

컴퓨터 네트워크의 이해 및 활용 10

- IPv6 개요 및 현황

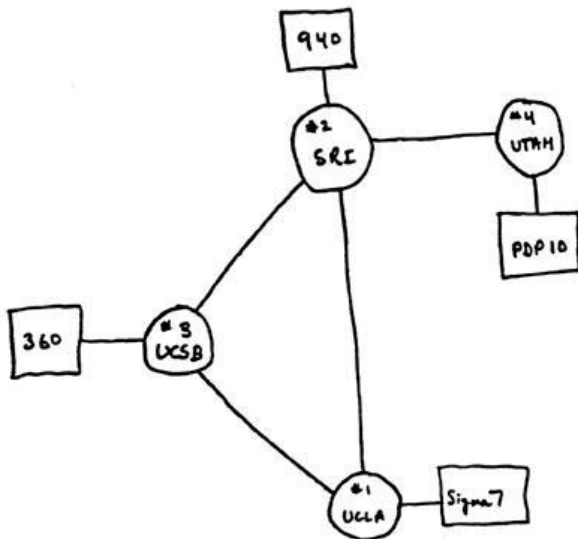
최영락 나임네트웍스 SDN기술팀 매니저

- ① 네트워크 기초 ①
- ② 네트워크 기초 ②
- ③ 데이터 물리 계층
- ④ 네트워크 장비 ① : 스위치
- ⑤ 네트워크 장비 ② : 라우터
- ⑥ 데이터 전송 계층 : TCP vs. UDP
- ⑦ 데이터 응용 계층 예시 : DNS
- ⑧ 네트워크 장비 ③ : 응용 계층
- ⑨ 스트리밍 & 멀티캐스트
- ⑩ IPv6 개요 및 현황
- ⑪ 네트워크 관리 및 SDN

지난 연재에서는 스트리밍에 개요와 구성 요소, 그리고 스트리밍과 관련해 알아두어야 할 트래픽 전송 유형인 유니캐스트, 브로드캐스트, 멀티캐스트에 대해 살펴보았습니다. 이번 연재에서는 IPv6에 대해 살펴보려고 합니다. 현재 인터넷 주소 체계인 IPv4가 탄생했던 인터넷 역사를 시작으로, IPv4의 문제점 및 한계를 이야기하고 IPv6의 주요 특징 및 현황을 차례로 설명하고자 합니다.

I. 인터넷 역사와 IPv4의 한계

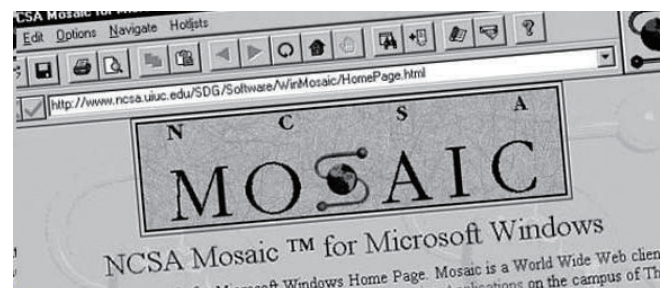
오늘날 우리가 사용하는 인터넷은 클라이언트와 서버로 구분되는 여러 컴퓨터 또는 장비들이 서로 연결되어 있으며, IP 주소를 통해 통신이 이루어 집니다. 현재 인터넷에서 사용되고 있는 IP 주소 체계를 정확히는 IPv4(IP version 4)라고 합니다. IPv6에 대해 이야기하기 전에, 잠시 인터넷의 간단한 역사와 함께 우리가 흔히 이야기하는 IP 주소가 등장한 배경을 살펴보고자 합니다.



