2022/07/05, 2022 네트워크 세미나

# TCP/IP 완벽 가이드

## - 2-8부 TCP/IP 전송 계층 프로토콜-

김 지 혜(jihye@pel.sejong.ac.kr)

세종대학교 프로토콜공학연구실

# 목 차

# 목 차

# 보충

- ICMPv4 오류 메시지 유형
  - ICMPv4 목적지 접근 불가 메시지
    - 메시지 하위 유형

| 코드값 | 메시지 하위 유형 | 설명 |
|---|---|---|
| 0 | 네트워크 접근 불가 | 지정된 네트워크로 전달될 수 없는 경우 |
| 1 | 호스트 접근 불가 | 지정된 네트워크로 전달됐지만, 호스트에는 전달되지 않는 경우 |
| 2 | 프로토콜 접근 불가 | 목적지 호스트에서 전송 프로토콜을 사용하지 못하는 경우 |
| 3 | 포트 접근 불가 | TCP나 UDP 헤더 속 목적지 포트가 사용되지 않는 경우 |
| 4 | DF(Don't Fragment)가 켜져 있음 | IPv4 라우터는 데이터그램을 자동으로 단편화하지만,<br>DF 플래그가 켜진 데이터그램은 출발지가 단편화 원치 않음을 의미 |
| 5 | 소스 라우팅 실패 | 출발지 호스트가 경로를 결정하는 소스 라우팅 방식으로<br>포워딩할 수 없는 경우 |
| 6 | 알려지지 않은<br>목적지 네트워크 | 지정된 네트워크가 알려지지 않은 경우 |
| 7 | 알려지지 않은<br>목적지 호스트 | 지정된 호스트가 알려지지 않은 경우로, 보통 잘못된 주소를 의미 |

# 보충

- ICMPv4 오류 메시지 유형
  - ICMPv4 목적지 접근 불가 메시지
    - 메시지 하위 유형

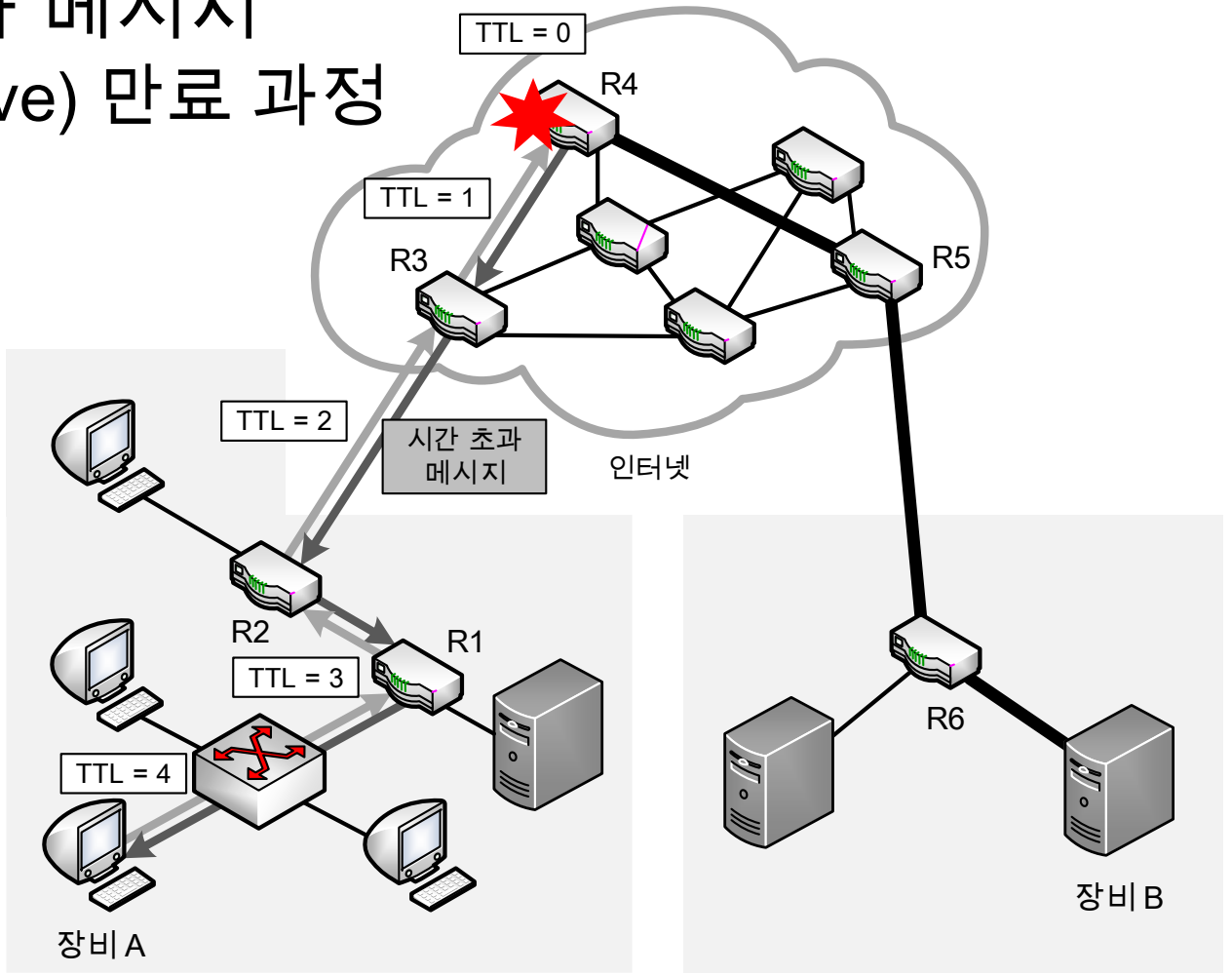
| 코드값 | 메시지 하위 유형 | 설명 |
|---|---|---|
| 8 | 출발지 호스트 고립 | 더 이상 쓰이지 않음 |
| 9 | 목적지 네트워크로의 통신이 관리상 금지 | 목적지 장비가 위치한 네트워크로 데이터그램을 송신하는 것이 허용되어 있지 않은 경우 |
| 10 | 목적지 호스트로의 통신이 관리상 금지 | 목적지 장비가 위치한 네트워크로 데이터그램을 송신할 수 있지만, 특정 장비로 송신할 수 없는 경우 |
| 11, 12 | 서비스 유형에 대한 목적지 네트워크/호스트 접근 불가 | 데이터그램 헤더의 서비스 유형 필드에 명시된 서비스 제공 불가, IP 주소에 지정된 목적지 네트워크/호스트에 접근 불가한 경우 |
| 13 | 관리상 통신 금지 | 데이터그램이 메시지 내용에 의해 차단되어서 전달 불가한 경우 |
| 14 | 호스트 우선순위 위반 | 서비스 유형 필드의 우선순위 값이 허용되지 않아서, 첫 번째 홉 라우터에 의해 송신되는 경우 |
| 15 | 우선순위 차단 | 받은 데이터그램의 우선순위 값이 네트워크 상 허용된 최소값보다 작아서, 라우터가 송신하는 경우 |

