 사업자의 데이터센터와 전용회선을 연동함으로써 사용자에게 신뢰 기반의 고속 네트워크 서비스를 제공하는 I2CC(Internet2 Cloud Connect) 서비스를 제공하기 시작했다. 따라서, 코로나-19 이후 국내에서도 가속화되고 있는 클라우드 서비스에 대한 요구를 반영한 네트워크 백본 인프라를 구축 및 설계하는 것이 필요하다<sup>27)</sup>. 세 번째로는 국내 정책에 부합하기 위해 국내 NREN의 네트워크 백본을 업그레이드하는 것이 필요하다. 정부가 발표한 한국판 뉴딜

2.0('21.7) 정책은 디지털 뉴딜을 강조하고 있으며 민·관 데이터를 활용하여 DNA(Data/Network/AI) 생태계를 강화하고 비대면 인프라 고도화, 메타버스 등 초연결 신산업 육성 등을 추진하고 있다. 또한, 정부가 발표한 국가초고성능컴퓨팅 혁신전략('21. 5)에서는 초고성능컴퓨팅을 위한 대규모 인프라 확충 및 자원의 공동활용 체계를 구축하고자한다. 이러한 정책들은 데이터의 활성화, 초고성능컴퓨팅 공동활용을 위한 안정성 있는 고속의 백본 네트워크를 필요로 한다. 따라서 국내의 NREN은 위와 같은 미래 네트워크 수요를 반영한 선제적인 네트워크 업그레이드를 추진해야 한다.

국내의 NREN 중 하나인 KREONET은 현재 단일람다 기준 100Gbps 전송속도의 백본 인프라를 구축 및 운영 중이다. KREONET은 국내 뿐만 아니라 미국, 유럽, 아시아 등의 대륙과 100Gbps 이상의 전송속도로 연동하는 GLORIAD를 운영하고 있다. 2022년 현재, KREONET은 미래 네트워크 수요를 반영하기 위한 업그레이드를 추진하고 있으며, 이를 통해 국내 코어 백본망을 400Gbps 이상으로, 100Gbps 이상의 국제 간 네트워크 연동을 확장할 계획이다.

또한, 주요 국가의 NREN들, 특히, 북미, 유럽, 오세아니아 지역은 오래전부터 꾸준한 dark fiber 확보를 통해 네트워크 백본 인프라를 고도화하고 있다. 아직 국내에서는 통신사업자를 제외하고 장기 임차 계약 등을 통해 dark fiber를 확보한 사례는 없다. Dark fiber는 원하는 시기에 언제든지 대역폭을 크게 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있을뿐만 아니라 dark fiber 자체가 연구에 활용될 수 있다. 대표적인 사례 중 하나는 양자 네트워크이다. 양자 네트워크의 실현화를 위해서는 양자 네트워크 장비와 개발 응용들을 테스트할 수 있는 테스트베드가 필수적이다. 이를 위해서는 양자 네트워크 장비 간 장거리의 전송을 실험할 수 있는 dark fiber 기반 테스트베드가 요구된다. 또한, 국제 간 광전송 기반 시각동기화를 위한 협업연구를 위해서도 dark fiber가 요구된다. 추가적으로 미국의 NREN인 ESnet은 광섬유를 활용한 지진과 탐지에 대한 연구를 진행한 바가 있는데 이러한 경우에도 dark fiber가 활용될 수 있다. 따라서 국내에서도 다양한 연구 수요를 기반한 dark fiber 확보에 대한 이슈를 해결할 필요가 있다.

#### 4.2.2 네트워크 운영

해외 주요 국가들의 NREN들은 네트워크 자동화 및 지능화를 위해 다방면의 시도를 진행 중에 있다. 이는 비단 NREN들 뿐만 아니라 전세계 네트워크 장