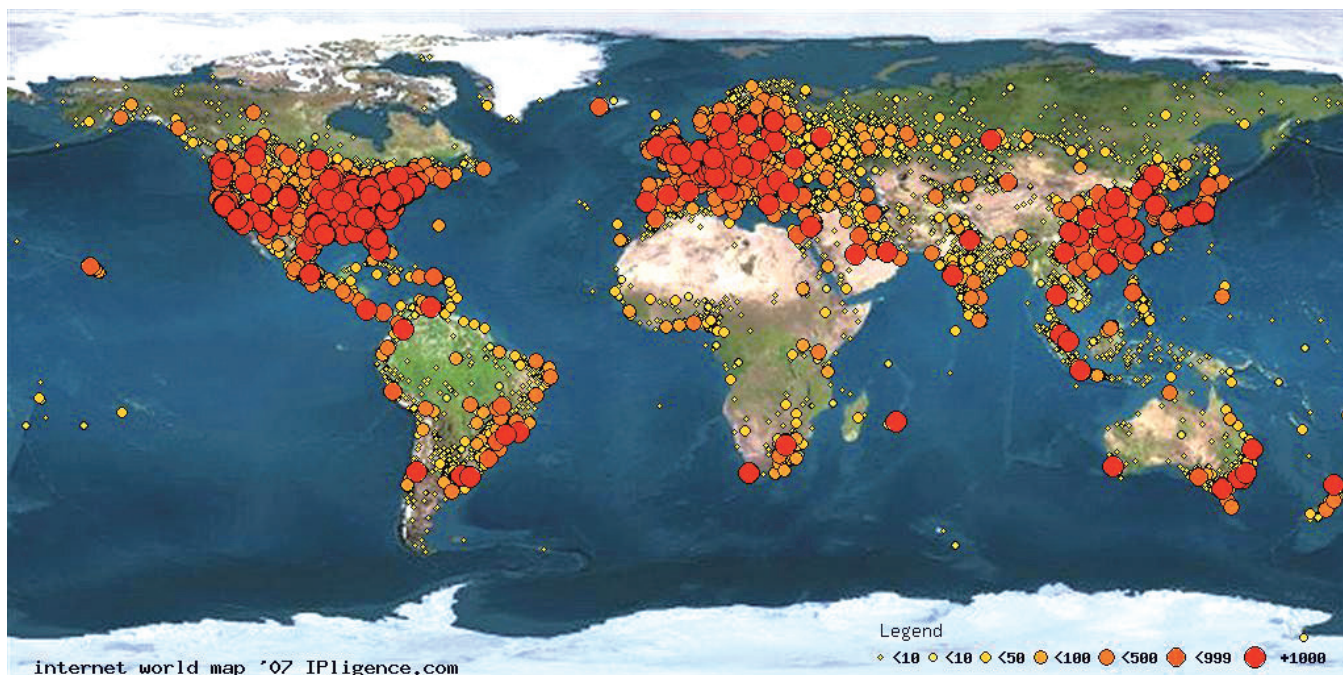
[그림 1] ARPANET 개념도

인터넷의 시작은 1969년 미국 국방연구소에서 지정한 4곳을 연결한 최초의 네트워크인 ARPANET라고 이야기합니다. 당시, 미국 국방연구소에서는 미국 캘리포니아 LA 주립 대학(UCLA), 캘리포니아 산타바바라 주립 대학(UCSB), 스탠포드 연구소(SRI), 그리고 유타대학(UTAH) 이렇게 총 4곳을 현재 인터넷에서 패킷 단위로 데이터가 오가는 형태로 네트워크를 연결하였습니다. 패킷 단위로 데이터를 주고받는 최초의 광역 규모의 네트워크로, 이 당시는 IP 주소 체계를 사용하지는 않았습니다.

1970년대에 이르러, 보다 많은 곳에서 ARPANET와 연결이 되었으며, ARPANET을 활용한 다양한 활용 및 연구가 진행됩니다. 우리가 현재 사용하는 이메일(E-mail) 주소 방식은 1972년 톰 린슨(Ray Tomlinson)이 제안하였습니다. 그리고 당시에는 물리 네트워크 기술이 오늘날과 같지 않아 패킷 손실에 따른 재전송 등을 필요로 하였고, 이에 1973년에는 전송 계층이라는 아이디어 및 전송 제어를 고려한 프로토콜인 TCP가 제안됩니다. 그리고 전송 계층의 하위 계층인 네트워크 계층에서 사용하는 주소 방식에 대해 많은 토의를 통해 IPv1, IPv2, IPv3 등이 제안되었습니다. 그리고 1980년 1월, 오늘날 대중적으로 사용하는 IPv4 방식이 IETF(Internet Engineering Task Force)라는 협회에서 RFC(Request for Comment)라는 문서 형태로 최초로 발표됩니다.



[그림 2] Mosaic 웹브라우저



[그림 3] 2007년 기준 IP 주소 현황 세계 지도 / 출처: ipligence.com

이 당시만 하더라도, 오늘날과 같이 인터넷이 전 세계적으로 쓰일 것이라고 생각하지는 않았던 것 같습니다. 당시 IPv4라는 주소를 설계할 때는 32비트를 사용하여 약 42억 개의 주소를 표현하는 것으로 충분하리라 생각했던 것 같습니다. 그러나 인터넷은 1982년 TCP/IP가 완전한 형태를 갖추고 1992년 그래픽 기반 인터페이스에서 웹 브라우저를 통해 접근하는 월드 와이드 웹(World Wide Web, 약어로 WWW) 방식이 활성화되면서 급속도로 성장하였습니다. [그림 2]는 Mosaic이라는 웹 브라우저로, 당시 텍스트와 함께 이미지를 나타내면서 화제가 되었던 웹 브라우저입니다.

