

미래인터넷을 위한 Addressing 및 Routing 아키텍처 연구 동향

서울대학교 | 유태완 · 권태경* · 최양희**

1. 서론

인터넷의 역사를 살펴보면 급격한 네트워크의 확산으로 여러 새로운 프로토콜이 개발 및 적용되었고, 이러한 지속적인 변화와 확장을 통해 현재 Internet은 전 세계의 제 1의 네트워크 인프라가 되어 다양한 정보통신기술(ICT-Information and Communication Technology)들이 태동되고 성장시켜나가는 거대한 장이 되었다. 그러나 사실 Internet을 이루는 핵심 기술(core protocol), 특히 addressing과 routing 아키텍처와 관련된 대규모의 프로토콜의 변경은 비교적 신중하게 고려되었고 느리게 변화되어 왔다[18]. 본 고에서는 인터넷의 변화의 역사를 통해 addressing과 routing 아키텍처의 연구 동향에 대해 살펴보려 한다.

인터넷의 역사 중 core protocol이 처음 변화한 것은 ARPAnet 초기 addressing과 전송기술(transport)을 하나의 계층에서 처리하는 Network Control Program(NCP) [1]에서 TCP/IP[2]로 변환된 것이다. ARPAnet에서는 remote log-in, e-mail, file transfer, 그리고 packet voice 등의 여러 가지 응용 프로그램들이 사용하게 되었고 다양한 응용에 따른 데이터 패킷 전송에 있어 확장성에 문제가 발생하게 되었다[4]. 1983년 1월 NCP는 addressing과 패킷 전송 계층을 분리하는 TCP/IP로 전격 교체되었다. 이때 Internet의 노드 수는 약 400개로써 충분히 모든 노드들의 프로토콜을 한꺼번에 변경시킬 수 있었으나, 이후 Internet은 더 이상 특정 시간 또

는 날을 결정해서 프로토콜을 변경하는 시도를 하지 못했다.

1980년대에 들어 인터넷은 연결된 노드들의 수는 증가하였고 다양한 확장성 문제가 발생하였다. 먼저 호스트들의 name을 관리하던 hosts.txt 대신 name을 분산시킬 수 있는 domain name system(DNS)가 개발되었다[3]. 이 DNS 개발과 더불어 기존 한 도메인만을 가정하고 사용되어온 distance vector 방식의 라우팅 프로토콜 대신 link state[4] 방식의 라우팅 프로토콜이 개발되었고, 이와 동시에 도메인의 확장을 통한 Inter-domain 프로토콜인 Exterior Gateway Protocol (EGP)가 개발되었다[5]. 특히 DNS의 경우 호스트의 name을 유일한 IP address로 매칭 시키는 시스템으로 여러 다른 Agency의 노드들의 name과 IP number(address)를 매칭 시키고 그 정보를 분산시킴으로 인터넷이 확장할 수 있도록 큰 영향을 줄 수 있었다.

1990년대에는 비로소 World-Wide-Web이 개발되고 급격한 인터넷의 확장이 이루어졌다. 이러한 인터넷의 확장과 더불어 인터넷의 호스트의 수 역시 증가하게 되었고, 기존 IP address의 A, B, C 클래스 - 각각 16만개, 6만5천개, 그리고 254개의 호스트 주소 -로 나뉜 주소 중 B 클래스의 주소 블록들이 급격히 감소하게 되었다. 인터넷의 확장과 더불어 부족한 B 클래스 대신 A와 C 클래스 주소들이 할당되어 호스트 대비 네트워크 프리픽스가 늘어나는 현상을 보이게 됐다. 이러한 인터넷의 확장성 문제는 인터넷의 미래에 대한 고찰로 이어졌고 RFC 1287 "Towards the Future Internet Architecture"[7]를 통해 인터넷의 미래에 대한 논의를 하게 되었다. 특히 이 문서는 routing과 addressing 관점에서 계속해서 확장되는 인터넷의 상황을 고려하여 새로운 기능 또는 아키텍처의 필요성을 역설하였다. 이후 새로운 IP address의 개발이 시작되었고 드디어 1995년 새로운 IP 주소체계인 RFC 1883

* 정회원

** 중신회원

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었고(NIPA-2009-C1090-0902-0006), 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2007-F-038-03, 미래 인터넷 핵심기술 연구]. 이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터연구소에 감사드립니다.

“Internet Protocol, Version 6 (IPv6) specification”과 새로운 버전인 RFC 2460이 완성이 되었다[11,14].

그러나 미래의 인터넷 확장성을 해결하기 위해 제안된 IPv6는 개발 후 10년이 지난 시점에서도 deployment가 되지 않고 있으며 2000년대 중반 다시 한번 인터넷은 addressing과 routing과 관련된 확장성 문제에 직면하게 되었다. 이 확장성문제 역시 근본적인 인터넷의 addressing과 routing 아키텍처의 문제로서 이를 해결하기 위한 RFC 4984 “Report from the IAB Workshop on Routing and Addressing”를 발간하고 이 문제를 해결하기 위한 addressing과 routing 아키텍처로 Identifier와 locator가 분리되는 아키텍처를 해결책으로 제시하였다[19]. 이후 IETF를 중심으로 backward-compatibility를 지원하며 점진적인 deployment 시나리오를 가정하는 아키텍처들과 Future Internet을 중심으로 clean-slate 기반의 새로운 아키텍처들이 제안되고 있는 상황이다.

