



+ 오성언 · KBS 방송망운용국, 정보통신기술사

차세대 인터넷 프로토콜 IPv6

1. 머리말

방송·통신 분야의 많은 응용 서비스들이 인터넷 프로토콜(Internet Protocol) 기반으로 이미 전환되었거나 점차 바뀌어 가고 있는 추세이다. 전통적인 데이터 전송은 물론이고 음성·영상 전송 등도 네트워크 기반의 IP 방식으로 통합되어 가고 있다. IP 방식에서의 통합에는 인터넷의 급속한 확장이라는 전 세계적 환경변화가 큰 역할을 했지만 인터넷 프로토콜 자체의 여러 가지 장점이 한 몫 했음을 부인할 수 없다.

현재의 인터넷 프로토콜 IPv4(IP Version 4)가 향후 지속적으로 확대, 발전하면서 여러 문제가 예상되어 새로운 인터넷 통신 규약인 IPv6(IP Version 6)이 등장하게 됐다. 이제 곧 IPv4에서 IPv6으로의 전환을 앞두고 있다. 국내에서는 2004년 'IPv6 보급 촉진 기본계획'을 통해 IPv6으로의 전환을 위한 준비를 해 왔으며, 2008년에는 방송통신위원회에서 '인터넷 주소자원의 개발과 이용촉진 및 관리계획'을 최종 확정해 발표했다.

로드맵에서 방송통신위원회는 ISP(Internet Service Provider) 사업자들에게 2011년까지 IPv6 백본망을 완료할 것을 권고하고 있으며, 사회 전반에 걸쳐 IPv6 도입 활성화를 위한 각종 제도 개선과 지원책을 계획하고 있다.

2. IPv4의 위기

주소 공간의 부족

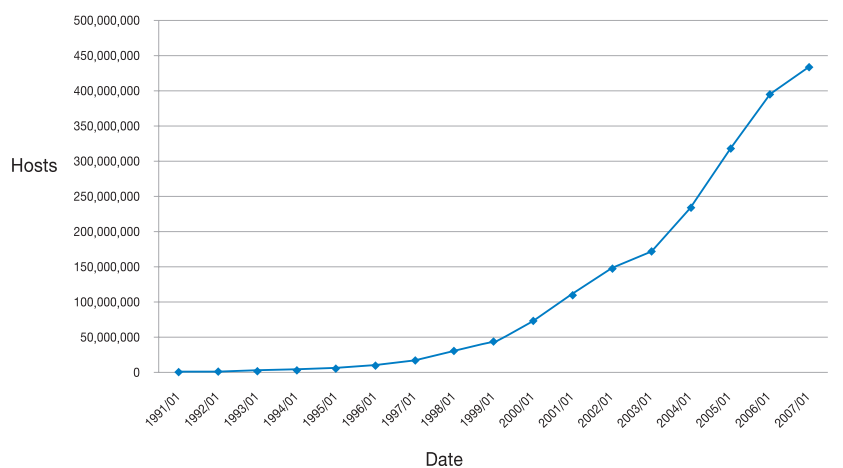
현재 우리가 사용하는 IPv4 주소는 32비트로 구성되며, 0.0.0.0에서 255.255.255.255까지 사용할 수 있어 총 2^{32} 개의 주소를 할당할 수 있다. 하지만, 사실상 주소 영역과 연구용인 클래스 E 주소를 감안하면 실제 사용할 수 있는 주소의 수는 이보다 훨씬 적어진다.

IPv4 개발 당시에는 32비트의 주소 공간으로 모든 주소 수요를 충족시키기에 충분하다고 판단했을 수도 있다. 그러나, ARPANET(Advanced Research Projects Agency Network)으로 시작된 인터넷의 폭발적 확산과 WWW(World Wide Web) 서비스로 인해 인터넷 주소의 수요는 급속하게 늘어났다.

2009년 8월까지 IPv4의 주소 전체(4,294,967,296개) 가운데 10%(447,666,145개) 정도만 남아있는 실정이며, 우리나라는 할당된 73,266,688개 중에 95% 정도가 사용되고 있다.

IPv4 주소의 수요 예측 조사를 보면, 인터넷 주소 자원의 관리기관인 IANA(Internet Assigned Name Authority)는 2010년에, OECD는 2011년에 전체 IPv4의 주소가 고갈될 것으로 전망하고 있다.

