

# Internet 확장성 문제에 관한 연구

유태완\* · 이승윤\*

\*한국전자통신연구원 표준연구센터

## A Study of the Internet scalability problems

Tae-wan You\* · Seung-yun Lee\*

\*ETRI PEC

E-mail : twyou@etri.re.kr

### 요 약

1990년대 인터넷의 폭발적인 확장은 인터넷의 심각한 scalability 문제를 야기 시켰다. 특히 BGP 테이블의 기하급수적인 성장세를 보였고, 이러한 확장성을 해결하기 위해 새로운 IP 프로토콜인 IP version 6(IPv6)를 표준화 하였다. 그러나 IPv6는 실질적으로 인터넷의 scalability를 충분히 해결하지 못했으며, 특히 멀티호밍, Traffic Engineering, PI (Provider Independent) routing 정책들로 인해 다시 한 번 scalability 문제는 크게 이슈화 되었다. 따라서 현재 인터넷의 표준을 제정하는 IETF에서는 장기적인 안목으로 인터넷 아키텍처의 변경을 통해 자연스럽게 해결하려 하고 있다.

현재 인터넷 아키텍처가 가지고 있는 가장 큰 문제는 routing과 addressing의 핵심으로 사용되는 IP 주소의 의미의 중복 (overloading semantics)이며, 라우팅을 위한 정보 (how), 단말의 위치 정보 (where), 그리고 이 외에 전송 계층 상위에서 사용되는 단말의 식별자 정보(who)로 사용되는 IP 주소의 의미 중복을 해결하면, 자연스럽게 scalability 문제를 해결함과 동시에 멀티호밍, Traffic engineering, renumbering, 그리고 이동성 지원 등을 지원할 수 있게 되는 것이다.

본 논문은 이와 같이 현재 인터넷이 가지고 있는 확장성 문제를 살펴보고, 이를 해결하기 위해 제시된 IP 주소에서 Identifier와 locator를 분리하는 기술들을 분석한다.

### 키워드

Scalability, IP 주소의 의미 중복, Identifier, locator, 분리

## 1. 서 론

1962년 packet switching 프로토콜이 개발된 이후, 1970년대 비로소 인터넷의 기본개념이 된 네트워크가 개발되었다. 이 후 world wide web (WWW)을 통한 1990년대의 인터넷의 폭발적인 확장은 인터넷의 심각한 확장성 문제를 야기 시켰다. 처음 인터넷이 시작할 때에는 단지 몇 개의 고정된 컴퓨터가 대상이 된 네트워크였으나, 앞으로의 인터넷 상의 단말은 백억 또는 천억 개의 센서 노드들까지 확대될 것으로 예상된다. 따라서 기본적으로 단말에 할당되는 IP 주소 개수의 부족과 함께, 백본 라우터들이 가지는 (Default route free zone) 라우팅 테이블의 공간 문제가 발생되었다.

1995년 IP 주소 부족 등으로 인해 새로운 IP 프로토콜의 필요성이 부각되어 개발된 IPv6는 기존 32bit에서 128bit로 주소 개수의 부족을 해결하

였으나, DFZ의 라우팅 테이블과 관련된 확장성 문제는 전혀 해결하지 못했다. 2005년 이 라우팅 테이블은 약 150,000개에서 175,000개 정도였으나 현재는 200,000개에 달하고 있다. 그리고 5년 내에 약 370,000개 또는 그 이상으로 증가할 것으로 예측하고 있다. 이러한 라우팅 테이블의 증가는 라우팅 테이블의 convergence 시간이 느려지게 하는 등 치명적인 문제점을 발생시키게 된다.

따라서 현재 IETF에서는 이러한 확장성 문제를 해결하기 위해 research 및 새로운 프로토콜을 개발하기 위해 많은 노력을 진행하고 있다. 구체적인 움직임으로, IETF의 IAB (Internet Architecture Board)는 IETF와 더불어 전 세계적인 다양한 Internet의 운영 모임에서 이 주제에 대한 토론을 가속화 시키고 있으며 [3], 2006년 10월 이들 동안 routing과 addressing과 관련한 워크샵을 개최하였다. 또한 최근 열렸던 68차

IETF에서, 이 이슈들에 대한 분석 및 해결책 연구와 관련된 여러 토의가 진행되었고, 회의기간 동안 plenary 세션에서 routing & addressing, Internet Area open meeting에서 역시 routing & addressing 에 관해서 많은 토론이 있었다.

