

978-89-6211-684-7

## 미래인터넷 동향 및 핵심 네트워크 기술

일자: 2010년 11월 12일

부서: 슈퍼컴퓨팅본부 융합자원실

제출자: 문정훈, 공정욱

[jhmoon@kisti.re.kr](mailto:jhmoon@kisti.re.kr), [kju@kisti.re.kr](mailto:kju@kisti.re.kr)



한국과학기술정보연구원  
Korea Institute of Science and Technology Information

305-806 대전광역시 유성구 어은동 52번지  
TEL (042)869-0676 / FAX (042)869-0679  
[www.kisti.re.kr](http://www.kisti.re.kr)

목차

서론

1. 미래인터넷의 배경
2. 미래인터넷의 핵심기술 및 표준화 동향
3. 미래인터넷 관련 프로젝트
4. GENI (미국)
5. FIRE (유럽)

결론

# 서론

## 미래인터넷

기존 인터넷의 한계성을 극복하고 폭발적으로 늘어나는 트래픽과 다양한 서비스, 특히 보안성, 품질보장성, 이동통신과의 연계성들을 충분히 고려하여 기존 인터넷과는 호환을 전혀 고려하지 않는 가운데 현재, 미래의 요구사항을 수용하여 새로이 설계하는 방향으로 연구가 시작되었고, 이러한 동기를 바탕으로 각국에서 주요 프로젝트로 진행 중에 있다. 미래인터넷 연구의 시작은 2000년 DARPA에서 NewArch 프로젝트에서 처음 논의가 되어 2005년 미래인터넷 테스트베드인 GENI의 설계를 시작으로 본격적으로 미국에서 추진되었다. 미국의 미래인터넷 프로젝트로는 Future INternet Design (FIND), Global Environment for Networking Innovations (GENI)이며, 유럽에서는 FIRE (Future Internet Research and Experimentation), EIFFEL's Future Internet Initiative, EuroNGI & EuroFGI, 일본에서는 NICT's New Generation Network (NWGN), Japan Gigabit Network2 (JGN2)가 있으며, 우리나라에서는 Future Internet Forum (FIF, 2006)이 진행 중에 있다.

현재의 인터넷은 Backward Compatibility가 가장 중요한 요구사항이어서 새로운 환경에서의 효과적인 연구와 개발이 어려운 실정이다. 이러한 상황에 따라 미래인터넷은 철저하게 현재 및 미래의 요구사항에 근거하여 새롭게 설계되어야 한다. 그리고 다양한 서비스들을 지원하기 위해서 통신망을 'Clean-Slate' 상에서 설계를 한다는 개념으로 시작하고 있다. 이러한 새로운 개념을 시험과 검증을 위해 실제 환경과 유사한 테스트베드 상에서 실험을 해보고 결과를 측정하는 검증작업이 요구된다. 전세계적으로 미래 인터넷 연구를 위한 테스트베드를 선도하고 있는 것은 미국 NSF의 GENI 프로젝트와 유럽 ICT의 FIRE 프로젝트이다.

## 미래인터넷의 요구사항 및 설계목표

미래인터넷의 연구는 새로운 인터넷을 위한 설계목표 및 요구사항을 다시 기술하고, 정의하는 작업으로부터 시작한다. (그림 1)은 현재까지 논의되고 있는 미래인터넷을 위한 요구사항을 10가지로 정리하여 도식화한 것이다. 각 요구사항에 대한 설명은 다음과 같다.

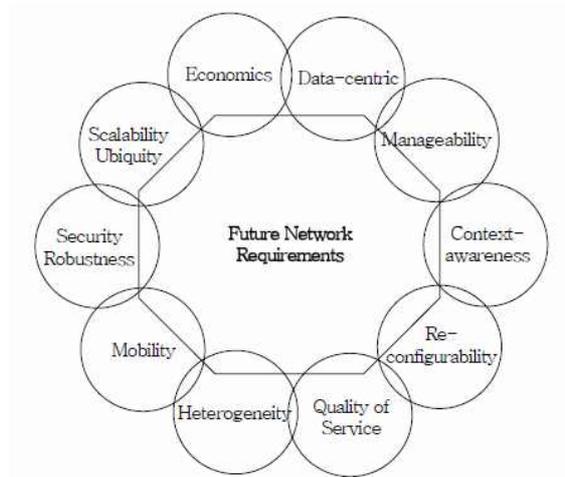


그림 1 미래인터넷 요구사항

- 확장성(Scalability/Ubiquity)

확장성은 현 인터넷이 가지고 있는 가장 큰 문제점 중의 하나로 미래인터넷을 설계할 때 가장 중요하게 요구되는 설계 목표 중 하나이다. 먼저 인터넷 대역폭은 앞으로 50~100배 이상 증가할 것으로 예상된다. 또한 미래인터넷은 센서와 같이 새로운 유비쿼터스 단말들이 100억 개 이상 연결되고 천만개 이상의 멀티홈을 갖는 단말을 지원할 수 있어야한다. 최근 인터넷은 PI, 멀티호밍, 이동단말, IPv6 영향 등으로 인해 어드레싱과 라우팅 면에서 확장성에 문제가 있음을 보고받고 있다. 따라서 미래인터넷은 크기, 대역폭, 라우팅, 어드레싱 상에서의 지속적인 인터넷의 증가에 대해 확장성을 갖도록 설계되어야 한다.

- 보안성/견고성(Security/Robustness)

미래인터넷은 스팸, 웜, DoS 공격 등 다양한 보안 공격으로부터 완벽하게 안전하다는 것을 전제로 구축되어야 한다. 또한 현재 유선 전화망과 같은 수준의 견고성과 오류 시 복구기능이 제공되어야 한다.

- 이동성(Mobility)

미래인터넷은 무선 단말의 이동 시에 이와 연계된 보안과 라우팅 기능이 유선 단말 수준으로 투명하게 이음매 없이 지원되어야 하며, 다양한 물리계층을 지원하는 이기종간 네트워크 환경에서도 빠른 이동성 지원이 제공되어야 한다. 또한 새로운 디바이스로 센서와 RFID와 같은 저전력, 소형 단말들도 이동성 기능이 제공되어야 한다. 이동 컴퓨팅은 미래인터넷 응용의 대표적인 사례 중 하나가 될 것으로 전망된다.

- 이질성(Heterogeneity)

미래인터넷은 다양한 범위의 새로운 응용들이 지원 가능해야 한다. 또한 광파이버, 다양한 무선링크(IEEE 802.11, 802.16, 802.15.3/802.15.4 등), 애드-혹 네트워킹, 메시 네트워킹 등 이질적 물리 계층을 이음매 없이 지원해야 한다. 이러한 물리 계층의 이질성은 미래인터넷

넷의 이동성 연구, 이기종간 빠른 핸드오버 연구, 프로토콜 계층화 개념에 많은 영향을 미친다.

- 서비스 품질(Quality of Service)

서비스 품질은 미래인터넷을 위한 새로운 요구사항으로 볼 수는 없지만, 현 IP 기반의 인터넷의 가장근본적인 제약으로 꼽히는 서비스 품질 제공은 여전히 미래인터넷 설계 목표에서 빠질 수 없는 주요 목표 중의 하나이다. 미래인터넷에서는 다양한 등급의 서비스 품질을 어디에서 어떠한 방법으로 제공해야하는지에 대한 명확한 구조가 제시되어야 한다.

- 재설정/자동설정(Re-configurability)

재설정/자동설정 기능은 미래인터넷을 위한 새로운 요구사항 중 하나이다. 현재의 인터넷은 고정적인 네트워크 기능과 장비들로 네트워크로 구성되어 새로운 서비스나 기술들을 적용하기 위해서는 네트워크 토폴로지의 재구성이나 서비스 재설정 등이 동적으로는 불가능하다. 미래인터넷에서는 토폴로지, 장비의 동적인 재설정 등을 제공하기 위해서는 프로그램-가능/자기설정-가능 (programmable/selforganized)네트워킹/컴퓨팅, 네트워크 가상화(networkvirtualization) 방법 등이 적용 가능한 구조로 설계되어야 한다.

- 상황인지(Context-awareness)

상황인지 기능은 미래인터넷 서비스를 위한 새로운 요구사항 중의 하나이다. 미래인터넷 단말들은 잦은 이동에 따른 자신의 물리 환경을 인식하고, 자신이 사용하는 서비스 상황에 맞게 적응할 수 있어야 한다. 상황을 결정짓는 기본적인 요소로는 사용자 위치(where are you), 누구와 있는지(who you are with), 어떠한 자원이 근처에 있는지(what resource are nearby) 등이 사용된다.

- 관리성(Manageability)

현 인터넷은 관리 플레인(management plane)이라는 개념이 처음부터 설계되지 않았고, SNMP라는 단순한 망 관리 프로토콜을 통해 장비와 네트워크의 오류 등을 모니터링 하는 수준으로 국한되어 관리 기능이 제공되어 왔다. 미래인터넷은 다양한 이기종의 무선, 애드-혹 단말과 네트워크의 빈번한 이동 기능 제공이 기본적으로 전제되므로 미래인터넷에서는 이러한 새로운 환경을 위한 체계적인 관리 기능의 제공이 요구된다. 미래의 이동 단말과 네트워크를 지원하기 위해 관리 측면에서의 편리성, 추적성, 자동성, 최적화 기능 등은 기본적으로 고려되어야 한다.

- 데이터-중심(Data-centric)

현 인터넷은 앞선 I장 1절에 언급했듯이 호스트-중심의 서비스에 맞추어 설계되었다. 대표적인 호스트-중심의 서비스로는 초기, telnet, ftp 응용 등을 들 수 있다. 그러나 P2P와 같이 최근 대두되고 있는 새로운 인터넷 응용들은 사용자가 특정 데이터나 서비스 사용만을 지정하고, 호스트나 서비스의 위치는 고려할 필요가 없다. 미래인터넷은 이러한 데이터-중

십의 새로운 응용이나 서비스 지원이 가능하도록 새롭게 설계되어야 한다.

- 경제성(Economics)

초기 인터넷은 전문가의 집단에 의해 운용, 사용되어 경제성에 대한 요구사항이 전혀 반영되지 않고 설계된 네트워크이다. 미래인터넷은 ISP나 응용 제공자들이 어떻게 경제적 이익을 창출할 수 있는가에 대한 명시적인 프리미티브를 제공할 수 있어야 한다.

### 미래인터넷 기술 동향

미래인터넷 연구의 가장 큰 핵심은 새로운 인터넷을 위한 구조를 제안하는 것이다. 1970년대 설계된 TCP/IP 프로토콜, IP 어드레싱/라우팅, 패킷 스위칭 기술들로 대변되는 현 인터넷 구조는 미래인터넷을 위한 새로운 패러다임에 의해 재설계되어야 한다. 현재 Clean Slate 설계방법에 따른 미래인터넷의 구조 및 새로운 패러다임 연구 분야는 다음과 같다.

- 플로 기반 라우팅/스위칭
- 새로운 네트워크 어드레싱/라우팅
- 동적 서킷 스위칭(Dynamic Circuit Switching)
- 백본 재설계
- 점대점 모델의 재설계
- 크로스-계층 설계(Cross-Layer Design)
- 네트워크 가상화
- 새로운 보안구조의 설계

현재 진행되고 있는 대표적인 연구들만 살펴보면, 최근 IETF, IRTF를 중심으로 인터넷상의 가장 큰 문제인 라우팅과 어드레싱의 확장성을 높이는 연구가 진행되고 있다. 이동성, 멀티호밍, PI라우팅 등의 증가로 인한 라우팅 테이블 엔트리의 증가는 현재 인터넷에서 가장 시급히 개선되어야 할 문제 중 하나로 인식되고 있다. 이러한 문제는 현재 사용되는 IP 어드레스에 식별자(ID: Identifier)와 로케이터(Locator) 기능이 함께 사용되기 때문이며, 이를 해결하기 위해 현재 어드레스 개념에서 ID와 로케이터를 분리하거나, 혹은 ID를 근본적으로 다시 설계하려는 연구가 진행 중에 있다. ID/Locator 분리 작업에 대한 연구 및 표준화는 IETF RoAP BoF 등을 통해 추진 중에 있다. 현재 제안된 솔루션으로는 호스트-기반 방식과 네트워크-기반 방식으로 나누어 분류되며, 대표적으로 LISP, PASH, HIP, SHIM6방법 등이 연구되고 있다. 이러한 솔루션들은 현 인터넷 구조에 일부 호환(backward-compatibility)을 고려하여 제안된 보다 현실적인 방식들이다. 이와 동시에 IRTF RRG에서는 Clean Slate 접근 방식에 따른 새로운 구조 등도 함께 연구되고 있다. 현 인터넷의 패킷 스위칭 기술은 네트워크 계층상에서 비상태보존(stateless) 라우팅 시스템의 구현을 가능하게 했으며, 이를 통해 라우터는 별도의 연결 상태를 유지하지 않는다는 장점

을 가지고 있었다. 이러한 순수 패킷 스위칭 방식은 액세스 단에서는 아직도 올바른 방법으로 인식되고 있으나, 코어단으로 갈수록 서비스 품질 제어나 트래픽 엔지니어링, 패킷의 그룹핑을 처리하는 데 있어 많은 제약을 가져왔다. 이를 해결하기 위해 모든 경로의 광-기반 스위칭의 도입 혹은 동적 서킷 스위칭에 대한 연구도 함께 진행 중에 있다. 또 다른 미래 인터넷의 새로운 패러다임 중 하나는 프로그램-가능 네트워크의 적용이다. 초기 인터넷 장비들은 각 기능들이 정적인 형태로 구현되어 사용되어 왔으나, 미래인터넷의 장비들은 새로운 프로토콜이나 서비스들을 프로그램하여 네트워크상에 플러그-인 형태로 추가, 확장할 수 있도록 하는 연구가 진행 중에 있다. 이러한 연구는 예전 능동 네트워크(active network) 혹은 최근 개념 등과 함께 활발히 연구가 진행되고 있다. DTN에 대한 개념은 현재 인터넷 환경 하에서는 상시 연결성(always-on)만을 고려할 때 제공하기 어려운 간헐적, 확률적 연결(intermittent/opportunistic connection), 장시간 지연 등의 응용 등을 처리하는 데 획기적인 아이디어로 고려되고 있다. 초기 DTN은 ISOC의 IPN 프로젝트내 행성간 연결성 지원을 위해 설계된 것이었으나, 최근무선/이동 센서 등의 등장으로 인해 그 용도가 크게 중요시되고 있다. 기본 개념은 TCP/IP 점대점 모델 대신 번들(bundle) 프로토콜을 기반으로 하는 메시지-기반 오버레이 방식의 전송 모델을 사용하는 것으로, DTN의 장점은 TCP/IP가 아닌 다른 네트워크/수송계층 프로토콜을 사용하는 어느 단말 사이에서도 비동기(asynchronous) 형태로 통신이 가능하게 할 수 있다는 데 있다. 그림 2와 3은 기존 TCP/IP라우팅과 DTN 라우팅의 차이를 나타낸 것이다.