비 업계, 통신업계를 포함한 산업계와 학계에서도 관심을 가지고 개발에 박차를 가하고 있다. 2010년대에 기존 네트워크 구조의 한계점을 극복할 새로운 패러다임으로 SDN/NFV라는 개념이 제안되었다. 네트워크의 효율성을 높이기 위한 방안으로 데이터 플레인 과 컨트롤 플레인을 구분하였고, 데이터 플레인은 Openflow가 사실상 표준의 역할을 하였고 플로우 정책 생성 및 상위 응용을 다루는 컨트롤 플레인을 위해서는 다수의 플랫폼들이 제안되었다. 이전까지는 컨트롤 플레인의 다양한 응용들에 대한 개발이 중점적으로 진행되었다면 현재는 데이터 플레인, 특히 P4 기반의 프로그래밍이 가능한 네트워크 장비들이 상용 수준으로 개발되고 있다. 이로 인해, 기존 네트워크 장비들의 벤더 종속적인 한계점을 극복하고 확장성 있는 응용들을 실현시킬 수 있게 되었다. P4 기반의 네트워크 장비 개발을 통한 대표적인 응용으로는 INT가 있다. INT는 개별 패킷 수준의 트래픽 모니터링이 가능한 기술로 네트워크 환경을 실시간으로 정밀 분석을 할 수 있다. 이러한 기술들은 인공지능 기반의 네트워크 자동화 및 지능화를 실현화시킬 수 있는 핵심 기술들로 여겨진다. 미국의 NREN인 ESnet은 Xilinx 라는 FPGA 관련 개발사와 협업을 통해 초고속 네트워크 데이터 처리가 가능한 Smart NIC(Network Interface Card)를 자체 개발 및 테스트 중에 있으며, 이를 활용한 라우팅 지능화 등을 위한 인공지능 알고리즘 개발 연구를 추진 중에 있다.

국내의 NREN인 KREONET은 2015년부터 ONOS 컨트롤러 기반의 SDN/NFV 테스트베드인 KREONET-S를 구축 및 실제 운영 중에 있다. 이후 네트워크 슬라이싱이 가능한 응용들을 개발 및 테스트하였고, 현재 네트워크 자동화/지능화를 목표로 개발을 진행 중이다. 또한, KREONET은 국내의 네트워크 통신 산업계와 학계, 연구계가 함께하는 SDN/NFV 및 P4 관련 포럼을 형성하는 등 관련 기술 및 응용 개발을 위한 협력을 추진하고 있다. 뿐만 아니라 차세대 네트워크 기술을 네트워크에 적용하기 위하여 양자 네트워크, 미래 네트워크 보안, 라우팅 등 차세대 네트워크 운영 고도화를 위해 자체 개발 및 국내/외 협력을 강화하고 있다. 이와 같이, 소프트웨어 기반 네트워크 장비 상용화, 실시간 네트워크 트래픽 정밀 모니터링 기술, 인공지능 기반 네트워크 자동화/지능화 소프트웨어 개발 등의 추세에 발맞춰 국내 NREN을 포함한 연구계, 학계, 산업계의 긴밀한 협력 및 개발을 필요로 하는 상황이다.

#### 4.2.3 서비스

NREN은 일반 사용자들을 대상으로 하는 상용망과는 다르게 국가의 교육 및 연구 분야의 사용자들을 대상으로 네트워크 및 서비스를 제공하고 관련 커뮤니티를 형성한다. 따라서, 교육 및 연구 대상의 고속의 네트워크 인프라를 구축 및 운영할 뿐만 아니라 교육 및 연구자 대상의 특화된 네트워크 서비스들을 제공한다. 이러한 특성을 반영하여 NREN을 중심으로 표준화되고 개발된 대표적인 서비스가 T&I 서비스이다. T&I 서비스는 사용자가 하나의 ID로 다수의 연동 서비스들을 안전하고 편리하게 이용할 수 있는 ID 연합 인증 서비스이다. 해당 서비스는 2000년대부터 제공되었지만 현재까지도 NREN의 핵심 서비스 중 하나이다. 국내에서는 NREN 중 하나인 KREONET에서 KAFE라는 T&I 서비스가 제공중이며, 2022년 현재 기준으로 KAFE에 가입한 ID 서비스 제공자로 가입한 IDP(ID Provider)가 26개 기관이고, KAFE의 연동 서비스 제공자로 가입된 SP(Service Provider)가 60개 기관이다. 국내의 교육 및 연구자들을 위해서 이러한 IDP와 SP를 확장해 나가는 것은 물론 국제적 T&I 서비스 고도화에 발맞춰 MFA(Multi-factor authentication) 등을 통한 보안 강화 등의 개선이 필요하다. T&I 서비스와 연관성이 높으며 NREN의 핵심 서비스 중의 또다른 하나는 보안 서비스이다. 갈수록 고도화되는 보안 위협과 그 중요성으로 인해 보안 서비스의 강화는 주요국 NREN들의 공통적인 목표이자 관심사이다. 국내의 NREN인 KREONET이 진행 중인 양자 네트워크 구축 및 실증에 대한 프로젝트는 네트워크 1계층, 즉 물리적 계층에서의 보안 서비스를 강화하는 노력이라고 볼 수 있다. 주요국 NREN들은 물리적 계층인 양자 네트워크 이외에도 3계층의 라우팅 보안, 4계층 이상의 DDoS mitigation 등을 서비스 중인 동시에 전세계의 네트워크 보안 관련 커뮤니티를 형성해 보안 강화 방안을 함께 의논하며 개선해 나가고자 한다. 국내의 NREN도 데이터 즉, 디지털 자산이 갈수록 중요해짐에 따라 고도화되는 보안 위협을 다방면으로 대비하여 보다 안전하고 신뢰성 있는 네트워크를 구축 및 운영하는 것이 필요하다.

