2026/08/06, 2026 네트워크 기초 세미나

TCP/IP 프로토콜

- 6장 IP 패킷의 전달과 포워딩, 7장 IPv4 -

서 진 우(jinwoo@pel.sejong.ac.kr)

세종대학교 프로토콜공학연구실

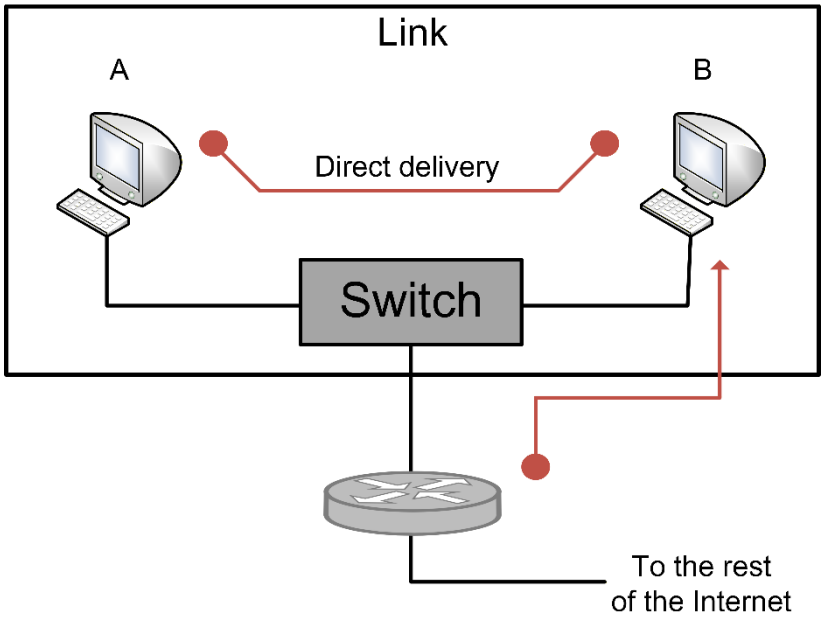
목 차

- IP 패킷의 전달과 포워딩
- IPv4

목 차

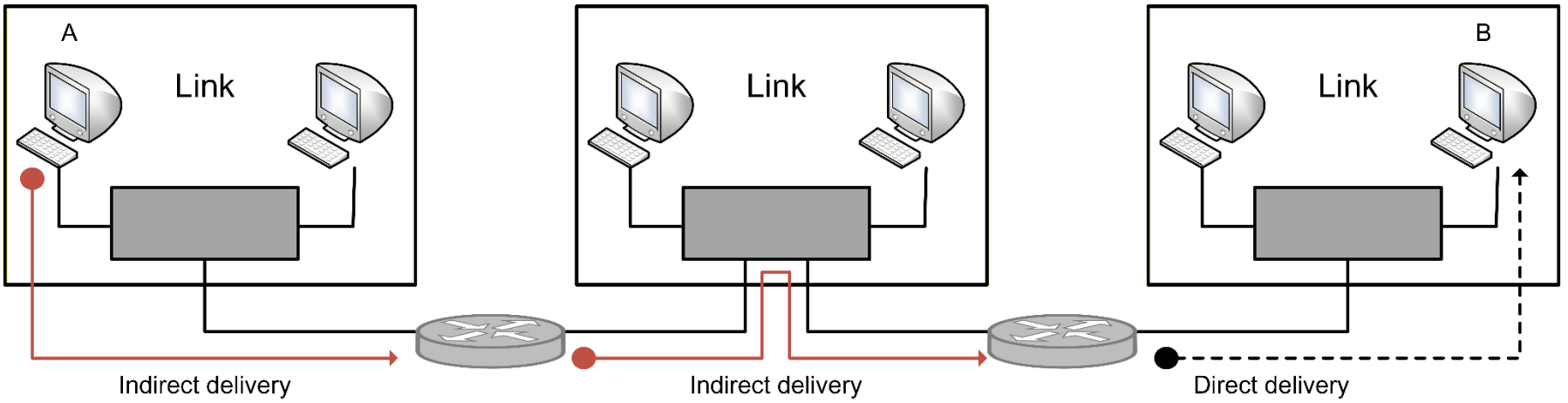
IP 주소의 전달과 포워딩

- IP 주소의 전달 방식
  - 종류 (1/2)
    - 직접 전달
      - 패킷의 최종 목적지가 출발지와 같은 물리 네트워크에 연결되어 있을 때 사용하는 방식
        - 마스크를 사용하여 목적지의 네트워크 주소를 추출하여 출발지와 비교



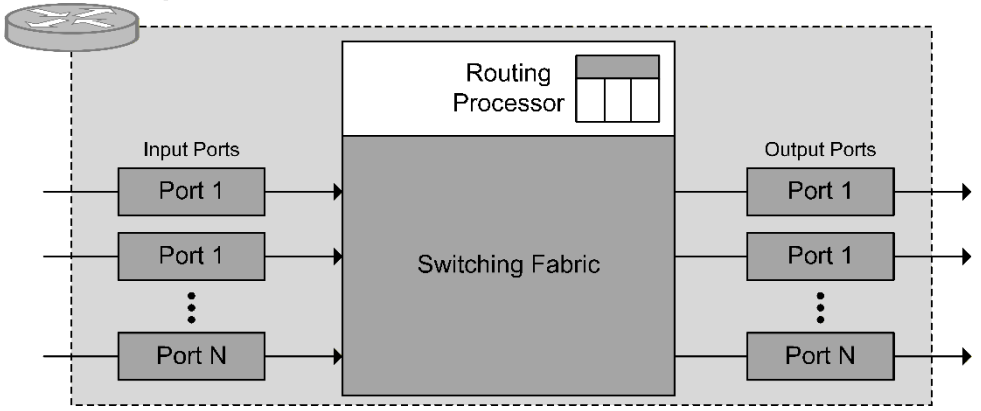
IP 주소의 전달과 포워딩

- IP 주소의 전달 방식
  - 종류 (2/2)
    - 간접 전달
      - 목적지 호스트가 출발지와 같은 물리 네트워크에 있지 않을 때 사용
      - 패킷은 최종 목적지와 같은 물리적인 네트워크에 연결된 라우터에 도달할 때까지 여러 라우터를 경유하여 전달



IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터
  - 정의
    - 둘 이상의 네트워크를 연결하고, 데이터 패킷이 목적지까지 최적의 경로를 지정해 주는 네트워크 장비
  - 구성 요소
    - 입력 포트(Input Port)
    - 출력 포트(Output Port)
    - 라우팅 처리기(Routing Processor)
    - 교환 조직(Switching Fabric)

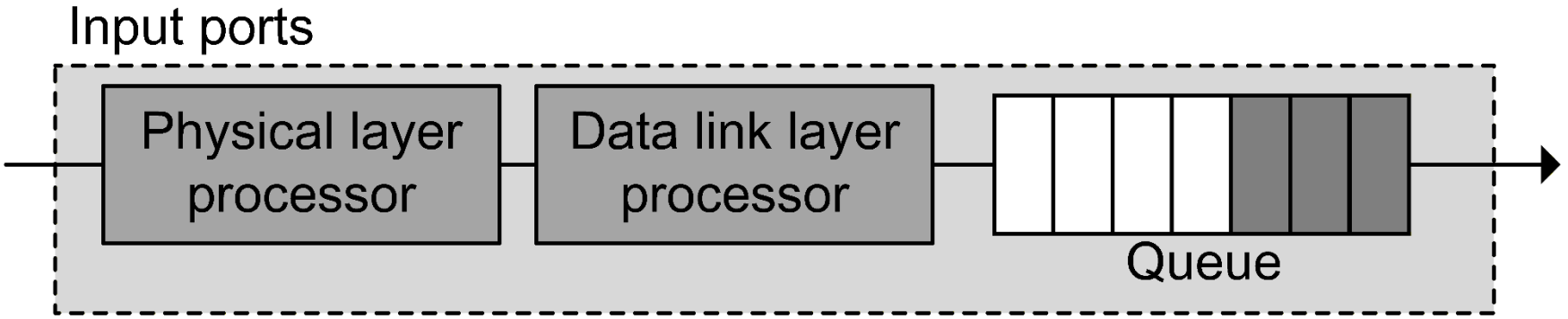


IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터의 구성 요소 (1/7)

*역캡슐화(Encapsulation)
TCP/IP 모델, OSI 모델에서 상위 계층으로 메시지를 변환하는 것.

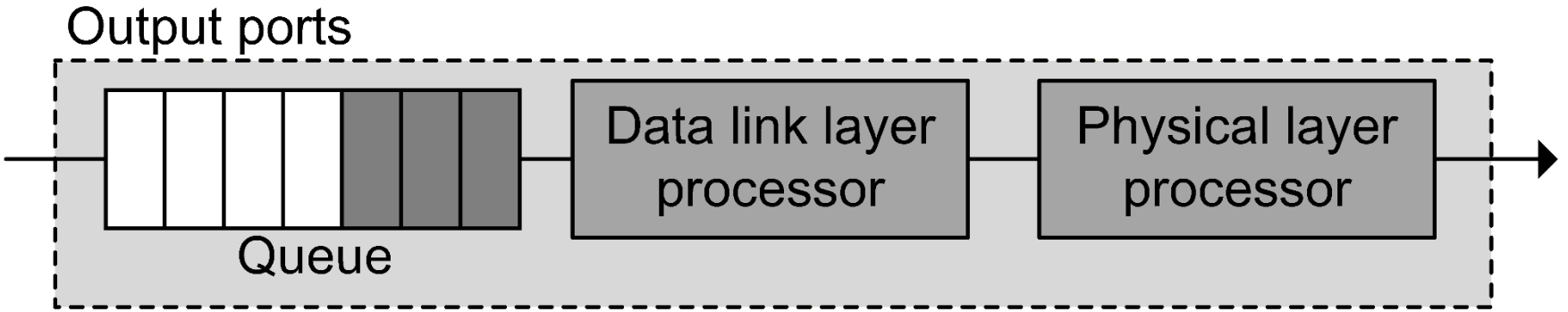
  - 입력 포트(Input Port)
    - 특징
      - 수집된 신호로부터 비트들이 만들어지고 프레임으로부터 패킷이 역캡슐화
      - 오류 탐지 및 수정
    - 구성
      - 물리 계층 프로세서, 데이터 링크 계층 프로세서, 큐



IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터의 구성 요소 (2/7)
  - 출력 포트(Output Port)
    - 특징
      - 입력 포트와 같은 기능을 수행하나 순서는 반대
      - 출력될 패킷이 큐에 들어오면 각 패킷을 프레임으로 캡슐화하여 전기 신호로 송신
    - 구성
      - 큐, 데이터 링크 계층 프로세서, 물리 계층 프로세서

*프레임(Frame)
데이터 링크 계층에서 데이터를 전송하기 위해 헤더와 트레일러를 붙인 데이터 단위.
*캡슐화(Capsulation)
TCP/IP 모델, OSI 모델에서 하위 계층으로 메시지를 변환하는 것.



IP 주소의 전달과 포워딩

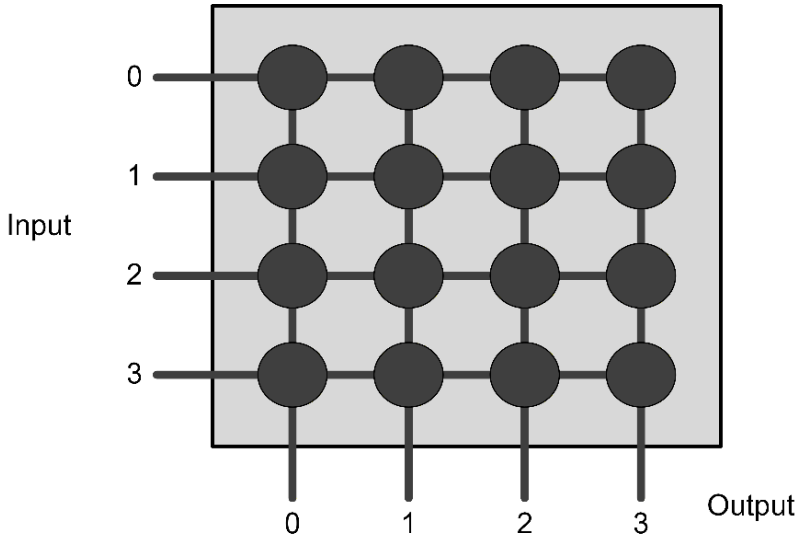
- 라우터의 구성 요소 (3/7)
  - 라우팅 처리기(Routing Processor)
    - 특징
      - 네트워크 계층의 기능을 수행하며 두뇌 담당
      - 패킷의 최적의 경로를 결정하고, 이를 기반으로 패킷을 적절한 인터페이스로 포워딩 담당
      - 패킷을 전송할 출력 포트번호와 다음 홉 주소를 찾기 위해 패킷의 주소를 참조

IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터의 구성 요소 (4/7)
  - 교환 조직(Switching Fabric)
    - 특징
      - 입력 큐에서 출력 큐로 패킷을 이동
      - 작업 수행 속도가 패킷 전달 전체 지연에 영향
      - 여러 유형에 따라 다른 방식으로 패킷을 전송
    - 종류
      - 크로스바 교환기(Cross-bar Switch)
      - 배년 교환기(Banyan Switch)
      - 배춰-배년 교환기(Batcher-Banyan Switch)

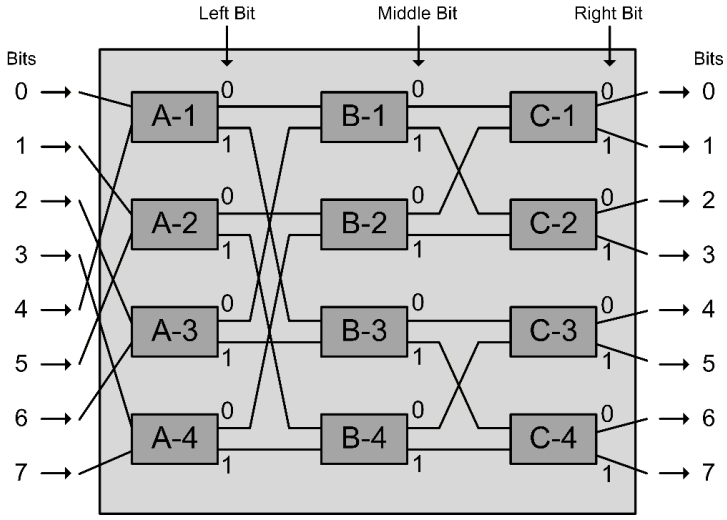
IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터의 구성 요소 (5/7)
  - 교환 조직(Switching Fabric)
    - 종류 (1/3)
      - 크로스바 교환기(Cross-bar Switch)
        - 입력과 출력을 격자 형태의 교차점(Crosspoint)으로 연결하는 구조
        - N개 입력, N개 출력이면 $N \times N$개의 교차점이 필요
        - N개 입력과 N개 출력이 격자로 교차하는 지점마다 크로스포인트를 두고, 원하는 입력-출력 쌍의 교차점만 닫아 연결
        - 장점
          - 동시에 여러 입출력 쌍 연결 가능
          - 낮은 지연
        - 단점
          - 교차점 수가 N제곱에 비례해 증가
          - 대규모 스위치 구현 시 비용과 복잡도 증가



IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터의 구성 요소 (6/7)
  - 교환 조직(Switching Fabric)
    - 종류 (2/3)
      - 배년 교환기(Banyan Switch)
        - 각 단계에 여러 개의 미세 교환기를 가지고 있는 다단계 교환기
        - 입력과 출력이 n개인 경우, $\log_2 n$개의 단계와 $\frac{n}{2}$의 미세 교환기
        - 목적지 주소에 따라 자체적으로 경로 결정, 별도 제어 로직 불필요
          - e.g., $n = 8$인 목적지 주소 3비트 형식일 경우, 각 자리별 비트에 따라 결정
        - 장점
          - 교차점 수가 $N \log N$에 비례
          - 크로스바 교환기보다 하드웨어 낮은 복잡도
        - 단점
          - 서로 다른 입력의 패킷이 내부 링크를 동시에 요구 시 충돌 및 블로킹 발생 가능

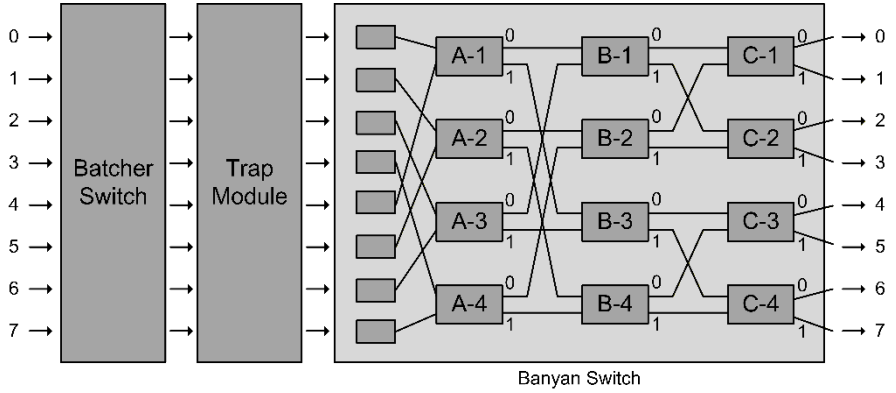


IP 주소의 전달과 포워딩

- 라우터의 구성 요소 (7/7)

*논블로킹(Non-Blocking)
데이터가 아직 준비되지 않아도 요청 직후 제어권을 바로 반환하여 프로그램이 멈추지 않고 다른 일을 할 수 있게 하는 입출력 방식

  - 교환 조직(Switching Fabric)
    - 종류 (3/3)
      - 배취-배년 교환기(Batcher-Banyan Switch)
        - 배년 교환기의 문제점을 해결
          - 배취 스위치(Batcher Switch)를 통해 입력 값들을 목적지 주소 기준으로 정렬
          - 트랩 모듈(Trap Module)을 통해 동일한 목적지를 가지고 있는 셀들에 대해 동시에 전송되지 않게 잡아두는 역할
        - 장점
          - 내부 충돌 문제 제거, 논블로킹(Non-Blocking) 동작 가능
        - 단점
          - 하드웨어 복잡도 추가



IP 주소의 전달과 포워딩

- 포워딩
  - 정의
    - 패킷을 목적지까지 전달하기 위해 다음 홉으로 전송하는 과정
  - 종류
    - 목적지 주소 기반 포워딩
      - IP가 비연결형 서비스로 사용될 때 수행
    - 레이블 기반 포워딩
      - IP가 연결형 서비스로 사용될 때 수행

IP 주소의 전달과 포워딩

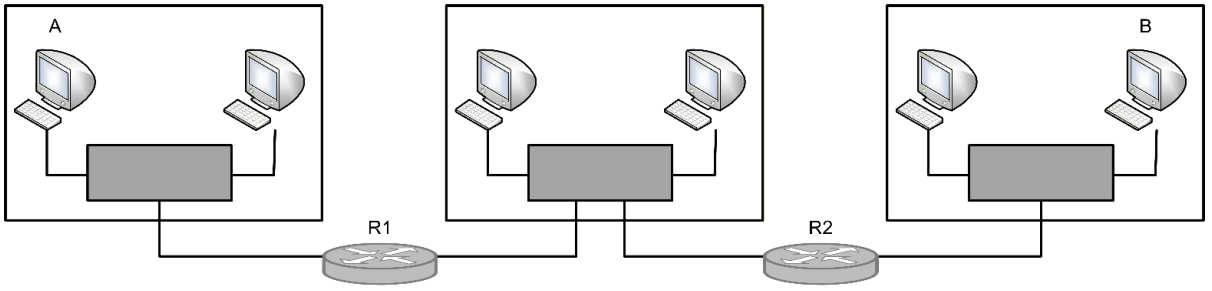
- 목적지 주소 기반 포워딩 (1/13)
  - 정의
    - 패킷의 목적지 주소를 기준으로 경로를 설정하는 포워딩
  - 특징
    - 목적지 주소를 기준으로 라우팅 테이블을 참조하여 다음 홉 결정
    - 호스트나 라우터는 패킷 전송 전 라우팅 테이블을 참조하여 다음 홉 결정
  - 문제점
    - 목적지 정보 증가에 따른 라우팅 테이블 크기 증가
    - 테이블 크기 증가로 인한 검색 효율 저하 등 문제 발생 가능

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (2/13)
  - 해결 방법
    - 라우팅 테이블 항목 구성 방식을 다르게 적용하여 테이블 크기 문제 해결
    - 네 가지 방법을 조합하여 테이블 크기 최소화
    - 방법
      - 다음 홉 방법
      - 네트워크 지정 방법
      - 호스트 지정 방법
      - 디폴트 방법

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (3/13)
  - 다음 홉 방법
    - 라우팅 테이블은 전체 경로에 대한 정보 대신 다음 홉 주소만 저장
      - 라우팅 테이블은 서로에 대한 일관성 유지 필요
        - e.g., (a)는 기존 방법, (b)는 다음 홉 방법



A

Destination	Route
Host B	R1, R2, Host B

R1

Destination	Route
Host B	R2, Host B

R2

Destination	Route
Host B	Host B

a. Routing tables based on route

A

Destination	Route
Host B	R1

R1

Destination	Route
Host B	R2

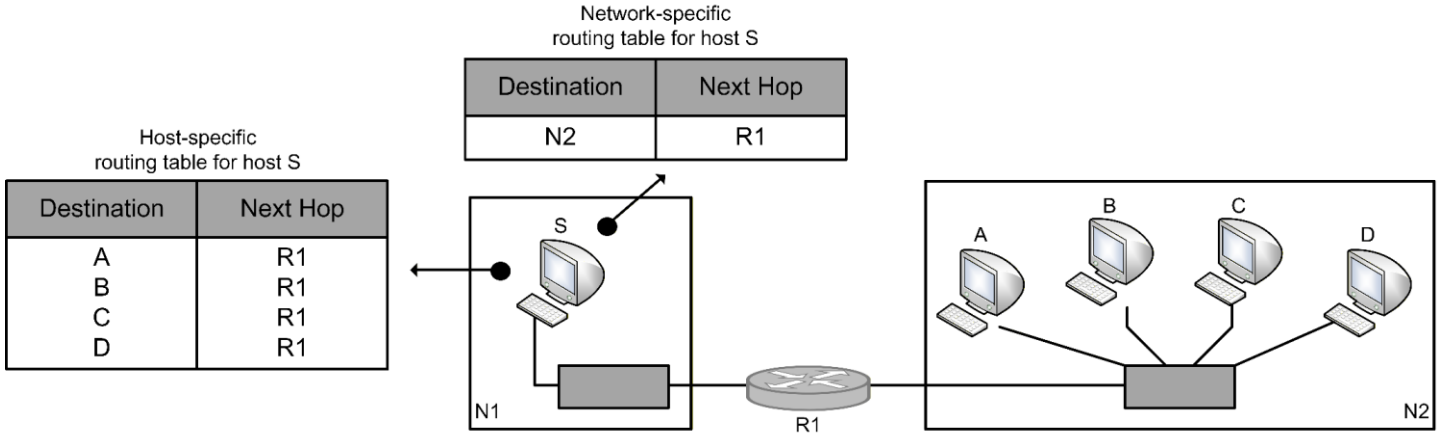
R2

Destination	Route
Host B	---

b. Routing tables based on next hop

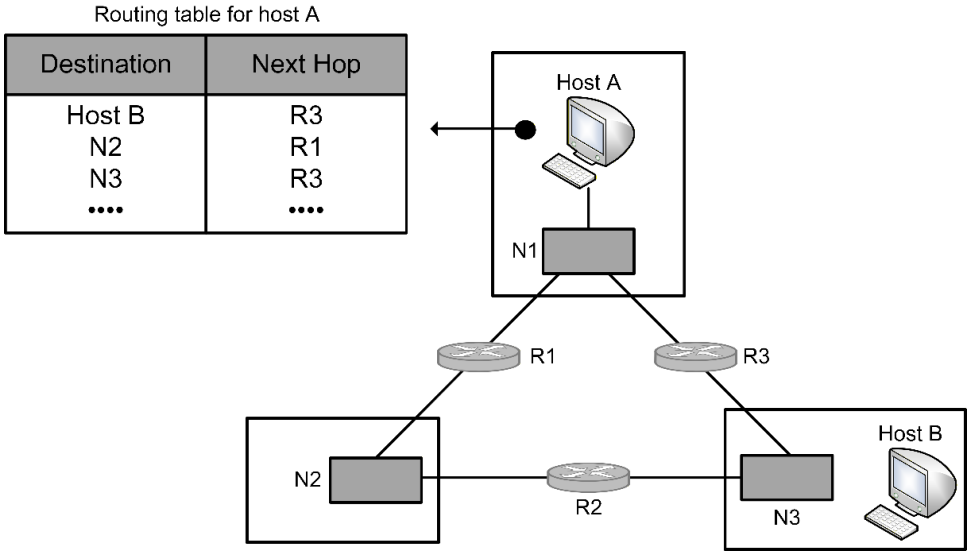
IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (4/13)
  - 네트워크 지정 방법
    - 같은 네트워크에 연결된 모든 호스트에 대해 각 호스트 별 엔트리를 갖는 대신 네트워크 자신의 주소를 정의하는 엔트리 하나만 소유
      - 같은 네트워크에 연결된 모든 호스트들은 하나의 엔티티로 취급
    - 대부분의 목적지에 대해 기본적으로 사용
    - 같은 네트워크에 속한 호스트들이 동일한 경로로 도달 가능할 때 사용



