

미래인터넷 기술 및 표준화 동향

Trend on the Future Internet Technologies and Standardization

신명기 (M.K. Shin)

차세대인터넷표준연구팀 선임연구원

목 차

-
- I . 미래인터넷 연구배경
 - II . 미래인터넷 기술 동향
 - III . 미래인터넷 표준화 동향
 - IV . 결론

1974년 인터넷 개념이 처음 제안된 이후, 지난 30년 넘게 인터넷은 현재 사용되는 글로벌 네트워크의 대표주자로 자리매김 하고 있다. 그러나 2000년대에 들어서면서부터 통신환경의 급격한 변화 및 다양한 사용자 요구사항의 증대로 인해 현재의 인터넷이 갖는 근본적인 문제에 대해 심각한 고민을 하기 시작하였으며, 그 연장선 중 하나로 최근 Clean Slate 설계 방법에 기반을 둔 미래인터넷 연구가 국내외로 활발히 진행되고 있다. 본 고에서는 미래인터넷의 연구 배경으로 현 인터넷의 성공배경 및 문제점들을 먼저 살펴보고, 이를 기반으로 미래인터넷을 위한 요구사항 및 설계목표 등을 알아본다. 또한 최근 활발히 연구 진행중인 미래인터넷 핵심 기술들에 대해 분석하고, 미국, 유럽, 일본, 우리나라가 전략적으로 추진중에 있는 프로젝트 동향, 성공 시나리오 등을 살펴본다. 끝으로 현재 ISO/IEC JTC1/SC6, ITU-T 등에서 추진 계획중에 있는 표준화 동향에 대해 살펴본다.

I. 미래인터넷 연구배경

1. 현 인터넷의 성공배경과 문제들

현재의 인터넷(Internet)은 1962년 패킷 스위칭과 1974년 네트워크와 네트워크를 엮는 “Internet”의 기본 개념이 제안된 이래로, 1978년 TCP/IP란 단일 프로토콜을 설계, 표준화함으로써 그 당시 ISO에 의해 설계되고 논의되어온 OSI 프로토콜을 누르고, 글로벌 네트워크의 대표주자로 자리매김하게 되었다. 인터넷 성공의 이면에는 현 인터넷의 시초가 된 1969년 미 국방성 주도의 ARPANet이란 대규모 시험 네트워크 선행 도입, 1990년대 이를 NSF 주도의 NSFNet 학술연구망으로 발전시켜 기 개발된 각종 프로토콜/응용들을 시험적으로 운용, 단계별로 발전시킴으로써 현재의 글로벌 인터넷 구조를 가능하게 했다는 점이며, 1993년 사용자 응용의 혁명을 가져온 WWW이 개발된 후, TCP/IP 응용이 글로벌 네트워크의 사용자 환경을 통합하는 대표적인 수단으로 자리잡게 된 점을 들 수 있다. 사실 1990년대 초반까지만 해도 각 나라별로는 OSI 7계층 모델에 따라 GOSIP라는 실행표준에 의해 정보 네트워크를 OSI로 구축하려는 시도가 있었으나[1], 현재는 “네트워크”라고 하면 “인터넷”만을 언급한 정도로 현 인터넷은 가파른 성공과 성장세를 유지하고 있다.

처음 인터넷이 제안될 당시 설계 목표와 요구사항은 다음과 같이 7가지로 정리된다[2],[3].

- 네트워크간 연결
- 생존성(Survivability)
- 다중 유형의 서비스 지원
- 다양한 물리계층의 지원
- 분산 관리 허용
- 비용 절감(Cost-Effective)
- 자원 책임(Resource Accountability) 허용

이러한 목표 및 요구사항을 만족하기 위해 현 인터넷은 다음과 같은 5가지 설계철학을 가지고 구현되었다.

- 계층화(Layering)

- 패킷 스위칭
- 네트워크의 네트워크
- 네트워크의 단순화 및 단말의 지능화
- 점대점 통신(End-to-End Argument)

이러한 현 인터넷의 설계철학은 네트워크와 이를 구현하는 프로토콜들을 단순화시켜 다양하고 복잡한 네트워크와 네트워크간의 연결을 더욱 간편하게 하였고 인터넷 발전의 원동력으로 인식되어 왔다. 특히 계층화, 패킷 스위칭, 네트워크의 단순화의 개념은 새로운 프로토콜 설계시 결코 버려서는 안될 인터넷의 가장 중요한 핵심철학으로 자리잡게 되었다. 그러나, 현 인터넷 주변의 환경은 다음과 같이 초기 인터넷이 설계되었을 때는 상당히 다른 모습으로 변화되어 발전되어 왔으며[4],

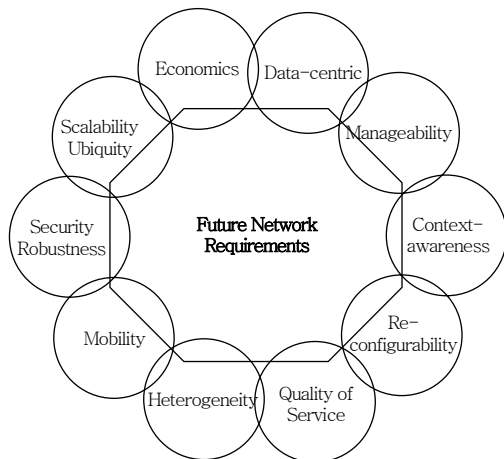
- 통신환경: 신뢰 → 비신뢰
- 사용자환경: 전문연구 집단 → 일반 소비자
- 망사업자: 비영리 → 영리
- 통신주체: 호스트-중심 → 데이터-중심
- 연결성: 점대점 연결 → 간헐적 연결