# 보충

- ICMPv4 오류 메시지 유형
  - ICMPv4 송신 속도 낮춤 메시지
    - 정의
      - 수신 측 버퍼 공간이 부족한 경우, 송신 측에게 송신 속도를 낮출 것을 요구하는 메시지
        - 버퍼(Buffer)란 각 장비가 데이터그램을 전달하기 위해 임시로 보관하는 장소
    - 수신 버퍼의 공간 부족
      - 송신 장비의 bps가 수신 장비의 bps보다 큰 경우
        - bps(bit per second)란 1초 동안 전송된 데이터 비트 수를 나타내는 단위
        - 송신 장비의 처리 속도가 수신 장비의 처리 속도보다 빠른 경우를 의미
      - 하나의 수신 장비가 여러 송신 장비에서 온 데이터그램을 받는 경우
        - 여러 송신 장비가 동시에 데이터그램을 보내는 경우를 포함

# 보충

- ICMPv4 오류 메시지 유형
  - ICMPv4 시간 초과 메시지
    - TTL(Time To Live) 만료 과정



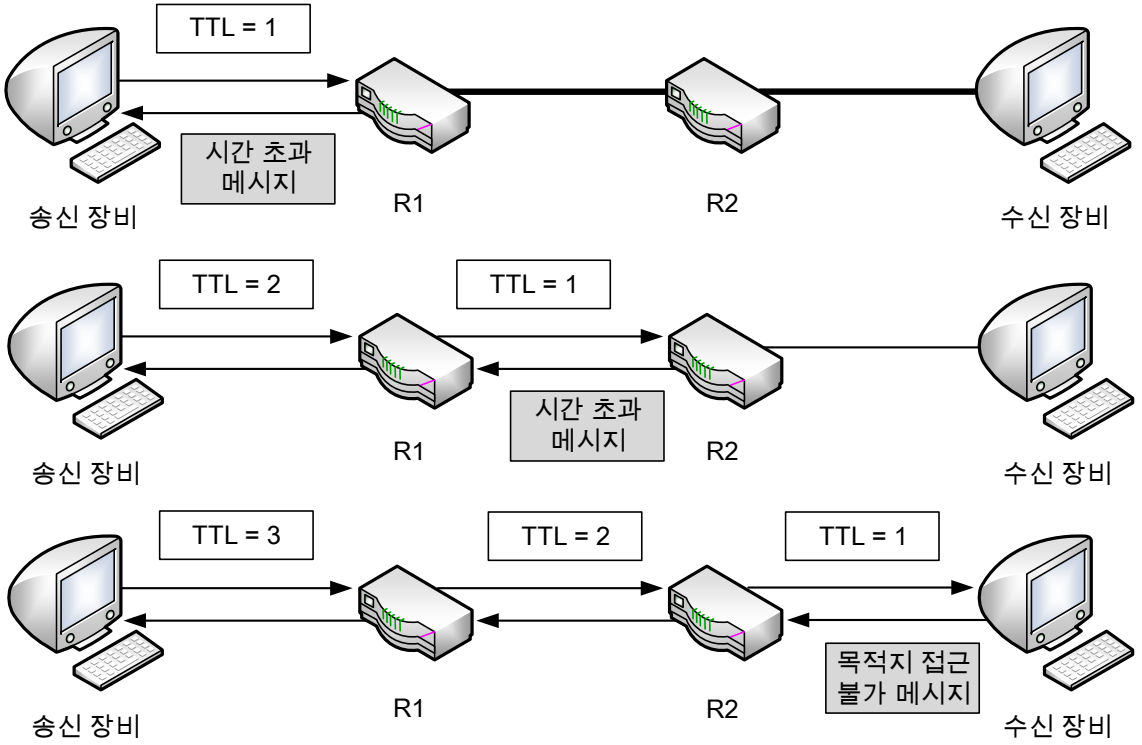
# 목 차

# 보충

- ICMPv4 정보 제공 메시지 유형
  - ICMPv4 타임스탬프 요청과 응답 메시지
    - 문제점
      - 타임스탬프 필드를 사용해도 시간 동기화가 어려움
        - 데이터그램별로 송신하는 데 걸리는 시간이 다름
        - 데이터그램을 수신하는 데 무한한 시간이 걸릴 수 있음
        - 라우터가 데이터그램을 버리기도 함
        - 시간 동기화는 어려우나, 왕복 시간 계산을 정확히 수행하기 때문에 사용
    - 해결 방안
      - 네트워크 시간 프로토콜(NTP, Network Time Protocol) 사용
        - 네트워크 상 연결된 모든 장비 간 시간 정보를 동기화하기 위한 프로토콜

# 보충

- ICMPv4 정보 제공 메시지 유형
  - ICMPv4 경로 추적(Traceroute) 메시지
    - 정의
      - 목적지까지의 라우팅 경로를 추적하기 위해 쓰이는 메시지
    - Traceroute 동작 원리



# 목 차

# TCP 개요

- TCP(Transmission Control Protocol)
  - 정의
    - 서버와 클라이언트 간의 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하는 프로토콜
  - 역사
    - 초기 TCP(Transmission Control Program)
      - 데이터그램 전송, 라우팅, 신뢰성 보장, 데이터 흐름 관리 기능 제공
      - 계층화와 모듈화라는 핵심 개념 위반
    - 3계층 기능만 필요한 경우에 문제가 됨
      - TCP(Transmission Control Protocol)와 IP(Internet Protocol)로 분리하기로 결정

# TCP 개요

- TCP 기능
  - TCP가 수행하는 기능(1/2)
    - 주소 지정과 다중화