본 고에서는 인터넷의 역사 중 addressing과 routing과 관련된 확장성의 문제가 있었던 1990년대 초를 먼저 고찰하고 2000년 중반 다시 한번 제기된 문제와 제안된 아키텍처들을 분석한다. 먼저 2장에서 1990년대 인터넷의 확장 문제를 해결하기 위해 제시되었던 RFC 1287과 함께 과거 이 문제를 위해 제시되었던 프로토콜들과 효과에 대해서 언급한다. 이후 제 3장에서는 2000년대 중반 제기되었던 routing과 addressing 문제를 위해 제시된 RFC 4984와 함께 Identifier와 Locator 분리 아키텍처들의 기본적인 특징들에 대해 언급한다. 그런 다음 4장에서 미래의 addressing을 위해 제시되어 있는 대표적인 addressing 기술들을 설명하고 분석한 뒤 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 1990년대 인터넷의 addressing 문제 및 미래 인터넷을 위한 해결책

인터넷은 처음 4개의 노드들의 상호연결성(internet-working)을 지원하기 위해 개발되었기 때문에 갑자기 네트워크에 연결된 수 많은 노드들의 증가에 따른 addressing과 routing 아키텍처의 확장성 문제에 직면하게 되었다.

1970년대부터 1990년대 초까지 인터넷에서 발생하는 문제들은 즉각적인 해결책의 제시와 함께 인터넷에 적용되어, 인터넷은 지속적으로 확장되어 왔다. 그러나 인터넷 아키텍처의 핵심 기술인 addressing과 routing 문제는 다뤄지지 않았다. 그러나 WWW의 출현과 Mosaic 등의 웹 브라우징 기술들의 개발로 addressing

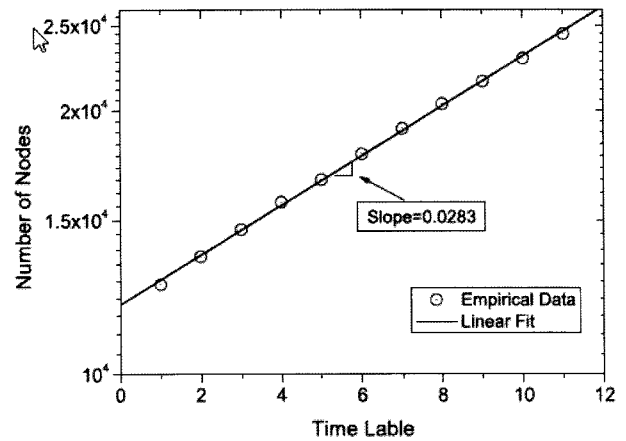


그림 1 시간에 따른 인터넷 노드 수의 증가추세 [25]

과 routing에 관련된 core 아키텍처의 변경에 대해 고민하게 되었다. ARPAnet 이후 인터넷 연구자들의 모임인 Internet Activities Board (IAB)는 계속적으로 성장하는 인터넷을 기술적으로 지원하는 그룹이었고, IETF를 통해 표준들을 제정해나갔다. 이 IETF는 이러한 addressing과 routing 확장성 문제를 고민하기 위해 RFC 1287 “Towards the Future Internet Architecture”을 발간하였다[7]. RFC 1287에 따르면 미래 인터넷 아키텍처를 위해서 특히 routing과 addressing 부분에서 즉각적인 아키텍처의 변경이 필요하며 이를 통해 미래 인터넷의 확장성을 대비 할 수 있을 것이라는 의견을 내놓았다. 구체적으로는 먼저 32 bit의 IP address의 고갈과 함께 router의 capacity의 문제점이 발생할 것을 예측하고 이 문제를 처리해야 할 것을 언급하고 있다. 특히 이 routing과 addressing 문제 고찰과 해결책 제시를 위해 IESG는 따로 RFC 1380 “IESG Deliberations on Routing and Addressing”을 발간하였다[9]. 다음은 RFC 1287에서 언급한 확장성 문제와 함께 이 문제를 해결하기 위한 방법론에 대해 정리하였다.

- RFC 1287로부터 언급된 routing과 addressing 확장성 문제
 - 가) Class B 네트워크의 고갈과 routing table의 폭발적 증가

80년대 후반 급격히 B Class 네트워크 블록이 할당되었고, 신규로 네트워크에 연결하고자 하는 site의 경우 다량의 C Class 주소 - 253개 호스트 수 - 를 이용하여 할당되었고 결과적으로 routing table의 폭발적인 증가가 이루어졌다. 이러한 routing table의 증가는 라우터들이 저장하고 하고 있는 memory 부족

문제뿐 아니라 수 많은 라우팅 정보들을 다른 도메인의 라우터들에게 전달하는 등의 aggregation 문제가 추가적으로 발생하게 된다.

나) IP address 영역의 고갈

32bit의 address 영역은 지속적으로 인터넷에 연결된 노드수의 기하 급수적인 증가추세로 본다면 IP address가 부족한 사태가 올 것이며, 특히 B Class의 주소 블록이 없기 때문에 IP network number가 먼저 부족하게 될 것임을 예측하였다.