특히 2000년에 들어서면서부터 센서와 같은 다량의 단말 접속, 다양한 무선구간의 확장, 다중인터페이스 단말의 등장, 빠른 이동단말의 지원, 안전한 전자거래, 네트워크에서의 서비스 품질보장, 비즈니스 측면 보완 등 현 인터넷 기술에 대한 문제 제기 및 이를 보완, 대체하기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 이러한 현 인터넷의 문제를 보완, 해결하기 위한 접근 방법으로는 i) 점진적인(incremental) 설계 방법과 ii) Clean Slate 설계[5] 방법으로 나눌 수 있다. 점진적인 접근 방법은 지난 30년간 IETF [6]를 중심으로 성공적인 연구 및 표준화가 진행되어 왔다고 평가되고 있으나, 최근에는 이러한 방식 보다는 보다 근본적인 문제를 해결하기 위해 대학 및 연구기관 등을 중심으로 앞서 기술한 현 인터넷 철학을 뛰어넘는 보다 새로운 접근 방식인 Clean Slate 설계 기반의 기술 연구 논의가 시작되게 되었다. 2005년부터 시작된 Clean Slate 기반의 이러한 연구 노력들은 미래인터넷(Future Internet) 연구들

로 총칭되며, 15년 이후의 새로운 인터넷 설계를 목표로, 미국 NSF가 후원하는 FIND[7], GENI[8]를 대표로 하여, 유럽 EU의 FP7, EIFFEL[9], 일본의 차세대 네트워크(NWGN) 프로젝트[10], 한국의 미래인터넷 포럼[11] 등에서 미래인터넷 관련 연구들이 활발히 진행되고 있다.

2. 미래인터넷 요구사항 및 설계목표

미래인터넷의 연구는 새로운 인터넷을 위한 설계 목표 및 요구사항을 다시 기술하고, 정의하는 작업으로부터 시작한다. (그림 1)은 현재까지 논의되고 있는 미래인터넷을 위한 요구사항을 10가지로 정리하여 도식화한 것이다[12]. 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 천만 개 이상의 멀티홈을 갖는 단말을 지원할 수 있어야 한다. 최근 인터넷은 PI, 멀티호밍, 이동단말, IPv6 영향 등으로 인해 어드레싱과 라우팅 면에서 확장성

에 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 오류시 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 광 파이버, 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 미래인터넷의 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 가장 근본적인 제약으로 꼽히는 서비스 품질 제공은 여전히 미래인터넷 설계 목표에서 빠질 수 없는 주요 목표 중의 하나이다. 미래인터넷에서는 다양한 등급의 서비스 품질을 어디에서 어떠한 방법으로 제공해야 하는지에 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/self-organized) 네트워킹/컴퓨팅, 네트워크 가상화(network virtualization) 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(who 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 이동기능 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 [장 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-중심의 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.

II. 미래인터넷 기술 동향

1. 미래인터넷 핵심 기술

미래인터넷 기술에 대한 연구는 2005년부터 미국을 중심으로 시작되어 현재 대부분 초기 수준의 요구사항 수립 단계에 머물러 있으나, 대부분의 연구들에서 공통적으로 언급하는 핵심 기술에 대해서는 아래와 같이 네 가지로 분석 가능하다.

가. 미래인터넷 구조 및 새로운 패러다임

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[5].