      - 포트를 이용한 주소 지정
      - 여러 소켓으로부터 데이터를 수집하여 전송하는 다중화
        - e.g., 동일한 IP 주소와 다양한 포트 번호로 메일 전송(SMTP)과 파일 전송(FTP)을 한 서버에서 동시 수행 가능
    - 연결 수립, 유지, 종료
      - 장비의 데이터 이동을 위한 연결 협상
    - 데이터 처리와 전송
      - 애플리케이션에서 데이터를 패키징하여 목적지 장비로 전달
      - 목적지 장비에서 패키징을 풀어 애플리케이션으로 전달

# TCP 개요

- TCP 기능
  - TCP가 수행하는 기능 (2/2)
    - 신뢰성과 전송 품질 서비스 제공
      - 송신된 데이터가 목적지에 도달하지 않거나, 잘못된 순서로 전송되지 않음
    - 흐름 및 혼잡 제어 기능 제공
      - 흐름 제어
        - 송신 측과 수신 측의 데이터 처리 속도 차이를 해결하기 위한 방식
        - 송신 측 전송량이 수신 측 수신량 보다 큰 경우를 의미
        - 송신 측 데이터 전송량을 제어하는 방식으로 흐름 제어
      - 혼잡 제어
        - 송신 측과 네트워크의 데이터 처리 속도 차이를 해결하기 위한 방식
        - 라우터가 처리 가능한 양 이상의 데이터를 수신하는 경우, 데이터 손실 발생
        - 송신 측에서 손실 데이터로 간주하여 데이터 재전송
        - 송신 측에서 보내는 데이터 전송 속도를 제어하는 방식으로 혼잡 제어

# TCP 개요

- TCP 기능
  - TCP가 수행하지 않는 기능
    - 애플리케이션 사용 명시
      - TCP는 전송 프로토콜만 정의
      - 애플리케이션 프로토콜로 애플리케이션의 TCP 사용 방식 명시
    - 보안 제공
      - 데이터 인증이나 프라이버시를 보장하지 않음
      - 이를 해결하기 위해 IPsec 같은 수단 사용
    - 메시지 경계 유지
      - 스트림 구조이기에 메시지 경계 명시는 애플리케이션 몫
    - 실제 통신 보장
      - 통신을 방해할 경우 TCP는 재전송 시도만 가능
        - 승인 받지 않은 전송 탐지, 필요한 경우에만 재전송

# TCP 개요

- TCP 특징

| 특징 | 설명 |
| --- | --- |
| 연결형과 양방향 | • 장비 간 통신 전 연결 수립 및 양방향 송·수신 |
| 다중 연결과 종단 식별 | • 연결된 두 장비의 소켓 쌍으로 종단 식별<br>• <클라이언트 IP 주소>:<포트 번호>, <서버 IP 주소>:<포트 번호> |
| 신뢰성 보장 | • 모든 데이터가 목적지에 도달할 수 있도록 함<br>• 무결성 검사를 통해 필요한 경우 재전송 처리 |
| 승인 | • 수신 여부에 대한 승인 메시지 전송 |
| 스트림 기반 | • 한 번에 한 바이트씩 연속적으로 전송되는 바이트 열<br>• 데이터의 중복이나 손실 없이 종단 간 데이터 전송 보장 |