• RFC 1380에 따른 접근방법 및 제안된 솔루션들

가) Routing table capacity

먼저 class B 주소 블록의 부족 문제는 완벽한 해결책 보다는 short-term 솔루션으로 소멸되어 가는 추세를 완화 시키는 방법을 제시하였다. 할당 정책을 바꾸거나 할당 되어 있지만 쓰지 않은 class B 블록을 다시 설정하는 방법, 그리고 class C 블록을 새로운 aggregation 정책을 만들어 사용하는 등의 방법을 제시하였다. 사실 마지막 제안한 class C 블록을 새롭게 정의해서 사용하는 방법인 Classless Inter-Domain Routing(CIDR)[8]은 결과적으로 1990년 초 routing table의 증가 추세를 감소시키는 데 결정적인 역할을 수행한다. 이 CIDR의 결과에 대해서는 아래에서 다시 언급한다. 그 밖에 실제 라우터에서 관리되는 routing table 사이즈의 확장성과 관련해 역시 여러 가지 접근 방법을 제시하였고, 대표적인 long-term 솔루션으로는 routing 정보의 aggregation을 가능하게 하는 것이 있다.

나) IP address exhaustion

먼저 IP address 수의 부족을 위해서는 long-term 솔루션으로 긴 address 공간을 가지는 새로운 프로토콜을 개발하는 것과 short-term 솔루션으로 globally unique하지 않은 주소를 사용하는 안들이 제안되었다. 결론적으로 이 두 가지의 접근방법은 모두다 수행되었고, 전자의 경우 새로운 IP 프로토콜인 IP version 6로 후자의 경우 NAT(Network Address Translator)[15]로 현재 인터넷의 중요한 기술들이 되었다. 그러나 NAT와 달리 IPv6의 경우는 아직도 deployment가 되지 않는 큰 문제를 가지고 있는 상황이다.

이러한 연구의 노력으로 1993년 CIDR가 개발되었

고 바로 Internet에 적용되었다. CIDR는 앞서 언급한 것과 같이 IP network number 영역을 더 이상 결정하지 않고 인터넷 routing protocol에 의해 결정되는 방법을 제공하였다. 그 당시 인터넷은 상업적 provider로 인해 BGP version 3가 사용되고 있었던 시점이었고, 대부분 Cisco 라우터가 대부분의 사용되고 있었기 때문에 쉽게 CIDR를 지원하는 BGP version 4[10]로 자연스럽게 변경될 수 있었다. 아래 그림 2와 같이 CIDR로 인해 routing table의 증가추세는 선형적으로 변하게 된다.

Active BGP entries (FIB)

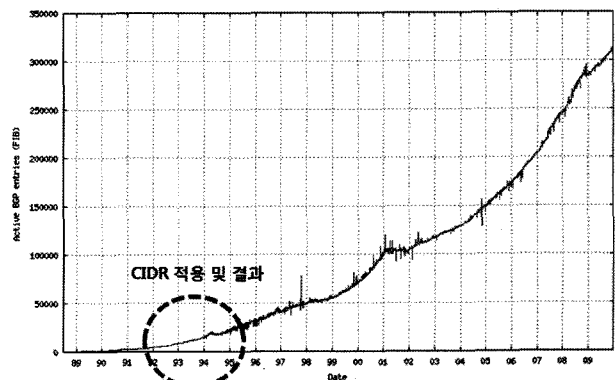


그림 2 1990년대 BGP 라우팅 테이블 증가 추세 (참고: <http://potaroo.net>)

Long-term 솔루션으로 제기되었던 새로운 IP 프로토콜의 개발을 위해서 IETF는 1992년부터 1994년까지 새로운 차세대 IP 프로토콜을 위한 작업들을 수행하였고 1994년 비로소 “IP next generation(IPng)” WG이 만들어져 새로운 IP 프로토콜을 개발하기 시작하였다. 1995년 RFC 1883 “Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification”이 제정되었고 1998년 RFC 2460로 새롭게 IPv6 프로토콜이 업데이트되었다[11,14]. 이 새로운 IP 프로토콜은 기존 IPv4와는 달리 128bits의 긴 주소 공간과 이동성 보안성 등을 강조한 추가적인 기능들이 탑재되어 있는 미래 인터넷의 IP 프로토콜로 여겨졌다. 그러나 IETF의 이러한 예상과는 달리 CIDR 이후 다양한 Internet provider들의 등장과 여러 회사의 라우터들의 장비들이 인터넷을 구축하게 되어 더 이상의 core 프로토콜의 변화가 쉽지 않은 상황이었다. 결과적으로 기존 IPv4와 호환성을 지원하지 않는 IPv6는 실제 인터넷에서 거의 사용되고 있지 않은 상황이다. IPv6 deployment가 어려운 이유 및 분석에 대해서는 본 고에서 다루지 않기로 한다.

반면 short-term 솔루션이었던 Network Address Translator(NAT)는 비록 IETF에서 초기 표준이 만들어

지지 않았을 정도로 불필요하게 여겨졌으나 실제 인터넷에서 폭발적으로 사용되게 되었고, 현재 새로운 프로토콜을 만들 때마다 deployment를 위해 NAT 박스를 통과하는 추가적인 기능을 구현해야 할 정도로 NAT는 인터넷의 중요 핵심 장치가 되었다[16,17].

IETF는 이러한 미래 인터넷의 확장성 문제를 해결하기 위해 지속적인 연구 및 개발활동을 위해 새롭게 Routing and Addressing(ROAD) 그룹을 만들어 지속적인 활동을 이어갔다.