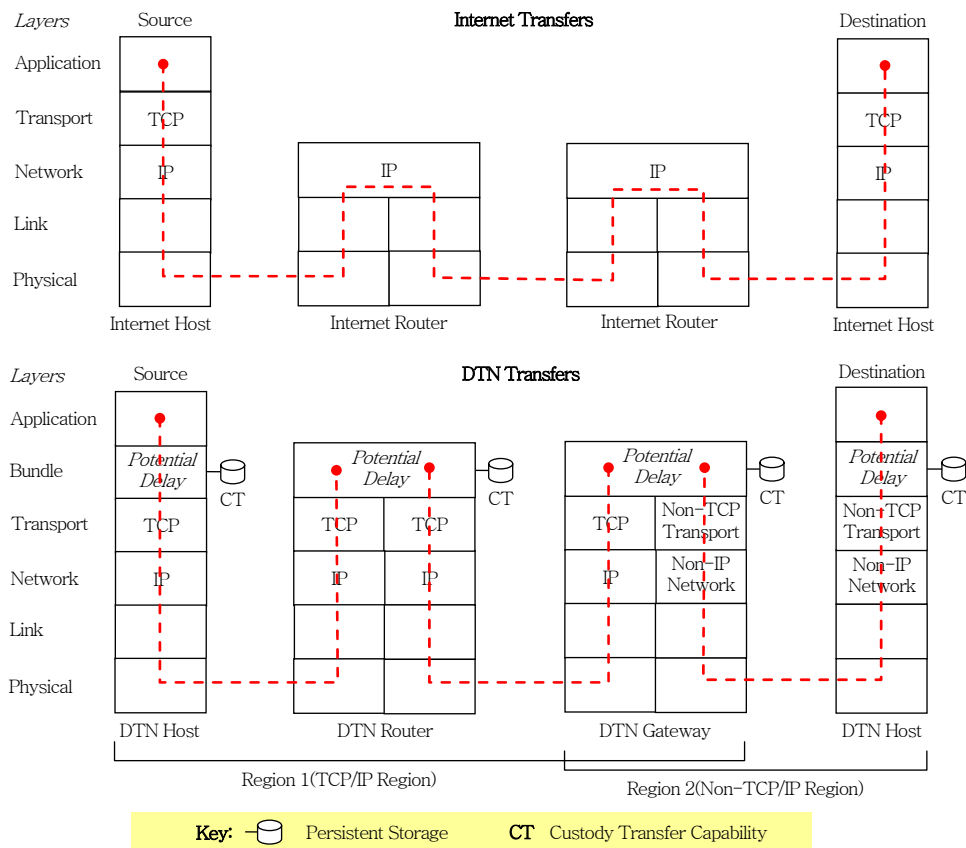
- 플로 기반 라우팅/스위칭
- 새로운 네트워크 어드레싱/라우팅

- 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[6], IRTF[13]를 중심으로 인터넷 상의 가장 큰 문제인 라우팅과 어드레싱의 확장성을 높이는 연구가 진행되고 있다. 이동성, 멀티호밍, PI 라우팅 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 진행중에 있다. ID/Locator 분리 작업에 대한 연구 및 표준화는 IETF RoAP BoF 등을 통해 추진중에 있다. 현재 제안된 솔루션으로는 호스트-기반 방식과 네트워크-기반 방식으로 나누어 분류되며, 대표적으로 LISP, PASH, HIP, SHIM6 방법 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[14].

현 인터넷의 패킷 스위칭 기술은 네트워크 계층 상에서 비상태보존(stateless) 라우팅 시스템의 구현을 가능하게 했으며, 이를 통해 라우터는 별도의



(그림 2) TCP/IP 라우팅과 DTN 라우팅 비교

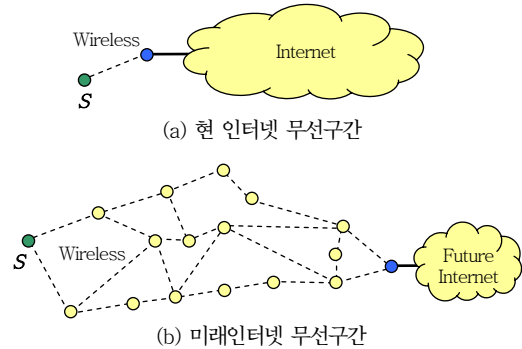
연결 상태를 유지하지 않는다는 장점을 가지고 있었다. 이러한 순수 패킷 스위칭 방식은 액세스 단에서는 아직도 올바른 방법으로 인식되고 있으나, 코어 단으로 갈수록 서비스 품질 제어나 트래픽 엔지니어링, 패킷의 그룹핑을 처리하는 데 있어 많은 제약을 가져왔다. 이를 해결하기 위해 모든 경로의 광-기반 스위칭의 도입 혹은 동적 서킷 스위칭에 대한 연구도 함께 진행중에 있다[15].

또 다른 미래인터넷의 새로운 패러다임 중 하나는 프로그램-가능 네트워크의 적용이다. 초기 인터넷 장비들은 각 기능들이 정적인 형태로 구현되어 사용되어 왔으나, 미래인터넷의 장비들은 새로운 프로토콜이나 서비스들을 프로그램하여 네트워크 상에 플러그-인 형태로 추가, 확장할 수 있도록 하는 연구가 진행중에 있다. 이러한 연구는 예전 능동 네트워크(active network) 혹은 최근 개념 등과 함께 활발히 연구가 진행되고 있다.

마지막으로 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 행정간 연결성 지원을 위해 설계된 것이었으나, 최근 무선/이동 센서 등의 등장으로 인해 그 용도가 크게 중요시 되고 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 2)는 기존 TCP/IP 라우팅과 DTN 라우팅의 차이를 나타낸 것이다[16].

나. 미래 무선/이동성/센서 기술

미래인터넷의 가장 큰 환경 변화는 무선구간의 증가이다. (그림 3)은 현재의 인터넷과 미래인터넷에서의 무선구간이 차지하는 영역을 추상적으로 표



(그림 3) 현 인터넷과 미래인터넷 무선구간 비교

현한 것이다. 미래인터넷은 무선 액세스 구간이 크게 확대되어 멀티-홉 기반의 메시/릴레이 전송 기술이 필수적으로 사용될 전망이다. 이를 위해 IEEE 802.11s, 802.16a/j, 802.15.3/4 기반 기술 등이 크게 연구되고 있으며, 미래인터넷은 이러한 다양한 무선 L1/L2 계층(PHY/MAC)을 통합하여 멀티홉, 멀티채널 등을 지원할 수 있도록 새로운 크로스-계층 기반 설계방법에 따른 라우팅 연구 등이 진행되고 있다. 또한 새로운 차세대 무선환경을 위한 wireless TCP 연구도 최근 활발히 진행되고 있다[17].

이동성 지원은 미래 단말의 기본성격이 이동환경을 전제한다고 할 때, 미래인터넷 연구 분야의 가장 중요한 테마 중의 하나이다. 지난 10여 년 동안 Mobile IP 기술은 L3 이동성 지원을 위한 유일한 솔루션으로 많은 연구가 진행되어 왔으나, 앞서 살펴본 것처럼 다양한 물리 계층의 사용과 이러한 물리 계층간의 빠른 핸드오버를 지원하기 위해서는 단순히 독립된 L3 Mobile IP 프로토콜의 사용만으로는 이를 지원하기 어렵다고 알려져 있다. 또한 최근 이동 사용자 단말이 노트북 같은 컴퓨터 보다는 100달러 이하의 소형 임베디드 컴퓨터나 센서와 같은 저전력 초소형 단말이 더욱 주류를 이루게 되어, Mobile IP와 같은 단말의 과도한 시그널링(예, 바인딩 업데이트 처리)을 사용하는 방식은 미래인터넷에서는 효과적이지 않을 수 있어 미래인터넷을 위한 보다 효율적인 이동성 지원 기술의 개발이 요구된다.

