

# 6장. IP 패킷의 전달과 포워딩

2025년 1학기  
단국대학교 컴퓨터공학과  
박태근

# Contents

---

6.1 전달 (Delivery)

6.2 포워딩 (Forwarding)

## 6.1 전달 (Delivery)

---

- ✓ 네트워크 계층은 하부의 물리 네트워크에 의해 패킷이 처리되는 과정을 감독함
- ✓ 이 처리 과정 (handling)을 패킷의 전달 (delivery of a packet)라고 부름
- ✓ 최종 목적지까지 패킷의 전달은 두 가지 다른 방법을 사용하여 수행됨
  - 직접 전달 (direct delivery)
  - 간접 전달 (indirect delivery).

## 6.1 전달 (Delivery) - Topics

---

- 1) 직접 전달 (Direct Delivery)
- 2) 간접 전달 (Indirect Delivery)

## 6.1 전달 (Delivery) – 직접 전달 (Direct Delivery)

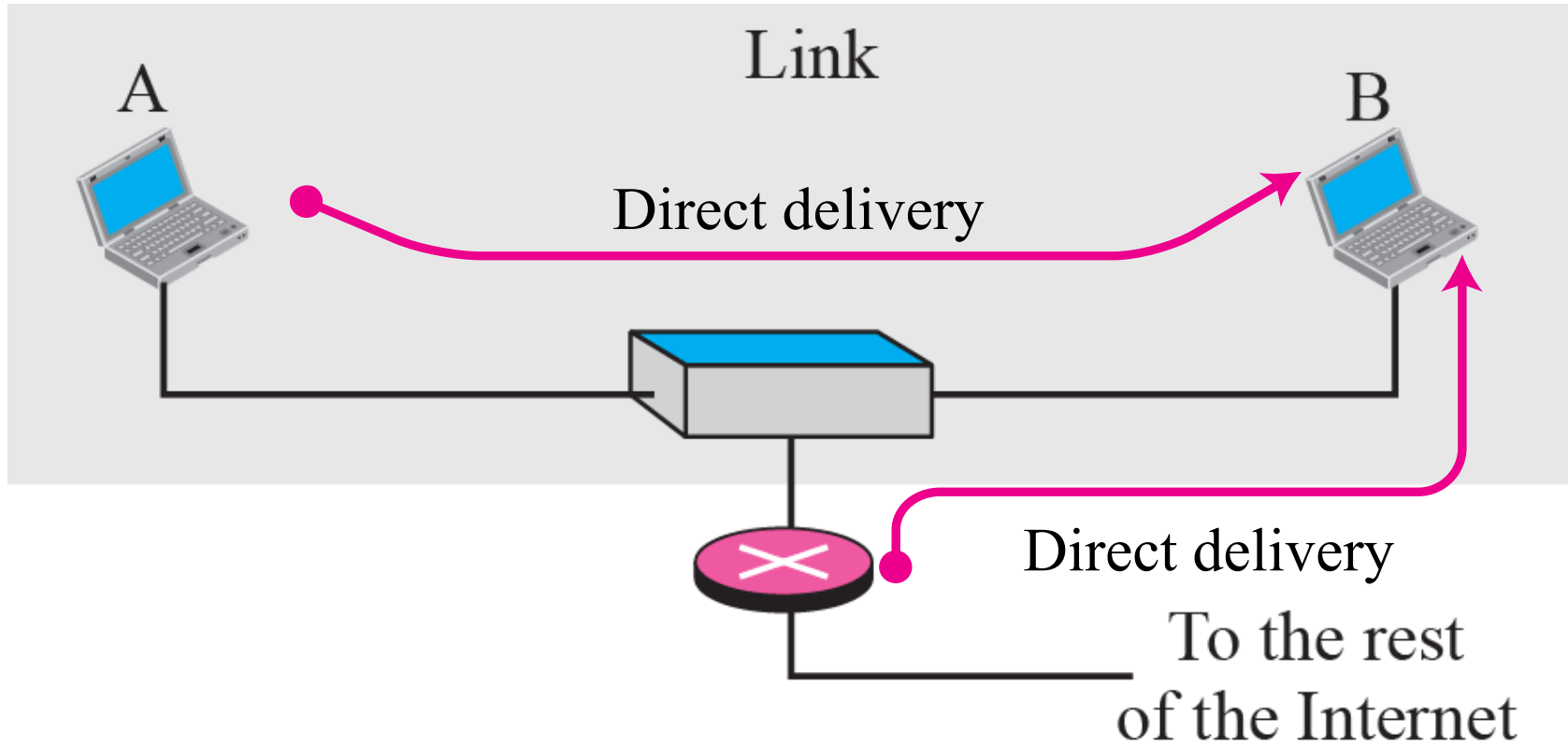


그림 6.1 직접 전달 (Direct delivery)

## 6.1 전달 (Delivery) – 간접 전달 (Indirect Delivery)

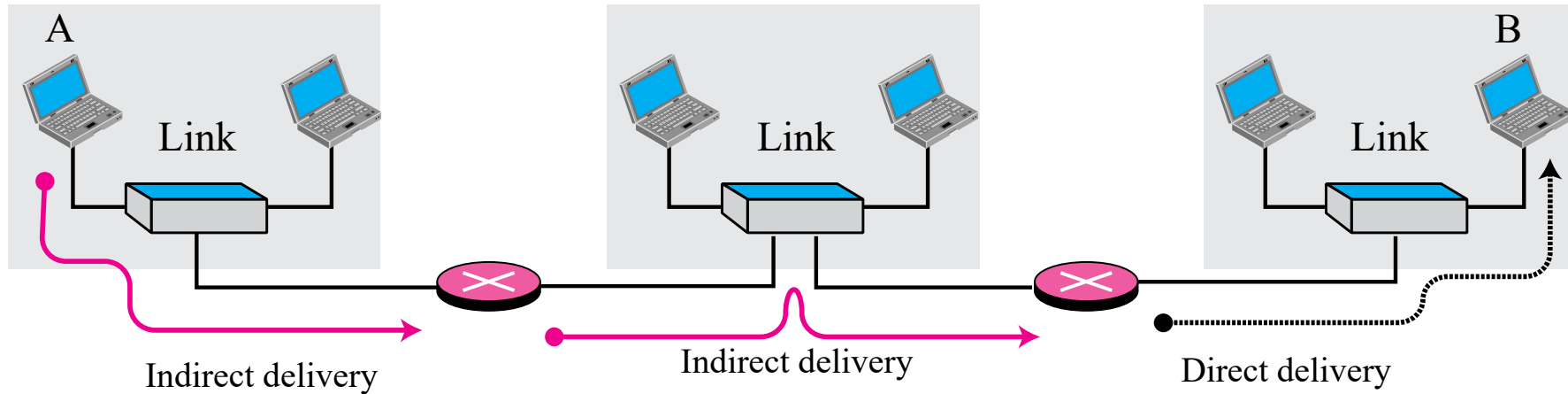


그림 6.2 간접 전달 (Indirect delivery)

## 6.2 포워딩 (Forwarding)

---

- ✓ 포워딩 (forwarding)은 패킷을 목적지로 가는 경로 상에 놓는 것 (place the packet in its route)을 의미함
- ✓ 오늘날의 **Internet**은
  - 링크 (네트워크)들의 **조합**으로 이루어져 있으므로,
  - **포워딩**은
    - (마지막 목적지 (final destination))가 될 수도 있고,
    - (중간 연결 장치 (intermediate connecting device))가 될 수도 있는)
  - **다음 홉으로 패킷을 전달하는 것**을 의미함
- ✓ IP 프로토콜 (**IP protocol**)은 원래 비연결형 프로토콜 (**connectionless protocol**)로 설계되었으나, 오늘날의 IP는 연결 지향 프로토콜 (connection-oriented protocol)로 사용되는 경향임