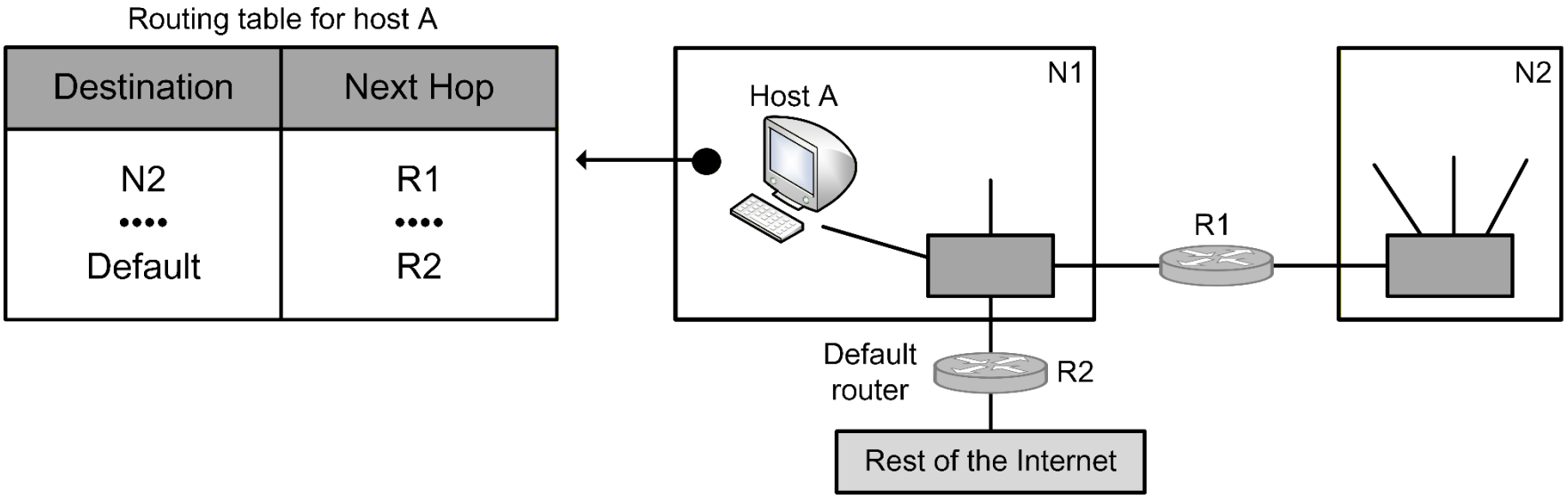
IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (5/13)
  - 호스트 지정 방법
    - 라우팅 테이블에 목적지 호스트 주소 저장
    - 경로를 점검하거나 보안성을 제공하기 위한 경우 사용
    - 관리자가 라우팅 테이블을 제어할 때 효율적
    - 특정 호스트 하나에 대해서만 예외적으로 다른 경로를 적용해야 할 때 사용



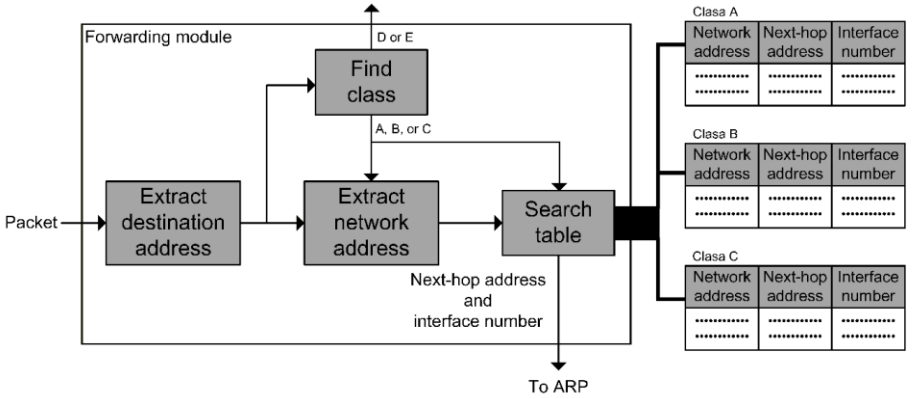
IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (6/13)
  - 디폴트 방법
    - 일부 목적지에 대한 엔트리를 따로 정의하고, 자주 보내지는 경로를 디폴트로 지정하는 방식
    - 정의되지 않은 나머지 모든 목적지는 디폴트 라우터로 전송



IP 주소의 전달과 포워딩

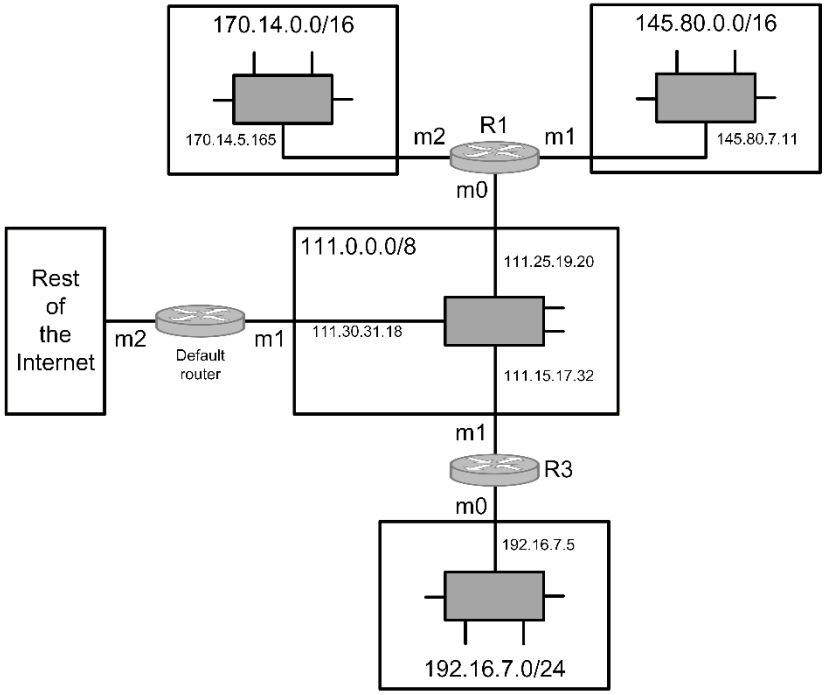
- 목적지 주소 기반 포워딩 (7/13)
  - 클래스기반 주소체계에서의 포워딩 (1/2)
    - 서브네팅(Subnetting)이 없는 경우의 포워딩
      - 동작 순서
        1. 패킷의 목적지 주소 추출
        2. 목적지 주소의 복사본을 오른쪽으로 28비트 이동하여 주소의 클래스 추출
           - 상위 4비트를 이용해 네트워크 ID와 호스트 ID 파악
           - 네트워크 주소 추출
        3. 클래스와 네트워크 주소를 사용하여 다음 홉 주소 파악
        4. 다음 홉 주소와 인터페이스번호를 ARP에게 전달
           - ARP는 브로드캐스트로 MAC 주소 파악



IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.1

그림 6.8은 가상의 네트워크를 보여준다. 라우터 R1의 라우팅 테이블을 보여라.



(그림 6.8)

정답)

Class A

Network address	Next-hop address	Interface
111.0.0.0	----------	m0

Class B

Network address	Next-hop address	Interface
145.80.0.0	----------	m1
170.14.0.0	----------	m2

Class C

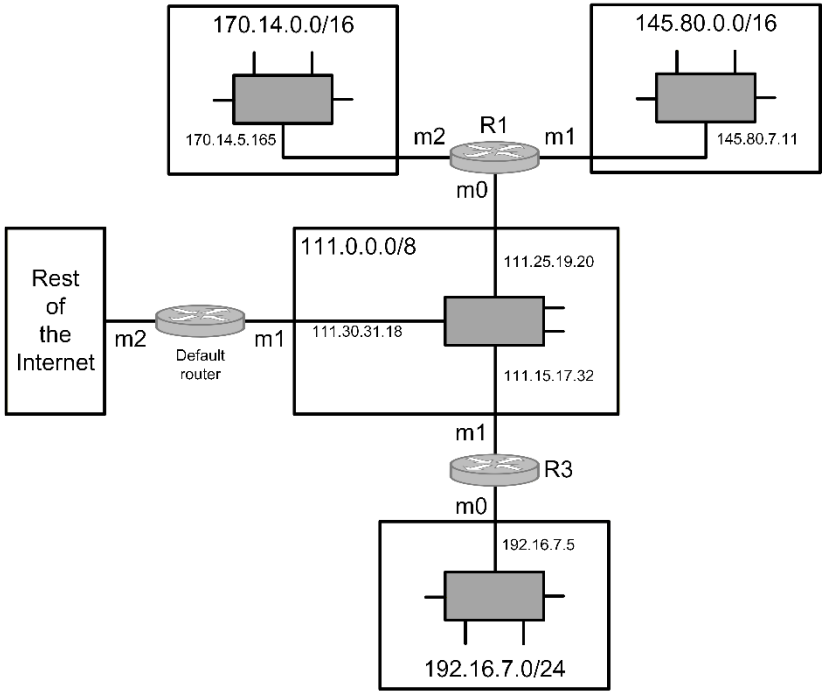
Network address	Next-hop address	Interface
192.16.7.0	111.15.17.32	m0

Default: 111.30.31.18, m0

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.2

그림 6.8에서 라우터 R1은 목적지 주소가 192.16.7.14인 패킷을 받았다. 패킷은 어떻게 포워딩 되는지 보여라.



(그림 6.8)

- 192.16.7.14 주소를 2진법으로 변환
  - $11000000\ 00010000\ 00000111\ 00001110_{(2)}$
- 주소의 복사본이 오른쪽으로 28비트 쉬프트
  - $00000000\ 00000000\ 00000000\ 00001100_{(2)}$
  - $12_{(10)}$
- 목적지 네트워크는 클래스 C
- 목적지 주소에서 왼쪽 24비트만 보면 192.16.7.0으로 클래스 C의 테이블이 탐색되고 첫 번째 줄에서 부합되는 엔트리가 발견

Class A

Network address	Next-hop address	Interface
111.0.0.0	----------	m0

Class B

Network address	Next-hop address	Interface
145.80.0.0	----------	m1
170.14.0.0	----------	m2

Class C

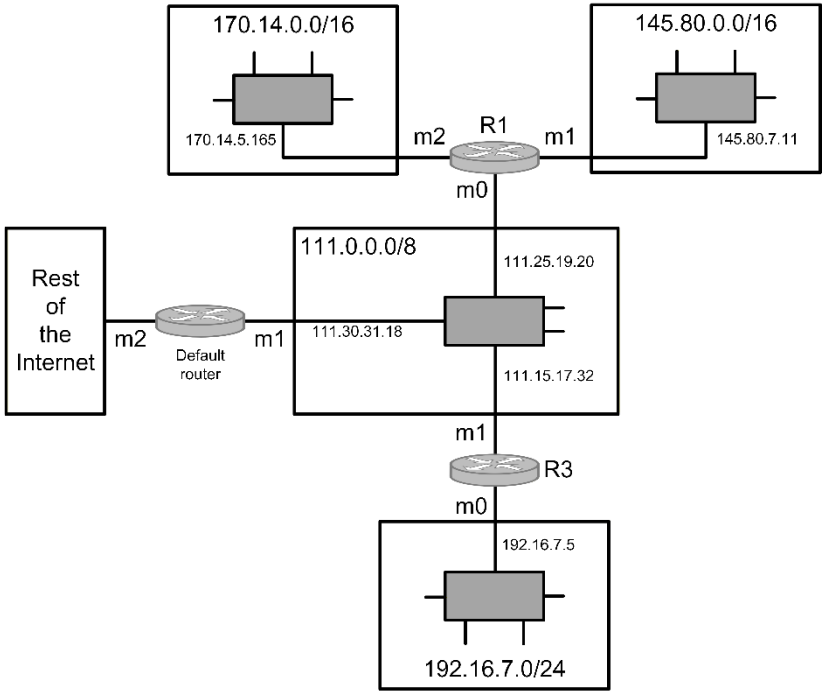
Network address	Next-hop address	Interface
192.16.7.0	111.15.17.32	m0

Default: 111.30.31.18, m0

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.3

그림 6.8에서 라우터 R1은 목적지 주소가 167.24.160.5인 패킷을 받았다. 패킷은 어떻게 포워딩 되는지 보여라.



(그림 6.8)

- 풀이
  - 167.24.160.5 주소를 2진법으로 변환
    - 10100111 00011000 10100000 00000101
  - 주소의 복사본이 오른쪽으로 28비트 쉬프트
    - 00000000 00000000 00000000 00001010$_{(2)}$
    - 10$_{(10)}$
  - 목적지 네트워크는 클래스 B
  - 목적지 주소에서 왼쪽 16비트만 보면 167.24.0.0으로 클래스 B의 테이블이 탐색되지만 부합되는 엔트리 발견 실패
  - 목적지 네트워크는 인터넷상에 위치하므로 패킷은 디폴트 라우터에게 전달
  - 다음 홉 주소 111.30.31.18과 인터페이스 번호 m0가 ARP에게 전달되어, MAC 주소를 알아낸 후 프레임을 전송

Class A

Network address	Next-hop address	Interface
111.0.0.0	----------	m0

Class B

Network address	Next-hop address	Interface
145.80.0.0	----------	m1
170.14.0.0	----------	m2

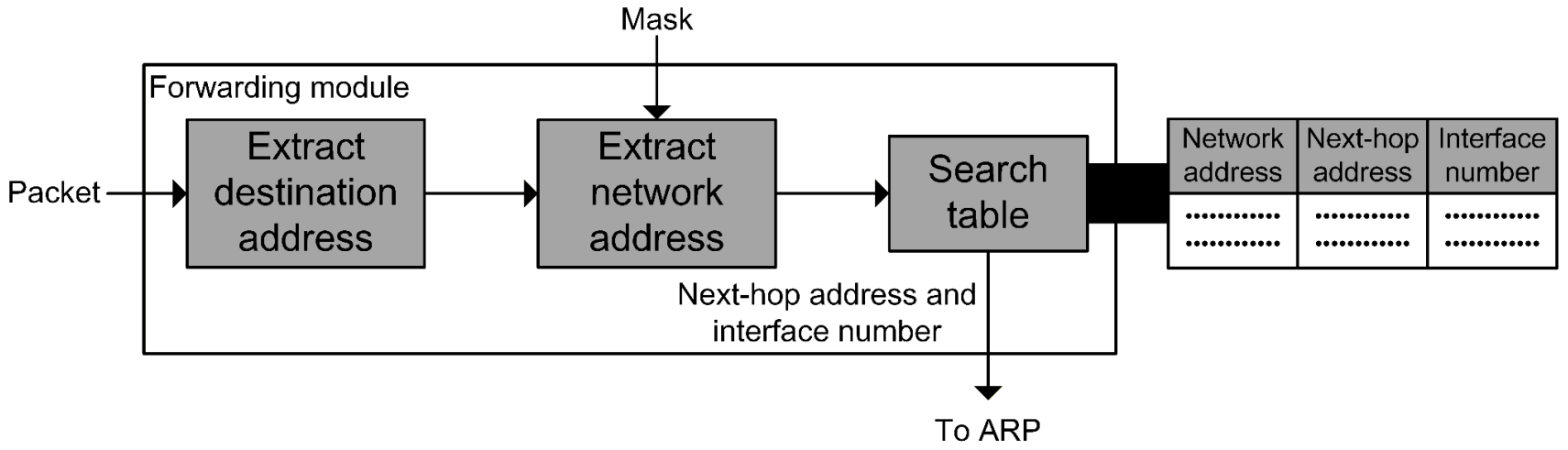
Class C

Network address	Next-hop address	Interface
192.16.7.0	111.15.17.32	m0

Default: 111.30.31.18, m0

IP 주소의 전달과 포워딩

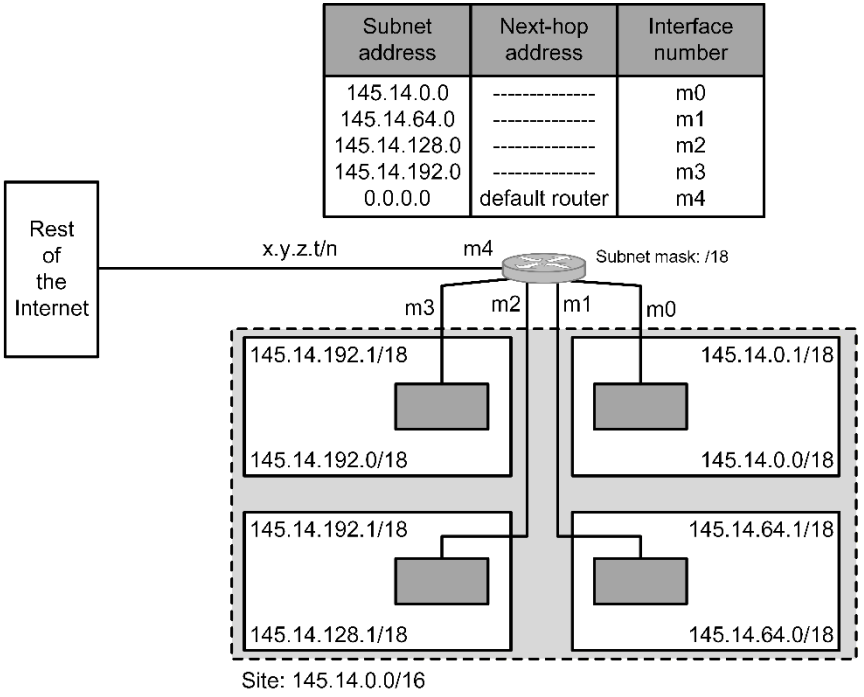
- 목적지 주소 기반 포워딩 (8/13)
  - 클래스기반 주소체계에서의 포워딩 (2/2)
    - 서브네팅(Subnetting)이 있는 경우의 포워딩
      - 동작 순서
        1. 목적지 주소를 추출
        2. 목적지 주소와 서브넷 마스크를 사용하여 서브넷 주소를 추출
        3. 테이블에서 서브넷 주소를 탐색하여 다음 홉 주소와 인터페이스 번호 추출
        4. 다음 홉 주소와 인터페이스 번호를 ARP에게 전달
        5. ARP는 브로드캐스트로 MAC 주소 파악



IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.4

그림 6.11의 라우터가 목적지 주소가 145.14.32.78인 패킷을 받았다. 패킷은 어떻게 포워딩되는지 보여라.



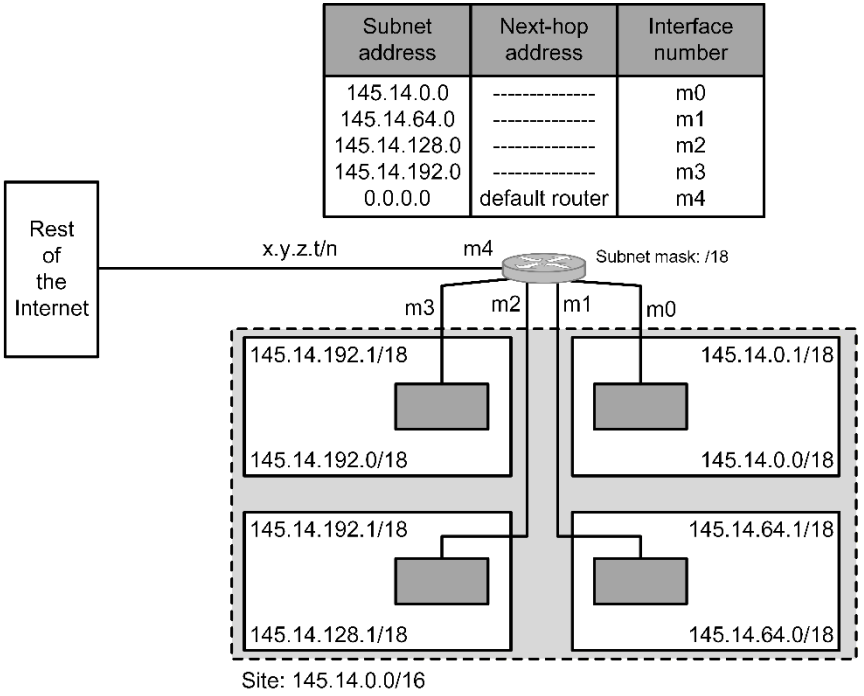
(그림 6.11)

- 풀이
  - 마스크는 /18
  - 마스크를 적용한 서브넷 주소는 145.14.0.0
  - 테이블 탐색 결과
    - 인터페이스 m0
    - 다음 홉 주소는 목적지 주소(145.14.32.78)
  - 다음 홉 주소 145.14.32.78과 인터페이스 m0가 ARP에게 전달
  - ARP는 브로드캐스트로 MAC 주소 파악

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.5

그림 6.11에서 145.14.0.0 네트워크 내의 호스트가 주소 7.22.67.91인 호스트에 보낼 패킷을 가지고 있다. 패킷은 어떻게 전달되는지 보여라.