센서 기술의 보급과 확산은 미래인터넷 구조를 크게 변화시킬 것으로 예상된다. 초기 인터넷은 이

더넷과 같은 유선링크를 기반으로 한 PC와 같은 컴퓨터 단말을 전제로, 대칭형 양방향 점대점 경로와 짧은 RTT 통신 환경에 맞게 설계되었으나, 센서와 같이 무선, 이동성 지원, 저전력 기반, 비대칭, 간헐적, 확률적 통신 환경을 지원하는 새로운 인터넷 단말의 등장은 현 인터넷 구조와는 다른 새로운 패러다임을 요구하게 되었다. 이를 위한 라우팅, 이동성 지원, 글로벌 센싱 알고리즘 등은 기존방법과는 다른 새로운 도전 과제로 인식되고 있다.

다. 미래 서비스 및 응용 기술

미래인터넷에서의 가장 큰 변화는 상황인지 요구가 반영된 사용자 응용 및 서비스 환경의 변화를 들 수 있다. 미래의 사용자들은 '나'를 중심으로(I-centric), 상황을 인지하고(situation aware), 선호도를 고려하여(considering user's preference) 필요에 따라 능동적으로 서비스를 제공받으며(pro-active service provisioning), 어떤 상황에서도 서비스의 연속성을 보장(seamless service) 받도록 요구한다[18].

현재 이러한 서비스 요구사항은 앞서 기술한 새로운 패러다임의 미래인터넷 구조에 크게 영향을 미치게 될 것으로 보인다.

라. 미래인터넷 실험 및 테스트베드

Clean Slate 설계에 기반으로 둔 새로운 미래인터넷 연구는 이를 실험하고, 검증하기 위해 새로운 테스트베드를 요구한다. 현재의 인터넷은 패킷 기반의 점대점 TCP/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 네트워크 상에서 구현하고 실험하였다면, 이제 미래인터넷을 위한 동일한 목적의 새로운 테스트베드가 필요하다. 미래인터넷 테스트베드를 위한 기본적인 요구사항으로는 물리계층을 포함한 전체층

에 대해 실험이 가능하여야 하고, 네트워크를 프로그램-가능하여야 하고, ARPANet이 NSFNet으로 진화했던 것처럼 앞으로의 상용수준의 진화도 고려하여 설계, 구축되어야 한다.

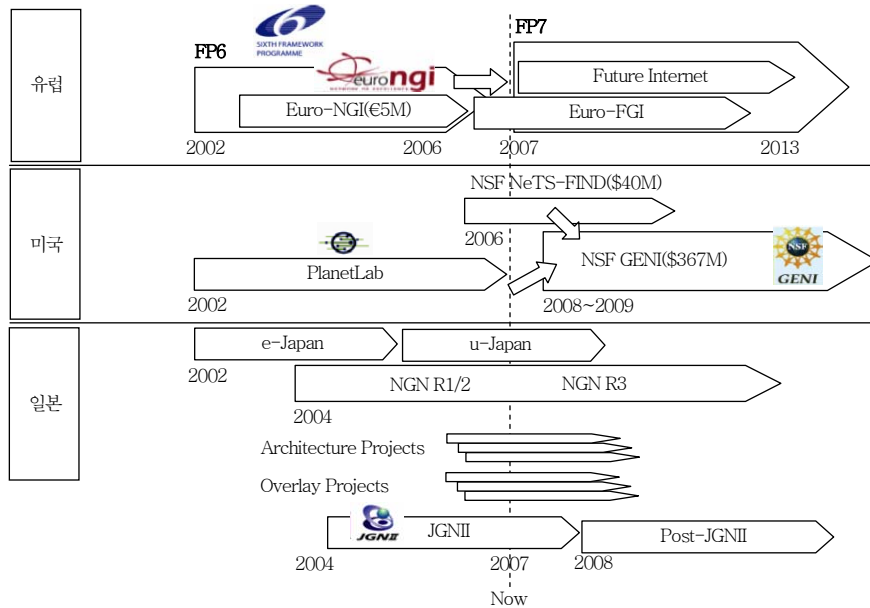
이를 위한 대표적인 연구로는 PlanetLab[19], VINI[20], GENI[8] 등을 들 수 있다. PlanetLab 기술은 현재의 인터넷상에 새로운 서비스 및 응용을 실험하기 위한 글로벌 테스트베드 환경을 제공하며, 기존 TCP/IP 기반의 L3 이상의 환경에서 새로운 프로토콜과 응용을 실험하는 데 사용되고 있다. VINI는 사용자 제공 계층을 L2 계층에까지 확장하여 설계한 테스트베드이며, 이러한 기본적인 아이디어를 통합하여 미래인터넷을 위한 새로운 테스트베드 환경이 GENI이다. GENI에 대한 자세한 설명은 II장 2절에서 다시 기술한다. 미래인터넷 테스트베드에 대한 연구 테마로는 앞서 언급한 네트워크 가상화를 비롯하여 자원통합(federation), 모니터링(monitoring), 측정(measurement) 기술 등이 포함된다.

2. 국내외 프로젝트 동향

현재 미래인터넷 관련 해외 프로젝트 동향 및 마일스톤은 (그림 4)와 같다[11].

가. 미국 - FIND/GENI[7],[8]

미래인터넷이라는 용어를 처음 소개한 것은 2005년 미국의 NSF 프로젝트인 FIND에서 시작되었으며, 미래인터넷의 새로운 패러다임을 연구하는 대표적인 프로젝트이다. FIND는 NSF 주관 하에 진행되고 있는 차세대 네트워킹 프로젝트인 NeTS 아래에 프로그램-가능 무선 네트워크 프로젝트인 ProWin, 새로운 무선 기술을 연구하는 WN, 센서 기술을 연구하는 NOSS, 광대역 기술을 연구하는 NBD 프로젝트와 함께 진행되고 있다. FIND의 특징은 미래인터넷을 위한 혁신적인 핵심 기술 및 패러다임을 제안하는 것으로, 2006년에는 총 26개의 개별 프로젝트 형태로 진행되어, 아직까지는 전체 미래인터넷 구조에 대한 연구보다는 Clean Slate 접근방법에 따



(그림 4) 미래인터넷 관련 해외 프로젝트 일정

큰 광, 라우팅/포워딩, DTN, 보안, 무선, 센서, 네이밍 및 식별자 기술 등 개별적인(bottom-up) 선행 핵심연구에 중점을 두고 있다. 이러한 개별 연구가 큰 성과를 거두고 나면 미래인터넷을 위한 프레임워크와 전체 구조에 대한 연구가 진행될 수 있을 것이다.