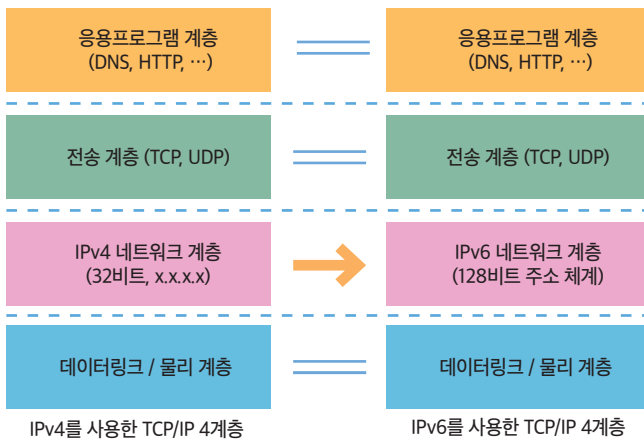
이렇게 인터넷이 점차 확산되고 대중화되어 가면서, IP 주소는 부족해지기 시작하였습니다. 인터넷 주소를 전 세계적으로 관리하는 최상위 기관인 IANA(Internet Assigned Numbers Authority)에서는 2010년 2월 4일, 공인 IPv4 주소 할당을 종료하였습니다. 그러나 기존에 하위 기관에 할당되었던 IP 주소의 여분이 국가별로 약간은 남아있는데다 IP 주소의 부족을 해결하는 다양한 방법들을 활용하여 아직까지는 IPv4 주소 체계를 기반으로 한 인터넷이 잘 유지되고 있는 상황입니다.

그런데, IPv4 주소 체계는 주소 개수가 부족하다는 문제뿐만 아니라, 여러 근본적인 문제를 안고 있습니다. 대표적인 또 다른 문제로는 '보안'이 있습니다. 최초 등장했던 ARPANET은 오늘날과 같이 전 세계적으로 일반 대중

이 사용하는 목적이 아닌, 연구 목적의 네트워크였습니다. 즉, 연구를 위한 폐쇄적인 특성을 가진 네트워크망이었기에 보안을 크게 고려하지 않고 설계하였으며, 따라서 1980년 등장한 IPv4 및 이를 활용한 TCP/IP의 네트워크 계층은 보안 이슈를 반영하여 설계되지 않았습니다. 또한, IPv4 주소 등장 당시에는 인터넷 속도가 오늘날과 같이 빠르지 않아 지난 번 연재에서 언급한 스트리밍과 같은 인터넷 서비스를 염두하지 않았습니다. 이에 오늘날 스트리밍 서비스를 안정적으로 제공하기 위해서는 여러 네트워크 장비를 사용하는 등의 부가적인 방식을 활용하는 많은 노력이 필요한 상황입니다.

II. IPv6 등장과 주요 특징

IPv6는 처음에는 IPng(IP next generation)이라는 이름으로 차세대 IP 주소 체계에 대한 논의가 시작되었습니다. 1980년 1월에 IPv4가 처음 소개되었을 때와 동일한 방식으로 1995년 12월에 IPv6라는 이름으로 RFC 문서 발표 및 1998년 개정을 통해 표준화가 진행되었습니다. IPv6는 위에서 언급하였던 IPv4로 인해 인터넷이 가지고 있던 주요 제약 사항을 해결하기 위해 TCP/IP 4계층 중 네트워크 계층을 새로운 체계의 IP 주소를 사용하는 네트워크 계층 프로토콜입니다. 즉, TCP/IP 4계층에서 네트워크 계층 부분만 기존 32비트로 되어 있는 IPv4 주소 체계를 사용한 네트워크 계층이 아닌, 확장된 128비트 주소 체계를 사용하는 IPv6 주소 체계를 사용하는 네트워크 계층으로 변경되는 것입니다.



[그림 4] IPv4 및 IPv6를 사용한 TCP/IP 4계층

IPv6를 자세히 살펴보면 IPv4와 비교했을 때, 많은 특징들이 있습니다. 이 중, 주요 특징에 대해서만 언급하고자 합니다.