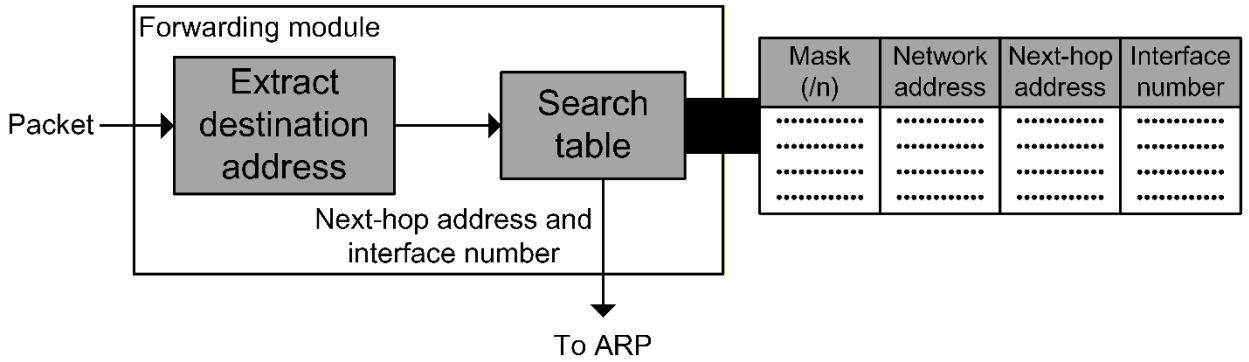


(그림 6.11)

- 풀이
  - 라우터는 패킷을 받아 마스크 /18을 적용
  - 네트워크 주소 7.22.64.0
  - 테이블을 탐색하지만 실패
  - 라우터는 디폴트 라우터의 주소를 사용하여 패킷을 라우터에 전송
    - ARP는 같은 로컬 네트워크(같은 서브넷) 안에 있는 호스트의 MAC 주소를 알아낼 때 사용

IP 주소의 전달과 포워딩

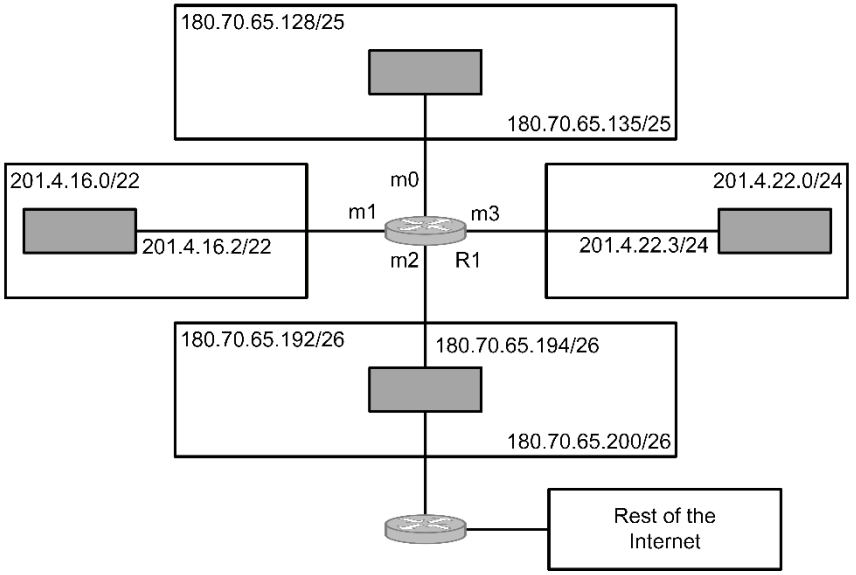
- 목적지 주소 기반 포워딩 (9/13)
  - 클래스없는 주소체계에서의 포워딩 (1/4)
    - 정의
      - 가변 길이의 서브넷 마스크를 사용하여 네트워크를 구분하여 포워딩하는 방식
    - 문제점
      - 클래스 기반 주소 체계와 달리, 목적지 주소만으로는 네트워크 주소를 파악하기 어려움
    - 해결책
      - 주소 표현 시 마스크(/n)를 포함하는 열 추가



IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.7

그림 6.13의 구성을 사용하여 라우터 R1의 라우팅 테이블을 만들라



(그림 6.13)

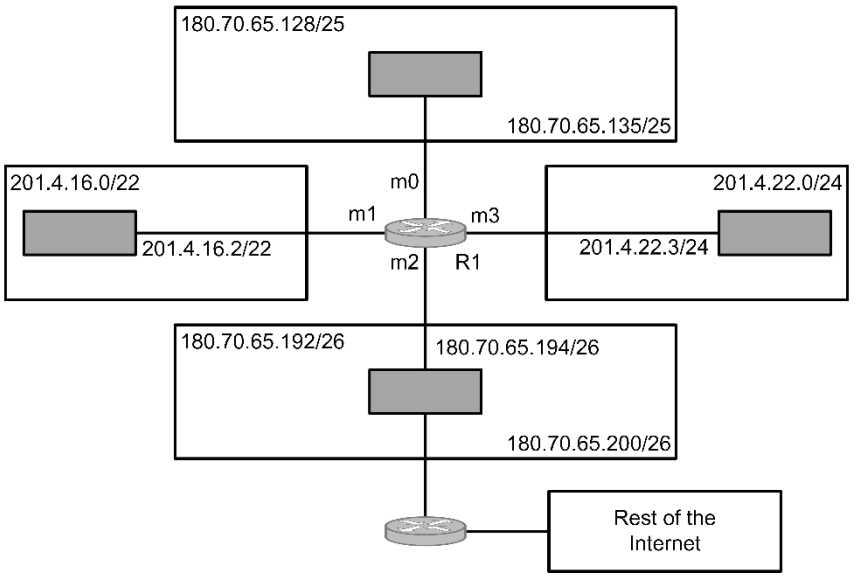
- 풀이

Mask	Network address	Next Hop	Interface
/26	180.70.65.192	-	m2
/25	180.70.65.128	-	m0
/24	201.4.22.0	-	m3
/22	201.4.16.0	….	m1
Default	Default	180.70.65.200	m2

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.8

그림 6.13에서 R1에 목적지 주소가 180.70.65.140인 패킷이 도착한 후의 포워딩 과정을 설명하라



(그림 6.13)

- 풀이
  - 목적지 주소에 첫 번째 마스크 /26 적용
    - 결과는 180.70.65.192
      - 해당하는 네트워크 주소와 모순
  - 목적지 주소에 두 번째 마스크 /25 적용
    - 결과는 180.70.65.128
      - 해당하는 네트워크 주소와 부합
      - 다음 홉 주소와 인턴페이스 번호 m0이 ARP에 전달

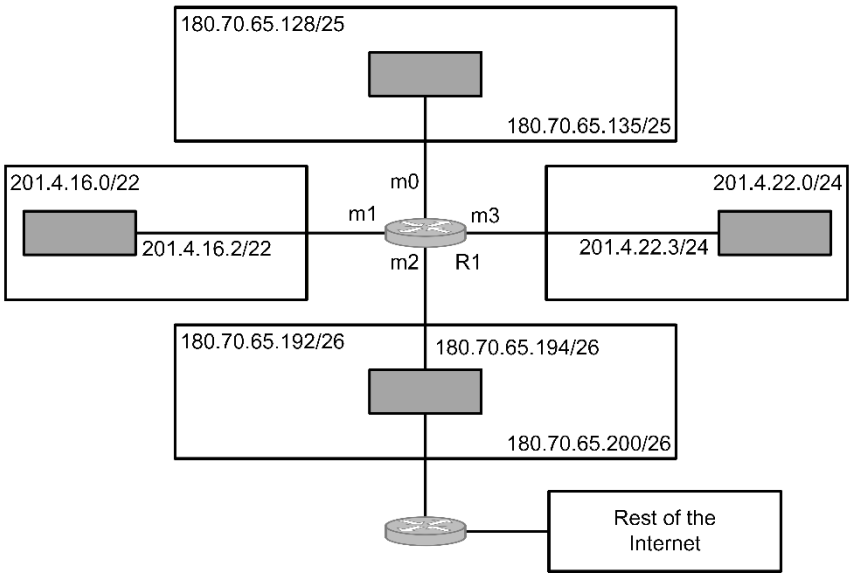
R1 라우팅 테이블

Mask	Network address	Next Hop	Interface
/26	180.70.65.192	-	m2
/25	180.70.65.128	-	m0

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.9

그림 6.13에서 R1에 목적지 주소가 201.4.22.35인 패킷이 도착하면 이 패킷이 어떻게 처리되는지 보여라



(그림 6.13)

- 풀이
  - 첫 번째 마스크부터 차례대로 적용
  - 세 번째 마스크인 /24 적용
    - 201.4.22.0으로 R1 라우팅 테이블의 주소와 동일

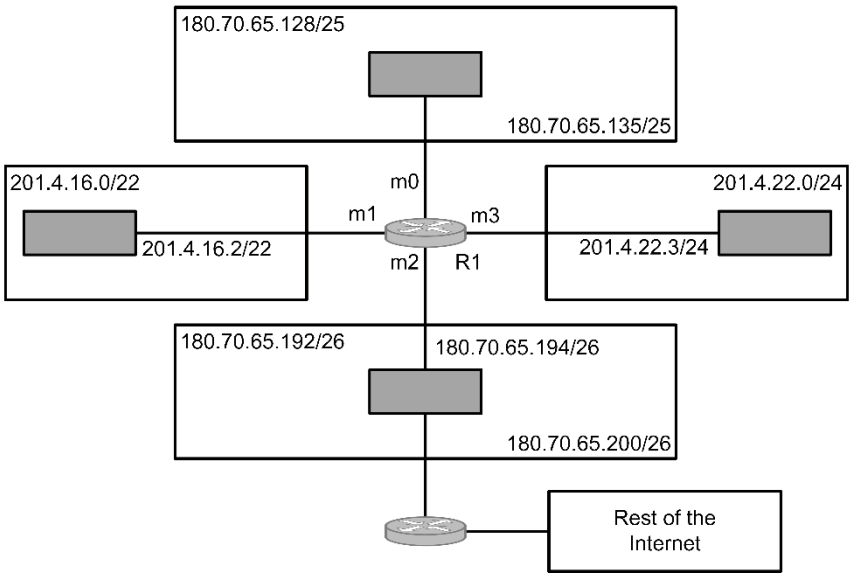
R1 라우팅 테이블

Mask	Network address	Next Hop	Interface
/26	180.70.65.192	-	m2
/25	180.70.65.128	-	m0
/24	201.4.22.0	-	m3

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.10

그림 6.13에서 R1에 목적지 주소가 18.24.32.78인 패킷이 도착하면 이 패킷이 어떻게 처리되는지 보여라



(그림 6.13)

- 풀이
  - 목적지 주소에 모든 마스크가 적용되지만 라우팅 테이블의 주소와는 부합하지 않음
  - 테이블 끝에 도달 시
    - 다음 홉 주소 180.70.65.200과 인터페이스 번호 m2를 ARP에 전달

R1 라우팅 테이블

Mask	Network address	Next Hop	Interface
/26	180.70.65.192	-	m2
/25	180.70.65.128	-	m0
/24	201.4.22.0	-	m3
/22	201.4.16.0	….	m1
Default	Default	180.70.65.200	m2

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩
  - 예제 6.11

라우팅 테이블의 내용만을 알면 라우터의 구성을 알 수 있을 건인가? 라우터 R1의 라우팅 테이블이 표 6.2에 주어져 있다. 토폴로지를 그릴 수 있는가?

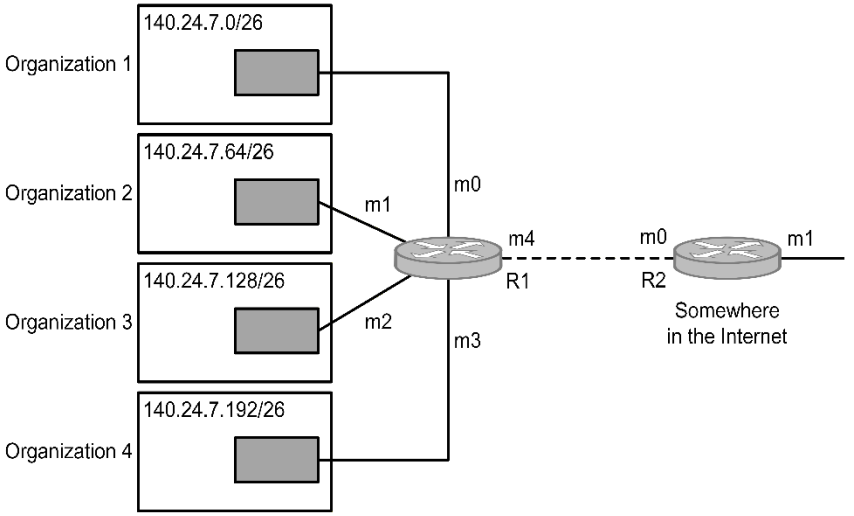
Mask	Network address	Next Hop	Interface
/26	140.6.12.64	180.14.2.5	m2
/24	130.4.8.0	190.17.6.2	m1
/16	110.70.0.0	----------	m0
/16	180.14.0.0	----------	m2
/16	190.17.0.0	----------	m1
Default	Default	110.70.4.6	m0

(표 6.2)

- 풀이
  - 라우팅 테이블 만으로는 토폴로지에 대한 일부 정보만 알 수 있으며 모든 정보는 불가능
  - R1 인터페이스: m0, m1, m2
    - 세 개의 네트워크에 직접 연결

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩(10/13)
  - 클래스없는 주소체계에서의 포워딩 (2/4)
    - 주소 집단화(Address Aggregation)
      - 정의
        - 여러 개의 작은 네트워크 주소를 하나의 큰 엔트리로 묶어 라우팅 테이블 크기를 줄이는 기법
      - 특징
        - 라우팅 테이블의 크기 증가 및 탐색 시간 증가 문제를 해결하기 위해 사용



Mask (/n)	Network address	Next-hop address	Interface number
/26	140.24.7.0	----------	m0
/26	140.24.7.64	----------	m1
/26	140.24.7.128	----------	m2
/26	140.24.7.192	----------	m3
/0	0.0.0.0	default router	m4

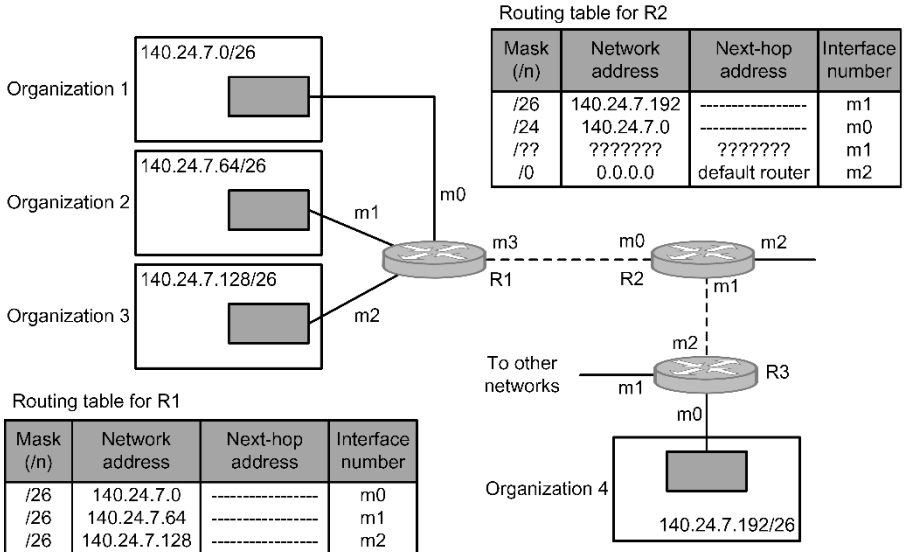
Routing table for R1

Mask (/n)	Network address	Next-hop address	Interface number
/24	140.24.7.0	----------	m0
/0	0.0.0.0	default router	m1

Routing table for R2

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (11/13)
  - 클래스없는 주소체계에서의 포워딩 (3/4)
    - 가장 긴 마스크 부합(Longest Mask Switching)
      - 정의
        - 여러 마스크가 동시에 일치할 경우, 가장 긴 마스크를 우선 적용하는 라우팅 규칙
      - 특징
        - 라우팅 테이블이 가장 긴 마스크에서 가장 짧은 마스크 순으로 정렬
          - e.g., /27, /26, /24 순



Routing table for R1

Mask (/n)	Network address	Next-hop address	Interface number
/26	140.24.7.0	----------	m0
/26	140.24.7.64	----------	m1
/26	140.24.7.128	----------	m2
/0	0.0.0.0	default router	m3

Routing table for R2

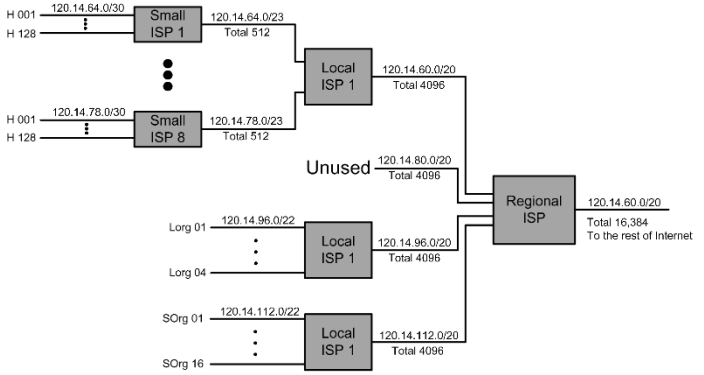
Mask (/n)	Network address	Next-hop address	Interface number
/26	140.24.7.192	----------	m1
/24	140.24.7.0	----------	m0
/??	???????	???????	m1
/0	0.0.0.0	default router	m2

Routing table for R3

Mask (/n)	Network address	Next-hop address	Interface number
/26	140.24.7.192	----------	m0
/??	???????	???????	m1
/0	0.0.0.0	default router	m2

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (12/13)
  - 클래스없는 주소체계에서의 포워딩 (4/4)
    - 계층적 라우팅(Hierarchical Routing)
      - 정의
        - 백본, 지역 ISP, 로컬 ISP처럼 계층 구조로 네트워크를 나누어 라우팅하는 방식
      - 특징
        - 인터넷 구조와 같이 계층 구조의 개념을 반영
        - 상위 계층으로 갈수록 더 큰 주소 블록을 하나의 엔트리로 요약 가능



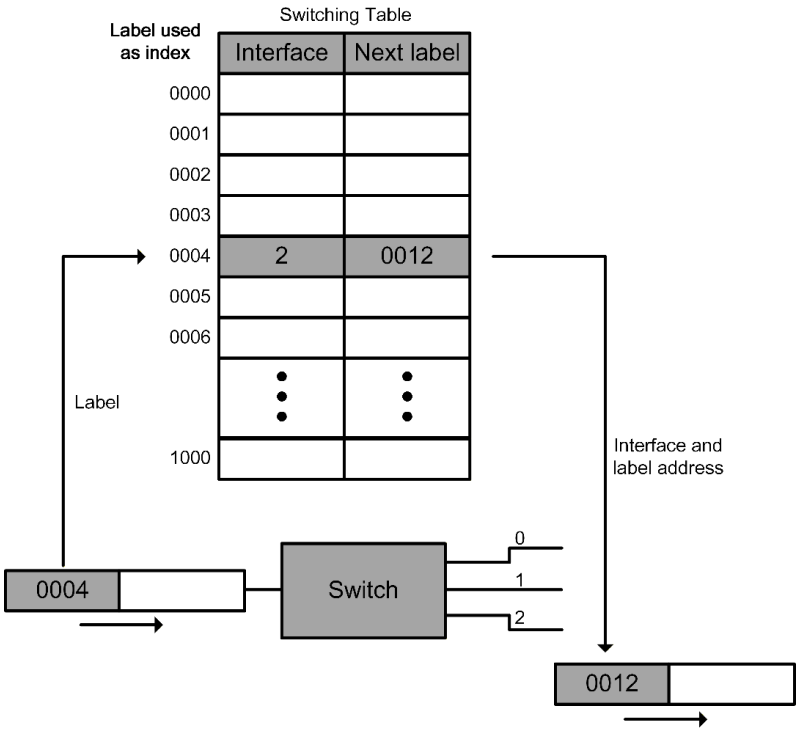
    - 지리적 라우팅(Geographical Routing)
      - 정의
        - 계층적 라우팅의 개념을 지리적 단위(대륙/국가 등)로 확장한 라우팅 방식
      - 특징
        - 전체 주소 공간을 대륙 단위의 큰 블록으로 분할
        - 외부 ISP는 각 대륙에 대해 단 하나의 엔트리만으로 라우팅 가능

IP 주소의 전달과 포워딩

- 목적지 주소 기반 포워딩 (13/13)
  - 라우팅 테이블 탐색 알고리즘
    - 클래스기반 주소체계에서의 탐색
      - 라우팅 테이블은 리스트 구조
      - 동작 원리
        1. 라우팅 테이블은 각 클래스 당 한 개씩 전부 세 개의 테이블로 분할
        2. 패킷이 도착하면 라우터는 네트워크 마스크를 적용하여 해당하는 테이블 탐색
    - 클래스없는 주소체계에서의 탐색
      - 가장 긴 부합 방법(longest Prefix Match)
      - 동작 원리
        1. 라우팅 테이블은 각 프리픽스 별로 한 개씩 정의된 여러 개의 테이블로 분할
        2. 라우터는 먼저 가장 긴 프리픽스 시도
        3. 만약 목적지 주소가 이 테이블 내에 발견되면, 탐색 종료
        4. 만약 발견되지 않는다면, 다음 프리픽스 탐색

IP 주소의 전달과 포워딩

- 레이블 기반 포워딩 (1/3)
  - 정의
    - 연결형 네트워크에서 패킷에 부착된 레이블(Label)을 기반으로 목적지를 결정하는 포워딩
  - 특징
    - 스위칭 테이블(Switching Table) 기반 포워딩
      - 기존 라우팅 테이블 대신 레이블을 사용하는 스위칭 테이블 사용
    - 인덱스 기반의 접근 방식
      - 패킷에 부착된 고정 길이의 레이블 번호 자체를 테이블의 배열 인덱스로 활용

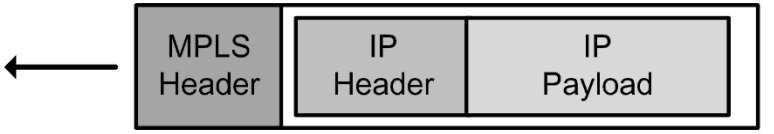


IP 주소의 전달과 포워딩

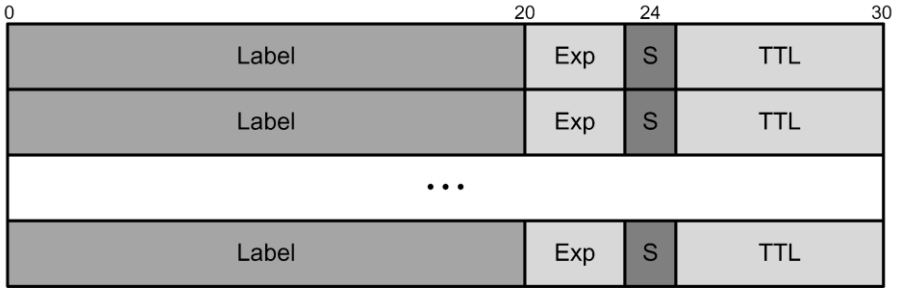
- 레이블 기반 포워딩 (2/3)

*루핑(ILooping)
패킷이 네트워크 상에서 목적지에 도달하지 못하고 끝없이 순환하는 현상.