GENI는 선행적인 미래인터넷 기술 실험을 위해 NSF에 의해 지원, BBN에 의해 운영되는 대규모 테스트베드로 2005년 NSF 워크샵에서 처음 개념이 제안된 이후로 2009년 구축 예정으로, 2013년까지 약 1조 원 이상이 투입되는 대규모 정부주도 프로젝트로서, 최근 미 백악관의 차세대 미래 연구네트워크를 위한 계획인 ITFAN[21]에도 포함되는 등 그 중요성이 크게 부각되고 있다.

GENI의 가장 큰 목표는 현 인터넷 상에서는 실험하기 어려운, 혁신적인 미래인터넷 기술을 새롭게 시험하고 검증하기 위해 대규모(약 25개 이내의 PoP 구성) 시험 인프라로서 역할을 하는 것으로, 이는 PlanetLab[19]의 개념을 확장하여 GENI의 모든 자원들의 가상화와 프로그램-가능 기능을 위해 광 물리계층에서부터 응용계층에 이르기까지 전 계층에 걸쳐 가능하도록 설계될 예정이다. GENI는 기



(그림 5) 미국의 GENI 구축 계획안

술적으로 동적 광 플레인, 포워드, 스토리지, 프로세서 클러스터, 무선 서브넷을 포함하는 여러 물리 계층의 집합으로 구성되어 FIND, IRTF 등의 결과물들이 바로 실험, 운용될 수 있도록 제공될 예정이다.

GENI의 경우, 국제적 테스트베드 구축을 계획하고 있으며, 우리나라의 경우는 KOREN과 KREONET 등에서 미래인터넷 테스트베드 구축시 GENI와 연동되어 국제 실험이 가능할 수 있도록 추진되어야 한다(그림 5) 참조.

나. 유럽 - FP7/EIFFEL, ARCARDIA[9],[22]

유럽은 EU 중심으로 2006년까지 진행된 FP6에 이어 2007년부터 FP7내 ICT 프로그램을 시작함으

로써 미래인터넷 관련 연구를 진행하고 있다. FP7의 총 예산은 수십 조에 해당되며, 그 중 ICT 프로그램은 2007년부터 2013년까지 약 11조 정도가 투입되어 정보통신 전반에 걸쳐 차세대 통신 네트워킹 기술, 임베디드 기술, 나노-전자 기술, 응용-영상 콘텐츠 기술들을 연구할 예정이다. 이 중 미래인터넷 분야와 관련이 있는 무선, 통신 분야에서는 유무선 통합환경에서의 서비스 제공을 위한 미래 네트워크 구조를 제시하는 연구에 초점을 두고 있다. 특히 최근에는 FP7 내에 미래인터넷 전문가 그룹인 EIFFEL을 구성하여 유럽의 미래인터넷 기술연구를 위한 직접적인 연구를 시작하였다. 이밖에 유럽 COST에서 후원하는 미래인터넷 연구 그룹인 ARCARDIA[22] 등도 유럽을 대표하는 미래인터넷 그룹으로 자리잡고 있다.

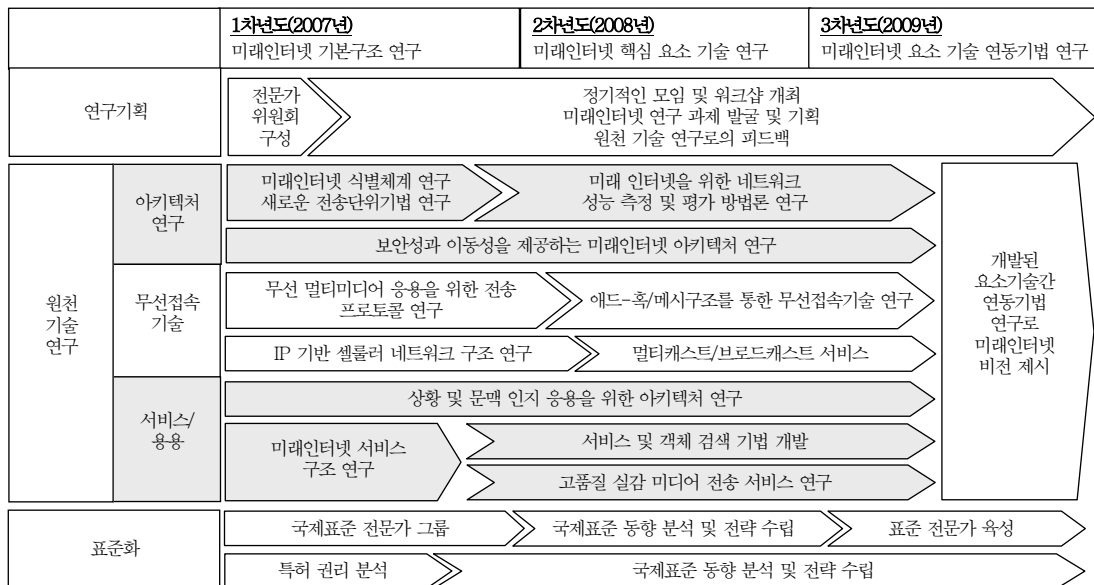
다. 일본 - 차세대 네트워크[10],[23]