## 6.2 포워딩 (Forwarding) - Topics

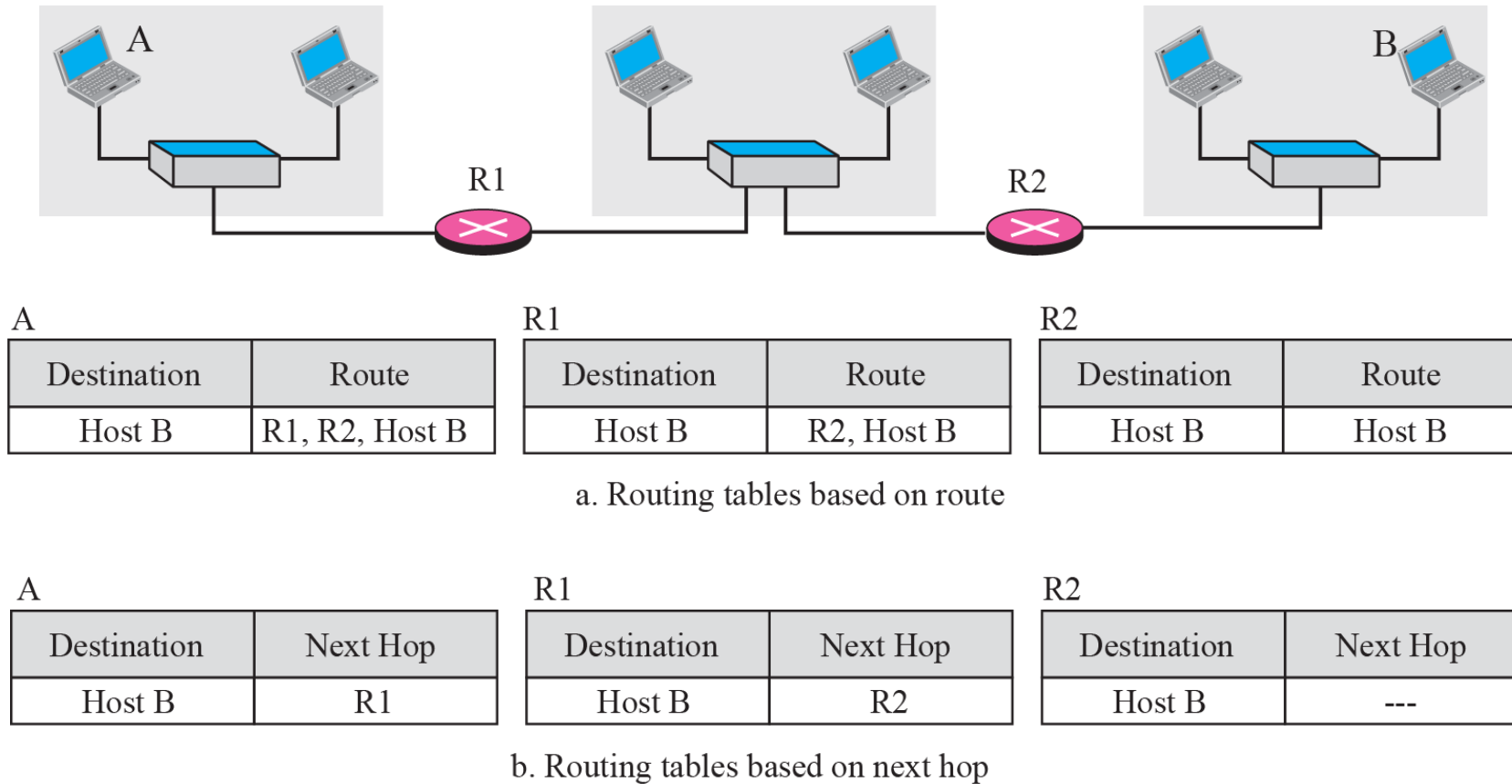
---

- 1) 목적지 주소 기반 포워딩 (Forwarding Based on Destination Address)
  - ◆ 다음 홉 방법 (Next-Hop Method)
  - ◆ 네트워크 지정 방법 (Network-Specific Method)
  - ◆ 호스트 지정 방법 (Host-Specific Method)
  - ◆ 디폴트 방법 (Default Method)



## 6.2 포워딩 (Forwarding) – 다음 홉 방법 (Next-Hop Method)

- ✓ 이 기술에서, **라우팅 테이블 (routing table)**은 전체 경로 (complete route)에 대한 정보 대신에, **다음 홉의 주소 (address of the next hop)**만 저장함



**그림 6.3 다음 홉 방법 (Next-hop method)**

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – 네트워크 지정 방법 (Network-Specific Method)

- ✓ 여기에서는, 같은 네트워크에 연결된 모든 호스트에 대해 각 호스트 별로 엔트리를 가지고 있는 대신에, **목적지 네트워크의 주소 (address of the destination network)를 정의하는 엔트리 하나만을 가지고 있음**

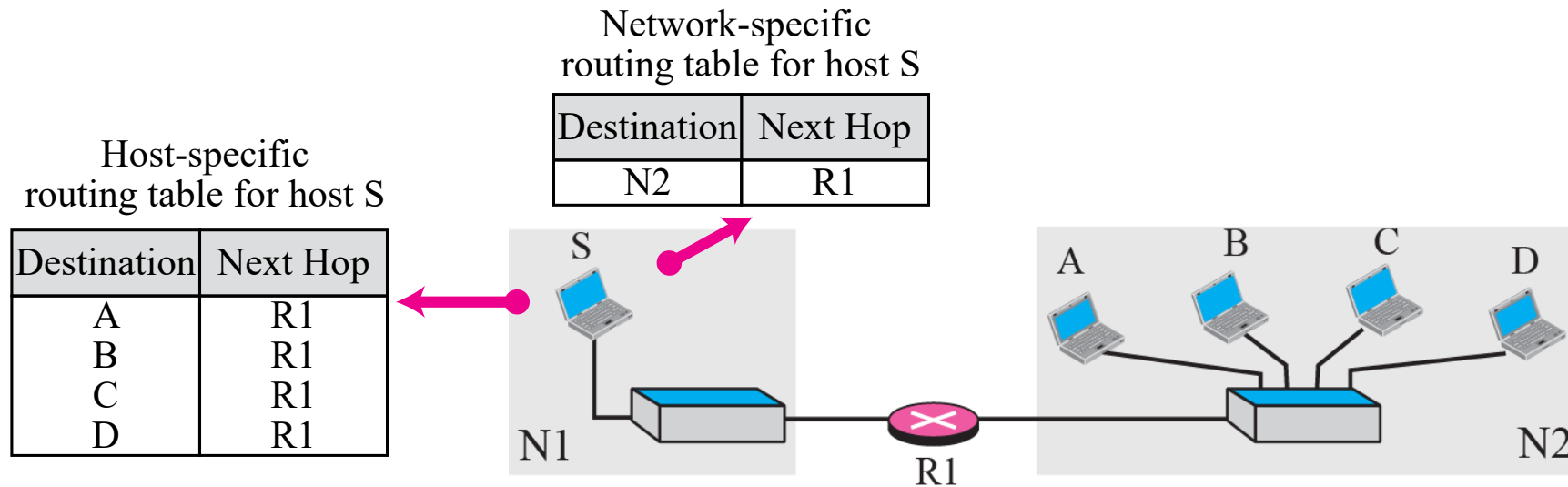
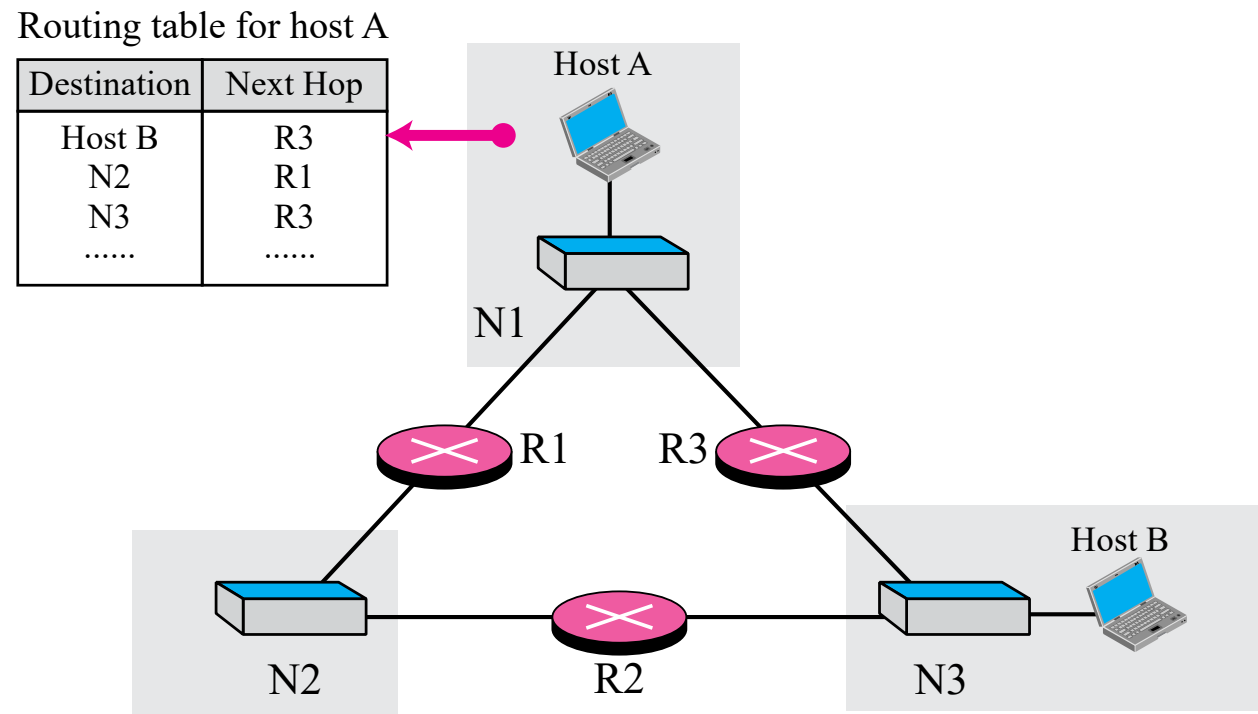


그림 6.4 네트워크 지정 방법 (Network-specific method)

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – 호스트 지정 방법 (Host-Specific Method)

- ✓ 이 방법은 다른 이점을 얻기 위하여 효율성 (efficiency)을 희생함
- ✓ 예를 들어, **그림 6.5**에서 관리자가 호스트 B로 가는 패킷이 라우터 R1 대신에 R3을 통해 전달되기를 원한다면, 호스트 A의 라우팅 테이블에는 **이러한 경로를 정의하는 한 개의 엔트리를 저장함**



**그림 6.5 호스트 지정 방법 (Host-specific method)**

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – 디폴트 방법 (Default Method)