3. 2000년대 인터넷의 addressing 문제 및 미래 인터넷을 위한 해결책

90년대 초 CIDR로 인해 routing table의 증가추세는 어느 정도 감소하였으나 2000년대 들면서 더 이상 CIDR는 확장성에 대한 영향력을 미치지 못했다. 아래 그림 3과 같이 BGP 라우팅 테이블의 증가추세를 볼 때 다시 한번 기하급수적인 증가추세를 보이는 것을 알 수 있다. 90년대 addressing과 routing 확장성 문제를 해결하기 위한 방법과 유사하게 2000년대 IESG와 IAB는 이와 관련한 다양한 논의들과 해결책에 관한 제안들을 하였고 비로소 2006년 "Routing and Addressing Workshop(RAW)"을 개최하고 report인 RFC 4984 "Report from the IAB Workshop on Routing and Addressing" 발간하였다[19].

RAW report에 따르면 2000년대 addressing과 routing 아키텍처 관점의 확장성 문제는 90년대와는 달리 PI (Provider Independent address) 주소 할당, 멀티호밍, 그리고 트래픽 엔지니어링 등으로 인해 집적화되지 않은 주소(de-aggregation address)들이 인터넷 백본(Backbone) 지역에 유입되어 발생하는 것으로 결론을 내고 있다. 다음은 RAW report를 통해 제시된 address-

Active BGP entries (FIB)

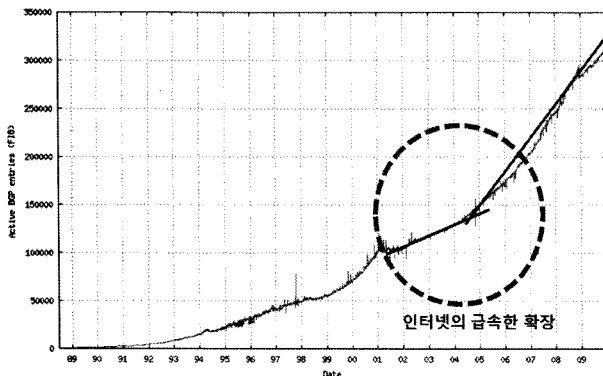


그림 3 2000년대 BGP 라우팅 테이블 증가 추세 (참고: <http://potaroo.net>)

ssing과 routing 확장성 문제의 원인과 해결 방법에 대해 언급한다.

• Addressing과 routing 확장성 문제의 원인

가) PI (Provider Independent address) 주소 할당
ISP의 경우 사용자에게 자신이 가진 주소 Provider aggregation address(PA)를 할당하게 된다. 그러나 사용자의 경우 PI를 더 선호하게 되는데, 이유는 사용자가 다른 ISP를 선택했을 때 모든 사용자 device나 네트워크의 address가 변경되는 renumbering을 방지할 수 있기 때문이다. 따라서 현재 PI address 할당은 점차 증가되고 있으며 Routing Internet Registry (RIR) 역시 이러한 경향을 적용하고 있다. 이러한 PI address의 사용은 Default route Free Zone (DFZ)에서 routing과 forwarding table을 유지하는데 추가적인 공간을 필요로 하였다.

나) 트래픽 엔지니어링

트래픽 엔지니어링은 어떤 특정 트래픽을 특정 path를 사용하게 하거나 또는 사용 못하게 하는 것으로 현재 Inter-domain 상의 트래픽 엔지니어링은 BGP를 사용하여 이루어진다. 이를 위해서 address 블록들을 여러 경로로 전파하여 특정 트래픽과 address 블록이 지칭하는 path로 연결시킬 수 있게 된다. 이로 인해 aggregation 되어있던 address는 결국 de-aggregation 상황으로 변하고 결국 flat 한 인터넷이 되는 것이다.

다) 멀티호밍

현재 네트워크의 25%이상이 사이트 멀티호밍 환경으로 구성되어있어 있을만큼, 이 멀티호밍은 90년대 네트워크와 비교하여 크게 달라진 환경으로 볼 수 있다. 멀티호밍을 위해서는 PA 주소 공간이라 할지라도 DFZ까지 다른 ISP의 주소 블록이 전파되어야 하며, PI 경우에도 DFZ에서 aggregation되지 않은 IP network 프리픽스 정보가 그대로 반영되어 급격한 DFZ의 routing table의 확장성 문제를 야기시키게 된다.

라) IP address의 의미 중복 문제

현재 인터넷은 IP 계층을 중심으로 하는 모래시계 구조를 기본 모델로 하고 있는데, 이 IP 계층은 다양한 하위 계층의 media들과 다양한 상위 계층의 응용 또는 전송 프로토콜들을 하나로 interworking 해주는 핵심적인 기

능을 수행하고 있다. 따라서 IP 주소는 다음과 같이 통신을 위한 아래의 의미를 중복적으로 나타내고 있다.

- Name: 통신을 하고자 하는 object 자체를 지칭(who)
- Address: 통신을 하고자 하는 object의 위치를 지칭(where)
- Route: 통신을 하고자 하는 object에게 향하는 path(how)

이러한 IP address 의미 중복은 최근 인터넷에서 요구되는 이동성, 멀티호밍, 그리고 보안 등을 근본적으로 지원하기 힘들게 하고 있다. 또한 routing 시스템의 확장성 문제의 원인으로까지 여겨지고 있다. Rekhter's Raw [12]에 따르면 확장성 있는 routing 시스템을 설계하기 위한 기본 조건은 다음과 같다. "Addressing can follow topology or topology can follow addressing. Choose one". 그러나 IP address의 의미 중복으로 인해 이 조건을 만족 시키지 못하기 때문이다.