# 목 차

# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 포트와 연결
  - 포트(Port)
    - 장비 내 여러 프로세스 중 실제로 데이터를 수신하는 프로세스 위치를 알려주는 고유한 숫자 번호
  - 소켓(Socket)
    - 프로세스의 데이터 송·수신을 위해 반드시 열어야하는 창구 같은 것
    - 구성 요소는 프로토콜, IP 주소, 포트 번호
  - TCP는 동시 연결 가능
    - 연결 식별을 위해 두 종단에 해당하는 소켓 쌍 이용
      - <클라이언트 IP 주소>:<포트 번호>, <서버 IP 주소>:<포트 번호>

# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 데이터 처리: 스트림 동작
  - 애플리케이션(상위 계층)에서 송·수신 시 TCP는 세그먼트를 바이트 스트림 처리
- TCP 데이터 패키징: 세그먼트
  - 수신한 스트림을 IP를 위해 분리한 데이터의 형태
  - 세그먼트 크기 결정 방법
    - 최대 세그먼트 크기(MSS, Maximum Segment Size) 결정
      - 연결 수립 과정 중에 결정
      - 연결이 수립된 후, 수신 가능한 최대 세그먼트 크기(MSS)를 상대 장비에게 알려야 함

# TCP 원리와 일반 동작

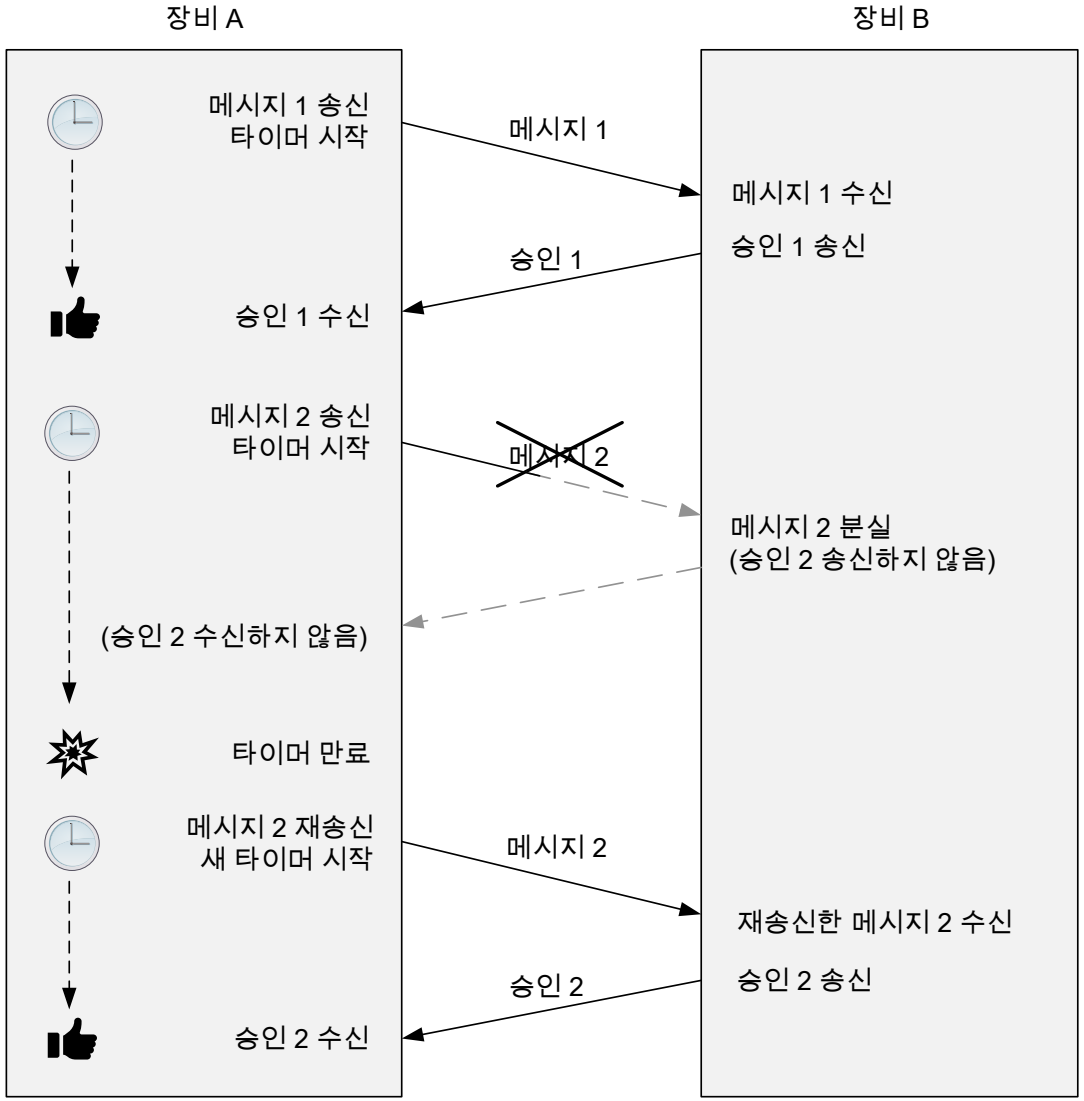
- TCP 데이터 식별: 순서 번호
  - 데이터가 순서대로 목적지에 도달했는지 확인
    - 수신한 세그먼트는 순서 번호를 이용하여 원본 데이터 스트림으로 재조합
    - 손실된 데이터 확인 시 재전송하는 경우에 사용

# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 슬라이딩 윈도우 승인 체계
  - 두 개의 장비 간 세그먼트 흐름 제어를 위한 방법
  - 재전송을 사용하는 긍정 승인(PAR, Positive Acknowledgment with Retransmission) 사용
  - 사용하는 이유
    - 신뢰성 보장
      - 송신 데이터의 목적지 도달 여부 확인
      - 도달하지 못한 경우 데이터 재전송
    - 데이터 흐름 제어
      - 송신 장비의 데이터 처리 속도가 수신 장비의 데이터 처리 속도보다 빠른 경우
      - 수신 장비가 처리 가능한 속도로 송신 장비의 데이터 송신율 관리

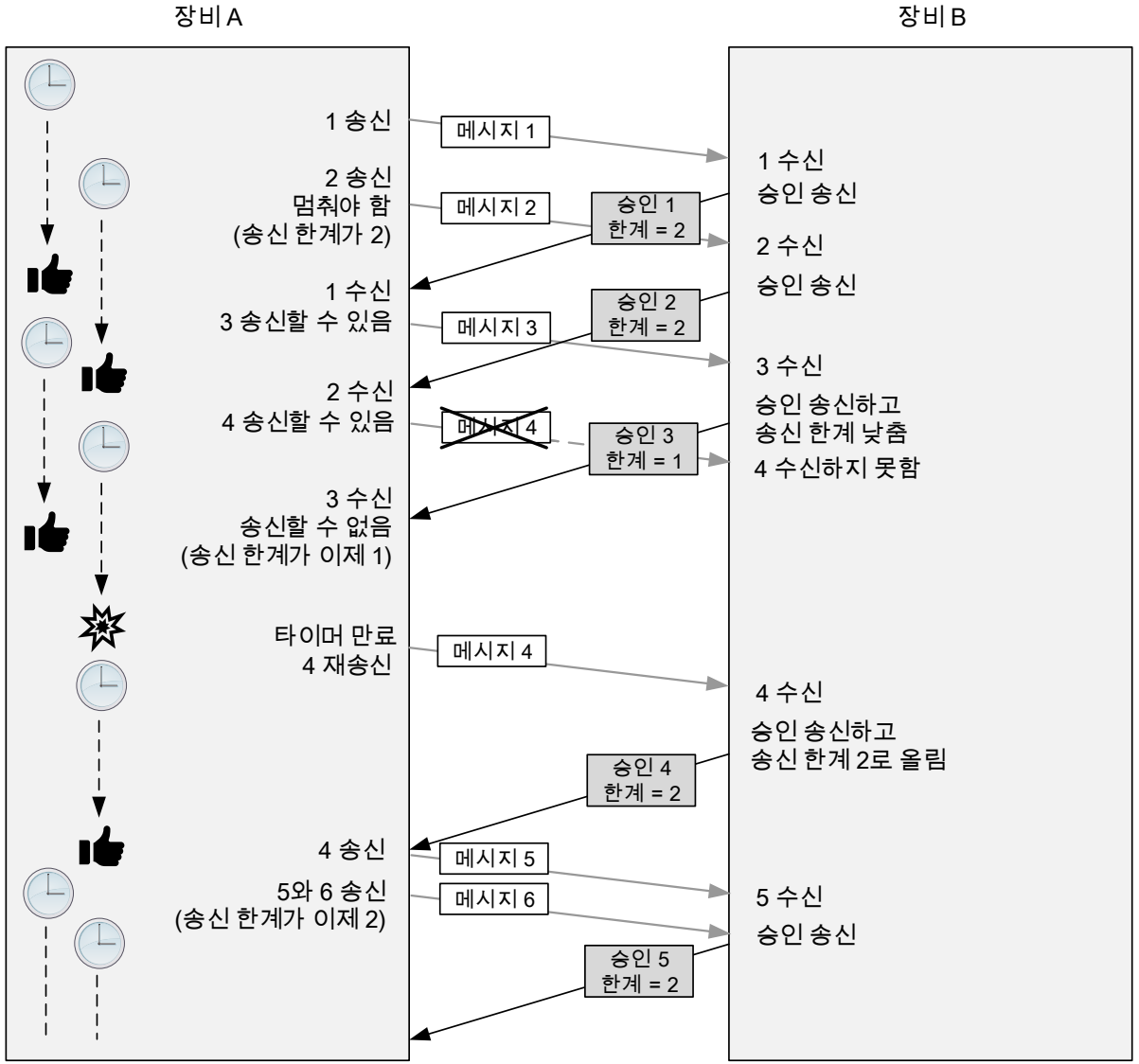
# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 슬라이딩 윈도우 승인 체계
  - 긍정 승인(PAR)
    - 신뢰성 보장을 위해 사용
    - 첫 메시지에 대한 승인을 받기 전까지 다음 메시지 전송 불가