현재 IETF에서 밝히고 있는 이러한 확장성 문제의 원인은 멀티호밍과 Traffic engineering 때문이며, 장기적인 안목으로 인터넷의 미래에 비추어 인터넷 아키텍처 상황의 검증은 가속화 시키는 것과 동시에, 현재 알려진 IP 주소의 의미 중복 문제를 해결하기 위해 제시된 IP 주소의 Identifier와 locator 분리 구조를 통한 궁극적인 미래 인터넷 구조를 개발하려 하고 있다.

## II. 인터넷 확장성의 원인 분석

인터넷 확장성 문제는 실제 Inter-domain간에 사용되는 BGP 라우팅 테이블의 증가 추세로 판단할 수 있다. 이 장에서는 먼저 백본 라우터의 라우팅 테이블 증가 추세에 대해 살펴보고, 구체적인 확장성 문제에 대해 알아본다.

### 2.1 라우팅 테이블의 증가 추세

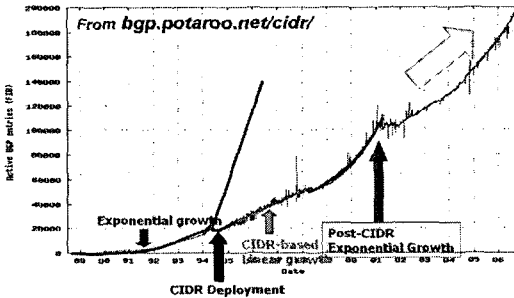


그림 4 BGP 라우팅 테이블 증가추세 [1]

- 94년 초까지는 C class(24 주소 prefix를 가진)의 사용이 증가됨에 따라 라우팅 테이블이 지수배로 커지는 것을 볼 수 있다.
- 이에 IETF에서는 CIDR(Classless Interdomain Routing) [2] 기법을 개발하여 라우팅 테이블의 증가 추세를 선형적으로 감소시켰다.
- 그러나 98년 말 이후의 증가 추세는 다시 지수적 증가 형태를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것이 의미하는 바는 CIDR는 더 이상 라우팅 테이블의 증가 추세를 감소시킬 수 없으며, 이를 극복할 수 있는 하드웨어적인 해결책 또는 BGP 라우팅 프로토콜의 수용성을 증가하는 방법이 필요하다는 것이다.
- 이러한 98년 이후 계속적인 라우팅 테이블의 지수적 증가의 주요 원인으로 멀티호밍이 이

기되고 있다. 실제 멀티호밍은 거의 대부분의 사이트에서 이루어지고 있으며, 이로 인한 라우팅 테이블의 증가는 현재 인터넷에서 시급히 해결해야 될 문제 중 하나라고 할 수 있다.

### 2.2 확장성 문제의 원인

인터넷의 핵심 프로토콜인 IP는 실제 네트워크상의 단말까지 경로를 찾고 이동시키는 (라우팅) 중요한 기능을 수행한다. 이를 위해 인터넷상의 단말은 각각 유일성을 지닌 IP 주소를 할당 받으며 이를 통해 라우팅이 이루어진다. 이 IP 주소를 결국 DFZ 라우팅 테이블에 모두 기록되게 되는데, 여러 가지 이유로 인해 이 테이블의 크기가 지수적으로 성장하고 있는 것이다.

- Provider Independent Assigned (PI) 주소확산  
처음 IP 주소는 ISP (Internet Service Provider)에 의해서 집적화 될 수 있도록 할당되었다. 그러나 이 경우 ISP의 주소 블록의 변경이 발생하면 (renumbering) 그 아래의 모든 라우터 및 단말들이 모두 주소가 변경되어 많은 시간과 비용이 필요로 되었다. 따라서 이러한 renumbering에 대처하기 위해 ISP는 ISP와 독립적인 주소들 (PI 주소)을 할당하게 되었으며, 이 집적화 되지 못하는 주소들은 그대로 DFZ의 라우팅 테이블의 증가를 가져오게 되었다.

- 멀티호밍 (Multihoming)

멀티호밍은 인터넷의 연결성이 100% 보장되어야 하는 요구에서 기인하였다. 즉 두 개 이상의 ISP와 연결성을 통해 다양한 네트워크 오류 상황에 효과적으로 대처하기 위한 방법이다. 이러한 멀티호밍을 위해서는 ISP에게 자신의 주소 블록 이외의 것들까지 관리해야 하는 오버헤드를 부과시키게 만들고, 결국은 DFZ의 라우팅 테이블의 증가를 가져오게 된다.