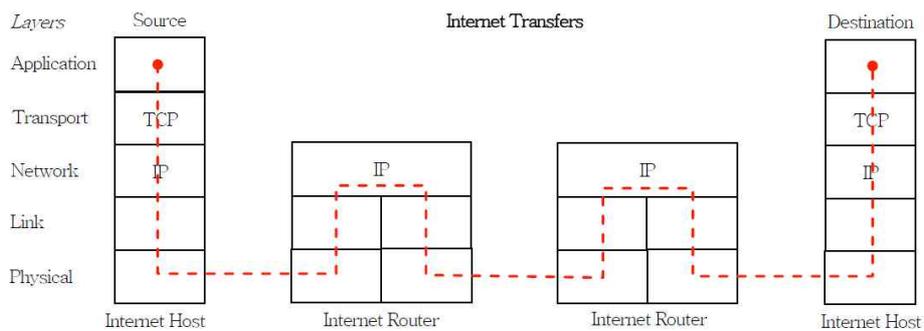


그림 2 Internet Transfers

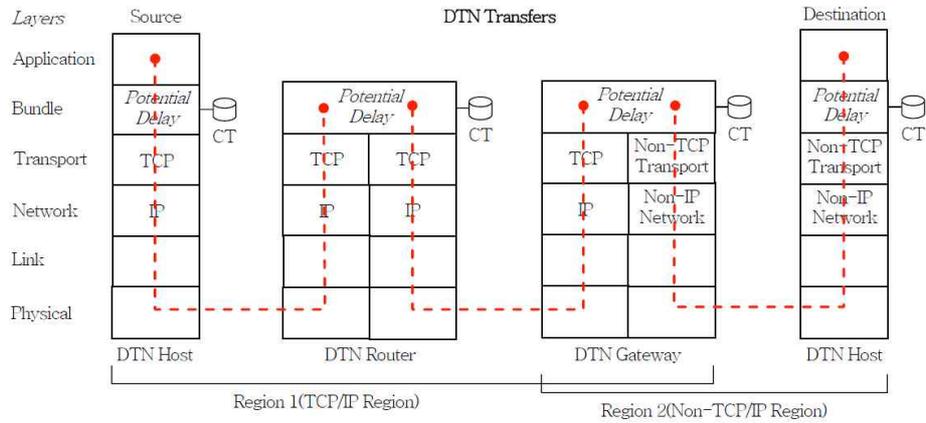


그림 3 DTN Transfers

### 국내외 프로젝트 동향

국내외에서 미래 네트워크와 관련하여 수행되고 있는 프로젝트와 각각의 요소 기술들과 새롭게 등장하고 있는 인터넷 변혁 연구에 대하여 살펴본다.

### 미국의 GENI 와 FIND

GENI 는 새로운 네트워크를 위한 글로벌 테스트베드의 필요성에 의하여 2005 년 8 월에 미국 과학 재단(National Science Foundation: NSF)이 발의한 연구 프로그램이다. 미래 네트워크 를 위한 다양한 예측과 제안이 시도되고 있는 현재의 상태에서는 어떠한 한가지 형태로 미래 네트워크를 규정할 수 없다. 그러므로 미래 네트워크를 실험하는 테스트베드는 서로 다른 제안 기술을 수용할 수 있어야 한다. GENI는 가상화에 의하여 서로 다른 네트워크 기술을 동시에 제약 없이 테스트 할 수 있도록 한다. 즉 GENI 테스트에 참여하는 연구 자에게 GENI의 구성 요소를 프로그램 할 수 있게 하고, 이를 기반으로 새로운 네트워크 설계 아이디어를 테스트 할 수 있게 하는 개념이다.

2007년 5월에 미국 과학 재단은 향후 미래 네트워크 사업을 주관할 GENI 프로젝트 오피스(GENI Project Office: GPO)로 BBN 테크놀로지스를 선정하고, 향후 4 년간 1,000 만 달러를 운영 예산으로 하여 미래 네트워크에 관한 본격적인 연구 개발 및 테스트 네트워크 구축을 관리 하도록 하였다. BBN 테크놀로지스는 과거에 인터넷이 태동할 때에도 비슷한 역할을 성공적으로 하였던 경험이 있다.

GENI 는 이전의 PlanetLAB과 VINI의 성공적 연구 경험을 기반으로 추진되고 있다. PlanetLAB 은 네트워크 3 계층 이상에서의 새로운 기술의 테스트를 제공하고 있는 글로벌 연구 네트워크로서, 2,500 명 이상의 사용자와 600 이상의 슬라이스에 의하여 가상화 또는 자원 할당 등의 테스트를 성공적으로 수행해 온 경험을 제공한다. VINI(Virtual Network Infrastructure)는 PlanetLAB 의 경험을 네트워크 2계층으로 옮겨서 진행되고 있다.

GENI, PlanetLAB, VINI 등이 실험을 위주로 하는 반면, FIND(Future Internet Design)는 향후 15 년의 미래 네트워크 기술을 연구하는 프로그램이다. FIND 는 미국 과학 재단이 지

원하며, 미래 네트워크 아키텍처, 원칙, 메커니즘 설계 등 전반에 걸쳐서 현재 인터넷 기술로부터 독립적인 기술을 연구하고자 하고 있다.

### **유럽의 EIFFEL 과 FIRE**

유럽은 차세대 네트워크를 위하여 EURO-NGI/FGI 연구를 진행하고 있다. 유럽의 FP7 (7th Framework Programme)은 인터넷의 미래 구조 및 관리에 대한 아이디어와 연구 일정을 논의하고 교류하는 장을 제공하는 것을 목적으로 2006 년 7 월에 EIFFEL(Evolved Internet Future for European Leadership) 씽크 탱크(think tank)를 설립하였다. EIFFEL 은 '미래의 네트워크로 연결된 사회(The Future Networked Society)'를 지향한다. EIFFEL 컨소시움은 현재 유럽 6개국의 8개 조직이 참여하여 전문가 공동체를 형성하고 근본 인터넷 아키텍처와 설계 원칙 등을 연구한다. 이들의 연구는 2020~2025 년을 대상으로 한다. 유럽에서는 미래 네트워크의 테스트를 위하여 FIRE(Future Internet Research and Experimentation)라는 전문가 그룹을 발의하기도 하였다. FIRE 테스트베드는 개방형으로 공유하는 가상화된 자원을 제공하여 미래 네트워크 기술을 테스트하도록 한다.

### **일본의 NWGN 과 AKARI**

일본에서는 미래 네트워크에 대한 연구를 기존의 차세대 네트워크(Next Generation Network) 와 구별하여 신세대 네트워크(New Generation Network)라는 용어로 명명하고 신세대 네트워크 포럼을 조직하고 있다. 차세대 네트워크와 신세대 네트워크는 모두 영어로 축약할 때 NGN 이 되므로, 일본에서는 NGN 라는 약어를 다음의 두 약어로 구별하여 사용하고 있다. 차세대 네트워크는 NXGN 으로 표기하여 2010년을 목표로 하는 인터넷 진화 연구를 지칭하는 반면에, 신세대 네트워크는 NWGN 으로 표기하여 2015년 이후를 전망하는 인터넷 변혁 연구를 가리킨다. 일본의 신세대 네트워크 연구는 NICT(National Institute of Information and Communications Technology)를 중심으로 진행되고 있으며 최근 일본 정부의 관심과 지원을 기반으로 새로운 네트워크 개발에 대한 강력한 의지를 엿볼 수 있다. NICT 는 NWGN 을 위하여 네트워크 아키텍처를 설계하는 AKARI 프로젝트를 진행하고 있다. AKARI 아키텍처 설계는 병렬 광패킷 전송, 전광(all-optical) 경로/패킷 스위칭, PDMA(Packet Division Multiple Access), ID/위치자(Locator)분리, 오버레이 네트워크/네트워크 가상화, 자가 구성 제어(Self-organizing Control)등을 포함한다.

### **중국의 CNGI 와 CERNET/CERNET2**

중국은 1994년 이래 15년이라는 짧은 인터넷 역사를 가졌지만 2007년 6월까지 1억 6,200만 명의 인터넷 사용자 수를 기록하고, 최근 IPv6를 비롯한 인터넷 연구 분야에서 비약적인 성장을 보이고 있다. 중국의 네트워크 연구는 중국 과학 재단(National Science Foundation of China: NSFC)이 주관하는 초고속 인터넷인 NSFCnet과 IPv6 의 조속한 채택을 위한 중국의 차세대 인터넷 연구인 CNGI(China Next Generation Internet)[19] 프로젝트 등을 통

하여 발전해 왔다. 최근 중국에서도 GENI 와 같은 연구에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러므로 중국 최초의 전국 규모의 교육 연구 네트워크인 CERNET(China Education and Research Network)이나 CERNET2를 GENI와 같은 용도로 또는 GENI 와 연결하여 테스트에 활용하게 될 가능성도 충분하다.

### **한국의 미래인터넷 포럼**

한국은 2006 년에 미래 네트워크에 대한 연구 계획, 정책 개발, 연구자간 공동체 구축, 국제 협력 등을 목적으로 하는 미래 인터넷 포럼을 발족하였다. 현재 미래 인터넷 포럼은 다음과 같이 5개의 워킹 그룹(Working Group: WG)을 구성하여 연구 교류의 장을 마련하고 있다.

- 아키텍처 워킹 그룹
- 무선 워킹 그룹
- 서비스 워킹 그룹
- 테스트베드 워킹 그룹
- 정책 워킹 그룹

미래 인터넷 포럼은 2008 년에 FRC(Future Internet Research Council)라는 조직을 설치하여 미래 네트워크 기술 문서의 발간을 추진하고 있다.

### **미래인터넷 실험 및 테스트베드**

Clean Slate 설계에 기반으로 둔 새로운 미래인터넷 연구는 이를 실험하고, 검증하기 위해 새로운 테스트베드를 요구한다. 현재의 인터넷은 패킷 기반의 점대점 TCI/IP 모델을 기반으로 구축되어, 새로운 패러다임에 따른 미래인터넷 핵심 기술들을 실험하고 검증하기에는 어렵기 때문이다. 이러한 테스트베드의 필요성은 1969년 ARPANet이 현 인터넷의 테스트베드로서 TCP/IP 프로토콜과 패킷 스위칭을 글로벌 네트워크상에서 구현하고 실험하였다면, 이제 미래인터넷을 위한 동일한 목적의 새로운 테스트베드가 필요하다. 미래인터넷 테스트베드를 위한 기본적인 요구사항으로는 물리계층을 포함한 전계층에 대해 실험이 가능하여야 하고, 네트워크를 프로그램-가능하여야 하고, ARPANet이 NSFNet으로 진화했던 것처럼 앞으로의 상용수준의 진화도 고려하여 설계, 구축되어야 한다. 이를 위한 대표적인 연구로는 PlanetLab, VINI, GENI 등을 들 수 있다. PlanetLab기술은 현재의 인터넷상에 새로운 서비스 및 응용을 실험하기 위한 글로벌 테스트베드 환경을 제공하며, 기존 TCP/IP 기반의 L3이상의 환경에서 새로운 프로토콜과 응용을 실험하는 데 사용되고 있다. VINI는 사용자 제공 계층을 L2계층에까지 확장하여 설계한 테스트베드이며, 이러한 기본적인 아이디어를 통합하여 미래인터넷을 위한 새로운 테스트베드 환경이 GENI이다. 미래인터넷 테스트베드에 대한 연구 테마로는 앞서 언급한 네트워크 가상화를 비롯하여 자원통합(federation), 모

니터링(monitoring), 측정(measurement)기술 등이 포함된다.

### **미래인터넷 표준화 동향**

미래인터넷 관련 표준화 작업은 아직 초기 논의단계에 있으나, 현재의 인터넷 표준화가 IETF에 의해 1986년에 시작되어 본격적인 인터넷 사용증가가 일어난 1990년대 후반을 준비하였다고 생각해볼 때, 2020년 이후를 예상하는 미래인터넷 보급 시기를 고려한다면 지금의 미래인터넷 표준화 역시 지금부터 논의되고 시작되어야 하는 주요 연구 테마중의 하나이다. 표준화와 관련해서는 현재 국제표준화기구인 ISO/IEC JTC1과 ITU-T를 중심으로는 미래네트워크란 이름으로 요구사항 및 문제를 정의한 작업을 시작할 예정이며, IRTF를 중심으로는 각 미래 요소기술에 대한 표준화 작업이 진행되고 있다.

### **ISO/IEC JTC1/SC6**

ISO/IEC JTC1/SC6 는 2007년 4월 중국 시안에서 열린 총회에서 미래 네트워크에 대한 특별 준비 회의 소집을 결정하고, 2007년 9월 파리의 프랑스 표준국(ANFOR)에서 해당 특별 회의를 개최하였다. 2007년 9월 회의 결과를 바탕으로, 2008년 4월에 제네바에서 열린 회의에서는 한국의 전문가들이 미래 네트워크를 위한 새로운 프로젝트를 제안하기 위한 기고문 3건을 발표하였다. 그 결과 ITU-T에서의 미래 네트워크 표준화 작업과의 협력을 위한 문서가 작성되었다. 또한 차기 회의에서 새로운 표준 과제로 제안하기 위한 NP(New Work Item Proposal) 문서가 작성되었다. 현재 승인된 NP 문서는 ITU-T 와의 협력을 통하여 문제 정의, 요구 사항, 기존 표준과의 차이점 분석, 프레임워크, 아키텍처, 개별 프로토콜 등에 대한 문서를 표준화할 계획을 담고 있다.