  - MPLS (Multi-Protocol Label Switching) (1/2)
    - 정의
      - IP 헤더와 IP 페이로드로 구성된 기존 패킷에 MPLS 헤더를 추가하는 포워딩 방식
    - 헤더구조



      - Label
        - 20비트로, 라우터 내 라우팅 테이블의 인덱스로 사용
          - 16~1,048,561 사용 가능
        - 탐색 없이 직접 접근 가능
      - Exp (Experimental field)
        - 3비트로, 패킷의 우선순위 지정
      - S (Bottom-of-Stack)
        - 1비트로, 레이블을 중첩하여 사용할 경우 사용되는 필드
        - 0과 1 중 하나로, 값이 1이면 마지막 레이블임을 표시
      - TTL (Time-To-Live)
        - 8비트로, 루핑 방지용도 사용되는 값



IP 주소의 전달과 포워딩

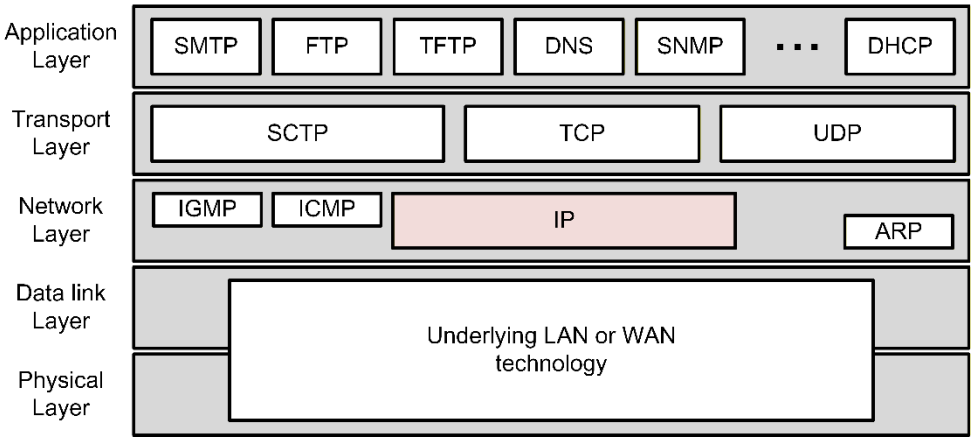
- 레이블 기반 포워딩 (3/3)
  - MPLS (Multi-Protocol Label Switching) (2/2)
    - 특징
      - 라우팅 테이블 크기 감소
        - 레이블(Label)을 인덱스로 직접 접근하므로 IP 목적지 탐색 과정 생략
        - 다수 목적지를 하나의 레이블 경로로 묶어 관리 가능
      - 효율성 증가
        - IP 헤더 분석 및 경로 재탐색 없이, 미리 설정된 레이블 경로로 즉시 전달
        - 트래픽 상황에 따라 경로를 유연하게 재설정 가능
      - 다양한 네트워크 환경에서 사용 가능
        - Exp 필드로 트래픽별 QoS를 차등 적용하여 지연에 민감한 트래픽과 일반 트래픽을 하나의 망에서 함께 서비스
        - S 필드로 레이블을 여러 겹 쌓아 여러 목적을 동시에 처리 가능
          - e.g., 고객 구분과 경로 제어를 각각의 레이블로 동시 수행

목 차

- IP 패킷의 전달과 포워딩
- IPv4

IPv4

- 인터넷 프로토콜(IP, Internet Protocol)
  - 정의
    - 네트워크 계층에서 TCP/IP 프로토콜이 사용하는 전송 메커니즘
  - 특징
    - 비연결형 데이터그램 프로토콜
      - 패킷마다 독립적으로 처리되며 사전 경로 설정 없음
      - 최선의 노력(Best Effort) 전달만 수행하며 신뢰성 보장하지 않음
    - 네트워크 상황에 따라 오류, 분실, 순서 역전, 지연 등 발생 가능

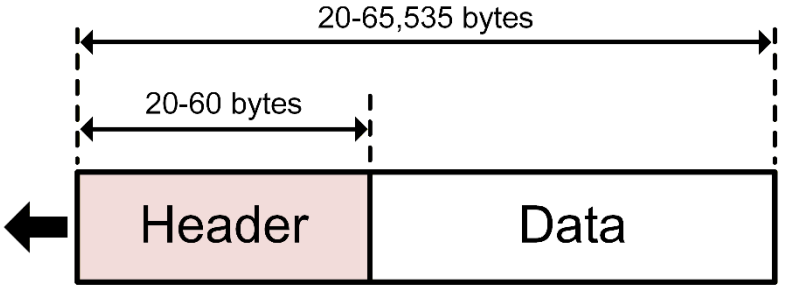


*SMTP: Simple Mail Transfer Protocol
*FTP: File Transfer Protocol
*TFTP: Trivial File Transfer Protocol
*DNS: Domain Name System
*SNMP: Siple Network Management Protocol
*DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

*SCTP: Stream Control Transmission Protocol
*TCP: Transmission Control Protocol
*UDP: User Datagram Protocol
*IGMP: Internet Group Management Protocol
*ICMP: Internet Control Message Protocol
*ARP: Address Resolution Protocol

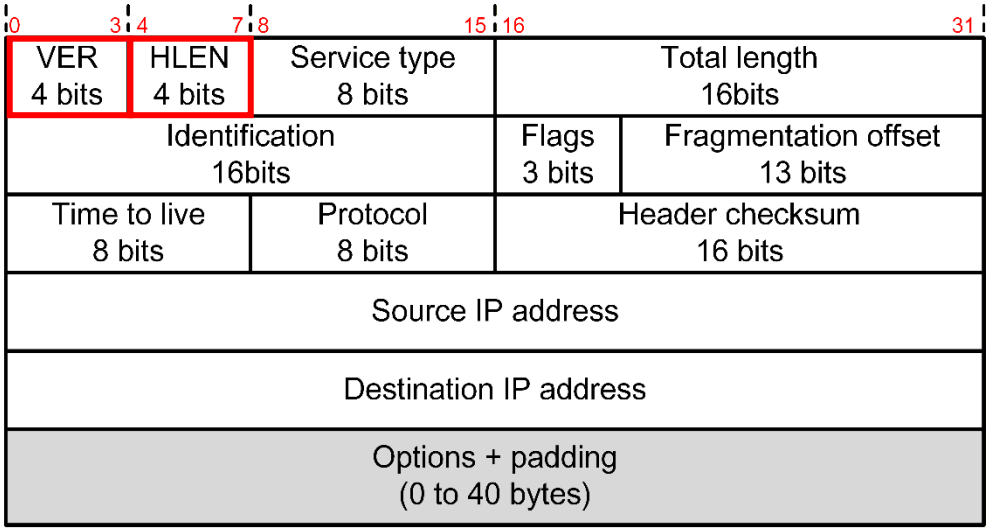
IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 정의
    - 패킷 교환 네트워크에서 독립적으로 전송되는 데이터의 기본 단위
  - 특징
    - 가변 길이이며, 헤더와 데이터로 구분
      - 헤더는 기본 20바이트이며, 옵션 포함 시 최대 60바이트로 구성
        - 라우팅과 전달에 필요한 정보 포함
        - e.g., 경로 기록, 타임스탬프, 소스 라우팅, 라우터 경고
      - 데이터는 헤더에 따라 0~65,515바이트로 구성
        - 상위 계층에서 내려온 데이터



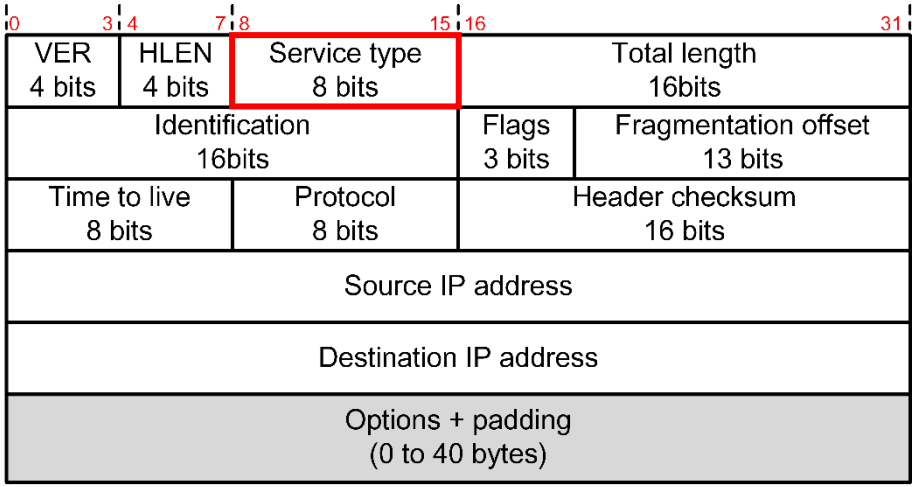
IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (1/14)
    - 버전(VER, VERsion)
      - IP 프로토콜 버전 의미
        - e.g., 0100으로 IPv4를 나타냄
    - 헤더 길이(HLEN, Header LENgth)
      - 데이터그램 헤더의 전체 길이를 4바이트 단위로 나타냄
        - e.g., 헤더에 옵션이 없다면 20바이트이므로 필드의 값은 5($5 \times 4 = 20$)



IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (2/14)
    - 서비스 유형(Service Type) (1/2)
      - IP 헤더의 초기 설계
        - TOS (Type Of Service)이라 불림
        - 데이터그램이 어떻게 처리되어야 하는가를 의미
        - 3비트
          - 0~7단계로 패킷의 중요도를 결정하며 값이 클수록 높은 우선순위
        - 4비트
          - TOS 조건으로 서비스의 품질 요구사항 지정
        - 1비트
          - 사용하지 않고 0으로 고정



IPv4

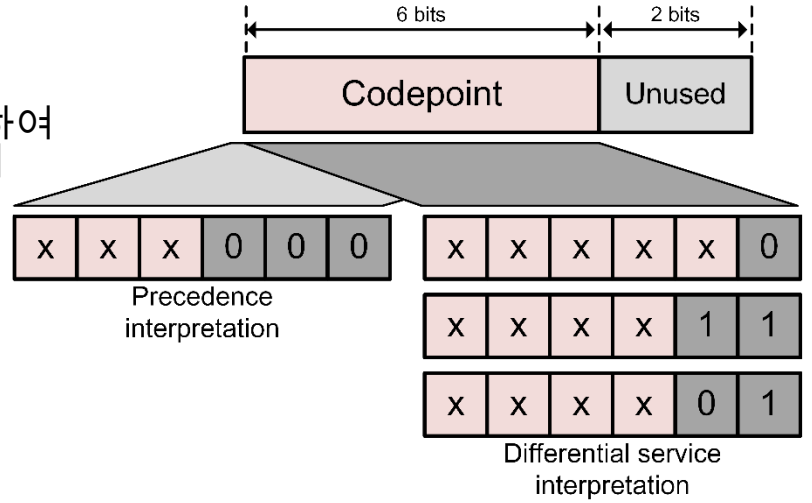
- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (3/14)
    - 서비스 유형(Service Type) (2/2)
      - IETF(Internet Engineering Task Force)의 의미 수정
        - 현재 차별화 서비스(Differentiated Service)의 집합이라 불림
        - 6비트는 코드포인트(Codepoint) 필드이며, 마지막 2비트는 사용하지 않음

        - 코드포인트(Codepoint)에 따른 분류
          - 오른쪽 세 비트가 0일 경우
            - 왼쪽 세 비트는 우선순위 의미(0~7)
          - 오른쪽 세 비트가 모두 0이 아닐 경우
            - 표1과 같이 인터넷이나 지역 당국에 의하여 부여된 우선순위에 따라 56(64-8)가지의 서비스 정의

*IETF (Internet Engineering Task Force)
국제 인터넷 표준화 기구로, 인터넷의 기술 표준과 운영 규칙을 개발하는 국제적인 개방형 표준화 기구.

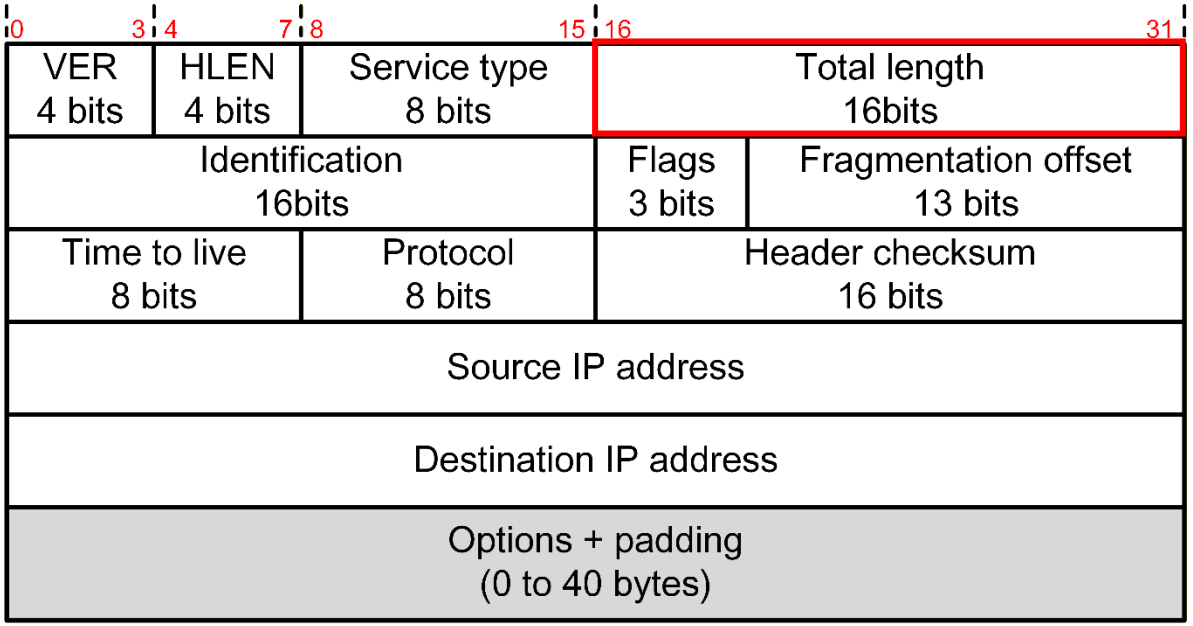
Codepoint	Assigning Authority
XXXXX0	Internet
XXXX11	Local
XXXX01	Temporary or experimental

표1. 코드포인트의 값



IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (4/14)
    - 전체 길이(Total Length)
      - 데이터그램의 총 길이를 바이트 단위로 나타냄
        - 헤더와 데이터를 포함
      - 상위 계층으로부터 받은 데이터에서 데이터의 길이를 구할 때 사용
        - 데이터의 길이 = 전체 길이 – 헤더 길이(HLEN x 4)

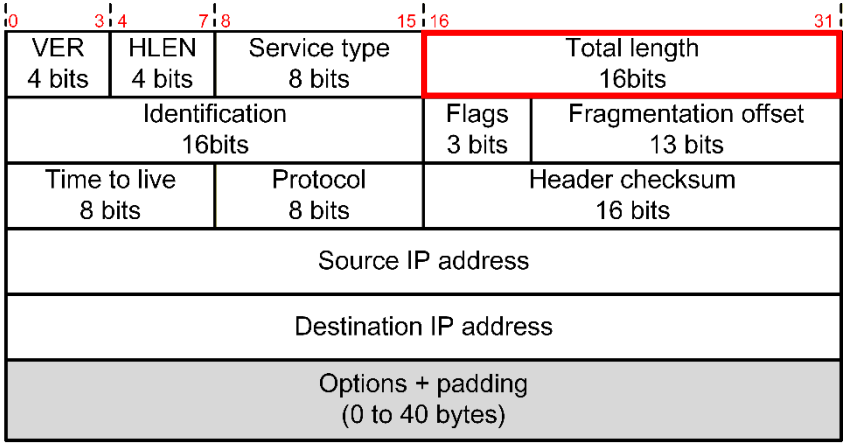


IPv4

- 데이터그램(Datagram)

*단편화(Fragmentation)
큰 패킷을 데이터 링크 계층의 최대 전송 단위 크기에 맞춰 여러 개의 작은 조각으로 나누어 전송하는 기술.

  - 헤더 구성요소 (5/14)
    - 식별(Identification)
      - 데이터그램의 단편화와 재조립과 관련된 필드
      - 발신지로부터 나온 데이터그램을 유일하게 식별
        - 같은 식별자 값을 가지는 모든 단편은 하나의 데이터그램으로 재조립
      - 유일성을 보장하기 위해 IP 프로토콜은 카운터를 사용하여 데이터그램에 고유 식별 번호 부여
        - 카운터 값은 양의 정수 값으로 초기화
        - IP 프로토콜이 데이터그램을 보낼 때 카운터의 현재 값을 식별자 필드에 복사하고 카운터 값을 1 증가
        - 카운터 값이 주기억장치에 유지되는 한 유일성 보장



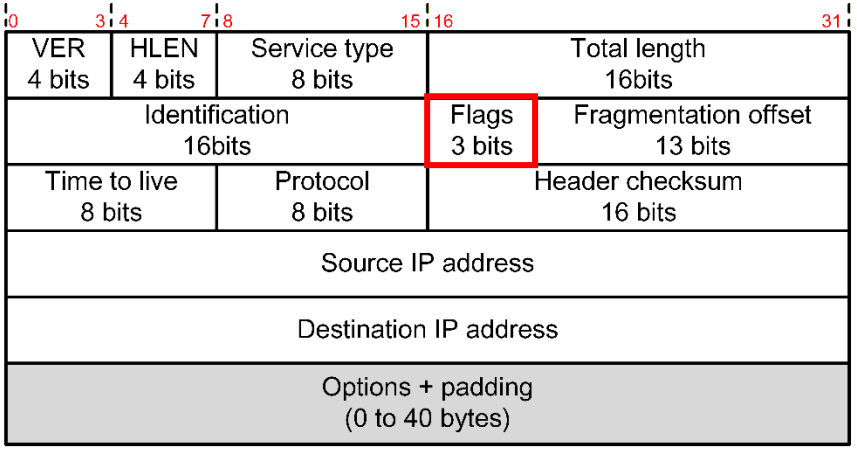
IPv4

- 데이터그램(Datagram)

*ICMP (Internet Control Message Protocol)
IP 네트워크에서 오류 보고, 네트워크 진단, 제어 메시지 전송을 위해 사용하는 네트워크 계층 프로토콜.

  - 헤더 구성요소 (6/14)
    - 플래그(Flags)
      - 데이터그램의 단편화와 재조립과 관련된 필드
      - 단편화의 여부 의미
        - 첫 번째 비트는 미사용
        - 두 번째 비트는 Do not fragment 비트
          - 1이면 데이터그램을 단편화 금지
          - 0이면 데이터그램 단편화 가능
          - 단편화 필요 시 DF=1이면 데이터그램 폐기 및 ICMP 오류 메시지 전송
        - 세 번째 비트는 More fragment 비트
          - 1이면 뒤에 단편 존재
          - 0이면 마지막 단편

D: Do not fragment
M: More fragments

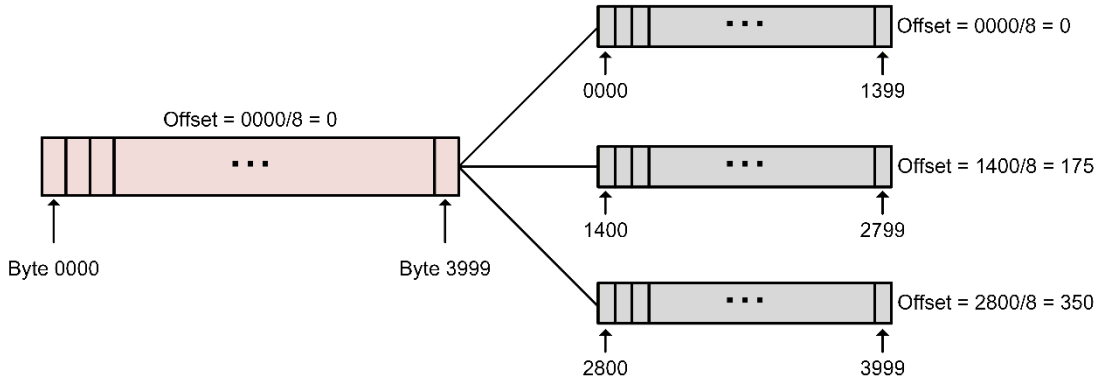


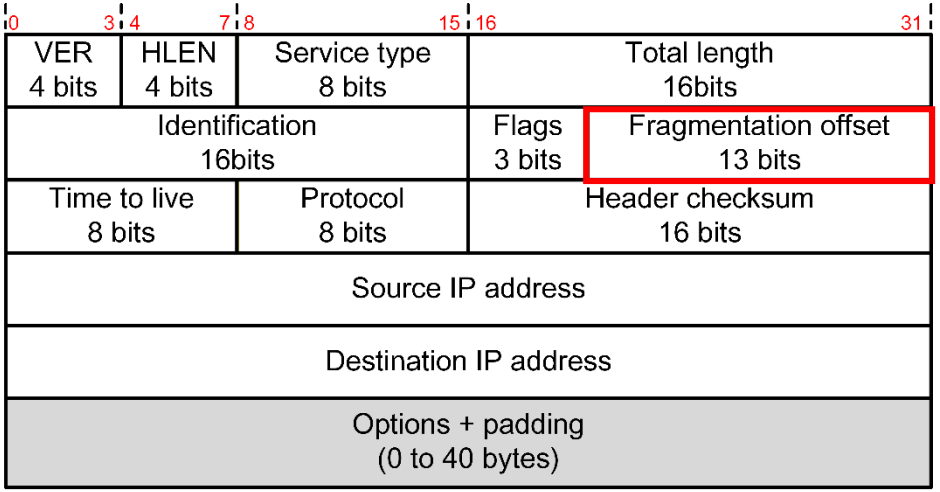
IPv4

- 데이터그램(Datagram)

*MTU(Maximum Transfer Unit)
전송할 패킷의 크기가 라우터나 네트워크가 한 번에 보낼 수 있는 최대 크기.

  - 헤더 구성요소 (7/14)
    - 단편화 옵셋(Fragmentation Offset)
      - 데이터그램의 단편화와 재조립과 관련된 필드
      - 전체 데이터그램 내에서 단편의 상대적 위치를 의미
      - 원래 데이터그램(Original Datagram) 내에서 데이터의 옵셋을 8바이트 단위로 나타냄
        - e.g., MTU가 1400이고 크기가 4000바이트인 데이터가 세 개의 단편으로 나뉜다면, 0~1399번, 1400~2799번, 2800~3999번으로 총 세 개 단편으로 나뉨



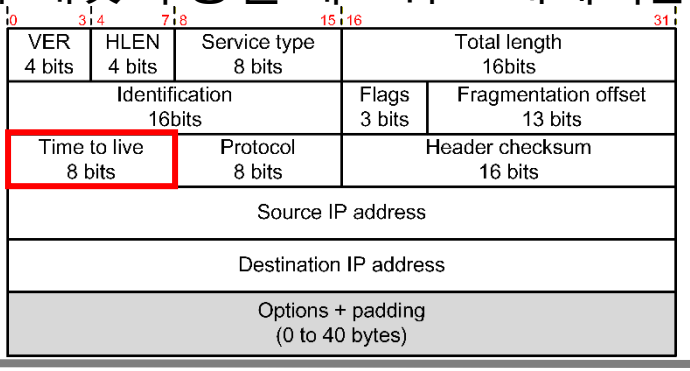


IPv4

- 데이터그램(Datagram)

*홉(Hoop)
컴퓨터 네트워크에서 출발지와 목적지사이에 위치한 경로의 한 부분.

  - 헤더 구성요소 (8/14)
    - 수명(Time to live)
      - 데이터그램이 방문할 수 있는 최대 홉 수를 의미
        - 발신지가 데이터그램을 보낼 때 수명 필드에 숫자를 저장
          - 숫자는 대략 두 호스트 사이에 위치한 라우터 수의 두 배
        - 데이터그램을 처리하는 각 라우터는 이 필드의 값을 1씩 감소
        - 0이 되면 라우터는 데이터그램 폐기
      - 데이터그램이 오랫동안 라우터들 사이에서 돌아다니는 상황 방지
        - 라우터 큐의 불필요한 점유 방지
      - 발신지가 의도적으로 패킷이 전달되는 범위를 제한할 때 사용 가능
        - e.g., 발신지가 패킷이 동일 네트워크 내에서만 전달되기를 원한다면 1로 설정

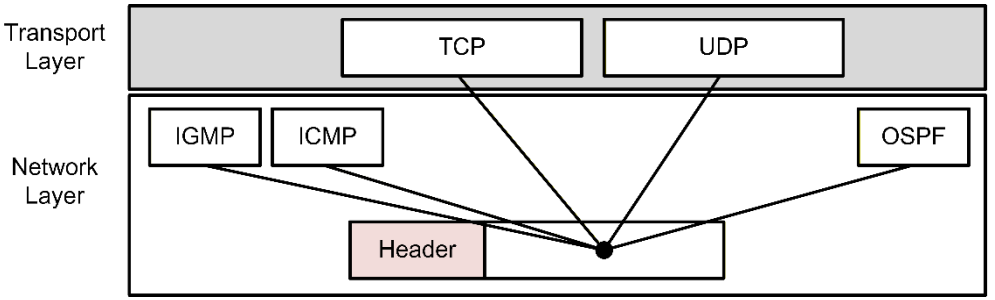


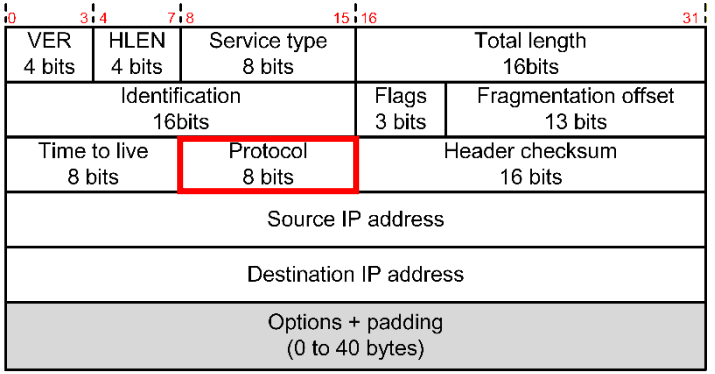
IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (9/14)
    - 프로토콜(Protocol)
      - IP 계층의 서비스를 사용하는 상위 계층 프로토콜 종류 식별
      - IP 데이터그램은 여러 종류의 상위 계층 프로토콜 캡슐화 가능
      - 목적지 호스트가 데이터그램을 받은 후 해당 상위 계층 프로토콜로 역다중화(Demultiplexing)하는 데 사용
        - 다중화(Multiplexing)
          - 상위 계층 데이터를 IP 데이터그램으로 캡슐화하여 전달
        - 역다중화(Demultiplexing)
          - Protocol 필드 값을 확인하여 해당 상위 계층 프로토콜(TCP, UDP, ICMP 등)로 전달

*캡슐화(Capsulation)
상위 계층의 데이터에 하위 계층의 헤더를 붙여 전송 가능한 형식으로 변환하는 과정.
*세그먼트(Segement)
전송 계층에서 데이터를 일정한 크기로 자른 단위.