### 4.3 NREN별 총평 및 보충

#### 4.3.1 Internet2

Internet2는 본 논문에서 정의한 모든 비교항목에서 가장 높은 A 수준의 NREN으로 분류되었다. Internet2는 북미의 최대 교육 및 NREN으로서 백문

망 구축, 네트워크 운영, 서비스 부문에서 네트워크 최신 기술을 적용하고 있으며 전세계 NREN 중에서 선도적인 위치에 있음을 확인할 수 있다. 추가적으로 Internet2는 대용량 데이터 전송 및 스트리밍을 위해 고속의 네트워크 연동을 제공하는 I2PX(Internet2 Peering Exchange)와 Azure, AWS 등 클라우드 사업자와의 직접 연동하는 I2CC(Internet2 Cloud Connect)를 추진함으로써 사용들에게 고속의 네트워크 서비스를 제공하고자한다.

#### 4.3.2 ESnet

ESnet은 DoE(Department of Energy) 산하의 특정 기관을 대상으로 하는 특화된 목적의 NREN이다. NREN의 특성 상 T&I 서비스에 부문에 있어서는 가장 낮은 D 수준으로 분류되었지만, 그 외의 항목에서는 B 이상의 높은 수준으로 분류되었다. 특히, 네트워크 운영 관점에서 자동화 및 오케스트레이션에 많은 개발 및 투자를 진행 중인 것으로 확인되었다. INT(In-band Network Telemetry), SmartNIC, AI 기반 라우팅 연구 등 다방면으로 네트워크 운영의 근본적인 변화를 꾀하고 있다.

#### 4.3.3 SURF

SURF는 네트워크 운영 부문에서 가장 높은 A 수준의 NREN으로 분류되었다. 네트워크 운영 자동화 및 서비스 오케스트레이션을 위한 자체 오케스트레이터를 2017년부터 자체 개발을 시작하였고, 자체 개발한 오케스트레이터 핵심 코어는 ESnet의 네트워크에도 적용된 상태이다.

#### 4.3.4 GEANT

GEANT은 서비스 항목에서 가장 높은 A 수준의 NREN으로 분류되었다. NREN의 핵심 기능으로서 T&I 서비스를 강화하기 위해 다각도의 노력을 기울이고 있다. eduGAIN은 글로벌 연합 인증을 가능하게 GEANT의 핵심 T&I 서비스이다. eduGAIN을 통해 사용자에게 ID를 제공하는 IDP는 4,000개 이상이고, 연동 서비스를 제공하는 SP는 3,000개 이상이다. 또한 서로 다른 인증 관리 시스템 간의 연동이 가능한 협업 프레임워크로서 Identity Federations, 글로벌 무선 로밍 서비스인 eduroam, 연구 협업을 위한 eduTEAM 등의 프로젝트들을 추진하고 있다.

#### 4.3.5 AARnet

AARnet은 국내/국제 백본 인프라가 Internet2와 함께 가장 높은 A 수준으로 분류되었다. 특히, 해저 케

이블 사업에 직접 참여하는 등 대륙 또는 국가 간 고속 연동을 위한 국제 백본 인프라 구축에 힘쓰고 있다.