일본은 1999년부터 JGN이라는 이름으로 광대역 연구망 프로젝트를 진행하고 있으며 2008년부터는 이를 3단계 JGN 목표를 미래인터넷(NWGN)과 연계하여 추진할 예정이다. 기존 IPv6 중심의 WIDE 프로젝트와는 별도로, 총무성 주도로 진행될 차세대

네트워크 프로젝트는 현재 인터넷보다 품질이 월등하고 보안 문제도 해소를 목표로 하고 있다. 일본 총무성은 “인터넷을 대체할 차세대 네트워크 기술을 개발할 계획이며, 이미 이 같은 연구를 시작한 미국·유럽과 2020년에는 경쟁할 수 있도록 하겠다”고 밝혔다. 총무성이 고안하고 있는 차세대 네트워크는 일정한 통신 속도를 지원하며 고장시 통신망을 자율 복구하고 유해한 데이터 차단 등을 할 수 있는 것으로 2008년 가을부터 프로젝트를 본격 시작할 예정이다.

라. 한국 - 미래인터넷포럼[11]

국내에서는 2006년 대학중심으로 미래인터넷포럼이 결성되었고, 2007년부터는 신성장동력사업의 일환으로 “미래인터넷핵심기술연구” 사업이 2009년까지 진행될 예정이다. (그림 6)은 본 사업의 주요 목표 및 내용을 요약한 것이다. 현재 미래인터넷 포럼의 연구내용은 크게 핵심기술 개발, 기획과제 발굴, 표준화 추진 등으로 나누어 진행되고 있으며 이를 위해 구조 분과, 무선기술 분과, 서비스기술 분과, 테스트베드 분과 및 정책 분과 등으로 나누어 연구를 진행중에 있다. 초기 서울대, KAIST, 충남대

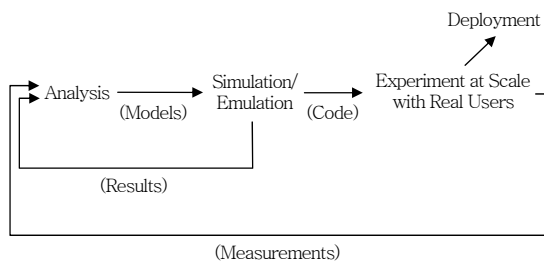


(그림 6) 미래인터넷핵심기술연구 추진내용

등 대학 중심의 핵심 선행 연구를 기반으로 최근 ETRI, NIDA, 삼성, KT 등이 참여하여 보다 폭넓은 연구가 진행될 것으로 전망된다.

3. 미래인터넷 성공 시나리오

결국 미래인터넷은 I장 2절에서 설명한 요구사항을 만족하는 새로운 개념의 구조를 Clean Slate 기법에 따라 기존 인터넷 개념에 구애받지 않고, 설계하는 데 있다. 이러한 혁신적인 새로운 아이디어는 새로운 테스트베드를 통해 시험, 검증되며, 이러한 테스트베드는 대규모 형태로 구축, 운영되어 최종 사용 수준의 환경으로 진화되면 결국 미래인터넷은 성공적으로 현 인터넷을 대체하게 된다고 예측할 수 있다. GENI가 미래인터넷 연구에 가장 많은 예산과 노력이 집중되는 이유가 여기에 있겠다. 사실 이러한 미래인터넷 성공 시나리오는 이미 1970년대 현재의 인터넷 도입에서 사용되었던 전략이다. 1962년에 처음 제안된 패킷 스위칭의 개념은 1969년 ARPANet에서 처음 대규모로 시험 운영됨이 증명되고, 이러한 ARPANet이 NSFNet으로 확장, 진화됨으로써 현재의 인터넷의 성공을 가져왔다. GENI를 단순 테스트베드로 볼 것인지, 새로운 네트워크 인프라로 볼 것인지에 대한 의견은 최근 GENI 설계자 사이에서도 커다란 쟁점이기는 하나, 미래인터넷의 성공을 위해 이미 한번 경험한 바 있는 현재 인터넷의 성공 전략은 큰 무리 없이 그대로 적용되어 사용될 것으로 예측된다. (그림 7)은 미래인터넷을 위한 연구/분석 → 실험 → 도입 흐름을 도식화한 것이다[24].



(그림 7) 미래인터넷 기술개발 사이클

4. 다른 차세대 표준 기술들과의 비교 (Gap Analysis)

가. NGN과 미래인터넷

I장 2절에 언급한 미래인터넷을 위한 요구사항들의 일부는 ITU-T의 차세대통신 프레임워크인 NGN에서 이미 언급되고, 개발중인 내용이라는 지적이 있다. 대표적으로 관리성과 서비스품질보장은 통신사업자 중심의 텔코들이 가장 중요하게 생각하는 요구사항 중의 하나였다. 현 인터넷은 초기 설계 당시 통신사업자의 요구와는 달리 단순히 패킷 망을 기반으로 네트워크를 설계하여 최근 이러한 문제를 풀기 위해 다시 텔코의 요구사항을 반영, 재설계하려 한다는 텔코 입장의 비판도 있다. 그러나 이러한 움직임은 단편적인 시각일 뿐이며, 최근 네트워크들이 전화망과 인터넷의 통합, 수렴화되는 경향을 살펴볼 때 차세대 텔코망과 미래인터넷의 여러 요구사항은 결국 유사할 수 밖에 없을 것이다.

NGN과 미래인터넷과의 가장 큰 차이점은 NGN의 경우, 현 인터넷의 근간인 IP를 기반으로 All-IP 망의 구축을 통해 차세대 네트워크 요구사항들을 구현한 접근방법인데 반해, 미래 네트워크는 이러한 요구사항을 구현하기 위해 패킷 스위칭, 서킷 스위칭과 같은 기존의 어떠한 네트워크 기법들을 전제하지 않은 채 Clean Slate 설계 기법에 따른 혁신적인 방법으로 네트워크를 재설계하려는 데 있다.