✓ 라우팅을 간단하게 만드는 또 다른 기술은 **디폴트 방법 (default method)**임

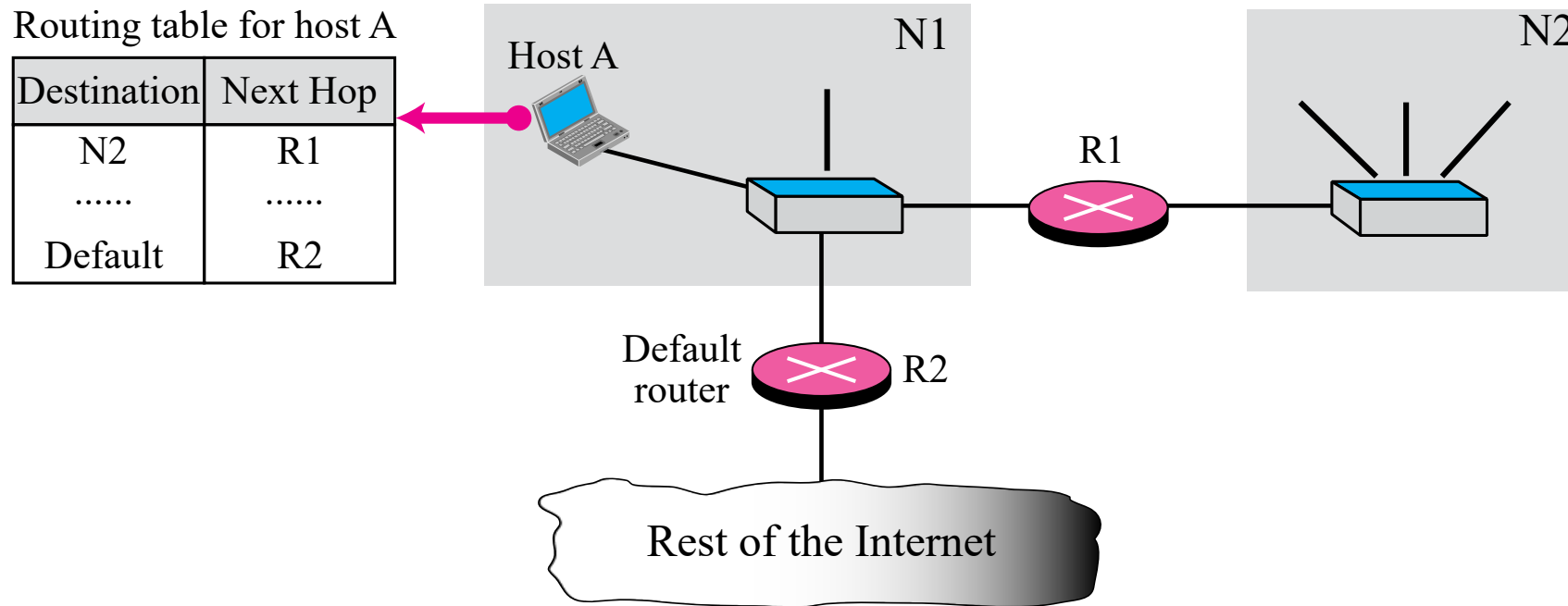


Figure 6.6 디폴트 방법 (Default method)

## 6.2 포워딩 (Forwarding)

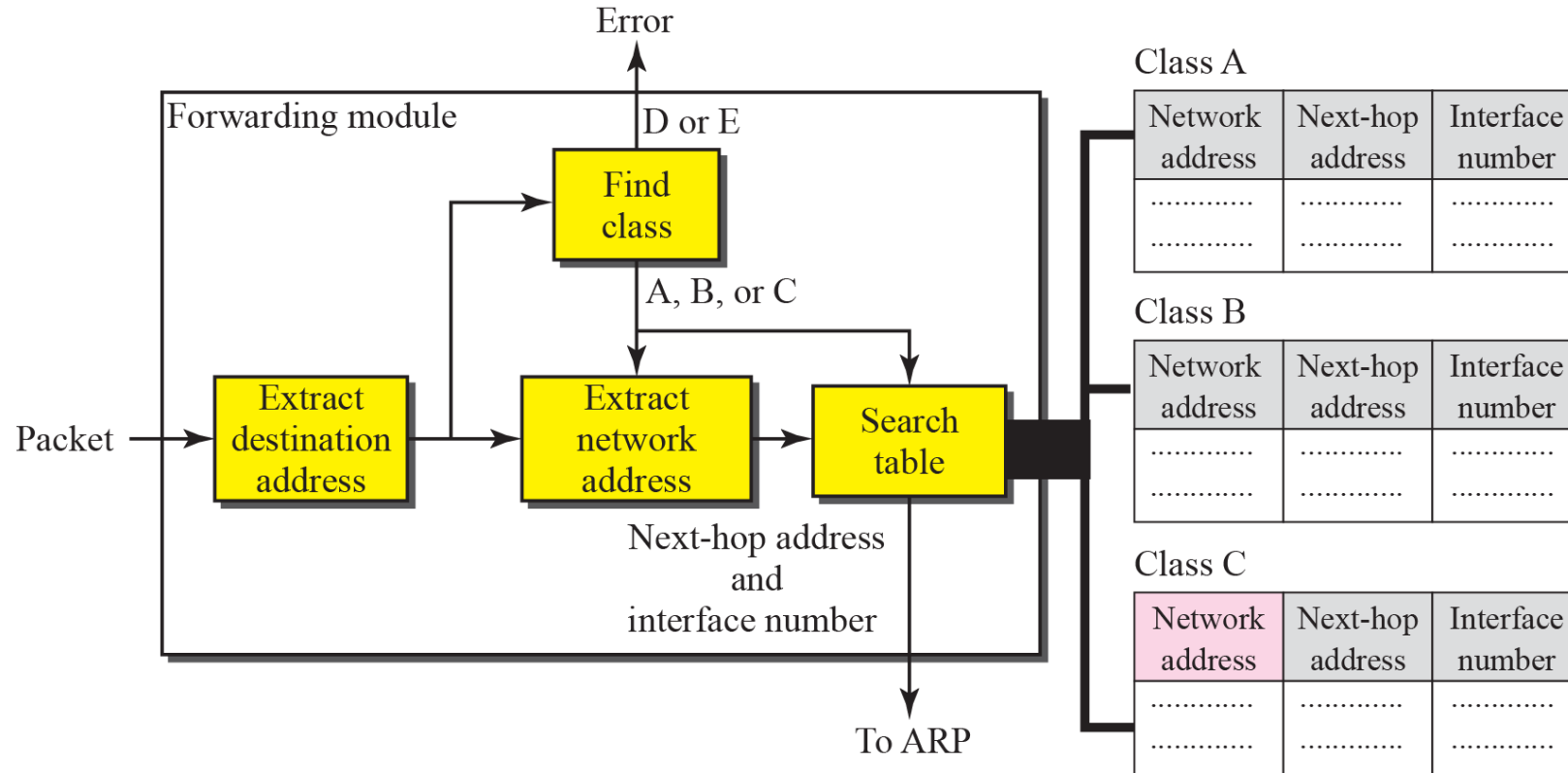
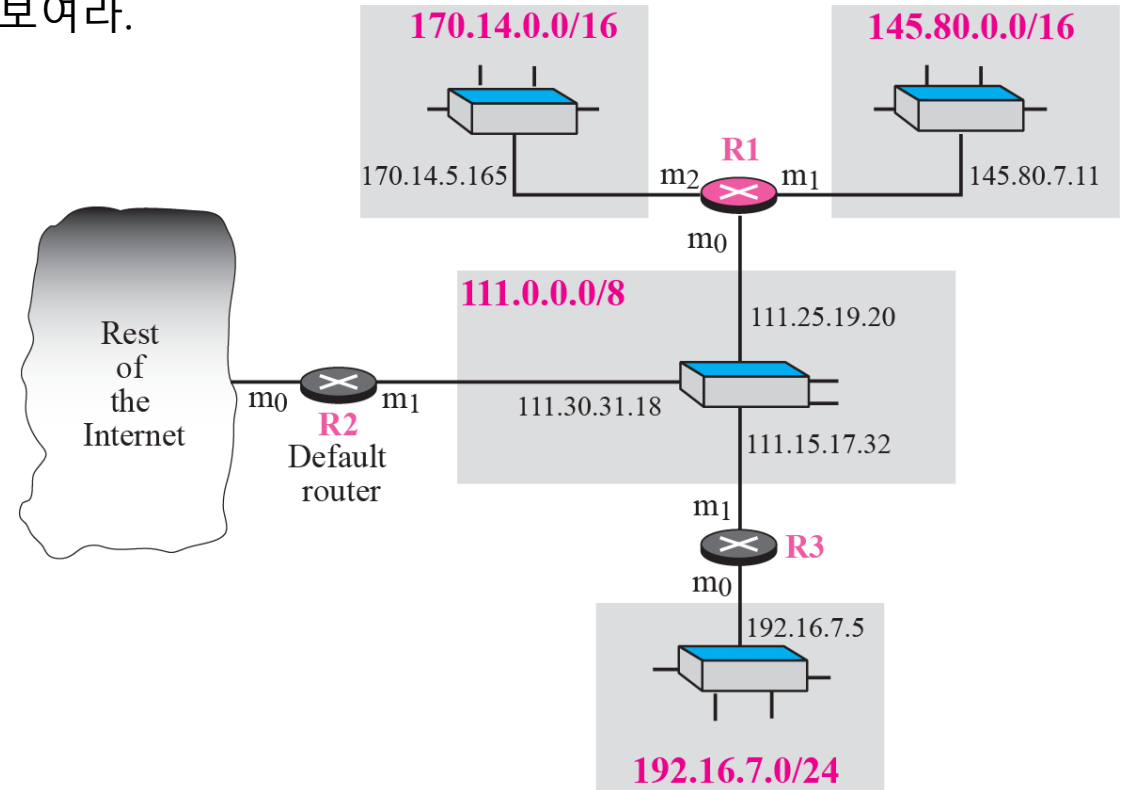


그림 6.7 클래스기반 주소지정 (주소체계)에서 서브네팅을 사용하지 않는 경우의 단순화된 포워딩 모듈  
(Simplified forwarding module in classful address without subnetting)

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.1 (1)

- ✓ 그림 6.8은 Internet의 일부인 가상의 네트워크를 보여준다.
- ✓ 라우터 (router) R1의 라우팅 테이블 (routing table)을 보여라.