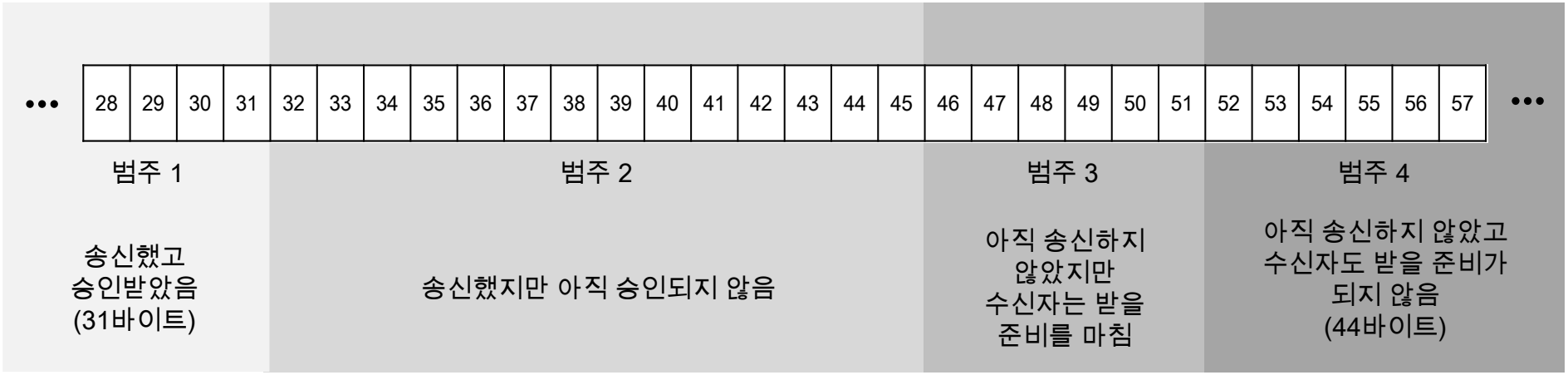
# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 슬라이딩 윈도우 승인 체계
  - 개선된 PAR
    - 송신 장비가 여러 메시지 동시에 송신 가능
    - 개선된 사항
      - 순서 번호
        - 개별적으로 승인 가능
        - 동시에 여러 메시지 수신 가능
      - 송신 제한 필드
        - 송신 가능한 메시지의 최대 수 지정 가능
        - 메시지 송신 속도를 제한함으로써 흐름 제어



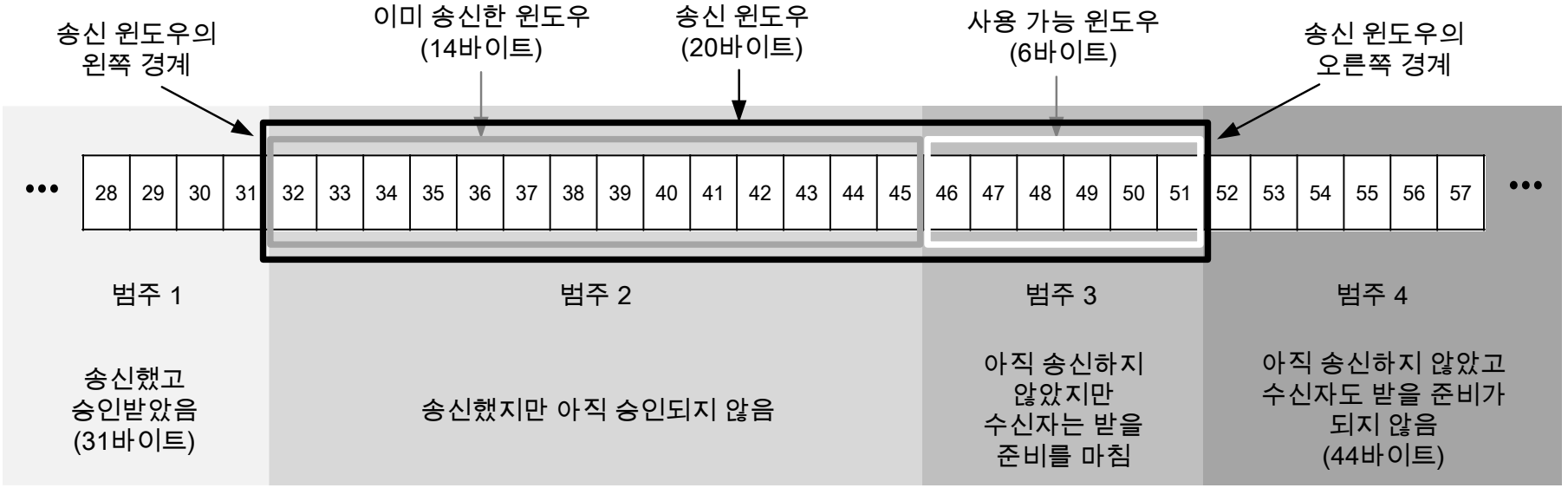
# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 슬라이딩 윈도우 승인 체계
  - 윈도우 개념
    - 윈도우(Window)
      - 메모리 버퍼의 일정 영역
    - 슬라이딩 윈도우(Sliding Window)
      - 수신 측에서 설정한 윈도우 크기만큼 송신 측에서 세그먼트를 전송할 수 있게 하여 데이터 흐름을 제어하는 방법
  - TCP 전송 스트림 바이트 상태