IPv4의 주소 고갈에 대한 해결책으로 네트워크 주소변환(NAT:Network Address Translation), 클래스 없는 도메인 간 라우팅(CIDR:Classless Inter-Domain Routing), 동적 주소 할당(DHCP:Dynamic Host Configuration Protocol) 등의 방안을 적용해 왔으나 IPv6의 궁극적인 대안은 되지 못하고 있는 실정이다.



[인터넷 호스트의 증가율]

라우팅 구조의 문제

라우팅이란 네트워크에서 IP 주소를 이용하여 패킷을 전달하는 기능으로 인터넷에서 데이터를 주고받기 위해서는 IP 패킷은 전송 경로 상의 라우터들을 거쳐야 한다. 각각의 라우터는 패킷의 전송경로를 결정하고, 그 경로에 맞게 패킷을 내보내는데 라우터의 전송경로 결정시 기준이 되는 것이 바로 라우팅 테이블이다.

노드(호스트 및 라우터)가 늘어날수록 네트워크 경로 정보는 기하급수적으로 증가하고 라우터가 가지고 있어야 하는 라우팅 테이블의 크기도 함께 증가한다. 라우팅 테이블이 커질수록 라우터의 테이블 검색 시간을 증가시켜 네트워크 지연을 발생시킨다. 그런데, 초기의 인터넷 환경에서는 노드의 수가 많지 않아서 백본 라우터들이 유지해야 하는 라우팅 테이블이 큰 문제가 되지 않았으나, 노드 수의 증가에 따라 증가하는 라우팅 테이블의 문제로 인하여 점차 네트워크 성능을 저하시키는 요소가 되고 있다.

종단 간 상호운용성(End-to-End Interoperability)의 제한

인터넷의 발전에 따라 P2P, VoIP 등과 같이 새로운 End-to-End 양방향 서비스가 나타나고 있지만, IPv4 환경에서는 IP 수준의 보안과 QOS에 지원 등 응용 서비스에 대해 종단 간 상호운용성에 여러 가지 제약사항이 있다.

3. IPv6의 등장

주소 공간의 확장

IPv6는 IPv4의 32비트의 주소대신 4배인 128비트의 주소로 설계됐다. 거의 무한대의 주소 공간 때문에 IPv4의 효율적 주소 사용 기법들이 필요 없을 정도의 충분한 주소를 확보할 수 있게 됐다.

확장헤더

IPv6는 헤더를 '기본헤더 + 확장헤더' 구조로 하고 불필요한 필드를 확장헤더로 넘겨 헤더형식을 단순화했다. 보안, 이동성 등 데이터 전송에 필요하다고 생각하는 부가 기능은 확장헤더를 통해 제공하고 단순화된 40바이트 고정 크기의 헤더를 사용하여 라우터의 패킷처리 부담을 줄여 라우팅 효율성을 향상시켰다. 예를 들면, IPv4에서 IPSec은 옵션이나 IPv6에서는 확장헤더를 통해 암호화, 패킷인증, 무결성 확인 등의 기능을 쉽게 구현할 수 있게 했다.

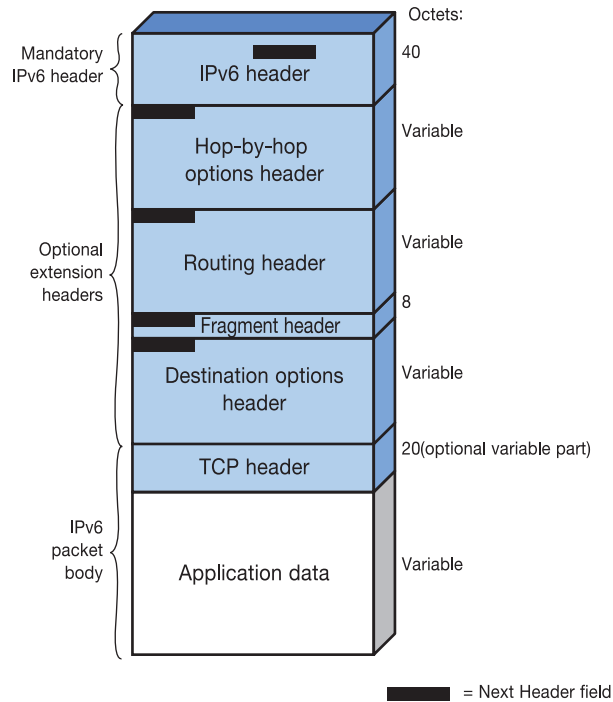
주소 자동할당과 계층적 주소체계

IPv4에서는 주소를 수동으로 설정하거나 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol) 서버에서 배정을 받아 설정했지만 IPv6 호스트는 DHCP 없이도 네트워크에 접속하는 순간 소속 네트워크의 Prefix와 호스트 자신의 인터페이스 ID를 조합하여 주소를 자동으로 생성한다.