IESG와 IAB는 RAW report를 통해 addressing과 routing 확장성 문제의 심각함을 알리는 동시에 해결을 위한 접근법에 대한 제안을 하였다. 특히 이 확장성 문제는 IPv6의 보급 등의 상황에서는 더욱 더 심각한 문제가 될 것임이 예측되었으므로 이를 해결하기 위한 해결책 개발은 무엇보다도 중요한 일이 되었다. 2006년 IAB의 "Routing and Addressing Workshop" 개최 이후, 2007년 3월 제 68차 IETF회의에서는 현재 인터넷이 가진 addressing과 routing의 문제점에 대한 해결책을 마련하기 위해 Internet Area와 Routing Area가 함께 ROAP(ROuting and Addressing Problem) BoF(Birds of a Feather) 회의를 열게 되었다 [20]. 이 회의에서는 확장성 문제뿐만 아니라, traffic engineering, 멀티호밍, 이동성, 그리고 transparency 등의 지원을 위해 근본적인 addressing과 routing 아키텍처를 변경이 필요하다는 결론을 내렸으며, 구체적으로는 Identifier와 locator를 분리(ID/LOC 분리), 또는 multi-level locator를 두는 새로운 인터넷 아키텍처의 개발을 결정 하였다. 그러나 이러한 core 아키텍처의 변경을 위해서는 충분한 시간을 두고 많은 실험과 검증 등의 절차가 필요함을 언급하였다.

이후 향후 인터넷의 addressing과 routing 문제는 IRTF의 Routing RG에서 다루어지게 되었고, LISP (Locator/ID Separation Protocol), Six/One, 그리고 ILNP

등의 프로토콜 등이 제안되었다[21,22,29]. 이 제안된 프로토콜 중 시스코에서 제안된 LISP은 여러가지 테스트와 구현 과정들을 거쳐 ID/Locator 분리 구조 측면에서 가장 잘 알려진 프로토콜이 되었다. 이 LISP은 2008년 7월 72차 회의에서 처음 EXPLISP(Experimentation in LISP) BoF가 열렸고, 2009년 3월 LISP BoF가 두 번째로 열렸으며 2009년 7월 75차 IETF에서 첫 번째 LISP WG 회의가 열렸고, LISP core protocol과 함께 ALT(Alternative Topology) 등이 표준화가 진행되고 있다[24].

4. 최근 제안된 미래 인터넷을 위한 addressing 아키텍처 소개

앞에서 설명한 것과 같이 미래 인터넷을 위한 새로운 addressing과 routing 아키텍처들이 현재 IETF 뿐만 아니라 Future Internet 연구 등을 통해서도 제안되고 있는 상황이다. 본 고에서는 대표적인 addressing과 routing 아키텍처들을 살펴보고 상호 특징들을 분석해본다.

4.1 Global, Site, and End System Address Elements(GSE/8+8)

GSE는 1997년 Mike O'Dell에 의해 제안됐으며, 1995년 표준화가 완료된 IPv6 프로토콜이 기존 IPv4 프로토콜과 같이 identifier와 locator를 구별하지 않고 만들어진 것을 비판하며 ID-Locator 분리를 위한 프로토콜을 제안하였다[13]. GSE는 IPv6 주소와 같이 128bits 크기의 주소에서 실제 앞의 8-byte를 실제 core 네트워크에서 라우팅 되는 RG(Routing Goop)으로, 하위의 8-byte를 단말을 식별할 수 있는 ESD(End System Designator)로 사용하는 것을 제안하고 있다.

IPv6와 같은 128bits의 주소는 기존 인터넷에서 network identifier와 interface identifier로 나누어져 있으나 전체 128bits를 ID와 locator로 사용하는 대신 GSE는 8 byte씩 끊어서 ID와 locator로 사용하게 된다. 따라서 8 byte 주소를 이용하는 새로운 TCP/UDP 프로토콜이 필요하며, 이는 IPv6와 같이 모든 인터넷의 응용과 호환성이 제공되지 않는 큰 문제점을 가지게 되었다. 그리고 edge 네트워크와 backbone 네트워크를 나누어 라우팅 하는 개념은 인터넷이 가지는 end-to-end 제공이라는 기본 이념을 위배하는 것이었다. 또한 GSE가 제안되었을 당시 이미 IPv6 주소는 이미 많은 prefix가 할당되어 있었기 때문에, 새롭게 할당될 GSE RG 주소와의 혼돈 등이 발생할 것이 염려 되었다. 이렇듯 많은 이유들로 인해 GSE에