해답 (Solution)

(다음 페이지)

그림 6.8 예제 6.1에서의 라우팅 구성  
(Configuration for routing, Example 6.1)

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.1 (2)

### 해답 (Solution)

- ✓ 그림 6.9는 라우터 R1이 사용하는 세 개의 테이블을 보여준다.
- ✓ 일부의 엔트리에는 **다음 홉 주소 (next-hop address)**가 비어 있는 경우가 있는데, 이는 라우터가 직접 연결된 네트워크에 목적지 (**destination**)가 존재하기 때문이다. → **직접 전달 (direct delivery)**을 의미
- ✓ 이 경우, ARP (8장에서 설명될 예정)가 사용하는 **다음 홉 주소 (next-hop address)**는 **패킷의 목적지 주소 (destination address of the packet)**임

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

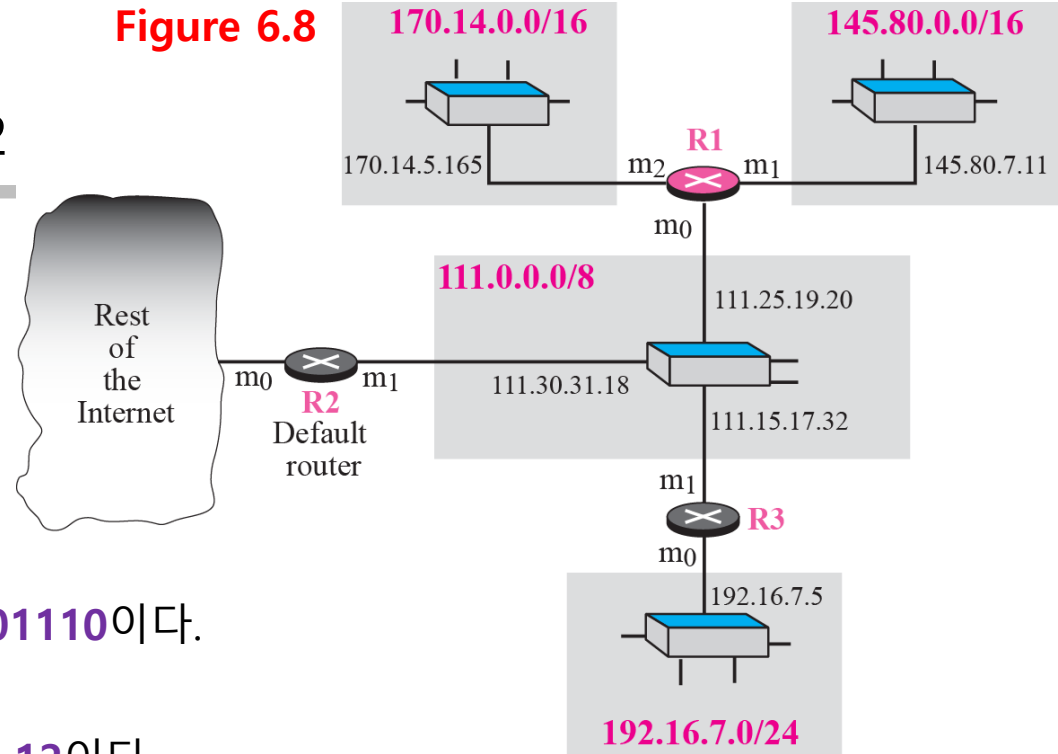
그림 6.9 예제 6.1의 여러 테이블

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.2

- ✓ 그림 6.8에서 라우터 R1은 목적지 주소 (destination address)가 **192.16.7.14**인 패킷을 수신한다.
- ✓ 패킷이 어떻게 포워딩되는지 보여라.

### 해답 (Solution)

- ✓ 목적지 주소는 2진법으로 **11000000 00010000 000001110 0001110**이다.
- ✓ 주소의 복사본을 오른쪽으로 28비트 쉬프트 (shift) 시킨다.
- ✓ 쉬프트 결과는 **00000000 00000000 00000000 00001100** 또는 **12**이다.
- ✓ 따라서, 목적지 네트워크는 **class C**이다.
- ✓ 목적지 주소에서 **왼쪽 (leftmost) 24비트**만 추출하면 **네트워크 주소 192.16.7.0**을 얻을 수 있다.
- ✓ 클래스 C의 테이블이 탐색된다.
- ✓ 네트워크 주소는 첫 번째 행에 존재한다.
- ✓ **다음 홉 주소 (next-hop address) 111.15.17.32와 인터페이스 번호 m0**가 ARP (8장 참조)에게 전달된다.



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

그림 6.9 예제 6.1의 여러 테이블



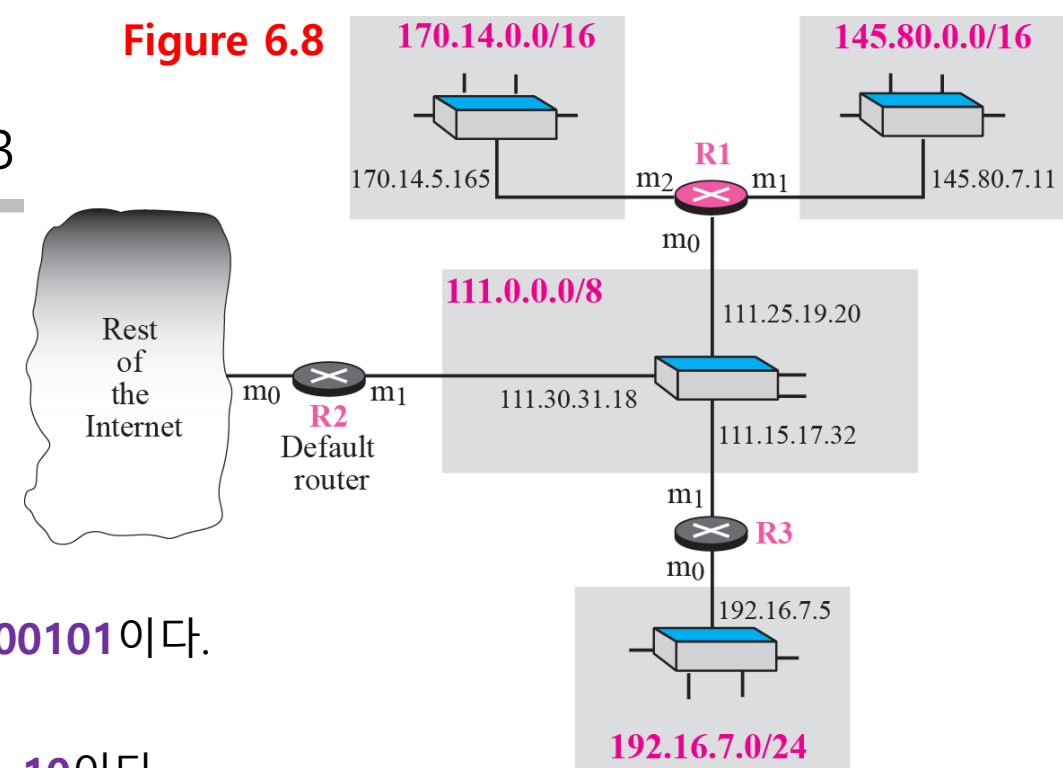
## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.3

- ✓ 그림 6.8에서 라우터 R1은 목적지 주소 (destination address)가 **167.24.160.5**인 패킷을 수신한다.
- ✓ 패킷이 어떻게 포워딩되는지 보여라.

### 해답 (Solution)

- ✓ 목적지 주소는 2진법으로 **10100111 00011000 10100000 00000101**이다.
- ✓ 주소의 복사본을 오른쪽으로 28비트 쉬프트 (shift) 시킨다.
- ✓ 쉬프트 결과는 **00000000 00000000 00000000 00001010** 또는 **10**이다.
- ✓ 따라서, 목적지 네트워크는 **class B**이다.
- ✓ 목적지 주소에서 **왼쪽 (leftmost) 16비트**만 추출하면 **네트워크 주소 167.24.0.0**을 얻을 수 있다.
- ✓ 클래스 B의 테이블을 탐색하지만, **부합되는 엔트리를 발견할 수 없다 (No matching network address)**.
- ✓ (목적지 네트워크는 Internet 어딘가에 위치하므로) 패킷은 디폴트 라우터에게 전달되어야 한다.
- ✓ **다음 홉 주소 (next-hop address) 111.30.31.18**과 **인터페이스 번호 m0**가 ARP에게 전달된다.