나. IPv6와 미래인터넷

국내에서 미래인터넷 연구와 가장 많이 비교되는 표준기술은 차세대인터넷을 대변하는 IPv6 기술이다. IPv6 역시 현재의 인터넷 문제점을 해결하기 위해 1988년 IETF 중심으로 표준화가 시작된 새로운 IP를 설계하기 위한 노력으로 미래인터넷의 Clean Slate 접근방법과 비교하면, 동일한 문제를 IP와 패킷 스위칭 방식을 그대로 수용한 채 점진적인(incremental) 설계 방식에 따라 현재의 인터넷 문제를 일부 해결해 보려는 현실적인 접근 방법이다. 아

직 IPv6가 본격적인 도입이 안된 시점에서 미래 인터넷의 연구는 IPv6 도입을 저해하고, 해당 연구를 넘어 곧바로 미래인터넷 기술개발로 건너 뛰려는 노력으로 이해될 수 있으나, 이는 두 기술에 대한 잘못된 이해에서 비롯된다고 보여진다. IPv6는 차세대 인터넷을 위한 현실적 대안으로 2008년~2010년 사이 본격적으로 도입될 예정이며, 미래인터넷은 보다 장기적인 관점에서 2020년 이후를 목표로 진행되는 대규모 중장기 프로젝트이다. 또한 미래인터넷의 설계철학인 Clean Slate 방식은 많은 전문가들이 경고하듯 새로운 패러다임과 구조를 고안하기 위한 수단일 뿐이어서 그 자체로 결과물이 되어서는 안된다고 전제하며[3], 현재의 IP와 패킷 스위칭 방식을 부정하는 것이 아닌, 그 어떠한 네트워킹 기법의 전제없이 새로운 백지에서 미래인터넷을 설계하려는 노력 중의 하나라고 보는 것이 타당하다. 또한 미래인터넷 연구의 상당수는 다시 IPv6 기반의 현재 인터넷 구조를 향상시키는 데 기여를 하게 될 것이다 [3],[25]. 결국 미래인터넷과 차세대인터넷인 IPv6는 도입 면에서는 시기적인 차이가, 기술 개발 면에서는 상호 보완적인 면을 취함으로써 계속해서 함께 연구되어야 할 중요한 분야들이다.

Ⅲ. 미래인터넷 표준화 동향

미래인터넷 관련 표준화 작업은 아직 초기 논의 단계에 있으나, 현재의 인터넷 표준화가 IETF에 의해 1986년에 시작되어 본격적인 인터넷 사용증가가 일어난 1990년대 후반을 준비하였다고 생각해 볼 때, 2020년 이후를 예상하는 미래인터넷 보급 시기를 고려한다면 지금의 미래인터넷 표준화 역시 지금부터 논의되고 시작되어야 하는 주요 연구 테마 중의 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.

1. ISO/IEC JTC1/SC6

ISO/IEC JTC1내 SC6에서는 2007년 4월 중국 Xian 총회에서 미래네트워크에 표준에 대한 애드-혹 회의 개최를 처음 논의하였고, 그 결과에 따라 9월 파리 AFNOR(프랑스 표준국)에서 미래네트워크 애드-혹 회의가 개최되었다. 이 회의는 ISO/IEC JTC1, ITU-T 등에서 미래네트워크라는 이름으로 열린 최초의 개별 회의였으며, 2008년 4월 제네바에서 열린 SC6 공식회의에서 미래네트워크 표준화를 새로운 프로젝트(NP)로 공식 제안하기로 의결하였다. 2008년 4월 미래네트워크에 대한 NP가 통과 되게 되면, 그 해 11월부터는 미래네트워크에 대한 본격적인 표준화 작업이 시작될 수 있을 전망이다. SC6에서 준비중인 미래네트워크 관련 표준화 아이 템은 아래와 같으며, 초기 작업은 요구사항 및 문제 등을 다루는 문서에서부터 시작할 예정이다[1].

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

2. ITU-T SG13, SG17

ITU-T는 새 연구기간(2009년~2012년)을 위한 신규 항목에 대해 논의중이며, 이와 관련하여 미래네트워크에 대한 필요성 및 표준화 가능성을 토의하기 시작하였다. 2007년 9월 제네바에서는 ITU-T NGN-GSI 회의가 개최되었으며, 이중 NGN을 논의하는 SG13에서 미래네트워크에 대한 신규 연구항목과 이를 위한 요구사항을 정의하는 기고들이 제출되어 활발히 논의되었다[12],[26]. 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 것이며,

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-T 내에서도 2009년 새로운 회기에 맞춰 두 국제표준화기구간 공동 표준화 작업이 시작될 수 있을 것으로 전망된다.

3. IRTF RG

IRTF는 IETF 내에 선행적인 연구를 목적으로 운영되고 있는 연구그룹(Research Group)들로서, 직접적으로 미래인터넷이라는 이름으로 연구가 진행되지는 않으나, 2000년 이후 IRTF에서 진행되어 온 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[13].