- 미래네트워크 요구사항
- 미래네트워크를 위한 문제 정의
- 외부 요구사항과의 비교 분석
- 미래네트워크 프레임워크
- 미래네트워크 구조 및 세부 프로토콜

### **ITU-T SG13, SG17**

ITU-T는 새 연구기간(2009년~2012년)을 위한신규 항목에 대해 논의중이며, 이와 관련하여 미래네트워크에 대한 필요성 및 표준화 가능성을 토의하기 시작하였다. 2007년 9월 제네바에서는 ITU-TNGN-GSI 회의가 개최되었으며, 이중 NGN을 논의하는 SG13에서 미래네트워크에 대한 신규 연구항목과 이를 위한 요구사항을 정의하는 기고들이 제출되어 활발히 논의되었다. 이러한 논의는 앞서 설명한 SC6 회의결과와 연계되어 필요성 및 표준화 범위 등에 많은 의견이 제시되었다. 기존 NGN과의 차이 및 추후 SG13에서 추진하고자 하는 “Next Generation Ubiquitous Networking” 연구테마와의 차별화 연구가 선행되어야 할 것

이며, 2009년부터 시작될 새로운 회기에 맞춰 보다 구체적인 계획 및 내용을 준비해야 할 것으로 보인다. 또한 SG17에서는 미래네트워크와 관련한 “Future Open System Communications Technology”라는 이름의 신규 Question을 제안하여 TSAG에 제출하기로 하는 등 관련 작업들이 여러 곳에서 진행 중에 있어 앞서 기술한 SC6내 2008년 11월에 시작할 새로운 미래네트워크 프로젝트와 함께 ITU-T내에서도 2009년 새로운 회기에 맞춰 두 국제표준화기구간 공동 표준화 작업이 시작될 수 있을 것으로 전망된다.

## IETF 와 IRTF

IETF는 기술 표준화를 위하여 분야별로 워킹 그룹을 조직하고 있다. 한편, 표준화에 앞서 연구가 필요한 기술에 대해서는 IRTF[4]의 연구 그룹(Research Group: RG)으로 분류하고 있다. IETF 와 IRTF 에서는 특히 라우팅과 어드레싱의 확장성 문제, 그리고 식별(Identification) 과 위치의 상호 독립 문제에 대하여 많은 관심과 작업이 이루어지고 있다. 미래 네트워크와 관련된 이슈를 다루는 IETF 의 워킹그룹으로는 지난 2008 년 11 월에 신설된 ALTO(Application Layer Traffic Optimization) 워킹그룹과 LEDBAT(Low Extra Delay Background Transport) 워킹그룹 등이 있다. PlanetLAB 의 연구진들이 참여하는 가운데 미래 네트워크 관련 이슈를 다루고 있다. IRTF 의 연구 그룹 중에서는 DTNRG(Delay-Tolerant Networking Research Group), HIPRG(Host Identity Protocol Research Group), P2PRG(Peer-to-Peer Research Group), RRG(Routing Research Group) 등이 미래 네트워크와 관련된 이슈를 다루고 있다.

IRTF는 IETF 내에 선행적인 연구를 목적으로 운영되고 있는 연구그룹(Research Group)들로서, 직접적으로 미래인터넷이라는 이름으로 연구가 진행되지는 않으나, 2000년 이후 IRTF에서 진행되어온 상당수의 개별 연구테마들이 현재 미래인터넷이라는 이름으로 FIND, GENI 등의 프로젝트 등에서 연계되어 연구가 수행되고 있다. 현재 총 14개의 RG들이 연구작업을 진행중에 있고, 미래인터넷과 관련한 대표적인 연구들로는 ID/Locator 분리, 새로운 점대점 모델, 라우팅, DTN, 오버레이 멀티캐스트 연구 등이 있으며, 관련 RG들로는 다음과 같은 그룹들이 있다.

- DTN RG
- End-to-End RG
- Network Management RG
- Peer-to-Peer RG
- Routing Research RG
- Internet Congestion Control RG
- Scalable Adaptive Multicast RG
- HIP RG

## TTA

국내에서는 한국정보통신기술협회(Telecommunications Technology Association)의 IPv6 프로젝트 그룹 산하의 미래 네트워크 실무반에서 미래 네트워크에 대한 표준화를 추진하고 있다. 이 실무반에서는 미래 네트워크 표준화에 관심 있는 국내 표준 전문가들이 공동으로 국내 표준을 개발하고, ISO/IEC JTC1/SC6 나 ITU-T 와 같은 국제 표준화 기구에서의 미래 네트워크 표준화 활동을 위한 국내 창구 역할을 제공할 계획이다. 미래 네트워크 실무반의 작업 계획은 다음과 같다.

- 미래 네트워크 용어 및 요구 사항 정의
- 미래 네트워크에 대한 문제 정의
- 미래 네트워크를 위한 요구 사항 정의
- 미래 네트워크와 유사 기술의 차이점 정의

## GENI: Global Environment for Network Innovations GENI의 개요

미국의 NSF에 의해 GENI 사업이 추진된 동기는 현 인터넷이 직면하고 있는 심각한 문제들로부터 출발한다. 예를 들어, 현 인터넷은 보안에 취약하며, 신뢰성이 떨어지며, 통제하기가 어렵고, 신기술의 도입이 용이하지 않다는 문제점들이 거론된다. 이러한 문제들에 대한 해법으로 여러 가지 신기술들이 이미 제시되어 있지만, 이 신기술들이 시뮬레이션 상이나 소규모 네트워크, 또는 상당히 제한된 환경 하에서 평가되었기 때문에 실제 필드에 적용하기 위해서는 혹시라도 모를 부작용을 막기 위해서 대규모의 실제 상황의 네트워크상에서 검증될 필요가 있지만 그럴 만한 환경이 지금까지는 존재하지 않았다. GENI는 이러한 상황을 해결하기 위한 방안으로, 다양한 형태의 제안들을 실제적으로 검증할 테스트베드를 구축하는 사업이다. GENI는 기존의 많은 테스트베드들이 검증할 응용에 지향적인 어떤 하나의 틀에 맞추어져 있는 것과는 달리 망의 구조, 서비스, 응용 프로그램에 제한을 두지 않는 최대의 유연성을 부가하는 개방화된 범용의 테스트베드를 지향하고 있다.

## GENI의 역사

인터넷을 기반으로 하면서 오버레이 네트워크 형 테스트베드 중의 하나인 PlanetLab에 참여했던 대학교들의 연구진들이 모여서 PlanetLab 운영경험과 PlanetLab의 한계에 대한 인식을 바탕으로 2004년부터 GENI에 대한 구상이 시작되고 GENI의 필요성을 역설한 후, 드디어 2005년 8월 미정부의 NSF에 의해 GENI 발의안이 발표되고 GENI 프로젝트가 시작되었다. 그 후, GENI 프로젝트에는 1개의 계획그룹(Planning Group)과 5개의작업그룹(Working Group)이 조직되어 활동하였다. 계획 그룹은 GENI 설비의 설계에 대한 NSF와의 창구 역할과 5개의 작업그룹의 연구결과를 조정하고 통합하는 역할을 수행하였다. 5개의 작업그룹은 각기 맡은 분야에대한 연구를 진행하고 결과를 그룹별로 제출하였다. 5개의 작업그룹에는 연구조정(Research Coordination) 작업그룹, 설비아키텍처(Facility 작업그룹, 백본네트워크(Backbone Network) 작업그룹, 분산서비스(Distributed Service) 작업그룹, 무선서브넷(Wireless Subnet) 작업그룹이 있었다. 연구조정 작업그룹은 GENI에서 수행될 연구들에 대한 정리와 그러한 연구들을 수행하기 위해 GENI 설비에 요구되는 사항들을 도출해내었다. 설비아키텍처 작업그룹은 네트워크 내 물리 자원들을 응용서비스들과 연관지어주는 GENI의 관리 프레임워크에 대한 연구를 진행하였다. 백본네트워크 작업그룹은 매설 광섬유 케이블, 광스위치, 커스텀 라우터, 테일 서킷과 캠퍼스네트워크 내 GENI 사이트의 설치 등 물리적인 네트워크 구성에 대한 연구를 진행하였다. 분산서비스 작업그룹은 GENI의 관리 프레임워크 위에 위치하여 GENI의 이용자가 GENI를 쉽게 사용할 수 있도록 제공하는 서비스를 정의하는 연구를 진행하였으며, 무선 서브넷 작업그룹은 날이 발전하는 다양한 무선서브넷 기술들과 이들을 GENI에 배치하는 연구를 진행하였다. 각 그룹의 연구결과는 GDD(GENI Design)형태로 공개되었다. 2007년 4월에는 그간의 노력을 종합하여 개념적 설계에 해당하는 PEP(Project Execution Plan)의 초안 문서가 발표되었다. 2007년 5월 NSF는 미국 전역에 걸쳐 될 설비의 계획과 설계를 관리하는 책임을 질 GENI에 대한 프로젝

트 사무소로서 BBN 테크놀러지즈를 선정하고, 이전 GENI의 조직은 2007년 6월까지 활동을 종료하고 새롭게 GPO(GENI Project Office)와 GSC(GENI Science Council)의 두 조직으로 개편되었다.

### GENI의 조직

연구계를 대변하는 Science Council과 프로젝트를 관리하는 GPO(GENI Project)의 두 조직으로 정비되었다. GSC는 GENI에서 필요한 사항들에 대한 수집하여 GPO에 요청하는 역할, GENI에 대한 연구와 GENI를 이용한 교육에 관한 계획의 수립, 그리고 GPO에 대한 기술적 조언과 감독 역할을 담당한다. GPO는 GENI 프로젝트 관리와 수행, GENI 아키텍처와 시스템 엔지니어링, GENI 구축에 대한 경비와 일정 추산, GENI 설비를 구축하는 계획의 수립, 그리고 산하 WG(Working Group)들의 관리 역할을 담당한다. 산하의 WG들은 GENI 아키텍처와 설계를 개발하는 데 필요한 기술적 작업을 수행하는 핵심적인 곳으로, 작업 그룹들은 GENI를 계속적으로 발전시켜 나가는 데 있어 요구 사항과 설계 문서들의 저술과 검토, 멤버들에 의해 제공된 소프트웨어와 서비스들을 평가, 어렵고 잘못 정의되었다. GENI로부터 재정지원을 받는 견본 제작과 설계 작업은 해당 WG에 그 결과를 보고하고 이로부터 WG들은 GPO에게 검토 후 위험요소에 대해 알리면, GPO는 다음 단계의 설계와 파악된 위험을 줄이는 견본 제작에 대한 재정 지원을 하게 된다. 현재 구성되어 있는 WG들로는 Substrate WG, Narrow Waist WG, Experimenter & Services WG, End-User Opt-in WG, Operations-Integration, & Security WG의 5개가 있으며 각 WG가의 전체 구조에서 담당하는 부분들은 그림 4와 같다.

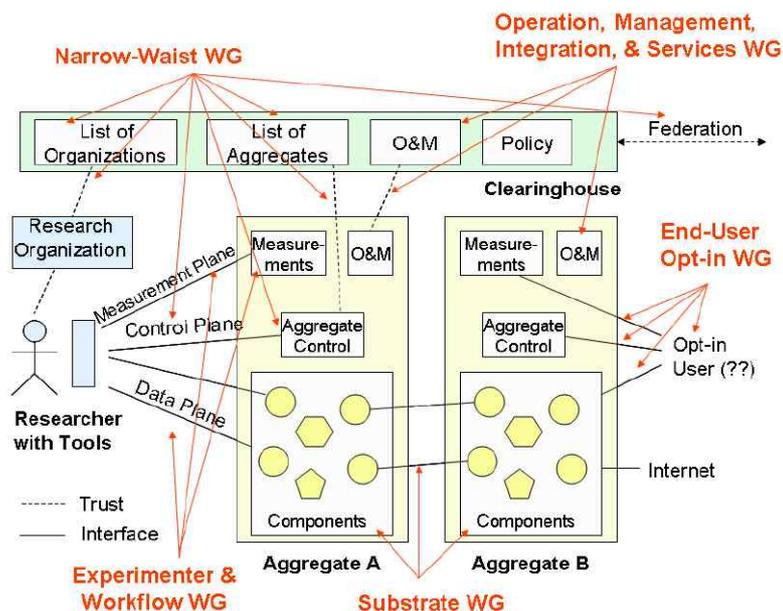


그림 4 GENI전체 구조에서 WG의 역할

WG는 전체 GENI 시스템의 하부에 위치한 GENI 기반 설비를 담당하는 곳으로, Substrate WG에서 다루는 범위에는 GENI 설비에 갖추어져야 하는 기술들과 이것들이 사용될 방법들, 향후 이 기술들의 진화에 대한 프레임워크의 정의 등이 포함된다. Substrate WG는 기반설비 프레임워크 개발, 후보 기술의 선정과 장단점 파악, 요구사항 정의, 기반설비 설계의 활동을 한다. Waist WG는 GENI의 기반 설비와 GENI의 사용자 간의 중간에 위치하여 GENI 컴포넌트들에 대한 관리와 제어를 담당하는 관리 프레임워크를 담당하는 곳으로, Narrow Waist WG에서 다루는 범위에는 GENI 컴포넌트에 공통적으로 두어야 하는 것과 향후의 개선된 사항을 모든 GENI노드에 수용시킬 방법이 포함된다. Narrow Waist WG는 중요 시스템의 기능과 인터페이스의 정의, GENI 내 자원 상세 및 자원 발견, 주소와 이름부여, 자원 소유에 관한 것들에 대한 정의 및 GENI 구성물들의 확대 연합방법을 정의하는 활동을 한다. Workflow & Services WG는 실험자들이 GENI에서 필요로 하는 것들을 담당하는 곳으로 Experimenter Workflow & Services WG에서 다루는 범위에는 실험자나 사용자가 GENI로부터 필요로 하는 것, 실험의 계획, 일정 잡기, 실행, 디버깅, 분석 및 장시간 수행 실험과 데이터 수집 등이 포함된다. Experimenter Workflow & Services WG는 표본 워크플로우의 개발, 실험자 지원 서비스의 정의, 측정 기술들의 개발과 같은 활동을 한다. Opt-in WG는 인터넷 사용자를 포함하여 일반 사용자가 GENI 실험에 참여하는 방법을 다루는 곳으로 참여 방법의 정의 및 기술적 정책적 사항들의 목록화 등의 활동을 한다. Operations, Management, & Security WG는 전체 GENI 시스템을 관리 감독하는 체계를 담당하는 곳으로, GENI의 동작과 서비스의 관리에 필요한 사항들과 GENI 보안에 필요한 사항들을 다루며, 그에 따른 기술 검토, 보안 정책 추천, 장기간의 동작 프레임워크, 설비 관리 인터페이스에 필요한 것들에 대한 활동을 한다.