Value	Protocol
1	ICMP
2	IGMP
6	TCP
17	UDP
89	OSPF





IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소
    - 예제 7.1

처음 8비트가 01000010인 IP 패킷이 도착하였다. 이때 수신자는 이 패킷을 폐기한다. 이류를 설명하라.

- 풀이
  - 패킷에 오류 존재
    - 왼쪽 4비트(0100)은 버전으로 정상
    - 다음 4비트(0010)은 헤더의 길이를 나타내지만 $2 \times 4 = 8$로 오류
      - 헤더의 최소 바이트 수는 20바이트

    - 예제 7.2

IP 패킷에서 HLEN의 값이 이진수로 1000이다. 이 패킷에는 옵션이 몇 바이트 있는가?

- 풀이
  - HLEN의 값은 8이고 이것은 헤더 내 바이트의 총 수가 $32(8 \times 4)$임을 나타냄
  - 처음 20바이트는 주 헤더이므로 옵션은 12바이트

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소
    - 예제 7.3

IP 패킷에서 HLEN의 값이 16진수로 5이고 전체 길이 필드의 값이 16진수로 0028이다. 이 패킷은 몇 바이트의 데이터를 전송하고 있는가?

- 풀이
  - HLEN의 값이 5이므로 헤더는 $20(5 \times 4)$바이트이고 옵션은 없음을 알 수 있음
  - 전체 길이는 40바이트이므로 $40 - 20$인 20바이트의 데이터가 전송되고 있음을 알 수 있음

    - 예제 7.4

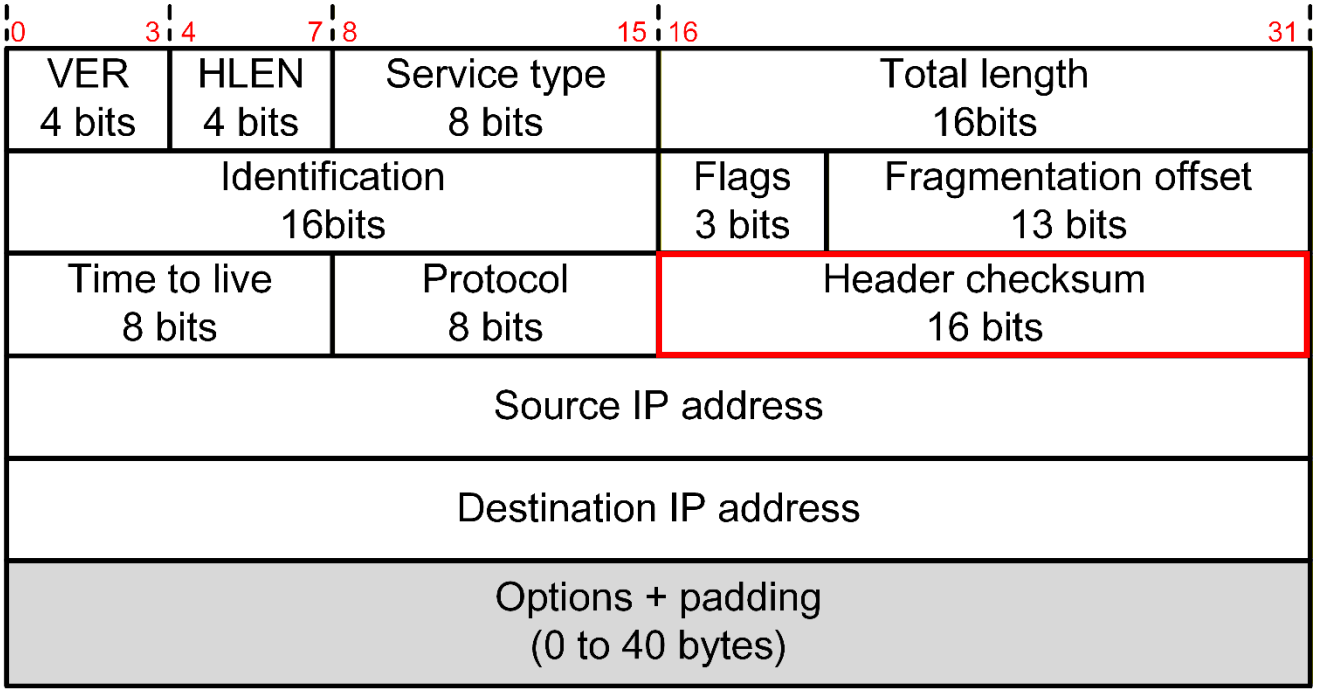
처음 16진수 디지트(digits)들이 45000028000100000102...과 같은 패킷이 도착하였다. 이 패킷은 폐기되기 전에 몇 홉을 지날 수 있는가? 이 패킷은 어떤 상위 계층 프로토콜 데이터를 전송하고 있는가?

- 풀이
  - 수명 필드를 찾기 위해서 처음 8바이트(16개의 16진 디지트)를 넘어 탐색
    - 수명 필드는 9번째 바이트이며 이는 01
    - 패킷이 한 홉만 갈 수 있다는 것을 의미
  - 프로토콜 필드는 다음 바이트로서 02
    - 상위 계층 프로토콜이 IGMP임을 알 수 있음

Value	Protocol
1	ICMP
2	IGMP
6	TCP
17	UDP
89	OSPF

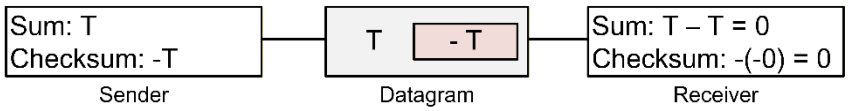
IPv4

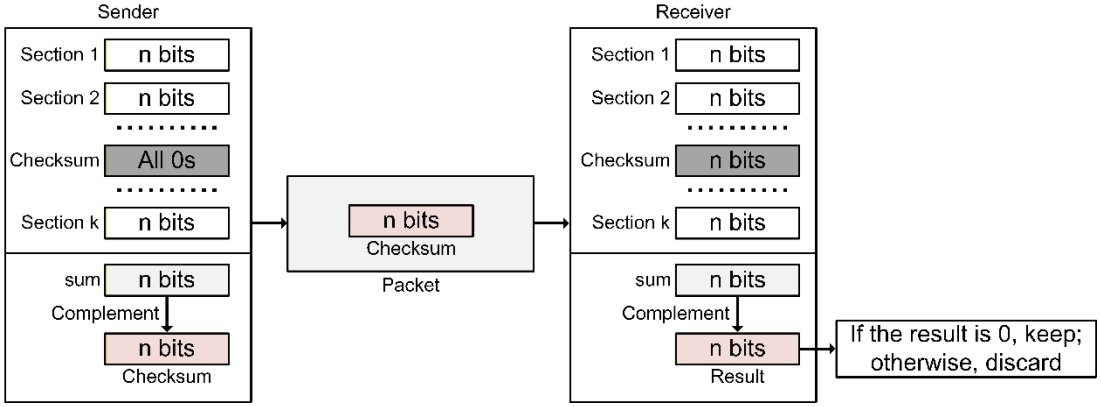
- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (10/14)
    - 검사합(Checksum) (1/2)
      - 패킷의 전달 중에 발생할 수 있는 오류 검출을 위해 사용되는 값
      - 발신지와 목적지에서 검사합 계산 수행



- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (11/14)
    - 검사합(Checksum) (2/2)
      - 발신지의 검사합 계산
        1. 패킷을 크기가 n비트인 k개의 조각으로 분할(주로 $n = 16$)
        2. 모든 조각을 1의 보수 덧셈을 사용하여 합을 계산
        3. 합에 대해 1의 보수를 취하여 검사합 계산
      - 목적지의 검사합 계산
        1. 수신된 패킷을 k개의 조각으로 분할
        2. 모든 조각을 1의 보수 덧셈을 사용하여 합 계산
        3. 합에 대해 1의 보수 계산
           1. 결과가 0이면 통과
           2. 0이 아니면 거부

*1의 보수 덧셈
2진수를 더할 때 자릿수를 넘긴 자리올림을 다시 하위 비트에 더해주는 덧셈 방식





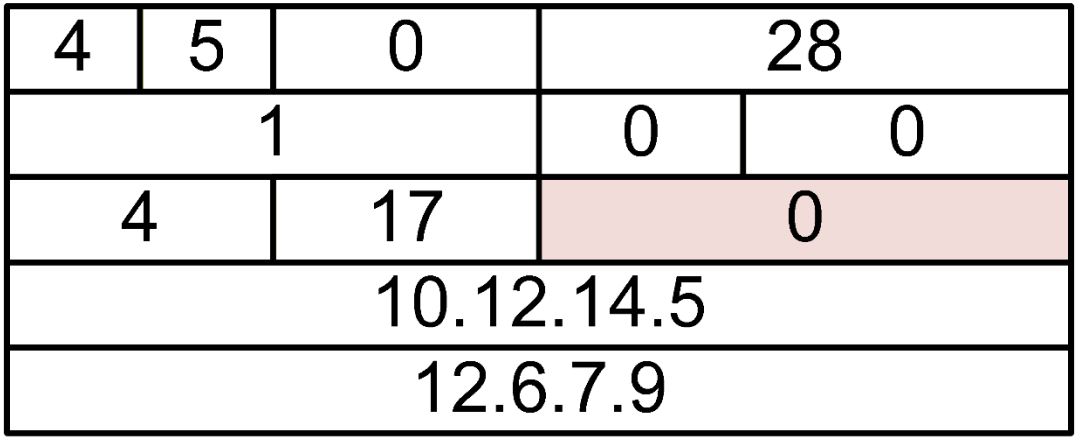
- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소
    - 예제 7.5

다음 IP 데이터그램의 발신지에서의 검사합을 16비트로 나누어 계산하라.

- 풀이

• 4, 5 and 0	→	01000101 00000000
• 28	→	00000000 00011100
• 1	→	00000000 00000001
• 0 and 0	→	00000000 00000000
• 4 and 17	→	00000100 00010001
• 0	→	00000000 00000000
• 10.12	→	00001010 00001100
• 14.5	→	00001110 00000101
• 12.6	→	00001100 00000110
• 7.9	→	00000111 00001001

• sum	→	01110100 01001110
• Checksum	→	10001011 10110001



IPv4

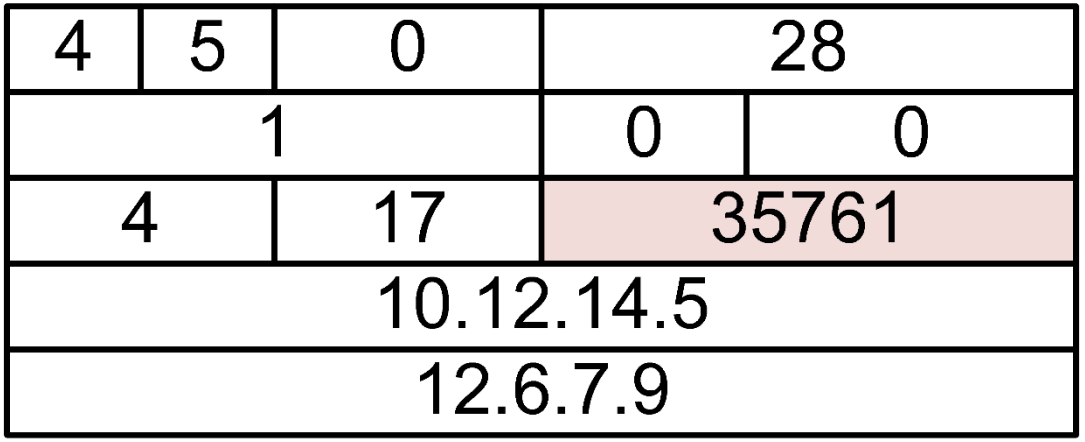
- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소
    - 예제 7.6

다음 IP 데이터그램의 목적지에서의 검사합을 16비트로 나누어 계산하라.

- 풀이

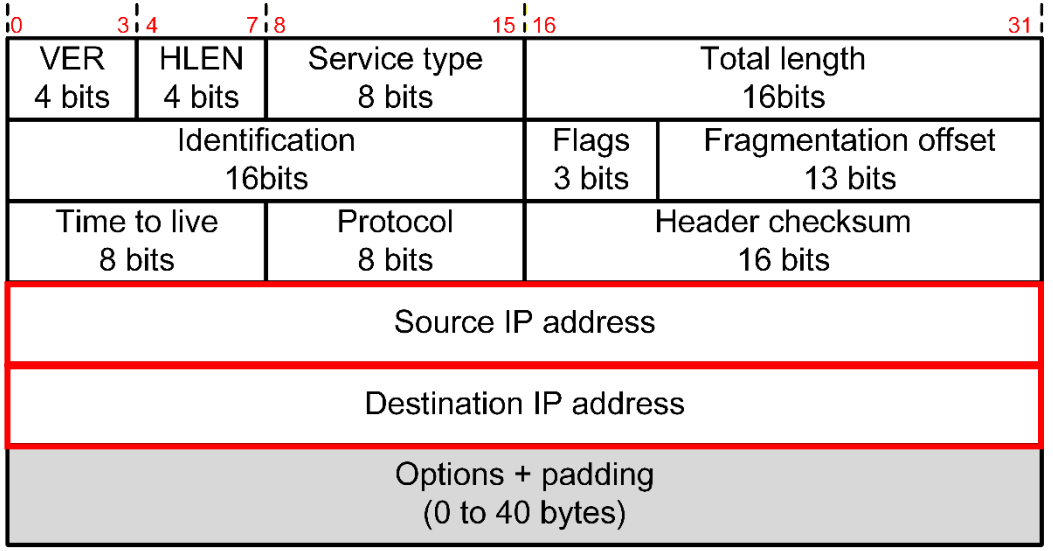
• 4, 5 and 0	→	01000101 00000000
• 28	→	00000000 00011100
• 1	→	00000000 00000001
• 0 and 0	→	00000000 00000000
• 4 and 17	→	00000100 00010001
• Checksum	→	10001011 10110001
• 10.12	→	00001010 00001100
• 14.5	→	00001110 00000101
• 12.6	→	00001100 00000110
• 7.9	→	00000111 00001001

• sum	→	11111111 11111111
• Checksum	→	00000000 00000000



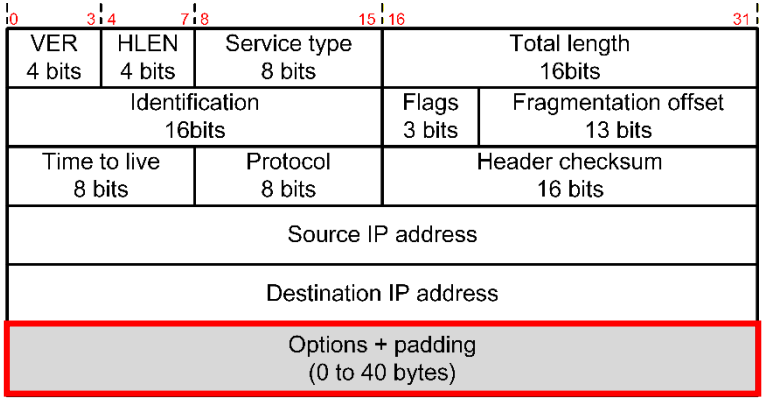
IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (12/14)
    - 발신지 주소(Source Address)
      - 발신지의 IP 주소를 의미
      - IP 데이터그램이 발신지에서 목적지까지 전달되는 동안 고정
    - 목적지 주소(Destination Address)
      - 목적지의 IP 주소를 의미
      - IP 데이터그램이 발신지에서 목적지까지 전달되는 동안 고정

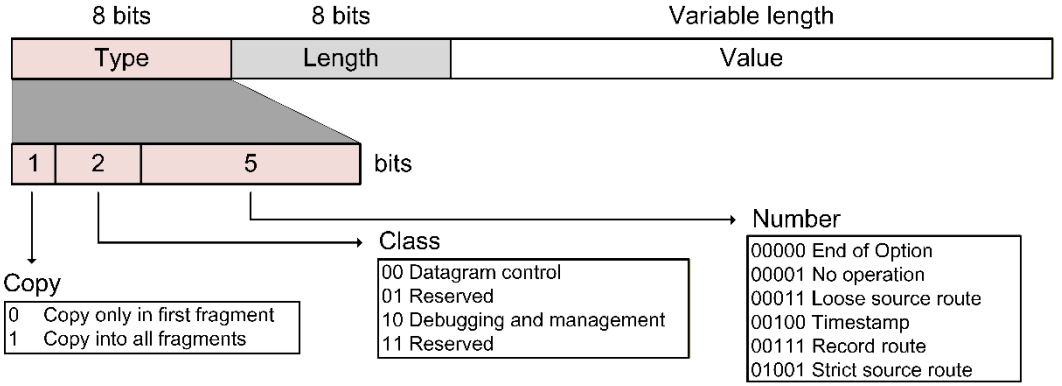


IPv4

- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (13/14)
    - 옵션 (1/2)
      - 헤더의 가변 부분으로 최대 40바이트
        - 네트워크를 시험하거나 디버그하기 위해 사용

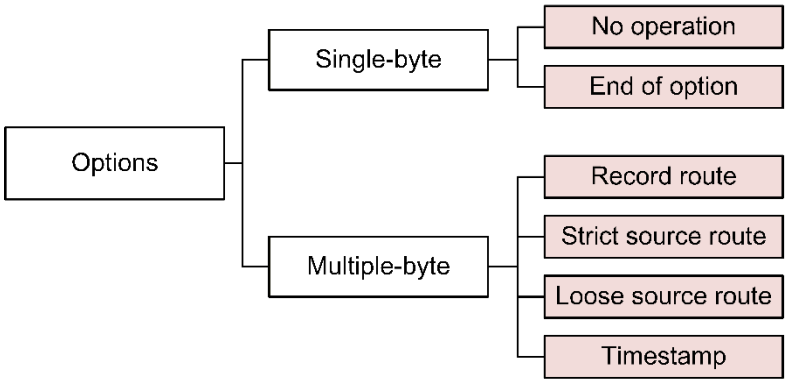


      - 옵션 형식
        - 유형(Type)
          - 복사(Copy): 단편화 시 단편에 옵션을 포함시킬 것인지 제어
          - 클래스(Class): 옵션의 일반적인 목적 정의
          - 번호(Number): 옵션의 유형 정의
        - 길이(Length)
          - 유형, 길이, 값 필드를 포함한 옵션 전체 길이
        - 값(Value)
          - 특정 옵션이 필요로 하는 데이터 포함

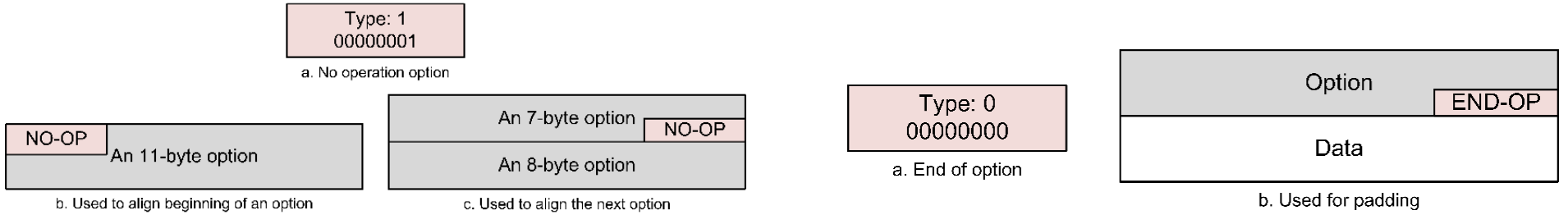


IPv4

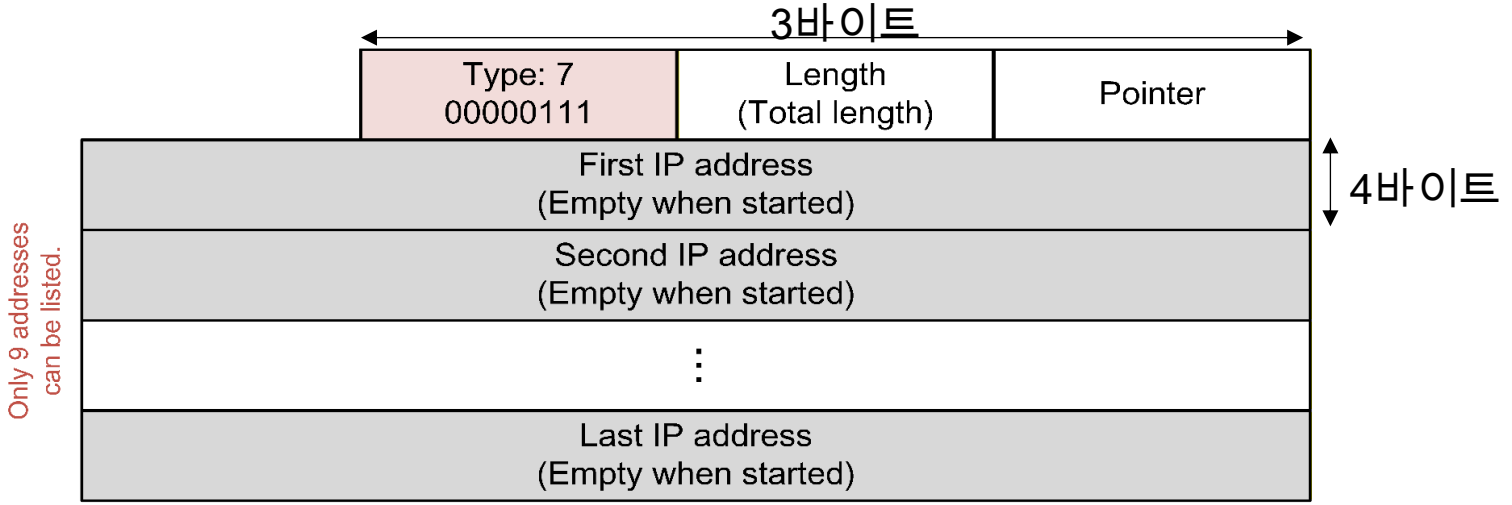
- 데이터그램(Datagram)
  - 헤더 구성요소 (14/14)
    - 옵션 (2/2)
      - 옵션 유형
        - 1바이트 옵션
          - 1바이트로 구성되는 옵션
          - 추가적인 데이터 없이 형식(Type) 필드만 사용
          - 주로 패딩과 같은 간단한 기능을 수행
        - 다중 바이트 옵션
          - 2바이트 이상으로 구성되는 옵션
          - Type, Length, Data 필드로 구성
          - 경로 기록, 타임스탬프 등 복잡한 기능을 수행



