

## 컴퓨터 네트워크 과제: Chapter 6.7 Homework

미디어학과 박성범

링크 레이어와 네트워크, 트랜스포트, 어플리케이션 레이어를 비롯한 프로토콜 스택을 모두 훑어보며 Bob이라는 학생이 학교의 이더넷 네트워크에 연결된 노트북으로 구글([www.google.com](http://www.google.com))에 접속하는 과정을 살펴보자. 먼저 Bob이 학교의 이더넷 스위치에 연결된 이더넷 케이블에 노트북을 연결한다고 생각해보자. 학교의 라우터는 comcast.net과 같은 ISP에 연결되어 있다. 이 예시에서 comcast.net은 학교에게 DNS 서비스를 제공하며, DNS 서버는 Comcast 네트워크의 한 곳에 자리잡고 있다.

클라이언트(Bob의 노트북)가 처음 네트워크에 연결되면 아무 것도 할 수 없다. 이후 클라이언트가 네트워크와 관련된 액션을 취하면 IP 주소를 할당하기 위해 DHCP 프로토콜이 동작한다.

1. 클라이언트의 운영체제가 DHCP 요청 메시지(DHCP Request Message)를 만들고, 이를 수신지의 67번 포트(DHCP 서버)와 발신지의 68번 포트(DHCP 클라이언트)를 담은 UDP 세그먼트에 포함한다. UDP 세그먼트는 브로드캐스트 수신지 IP 주소, 발신지 IP 주소와 IP 데이터그램을 포함한다. 이때까지 클라이언트는 IP 주소를 할당 받지 않은 상태다.

2. IP 데이터그램을 담은 DHCP 요청 메시지는 이더넷 프레임에 담긴다. 이더넷 프레임은 수신지 MAC 주소(FF:FF:FF:FF:FF:FF)를 가지고 있으며, 프레임은 스위치에 연결된 모든 장치에 브로드캐스트된다. 이때 프레임의 발신지 MAC 주소는 클라이언트의 MAC 주소(00:16:D3:23:68:8A)다.

3. DHCP 요청을 담은 브로드캐스트 이더넷 프레임은 클라이언트에서 이더넷 스위치로 전송된 첫 프레임이다. 스위치는 들어온 프레임을 브로드캐스트한다.

4. 라우터가 인터페이스를 통해 DHCP 요청을 담은 브로드캐스트 이더넷 프레임을 받으면 MAC 주소(00:22:6B:45:1F:1B)와 IP 데이터그램이 이더넷 프레임에서 추출된다. 데이터그램의 브로드캐스트 수신지 IP 주소는 상위 레이어에 의해 처리되어야 하며, 따라서 데이터그램의 페이로드(UDP 세그먼트)는 UDP로 디멀티플렉스(Demultiplex)된다. DHCP 요청 메시지는 UDP 세그먼트에서 추출되고, DHCP 서버는 이제 DHCP 요청 메시지를 가지게 된다.

5. 라우터에서 동작하는 DHCP 서버는 CIDR 블록(68.85.2.0/24)의 IP 주소를 할당할 수 있다. 이때 교내 네트워크에서 사용 중인 모든 IP주소는 Comcast의 주소 블록이다. DHCP 서버가 클라이언트에게 68.85.2.101을 할당했다고 해보자. DHCP 서버는 IP 주소를 포함한 DHCP ACK 메시지를 만든다. DHCP

ACK 메시지는 DNS 서버의 주소(68.87.71.226)와 디폴트 게이트웨이 라우터의 주소(68.85.2.1), 그리고 서브넷 블록의 주소(68.85.2.0/24)를 가진다. 메시지는 UDP 세그먼트에 담기며, 이는 IP 데이터그램에 포함된다. 그리고 이들은 이더넷 프레임에 포함된다. 이더넷 프레임은 IP 홈 네트워크로 향하는 라우터 인터페이스의 발신지 MAC 주소(00:22:6B:45:1F:1B)와 수신지 MAC 주소(00:16:D3:23:68:8A)를 가지고 있다.

6. DHCP ACK 메시지를 지닌 이더넷 프레임은 라우터에 의해 스위치로 전송된다. (Unicast) 스위치는 자 학습(Self-learning)과 이전에 클라이언트에게 받은 이더넷 프레임을 통해 프레임 주소를 알고 있기 때문이다.