- Traffic Engineering (TE)

TE는 어떠한 인터넷 경로를 부하 분산 또는 문제로 인해 다른 경로로 우회 시키는 것을 말한다. 이를 위해서는 멀티호밍과 같이 TE를 하기 위한 PA 주소 블록을 다른 ISP등으로 우회시키기 위해 이 블록 정보를 알리게 된다. 이를 통해 결과적으로 집적화 되지 못하는 주소 블록이 전파되게 되는 것이다.

## III. Solution Directions for Scalability

근본적으로 확장성을 위한 인터넷 설계는 실제 라우팅과 관련된 IP 주소는 실제 인터넷 토폴로지 정보를 그대로 반영하여 계층적인 구조를 갖아야 하며, 백본 라우터에서는 집성되어야 한다. 그 반면 단말들 간의 통신에서 사용되는 단말들 간의 식별을 위한 identifier는 단말이 속해있는

기관 등에 의해서 할당되어야 하며, 이 것은 유일성과 지속성을 가져야 한다.

그러나 현재 인터넷 아키텍처는 routing과 addressing의 핵심으로 사용되는 IP 주소가 중첩된 의미(overloading semantics)를 가지기 때문에, 궁극적으로 이로 인해 확장성의 문제가 야기되는 것이다. 즉 IP 주소는 라우팅을 위한 정보 (how), 단말의 위치 정보 (where), 그리고 이 외에 전송 계층 상위에서 사용되는 단말의 식별자 정보 (who)로 사용되며, 이 의미 중복은 결국 global routing의 확장성 문제를 발생시키게 되는 것이다. 따라서 장기적인 안목으로 이러한 IP 주소의 의미 중복을 분리하는 인터넷 아키텍처를 새롭게 개발 한다면 멀티호밍, Traffic engineering, 그리고 renumbering 등을 자연스럽게 지원하는 것과 동시에 이동성, 보안성 등을 효과적으로 지원할 수 있다는 큰 장점을 가질 수 있게되는 것이다.

### 3.1 IP 주소의 Identifier와 locator 분리

통신 하고자 하는 단말들의 식별자 (identifier)는 두 개 이상의 위치 정보 (locator)와 동적으로 매핑이 되어야 한다. 다시 말하면, 단말의 locator를 담당하는 IP 이하 계층과 통신의 주체인 단말의 identifier를 담당하는 Transport 계층 이상 사이의 동적인 매핑을 통해 궁극적인 분리를 이룰 수 있다. 이를 통해 이동성 및 멀티호밍을 지원할 수 있다. 예를 들어, 통신 중인 경로가 변경되었을 경우, locator는 변경되지만 통신 중인 단말의 Identifier는 변경이 되지 않도록 하는 것이다.

아래 그림은 3계층 (IP)과 4계층 (Transport) 사이에 Identity라는 계층을 집어넣어 상위 프로토콜을 대상으로 사용되는 identifier와 IP 계층 하위로 사용되는 locator인 IP 주소와의 매핑을 보여주고 있다.

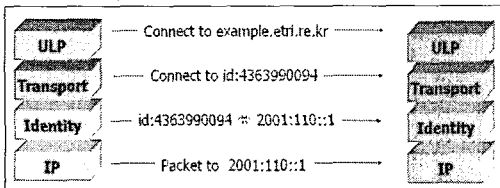


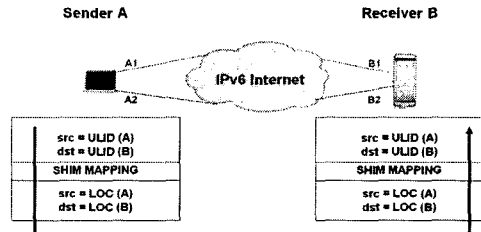
그림 5 Identifier와 locator의 분리 개념

## IV. ID/LOC 분리 솔루션들

IP 주소가 가진 identifier와 locator를 분리하는 인터넷 아키텍처를 제안하는 솔루션은 이미 10년 전부터 제안되었다. 이 장에서는 대표적으로 알려져 있는 단말 솔루션인 SHIM6 (Site Multihoming by IPv6 Intermediation)와 HIP (Host Identity Protocol)와 네트워크 측면에서 지원하는 솔루션인 GSE (Global, site, and end system address elements)와 LISP (Locator ID separation protocol)을 간단히 소개한다.