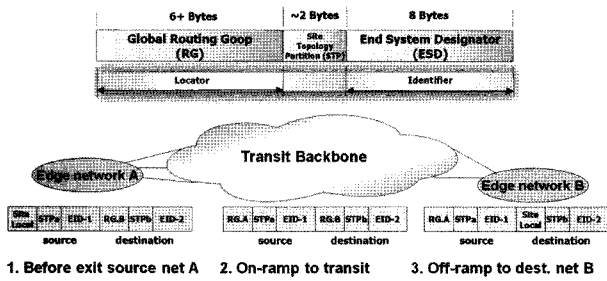


그림 4 GSE 네트워크와 패킷 구조

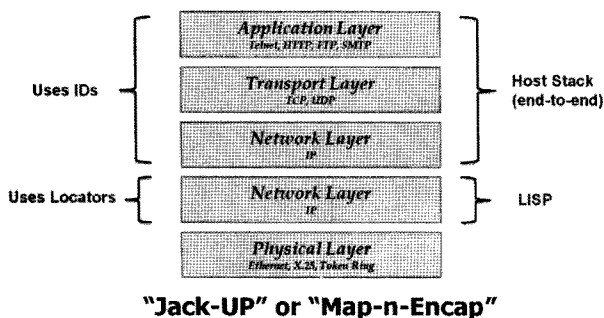
대한 논의를 중단하게 되었다.

4.2 Locator/ID Separation Protocol(LISP)

LISP은 2007년 IETF에서 ROAP BoF를 통해 ID-Locator 분리 아키텍처 개발의 필요성을 언급한 뒤로 시스코에 의해서 제안되었다. LISP은 기본적으로 GSE와 유사한 네트워크 기반의 솔루션이나 address의 translate가 아닌 Map-n-encap을 통해서 ID-Locator 분리 아키텍처를 제안하고 있다[21,30]. 아래 그림 5와 같이 LISP은 Application에서 상위의 IP 계층까지는 기존 IP address를 Identifier로 사용하며 locator는 각 end network의 라우터의 IP address가 하위의 IP 계층이 추가 되어 사용되게 된다. LISP의 경우 UDP 헤더를 통한 라우터 간의 터널링을 이용하여 ID-Locator 분리 아키텍처를 구현한다.

LISP은 각 사이트에 위치한 라우터들 중 LISP이 탑재된 라우터들을 각각 ITR(Ingress Tunnel Router)와 ETR(Egress Tunnel Router)로 나누고 이 두 라우터 사이에서 터널링을 통해 backbone 네트워크 지역을 통과시키게 된다. 이때 각 터널 라우터의 주소는 RLOC(Routing locator)로 사용되고 실제 사이트 내에서 사용되는 실제 주소는 EID(Endpoint Identifier)로 end-to-end에서 사용된다.

LISP에서는 이와 같은 터널링 라우터 이외에 EID와 RLOC 사이의 매핑을 해주는 별도의 매핑 시스템이 필요하며 현재 LISP과 함께 LISP-ALT 등의 다양한 매핑 시스템이 제안되어 있는 상황이다. 아래 그림 6



"Jack-UP" or "Map-n-Encap"

그림 5 LISP 프로토콜 스택

은 LISP의 동작 순서를 나타내고 있다. Source인 S는 1.0.0.1 → 2.0.0.2의 D에게 데이터를 보내려고 한다. 이 주소는 ITR S2를 거치면서 11.0.0.1 → 12.0.0.2로 변경되었다. 데이터 패킷은 ETR인 D1에 가서 비로소 다시 1.0.0.1 → 2.0.0.2로 변경되어 전송된다.

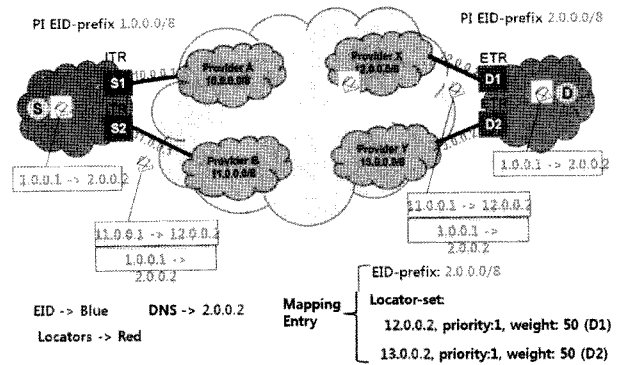


그림 6 LISP 동작

4.3 Identifier/Locator Network Protocol(ILNP)

ILNP는 기본적으로 IPv6의 주소를 Locator 64bit와 Identifier 64bit로 나누어 사용하게 된다. 이는 과거 GSE 8+8의 아이디어에서 가져온 것이다. 현재 IPv4와 IPv6는 IP에 Locator 역할을 수행하는 network prefix와 user의 Identifier를 위해 interface Identifier로 나뉘어 있다. 그러나 이 두 prefix를 별도로 나누지 않고 각각 32, 128bit의 하나의 IP 주소로 사용하기 때문에 이동성 등의 문제가 발생하는 것이다[29].

Locator는 topology측면에서 의미가 있고, Identifier는 하나의 node 자체를 의미한다. 이렇게 Locator, Identifier의 분리하면 mobility와 multi-homing를 지원하는 데 유리하게 된다. 또한 ILNPv6에서는 Mobile IP와는 다르게 Home Agents같은 것이 사용되지 않는다. 대신에 DNS에 저장되는 Locator 값을 이용한다. 그림 7은 ILNP의 기본적인 packet header 형태를 보여준다.