7. 클라이언트는 DHCP ACK 메시지를 담은 이더넷 프레임을 받아 IP 데이터그램을 추출하고, IP 데이터그램에서 UDP 세그먼트를 추출한다. 그리고 UDP 세그먼트로부터 DHCP ACK 메시지를 추출한다. DHCP 클라이언트는 클라이언트의 IP 주소와 DNS 서버의 IP 주소를 기록한다. 또한 IP 포워딩 테이블(IP Forwarding Table)에 기본 게이트웨이의 주소를 설정한다. 그리고 클라이언트는 서브넷(68.85.2.0/24) 밖 디폴트 게이트웨이로 모든 데이터그램을 전송한다. 이때 클라이언트는 네트워킹 구성 요소를 초기화하고, 웹 페이지를 받아올 준비를 한다.

클라이언트가 브라우저에서 [www.google.com](http://www.google.com)과 같은 특정 URL을 입력하면, 여러 과정을 거쳐 구글의 홈페이지가 클라이언트의 웹 브라우저에 띄워질 것이다. 웹 브라우저는 [www.google.com](http://www.google.com)에 HTTP 요청을 보낼 TCP 소켓(Socket)을 만들기 시작하고, [www.google.com](http://www.google.com)의 IP 주소를 알아내야 한다. 이때 도메인 이름을 IP 주소로 변환하기 위해 DNS 프로토콜이 사용된다.

8. 클라이언트의 운영체제는 DNS 쿼리 메시지(DNS Query Message)를 만들고, DNS 메시지의 질의 섹션에 “[www.google.com](http://www.google.com)” 문자열을 집어넣는다. DNS 메시지는 수신지 53 포트(DNS 서버)로 향하는 UDP 세그먼트에 포함된다. UDP 세그먼트는 수신지 IP 주소(68.87.71.226), 발신지 IP 주소(68.85.2.101)와 함께 IP 데이터그램에 포함된다.

9. 클라이언트는 DNS 쿼리 메시지를 담은 데이터그램을 이더넷 프레임에 담는다. 이 프레임은 Bob의 학교 네트워크에 있는 게이트웨이 라우터(Gateway Router)에 보내질 것이다. 하지만, 클라이언트가 DHCP ACK 메시지를 통해 게이트웨이 라우터의 IP 주소(68.85.2.1)를 알아도 게이트웨이 라우터의 MAC 주소는 알지 못한다. 이를 알아내기 위해 클라이언트는 ARP 프로토콜을 사용해야 한다.

10. 클라이언트는 타겟 IP 주소와 함께 ARP 쿼리 메시지를 만든다. ARP 메시지는 브로드캐스트 수신지 주소와 함께 이더넷 프레임에 포함되며, 이더넷 프레임은 스위치로 전송된다. 이때 스위치는 게이트웨이

라우터를 포함해 연결되어 있는 모든 장비에 프레임을 전송한다.

11. 게이트웨이 라우터가 인터페이스를 통해 ARP 쿼리 메시지를 포함한 프레임을 받으면 타겟 IP 주소를 찾는다. 게이트웨이 라우터는 발신지 IP 주소에 대응하는 MAC 주소를 가리키는 ARP 응답을 준비한다. ARP 응답 메시지는 수신지 주소와 이더넷 프레임에 담기며, 프레임은 스위치로 전송된다. 스위치는 클라이언트에 프레임을 전송한다.

12. 클라이언트가 ARP 응답 메시지를 담은 프레임을 받고, ARP 응답 메시지에서 게이트웨이 라우터의 MAC 주소(00:22:6B:45:1F:1B)를 추출한다.

13. 클라이언트는 드디어 게이트웨이 라우터의 MAC 주소로 향하는 DNS 쿼리를 담은 이더넷 프레임을 얻게 되었다. 이 프레임의 IP 데이터그램은 수신지 IP 주소를 가지고 있는 한편, 프레임은 게이트웨이 라우터의 수신지 주소를 가지고 있다. 클라이언트는 이 프레임을 스위치로 보내고, 스위치는 게이트웨이 라우터에게 프레임을 전송하게 된다.

14. 게이트웨이 라우터는 프레임을 받고, DNS 쿼리를 담은 IP 데이터그램을 추출한다. 라우터는 데이터그램의 수신지 주소를 보고 포워딩 테이블에 따라 데이터그램을 보내야 할 Comcast 네트워크의 라우터를 결정한다. IP 데이터그램은 링크 레이어 프레임에 담겨 있으며, 학교의 라우터와 Comcast 라우터 사이의 링크를 통해 프레임이 전송된다.

15. Comcast 네트워크의 라우터가 프레임을 받고, IP 데이터그램을 추출해 수신지 주소(68.87.71.226)를 확인한다. 이어서 출력 인터페이스를 결정하고, Comcast의 Inter-domain Protocol에 따라 채워진 포워딩 테이블을 보고 데이터그램을 DNS 서버에 보낸다.