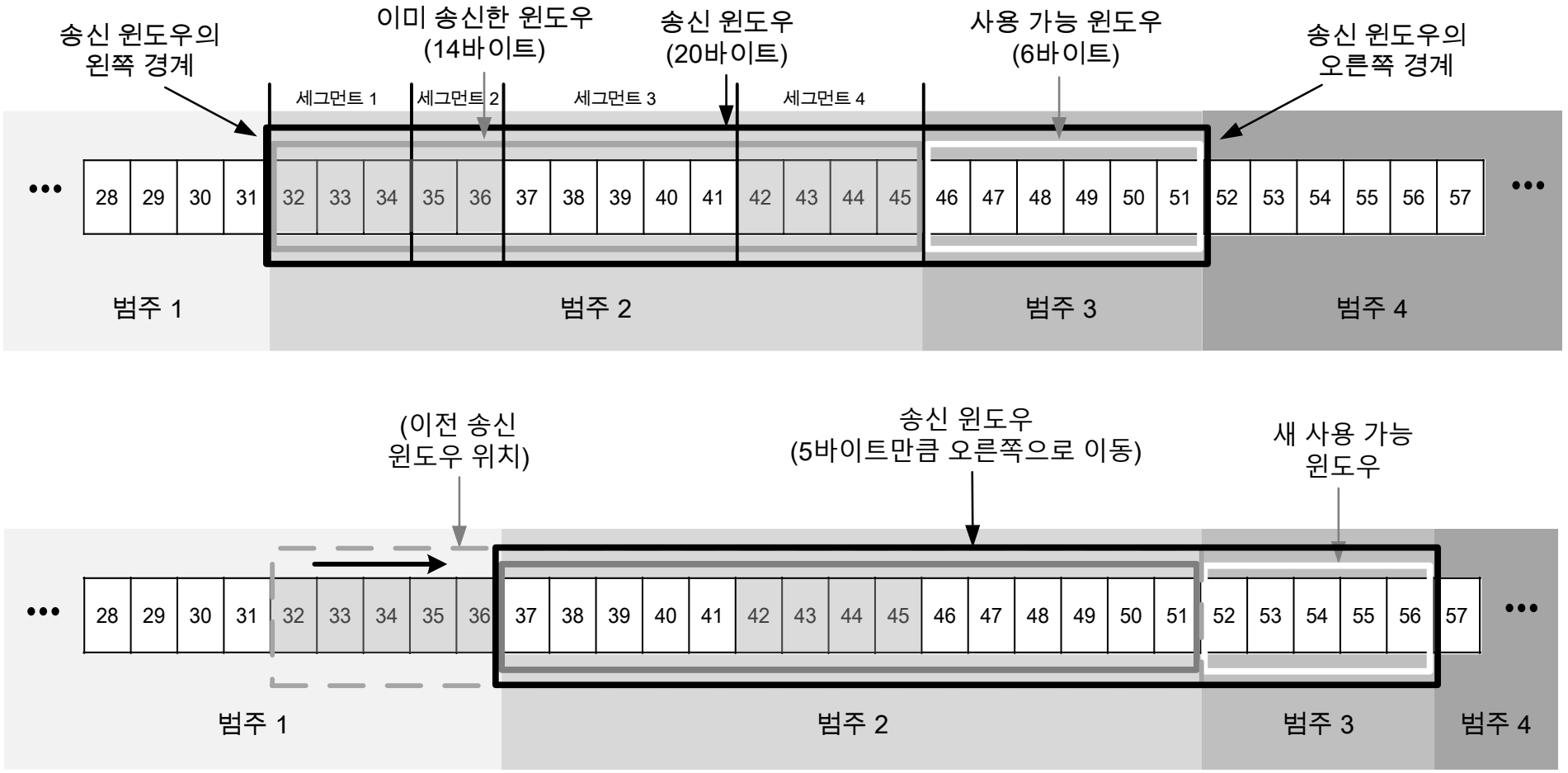
# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 슬라이딩 윈도우 승인 체계
  - 윈도우 크기
    - 송신 윈도우(Send Window)
      - 송신 장비가 승인 받기 전, 한 번에 송신 가능한 최대 데이터 바이트 수
    - 사용 가능 윈도우(Usable Window)
      - 송신 장비가 현 시점에서 송신 가능한 최대 데이터 바이트 수
      - (사용 가능 윈도우) = (송신 윈도우) – (이미 송신한 윈도우)