### 4.1 SHIM6 프로토콜

Shim은 IPv6 사이트 멀티호밍을 지원하기 위해 단말에 Network layer Shim (L3Shim)을 통해 ID와 locator를 분리하는 아키텍처를 제안하고 있다 [4]. Shim6는 오직 멀티호밍만을 지원하기 위한 방법으로, 새로운 name space를 사용하지 않고 기존 IP 주소를 의미상으로 identifier와 locator로 분리하여 사용한다. 또한 Shim6 프로토콜의 큰 특징으로는 L3shim이 없는 노드들과도 상호호환성을 제공한다의 것이다.



1. 연결초기: ULID (A) = LOC (A) = A1, ULID (B) = LOC (B) = B1
2. Shim Context 교환 후: 각각 상대방의 Locator set 정보 획득
3. A1-B1링크의 문제발생 후: Shim 재설정  
ULID (A) = A1 → LOC (A) = A2, ULID (B) = B1 → LOC (B) = B2

그림 6 SHIM6 프로토콜 동작

### 4.2 HIP 프로토콜

HIP는 Shim6와 같이 호스트의 Identifier와 locator를 분리하여 이동성 및 멀티호밍, 그리고 보안성까지 지원하는 프로토콜이다 [5]. HIP는 그림 2와 같이 Transport 계층과 IP 계층 사이에 identifier와 locator를 매핑 시키는 identity 계층이 존재하며, 특별히 호스트의 identifier를 public key를 사용하여 IPsec 등과 함께 동작하여 보안적으로도 우수하다.

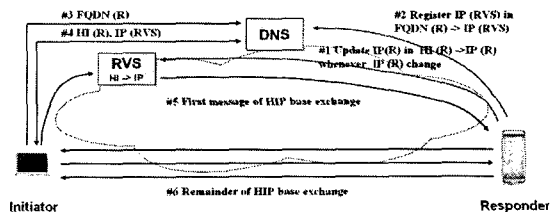


그림 7 HIP 프로토콜 동작

이 HIP를 위해서는 그림 4와 같이, 새로운 Identifier를 위해 통신 socket API의 수정, DNS의 확장, 그리고 단말의 위치를 저장하기 위한 Rendezvous Server (RSV)등의 새로운 에이전트가 필요하다. 따라서 기존의 인터넷 노드들과는 상호 호환성이 없다는 큰 단점을 가지고 있다.

### 4.3 GSE 프로토콜

GSE [6]는 1990년대 중반에 Shim6 및 HIP와 마찬가지로 IP주소에서 ID와 LOC을 분리 구조를 제안하였다. 그러나 이 프로토콜은 위 두 프로토

콜이 단말에서 적용되는 반면 GSE는 라우터에서 구현되며, 특히 라우팅이 되는 부분과 실제 단말에게 전달되는 부분과 분리하여 적용한다. 라우팅이 되는 부분에서는 IPv4의 CIDR와 같이 계층적인 구조와 함께 효과적인 aggregation이 가능하며, 멀티호밍 뿐만 아니라 확장성을 해결할 수 있다. 그러나 IPv6 주소 할당 정책에 위반 되며, 더 많은 주소가 발생하고, 그리고 보안적인 문제로 인해 적용되지 못한 기술이다. 그러나 이 분리 개념은 지속적으로 참조가 되는 기술이 되었다.

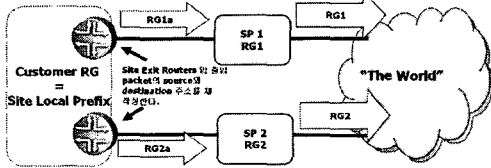


그림5 GSE 동작

4.4 LISP 프로토콜

LISP는 가장 최근에 GSE와 함께 네트워크 솔루션이다 [7]. 특히 ID와 locator로 분리하기 위해 각각 ITR (Ingress Tunneling Router)와 ETR (Egress Tunneling Router)를 설정하여 IP-in-IP 터널링을 통해 사이트 내에서 사용되는 EID는 안쪽 헤더에 위치되고, ITR에 의해 locator는 바깥쪽 헤더에 위치되어 터널링 되어 전송된다. 전송 된 패킷은 결국 ETR에 의해 de-capsulation되어 다시 EID에 의해 단말에 전송되게 된다.