Figure 6.8



## 6.2 포워딩 (Forwarding)

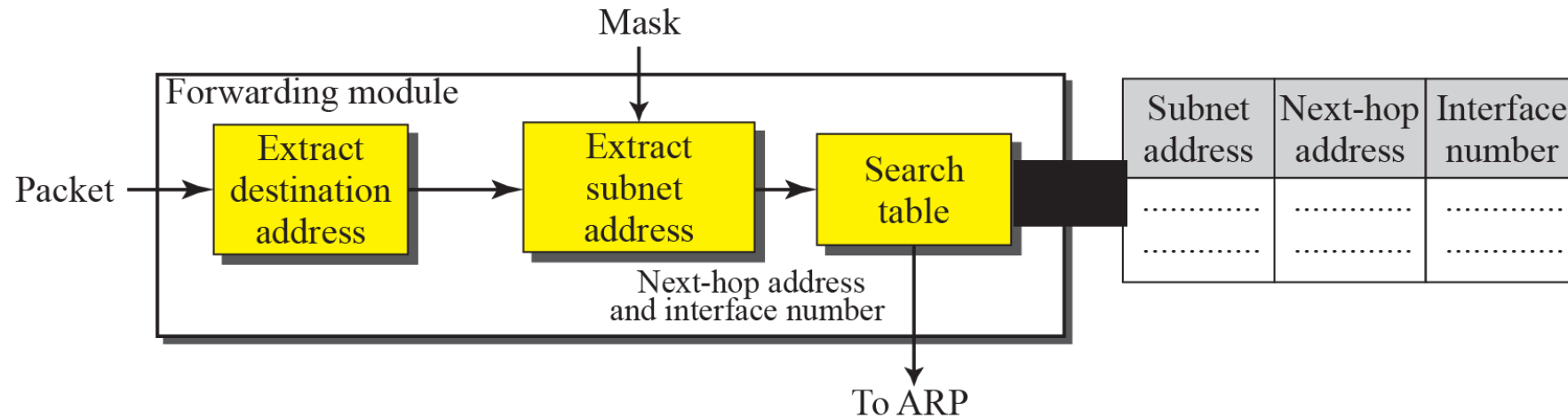


그림 6.10 클래스기반 주소지정 (주소체계)에서 서브네팅을 사용하는 경우 단순화된 포워딩 모듈  
(Simplified forwarding module in classful address with subnetting)

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.4 (1)

✓ 그림 6.11은 네 개의 서브넷 (four subnets)에 연결된 라우터를 보여주고 있다.

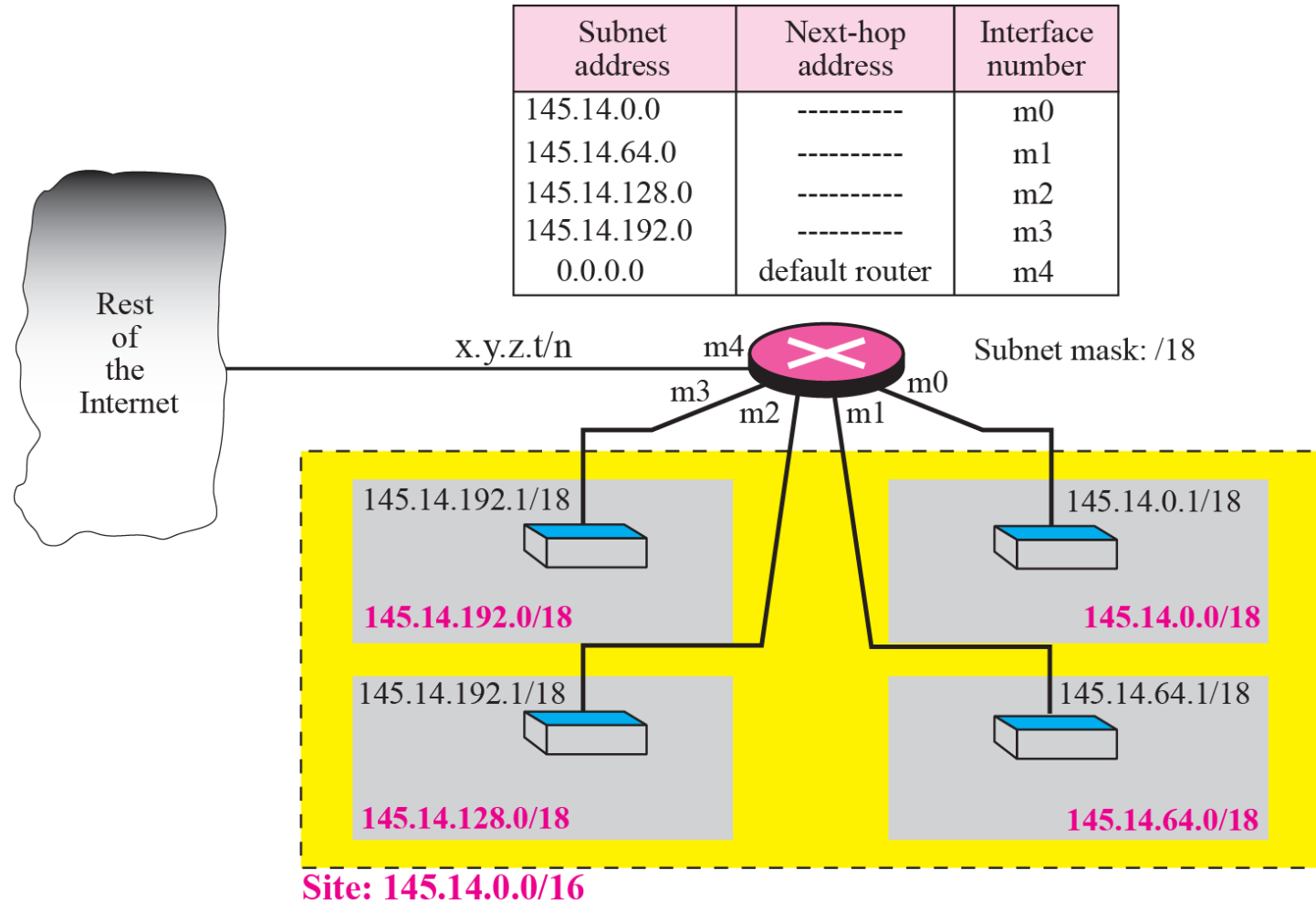


그림 6.11 예제 6.4를 위한 네트워크 구성

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.4 (2)

- ✓ 몇 가지 점을 언급할 필요가 있다.
- ✓ 첫째, 사이트 주소 (**site address**)는 **145.14.0.0/16** (클래스 B 주소)이다.
- ✓ **145.14.0.0**에서 **145.14.255.255** 사이의 목적지 주소 (**destination address**)는 먼저 **인터페이스 (interface) m4**로 전달되고, 라우터에 의해 최종 목적지 서브넷으로 전달된다.

(다음 페이지)