## GENI의 일정

2007년 중반 현재 GENI에 대한 개념적 설계(Conceptual Design)를 마련하고 검증하는 단계에 있다. GENI는 앞으로 설계 단계 과정에서 GENI 엔지니어링 회의의 개최, 새로운 프로토타입의 개발과 시험을 통한 보완과 수정을 거쳐, PDR(Preliminary Review)과 FDR(Final Design Review)을 차례대로 완성한 후, 그뒤 5년간의 GENI를 구축하는 계획을 가지고 있다.

## GENI의 구축 전략

GENI를 건설하는 계획은 GENI와 같은 시도를 하는 것이 이제껏 없었기 때문에 가급적 발생할 수 있는 위험을 최대한으로 회피하면서 진행하고자하고 있다. 이를 위해서 일단은 확실하고, 가능한 것들에서부터 출발하여 궁극적인 목표로 나아가는 나선형 개발 전략을 취한다. 그림5는 현 개발단계에서 GENI의 전략에서는 연구자들이 GENI에 대해 고안한 개념의 확인을 위해 바로 프로토타입을 만들어 시험하기를 독려하고 있다.

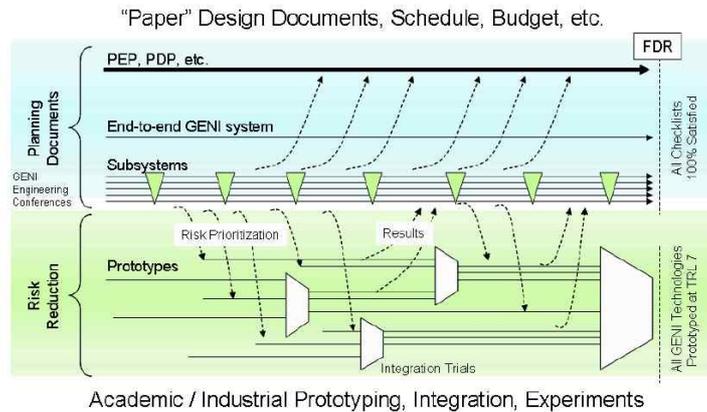


그림 5 GENI의 전략

즉, 프로토타입을 통해 실제 경험을 얻고, 이로부터 요구사항을 다시 조정하며, 이로부터 소요될 경비와 운영의 난이도에 대한 정확한 추정을 만든다. 또한 프로토타입을 통한 경험을 바탕으로 새로운 특징, 복잡한 기능, 그리고 새로운 기술들을 점진적으로 붙여나간다. GENI 계획과 구축을 전개하면서 이러한 과정의 반복을 통해 GENI의 위험과 유용함을 평가하고 계획을 조정해 나간다. 현 개발 단계에서도 프로토타입을 통한 설계와 예산을 다듬는 것을 추구하고 있다. 현 개발 단계에서 취하고 있는 전략은 그림 4.5와 같다. 학계와 업계에서는 프로토타입을 제작하고 통합하여 실험한 후 결과를 GENI 엔지니어링 회의에 보고한다. 이 결과를 반영하여 설계 문서, 일정, 예산을 조정해 나간다. 궁극적으로 최종 설계 문서에서는 모든 검사 리스트가 충족되어야 하고, 모든 GENI 기술들이 위험 축소를 위해 프로토타입을 통해 검증되어야 한다.

### GENI를 이용한 연구 계획

현 인터넷의 구조적인 문제점으로 여러 가지를 지적할 수 있다. 예를 들어, 전달하는 응용 서비스의 형태에 관계없이 언제나 똑같은 IP라는 단일패킷 포맷과 단일 라우팅 프로토콜을 사용함으로써 서비스에 따른 차별화가 두기 어렵다는 것, 전달 메커니즘이 점 대 점간에 단 대 단 대화식 패킷 교환, 즉 일 대 일 호스트 대 호스트 대화 방식으로 맞추어져 있는데 실제 인터넷의 트래픽의 대부분이 일 대 일 이 아닌 일 대 다나 다 대 일 관계에서 발생하므로 효과적인 전달이 안된다는 점, 인터넷 설계 초기부터 보안에 대한 고려가 없었기 때문에 이후 출현하고 있는 침입이나 해킹 방식에 따라 사항별로 대응하는 임기응변식의 보안 메커니즘이나 방법들에 의존함으로써 시간이 지날수록 인터넷이 복잡해지는 점 등이 인터넷이 내포하고 있는 대표적인 구조적인 문제로 언급할 수 있다. 이러한 구조적 문제에 대한 인식에 따라 미래 인터넷의 구조는 다음과 같은 사항들을 고려하여 설계될 필요가 있다.

첫째, 전달하는 서비스에 따라 다중 패킷 포맷과 다중 라우팅 프로토콜을 적용함으로써, 서비스 별 차등 전달 서비스를 가능케 한다. 이를 가능케 하는 것이 바로 가상화 기술이다. 둘째, 일 대 다 또는 다 대 일과 같은 다중점분산 전달방식을 지원하는 것으로, 비디오 회

의, 인터넷 방송과 같은 응용을 위한 멀티캐스트가 일 대 다 방식의 대표적인 예이며, 소리 바다, 프루나와 같은 P2P 응용이 다 대 일의 대표적인 예이다. 셋째, 특정 네트워크 계층 자체에 보안이 잘되어 있더라도, 다른 계층의 보안이 허술하면 침입의 여지가 발생하므로, 모든 네트워크 계층에 즉 네트워크 구조 자체에 보안을 고려하여 설계한다. 넷째, 현 인터넷이 최선노력전달(delivery) 방식을 사용함에 따라 지연을 예측하기 곤란하여 서비스 품질이 저하되는 점에 비추어, 정해진 기한 안에 전달할 수 있는 신뢰성 있는 통신을 지원한다. 다섯째, 새롭게 출현하고 있는 다양한 컴퓨팅장치들을 지원하는 것으로, 글로벌 센싱(Global Sensing), 중계 통신(communication), 보편적 이동성(Universal Mobility)이 이를 위한 대표적인 방안으로 얘기할 수 있다. 글로벌 센싱 분야에서는 개별적인 센서 데이터들에 대한 조회를 위해 오버레이 네트워크 인프라를 개발하고 검증하는 연구와 필터링, 처리, 연관성 조사, 취합과 같은 다중 단계를 통해 센서 데이터 흐름을 확립하고 그 결과를 사용자에게 전달하는 연구가에서 실험이 예정되어 있다. 중계 통신 분야에서 고려되는 알고리즘은 DTN(Delay Tolerant Networking)이다. DTN은 현 인터넷의 TCP/IP의 동작 메커니즘이 유선보다 상대적으로 길고 크게 변하는 지연과 높은 비트 에러율을 보이는 무선 환경과 맞지 않기 때문에, 현 인터넷이 무선 단말이나 위성 노드를 수용할 수 없는 문제를 해결하기 위해 제안된 방식이다. 특징은 현 인터넷에서 사용하는 패킷 스위칭이 아니라 오히려 오래 전에 제안되었던 저장 후 전달(store-and-forward) 방식의 메시지 스위칭(message switching)을 사용하는 점이다. 이를 통해 장시간 동안 링크가 두절되더라도 견딜 수 있으며, 재전송이 일어나더라도 단 대 단간이 아니라 홉 대 홉 간으로 처리되므로 더 효과적이 될 수 있다. DTN에서는 메시지 스위칭을 처리하는 계층으로 전송층과 응용층 사이에 번들 계층(bundle)을 삽입한다. DARPA에 의해 군사전략망에서도 사용이 추진되고 있는 그와 관련된 개념들은 GENI에서 배치되고 시험될 가장 유력한 후보이다. 세 번째 보편적 이동성에서 고려중인 알고리즘은 i3(Internet Infrastructure) 방식이다. i3는 현 인터넷이 이동성을 전혀 지원하지 못하는 문제를 해결하기 위한 것으로, 각 패킷을 IP처럼 주소로 보내는 것이 아니라, 식별자(identifier)로 보낸다. 패킷을 받으려면 수신자는 트리거(trigger)를 만들어 i3 노드에 저장한다. 트리거에는 패킷의 식별자와 수신자의 주소 간 연관이 보관되어 있다. 각 패킷은 트리거를 저장하고 있는 i3 노드에 도달할 때가 i3 인프라를 통해 라우팅 된다. 찾고자 하는 트리거가 발견되면 트리거에 명시된 주소로 포워딩된다.

### 네트워크 구성 블록 및 패킷과 다중화

미래 인터넷에서도 패킷을 사용하는 데는 별 이견이 없지만, 네트워크 중심부에서 이 패킷을 다루기에는 그 단위가 너무 작기 때문에 IP 헤더 정보에 따라 패킷들을 하나로 다중화하여 한 번에 처리하는 방안들에 대한 의견이 대두되고 있다. 이러한 방안들은 현재 인터넷 아키텍처 밖에서 별도의 메커니즘으로 이루어지고 있는데 대표적인 것이 MPLS이다. 미래 인터넷에서도 이를 수용하여 패킷뿐만 아니라 패킷들의 모음(aggregate of)도 다룰 수 있는 라우팅과 관리 알고리즘이 필요하다. 특히 이것과 관련하여 라우팅, 트래픽 엔지니어링, 토

폴로지 관리개념들이 통합되어 구현되어야 한다.

## 주소

IP와 같은 글로벌 주소나 TCP와 같은 잘 알려진 포트 번호는 언제나 공격을 당할 위험에 노출되어 있다. 글로벌 주소가 일으키는 문제점에 대한 해결방안으로 미래 인터넷은 신뢰로 변조된 투명성(trust-modulated이라 불리는 것을 제공해야 한다. 이 개념은 노드들이 자신의 의지대로 통신할 수 있어야 한다는 것으로, 바꿔 말하면 통신하고 싶지 않는 노드로부터 보호되어야 한다는 것이다. 이를 구현하는 방식 중의 하나가 간접 주소(address indirection)로 송신자는 수신자의 주소 대신 이름만 아는 것이다. 이 방식의 예가 앞서 언급한 바 있는 i3로서 트리거를 보유한 노드는 송신자의 식별자를 보고 수신자에게 보낼 것인지 말 것인지를 결정한다. 또 다른 방식으로는 허가(permit) 방식이 있는데, 수신자는 특별한 토큰을 송신자에게 주고, 송신자는 이것을 패킷에 넣어 보낸다. 간접 주소방식에서처럼 중계 노드가 패킷을 보낼 것인지 말 것인지를 토큰을 보고 결정한다. 이 개념은 방화벽(firewall)과 유사하다. 현 인터넷에서 잘 알려진 포트 번호가 일으키는 문제점은 이 포트 번호가 담긴 패킷을 타인이 볼 수 있기 때문에 어떤 응용이 사용 중이라는 것을 알 수 있고, 그 응용에 대한 공격을 준비할 수 있다는 것이다. 이에 대한 해결 방안으로 무작위 포트 번호를 사용하는 서비스 랑데부라는 새로운 메커니즘을 고려하고 있다.

현 인터넷의 DNS(Domain Name System)는 개방되어 있기 때문에 조회하는 노드의 의도를 전혀 고려하지 않고 어떤 조회에도 응답을 한다. 신뢰로 변조된 인터넷(trust-modulated Internet)에서는 이름 시스템(naming이 누가 어떤 목적으로 정보를 요구하는 지를 답을 해주기 전에 알고자 할 것이다. 주소는 보통 특정 컴퓨팅 장치에 부여되고 있는데 많은 경우에 메시지는 사실 장치보다도 더 정확히 표현하면 서비스에 전달될 필요가 있다. 이 문제에 대한 해법으로 애니캐스트(Anycast)라 불리는 방식이 있다. 이 방식에서는 같은 주소가 여러 장치에 부여될 수 있으며, 패킷을 받는 장치는 라우팅 프로토콜에 의해 결정된다. 애니캐스팅은 보안과 세션 초기화 같은 많은 문제들을 해결할 수 있지만 확장성과 배치에 단점이 있는 것으로 알려져 있다. 이 또한 GENI에게 검증될 것이다.

현 인터넷의 주소 체계가 갖는 큰 단점 중의 하나는 이동 단말을 고려하지 않고 설계되었다는 것이다. 현 IP 주소는 식별자의 개념을 담고 있으므로 대화중에 IP 주소를 바꾸는 것이 가능하지 않다. 따라서 이동 노드가 위치가 변하더라도 그 주소를 바꿀 수 없다. 미래 인터넷은 동적 주소 재할당(dynamic address reassignment) 방안과 자동 연결 유지(automatic persistence) 방안을 지원해야 한다. 이와 다른 해결책으로는 주소에 내포되어 있는 식별자의 개념을 지워버리는 것인데, 그렇게 하기 위해서는 식별자의 역할을 하는 별도의 품이 필요하며, 이를 위해 패킷 헤더에 식별 필드(identity field)를 두는 방안이 있다. GENI 실험을 위해 제안된 것 중 하나가 패킷헤더에 semantics-free identity field를 두는 것이다.