IPv6의 주소 자동설정 기능은 주소 관리를 간편하게 함으로써 많은 수의 호스트들이 간편하게 네트워크에 접속할 수 있게 한다. 또한 상·하위 네트워크 간 계층적 주소체계는 라우팅테이블의 크기를 줄여준다.

자원할당 지원

IPv6는 IPv4에서 거의 사용하지 않던 TOS(Type-of-Service) 필드 대신 패킷 발신측이 패킷에 대해 특별한 처리를 요구할 수 있도록 Flow Label 기능을 채택했다. 이는 영상전송과 같은 실시간 전송이 필요한 특별한 트래픽에 대해 등급별, 서비스별로 패킷을 구분할 수 있게 하여 차별화된 QOS(Quality-of-Service) 지원을 가능하게 한다.



[IPv6 패킷의 구조]

4. IPv6 구조

IPv6 기본헤더의 크기는 40바이트로 고정되어 있으며, 기본헤더와 확장 헤더는 Next Header 필드로 서로 연결되어 있다. Next Header 필드를 통해 기본헤더 다음에 오는 헤더의 타입을 알 수 있다. 기본헤더 다음에 오는 헤더가 확장헤더이면 해당 헤더의 식별자를 가지고 있고 그렇지 않으면 TCP 등의 상위계층 프로토콜 식별자를 갖는다.

Hop-by-hop option header

홉과 홉 사이에서 처리를 요구하는 특별한 옵션으로 라우터는 패킷의 Hop-by-hop 옵션을 검사하고 처리한다.

Routing header

IPv4의 소스라우팅과 유사하게 IPv6 발신지 노드는 Routing header를 사용하여 소스라우팅 기능을 제어할 수 있다.

Fragment header

전송경로 상의 MTU(Maximum Transmission Unit)보다 큰 패킷을 목적 지까지 전송할 때 패킷의 단편화와 재조립에 대한 정보를 가지고 있다.

Authentication header

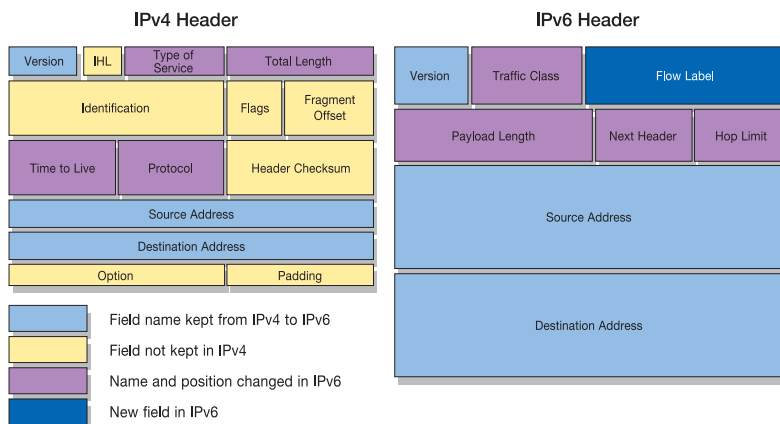
패킷의 무결성과 인증 기능을 제공한다.

Encapsulating security payload header

패킷 암호화 기능을 제공한다.

Destination option header

패킷이 최종적으로 전달되는 목적지 노드에서만 검사하는 선택적 옵션정보를 가지고 있다.



[IPv4와 IPv6 헤더 비교]

5. IPv6 헤더

128비트로 증가된 주소로 인해 IPv6 헤더는 IPv4 헤더보다 크기가 20바이트에서 40바이트로 커졌다. 하지만, IPv6는 새로운 기능과 효율성을 위해 새로운 필드를 추가하는 대신 실효성이 떨어지는 필드를 대폭 제거하여 일부만 채택하여 결과적으로 필드의 종류를 12개 필드에서 8개 필드로 줄이게 됐다. 이로 인해, 라우터의 IP 패킷 헤더 처리를 간편하게 하는 등 라우팅 속도를 개선할 수 있게 됐다.