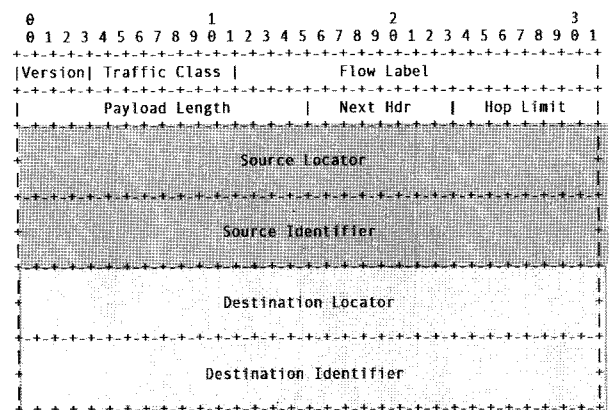


그림 7 ILNP 패킷 구조

추가적으로 ILNP는 DNS에 다음의 5개의 resource record를 새롭게 추가한다. I record는 Identifier 정보를 유지하는 것이고 L record는 Locator 정보를 유지하는 것이다. PTRI, PTRL, LP record는 최적화를 위한 것들이다. 각 record들의 설명은 아래 그림 8에 기록되어 있다.

Name	Description	Purpose
<i>I</i>	Identifier Record	Identifier values for a host
<i>L</i>	Locator Record	Locator values for a host or network, including relative preference
<i>PTRI</i>	Reverse Identifier	permits reverse lookup of FQDN from Identifier value
<i>PTRL</i>	Reverse Locator	permits reverse lookup of FQDN from Locator value
<i>LP</i>	Pointer to Locator	names a network using an FQDN, resolves to an FQDN, which in turn resolves to an <i>L</i> record, containing the Locator value for a host or network

그림 8 ILNP 위한 DNS resource recorder

4.4 제안된 addressing과 routing 프로토콜 분석

1995년 GSE로부터 현재까지 addressing과 routing 아키텍처 중 Identifier와 locator 분리와 관련하여 많은 아키텍처들이 제안되었다. 특히 대부분의 아키텍처들은 확장성 문제와 더불어 멀티호밍 및 이동성을 함께 고려하고 있다. 또한 실제 미래 인터넷에 적용하기 위한 deployment 역시 고려하고 있다. 다음 표는 현재 제안된 대표적인 addressing과 routing 아키텍처들 사이의 분석한 결과이다. 최근 IETF에서 WG이 만들어져 신속하게 표준화 작업이 되고 있는 LISP의 경우 이동성을 제외하고 다른 고려사항들을 충족하고 있으며, 특히 이동성 역시 internet draft를 통해 고려하는 움직임을 보이고 있다. 반면 HIP과 SHIM6의 경우 호스트 기반의 솔루션으로 실제 DFZ의 routing table 크기 등의 확장성에는 크게 영향을 주지 않는다. GSE와 유사한 ILNP는 DNS와 IPv6 주소를 사용하

여 모든 고려사항들을 지원하고 있으며 Routing RG에서 지속적으로 논의되고 있는 중이다.

5. 결론

인터넷은 1960년대 circuit 기반 스위칭과 경쟁할 packet 기반 스위칭 기술개발 이후 지속적으로 발전 및 변화를 통해 확장해왔으며, 현재는 세계 제일의 네트워크 인프라가 되었다. 그러나 addressing과 routing 아키텍처와 관련된 core 프로토콜의 변화는 신중히 고려되고 천천히 적용되었다. 1990년대 WWW의 개발과 함께 제기된 addressing과 routing 아키텍처의 확장성 문제는 지속적인 엔지니어링을 통해 새로운 솔루션들 - CIDR, BGP4, IPv6, NAT -이 제기되어 해결해나갔다. 그러나 2000년대 중반 다시 한번 인터넷은 addressing과 routing과 관련된 확장성 문제에 직면하게 되었고, 현재 인터넷의 addressing과 routing 아키텍처는 미래의 변화된 상황과 다양한 요구사항을 만족시키기 위해 Identifier와 locator 분리 기반의 새로운 아키텍처의 개발이 요구되고 있는 상황이다.

본 고에서는 과거 미래 인터넷을 위한 Internet 아키텍처의 문제점들이 제기되었을 때, 이 문제점들을 분석하고 솔루션을 통해 해결하려고 했던 일련의 엔지니어링 과정을 살펴보고, 현재 유사하게 당면해 있는 인터넷 아키텍처의 확장성 문제와 더불어 솔루션을 개발하기 위한 과정들을 살펴보았다. 특히 잘 알려진 Identifier와 Locator를 분리 기반의 새로운 addressing과 routing 아키텍처들을 소개하고 각각의 특징들을 분석하였다.

이러한 인터넷의 변화의 역사를 살펴보면 NCP로부터 TCP의 변환, 그리고 BGP로의 전환 등 큰 core 프로토콜의 변경이 성공한 경우도 있으나, Mobile IP, SCTP, 그리고 IPv6에 이르기까지 현재 Internet에 적용되지 않는 많은 프로토콜도 존재한다. 이러한 역사가운데서 인터넷은 미래를 위해 Identifier와 locator 분리 기반의 근본적인 아키텍처 변경을 시도하고 있

표 1 제안된 프로토콜의 비교 분석

	분리 방법	Identifier / Locator	구현 장치	호환성	확장성	이동성	멀티호밍
HIP 또는 SHIM6	3.5 shim stack	HIT/ IP address	Host	X	X	O (추가기능 필요)	O
GSE	Address split	Routing Goop / End System Designator	Network	X	O	X	O
LISP	Map-n-Encap	EID/RLOC	Network	O	O	X	O
ILNP	Address split	network prefix / host identifier	Network	O	O	O	O