## 라우팅 (Routing)

현 인터넷은 AS(Autonomous System)간과 AS 내에 따라 다른 라우팅 프로토콜을 사용하는 2-레벨 라우팅 방식을 사용하고 있다. BGP(Border Protocol)가 AS 간 라우팅에 사용되고 있지만, 장애 후에 너무 늦게 회복되는 점, 안전하지 않다는 점 등 단점이 많다. BGP에 대한 대안으로 장애 후 더 빠른 컨버전스(convergence) 시간을 제공하는 것들이 개발중에 있다. GENI가 이 방식들을 검증하는 데 핵심적인 역할을 할 것이다. 오늘날의 인터넷에서 사용자는 자신이 만든 패킷을 전달할 경로를 선택하는 어떠한 수단도 가지고 있지 않으며, 패킷이 여러 경로를 따라 전달되는 멀티-호밍(multi-homing)에 대한 지원도 없다. 이와 관련하여 중단 노드가 경로를 선택(end-node route selection)한다든가, 멀티-호밍을 지원하는 인터넷 라우팅에 대한 제안들이 있다.

터널링(tunneling)은 사용자들이 네트워크의 디폴트 라우팅을 무시하는 수단이다. 경로 선택에 있어서 이러한 터널링 해법은 인터넷 아키텍처에 통합되어 많은 문제를 해결할 수 있었으며, L2TP, PPTP, Mobile IP, IPSec, mbone, GRE 등 많은 곳에서 여러 가지 목적으로 오늘날 사용되고 있다. 그렇지만 이 모든 것들은 특정 문제들에 대한 ad hoc 해법이며 인터넷 아키텍처와 꼭 맞지 않는다. GENI는 ad hoc 해법이 아니라 아키텍처의 일등급 컴포넌트로서 터널링을 사용하는 실험을 하고자 한다.

오늘날의 라우팅 알고리즘은 최적의 경로 하나를 골라 전 트래픽이 전달되는 구조이다. 이에 대한 다른 구상으로 트래픽 확산(traffic diffusion)이 있는데 이것은 발신지와 목적지까지 모든 가능한 경로로 트래픽을 확산하여 보내는 것이다. 트래픽 확산에서는 트래픽 엔지니어링이나 트래픽에 대한 공격 문제가 없다. 현 인터넷에서는 경로 계산과 패킷 포워딩을 하나의 장치로 다하고 있다. 미래 인터넷을 위한 제안 중에, 경로 계산을 지금처럼 개개의 라우터별로 하는 것이 아니라 별도로 경로 계산 서비스(route computation)를 해주는 노드를 두고 개개의 라우터는 이로부터 서비스를 받게하는 것이 있다. 이 방식은 일관성이나 관리, 확장성 면에서 좋으나 네트워크의 견고성을 해칠 수도 있으므로 검증될 필요가 있다.

## 혼잡 제어 (Congestion Control)

오늘날의 TCP가 사용하는 혼잡제어 방식과 관련하여 대두되고 있는 질문들이 있다. 첫째, 버퍼 크기가 실제로 작으면 무슨 일이 발생하는가이다. 일부의 주장에 의하면 플로우(flow)의 개수를 N이라 할 때 버퍼의 크기는 충분하다는 주장이 있다. 둘째, 현 이론들은 주로 패킷 레벨에서의 모델에 초점이 맞추어져 있는데 플로우-레벨에서는 어떠한 가이다. 셋째는 패킷이 드롭될 수 없는 네트워크에서는 어떤 일이 발생하는가이다.

데이터 센터에서 사용하는 스위치는 링크-레벨의 멈춤 메커니즘(link-level mechanisms)을 적용하여 패킷을 드롭하지 않는다. 넷째는, 실제로 큰 네트워크의 행동을 포착하는 모델이 얼마나 좋은 가이다. 이러한 것들이 GENI에서 검증될 것이다.

## 보안 (Security)

새로운 인터넷에서 보안의 목표는 단순히 보안 메커니즘들의 모음이 아니라 보안을 위한 전체적인 아키텍처를 구성함에 있다. GENI 설비에서 행해질 실험들에는 스팸 방지 이메일 (spam-resistant email), 웹 검출과 완화(detection and mitigation), 선택적 추적능력과 프라이버시(selective and privacy), 액세스-제어 라우팅(Access-control routing) 등 여러 가지 많은 것들이 있다.

## 네트워크 관리 (Network Management)

인터넷은 전화 네트워크보다 신뢰성이 없기로 유명하다. 오늘날의 네트워크 관리는 애드-혹 형태로 이루어지고 있는데, 네트워크 관리자들은 여러 가지 다른 관리 도구를 사용하여 매우 저수준의 장치를 설정하도록 강요받고 있다. GENI에서는 네트워크 관리 아키텍처를 설계하는 데 있어서 여러 가지 결정들을 검증하고자 한다. 예로 전화 네트워크처럼 인터넷에도 별도의 관리 채널을 두는 데, 로우 서킷(raw circuit)으로 IP 계층 아래에 두어 네트워크 관리자가 장치를 안전하게 접근할 수 있게 한다든지, 자동과 수동 제어 사이의 올바른 밸런스를 파악한다든지, 중앙 집중형과 분산형 관리에 대한 것이라든지, 관리의 복잡함을 줄이기 위한 추상화라든지, 여러 도메인에 걸친 관리 등이 평가될 것이다.

## 무선 네트워크

그 수가 급격히 늘어나고 있는 무선 메시 네트워크와 무선 센서 네트워크를 미래 인터넷에 아우르기 위해서 새로운 응용과 아키텍처에 대한 요구사항들을 GENI 설비를 통해 개발하고 평가한다.

## 무선 메시 네트워크

무선 메시 네트워크는 노드들이 무선을 통해 서로 통신하면서 애드-혹 형태로 사람의 간섭 없이 스스로가 네트워크를 설정해나가는 네트워크이다. 이 분야에서 가장 기초적이고 공개된 문제는 용량에 관한 것으로 네트워크에서 실제로 달성할 수 있는 용량을 최대화시키는 프로토콜을 설계하는 방법에 대한 것이다. 유선 네트워크에서는 이 문제에 대한 답을 잘 알고 있지만, 무선 채널은 유선 채널과는 달리, 패킷의 전체가 아니라 패킷의 일부만 제대로 수신되는 경우가 많다는 점, 다른 발신자들이 동시에 수신자에게 전송함으로써 발생하는 간섭이 예측하기 어렵다는 점, 각 전송이 특성상 브로드캐스팅이라는 점, 수신 성공이 전송 전력과 잡음 및 간섭의 레벨뿐만 아니라 변조와 전송률에도 좌우되어 이에 따른 파라미터 조합이 매우 광범위하다는 점으로 인해 그 해법이 명확하지 않다.

## 인지 무선 (Cognitive Radio)

인지 무선은 사용하지 않는 주파수를 자동으로 찾아 주변의 허가된 무선국을 보호하면서 목적하는 통신이 가능하도록 만들어 주는 기술로 GENI에서는 개방 플랫폼의 인지 무선 시스

템을 구축하여 이 기술이 미래 인터넷 아키텍처에 통합될 수 있도록 아키텍처에 관련된 많은 이슈들을 조사한다. 여기에는 제어와 관리 프로토콜, 협력 통신의 지원, 동적 스펙트럼 조정, 유연한 MAC 계층 프로토콜, 애드 혹 그룹 형성 등이 포함된다.

### 때때로 중단되고 가변하는 무선 연결

많은 무선 링크들은 품질이 크게 변하고 연결이 때때로 끊어지곤 하기 때문에, 앞서 언급했던 지연에 강한 구조(delay-tolerant architecture)가 요구된다. GENI 설비를 통해 어떤 형태의 중단 호스트에게라도 일원화되고 효율적인 전송 서비스를 공급하면서 저장 장치의 가격은 낮추고 용량을 증가시키는 캐시 후 전달(cache-and-forward) 아키텍처를 조사할 것이다.

### 광 네트워크 기술

광 기술은 GENI에서 두 가지 역할을 하게 되는데 첫 번째는 현재의 상용 광 기술이 GENI 인프라를 구축하는 데 중요한 컴포넌트로 사용되는 것이며, 두 번째는 새롭게 출현하는 광 기술이 GENI를 통해 평가되는 것이다. GENI의 백본 네트워크는 동적 광회선 스위칭 네트워크로 구성된다. 즉 광 계층보다 상위 계층에게는 링크가 고정되어 있지 않은 가상의 토폴로지라고 보이기 때문에, 이를 통해서 만약 액세스 라우터가 새로운 용량을 필요하다는 것을 어떻게 결정할 것이라든가, 얼마나 많은 용량을 요청할 것인가 등의 문제에 대한 답이 평가될 것이다. GENI 백본 노드 또한 광 계층에서 재구성이 가능한 노드로 구축되며, TDM 회선, WDM 회선, 광섬유 스위칭 모두가 가능하다. 분산 응용과 이론을 통해 분산 응용 분야에서는 거의 실시간으로 분산 데이터 스트림을 분석하는 연구, 데이터 센터에서 높은 성능의 컴퓨팅을 수행하는 연구, 데이터 통합, 위치 인식 컴퓨팅을 위한 구조 연구 등이 수행된다. 네트워크 이론가에게도 GENI 자체가 흥미로운 실험으로서, GENI는 네트워크 이론 측면에서 두 가지 핵심적인 문제인, GENI가 임의의 네트워크를 흉내 낼 수 있는가와 완전히 다른 이름과 라우팅으로 임의의 네트워크를 효과적으로 흉내 낼 수 있는 유니버설 네트워크를 제공할 것인가에 대한 도전이 될 것이다.

지금까지 언급했던 이 모든 것들이 합쳐져서 하나의 아키텍처가 된다는 개별적인 아이디어를 평가하는 실험들을 지원하기 위해 사용될 수도 있지만, GENI를 통해 하고자 하는 더 중요한 것은 각각의 새로운 아이디어들을 조합하였을 때 구성되는 새로운 아키텍처에 대해 시험하고 평가하는 실험들이라 할 수 있다.

GENI는 네트워킹과 분산시스템의 기존 실험망과는 근본적으로 다른 혁신적인 개념으로 설계되는 실험망이다. 기존의 실험망들이 하나의 실험 목적 하에 설계된 것이 대부분이라면 GENI는 하나의 설비를 다양한 범위의 실험망으로 사용할 수 있게 한다는 점과, 이 실험망들이 GENI 안에서 동시에 운영될 수 있게 하는 점, 그리고 현 인터넷과의 접속은 물론 실

협망들끼리 상호 연결될 수 있게 하는 점 및 GENI를 통해 실험을 하는 사용자가 실험 결과를 자세하게 관찰, 측정, 기록할수 있게 하는 능력을 제공한다. 이러한 것들을 위해 GENI는 가상화프로그램화(programmability), 상호연결제어(controlled 모듈화(modularity)라는 네 가지 혁신 기술을 사용한다.

가상화란 물리적으로 서로 다른 하드웨어들을 하나의 공통된 형태의 가상 장치들로 만들거나, 하나의 물리적 하드웨어 상에 여러 개의 가상장치들을 생성함으로써, 복수개의 네트워크 아키텍처와 서비스가 하나의 설비 상에서 동시에 동작할 수 있게 하는 기술이다. 프로그램화는 실험에 따라 이러한 장치를 목적에 맞게 프로그래밍할 수 있게 함으로써 다양한 실험을 가능케 하는 기술이다. 상호연결제어는 다양한 실험들을 적절한 통제 하에 상호 동작시키는 것이며, 모듈화는 새로운 기술이 출현되더라도 쉽게 GENI에 적용될 수 있게 하는 설계 기술이다. 전체적인 구조는 그림 5 처럼 세 개의 레벨로 구성된다. 맨 하위 레벨은 라우터, 프로세서, 링크, 무선 장치들과 같은 물리적인 설비로 구성되며, 맨 상위 레벨은 사용자들을 지원하는 서비스들로 구성된다. 중간 레벨에는 GMC(GENI Management Core)가 놓이며, 다양한 장치들의 추상화, 레벨 간 인터페이스, 이름 공간들과 같은 관리 기능을 제공하게 된다.

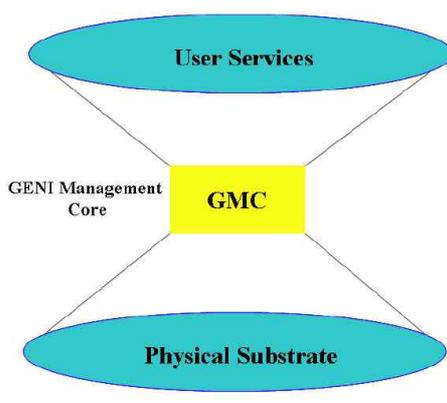


그림 5 GENI Architecture

Physical Substrate의 물리 시설은 그림 6과 같이 전체적으로 구성된다. 그림 6에서 주황색은 광케이블 백본망으로 National Lambda Rail을 사용한다. 파란색의 원은 백본 사이트(backbone site)인데 25개의 백본 사이트가 거론되고 있으며 각 사이트마다 2~4개의 광섬유가 종단된다. 광섬유의 파장은 플로우 당 평균 1Mb/s의 가정하면 최대 10,000개의 플로우가 동시에 수용될 수 있다. 링크의 평균 이용률은 50%를 기대하고 있다. 백본 사이트로부터 검은 색의 실선으로 표시된 테일 회선(tail circuit)을 통해 캠퍼스 네트워크에 위치하게 될 에지 사이트의 호스트 클러스터나 무선 서브넷, 센서 네트워크들이 연결된다.

GENI는 기존 인터넷과 분리된 망으로나 MAE-West는 기존 인터넷망에 대한 접속점을 표시한다.

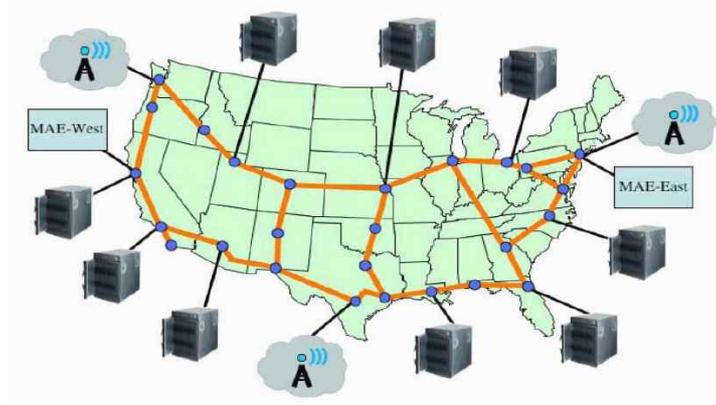


그림 6 GENI Backbone

### 백본 사이트 (Backbone Site)

백본 사이트의 좀 더 자세한 형태는 그림 7과 같다. 백본 파장들은 구성이 동적으로 변경 가능한 광 스위치를 통해 백본 PoP에 해당되는(Core Node)에 연결된다. PCN으로부터는 테일 서킷(circuit)을 통해 PEC(Programmable Edge Cluster)나Edge Node)에 연결된다. PEN은 에지 사이트와 백본 사이트의 경계에서 데이터를 포워딩하는 역할을 수행하며, PCN은 PEN의 기능 이외에도 광대역망 서비스나 응용에 필요한 컴퓨팅 자원을 제공하는 역할을 한다. 무선 서브넷과의 접속은 PWN(Programmable Wireless이 담당하는데 프록시 역할 및 데이터 포워딩 기능을 수행한다.