1) 할당 가능한 주소 개수 확장

IPv6는 128비트의 주소 체계를 사용합니다. IPv4는 32비트의 주소 체계를 사용하여 이론적으로 약 42억 개($2^{32}=4,294,967,296$)의 주소를 할당할 수 있습니다. (실제로는 NAT를 위한 사설 IP 주소 공간, 멀티캐스트를 위한 IP 주소 공간 등이 있어 사용 가능한 공인 IP의 개수는 많이 부족합니다.) 반면, IPv6는 128비트의 주소 체계를 사용하여 이론적으로 약 3.4×10^{38} 개의 주소를 사용 가능하며, 이는 IPv4와 비교했을 때 7.9×10^{28} 배나 많이 할당 가능합니다. IPv6 역시 IPv4와 마찬가지로 모든 주소 번호를 공인 IP 주소로 사용 가능하지는 않으나, 현재 및 미래에 스마트폰, 사물인터넷 장비들을 포함한 모든 컴퓨팅 장치에 제공 가능할 정도로 할당 가능한 주소 개수가 충분할 것입니다.

2) 효율적인 라우팅(데이터 전송 경로 판단) 기능

어떤 데이터가 있을 때 해당 데이터에 포함된 도착지 IP 주소를 기반으로 어떤 경로로 해당 데이터를 보낼지를 결정하는 과정을 '라우팅'이라고 합니다. IPv6에서의 라우팅은 IPv4에서 이루어지던 라우팅과 동일하지만, IPv6 헤더 부분 구조 변경 및 라우팅 인프라를 지원하는 주소 체계를 지원하여 보다 빠르게 IPv6 패킷을 전달합니다.

3) 보안 향상

IPv6를 디자인할 때, 보안에 대한 사항을 고려하여 설계가 되어 IPv4에서보다 향상된 보안 기능을 제공합니다. 대표적인 예를 들면, IPSec이라는 기능이 IPv4에서는 별도의 설치를 통해 제공되었으나 IPv6에서는 IPSec이 기본 내장되었습니다.

4) 구성의 편의성

컴퓨터가 인터넷 통신을 하려면 IP 주소가 있어야 하는데, IPv4에서는 IP 주소를 직접 수동으로 할당하는 방법과 자동으로 할당시키는 2가지 방법이 있었습니다. 자동으로 할당시키는 방법은 DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)라는 방식을 사용하는데, 이 DHCP 기능은 네트워크 계층에서 이루어지는 것이 아니라 응용프로그램 계층에서 이루어졌습니다. IP 주소는 네트워크 계층과 관련이 있는 부분인데, 이를 다른 계층의 도움을 받아 이루어진다는 점이 TCP/IP 4계층의 설계 방향과 다소 벗어나는 부분이 있던 것입니다. IPv6에서는 IPv4에서처럼 DHCP 서버를 통해 IPv6 주소를 할당 가능하도록 구성 가능할 뿐만 아니라, 로컬 IPv6 라우터 및 Stateless 자동구성 주소 기능을 사용해 DHCP 서버 없이 IPv6 주소를 구성 가능한 방식 또한 제공하여 네트워크 계층 내에서의 처리를 지원하였습니다.

이 외에도 지난 번 연재에서 언급한 유니캐스트와 멀티캐스트 외에 IPv6에서는 기존 브로드캐스트를 대체 가능한 애니캐스트 방식을 제공하여, 브로드캐스트와 같이 전체 로컬 네트워크에 모두 패킷을 전송하지 않고 가장 가까운 노드에만 패킷을 전달하는 방식으로 대체해서 사용합니다. (패킷을 받지 않아도 되는 모든 노드에 전송하는 방식은 아무래도 비효율적인 측면이 있겠죠.) 또한, 주소 체계 범위를 보다 체계적으로 구성하는 등 많은 변화가 있으나, 본 연재에서는 이 정도로 IPv6의 주요 특징을 정리하고자 합니다.