Version

인터넷 프로토콜의 버전

Traffic Class

트래픽의 특성을 구분하는 IPv4의 TOS(Type-of-Service)와 유사하며, 같은 발신지에서 생성된 다른 패킷에 대해 패킷처리의 우선순위를 결정할 수 있도록 해 준다

Flow Label

Flow는 라우터 측에서 동일한 속성으로 처리해야 하는 패킷의 흐름이다. Flow Label은 이 흐름에 대한 식별자로 라우터는 Flow Label에 따라 QoS를 차등 지원하여 패킷을 처리한다. 발신지 호스트는 라우터가 특별한 처리를 요구할 수 있도록 패킷에 등급표시를 할 수 있다.

Payload Length

기본헤더를 제외한 패킷의 나머지 길이를 바이트 단위로 표시한다.

Next Header

IPv4의 프로토콜 필드에 해당하는 것으로 기본헤더 다음의 헤더 형식을 알려준다.

Hop Limit

Hop Limit는 발신지 호스트에서 설정되고, 라우터를 거치면서 감소된다. Hop Limit가 0이 되면 해당 패킷은 폐기된다. IPv4에서 TTL(Time-to-Live)과 유사한 기능으로 목적지를 찾지 못하는 패킷이 네트워크에서 무한루프 되지 않도록 하는 역할을 한다.

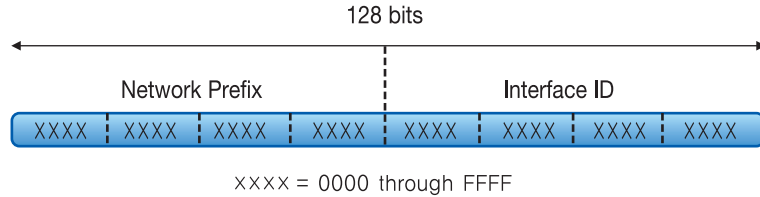
Source Address

패킷의 발신지 주소

Destination Address

패킷의 목적지 주소

6. IPv6의 주소체계



$3.4 \times 10^{38} = 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456$ IPv6 Address

[IPv6 주소의 형식]

IPv6 주소는 8개의 16진수 4자리를 콜론(:)으로 구분하여 표시한다. 앞부분의 64비트는 네트워크를 식별하기 위한 네트워크 Prefix로 뒷부분의 64비트는 호스트를 식별하기 위한 인터페이스 ID로 구성된다. 128비트의 IPv6 주소는 호스트 자체가 아니라 호스트의 인터페이스에 할당되며 하나의 인터페이스는 여러 개의 유니캐스트 주소를 가질 수 있다. 하나의 인터페이스에 여러 개의 주소를 사용할 수 있는 특성으로 인해 IPv6는 IPv4보다 효율적으로 라우팅을 할 수 있다.

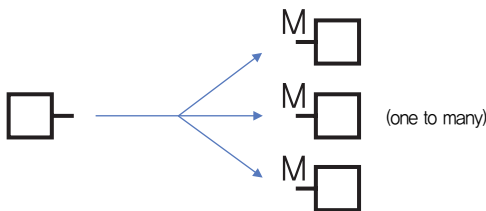
IPv6는 다음 세 가지 형태의 주소형식을 지원한다.

유니캐스트(Unicast)



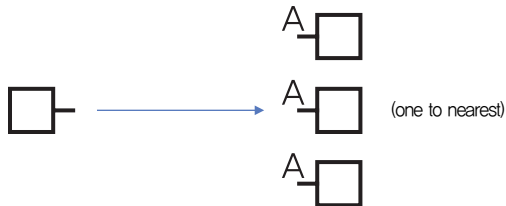
단일 인터페이스를 지정한다. 유니캐스트 주소로 전송된 패킷은 그 주소에 의해 식별되는 해당 인터페이스로만 전달된다. 유니캐스트는 Global, Link Local 등 용도에 맞게 다양하게 구성할 수 있다.