#### 4.3.6 SINET

SINET은 400G급 백본 인프라 기반의 SINET6으로의 네트워크 업그레이드를 추진하고 있으며, Private 5G 등 모바일 네트워크 인프라 확충에 대한 투자 및 개발을 진행 중이다.

### V. 결 론

본 논문은 주요국가들의 대표적인 NREN으로서 Internet2, ESnet, SURF, GEANT, AARnet, SINET의 현황을 조사하고 비교/분석을 통한 시사점을 조명하고자 하였다. 이를 위해 비교항목을 백본 인프라, 네트워크 운영, 서비스의 세 가지로 정의하고 각 항목에 대한 비교 분석을 수행하였다. 조사대상 NREN들은 모두 400G급 이상의 광전송 기술을 적용한 국내 백본망을 일부 구간 또는 전 구간에 구축 및 운영을 하고 있다. 또한 다수의 dark fiber를 확보함으로써 미래 네트워크 수요 증가에 대한 준비를 하고 있다. 또한, 데이터 중심 글로벌 협업 연구를 위해 100G급 이상의 대륙 또는 국제간 백본 인프라를 꾸준히 확충해 나가고 있다. 네트워크 운영 관점에서는 소프트웨어 기반의 자동화 및 오케스트레이션에 대한 개발 및 투자가 빠르게 진행되고 있다. 특히, Internet2, SURF, ESnet이 상용 수준의 완성도로 개발 중인 것으로 조사되었다. 국제망 운영 관점에서는 Internet2와 SURF가 명시적 운영 정책 기반의 GXP 운영, 종단간 동적 자원할당 서비스 개발 진행 등으로 조사대상 중 가장 높은 수준으로 조사되었다. 보안 서비스는 네트워크 기반 산업 전 분야와 마찬가지로 NREN에서도 중요한 서비스 중 하나이다. 조사대상 NREN들은 RPKI 기반의 라우팅 보안, DDoS mitigation 등 네트워크 계층별 보안에 대한 대비책을 마련하고 있다. T&I 서비스는 교육 및 연구 분야의 사용자들이 한번의 인증으로 편리하고 안전하게 원하는 서비스를 이용할 수 있도록 하는 NREN 핵심 서비스 중 하나로 자리매김하고 있다. 주요국 NREN들은 T&I 기관의 IDP와 SP를 확장함과 동시에 서로 다른 기관의 사용자들 간 연동 서비스 제공을 위한 협업 및 인증 방안을 준비 중이다. 이와 같이 NREN은 미래 네트워크 수요 증가 및 서비스 요구사항에 상응하는 항목별 개발 및 투자가 필요하다.

주요국 NREN들은 국가의 교육 및 연구 목적의 특화된 네트워크 및 서비스를 제공한다는 것은 동일하지만, 국가별 투자 규모, 가입 기관, 정책, 비전 등의 다양성이 존재한다. 또한, 재정 및 인적 투자 현황을 포함한 여러가지 환경적 제약이 존재하는 상황에서 백본 인프라, 네트워크 운영, 네트워크 서비스의 각 세부 항목들을 가장 높은 수준으로 높이기에는 현실적인 어려움이 있다. 본 논문의 조사 결과를 통해서도 주요 국가별 NREN들도 각 세부 항목별 수준의 차이가 있으며 특징점들이 존재한다는 것을 알 수 있다. 따라서, NREN은 국가별 정책 및 여건, 가입기관 특성, 네트워크 환경 변화 및 미래 수요 등을 고려한 종합적이고 장기적인 미래 전략을 세우는 것이 필요하다. 본 논문은 국내를 포함한 주요국가들의 NREN들의 미래 전략 수립을 위한 기초자료로서 백본 인프라, 네트워크 운영, 서비스의 세부 항목별 수준을 조사하였고, 네트워크 환경 변화 및 네트워크 기술 및 개발 현황을 통해 NREN의 향후 개발 및 투자에 있어 우선순위 및 발전방향 등의 의사결정을 돕는데 의의가 있다.