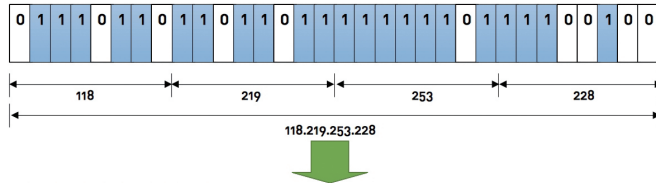
III. IPv6 하위호환성에 따른 점진적 변화

1990년대 중반 차세대 IP 주소 체계라 불릴 정도로 체계적으로 설계된 IPv6는 언급되었던 필요성에 비해 현재까지도 도입률이 저조한 상황입니다. 도입이 저조한 가장 큰 이유는, 무엇보다 구조적으로 IPv6가 IPv4를 대신하는 새로운 네트워크 계층의 프로토콜임에도 하위호환성을 지원하지 않는다는 데 있을 것입니다. 하위 호환성의 중요성을 예를 들어 설명하면 다음과 같습니다. 우리가 사용 중인 Microsoft Word 프로그램은 10년 이상 확장자가 .doc 인 파일 형식을 유지하였습니다. 그런데, Word 2007부터 확장자가 .docx인 새로운 파일 형식이 추가되었습니다. 만약, Word 2007에서 .doc 문서를 열 수 없거나 .docx 파일 형식을 .doc로 저장하는 기능이 지원되지 않았다면 사용자들은 여전히 지금도 Word 2003을 이용할지도 모릅니다. 이와 같이 하위호환성은 새로운 기능에 대한 도입을 점진적으로 지원하는 중요한 방향 중 하나인데, IPv6는 네트워크 계층에서 볼 때 IPv4의 위치를 대체하며, 하위 호환성을 지원하지 않습니다. 따라서 '특정 일자를 기준으로 그 전까지 IPv4, 그 이후로 IPv6를 사용하자.'라고 이야기하기에 어려운 측면이 있는 것이 도입률이 낮은 가장 큰 원인으로 보고 있습니다. IPv6 주소

[IPv6 주소 범위]

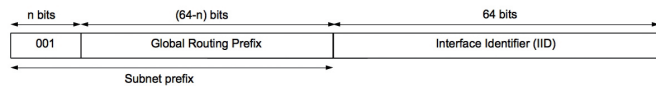
128비트 표현 체계를 통한 3.4×10^{38} 개 주소 표현 가능
 • IPv4: 약 42억개 (IPv6가 7.9×10^{28} 배 더 많이 표현)

[IPv4: 32비트, x.x.x.x 표기 사용]



[IPv6: 128비트, 16진수 표현법 사용]

예) 2001:0db8:0dad:0010:0000:0000:0000:0100



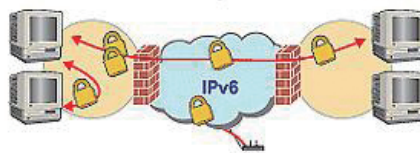
[IPv6 보안 향상]

IPSec (Internet Protocol Security)를 내장
 • IPv4: 별도로 설치하여 사용

- Only public networks offer secure information.
- Corporate intranets can be accessed by malicious users.



- Both public Internet and private intranets offer secure information.
- Malicious users are prevented from accessing networks.



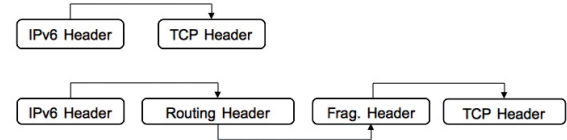
[IPv6 헤더 구조]

고정 헤더 (320 bit) + 확장 헤더 (TCP Header, Routing Header, ...)
 • IPv4에서는 가변 헤더 길이에 따른 라우팅 저효율 발생

[IPv6 고정 헤더 offset]

Bit Offset	0 ~ 3	4 ~ 11	8 ~ 15	16 ~ 23	24 ~ 31
0	Version	Traffic Class	Flow Label		
32	Payload Length			Next Hdr.	Hop Limit
64 ~ 192	Source IP Address				
192 ~	Destination IP Address				

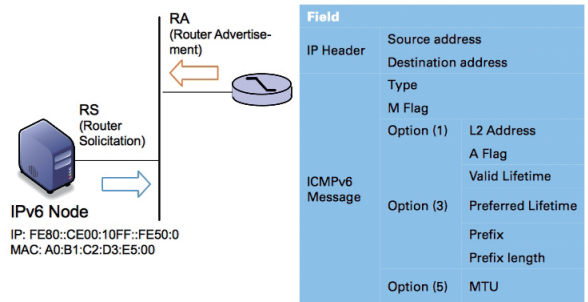
[IPv6 확장 헤더 연결 구조]



[IPv6 IP 주소 자동 구성]

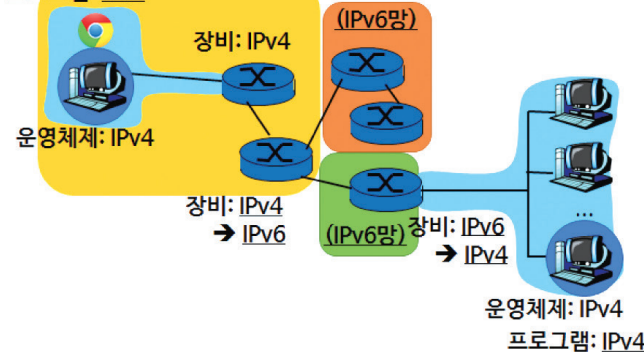
DHCP + 로컬 IPv6 라우터 & Stateless 자동 구성 주소 기능 제공
 • IPv4: 응용프로그램 계층을 통한 DHCP 방식을 통한 자동 구성만 가능