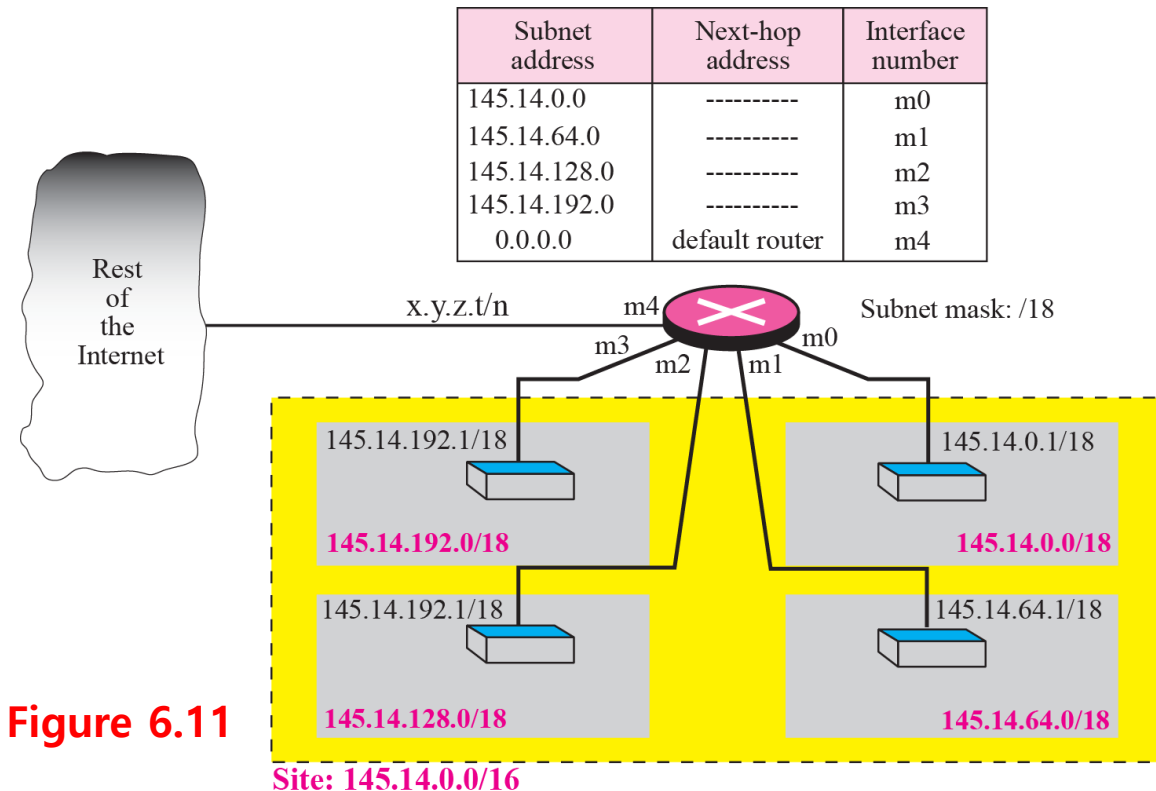
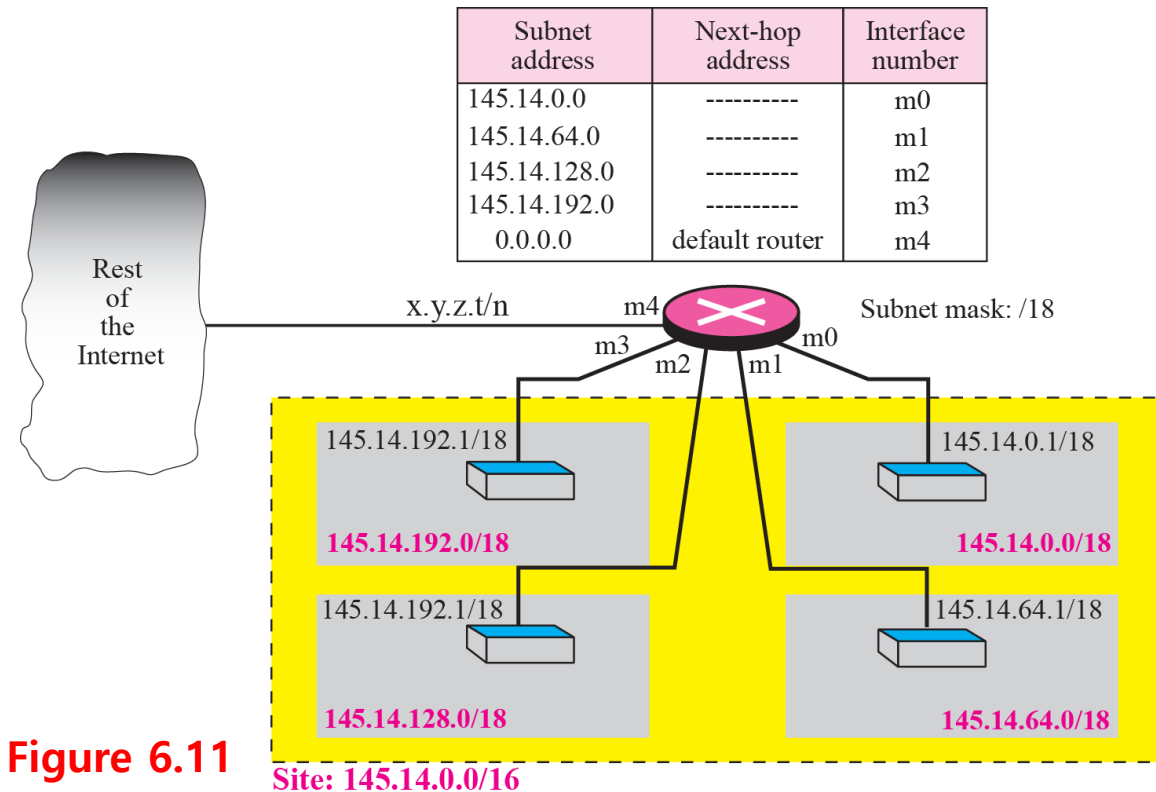


Figure 6.11

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.4 (3)

- ✓ **둘째**, 이 라우터가 어느 네트워크에 연결되어 있는지 모르므로, **인터페이스 m4**에는 **x.y.z.t/n**이라는 주소를 사용하였다.
- ✓ **셋째**, 테이블은 외부로 나갈 패킷을 위하여 **디폴트 엔트리 (default entry)**를 가지고 있다.
- ✓ 라우터는 모든 목적지 주소에 대해 **/18 서브넷 마스크 (subnet mask)**를 적용하도록 구성되어 있다.



## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.5

- ✓ 목적지 주소가 **145.14.32.78**인 패킷을 **그림 6.11의 라우터가 수신**하였다.
- ✓ 패킷이 어떻게 포워딩되는지 보여라.

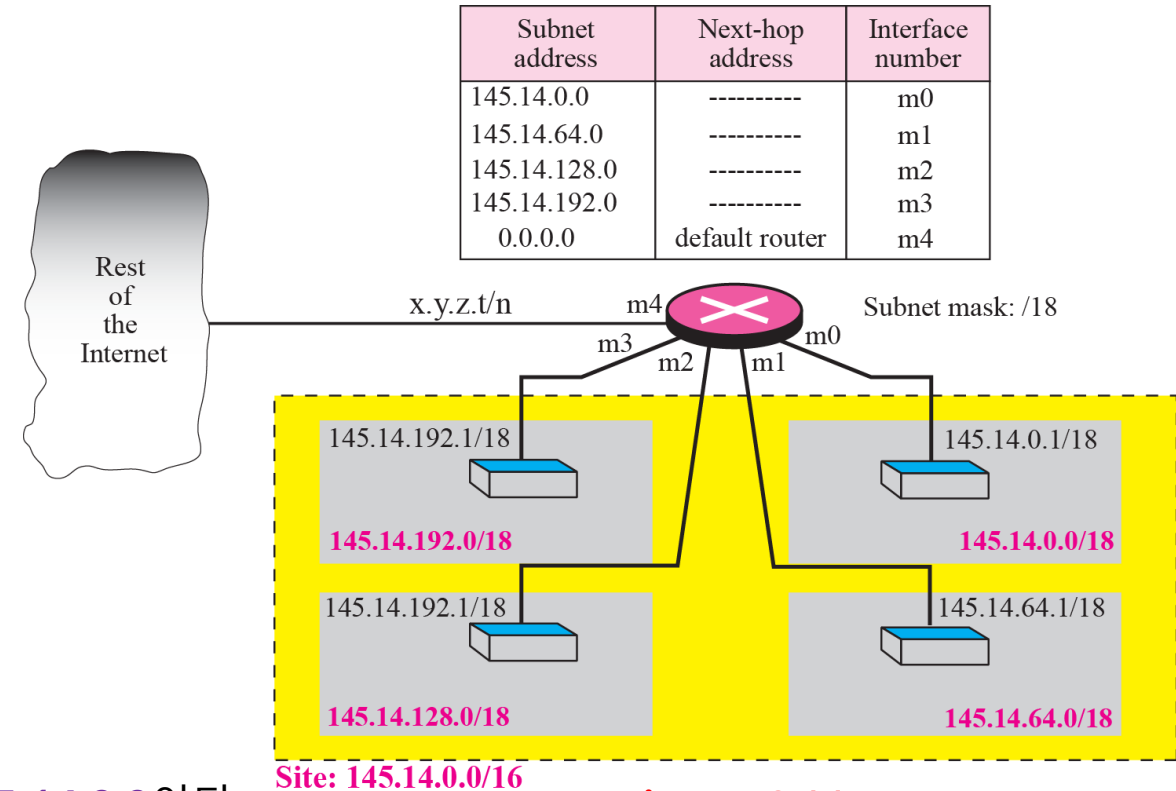


Figure 6.11

### 해법 (Solution)

- ✓ 마스크 (mask)는 **/18**이다.
- ✓ 마스크를 적용한 후, **서브넷 주소 (subnet address)**는 **145.14.0.0**이다.
- ✓ 패킷은 **다음 홉 주소 (next-hop address)** **145.14.32.78**과 **출력 인터페이스 (outgoing interface) 번호 m0**와 함께 ARP (8장 참조)에게 전달된다.

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.6

- ✓ 그림 6.11에서 **145.14.0.0** 네트워크 내의 호스트는 주소가 **7.22.67.91**인 호스트에 보낼 패킷을 가지고 있다.
- ✓ 패킷이 어떻게 포워딩되는지 보여라.