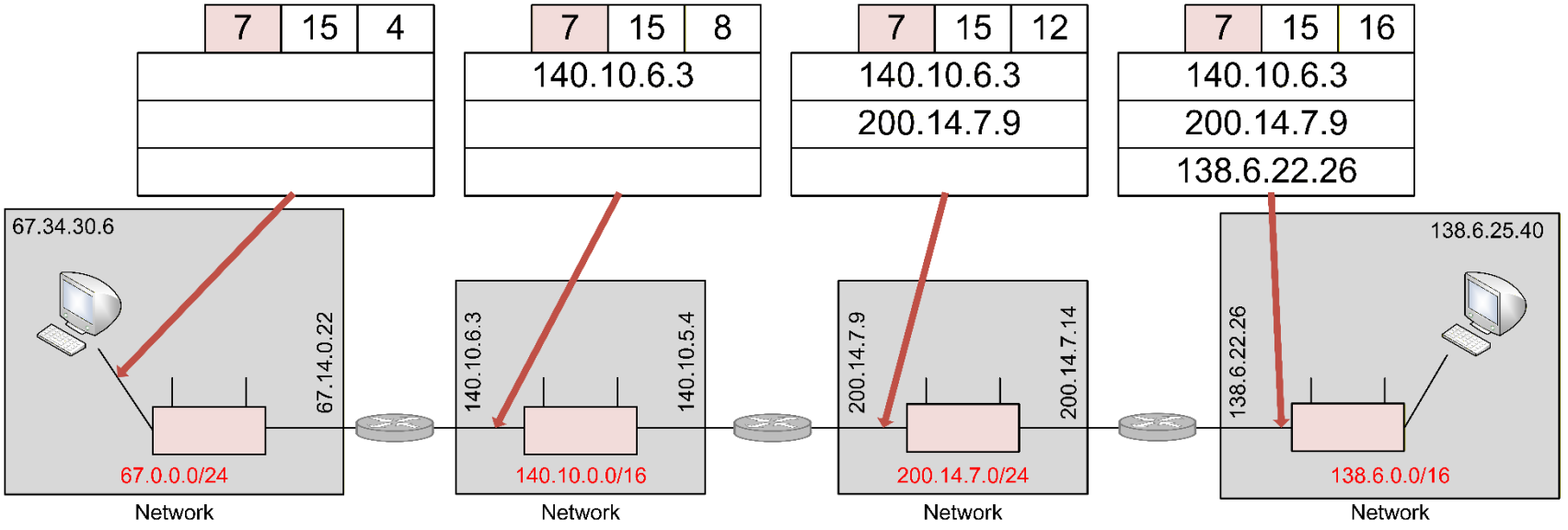
- 옵션 유형 (1/9)
  - 1바이트 옵션
    - 무연산 옵션(No operation)
      - 옵션들 사이의 여백을 채워주는 목적으로 사용
        - Type은 00000001
        - 16비트나 32비트 경계에 위치시키기 위해 사용
    - 옵션 종료 옵션(End of Option)
      - 옵션의 필드 끝의 패딩 목적으로 사용
        - Type은 00000000
        - 마지막 옵션으로만 사용 가능
      - 최대 1개만 사용 가능



- 옵션 유형 (2/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 경로 기록 옵션(Record Route) (1/2)
      - 데이터그램을 처리한 라우터들을 기록하기 위해 사용
      - 최대 9개까지 기록 가능
        - 옵션 길이 40바이트 중 37바이트 사용 가능
        - 9개가 넘어가면 기록하지 않음
      - 포인터는 첫 번째 빈 엔트리의 바이트 번호를 포함하는 옵셋 정수
        - 처음에 첫 번째 필드를 가리키므로, 기본값 4

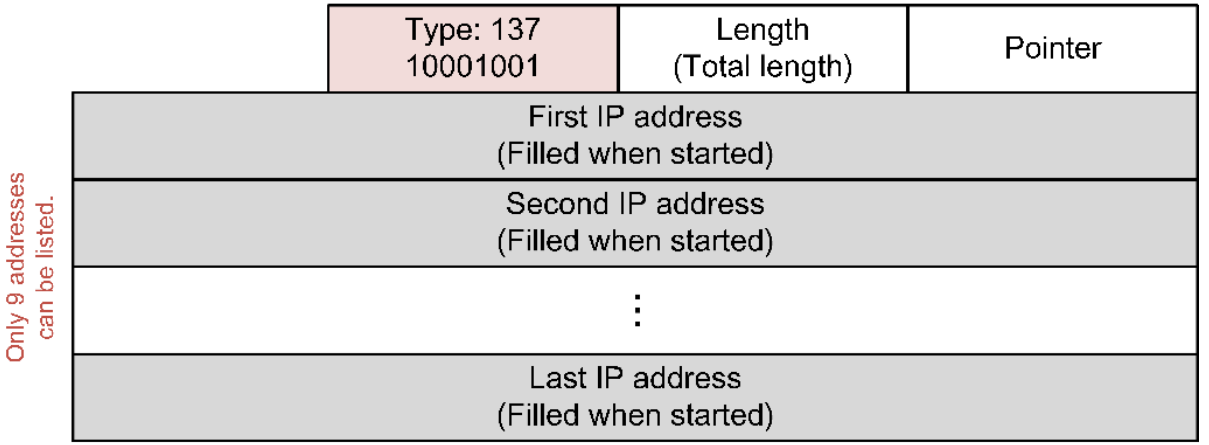


- 옵션 유형 (3/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 경로 기록 옵션(Record Route) (2/2)
      - 예시
        1. 처음 포인터 필드는 기본값 4를 가짐
        2. 데이터그램이 이동할 때 라우터는 포인터 값과 길이 값을 비교
        3. 라우터를 지날 때 마다 지나온 경로를 기록
        4. 포인터 필드는 기록할 때마다 4 증가시키고 다음 경로로 이동

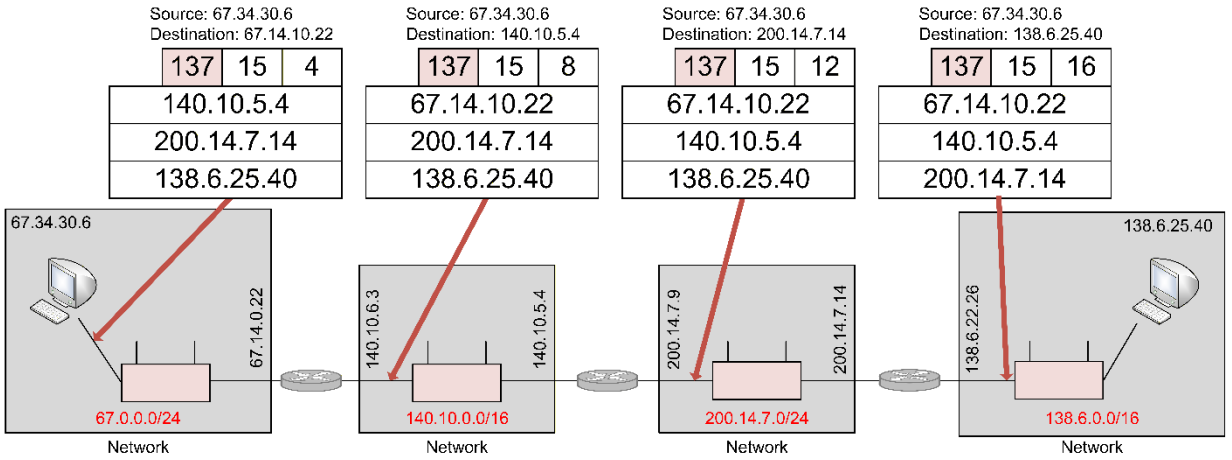


IPv4

- 옵션 유형 (4/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 엄격한 발신지 경로 옵션(Strict Source Route) (1/2)
      - 데이터그램의 이동 경로를 미리 지정하는 IPv4 옵션
        - Type은 10001001
      - 특정 네트워크 우회, 지연 최소화, 처리율 향상 등의 목적으로 사용
      - 폐기 조건
        - 지정된 라우터를 방문할 수 없는 경우
        - 목적지 도착 시 지정된 경로를 모두 수행하지 못한 경우
        - 데이터그램 폐기 후 오류 메시지 전송

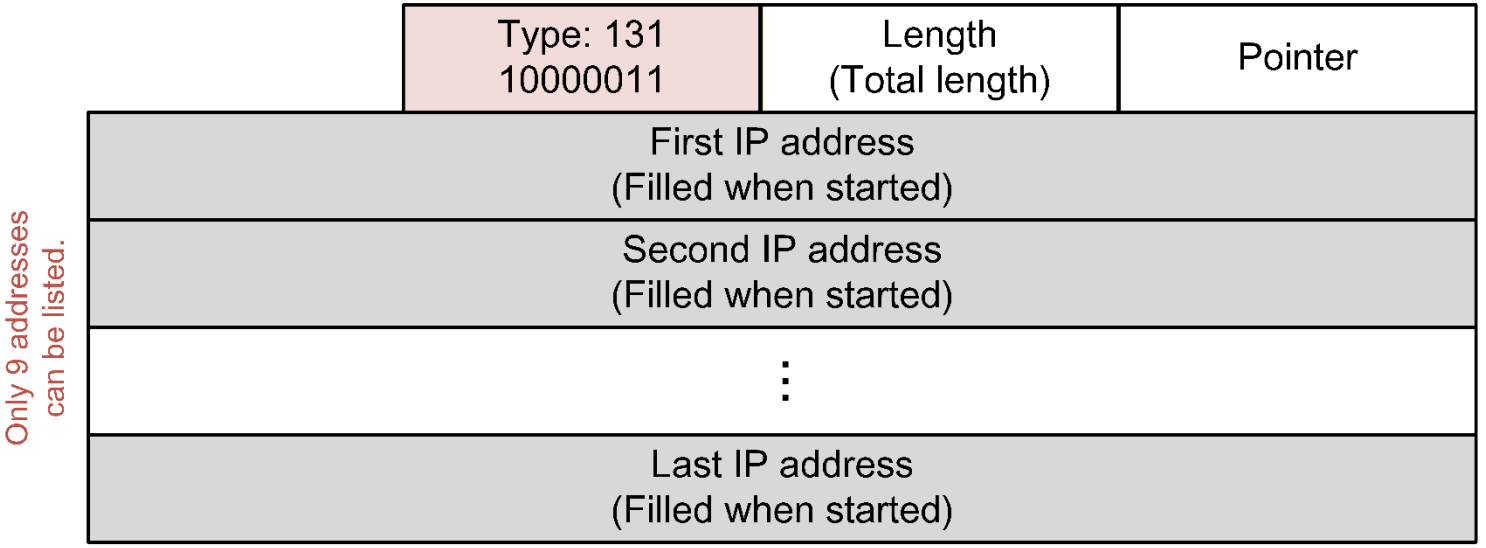


- 옵션 유형 (5/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 엄격한 발신지 경로 옵션(Strict Source Route) (2/2)
      - 예시
        - 경로가 미리 지정된 것 이외에 경로 기록 옵션과 동일
        - 데이터그램이 이동할 때 라우터는 포인터의 값과 길이 값을 비교
          - 포인터의 값보다 길이 값이 크면, 미리 지정된 라우터를 모두 방문을 의미
          - 포인터의 값이 더 작다면, 라우터는 포인터가 가리키고 있는 IP 주소와 라우터에서 데이터그램이 들어온 IP 주소 비교
            - 두 값이 같다면, 현재의 IP 주소를 나가는 IP 주소로 대치하고 포인터 값을 4 증가 시킨 후 데이터그램 전달



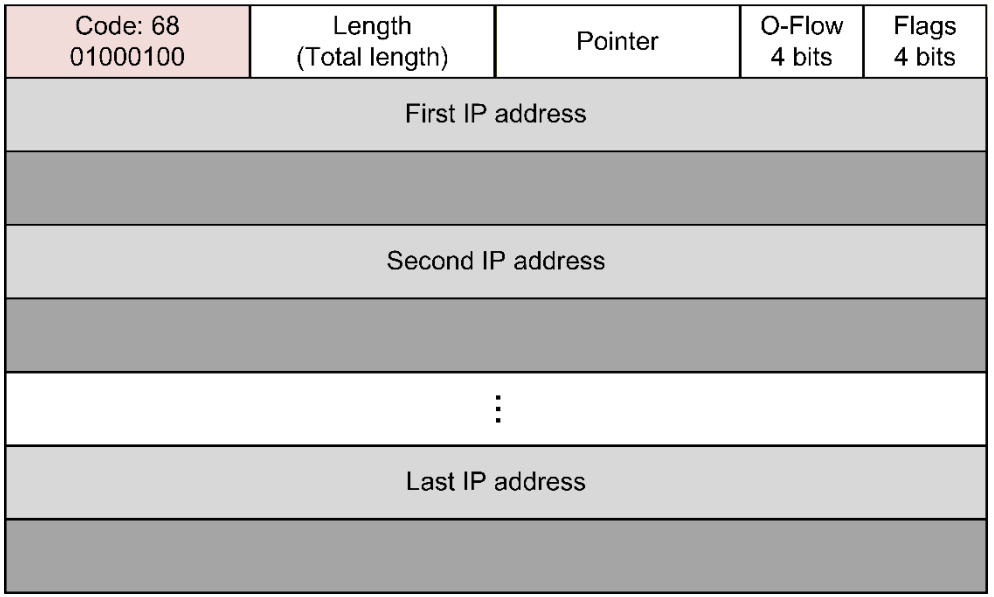
IPv4

- 옵션 유형 (6/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 느슨한 발신지 경로 옵션(Loose Source Route)
      - 데이터그램이 거쳐야 할 경로를 미리 지정하기 위해 사용
        - Type은 10000011
      - 엄격한 발신지 경로와 달리, 리스트에 정의한 라우터 이외에 다른 라우터도 방문 가능
        - 옵션 필드에 적힌 경로들 외의 중간 경로는 유동적으로 선택 가능



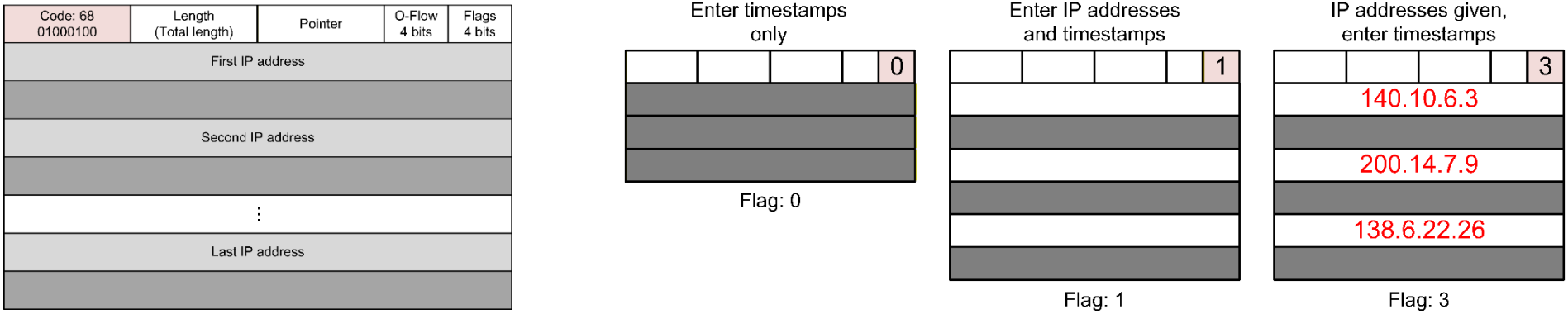
IPv4

- 옵션 유형 (7/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 타임스탬프(Timestamp) (1/3)
      - 라우터가 데이터그램을 처리하는 시간을 기록하기 위해 사용
        - 시간은 세계 표준시(Universal Time) 자정으로부터 millisecond 단위로 표시
      - 하나의 라우터에서 다른 라우터까지 가는데 걸리는 시간 추정 가능
        - 모든 라우터가 세계 표준시를 사용하지만 각 시계는 정확히 동기화 되지 않을 수 있기에 추정만 가능

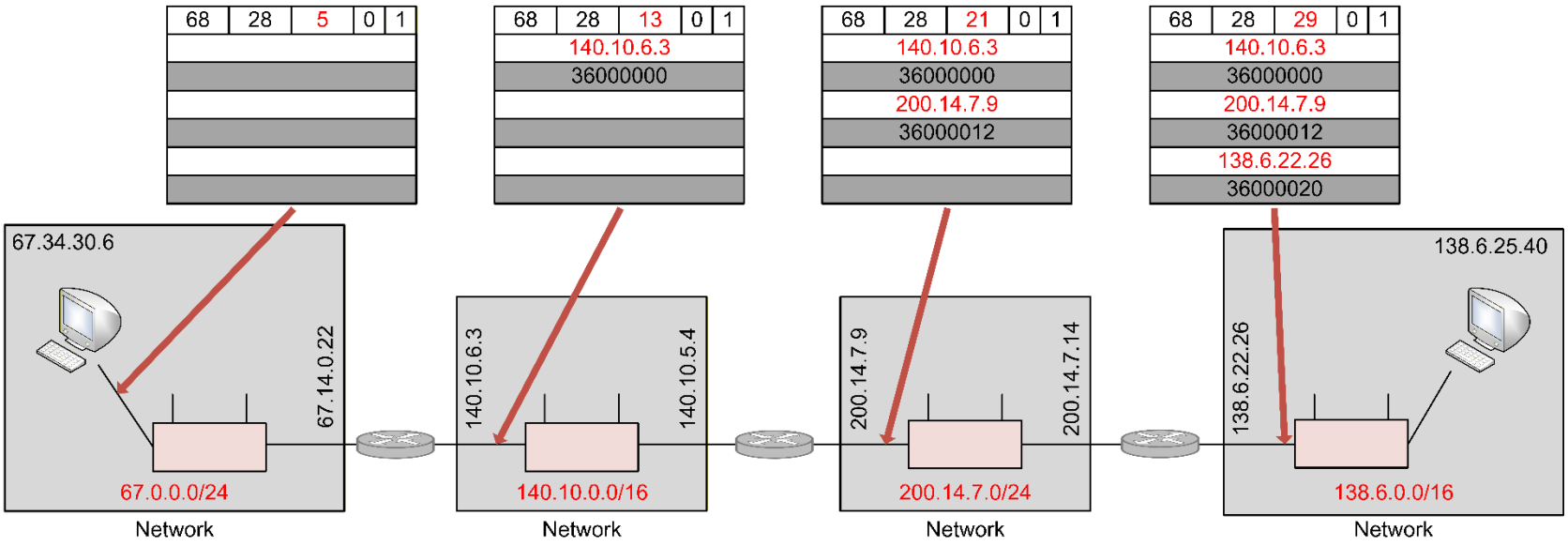


IPv4

- 옵션 유형 (8/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 타임스탬프(Timestamp) (2/3)
      - 추가된 구조
        - 오버플로우(O-flow)
          - 필드가 더이상 없어 타임스탬프를 기록하지 못한 라우터의 수 기록
        - 플래그(Flags)
          - 방문된 라우터의 동작 명세
          - 0일 경우, 각 라우터는 주어진 필드에 타임스탬프만 추가
          - 1일 경우, 라우터는 출력 인터페이스 IP와 타임스탬프 기록
          - 3일 경우, 라우터는 주어진 IP 주소와 입력 인터페이스 IP 주소를 비교해 같을 경우 IP 주소에 출력 인터페이스 IP 주소를 덮어쓰고 타임스탬프 추가



- 옵션 유형 (9/9)
  - 다중 바이트 옵션
    - 타임스탬프(Timestamp) (3/3)
      - 예시
        1. 라우터는 플래그 값을 확인
           - 플래그가 1이므로, 포인터가 가리키는 필드에 IP 주소와 타임스탬프 값을 기록
        2. 포인터 값을 8만큼 증가시키고 데이터그램을 다음 경로로 이동



- 옵션 유형
  - 예제 7.7

다음에 대해 설명하라.
1. 6개의 옵션 중 어느 것이 각 단편에 복사되어야 하는가?
2. 6개의 옵션 중 어느 것이 데이터그램 제어에 사용되고 어떤 것이 디버깅과 관련이 있는가?

- 1) 풀이
  - 옵션의 코드의 왼쪽에서 첫 번째 비트로 판단
    - 0이면 복사 안함, 1이면 복사
- 2) 풀이
  - 옵션의 코드의 왼쪽에서 두 번째와 세 번째 비트로 판단
    - 00이면 데이터그램 제어
    - 10이면 디버깅

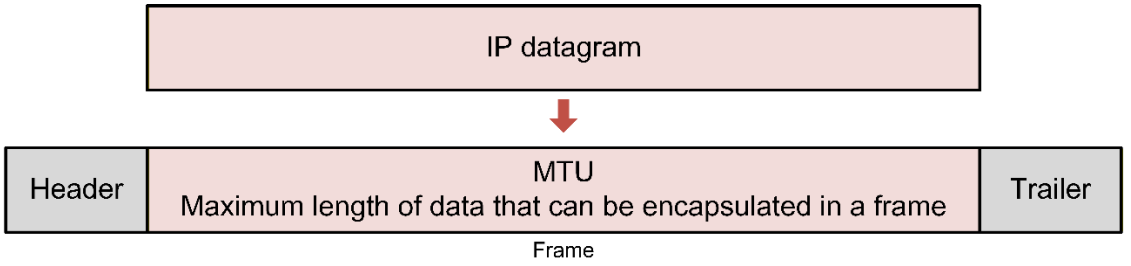
옵션	유형	단편 복사 여부	데이터그램 제어/디버깅
무연산	00000001	X	데이터그램 제어
옵션 종료	00000000	X	데이터그램 제어
경로 기록	00000111	X	데이터그램 제어
엄격한 경로 기록	10001001	O	데이터그램 제어
느슨한 경로 기록	10000011	O	데이터그램 제어
타임스탬프	01000100	X	디버깅

IPv4

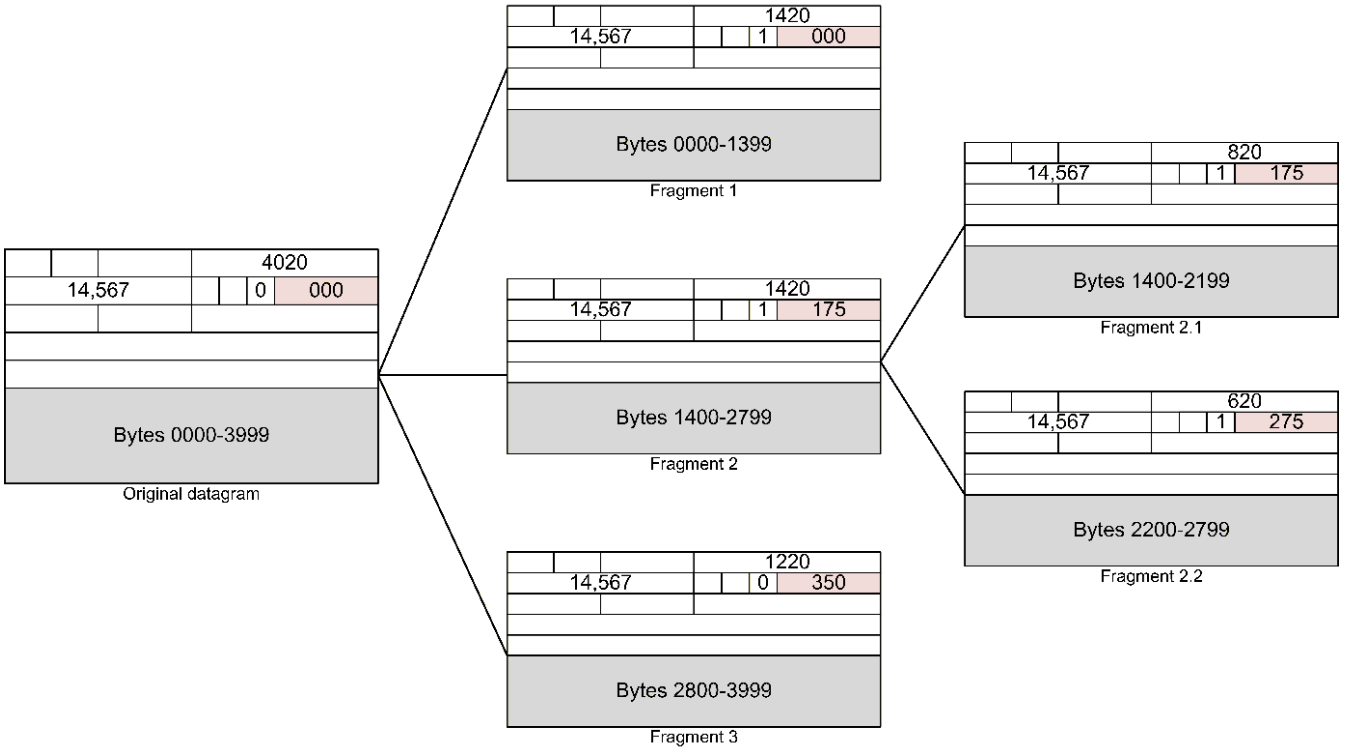
- 단편화(Fragmentation) (1/3)

*MTU(Maximum Transfer Unit)
전송할 패킷의 크기가 라우터나 네트워크가 한 번에 보낼 수 있는 최대 크기.