이 LISP는 EID가 실제 라우팅이 되는 가와 실제 적용을 위해 4가지 시나리오로 나누어 개발될 예정이며, site exit router등에서만 수정되면 되는 장점과 함께, ICMP를 이용한 경로 failure를 해결하는 솔루션 역시 지원한다.

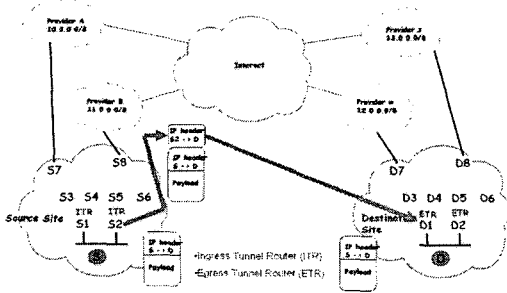


그림 6 LISP 동작

V. 결론

90년대 인터넷의 급속한 확장 이후 현재까지 인터넷은 매우 급격히 확장되어 왔다. 이러한 인터넷의 확장을 가장 쉽게 확인할 수 있는 것은 백분 라우터가 위치하는 Default route Free Zone (DFZ)에서의 라우팅 테이블의 크기를 확인하는 것이다. 2005년 이 라우팅 테이블은 약 150,000개

에서 175,000개 정도였으나 현재는 200,000개에 달하고 있다. 그리고 5년 내에 약 370,000개 또는 그 이상으로 증가할 것으로 예측하고 있다. 이러한 라우팅 테이블의 증가는 라우팅 테이블의 convergence 시간이 느려지게 하는 등 치명적인 문제점을 발생시키게 된다. 이러한 확장성을 해결하기 위해 새로운 IP 프로토콜인 IP version 6(IPv6)를 표준화 하였으나 IPv6는 실질적으로 인터넷의 확장성 문제를 충분히 해결하지 못했으며, 특히 멀티호밍, Traffic Engineering, PI (Provider Independent) routing 정책들로 인해 다시 한 번 scalability 문제는 크게 이슈화 되고 있다.

따라서 현재 인터넷의 표준을 제정하는 IETF에서는 장기적인 안목으로 인터넷 아키텍처의 변경을 통해 자연스럽게 해결하려 하고 있다. 특히 현재 인터넷 아키텍처가 가지고 있는 가장 큰 문제인 IP 주소의 identifier와 locator로 동시에 사용되는 의미의 중복 (overloading semantics)이며, 이와 같은 IP 주소의 의미 중복을 해결하면, 자연스럽게 확장성 문제를 해결함과 동시에 멀티호밍, Traffic engineering, renumbering, 그리고 이동성 지원 등을 지원할 수 있게 되는 것이다.

현재 IETF를 중심으로 이와 같은 ID와 locator를 분리하는 솔루션들이 제안되었으며, 단말을 통해 지원되는 Shim6와 HIP, 그리고 네트워크 측면에서 지원하는 GSE와 LISP등이 대표적인 프로토콜들이다. 본 논문은 이와 같이 현재 인터넷이 가지고 있는 확장성 문제를 살펴보고, 이를 해결하기 위해 제시된 IP 주소에서 Identifier와 locator를 분리하는 기술들을 분석 및 소개하였다.

참고문헌

- [1] G. Huston, "2005 - A BGP Year in Review," APRICOT 2006
- [2] V. Fuller etc, "Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy," RFC 1338, Sep. 1993
- [3] D. Meyer, etc, "Report from the IAB Workshop on Routing and Addressing," draft-iaab-raws-report-01.txt, Feb. 2007
- [4] E. Nordmark, M. Bagnulo, Level 3 multihoming shim protocol, Internet-draft, March, 2006.
- [5] Host Identity Protocol (HIP), <http://www.ietf.org/html.charters/hip-charter.html>
- [6] Mike O'Dell, "GSE-An Alternate Addressing Architecture for IPv6," draft-ietf-ipngwg-gseaddr-00.txt, Feb. 1997
- [7] D. Farinacci, etc, "Locator/ID Separation Protocol (LISP)," draft-farinacci-lisp-00.txt, Jan. 2007