## References

- [1] C. Wilkinson, *First Internet2 Next Generation Infrastructure 800G Single-carrier Link Online; Long-haul, Flex-grid Deployment Complete*(2021), Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://internet2.edu/first-internet2-next-generation-infrastructure-800g-single-carrier-link-online-long-haul-flex-grid-deployment-complete/>
- [2] C. Wilkinson, *Internet2 Next Generation Infrastructure Update: 29 Packet Nodes Connected by Forty 400G Links; GDT Install Completes on Schedule*(2021), Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://internet2.edu/internet2-next-generation-infrastructure-update-29-packet-nodes-connected-by-40-400g-links-gdt-install-completes-on-schedule/>
- [3] C. Wilkinson, *Internet2 Next Generation Infrastructure Update: Testing Underway; Network Successfully Carries 400 Gbps of Traffic Coast-to-Coast*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://internet2.edu/internet2-next-generation-infrastructure-update-testing-underway-network-successfully-carries-400-gbps-of-traffic-coast-to-coast/>
- [4] A. Vue, *Infinera Partners with ESnet to Upgrade the World's Most Advanced Scientific Data Network*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://www.infinera.com/press-release/infinera-partners-with-esnet-to-upgrade-the-worlds-most-advanced-scientific-data-network/>
- [5] SURF, *Project SURFnet8*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://www.surf.nl/kaart-locaties-servicelaag?dst=n2163>
- [6] S. Buscaglione, et al., *Compendium 2020 of National Research and Education Networks in Europe*, 2021.
- [7] AARnet, *AARNET Annual Report 2019*, 2020.
- [8] NII News Release, *NII start operation 400 GBps Tokyo-Osaka link to speed up SINET, ultra-high speed network supporting Japan's academic research*, 2019.
- [9] D. Siefert, *\$4.75M NSF grant continues funding for TransPAC5 high-speed network and services*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://news.iu.edu/stories/2020/10/iu/releases/05-international-networks-wins-nsf-grant.html>
- [10] D. Siefert, *International Networks at IU helps build trans-Atlantic research network infrastructure*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://news.iu.edu/stories/2020/10/iu/releases/01-international-networks-build-infrastructure-across-atlantic.html>
- [11] *Americas-Africa Lightpaths Express and Protect (AmLight-Exp) project*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://www.amlight.net/>
- [12] A. Rasche, *Guam-Singapore Connectivity Consortium Expands Support for Data-Intensive Science in the Asia Pacific Oceania Region*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://internet2.edu/guam-singapore-connectivity-consortium-expands-support-in-the-asia-pacific-oceania-region/>
- [13] *Global Network Advancement Group (GNA-G) Projects*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://www.gna-g.net/>
- [14] W. Mitchell, *AARNET in 2019, 47th APAN (Asia Pacific Advanced Network)*, 2019.
- [15] NII News Release, *NII Builds the World's*



*First Round-the-Globe Ultra-High-Speed 100 Gbps Academic Communications Networks*, 2019.

- [16] *TechExtra 2021*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://www.youtube.com/channel/UC6gxuEGpxW07IUFD0IEpRQA>
- [17] C. Guok, ESnet6 Architecture Overview, *48th APAN(Asia Pacific Advanced Network)*, 2019.
- [18] C. Guok, "Grand challenges for a science mission network," *INDIS 2020*, Nov. 2020.
- [19] Y. Kumar, C. Guok, S. Sheldon, G. Brebner, and C. Neely, "An open R&E developed FPGA smartNIC," *tnc21*, 2021.
- [20] P. Boers, "Automation and Orchestration: It's a numbers game - 10000+ automated changes and counting," *tnc21*, 2021.
- [21] M. d. Vos and P. Boers, *Workflow Orchestrator*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://workfloworchestrator.org/project>
- [22] D. Lete, et al., *White Paper: OAV Architectures*, 2021.
- [23] S. N. Jackson, *Service Provider Architecture (SPA)*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://wiki.geant.org/display/NETDEV/SPA>
- [24] *MARNS IXP participants*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://www.manrs.org/isps/participants/>
- [25] *Metadata Explorer Tool*, Retrieved Feb. 15, 2022, from <https://met.refeds.org/>
- [26] Sandvine, *The Global Internet Phenomena Report*, Jan. 2022.
- [27] B. Cho, "A study on the design and implementation of national open network exchange for research data," *J. Inf. and Secur.*, vol. 21, no. 5, pp. 97-105, Dec. 2021. (<https://doi.org/10.33778/kcsa.2021.21.5.00>)