  - 정의
    - 전송할 패킷의 크기가 MTU보다 클 때, 패킷을 작은 조각으로 나누는 과정
  - 특징 (1/2)
    - MTU 값에 따라 단편화 크기는 다름
      - MTU 값은 물리 네트워크 프로토콜에 따라 다름
        - e.g., Ethernet LAN은 1500바이트, FDDI LAN은 4352바이트, PPP는 296바이트
    - 단편화 시 헤더의 일부 필드 값만 변경
      - e.g., 식별자 필드는 유지되며, 플래그 필드와 단편화 옵셋 필드 변동

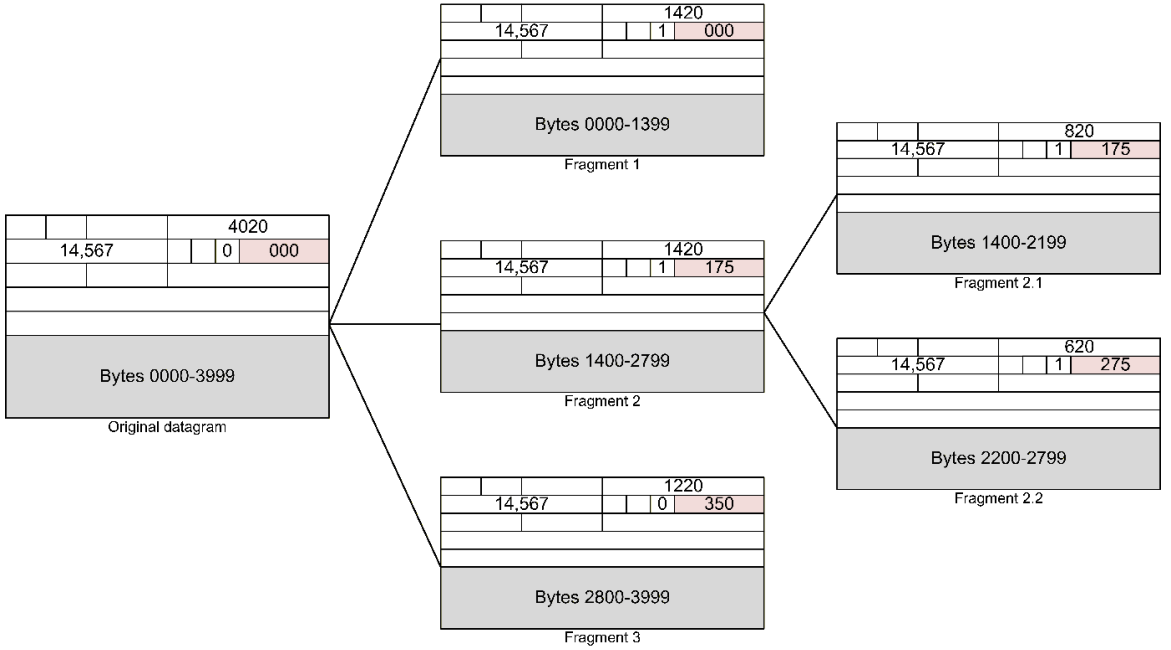


- 단편화(Fragmentation) (2/3)
  - 특징 (2/2)
    - 단편화 된 것이 다시 단편화 될 수 있음
      - 옵셋 필드의 값은 항상 원래 데이터그램에서 상대적인 위치로 결정
    - 단편 순서가 역전되어도 모든 단편이 존재하면 재조립 가능



IPv4

- 단편화(Fragmentation) (3/3)
  - 재조립 과정
    - 모든 단편의 식별자 값을 확인하여 동일한 데이터그램인지 판단
    - 단변화 옵셋을 기준으로 순서를 정렬하고 데이터 연속성 확인
    - MF(More Fragment) 값을 확인하여 마지막 단편 여부 판단
    - MF 값이 0인 단편 수신 시 모든 단편을 결합하여 재조립 완료



IPv4

- 단편화(Fragmentation)
  - 예제 7.8

각 상황 별로 패킷이 단편화 되었는지, 되었다면 첫 번째 단편인지, 마지막 단편 혹은 중간 단편인지 설명하라.

1. M 비트 값이 0인 패킷이 도착하였다.
2. M 비트 값이 1인 패킷이 도착하였다.
3. M 비트 값이 1이고 단편화 옵셋이 0인 패킷이 도착하였다.

- 1) 풀이
  - M 비트가 0이면 단편이 더 이상 없다는 것을 의미
    - 단편은 마지막 단편
  - M 비트가 0이라는 것만 가지고 원래의 패킷이 단편화 되었는지는 알 수 없음
  - 단편화 되지 않은 패킷은 마지막 단편으로 고려

- 2) 풀이
  - M 비트가 1이면 단편이 더 존재한다는 것을 의미
    - 이 패킷은 첫 번째 또는 중간 단편 중 하나
    - 이를 알기 위해서는 단편화 옵셋과 같은 정보 필요
  - M 비트가 1이라는 것은 단편화가 되었음을 의미

- 3) 풀이
  - M 비트가 1이므로 첫 번째 또는 중간 단편
  - 옵셋이 0이므로 첫 번째 단편

IPv4

- 단편화(Fragmentation)
  - 예제 7.9

각 상황에 맞추어 첫 번째 바이트의 번호는 무엇인지, 마지막 바이트의 번호를 알 수 있는지 설명하라.
1. 옵셋 값이 100인 패킷이 도착하였다
2. 옵셋 값이 100이고 HLEN이 5이며 전체 길이가 100인 패킷이 도착하였다.

- 1) 풀이
  - 첫 번째 바이트의 번호를 구하기 위해 옵셋 값을 8로 곱하여 계산
    - 첫 번째 바이트 번호는 800
  - 데이터의 길이를 모르기 때문에 마지막 바이트의 번호는 미지수

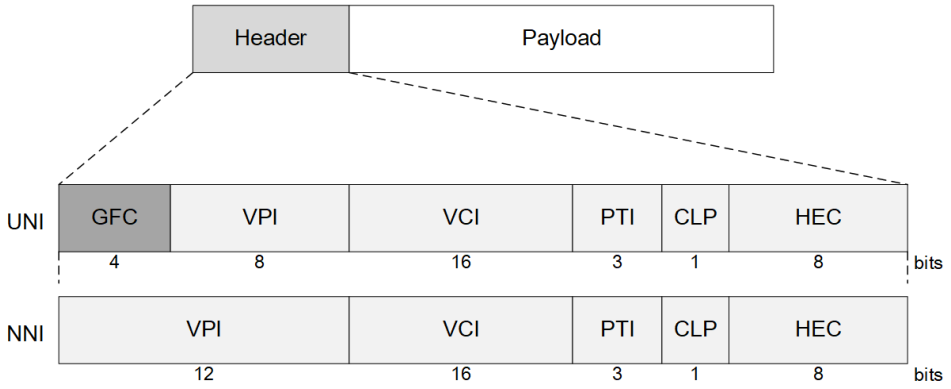
- 2) 풀이
  - 첫 번째 바이트의 번호를 구하기 위해 옵셋 값을 8로 곱하여 계산
    - 첫 번째 바이트 번호는 800
  - 전체 길이는 100바이트이고 헤더 길이는 20바이트(5x4)이므로 데이터그램 내에는 80바이트 데이터 존재
    - 첫 번째 바이트 번호가 800이므로 마지막 바이트 번호는 879

- ATM 상 IP (1/6)

*스위칭(Switching)
데이터를 목적지까지 전달할 때, 미리 정해진 경로 정보(테이블)를 참조해 빠르게 다음 목적지로 넘겨주는 방식.

  - 개요 (1/3)
    - ATM (Asynchronous Transfer Mode)
      - 정의
        - 네트워크에서 데이터를 셀(Cell)로 나누어 전송하는 방식
      - 특징
        - 고속 통신망에 적합한 기술
        - 고정 길이 53바이트 셀 단위로 데이터 전송
        - 스위치 간 가상 회선(Virtual Circuit) 기반의 경로 설정
      - IP와의 차이점
        - 연결 지향형 방식으로 사전에 전송 경로(VC) 설정
        - 고정 길이의 셀 단위로 고속 전송
        - 복잡한 테이블 조회 없이 자동 교환 처리하는 L2 스위칭 방식

- ATM 상 IP (2/6)
  - 개요 (2/3)
    - ATM 셀(ATM Cell)
      - 정의
        - ATM 네트워크 상에서 데이터를 전달하는 최소 단위
      - 구조
        - 5바이트 헤더와 48바이트 데이터로 구성
        - 헤더는 UNI(User-Network Interface)와 NNI(Network-Network Interface) 환경에 따라 차이 존재



Name	Size	Description
GFC (Generic Flow Control)	4bits	UNI 에서만 사용 하며, 사용자와 네트워크 사이 흐름을 제어하는데 사용
VPI (Virtual Path Identifier)	8~12bits	가상 경로를 식별하는 번호
VCI (Virtual Channel Identifier)	16bits	가상 채널을 식별하는 번호
PT (Payload Type)	3bits	페이로드가 어떤 데이터인지 구분
CLP (Cell Loss Priority)	1bits	셀 손실 우선순위 표시
HEC (Header Error Control)	8bits	ATM 헤더 전용 오류 검출/수정 코드

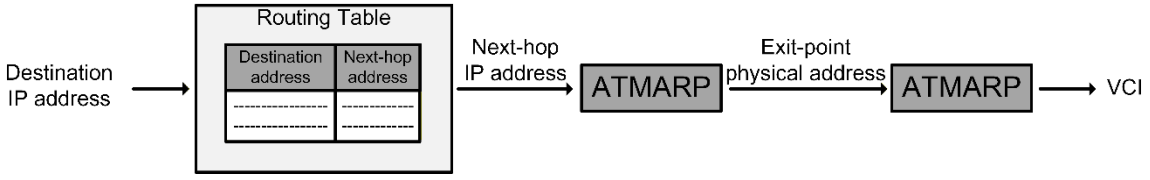
- ATM 상 IP (3/6)
  - 개요 (3/3)
    - ALL (ATM Adaptation Layer)
      - 정의
        - ATM 네트워크에서 상위 계층 데이터를 ATM 셀 형식으로 변환하기 위한 계층
      - 종류
        - AAL1
          - 고정 비트 전송률 및 실시간 전송 지원
          - 송수신 장치 시계 동기화로 끊김 없는 실시간 전송
        - AAL2
          - 가변 비트 전송률 및 실시간 전송 지원
        - AAL3/4
          - 연결형, 비연결형 가변 비트 전송률 모두 지원
          - 오류 검출 기능 포함하며 데이터 통신 용도
        - AAL5
          - AAL3/4 대비 오버헤드가 감소한 간소화 버전
          - IP over ATM 등 오늘날 고속 데이터 통신에 주로 사용

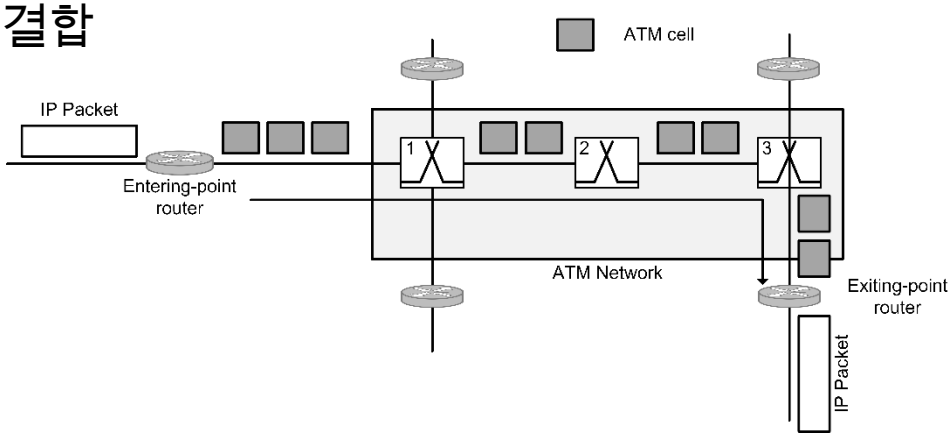
IPv4

- ATM 상 IP (4/6)
  - 정의
    - IP 패킷을 ATM 네트워크의 셀 단위로 변환하여 전송하는 방식
  - 필요성
    - 기존 IP 서비스를 ATM 기반 광대역 네트워크에서도 제공하기 위해 사용
      - 기존 IP 서비스는 LAN 또는 점대점 WAN 환경 기반
  - 특징
    - IP 패킷을 여러 개의 ATM 셀로 분할하여 전송
      - AAL5를 이용하여 IP 패킷을 ATM 셀로 변환하고 목적지에서 재조립
    - IP 주소 체계와 ATM 주소 체계가 독립적으로 존재
    - 두 주소 체계 간 매핑을 위한 주소 변환 프로토콜 필요
      - e.g., ATMARP (ATM Address Resolution Protocol)
    - 매핑된 ATM 주소로 가상회선을 설정하고 셀 라우팅 수행

- ATM 상 IP (5/6)
  - 셀 라우팅
    - 정의
      - ATM 셀이 목적지까지 전달되도록 경로를 설정하는 과정
    - 주소
      - IP 주소
        - IP 계층에서 라우터를 정의
        - ATM 네트워크와 라우터에 정의된 IP 주소는 무관
      - 물리 주소
        - ATM 네트워크 관리자에 의해 정의된 20바이트의 주소
        - ATM 네트워크와 연관되어 있으며 인터넷과는 무관
        - 연결 설정 동안 사용
      - 가상 회선 식별자(VCI, Virtual Circuit Identifier)
        - ATM 네트워크의 교환기가 라우팅에 사용하는 주소
        - 데이터 전송에 사용

- ATM 상 IP (6/6)
  - 셀 라우팅
    - 주소 결합
      - 목적
        - 셀 라우팅을 위한 가산 회선 식별자를 목적지 IP 주소로부터 결정
      - 과정
        1. 진입점 라우터(Entering-point router)는 IP 데이터그램을 수신
           - 진출점 라우터(Exiting-point router) 인 다음 라우터 IP 주소를 찾기 위해 목적지 주소와 라우팅 테이블을 사용
        2. 진입점 라우터는 진출점 라우터의 물리 주소를 찾기 위해 ATMARP 프로토콜 서비스를 사용
        3. 가상 회선 식별자가 물리 주소에 결합





IPv4

- 보안(Security) (1/6)
  - 보안 문제점
    - 패킷 스니핑(Packet Sniffing)
      - 침입자가 IP 패킷을 도청하여 복사본 생성 가능
      - 내용을 수정하지 않는 수동적 공격이며 탐지 어려움
      - 패킷 암호화로 대응 가능
        - e.g., IPsec, TLS/SSL
    - 패킷 수정(Packet Modification)
      - 공격자가 패킷을 가로채 내용 변조 후 재전송 가능
      - 데이터 무결성 메커니즘으로 탐지 가능
        - e.g., 해시 함수 기반 체크섬, HMAC, 전사서명
    - IP 스푸핑(IP Spoofing)
      - 공격자가 다른 발신지 주소로 위장한 IP 패킷 생성 가능
      - 발신지 인증(Origin Authentication) 메커니즘으로 방지 가능
        - e.g., IPsec AH, 디지털 인증서 기반 상호 인증

IPv4

- 보안(Security) (2/6)
  - IPsec (IPsecurity)
    - 정의
      - 네트워크 계층에서 보안을 위한 인증과 기밀성을 갖는 패킷을 생성하도록 하는 프로토콜 집합
    - 필요성
      - IP는 전송되는 데이터에 대한 암호화 기능 부재로 패킷의 기밀성을 보장할 수 있는 기능이 필요
      - IP는 무결성 검증 수단과 인증 기능 부재로 데이터의 무결성이나 송/수신자의 신원을 인증할 수 있는 보안 기능이 필요
    - 특징
      - 네트워크 계층에서 캡슐화에 의한 보안 통로를 제공
      - 가상 사설망(VPN, Virtual Private Network)에서 주로 사용

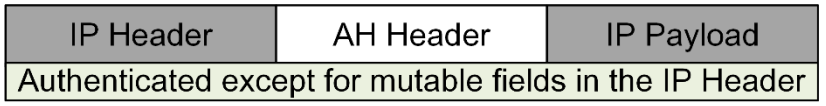
IPv4

- 보안(Security) (3/6)
  - IPsec (IPsecurity)
    - 운영 모드
      - 전송 모드(Transport Mode)
        - 정의
          - IP 헤더 이외에 데이터 부분만 보호하는 방식
        - 특징
          - 호스트-호스트 간에 주로 사용
      - 터널 모드(Turnel Mode)
        - 정의
          - IP 패킷 전체를 보호하고 그 위에 새로운 IP 헤더를 추가하는 방식
        - 특징
          - 라우터-라우터 혹은 호스트-라우터 간에 주로 사용

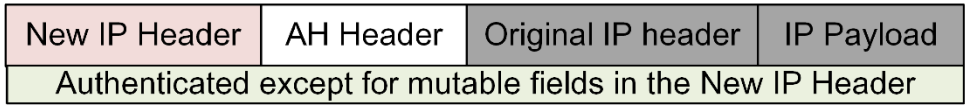
네트워크 계층의 소개

- 보안(Security) (4/6)
  - IPsec (IP security)
    - 핵심 프로토콜 (1/2)
      - AH(Authentication Header) 프로토콜
        - 전송 모드
          - IP Header의 전송 중 변경 가능한 필드(mutable field)를 제외한 IP Packet 전체를 인증
          - 암호화 지원 안함
        - 터널 모드
          - New IP Header의 전송 중 변경 가능한 필드(mutable field)를 제외한 New IP Packet 전체를 인증
          - 암호화 지원 안함

AH
Transport Mode

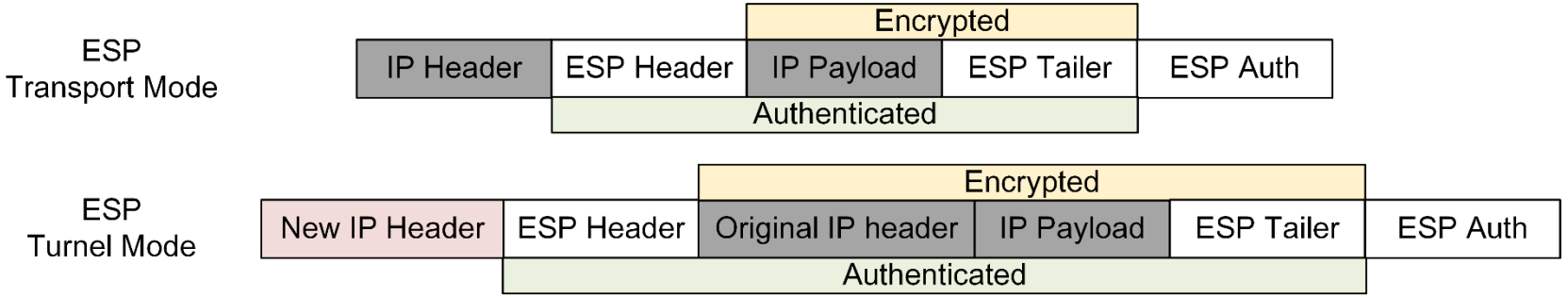


AH
Turnel Mode



네트워크 계층의 소개

- 보안(Security) (5/6)
  - IPsec (IP security)
    - 핵심 프로토콜 (2/2)
      - ESP(Encapsulating Security Payload) 프로토콜
        - 전송 모드
          - IP Payload와 ESP Trailer를 암호화하고, 암호화된 데이터와 ESP Header를 인증
        - 터널 모드
          - 원본 IP Packet 전체와 ESP Trailer를 암호화하고, 암호화된 데이터와 ESP Header를 인증