16. 결과적으로 IP 데이터그램은 DNS 쿼리를 갖고 DNS 서버에 도달한다. DNS 서버는 DNS 쿼리 메시지를 추출하고, DNS 데이터베이스에서 [www.google.com](http://www.google.com)와 [www.google.com](http://www.google.com)의 IP 주소를 담고 있는 DNS 리소스 레코드(DNS Resource Record)를 찾는다. 그리고 권한 DNS 서버(Authoritative DNS Server)의 캐시된 데이터를 재호출한다. DNS 서버는 호스트 이름을 IP 주소로 매핑한 데이터를 담은 DNS 응답 메시지를 만들고, DNS 응답 메시지를 UDP 세그먼트에 담는다. 세그먼트의 IP 데이터그램은 클라이언트의 주소를 가지고 있으며, 이 데이터그램은 Comcast 네트워크를 거쳐 학교 네트워크의 라우터로 갈 것이다.

17. 클라이언트는 DNS 메시지에서 [www.google.com](http://www.google.com)의 IP 주소를 추출한다. 이제 클라이언트는 [www.google.com](http://www.google.com)에 접속할 준비가 되었다.

18. 클라이언트는 HTTP GET 메시지를 보내기 위한 TCP 소켓을 만든다. 이때 클라이언트는 먼저

Three-way Handshake를 거쳐 [www.google.com](http://www.google.com)과 TCP 연결을 구축해야 한다. 클라이언트가 먼저 TCP SYN 세그먼트를 만들어 수신지 포트를 80 포트(HTTP)로 설정하고, 스위치에 프레임 전송한다. 이때 프레임은 수신지 MAC 주소(00:22:6B:45:1F:1B)를 가지고 있고, 그 안의 데이터그램은 수신지 IP 주소를 담은 TCP 세그먼트를 가지고 있다.

19. 서버넷의 라우터는 각자의 포워딩 테이블을 보고 TCP SYN을 담은 데이터그램을 [www.google.com](http://www.google.com)으로 보낸다. 이때 라우터는 라우터의 포워딩 테이블을 재호출해 DNS 서버의 네트워크와 구글의 네트워크 사이에 있는 도메인 내 링크를 통해 전송한다. 이때 BGP 프로토콜을 따라 판단한다.

20. 결과적으로 TCP SYN을 담은 데이터그램은 [www.google.com](http://www.google.com)에 도달한다. TCP SYN 메시지는 데이터그램에서 추출되고, 80 포트로 디멀티플렉스된다. 연결 소켓은 클라이언트와 구글 HTTP 서버 사이의 TCP 연결을 위해 생성되며, TCP SYNACK 세그먼트가 생성되면 클라이언트에게 전송된다.

21. TCP SYNACK 세그먼트를 담은 데이터그램은 클라이언트의 이더넷 카드에 도달한다. 데이터그램은 운영체제에서 디멀티플렉스되어 앞서 만들어진 TCP 소켓으로 가고, 연결 상태에 진입한다.

22. 클라이언트의 소켓은 [www.google.com](http://www.google.com)으로 바이트를 보낼 준비가 되었다. 클라이언트의 브라우저는 HTTP GET 메시지를 만들고, URL을 담는다. HTTP GET 메시지는 소켓에 쓰여 TCP 세그먼트의 페이로드가 된다. TCP 세그먼트는 데이터그램에 담기고, [www.google.com](http://www.google.com)으로 전송된다.

23. [www.google.com](http://www.google.com)의 HTTP 서버는 TCP 소켓에서 HTTP GET 메시지를 읽고, HTTP 응답 메시지를 만든다. HTTP 응답 메시지의 body에 요청받은 웹 페이지 콘텐츠를 담고, 메시지를 TCP 소켓으로 보낸다.

24. HTTP 응답 메시지를 담은 데이터그램은 구글과 DNS, 클라이언트 네트워크로 향하고, 클라이언트에 도달한다. 클라이언트의 브라우저 프로그램은 소켓의 HTTP 응답을 읽고, HTTP 응답의 body에서 html을 추출해 웹 페이지를 보여준다. 드디어 클라이언트의 화면에 웹 페이지가 띄워졌다.

이러한 시나리오는 실제 네트워킹의 많은 부분을 포괄한다. 만약 위 예시의 대부분을 이해했다면, 프로토콜이 실제로 어떻게 동작하는지 알게 된 것이다.