[Global Unicast Address]

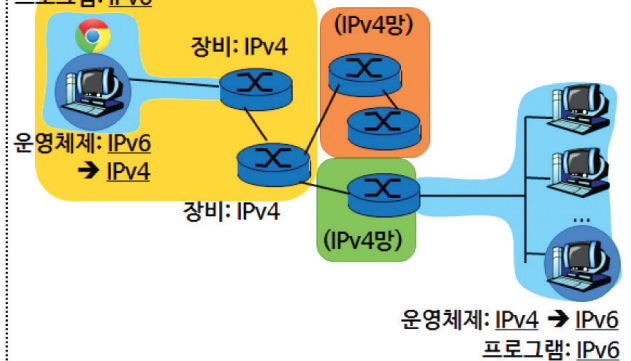


[그림 5] IPv6 주요 특징

프로그램: IPv4



프로그램: IPv6



[그림 6] IPv4에서 IPv6로의 전환 방식

체계가 IPv4에서와 같은 간단한 10진수 형태가 아닌 16진수로 128비트를 복잡하게 표현한 것 또한 이유라고 이야기하시는 분들도 계십니다만, 주소 부족 등의 필요성에 비해 해당 주장은 설득력이 다소 부족하다고 볼 수 있을 것입니다.

그런데 IPv4에서 IPv6로의 전환하려면 실제로 바뀌어야 할 것이 너무 많습니다. 네트워크 장비뿐만 아니라, IPv6를 사용하는 각 컴퓨터, 그리고 각 컴퓨터에서 동작하는 프로그램 또한 IPv6 주소 체계를 지원해야 합니다. 한꺼번에 이와 같이 변경되기에는 너무 어려운 상황이기때문에, IPv4에서 IPv6로의 전환을 위해 테스트하는 방식은 프로그램과 컴퓨터 운영체제, 그리고 네트워크 장비 입장에서 볼 때 크게 [그림 6]과 같이 2가지로 구분됩니다.

1) 네트워크 장비 사이에서만 IPv6를 사용

프로그램과 운영체제, 운영체제와 네트워크 장비 사이에서는 기존과 동일하게 IPv4로 통신이 이루어지나, 일부 네트워크 구간에 대해 IPv6를 사용하도록 테스트하는 환경입니다.

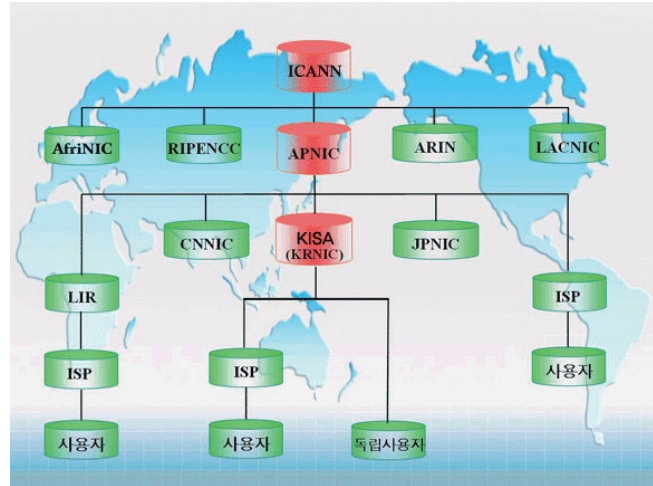
2) 프로그램에서만 IPv6를 사용

앞의 환경이 네트워크에서의 IPv6를 테스트하기 위한 환경이라면 프로그램에서 IPv6를 테스트하기 위한 환경 또한 필요할 것입니다. 본 방식은 프로그램에서만 IPv6 주소를 이용하고, 운영체제에서는 IPv4로 패킷을 변환해 전송하는 방식으로 IPv6를 테스트하는 환경입니다.