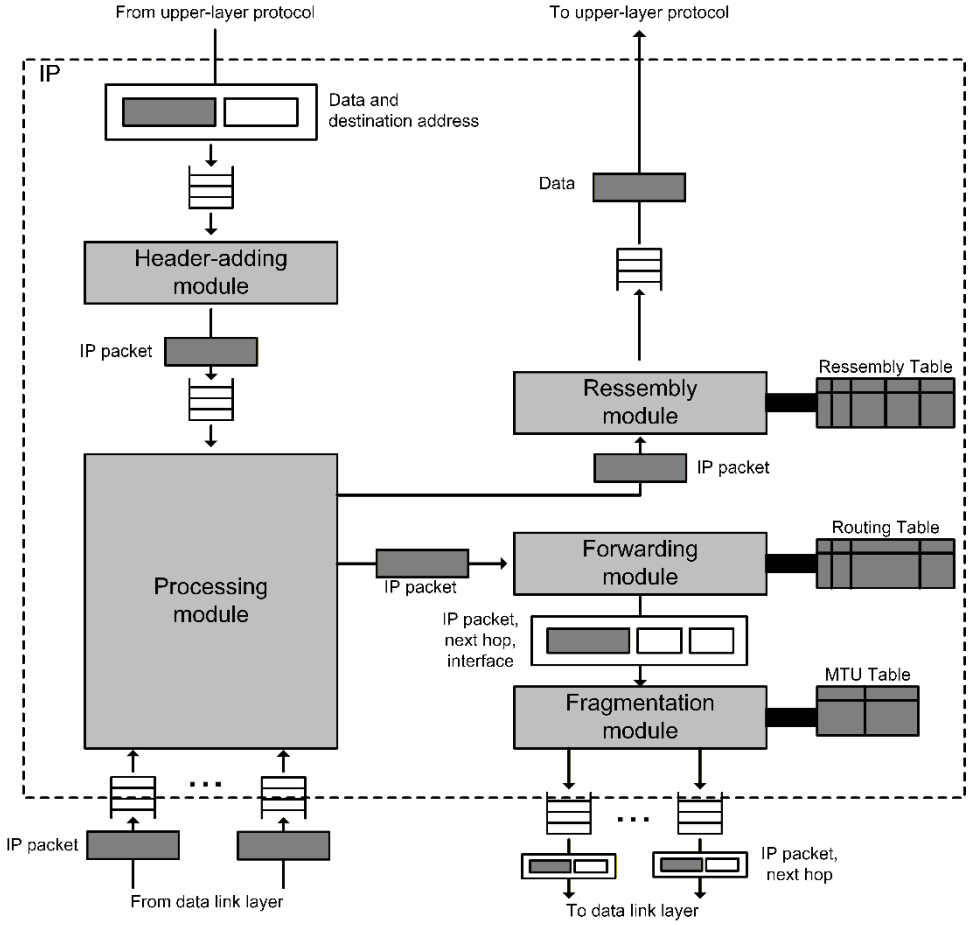


IPv4

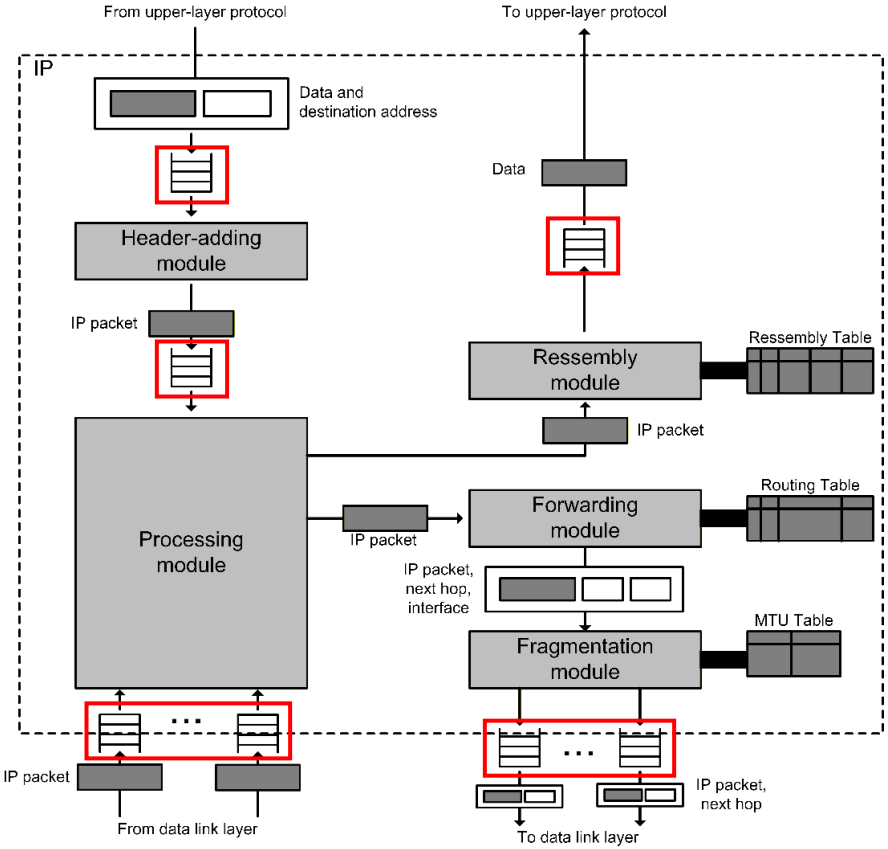
- 보안(Security) (6/6)
  - IPsec (IP security)
    - 제공 서비스
      - 알고리즘과 키의 결정
        - 안전한 채널 생성을 원하는 두 개체가 보안 목적으로 사용할 알고리즘과 키에 대해 합의
      - 패킷 암호화
        - 첫 단계에서 합의된 암호화 알고리즘과 공유 키를 이용해 두 당사자 간 교환 패킷 암호화
        - 패킷 스니핑 공격 무력화
      - 데이터 무결성
        - 전송 중 패킷이 변조되지 않았음을 보장
        - 무결성 검증 실패 시 수신 패킷 폐기
        - 패킷 수정 공격 방지
      - 발신지 인증
        - 패킷이 위장자에 의해 생성되지 않았음을 확인
        - IP 스푸핑 공격 방지

IPv4

- IP 패키지
  - 정의
    - IP 패킷을 다음 계층으로 전달하기 위한 처리 과정 전체
  - 구성요소
    - 큐
    - 헤더 추가 모듈
    - 처리 모듈
    - 라우팅 테이블
    - 포워딩 모듈
    - MTU 테이블
    - 단편화 모듈
    - 재조립 테이블
    - 재조립 모듈

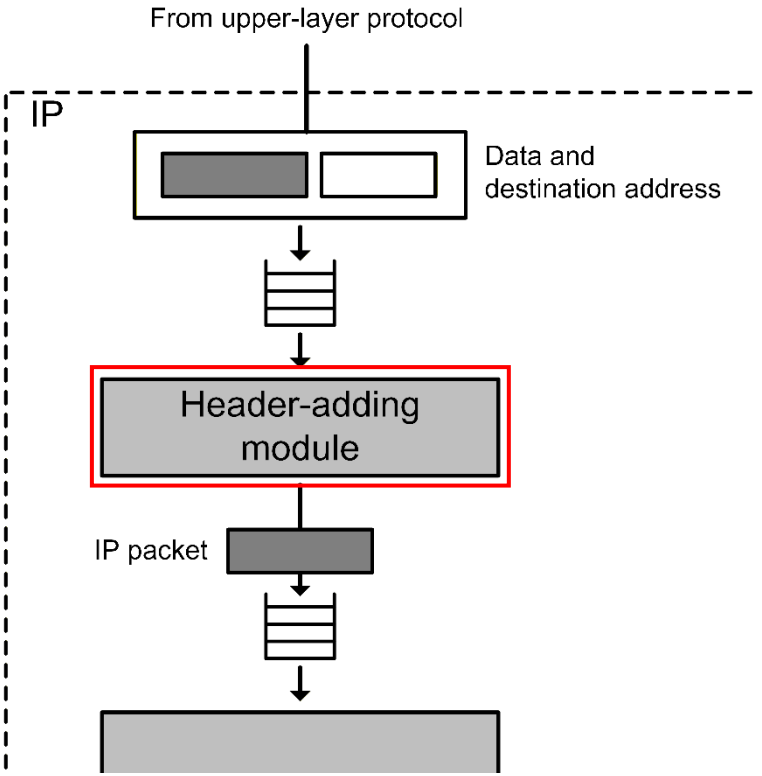


- IP 패키지 구성요소 (1/10)
  - 큐(Queue)
    - 정의
      - 먼저 들어온 데이터가 먼저 나가는 선입선출 구조
    - 입력 큐
      - 데이터링크 계층이나 상위 계층 프로토콜로부터 온 데이터그램 저장
      - 처리 모듈은 입력 큐로부터 데이터그램을 가져옴
    - 출력 큐
      - 데이터링크 계층이나 상위 계층 프로토콜로 가는 데이터그램 저장
      - 단편화 모듈과 재조립 모듈은 출력 큐에 데이터그램을 넣음

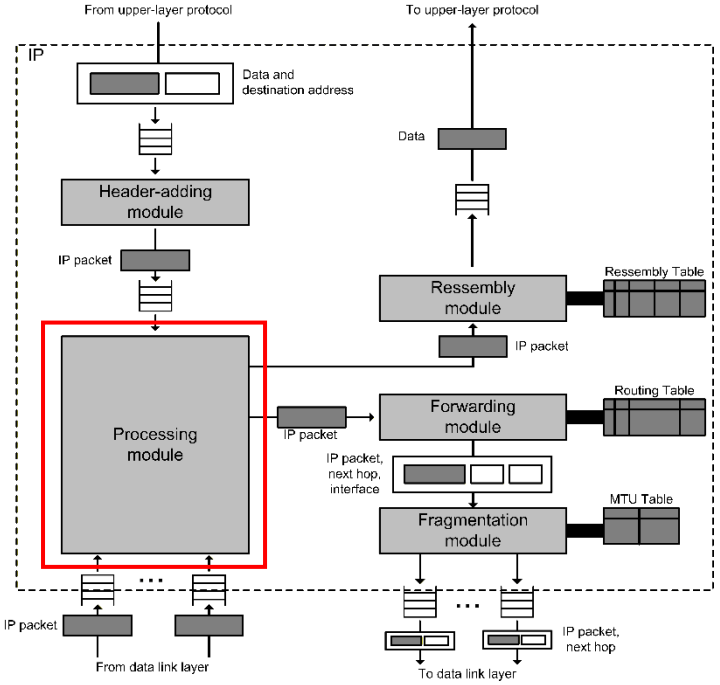


- IP 패키지 구성요소 (2/10)
  - 헤더 추가 모듈(Header-adding Module)
    - 동작 원리
      1. 상위 계층 프로토콜로부터 데이터와 목적지 IP 주소를 받음
      2. IP 데이터그램 내에 데이터를 캡슐화
      3. 체크섬을 계산하고 체크섬 필드에 추가
      4. 목적에 맞는 큐에 완성된 IP 데이터그램을 전달

```
IP_Adding_Module (data, destination)
{
        Encapsulate data in an IP datagram
        Calculate checksum and insert it in the checksum field
        Send data to the corresponding queue
        Return
}
```



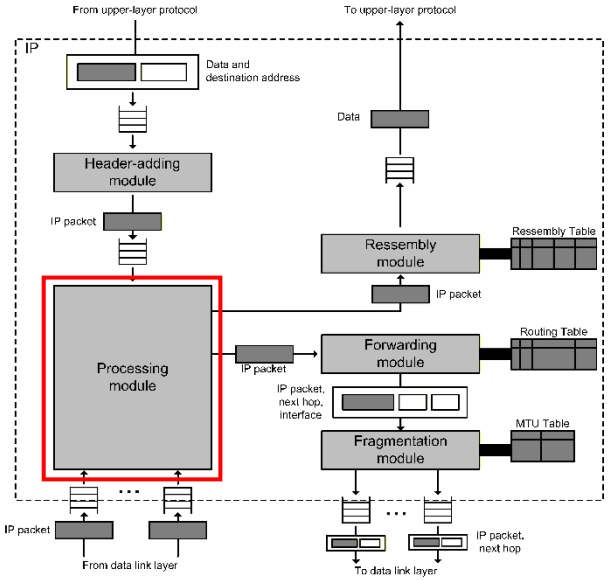
- IP 패키지 구성요소 (3/10)
  - 처리 모듈(Processing Module) (1/2)
    - 동작 원리
      1. 입력 큐에서 하나의 데이터그램 제거
      2. 목적지 주소가 로컬 주소와 일치하는지 확인
         - 일치하면 재조립 모듈로 전달 후 종료




```
IP_Processing_Module (Datagram)
{
    Remove one datagram from one of the input queues
    if (destination address matches a local address) {
        send the datagram to the reassembly module
        Return
    }
    if (machine is a router) {
        Decrement TTL
    }
    if (TTL less than or equal to zero) {
        Discard the datagram
        Send an ICMP error message
        Return
    }
    Send the datagram to the forwarding module.
    Return
}
```

- IP 패키지 구성요소 (4/10)
  - 처리 모듈(Processing Module) (2/2)
    - 동작 원리

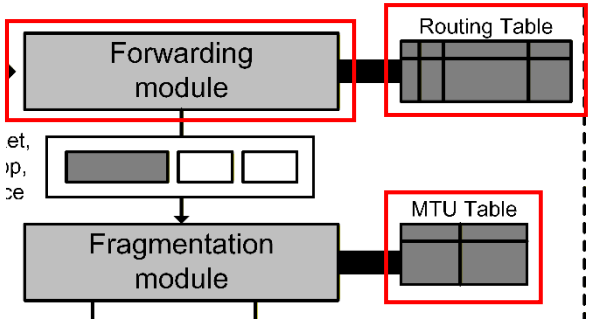
3. 현재 장치가 라우터이면
   - TTL 값 1 감소
4. TTL 값이 0 이하인지 확인
   - 0 이하이면 데이터그램 폐기 하고 ICMP 오류 메시지 전송 후 종료
5. 위 조건에 해당하지 않으면 포워딩 모듈로 데이터그램 전달 후 종료



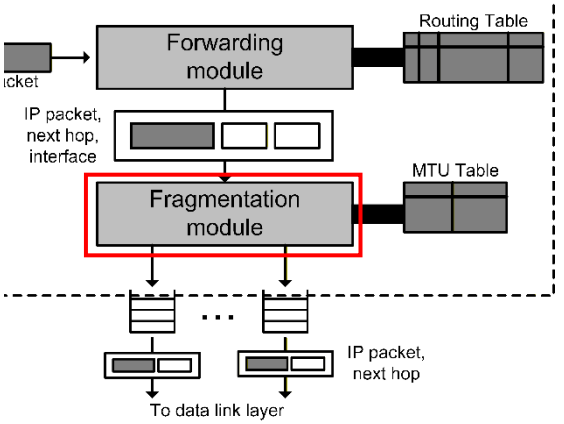
IP_Processing_Module (Datagram)
{
    Remove one datagram from one of the input queues
    if (destination address matches a local address) {
        send the datagram to the reassembly module
        Return
    }
    if (machine is a router) {
        Decrement TTL
    }
    if (TTL less than or equal to zero) {
        Discard the datagram
        Send an ICMP error message
        Return
    }
    Send the datagram to the forwarding module.
    Return
}

IPv4

- IP 패키지 구성요소 (5/10)
  - 라우팅 테이블(Routing Table)
    - 패킷의 다음 홉 주소를 결정하기 위해 포워딩 모듈에서 사용
  - 포워딩 모듈(Forwarding Module)
    - 처리 모듈로부터 전달되어야 하는 IP 패킷을 받아 처리
      - 보내져야 할 노드의 주소와 패킷이 보내져야 하는 인터페이스의 번호를 찾아서 패킷과 함께 단편화 모듈로 전송
  - MTU 테이블(MTU Table)
    - 단편화 모듈이 특정 인터페이스의 MTU를 찾기 위해 사용
    - 인터페이스와 MTU의 두 열로 구성



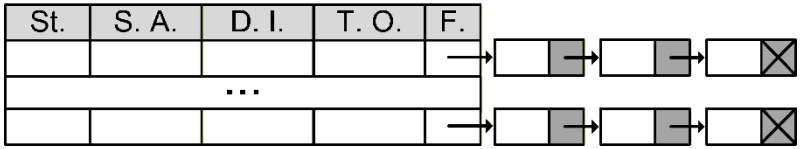
- IP 패키지 구성요소 (6/10)
  - 단편화 모듈(Fragmentation Module)
    - 동작 원리
      1. 포워딩 모듈로부터 IP 데이터그램을 받음
      2. 데이터그램의 크기 추출
      3. MTU보다 크기가 큰 경우
         - D 비트가 설정된 경우
           - 데이터그램 폐기 및 ICMP 오류 메시지 전달 후 종료
         - D 비트가 설정되지 않은 경우
           - 최대 사이즈 계산하고 단편으로 분할
           - 각 단편에 헤더와 각 단편에 요구되는 옵션 추가
           - 단편 전달 후 종료
      4. MTU보다 작은 경우
         - 데이터그램 전송 후 종료



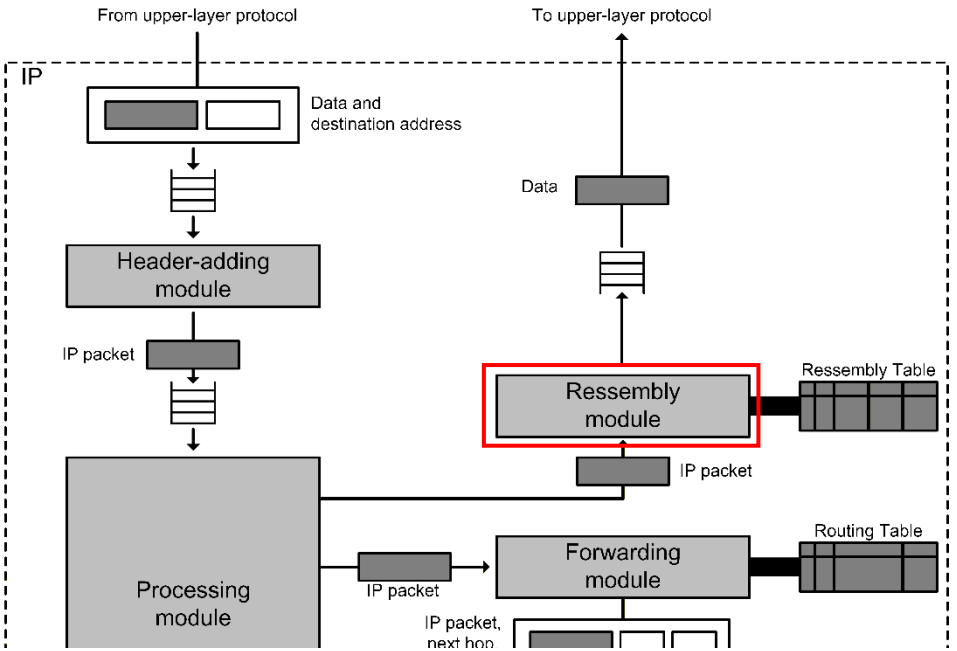

```
IP_Fragmentation_Module (datagram)
{
    Extract the size of datagram
    if (size > MTU of the corresponding network) {
        if (D bit is set ) {
            Discard datagram
            Send an ICMP error message
            Return
        }
        else {
            Calculate maximum size
            Divide the segment into fragments
            Add header to each fragment
            Add required options to each fragment
            Send fragment
            Return
        }
    }
    else {
        Send the datagram
    }
    Return
}
```

- IP 패키지 구성요소 (7/10)
  - 재조립 테이블(Reassembly Table)
    - 재조립 모듈에 의하여 사용
    - 필드
      - 상태(State)
        - 재조립 테이블의 상태를 의미
        - 사용 중일 경우 IN-USE, 사용하지 않을 경우 FREE
      - 발신지 주소(Source Address)
        - 데이터그램의 발신지 주소
      - 데이터그램 ID (Datagram ID)
        - 데이터그램과 이 데이터그램에 속하는 단편들을 정의하는 번호
      - 타임 아웃(Time-out)
        - 미리 결정된 시간으로 모든 단편이 이 시간 내에는 도착
      - 단편(Fragments)
        - 단편들의 연결 리스트에 대한 포인터

St. : State
S. A. : Source Address
D. I. : Datagram ID
T. O. : Time-out
F. : Fragments

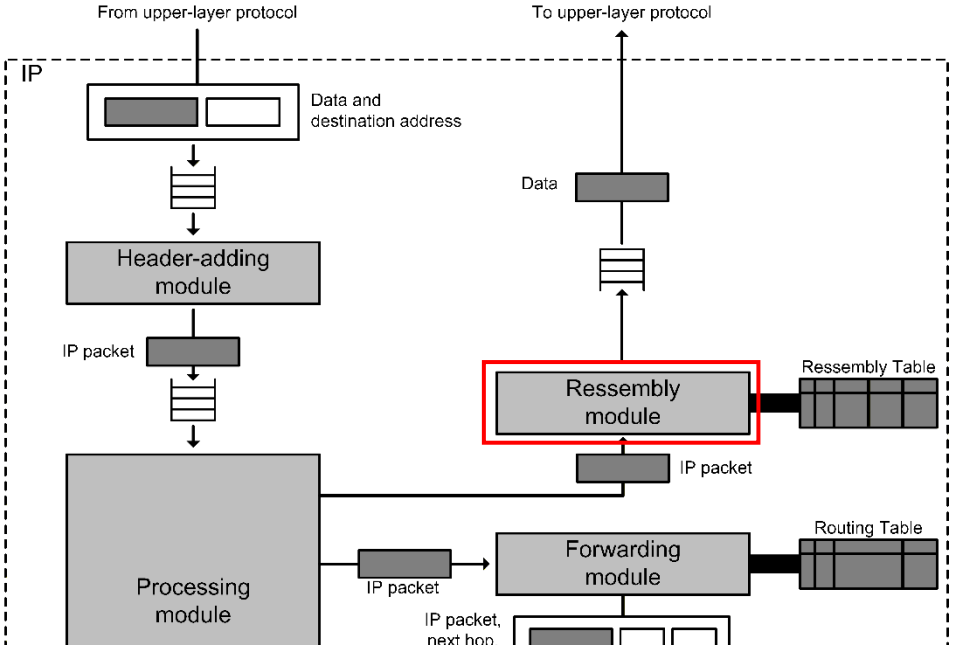


- IP 패키지 구성요소 (8/10)
  - 재조립 모듈(Reassembly Module) (1/3)
    - 동작 원리
      1. 처리 모듈로부터 최종 목적지에 도착한 데이터그램 단편을 받음
      2. 단편의 옵셋 값이 0이면서 M비트가 0인지 확인
         - 두 값이 0이면 데이터그램을 적절한 큐에 보내고 종료




```
IP_Reassembly_Module (datagram)
{
    if (offset value = 0 AND M = 0) {
        Send datagram to the appropriate queue
        Return
    }
    Search the reassembly table for the entry
    if (entry not found) {
        Create a new entry
    }
    Insert datagram into the linked list
    if (all fragments have arrived) {
        Reassemble the fragment
        Deliver the fragment to upper-layer protocol
        Return
    }
    else{
        if (time-out expired) {
            Discard all fragments
            Send an ICMP error message
        }
    }
    Return
}
```

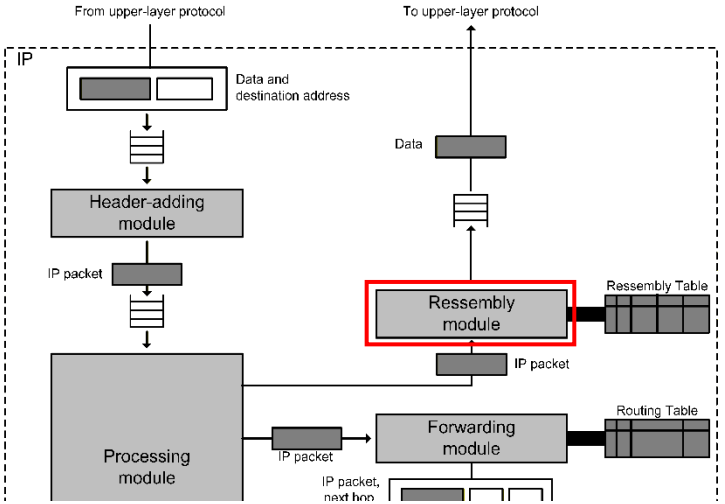
- IP 패키지 구성요소 (9/10)
  - 재조립 모듈(Reassembly Module) (2/3)
    - 동작 원리
      3. 재조립 테이블에서 항목에 대해 검색
         - 해당 항목을 찾지 못하면 새로운 항목을 생성
      4. 생성한 항목의 연결리스트에 데이터그램 삽입




```
IP_Reassembly_Module (datagram)
{
    if (offset value = 0 AND M = 0) {
        Send datagram to the appropriate queue
        Return
    }
    Search the reassembly table for the entry
    if (entry not found) {
        Create a new entry
    }
    Insert datagram into the linked list
    if (all fragments have arrived) {
        Reassemble the fragment
        Deliver the fragment to upper-layer protocol
        Return
    }
    else{
        if (time-out expired) {
            Discard all fragments
            Send an ICMP error message
        }
    }
    Return
}
```

- IP 패키지 구성요소 (10/10)
  - 재조립 모듈(Reassembly Module) (3/3)
    - 동작 원리

5. 모든 단편이 도착했는지 확인
   - 모든 단편이 도착했으면 단편을 재조립하고 상위 계층 프로토콜에 단편을 전송하고 종료
   - 단편들이 모두 도착하지 않았으면, 타임아웃이 발생했는지 확인
     - 타임아웃이 발생했다면 모든 단편을 폐기하고 ICMP 오류 메시지를 전송하고 종료




```
IP_Reassembly_Module (datagram)
{
    if (offset value = 0 AND M = 0) {
        Send datagram to the appropriate queue
        Return
    }
    Search the reassembly table for the entry
    if (entry not found) {
        Create a new entry
    }
    Insert datagram into the linked list
    if (all fragments have arrived) {
        Reassemble the fragment
        Deliver the fragment to upper-layer protocol
        Return
    }
    else{
        if (time-out expired) {
            Discard all fragments
            Send an ICMP error message
        }
    }
    Return
}
```

Thanks!

서 진 우(jinwoo@pel.sejong.ac.kr)