멀티캐스트(Multicast)



미리 약속된 인터페이스 그룹을 하나의 멀티캐스트 주소로 지정할 수 있으며, 멀티캐스트 주소를 가진 패킷은 해당 그룹의 모든 구성원에게 전달된다. IPv6의 주요 장점 중의 하나가 브로드캐스트 사용 없이 라우터 탐색(Router Discovery), 라우터 요청(Router Solicitation) 등을 멀티캐스트로 처리한다는 것이다. 멀티캐스트는 브로드캐스트보다 트래픽을 관련된 적은 수의 노드에만 한정함으로써 결과적으로 네트워크의 효율성을 높이는 효과를 얻는다. 그리고, IPv6 멀티캐스트는 실시간 영상전송 서비스에서 IP 패킷을 동시에 여러 곳으로 전송하여 네트워크 대역폭도 줄여준다.

애니캐스트(Anycast)



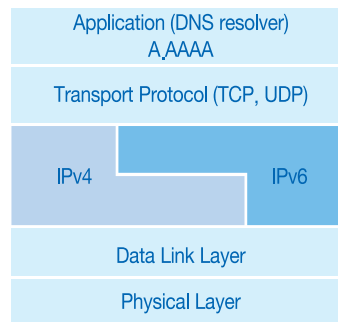
서로 다른 링크에 속한 인터페이스의 그룹을 지정한다. IPv6 유니캐스트 주소는 발신지에서 하나의 주소로 인터페이스 그룹에 속해 있는 임의의 노드 하나와 연결할 때 주로 사용한다. 유니캐스트 주소를 가지고 있는 패킷은 라우터의 경로 계산에 따라 가장 가까운 노드로 전달되며, 애니캐스트 주소는 일반적으로 호스트에 할당되지 않고 IPv6 라우터를 대상으로 목적지 주소로만 사용된다.

7. IPv6로의 전환기술

모든 IPv4 노드들을 한꺼번에 IPv6로 대체하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 얼마동안은 IPv4와 IPv6을 병행하여 점진적으로 IPv6으로 전환하는 과정을 거쳐야 할 것이다.

듀얼스택(Dual Stack)

듀얼스택 방식은 IPv6와 IPv4가 공존할 수 있는 가장 간단한 방식으로 동일 장비에서 두 프로토콜 모듈을 모두 구현하여 IPv4와 IPv6 패킷을 모두 처리하게 한다. 발신지 호스트가 DNS(Domain Name Server) 질의를 통해 목적지 호스트의 버전에 따라 IPv4와 IPv6을 선택적으로 사용할 수 있게 한다.



[듀얼스택 방식]

터널링(Tunneling)

터널링 방식은 IPv6 패킷이 IPv4 네트워크 영역을 통과하는 경우, 가상의 경로를 만들어 통신을 하는 방식이다. IPv6 패킷은 IPv4 네트워크 영역으로 들어갈 때 IPv4 패킷으로 캡슐화 되고 네트워크에서 나올 때 역캡슐화 된다. IPv6 패킷이 IPv4로 캡슐화 되어 전송하는 것을 알리기 위해 식별자가 사용된다. 자동 터널링 방식과 수동 터널링 방식이 있다.

주소변환(Translation)

듀얼스택과 터널링 방식은 해당 노드가 IPv6와 IPv4 모두를 인식해야 가능한 방식이다. 반면, 주소변환 방식은 네트워크 경계에서 IPv4와 IPv6으로 프로토콜을 변환하여 다른 프로토콜의 노드 사이에서도 통신을 가능하게 하는 방식이다.



게이트웨이 관점 : IPv4/IPv6 변환

[주소변환 방식]

8. 맺음말

유비쿼터스 시대를 대비하고 미래의 인터넷 환경을 위해서 반드시 거쳐야 하는 과정 중의 하나가 바로 IPv4에서 IPv6으로의 전환이다. 하지만, IPv6로의 전환에는 방송의 디지털 전환과 마찬가지로 당장의 뚜렷한 수익모델 없이 엄청난 비용을 투자해야 하는 문제가 뒤따른다. 대부분의 ISP가 원칙적으로 IPv6 전환에는 공감하나 전환방법이나 전환일정 등에 대해서 유동적인 입장을 보이는 이유가 바로 비용부담의 문제다.

그렇다고 이제 곧 고갈될 IPv4 주소체계를 계속 유지하기는 힘들 것이다. 생활 깊숙이 파고든 인터넷 환경으로 인해 IPv4를 고집하다가는 엄청난 혼란이 발생할 것이기 때문이다. 프로토콜 자체의 우수성, 장기적 측면에서 운용 비용 절감 등과 아울러 IPv6 전환의 당위성을 적극적으로 알리는 준비가 필요하다.

※ 참고 : www.kisa.or.kr(한국인터넷진흥원)