실제 이와 같이 테스트를 진행하기 위해서는 IPv6와 IPv4 주소를 상호 변환하는 기술이 필요합니다. 6RD, DS Lite, Dual Stack, Dual Layer, IPv6 over IPv4 터널링을 위한 ISATAP, 6to4, Teredo 등 다양한 방식 및 기술이 적용 가능합니다. 위 2가지 개별 테스트가 먼저 이루어지고 점차적으로 많은 부분으로 확장되어 테스트가 진행된 이후, 마지막으로 모든 구간에서 IPv6 통신이 이루어질 때, IPv6 테스트가 완료되고 마침내 IPv6로의 전환이 가능할 것입니다.

IV. IPv6 도입 현황

이와 같은 어려움으로 인해 도입률이 낮음에도 불구하고, IPv6의 도입이 필요하다는 사실에 대해서는 많은 학자들 및 네트워크 업계 종사자들 모두 공감하고 있습니다. 직접적인 하위 호환성을 제공하지는 않지만 기존 IPv4만을 지원하는 장비들을 IPv4와 IPv6 모두 지원하는 장비로 서서히 교체해 나가고, IPv6와 관련된 여러 테스트를 수행한다면 IPv6가 필요한 시점에 빠른 속도로 IPv4에서 IPv6로의 전환이 가능할 것입니다. 현재 IPv6 도입 현황



[그림 7] IP 인터넷 주소 관리 체계 (출처 : 한국인터넷진흥원)

은 크게 IPv6 주소 할당 현황, 네트워크 장비 지원 현황, 운영체제 지원 현황, 그리고 IPv6 네트워크 테스트 현황 이렇게 4가지로 구분됩니다.

1) IPv6 주소 할당 현황

IPv6 주소는 IPv4와 마찬가지로, 인터넷 주소를 전 세계적으로 관리하는 최상위 기관인 IANA에서 1차적으로 관리가 되고, 5개의 권역별 관리 기관인 APNIC(아시아-태평양), ARIN(북미), RIPE NCC(유럽-중동-중앙아시아), LACNIC(남미), 그리고 AFRINIC(아프리카)에서 2차 관리가 이루어집니다. 우리나라는 한국인터넷진흥원에 해당하는 KISA에서 APNIC에 요청하여 사용할 IPv6 주소를 먼저 할당받습니다. 이후, 이를 국내 통신사, 주요 기업, 고객 등에 할당하는 방식으로 사용 가능한 IPv6 주소 할당이 이루어집니다. 우리나라의 경우, KT, SK Broadband/Telecom, LG U+ 등 주요 통신 사업자들은 이미 IPv6 주소 할당을 받았을 뿐만 아니라 주요 대기업 및 인터넷 서비스 제공 회사 또한 IPv6 주소를 할당하였으며, 통신 사업자들은 내부에서 점진적인 도입 및 테스트를 진행하고 있습니다. 상대적으로, 금융 또는 방송 분야 기업에서 IPv6 주소를 할당한 현황은 많지 않은데, 점차 IPv6가 보급되면서 주소 할당을 많이 요청할 것으로 예상됩니다.

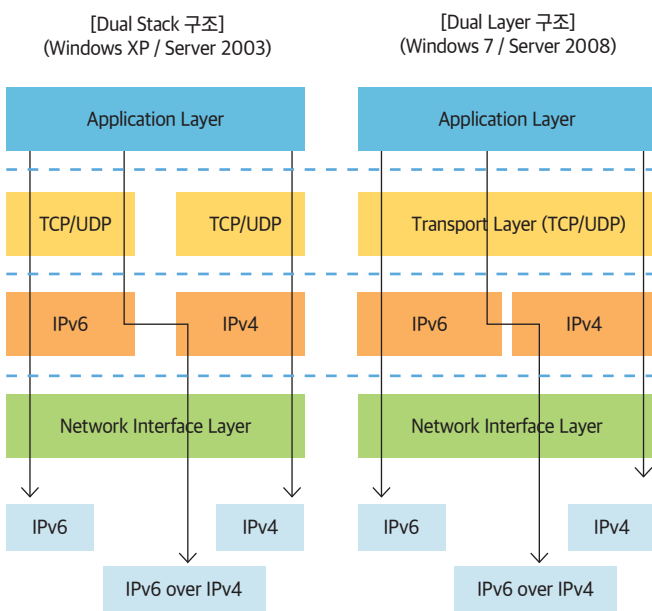
2) 네트워크 장비 지원 현황

현재 가정에서 많이 쓰는 IP 공유기 등은 대부분 IPv6를 지원하지 않고, IPv4만을 지원합니다. 그러나 통신 사업자들이 사용하는 스위치, 라우터 등과 같은 네트워크 장비들은 이미 몇 년 전부터 IPv6 지원 기능을 기본 내장하여 출시하고 있습니다. 그러나 지원하는 IPv6 기능에 대해 출시 회사 내부에서만

주로 테스트가 이루어진 상황이기에, 많은 테스트를 통해 안정성이 확보된 기술력을 갖춘 IPv6 네트워크 장비가 많이 출시되기를 기대해봅니다.