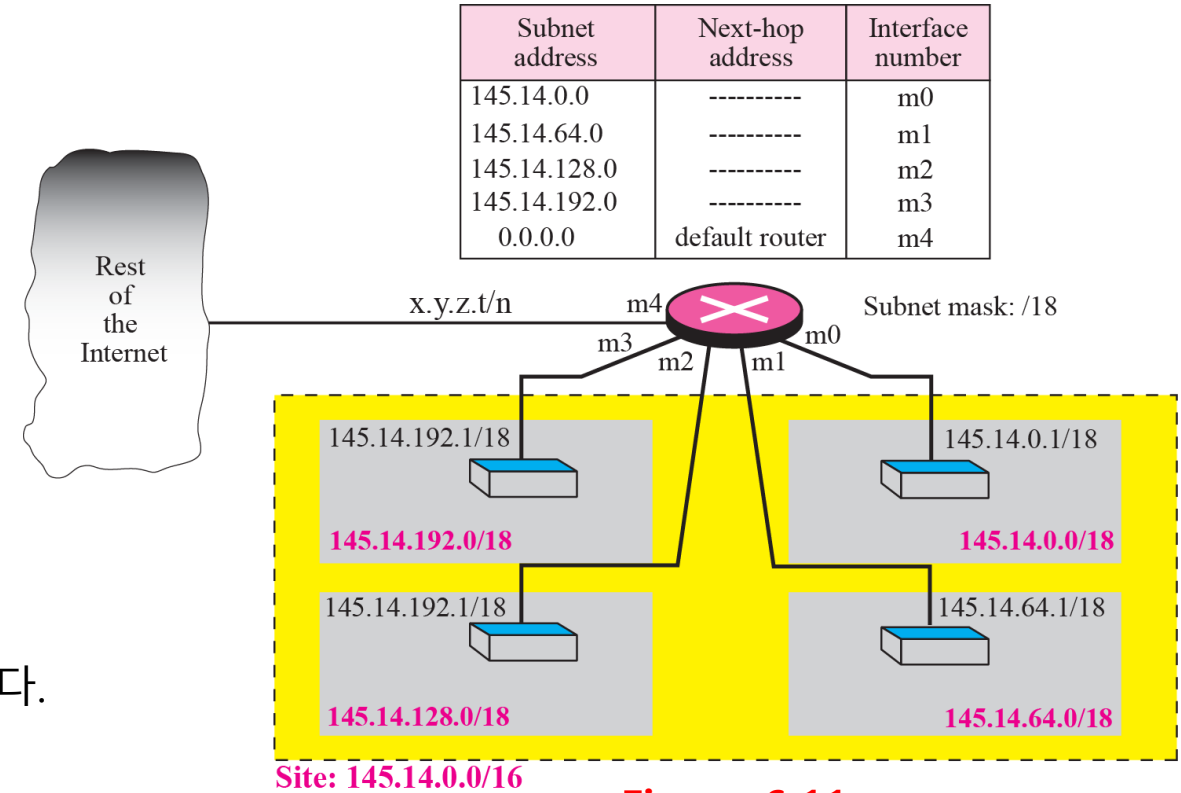


Figure 6.11

### 해법 (Solution)

- ✓ 라우터는 패킷을 수신한 뒤, **마스크 (mask) /18**을 적용한다.
- ✓ **네트워크 주소 (network address)**는 **7.22.64.0**이다.
- ✓ 테이블을 탐색하지만, 부합하는 주소를 **찾지 못한다**.
- ✓ 라우터는 **디폴트 라우터 (그림에 없음)의 주소**를 사용하여 패킷을 **디폴트 라우터에게 보낸다**.

## 6.2 포워딩 (Forwarding)

클래스기반 주소체계 (**classful addressing**)에서는 라우팅 테이블에 세 개의 열 (three columns)이 필요하지만,  
클래스없는 주소체계 (**classless addressing**)에서는 적어도 네 개의 열 (at least four columns)이 필요함

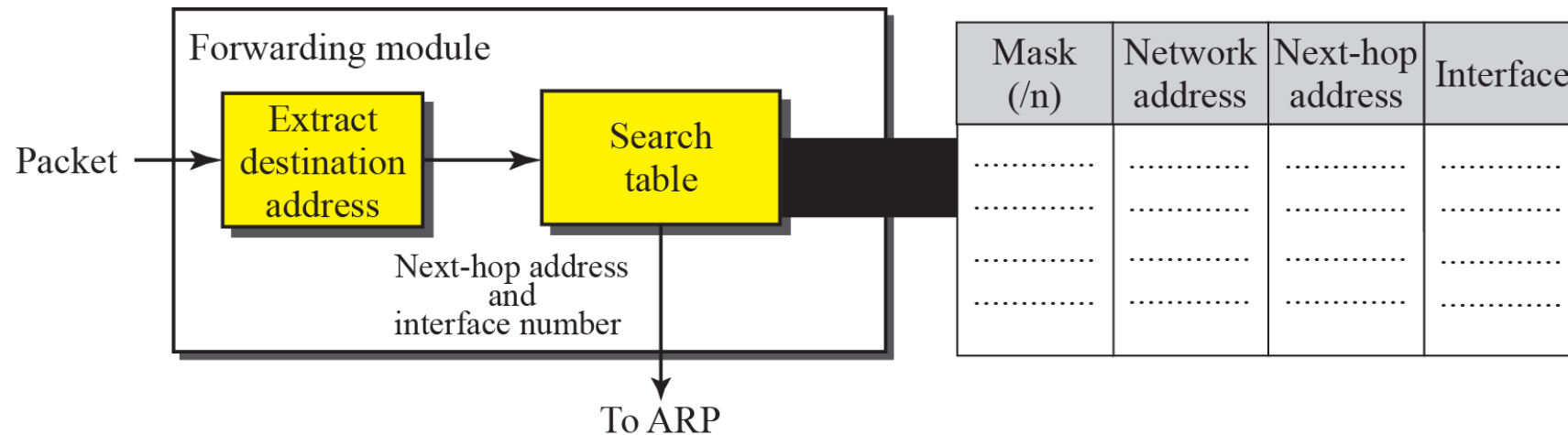


그림 6.12 클래스없는 주소에서의 단순화된 포워딩 모듈  
(Simplified forwarding module in classless address)



## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.7

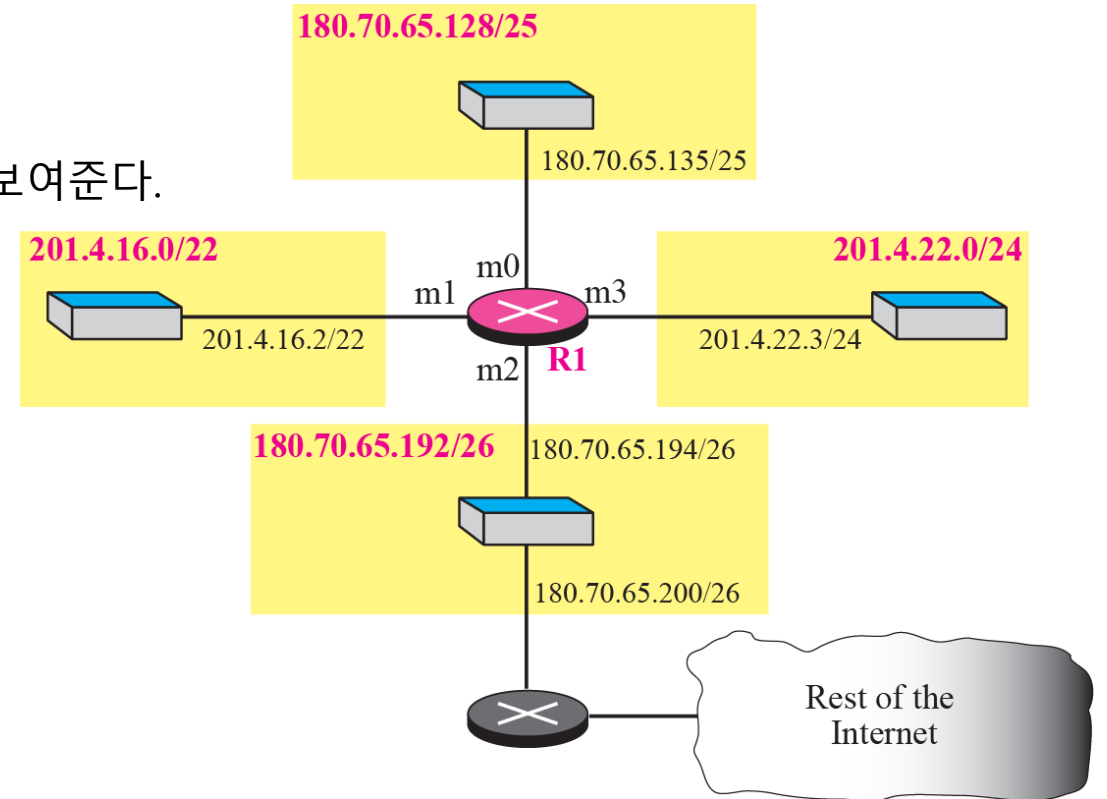
✓ 그림 6.13의 구성을 사용하여 라우터 R1의 라우팅 테이블 (routing table)을 만들라.

### 해답 (Solution)

✓ 표 6.1은 해당되는 라우팅 테이블 (corresponding table)을 보여준다.

**Table 6.1** Routing table for router R1 in Figure 6.13

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



**그림 6.13 예제 6.7을 위한 네트워크 구성  
(Configuration for Example 6.7)**

**Table 6.1** Routing table for router R1 in Figure 6.13

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

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.8

✓ 그림 6.13에서 **R1**에 목적지 주소가 **180.70.65.140**인 패킷이 도착한 후의 포워딩 과정을 설명하라.

### 해답 (Solution)

✓ 라우터는 다음의 과정 (steps)들을 수행한다.

1. 목적지 주소에 **첫 번째 마스크 (first mask) /26**이 적용된다.

결과는 **180.70.65.128**이고, 해당되는 네트워크 주소와 **부합되지 않는다**.

2. 목적지 주소에 **두 번째 마스크 (second mask) /25**가 적용된다.

결과는 **180.70.65.128**이고, 해당되는 네트워크 주소와 **부합된다**.

**다음 홉 주소 (이 경우, 패킷의 목적지 주소)와 인터페이스 번호 m0**이 ARP (8장 참조) 모듈에 전달된다.

**Table 6.1** Routing table for router R1 in Figure 6.13

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

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.9

✓ 그림 6.13에서 **R1**에 목적지 주소가 **201.4.22.35**인 패킷이 도착하면, 이 패킷이 어떻게 처리되는지 보여라.