는 중이다. 시스코의 LISP을 더불어 HIP과 ILNP 등 많은 새로운 아키텍처들이 제안되고 있으며, 확장성 뿐만 아니라 기존 인터넷이 지원하기 힘들었던 이동성, 멀티호밍, 그리고 보안성 까지도 고려되고 있는 상황이다. 우리는 미리 살펴본 인터넷의 역사와 처한 현재 상황을 먼저 이해하고, 제안되고 있는 다양한 아키텍처들을 분석 할 필요가 있으며, 특히 deployment 관점에서 실제 Internet에 적용 가능한 기술인지에 대한 판단과 함께 미래 인터넷의 core 아키텍처를 변화시킬 수 있는 만큼 지속적인 관심을 가져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Crocker S, "Protocol notes", RFC 36, Network Working Group, (Updated by RFC44, RFC 39)," March 1970
- [2] V.Cerf et al, "Specification of Internet Transmission Control Protocol," December 1974
- [3] Kudlick M, "Host names on-line," RFC 608, IETF January 1974
- [4] McQuillan J et al, "The New Routing Algorithm for the ARPAnet," IEEE Transactions on Communications, May 1980
- [5] Rosen E, "Exterior Gateway Protocol (EGP)," RFC 827 October 1982
- [6] Clark D D, "The design philosophy of the DARPA internet protocols," in Proc ACM SIGCOMM, Stanford, CA, August 1988
- [7] D. Clark et al, "Towards the Future Internet Architecture," RFC 1287 December 1991
- [8] Rekhter Y and Li T: 'An architecture for IP address allocation with CIDR', RFC 1518, IETF September 1993
- [9] P. Gross et al, "IESG Deliberations on Routing and Addressing," RFC 1380 November 1992
- [10] Rekhter, Y., and Li, T., "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)," RFC 1654, July 1994
- [11] S. Deering et al, "Internet Protocol, Version 6(IPv6) Specification," RFC 1883 December 1995
- [12] Rekhter et al, "An Architecture for IPv6 Unicast Address Allocation," RFC 1887 December 1995
- [13] O'Dell, M., "GSE - An Alternate Addressing Architecture for IPv6," Work in Progress, 1997
- [14] Deering et al, "RFC2460 - Internet Protocol, Version 6(IPv6) Specification," RFC 2460 December 1998
- [15] P. Srisuresh et al, "IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations," RFC 2663, August 1999
- [16] Rosenberg J et al, "STUN - simple traversal of user datagram protocol(UDP) through network address translators(NATs)," RFC 3489, IETF March 2003
- [17] Rosenberg J et al, "Obtaining relay addresses from Simple Traversal of UDP Through NAT(STUN)," Internet-Draft February 2006.
- [18] M. Handley, "Why the Internet only just works," BT Technology Journal, Vol 24, No 3, July 2006
- [19] D. Meyer et al, "Report from the IAB Workshop on Routing and Addressing," RFC 4984 September 2007
- [20] 68th IETF Meeting materials, https://datatracker.ietf.org/public/meeting_materials.cgi?meeting_num=68,
- [21] D. Farinacci, et al, "Locator/ID Separation Protocol (LISP)," draft-farinacci-lisp-07.txt, April 2008
- [22] C. Vogt, et al, "Six/One: A Solution for Routing and Addressing in IPv6," draft-vogt-rrg-six-one-00.txt, March 2008
- [23] D. Massey et al, "A proposal for scalable internet routing & addressing," Internet Draft, February 2007
- [24] 75th IETF Meeting materials, https://datatracker.ietf.org/public/meeting_materials.cgi?meeting_num=75.
- [25] Zhang, Guo-Qing et al, "Evolution of the Internet and its Cores," New Journal of Physics 10 (2008)
- [26] Host Identity Protocol(HIP), <http://www.ietf.org/charters/hip-charter.html>
- [27] Site Multihoming by IPv6 Intermediation (shim6), "<http://www.ietf.org/html.charters/shim6-charter.html>"
- [28] D. Meyer et al, "Architectural Implications of Locator/ID Separation," draft-meyer-loc-id-implications-01.txt January 23, 2009
- [29] R. Atkinson, "INLP Concept of Operations," Internet-draft, August 2009
- [30] R. Hinden et al, "New Scheme for Internet Routing and Addressing (ENCAPS) for IPNG," RFC 1955



유 태 완

2001 전북대학교 컴퓨터과학과 졸업
2004 서울대학교 컴퓨터공학부 석사
2010 서울대학교 컴퓨터공학부 박사과정
관심분야: IPv6, 이동성 및 멀티호밍 지원, 미래인
터넷

E-mail : twyou@mmlab.snu.ac.kr



권 태 경

1993 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업
1995 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
2000 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
2002~현재 서울대학교전기컴퓨터공학부 교수
관심분야: 센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅

E-mail : tkkwon@snu.ac.kr



최 양 희

1975 서울대학교 전자공학과 졸업
1977 한국과학기술원 전자공학과 석사
1984 프랑스 ENST 전산학 박사
1991~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
관심분야: 미래 인터넷, 멀티미디어 통신

E-mail : yhchoi@snu.ac.kr