3) 운영체제 지원 현황

IPv6를 사용하기 위해서는 사용하는 컴퓨터 또는 개별 장치에서 또한 IPv6를 지원해야 합니다. 컴퓨터 운영체제의 경우, 거의 10년 전부터 IPv6 기능을 지원하기 시작했습니다. 그러나 초반에는 IPv6를 성능적인 측면을 고려하지 않고 기능적인 측면에서 지원하기 시작했던 데 반해, 점차 IPv6를 안정적인 성능을 고려하여 지원하도록 변화하였습니다. 예를 들어, Windows XP / Server 2003에서는 IPv6를 지원하였으나, IPv4와 IPv6를 통합적으로 지원하지 못하여 IPv6를 위한 전송 계층과 IPv4를 위한 전송 계층이 따로 존재하였습니다. 그런데, Windows 7 / Server 2008이 출시되면서 이를 공통의 계층에서 지원하도록 설계되어 보다 안정적이고 빠르게 IPv4, IPv6 각각뿐만 아니라 IPv6 패킷을 IPv4에 실어 보내는 기능 또한 지원합니다. 그리고 최근 출시된 갤럭시 노트4에서 LTE 망을 사용한 IPv6를 지원하여 테스트가 진행되는 등 스마트폰 단말에서 또한 IPv6 지원이 점차 추가되고 있습니다.



[그림 8] Windows 운영체제 IPv4 및 IPv6 지원 구조 (출처 : Microsoft)

4) IPv6 테스트 현황

IPv6가 1990년대 말 표준으로 제정되었음에도, 10년 가까이 개별적인 소규모의 테스트는 있었지만 상대적으로 대규모의 테스트는 진행되지 않았습니다. 2011년, 미국에서 6월 7일을 “IPv6 Day”로 정하고 Google,



[그림 9] IPv6 주소 DNS를 지원하는 google.com

Facebook, Microsoft과 같은 주요 400개 이상의 기업이 참가하여 24시간 동안 IPv6 망이 잘 동작하는지 국가적 차원에서 IPv6 테스트가 최초로 진행됩니다. 현재 Google은 DNS 조회를 하였을 때 IPv4와 IPv6 주소가 같이 출력되는 등 이후 많은 기업들에서 IPv6에 대한 테스트 움직임이 본격적으로 보이기 시작합니다. 우리나라는 위 행사의 영향을 받아 2012년 “Korea IPv6 Day”행사를 개최하는 등 많은 국내 인터넷 통신사 및 서비스 사업자들이 IPv6를 테스트하기를 권고하고 있습니다.

이와 같이 IPv6 도입 현황을 볼 때, IPv6 도입률은 낮은 수준이지만, 최근 몇 년 사이 IPv4에서 IPv6로 전환하려는 움직임이 점차 가속화되는 추세에 있습니다. 실제로 방송 분야에 IPv6가 도입하려면 할당받은 IPv6 주소가 있는지, 기존 방송 장비에서 IPv6를 지원하는지 등을 확인해야 할 것입니다. 뿐만 아니라, IPv4가 IPv6로 전환되면서 영향을 미칠 수 있는 장비 및 서비스를 파악하여 전체적 내부 네트워크 인프라 구조 설계, 관련 직원 교육, 테스트 환경 구축을 통한 지속적인 성능과 안정성 검증이 이루어져야 할 것입니다. IPv6 시대가 도래했을 때 늦게 투자하는 것보다 미리 준비를 시작하는 것이 좋을 수 있음을 참고하셨으면 합니다.

이번 연재에서는 이와 같이 IPv4의 한계 및 문제점들을 살펴보고, 차세대 IP 주소 연구로 시작되었으나, 아직 도입률이 저조한, 그러나 점차 도입이 가속화되어 가는 IPv6에 대한 개요 및 동향에 대해 간략히 살펴보았습니다. 다음 호에서는 네트워크에 대한 관리의 필요성 및 네트워크 관리와 관련된 SNMP, SDN에 대해 알아보는 시간을 가지고자 합니다. ☞

참고

이번 연재는 “네트워크 전문가 따라잡기”매거진 3호~6호에 연재되었던 이상훈 과장님께서 기고하신 IPv6 4편의 글에서 원 글쓴이의 동의하에 일부 내용을 언급하였습니다. 감사합니다.