- DTN RG
- End-to-End RG
- Network Management RG

● 용 어 해 설 ●

미래인터넷(Future Internet): 현 인터넷의 문제를 극복하기 위해 Clean Slate 설계방법에 따라 연구중인 새로운 미래의 인터넷

FIND: 미국 NSF에 의해 지원되는 미래인터넷 구조 관련 연구 프로젝트

GENI: 미국 NSF에 의해 지원되는 미래인터넷 관련 새로운 기술을 실험하고 운용하기 위한 테스트베드/인프라구조

- Peer-to-Peer RG
- Routing Research RG
- Internet Congestion Control RG
- Scalable Adaptive Multicast RG
- HIP RG

IV. 결론

본 고에서는 최근 인터넷 상의 가장 큰 화두로 떠오른 미래인터넷 기술 및 표준화 동향에 대해 살펴 보았다. 최근 이와 관련하여 쟁점화되고 있는 문제는 1) 과연 현실성 있는 접근 방법으로 현 인터넷을 대체 가능한가, 2) 혁신적인 기술이 제안되고 개발 중에 있는가, 3) 미래인터넷 혹은 미래네트워크 설계 주체는 누구여야 하는가, 4) 표준화가 지금 필요한가 등이다.

II장 4절에서 언급하였듯이 네트워크 진화의 과정은 일부 반복적인 성격을 띠고 있으며, 이 과정은 지난 1970년 현재의 인터넷이 설계되고 도입되었던 과정을 그대로 답습하고 있다고 해도 과언이 아니다. 그렇다면 지금 전세계에서 추진하려는 미래인터넷 연구 노력은 1970년대 미국에 의해 주도되어 진행된 제1세대 인터넷 성공기를 지나, 제2세대 글로벌 네트워크 설계 단계에 참여할 수 있는 30년 만에 다시 찾아온 마지막 기회일지도 모른다. 이는 초기 인터넷 ARPANet 프로젝트를 지원했던 미국 NSF가 막대한 예산으로 다시 한번 FIND와 GENI 프로젝트를 지원하는 이유에서 해답을 찾을 수 있다.

약 어 정 리

COST	European Cooperation in the field of Scientific and Technical research
DTN	Delay-Tolerant Network
EIFFEL	Evolved Internet Future for European Leadership
FIND	Future Internet Design
FP7	Framework Program 7

GENI	Global Environment for Network
GOSIP	Government OSI Procurement
HIP	Host Identity Protocol
ICT	Information and Communication Technology
IETF	Internet Engineering Task Force
IPN	InterPlanetary Network
IPv6	Internet Protocol version 6
IRTF	Internet Research Task Force
ISOC	Internet Society
ITFAN	Interagency Task Force on Advanced Networking
LISP	Locator/ID Separation Protocol
NBD	Networking Broadly Defined
NeTS	Networking Technology and System
NGN	Next Generation Network
NOSS	Networking Of Sensor Systems
NWGN	NeW Generation Network
OSI	Open System Interconnection
PASH	Proxying Approach to SHIM6 and HIP
PI	Provider Independence
ProWin	Programmable Wireless Networks
RoAP	Routing and Addressing Problem
RRG	Routing Research Group
SHIM6	Site Multihoming by IPv6 Intermediation
SON	Self-Organized Network
VINI	Virtual Network Infrastructure
WN	Wireless Networks

참 고 문 헌

- [1] 김대영, "미래네트워크," TTA 저널: 표준화논단, No.112, 2007, pp.12-15.
- [2] D. Clark, "The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols," in *Proc. ACM SIGCOMM*, 1998.
- [3] A. Feldmann, "Internet Clean-Slate Design: What and Why?," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.37, No.3, 2007, pp.59-64.
- [4] S. Shehner, "We Dream of GENI: Exploring Radical Network Designs," *CRA Computing Community Consortium at(FCRC) 2007*, 2007.
- [5] Stanford Univ., "Clean Slate Designs for the Internet," <http://cleanslate.stanford.edu>.
- [6] IETF, <http://www.ietf.org>.
- [7] FIND, <http://www.nsf.gov/pubs/2007/nsf07507/nsf07507.htm>.
- [8] GENI, <http://www.geni.net>.
- [9] EIFFEL, <http://www.future-internet-eu>.
- [10] NWGN, <http://nwgn-forum.nict.go.jp>
- [11] 미래인터넷포럼, <http://anf.ne.kr/fif>.
- [12] 신명기, 김은숙, "Problem Statements and Requirements for Future Internet," in *Proc. ITU-T NGN-GSI Meeting*, 2007.
- [13] IRTF, <http://www.irtf.org>.
- [14] 신명기, Future Internet Research in IETF Perspective, 미래인터넷포럼 정기총회 발표자료, 2007, <http://anf.ne.kr/fif/meetings.html>.
- [15] D. Clark, "Contemplating a Future Internet," in *Proc. Internet Innovation Workshop*, 2007.
- [16] F. Warthman, Delay-Tolerant Networks(DTNs): A Tutorial v1.1, 2003, <http://www.dtnrg.org>.
- [17] 신명기, "L3 Routing and Mobility Support in Emerging Wireless Mesh/Sensor Networks," in *Proc. Int'l Future Internet Workshop*, 2007.
- [18] 김상기, "미래인터넷에서의 서비스요구사항," 미래인터넷포럼 서비스 WG, <http://anf.ne.kr/fif/wg.html>.
- [19] PlanetLab, <http://www.planet-lab.org>.
- [20] VINI, <http://www.vini-veritas.net>.
- [21] NITRAD, ITFAN, <http://www.nitrd.gov/advancednetworkingplan>
- [22] T. Spyropoulos et al., "Future Internet: Fundamentals and Measurement," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol.37, No.2, 2007.
- [23] 강선무, "Future Internet 동향과 전망," TTA 저널, 표준화논단, No.110, 2007, pp.14-18.
- [24] L. Peterson, "GENI Ecosystem: From Instrument to Architecture," Internet Innovation Workshop, 2007.
- [25] Darleen Fisher, "Clean-Slate Designs for a Future Internet," in *Proc. INFOCOM 2007 PANELS*, 2007.
- [26] 신명기, 김은숙, 백은경, 황진경, "New Study Item on Future Network Architecture and Services," in *Proc. ITU-T NGN-GSI Meeting*, 2007.