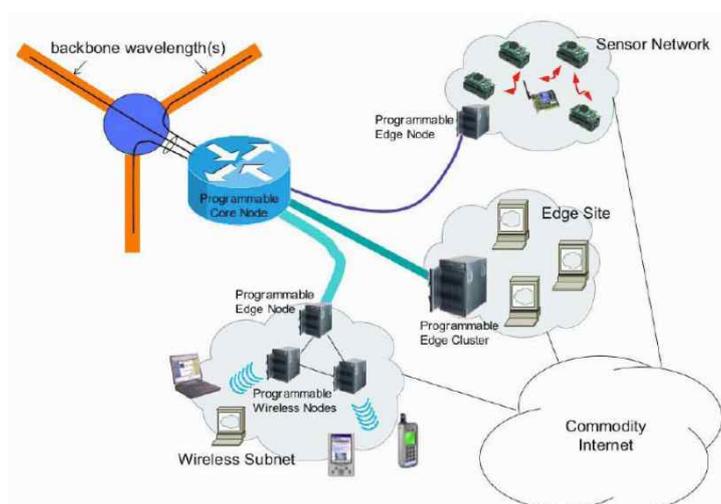


그림 7 GENI 백본 사이트의 상세 구조

## 백본 네트워크 (Backbone Network)

백본 네트워크는 PCN들이 광섬유 케이블을 통해 서로 연결되어 있는 네트워크로, PCN들은 또한 테일 서킷을 통해 에지 사이트 및 현 인터넷과 연결된다. 백본 네트워크는 GENI 에지 사이트들 간의 연결 제공, 백본 네트워크 실험 지원, 인터넷 호스트들과의 연결제공이라는 세 가지 역할을 담당한다. GENI의 백본 네트워크는 GENI를 사용하는 연구자들에게는 가상의 네트워크 토폴로지, 가상의 라우터와 가상의 스위치로 보이게 된다. 즉, 동적으로 변경이 가능한 라이트패스(lightpath)의 설정을 통해 라우터에게 보이는 가상의 네트워크 토폴로지는 실제 광섬유 케이블 배치에 의한 물리 네트워크 토폴로지와는 무관하게 구성이 된다. 또한 라우터와 스위치는 하드웨어 가상화 기술에 의해 물리 라우터와 물리 스위치의 타입에 관계없이 가상의 라우터와 가상의 스위치로 구성이 되게 된다. Core Node (PCN)내부는 크게 PPS(Packet Processing System)와 CPS(CircuitSystem) 서브시스템으로 구성된다. PPS는 라인 카드, 범용 프로세서, 스위치를 통해 연결되는 프로그래머블 하드웨어(예로, 네트워크 프로세서나 FPGA)들로 이루어진 시스템으로, 소켓과 가상 링크 인터페이스를 지원한다. CPS는 여러 가지 프레임링과 트랜스포트 프로토콜들을 지원하는 프로그래머블 프레임머(programmable framer), 프레임머와 PPS를 네트워크 파장들에 접속시켜주는 고속 회선 스위치, 파장 레벨에서 스위칭을 수행하는 ROADMs (reconfigurable optical add/drop processor)과 같은 회선 지향 소자들로 구성된 시스템으로, 트래픽 증가에 맞추어 전기 소자들의 추가적인 대역폭 증가 없이도 GENI 백본의 네트워크 용량 증대를 이룰수 있게 한다. CPS는 가상 유선 인터페이스를 지원한다. Processing System (PPS)는 공유 플랫폼 내에서 복수개의 가상 라우터를 지원한다. 여기서 가상 라우터란, 네트워크를 통해서 정보를 전달하는 여러 개의 인터페이스를 가진 임의의 네트워크 소자를 일컫는 용어로 사용된다. PPS 역할은 두 가지로, 연구자들이 고속으로 동작시킬 수 있는 그들 자신만의 가상라우터들을 생성할 수 있게 하는 것과, 서로 다른 슬라이스에 속한 가상 라우터들이 원치 않는 간섭을 일으키지 않고 독립적으로 동작할 수 있도록 보장하는 것이다.

일반적인 라우터는 입력 라인카드, 스위치, 출력 라인카드의 구조를 갖는다. 입력 라인카드에서는 패킷의 목적지 주소에 따라 라우팅 테이블을 조회하여 스위치를 통해 출력 라인카드로 전달하게 되는데 이러한 구조를 GENI에 적용시킨다면 입력 라인카드에 각 실험자의 가상 라우터가 구성되어야 한다. 비록 네트워크 프로세서가 16개의 마이크로 엔진을 가지고 있어 각 마이크로 엔진이 실험자마다의 가상 라우터로 배정될 수 있지만 현재의 네트워크 프로세서의 구조 상 마이크로 엔진들은 분리되어 있다하더라도 메모리와 같은 자원을 공유하기 때문에 GENI에서 의도하는 형태로 사용되기 곤란하다. 따라서 새로운 프로세싱 풀(processing pool) 구조를 제시하고 있다. 이 구조에서는 프로세싱 엔진이 실험자마다의 가상 라우터로 동작하게 되며, 라인카드들은 단지 패킷을 해당 PE로 전달하는 역할이외에는 별도의 기능을 하지 않는다. 새로운 구조를 따르는 PPS 시스템에 대한 참조 플랫폼으로서

그 핵심 구성요소로는, 보드의 크기, 커넥터 타입과 위치, 커넥터 신호 등과 같이 새시 내에 사용되는 보드들에 대한 규격을 규정하는 표준에 준한 ATCA (Advanced Telecommunications Computing 새시, 고속 패킷 스위칭에 필요한 실험을 지원하기 위해 고속의 라우터로 기능하게 되는 프로그래머블 하드웨어인 NP(Network와 FPGA 블레이드, 시스템 내 다른 블레이드 간에 통신을 가능케 하는 장치로 가상 라우터들 간에 격리를 가능케 하는 핵심 역할을 담당하는 스위치 블레이드, 여러 개의 가상 링크가 외부 물리 링크를 공유하는 기능 제공, 세밀한 단위의 자원할당, 적절한 슬라이스로의 패킷 다중화 및 역다중화를 제공하는 라인카드, 그리고 고속을 요구하지 않는 가상 라우터는 블레이드 서버로 구현하는 범용의 프로세싱 블레이드를 들 수 있다.

하나의 10Gbps 파장에는 여러 회선들이 시분할 다중화되어 있는데 가장 작은 단위는 1Mbps이다. FCS는 전기적으로 이 회선들의 스위칭을 담당한다(Framer)는 회선 내 패킷들을 플레이밍한다. 기본 프레임포맷은 SONET이다. 맨 상단의 패킷 프로세서는 앞서 설명한 PPS에 해당된다. 이 계층 구조에 의거하여 CPS가 구현될 수 있다. 스위치는 광섬유 입출력 포트간 광섬유 레벨에서 스위칭을 담당하며 광섬유 4쌍을 통해 ROADM과도 연결된다. WSS 기능을 실현하는은 파장 레벨에서 스위칭과 파장 애드/드롭 기능을 수행하는데, 일단 초기에는 4개의 광섬유 그리고 각 광섬유 당 8개의 파장까지 지원할 것이다.

상위레벨에 위치하는 FCS는 ROADM과 4개의 광섬유 쌍으로 연결되며, 오늘날의 SONET 크로스커넥트 스위치와 동등한 TDM 다중화, 역다중화기능을 수행하면서도, 프로그래머블 프레이머를 통해 각 TDM 채널마다 서로 다른 프레이밍 구조를 지원할 수 있다. 그리고 32개의채널로 PPS와 연결된다. 에지 사이트 (Edge Site)사이트는 하나 이상의 GENI 컴포넌트들을 호스팅하는 지정학적인 위치를 일컫는 것으로, 대부분의 에지 사이트들이 프로세서의 클러스터들을 호스팅하기 때문에 이 클러스터들을 PEC(Programmable Edge라 부른다. PEC는 광대역 분산 서비스와 응용에 필요한 컴퓨팅과 스토리지 자원을 제공할 뿐만 아니라, 네트워크로의 입구(ingress) 라우터 역할도 담당한다. 대략 200여개 사이트들에 컴포넌트를 배치하고, 여러 가지 테일 서킷 기술로 이 사이트들을 백본과 연결하는 것을 고려하고 있다. 또한 이 컴포넌트들은 상용 인터넷과 기존 연결을 통해 연결될 수 있도록 기존 액세스 망에 끼워 넣어지는 형태로 배치될 것이다.

## 테일 서킷

테일 서킷은 GENI 백본과 GENI 사이트의 GGW(GENI Gateway)를 연결하는 기능을 담당하는데, 여기서 GGW는 호스팅 사이트의 기존 네트워크에 대한 GENI 사이트의 게이트웨이 역할을 수행하는 장치이다. GENI 테일 서킷형로는 테일 서킷이 네트워크 스택에 놓이는 위치에 따라, 1 계층(물리층), 2 계층(데이터링크층), 그리고 가장 흔한 3계층(네트워크 층)형이 있다. 1 계층 형으로는 유휴 광섬유(dark fiber), 공유 유휴 광섬유 및 임대 서비스 회선으로 표현되는 세 가지가 있는데, 첫 번째는 유휴 광섬유 전체를 테일 서킷 전용으로 사

용하는 것이며, 두 번째 형은. 유휴 광섬유의 파장 하나를 테일 서킷으로 사용하는 것이며, 세 번째형은 SONET, 점 대 점 이더넷, DSL과 같은 임대 회선 기술을 사용하는 것이다. 2 계층 형으로는 공유 이더넷 스위치를 사용하여 VLAN을 구현하는 것이 있다. 3 계층형에는 최선 노력 IP를 사용하는 공유형 서비스 또는 MPLS와 같은 특정계층 서비스를 사용하는 전용 서비스가 있다.

### 캠퍼스 내 배치 모델

각 GENI 사이트를 캠퍼스 네트워크 내에 배치하는 세 가지 방법으로 피어링 모델, DMZ 모델, 임베디드 모델이 있다. 첫 번째 피어링 모델은 캠퍼스 네트워크 인프라와 완전히 별도로 GENI 사이트가 구축되는 형태이다. 이 모델에서는 캠퍼스 네트워크 또한 다른 네트워크처럼 외부 네트워크가 되므로, GENI 사이트는 호스트 네트워크와 독립적이 된다. 두 번째 DMZ 모델은 캠퍼스 DMZ 네트워크 내에를 두고 그 뒤에 GENI 사이트가 연결되는 형태이다. 이 경우 GENI사이트는 외부 네트워크와 연결이 캠퍼스 네트워크의 자원에 좌우될 수 있지만, VLAN, MPLS, IP 터널링과 같은 기술을 사용하여 캠퍼스 라우팅 정책과 독립적으로 운용될 수 있다. 세 번째 임베디드 모델은 캠퍼스 네트워크 내부에 GENI 사이트가 위치하는 형태로 캠퍼스 방화벽과 캠퍼스 경계 게이트웨이 뒤에 놓이는 경우이다. 이 경우 GENI 사이트는 캠퍼스 보안과 방화벽 정책에 따를 필요가 있을 것이다.

무선 서브넷의 무선 서브넷으로는 네트워크 에지에서 그 중요성이 점점 증가하면서 새롭게 출현하고 있는 여러 무선 기술, GENI 물리 기반설비에 포함될 무선기술들기반의 메쉬 네트워크, 공개 API "4G" Cellur/WiMAX 시스템, 인지 무선기술, 센서 네트워크, 에플레이션 그 리드들이 포함된다. 무선 서브넷 컴포넌트로는 두 가지 종류가 있는데 첫 번째가 서브넷을 GENI 백본과 연결하는 PEN(Programmable Edge Node)이고, 두번째가 서브넷 상에 분포하게 될 PWN(Programmable Wireless Node)이다. PEN은 상용 프로세서 위에 가상화 소프트웨어를 구동하여 각 슬라이스마다 가상 머신을 형성하며, 소켓, 가상 링크, 가상 무선 인터페이스를 지원한다. PEN은 핵심 임무는 백본으로 사이트를 연결하는 공유 테일 서킷과, 서브넷 내 많은 PWN 사이에 다중화 및 역다중화 기능을 수행하는 것이다. 두 가지 형태가 있는데 첫 번째가 테더드 PWN(tethered PWN)이고 두 번째 언테더드 PWN(untethered PWN)이다. 테더드 PWN은 PEN내에 고속의 백홀(Backhaul) 채널이 있는 경우인데, 이 백홀 채널은 관리와 제어를 위해 주로 쓰이며, DSL과 PON과 같은 유선이나 WiMAX와 같은 전용의 무선 채널로 구현된다. 이 백홀 채널외에도 테더드 PWN은 멀티홉 전송 실험을 위해 주로 사용될 WiFi와 같은 무선 데이터 채널도 가지고 있다. 이에 반해 언테더드 PWN에는 고속의 백홀 채널이 없으며, 단지 라디오 채널들로만 통신한다. 이 경우 관리/제어 채널과 데이터 채널 모두 광대역 Cellular/WiMAX 링크를 사용하여 구현된다. 하드웨어 참조 모델은 그림 4.19와 같다. 범용 프로세서와 PCI로 구성되며 여러 가지 형태의 라디오 카드들이 PCI 버스에 접속된다. 또한 PWN에는 (PWN의 경우) GENI 실험들을 지

원하는 데이터 채널과 슬라이스 동작을 주문하고 실험 통계를 회수하는 제어 채널이 구비된다. GMC (GENI Management Core)는 빠르게 진화하고 있는 물리 기반설비와 사용자 서비스 두 계층을 지원하면서도 한 부분의 변화가 다른 부분에 영향을 미치지 않도록 격리시킴으로서 개별적인 진보가 가능케 하는 관리 프레임워크를 제공하는 것으로, 추상화, 인터페이스, 이름 공간 등의 수단을 통해 GENI 아키텍처를 하나로 묶어 주는 역할을 한다.