### 해답 (Solution)

- ✓ 라우터는 다음의 과정 (steps)들을 수행한다.
1. 목적지 주소에 **첫 번째 마스크 (first mask) /26**이 적용된다.  
결과는 **201.4.22.0**이고, 행 1에 있는 네트워크 주소와 **부합되지 않는다**.
  2. 목적지 주소에 **두 번째 마스크 (second mask) /25**이 적용된다.  
결과는 **201.4.22.0**이고, 행 2에 있는 네트워크 주소와 **부합되지 않는다**.
  3. 목적지 주소에 **세 번째 마스크 (third mask) /24**이 적용된다.  
결과는 **201.4.22.0**이고, 행 3에 있는 네트워크 주소와 **부합된다**.

**Table 6.1** Routing table for router R1 in Figure 6.13

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

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.10

✓ 그림 6.13에서 **R1**에 목적지 주소가 **18.24.32.78**인 패킷이 도착하면 이 패킷이 어떻게 처리되는지 설명하라.

### 해답 (Solution)

✓ 이번에는, 목적지 주소에 모든 마스크가 적용되지만, **부합되는 네트워크 주소를 찾을 수 없다.**

✓ 테이블의 끝에 도달하면, 모듈은 다음 홉 주소 **180.70.65.200**과 인터페이스 번호 **m2**를 ARP (8장 참조)에게 전달한다.

✓ 이것은 **디폴트 라우터를 사용**하여 외부의 Internet으로 전달되어야 하는 패킷일 것이다.

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.11 (1)

- ✓ 이번에는 다른 유형의 예제를 살펴보자.
- ✓ 라우팅 테이블 (routing table)의 내용을 알면 라우터 구성 (configuration of a router)을 알 수 있는가?
- ✓ 라우터 **R1**의 라우팅 테이블이 표 6.2에 주어져 있다.
- ✓ 토폴로지 (topology)를 그릴 수 있는가?

**Table 6.2** *Routing table for Example 6.11*

<i>Mask</i>	<i>Network Address</i>	<i>Next-Hop Address</i>	<i>Interface Number</i>
/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

### Solution

(다음 페이지)

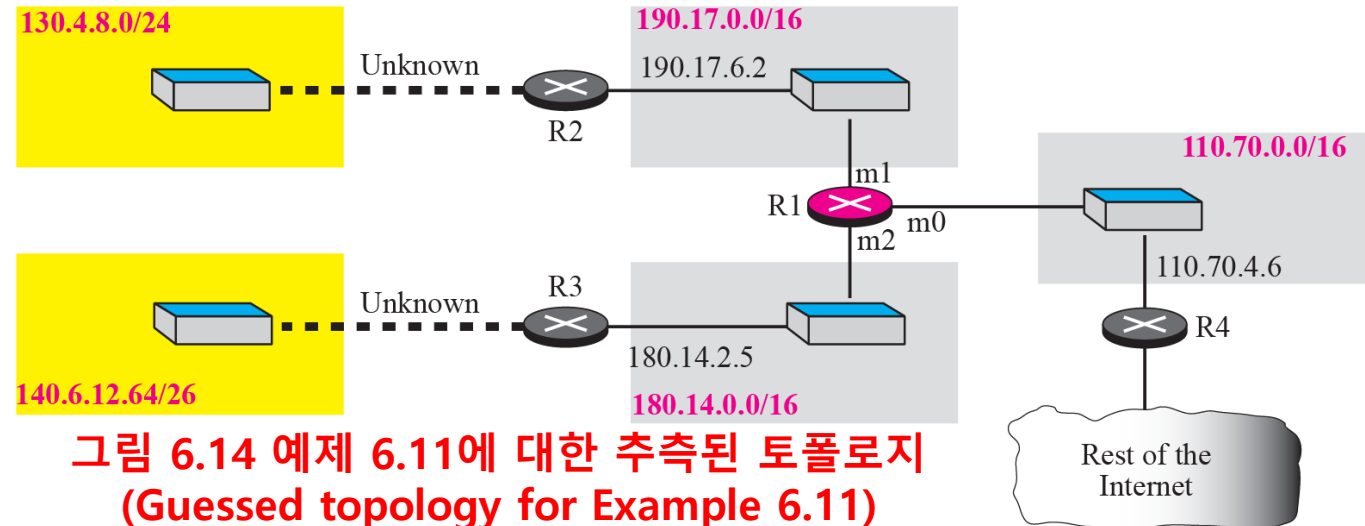
**Table 6.2** Routing table for Example 6.11

Mask	Network Address	Next-Hop Address	Interface Number
/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

## 6.2 포워딩 (Forwarding) – Example 6.11 (2)

### 해답 (Solution)

- ✓ 이 라우팅 테이블만으로는 **토폴로지에 대한 일부 정보는 알지만, 모든 정보를 알 수는 없다 (don't have all for a definite topology).**
- ✓ 라우터 R1이 **m0, m1, m2의 세 개의 인터페이스 (three interfaces)**를 가지고 있음을 알 수 있다.
- ✓ 라우터 R1은 **세 개의 네트워크에 직접 연결 (three networks directly connected to R1)**되어 있음도 알 수 있다.
- ✓ **두 개의 네트워크**가 R1에 **간접적으로 연결 (two networks indirectly connected to R1)**되어 있음을 알 수 있다.
- ✓ 다음 홉 열 (next-hop column)을 보면, **R1 외에도 적어도 세 개의 라우터**가 있음을 알 수 있다.
- ✓ **140.6.12.64 네트워크가 라우터 R3에 직접 연결되어 있는지** 또는 점-대-점 네트워크 (WAN)와 다른 라우터를 통하여 연결되어 있는지 **알 수 없다.**
- ✓ 그림 6.14는 **추측할 수 있는 토폴로지 (guessed topology)**를 보여준다.



**그림 6.14 예제 6.11에 대한 추측된 토폴로지  
(Guessed topology for Example 6.11)**

## 6.2 포워딩 (Forwarding)

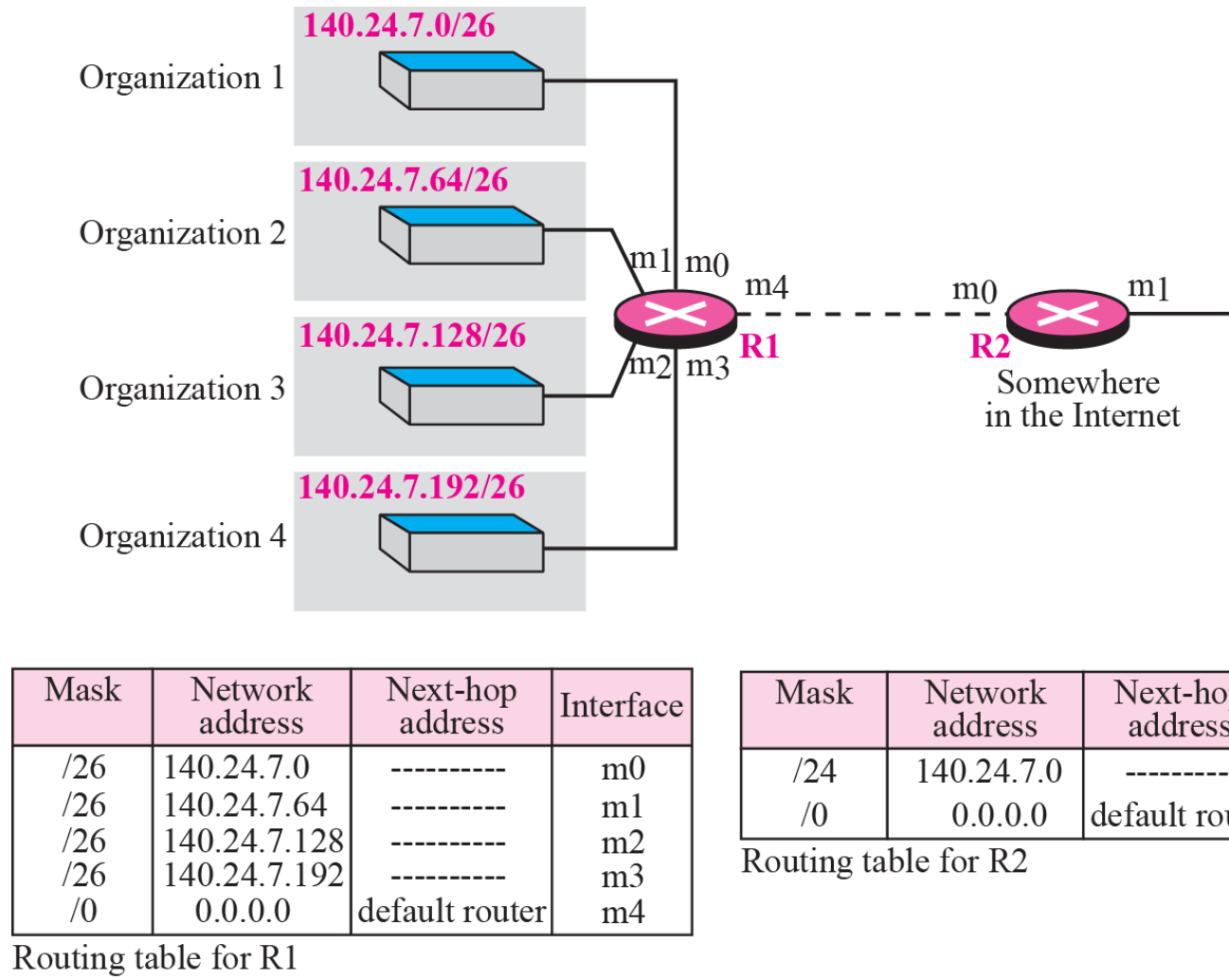


그림 6.15 주소 집단화 (Address aggregation)