**박 성 진 (Seongjin Park)**



2012년 2월: 부산대학교 정보 컴퓨터공학과 졸업  
 2014년 8월: 부산대학교 전자 전기컴퓨터공학과 석사  
 2020년 2월: 부산대학교 전기 전자컴퓨터공학과 박사  
 2020년 9월~현재: 한국과학기술 정보연구원 박사후연구원  
 <관심분야> 네트워크 자동화/지능화, 강화학습

**조 부 승 (Buseung Cho)**



1996년 3월: 성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터공학과 졸업  
 2002년 8월: 성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터공학 석사  
 2017년 2월: 성균관대학교 컴퓨터공학 박사  
 2005년 6월~현재: 한국과학기술 정보연구원 책임연구원  
 2018년 3월~현재: 과학기술연합대학원대학교 부교수  
 <관심분야> 네트워크 관리, SDN/NFV, P4  
 [ORCID:0000-0002-4661-5700]

**노 민 기 (Minki Noh)**



2010년 9월: 성균관대학교 컴퓨터교육학 박사  
 2000년 3월: 연구개발정보센터 (KORIC) 입사  
 2001년 3월~2021 8월: 한국과학기술정보연구원 과학기술 연구망센터  
 2021년 8월~현재: 한국과학기술정보연구원 과학기술 디지털융합본부 본부전략팀 근무  
 <관심분야> 네트워크 활용 첨단연구, 데이터 플로우, 데이터전송성능(ScienceDMZ)

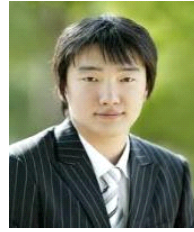
**이 원 혁 (Wonhyuk Lee)**



2001년 2월: 성균관대학교 전  
기전자컴퓨터공학부 졸업  
2003년 2월: 성균관대학교 컴  
퓨터공학과 석사  
2010년 8월: 성균관대학교 전  
자전기컴퓨터공학과 박사  
2003년 3월~현재: 한국과학기술  
술정보연구원 책임연구원

<관심분야> 네트워크 관리, 망 성능측정, 양자암호  
기반 통신망 구축관리

**권 우 창 (Woo Chang Kwon)**



2011년 2월: 안동대학교 컴퓨  
터공학과 석사  
2021년 8월: 한남대학교 컴퓨  
터공학과 박사  
2015년 9월~현재: 한국과학기술  
술정보연구원(KISTI) 선임연  
구원

<관심분야> 대용량 데이터 전송, Network  
Automation, 네트워크 QoS

**김 동 균 (Dongkyun Kim)**



1999년 2월: 충남대학교 컴퓨  
터과학과 석사  
2005년 2월: 충남대학교 컴퓨  
터과학과 박사  
2006년 4월~2007년 3월: 미국  
테네시대학(UT)/오크리지국  
립연구소(ORNL) 방문연구원

2000년 6월~현재: 한국과학기술정보연구원(KISTI)  
책임연구원

<관심분야> SDN/NFV, 네트워크 자동화/지능화,  
5G/6G

**박 찬 진 (Chanjin Park)**



2010년 2월: 성균관대학교 컴  
퓨터교육과 졸업  
2015년 2월: 성균관대학교 전  
자전기컴퓨터공학과 석사  
2015년 6월~2018년 5월: 육군  
사관학교 컴퓨터과학과 교수  
사관

2018년 8월~현재: 한국과학기술정보연구원 재직 중  
<관심분야> 네트워크 관리, 네트워크 지능화/자동화,  
머신러닝

**조 진 용 (Jinyong Jo)**



2003년: 광주과학기술원 정보  
통신공학과 석사  
2013년: 광주과학기술원 정보  
통신공학과 박사  
2003년~현재: 한국과학기술정  
보연구원  
2016년~현재: 국제인증연합  
(eduGAIN) 운영그룹 위원

<관심분야> Trust and Identity, Networked  
applications and services

[ORCID:0000-0001-6830-3604]

**김 승 해 (Seunghae Kim)**



2003년 8월: 전북대학교 정보과학  
석사  
2008년 2월: 전대학교 정보보호공  
학 박사  
1996년 12월~현재: 한국과학기술  
정보연구원 책임연구원  
<관심분야> Security, Network  
Design, 망관리, Routing