추상화 (Abstraction)는 세 가지의 핵심적인 추상화들을 정의하고 있는데, 컴포넌트슬라이스(slice), 그리고 애그리게이트(aggregate)가 바로 그것들이다.

### 컴포넌트 (Component)

컴포넌트는 GENI의 가장 기본적인 구성 블록으로, 에지 컴퓨터, 커스텀 라우터, 프로그래머블 액세스 포인트들이 이에 해당될 수 있다. 하나의 컴포넌트는 CPU, 메모리, 디스크, 대역폭과 같은 물리적인 자원과 파일, 포트 번호 같은 논리적인 자원 및 패킷 포워딩 경로와 같은 합성 자원들을 포함하는 자원들의 모음을 아우른다. 각 컴포넌트는 컴포넌트 관리자(Manager, CM)를 통해 관리된다. 컴포넌트 관리자는 서로 다른 사용자들의 실험에 컴포넌트 자원들을 할당하는 것을 관리하는 기능을 하는 사용자-레벨의 서비스가 이용할 수 있는 동작들을 정의한다. 컴포넌트 소유자(component owner)는 컴포넌트 자원들이 사용자들에게 할당되는 방법에 관한 정책을 수립하는 우두머리를 일컫는다. 여러 사용자들에게 컴포넌트 자원들을 분할하는 것이 가능해야 하는데, 이것은 각 사용자에게 컴포넌트 자원 모두를 받았다고 인식되게 하지만 실제로는 다중화되는 컴포넌트 가상화 방법이나, 이와는 반대로 각 사용자에게 분명하게 컴포넌트 자원의 일부를 정하여 배분해 주는 컴포넌트 분할 방법을 통해 가능하다.

어느 경우라도, 사용자는 컴포넌트의 슬리버(sliver)를 받았다고 말하는데, 슬리버란 사용자에게 부여된 컴포넌트 자원들의 복사물이나 일부분을 일컫는다. 사용자 프로그램을 불러들여 실행할 수 있는 자원을 보유한 슬리버는 실행환경(execution environment)을 지원한다고 하고, 그런 슬리버를 활동 슬리버(active sliver)라 한다. 슬리버가 제공하는 실행 환경과 슬리버를 보유한 시스템이 다양할 수 있기 때문에 GMC에서는 4 개의 기본 슬리버형을 정의해 놓고, 사용자로 하여금 추가적인 소프트웨어를 설치하여 그들의 환경에 맞게 바꿀 수 있도록하고 있다. 4개의 기본 슬리버형은 슬리버가 네트워크에 접근하는 인터페이스에 해당하는데, 이 4가지 인터페이스에는 슬리버가 네트워크에 접속하는 용도의 소켓 인터페이스(Socket Interface), 실험에서 네트워크에 접속하는 용도의 가상 링크 인터페이스(Virtual Link Interface), 실험에서 무선 스펙트럼에 접근하는 용도의 가상 무선 인터페이스(Virtual Radio Interface), 실험에서 단 대 단 회선을 동적으로 생성, 해지, 설정하는 용도로 사용되는 가상 유선 인터페이스(Virtual Wire Interface)가 있다.

## 슬라이스 (Slice)

슬라이스(slice)는 슬라이버들이 모인 것으로, 사용자가 GENI 기반설비 위에서 실험을 하기 위해 부여받은 자원들, 즉 슬라이버들의 모음이 바로 슬라이스이다. 따라서 사용자는 하나의 슬라이스 내에서 실험을 수행하는 것이다.

## 애그리게이트 (Aggregate)

애그리게이트(aggregate)란 컴포넌트들을 순서 없이 모아둔 것을 나타내는 GENI 오브젝트(object)를 일컫는다. 애그리게이트를 정의하는 이유는 서로 연관된 컴포넌트들을 모아 놓은 하나의 집합에 대한 기능들을 정의하기 위함이다. 애그리게이트에 대한 동작은 AM(Aggregate Manager)에 의해 구현된다.

## 인터페이스 (Interface)

컴포넌트, 슬라이스, 애그리게이트를 다루기 위한 인터페이스와 객체를 식별하는 방법, 데이터 타입에 대해 기술한다.

## 이름과 식별자 (Names & Identifiers)

우선 GENI를 구성하는 객체에 대한 이름과 식별자가 필요한데 이를 위해서 GENI는 GGID(GENI Global Identifiers)라 불리는 식별자를 정의한다. GGID는 현 인터넷에서 객체를 식별하는 데 사용하는 128비트 숫자인 Unique Identifier)에 공개키를 결합한 X.509 인증으로서 표현된다. 이러한 GGID들을 사람이 읽을 수 있도록 하려면 문자열로 바꾸어야 하는데 이름 레지스트리(name registry)가 이러한 매핑을 담당한다. 문자열 형식은 top-level.authority.sub\_authority.sub\_authority.name 형태를 따른다. 예를 들어 geni.us.princeton.codeen 이라는 문자열은 GENI에서 미국의 프린스턴 대학교의 CoDeeN 프로젝트에게 부여한 슬라이스의 이름이며, geni.us.backone.nyc 는 GENI에서 미국의 백본망의 nyc POP 컴포넌트를 부르는 이름이다.

데이터 형 (Data Types)에서는 RSpec과 티켓이라는 두 개의 데이터형을 정의한다. RSpec은 자원명세(resource specification)로서, GENI에 있는 자원을 기술하는 데 사용되는 데이터 구조이다. 표준 RSpec을 제정하는 목적은 컴포넌트 관리자, 사용자 서비스, 그리고 종단 사용자가 사용할 자원에 대한 공통의 용어를 정하는 데 있다. 컴포넌트의 각 자원은 RID라는 식별자로 구분되며, 컴포넌트 관리자가 이것을 부여하며, 컴포넌트 내에서 유일해야 한다. 그렇게함으로써, 컴포넌트 이름과 RID를 조합하면 GENI 안의 어떤 자원도 유일한 이름을 가지게 된다. RSpec은 사용자가 직접 사용하는 것은 아니고, 내에서 다루지는 기계어로써 역할 한다. 사용자에게는 추후에 설명하는 고수준의 임베딩 서비스를 통해 RSpec을 다를 별도의 수단이 제공된다. 티켓은 컴포넌트 소유자가 발행하는 소유자의 자원을 사용할 권리이다. 티켓을 확보한 사용자는 컴포넌트 소유자에게 티켓을 보여주고 자원을 얻을 수

있다. 티켓에는 적어도, 사용할 수 있는 자원이 기술된 RSpec, 자원을 할당하는 권리를 받은 슬라이스 이름, 티켓 자체의 유효기간, 티켓에 기술된 자원이 슬라이스에게 유효한 기간, 티켓과 연관된 특별한 권리에 대한 정보가 포함된다.

### 슬라이스 동작 (Slice Operations)

슬라이스 이름으로 슬라이스를 만들면 GMC 슬라이스 레지스트리에 등록되고 이후 슬라이스 이름으로 슬라이스가 다루어지게 된다. 이와 관련하여 GMC 슬라이스 레지스트리는 세 개의 동작을 지원한다. CreateSliceName(Name, UserInfo) ; 슬라이스 등록  
슬라이스 해지 ResolveSliceName(Name) ; 사용자 조회

### 컴포넌트 동작 (Component Operations)

슬라이스 이름이 등록이 되면, 사용자는 슬라이스를 초기화하고 설정할 수 있다. 슬라이스는 컴포넌트 자원을 얻고, 재분배하고, 사용하는 배우 역할을 하며, 실제로는 그 슬라이스와 관련된 사용자들이 슬라이스 이름으로 요청을 만드는 것이다. 슬라이스의 장(우두머리)은 다음의 동작을 통해 컴포넌트 자원에 대해 권리를 획득한다. GetTicket(Slice, Request) 여기서 Slice는 슬라이스 이름이고, Request는 슬라이스가 요구하는 RSpec형식의 자원이다. 슬라이스 장이 티켓을 소유하면, 슬리버를 만들 수 있다. CreateSliver(Ticket) 티켓은 분할될 수도 있다. Ticket2) = SplitTicket(Ticket, Request) 컴포넌트 관리자는 슬리버에 대한 다음의 동작을 지원한다. 슬리버의 시작 슬리버의 정지 컴포넌트로부터 슬라이스 제거, 자원 해지 슬라이스 정보와 관련된 동작들은 다음과 같다. ListSlices() ; 컴포넌트와 관련된 슬라이스들 이름 조회 GetStatus() ; 컴포넌트 상태 조회 = GetResponsibleSlice(PacketSignature) 패킷에 담긴 서명을 보낸 슬라이스 이름 조회

### 애그리게이트 동작 (Aggregates Operation)

모든 애그리게이트들은 다음의 동작을 지원한다. ListComponents() 구현 기준 컴포넌트 (canonical component)는 컴포넌트 추상화의 참조 구현 모델이다. 기준 컴포넌트를 구현하는 계층들이 그림 4.20에 도시되어 있다. CM은 컴포넌트 관리자, VM은 가상 머신(Virtual Machine)이며, 각 가상머신은 하나의 슬리버에 해당된다. VMM(Virtual Machine은 슬리버들을 격리시키고, 트래픽 감시기(Traffic Monitor)는 컴포넌트에 의해 송수신된 네트워크 트래픽에 대한 허가, 셰이핑(shaping), 감시 역할을 담당한다. 안전 부트 감시기(Security Boot Monitor)는 원격 애그리게이트와 상호작용하여 올바른 소프트웨어를 노드에 설치하고 부팅하는 역할을 담당한다. 끝으로 하드웨어 감시기(Hardware Monitor)는 컴포넌트의 원격 접근과 제어를 위한 신뢰성 있는 수단을 제공한다.

컴포넌트는 아래와 같은 능력을 포함하여 정의된 함수의 집합을 구현하는 소프트웨어와 하드웨어 메커니즘을 공급해야만 한다. 슬리버의 생성과 파괴, 슬리버에 자원의 부여 및 회수

슬리버들 간의 격리사용자가 안전하게 원격으로 슬리버에게 접근신호를 슬리버에 전달슬리버를 선택하기 위한 특권 동작의 부여슬리버가 만들어낸 네트워크 트래픽의 발생률 제한슬리버와 인터넷 액세스간의 제한 모든 패킷 흐름들에 대한 감시컴포넌트를 네트워크로부터 분리하고 재부팅컴포넌트 전원의 온오프 된다.

사용자 서비스의 목표는 GENI에서 실행하는 실험들로부터 측정물들을 생성하고, 조작하고, 획득하기 위한 수단을 연구자들에 제공하는 것이다. 이 서비스들은 두 사용자 그룹으로 분리되어 정의되는데 하나는 오퍼레이터 서비스이고 다른 하나는 연구자 서비스이다. 사용자 그룹에 대한 인터페이스를 표시하기 위해 포털(portal)이라는 단어를 사용한다.

오퍼레이터 포털 (Operator Portal)에는 상대적으로 소수의 전임 오퍼레이터 직원들이 있고, 되도록 사람의 개입 없이 대부분의 문제들을 감지하고 해결하는 GENI 관리 도구들이 있다고 가정한다. 오퍼레이터 포털은 네트워크 오퍼레이터가 사용하도록 제작된 기능들에 대한 프론트-엔드(front-end)를 제공한다. 이 기능에는 온라인과 오프라인 기능 두 가지가 있다. 온라인 기능은 실시간으로 컴포넌트들을 감시하는 것으로 ITU의 FCAPS(Fault management, management, Accounting management, Performance Security management) 모델을 사용한다. 오프라인 기능에는 문제 추적, 보수유지 요청, 재고조사 등이 있다. 오퍼레이터 포털을 제작하는 방법으로 가장 선호되는 방법은 적절한 공개 소스 소프트웨어가 있어서 이를 목적에 맞게 개량하여 사용하는 것이다. 차선책은 상용인 COTS(off-the-shelf) 소프트웨어를 구입하는 것이다. 위 두 가지 모두 마땅하지 않을 시 최후의 선택으로 처음부터 제작하는 방법이 있겠다.

### **연구자 포털 (Researcher Portal)**

연구자 포털은 연구자와 개발자들이 GENI 자원을 획득하여, 자신들의 서비스 요구사항에 맞게 조절하고 실험을 수행하게 하기 위한 것으로, 가급적 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 제작되는 것이 중요하다. 연구자 포털은 이러한 기능을 부여하는 서비스들의 집합으로서 레벨에 따라 세 가지로 구분된다. 최하단 레벨에서는 실험들 사이에 컴포넌트 자원들이 공유되는 방법인 자원 할당(Resource Allocation)이 정의된다. 이 위에 위치하는 중간 레벨 서비스에서는 슬라이스 임베딩(Slice Embedding)이 정의되고, 최상단 레벨에서는 실험자 워크벤치(Experimentor Workbench)가 연구자들이 실험을 만들고, 설정하고, 제어할 수 있게 하는 도구 집합을 공급한다.

### **자원 할당 (Resource Allocation)**

자원 할당이 이루어지는 과정은 다음과 같다. 각 컴포넌트는 CM(Component Manager)을 운영한다. GENI에게 자신의 자원들의 일부를 기부한다. 그 대가로 GENI는 기부한 자원의 값어치에 비례하여 각 사이트의 SM에게 토큰을 발행한다. 각 토큰은 어떤 값을 가지고 있는데 예를 들어 값 10의 1개의 토큰은 값 1의 10개의 토큰과 동등하다. SM은 부여받은 이

토큰을 사이트 사용자들에게 분할하여 배포함으로써 어떤 자원을 사용할 특권을 위임한다. 자원을 할당받기 원하는 사용자는 자원발견서비스(Resource Service)에 조회하여 원하는 자원의 위치를 찾는다. 원하는 자원을 발견한 사용자는 토큰과 자원 요청서를 RB에게 보낸다. RB는 각 요청된 자원에 대한 티켓을 발행한다. 티켓은 요청된 기간 동안만 자원에 대한 접근이 보장된, 즉 자원 임대에 대한 증표이다. 사용자는 그 티켓을 얻고자 하는 자원을 보유자에게 보여주고 할당되는 자원에 대한 핸들에 해당하는 슬리버를 획득함으로써 자원이 할당이 마무리된다. 한편 이와는 별도로 백도어(back가 있는데, 이것은 GENI 과학 위원회(GENI Science Board)가 자원의 기부에 관계없이 토큰과 티켓을 특정 사이트와 사용자에게 직접 발행해 주어서 특별히 유용한 서비스나 하드웨어의 제공에 대해 보상해주는 것이다.

### **FIRE: Future Internet Research and Experimentation**

#### EU의 연구 프로그램

1980년대 들어 유럽 각국은 유럽의 정보통신산업의 경쟁력 약화가 국가별 진행에 따른 중복투자와 상이한 상품규격에서 기인했으며, 그간의 일본 및 미국기업과의 산업적 제휴는 경쟁력 확보에는 일조했지만 오히려 산업 자립도를 약화시켰던 요인으로 판단하였다. 그래서 유럽 정보통신산업의 경쟁력 회복을 위해 유럽정보통신 산업체간 공동 연구개발 프로그램인 'ESPRIT'를 1981년에 시행하였고, 1984년부터는 유럽 국가들 간의 연구자원의 효율적 활용, 연구개발 투자 확대 및 산업 경쟁력 강화 등을 목표로 범유럽 연구개발 재정지원 프로그램인 FP(Framework Program)을 시행해오고 있다. 1993년 유럽연합(EU)의 창설과 함께 주요정책으로 채택되어 관련 예산이 크게 증액되었으며, 2002년부터 2006년까지 수행되었던 FP6에 이어서, 2007년부터는 7차 프로그램인 FP7이 시작되었다. FP7은 향후 2013년까지 7년간 추진될 예정이며, FP6 예산의 4배가 넘는 727억 유로가 투입된다. FP7은 FP6까지 진행된 결과에 대한 기반강화와 현실화를 목표로 성장을 위한 지식기반의 유럽연구지역 구축을 위해 Cooperation, Idea, People,로 정의한 4대 프로그램을 진행하고 있으며, 이 중 Cooperation 프로그램에 가장 많은 324억 유로가 배정하였다. Cooperation 프로그램의 목적은 여러 핵심 주제 영역에서의 공동연구지원으로, 프로그램 내에는 ICT - Information and Communication Technologies를 비롯하여 총 10개의 세부 워크 프로그램(Work Programme)이 있으며, EU는 워크 프로그램에 가장 많은 금액인 91억 천만 유로를 배정하였다. ICT 워크 프로그램은 현재 유럽사회가 관심을 갖고 있는 총 7개의 Challenge 주제로 나뉘어 추진되며, 이 현실적인 주제들 외에 ICT는 먼 미래를 내다보면서 장기간을 요하는, 위험도가 매우 높은, 목적지향적인 연구들을 지원하기 위하여 'Future and emerging technologies(FET)' 프레임워크를 두고 있다. 여러 Challenge 중에 특히 Challenge 1을 중점적으로 살펴보면<sup>1)</sup>의 정확한 명칭은 Pervasive and Trusted Network and Service Infrastructure이다.

Challenge 1에는 다음과 같은 7개의 세부 목표가 설정되어 있고, 이 세부 목표들에 대하여 산학연으로부터 연구 프로젝트들을 접수받아 지원한다.

Objective ICT-2007.1.1: The Network of the Future

Objective ICT-2007.1.2: Service and Software Architectures, Infrastructures Engineering

Objective ICT-2007.1.3: ICT in support of the networked enterprise

Objective ICT-2007.1.4: Secure, dependable and trusted Infrastructures

Objective ICT-2007.1.5: Networked Media

Objective ICT-2007.1.6: New Paradigms and Experimental Facilities

Objective ICT-2007.1.7: Critical Infrastructure Protection

### FP6에서의 미래인터넷 연구

유럽위원회와 유럽의 산학계는 현 인터넷의 근본적인 한계를 극복하기 위한 가능한 수단들을 조사할 필요성을 인식하고, FP6 내 FET(Future and Technologies) 프레임워크 안에서, SAC(Situated and Autonomic)을 비롯한 많은 미래 인터넷 관련 프로젝트에 3천만 유로의 예산을 배정하여 2004년부터 추진하였다. FP6에서 미래인터넷과 관련된 프로젝트들은 크게 4 부류로 나뉘는데 그중 가장 관련 있는 것과 RN(Research Networking) 테스트베드 관련 프로젝트들이다. FP6 Situated and Autonomous Communications 관련 프로젝트들이 프로젝트들은 새로운 인터넷 아키텍처와 서비스에 대해 스스로 조직하는 (self-organizing) 특성을 갖는 여러 가지 분산 접근법들을 다루고 있다. FP7이 시작되었지만 FP6에서 채택된 프로젝트들은 현재에도 계속 수행중이며, 그 리스트는 다음과 같다.

- ANA: Autonomic Network Architecture
- BIONETS: BIOlogically-inspired autonomic NETworks and Services
- CASCADAS: Componentware for Autonomic, Situation-aware and Dynamically Adaptable Services
- CATNETS: Evaluation of the Catallaxy paradigm for decentralized and dynamic application networks
- COOPCOM: Cooperative and opportunistic communications in networks
- EVERGROW: Ever-growing global scale-free networks, their repair and unique functions
- HAGGLE: An innovative paradigm for autonomic opportunistic
- NET-REFOUND: Network Research Foundation

## FP6 Research Networking Testbeds

“연구네트워킹 테스트베드(Research Networking Testbeds)” 목표 하에 여러 개의 테스트베드 프로젝트들이 연구용 미래 세대 인프라에 대한 기초를 닦기 위해 시작되었다. 이 테스트베드들은 컨버전스와 QoS와 같은 이슈들을 논의하였는데, 가장 주목할 만한 프로젝트가 2006년부터 시작된 ONELAB과 PANLAB이다. ONELAB은 연구자들이 제안한 개념들을 검증하고자 하는 목적의 테스트베드를 다루고, PANLAB은 테스트베드를 널리 보급하는 프레임워크를 이끌어내는 것이 목표이다. 이들을 포함하여 수행중인 프로젝트 리스트는 다음과 같다.

- ONELAB: An open networking laboratory supporting communication research across heterogeneous environments
- PANLAB: Pan European laboratory for next generation networks and
- OPENNET: Open Interconnection for the Internet Community
- EUQOS: End-to-end Quality of Service support over heterogeneous
- NETQOS: Policy Based Management of Heterogeneous Networks forQoS
- VITAL: Vital Assistance for the Elderly
- IPv6 TF-SC: IPv6 task force steering committee
- ANEMONE: Advanced next generation mobile open network
- RING: Routing in next generation
- EUROLABS: Distributed European testbed Laboratories
- NUPBED: Multi-partner European test beds for research networking
- PHOSPHORUS: Lambda user controlled infrastructure for European

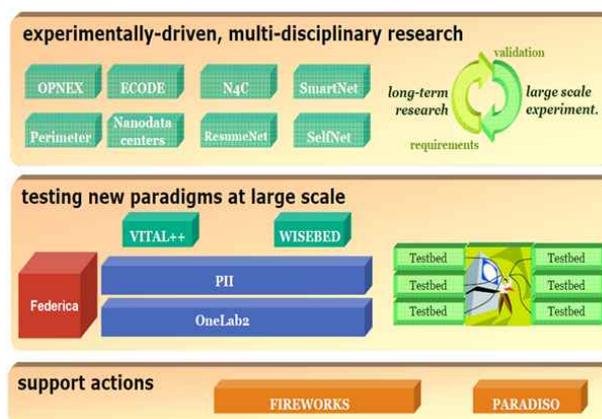


그림 8 Sub-project based on FIRE

이밖에도 IST(Information and Science Technologies, FP7에서는 ICT로 변경) 목표 "모든 것을 위한 광대역(Broadband for all)"과 "3G 너머의 이동 무선 시스템과 플랫폼(Mobile

and Wireless Systems beyond 3G)"하의 여러 프로젝트들과 "보안(Security)" 하의 프로젝트들도 미래 인터넷과 관련된 중요한 사항들을 다루었다.FP7에서의 FIRE 유럽 위원회는 2007년 초부터 시작한 유럽의 7차 프레임워크 프로그램 안에 FIRE (Future Internet Research and Experimentation) Initiative를 포함시켜 시작할 준비를 하고 있다. FIRE Initiative는 FP7-ICT의 목표인 "새로운 패러다임과 실험설비(New Paradigms Experimental Facilities)" 하에 2008년 초부터 시작될 2차 프로젝트들과 함께 시작될 예정이며 4천만 유로가 배정된다. 2007년 6월부터 9월 사이에 이를 위한 프로젝트 제안 요청이 있을 것이며, 이 요청은 미래 인터넷 아키텍처와 프로토콜을 위한 진보된 네트워크 접근방법 뿐만 아니라 테스트베드와 실험설비들의 상호연결에 초점을 맞추게 될 것이다. FIRE에는 미래 인터넷과 관련된 새로운 보안과 프라이버시 향상 기술의 개발과 테스트가 포함될 것이다. FIRE 설비들은 미래 인터넷과 관련된 다른 테스트베드에게 개방될 예정이며, 미국의 FIND, GENI 뿐만 아니라 극동의 한중일과도 긴밀한 협력이 계획되고 있다. 비전은 대단히 창조적이고 혁신적인 생각들을 조사하고 실험적으로 검증하기 위한 연구 환경을 제공함으로써 최근에 생겨나고 있는 인터넷 상의 기대 사항들을 다루는 것을 목표로한다. 구현은 다음 두 가지 사항을 목적한다.

- 미래인터넷의 새로운 패러다임과 네트워킹 방법에 대해 실험이 수반되는 장기 연구
- 미래 인터넷 기술들을 위한 기존 및 새 테스트베드들을 점진적으로 편입시킴으로써, 오랫동안 지속될 수 있고, 동적이고, 규모가 큰 실험 설비의 구축

재원의 한계뿐만 아니라 초기단계에 연구 토픽을 선별하는 것의 어려움 때문에 시작부터 하나의 큰 인프라를 구축하는 것은 가능하지 않다. 그러므로 FIRE 설비는 구축을 완전히 새로 하는 것이 아니라, 기존의 연결, 테스트베드와 설비들을 공유하면서 점진적으로 설치된다. 연결될 테스트베드의 예로는, SAC 프로젝트의 테스트베드, RN(Research Networking) 테스트베드, FP6 RTD 프로젝트의 시험과 검증 컴포넌트, 2006년에 시작된 것과 ONELAB 프로젝트, NESSI ETP에 의해 개발 중인 Full Scale Demonstrator, LivingLabs 등이 있다. 지리적으로 산재되어 있는 테스트베드들의 상호연결에는 범유럽 기가비트 네트워크인 GEANT를 이용한다. 이외에도 다음의 활동들이 시작된다.

- 시험 방법에 대한 R&D를 포함하여, 테스트베드 상호연결에 대한 파일럿 프로젝트
- 연합을 위한 프레임워크와 클러스터링 메커니즘을 공급하는 협동 프로젝트

미래 인터넷 연구는 FP7 ICT WP 2007-08의 Challenge 1("pervasive and network and service infrastructure) 하의 모든 주제에서 다루어지지만, 특히 이 주제들 하의 다음의 2가지 목표결과와 관련이 깊다.

- Technologies and systems architectures for the Future Internet (2억 유로의 예산이 배정된 목표 1.1 “The Networking of the Future”의 목표결과 (c))
- Advanced networking approaches to architectures and protocols (4천만 유로의 예산이 배정된 목표 1.6 "New Paradigms and Experimental의 목표결과 (a))

참고로 FIRE와 가장 밀접한 관련이 있는 ICT 목표 1.6 “New Paradigms Experimental Facilities”가 추구하는 결과는 다음의 3가지이다.

(a) Advanced networking approaches to architectures and protocols

- 미래 인터넷의 규모 증가, 장애 복구, 복잡한 구조, 이동단말 지원, 보안, 투명형 구조에 대처하는 설계
- 물리적 그리고 가상의 인프라의 조합을 바탕으로 대규모 시험환경으로 설계의 타당성 검증

(b) Interconnected testbeds

- 분산적이고 재구성이 가능한 프로토콜 아키텍처
- 분산 네트워크와 서비스 아키텍처, 인프라, 소프트웨어 플랫폼
- 향상된 임베디드형 또는 오버레이형 보안, 신뢰할 수 있는 관리 아키텍처와 기술
- 사용자에게 관리나 보안기술을 요구하지 않으면서 믿을 수 있는 e-서비스에 대한 접근을 제공하는 시스템-레벨 테스트베드

(c) Coordination and Support Actions

- 표준화와 컨퍼런스 지원
- 국가 및 지역의 관련 프로그램과의 상호 협조

## 결론

현재의 인터넷 기반 네트워크 환경에 대한 폭발적인 수요의 증가와 미래 네트워크 환경의 다변로 인해 미래인터넷에 대한 연구와 투자는 세계적인 흐름이다. 미국, 유럽, 일본 등에서는 미래인터넷을 위한 대규모의 연구 프로젝트들이 진행 중에 있다. 이러한 미래인터넷의 핵심 기술들에 대한 분석과 연구를 통해 향후 국가 연구망인 KREONET의 발전방안과 기술 개발에 대해서 효과적인 업무 수행이 필요하다.

특히, 로컬 네트워크 실험 환경에서의 한계를 벗어나 KREONET과 같은 운영 중인 백본 환경에서 미래인터넷의 핵심 기술들에 대한 접목과 테스트는 미래기술에 대한 선점과 국내 연구망 기반의 네트워크 연구분야의 연구력 향상을 추구할 수 있으며, 향후 국제간 미래인터넷 테스트베드로서도 활용성이 매우 크다. 국가적 차원에서의 대규모 프로젝트가 없는 실정에서 요소 기술들에 대한 충분한 검토와 국내 환경에 대한 충분한 심의와 검토를 통하여 미래인터넷을 대비하는 연구력이 절실히 필요하다.