# TCP 원리와 일반 동작

- TCP 슬라이딩 윈도우 승인 체계
  - 송신 윈도우 슬라이딩과 빠진 승인 처리



# 목 차

# TCP 기본 동작

- TCP 동작 방식: 유한 상태 머신(FSM, Finite State Machine)
  - 정의
    - 유한한 상태를 가지는 머신
  - 특징
    - 연결 수립, 관리, 종료 과정을 표현
    - 주로 한 장비가 연결 수립이나 종료를 시작, 다른 장비가 응답
  - 기본 FSM 개념

| 기본 FSM 개념 | 설명 |
|---|---|
| 상태 | 특정 시간에 프로토콜 소프트웨어가 처한 상황 |
| 전이 | 한 상태에서 다른 상태로 움직이는 행위 |
| 이벤트 | 상태 간 전이를 하게 만든 어떤 일 |
| 행동 | 장비가 이벤트에 대한 반응으로 다른 상태로 전이하기 전에 하는 일 |

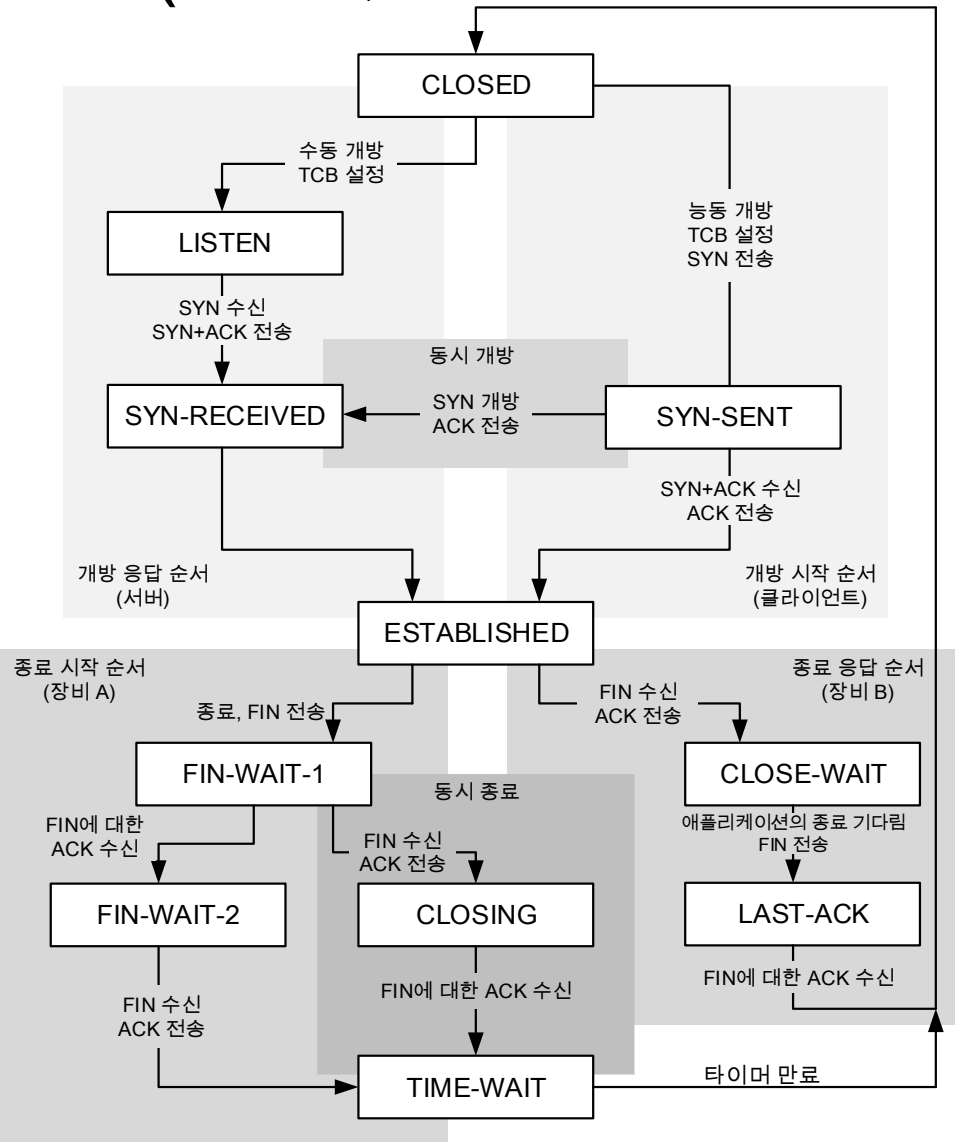
# TCP 기본 동작

- TCP 동작 방식: 유한 상태 머신(FSM, Finite State Machine)
  - FSM 주요 메시지
    - SYN(Synchronize) 메시지
      - 연결 초기화 및 수립
      - 장비 간 순서 번호 동기화시킴
    - FIN(Finish) 메시지
      - 연결 종료하고 싶은 상태임을 알림
    - ACK(Acknowledgment) 메시지
      - SYN 메시지 혹은 FIN 메시지를 수신한 상태임을 알림

# TCP 기본 동작

- TCP 동작 방식: 유한 상태 머신(FSM, Finite State Machine)

| 상태 | 설명 |
|---|---|
| CLOSED | 연결 없음 상태<br>(수립 전 상태 혹은 연결 종료 상태) |
| SYN-SENT | 클라이언트 SYN 송신 후 대기 상태 |
| LISTEN | 클라이언트 SYN 수신을 위한 대기 상태 |
| SYN-RECEIVED | 클라이언트 ACK+서버 SYN 송신 후<br>대기 상태 |
| ESTABLISHED | 연결 수립 상태 |
| FIN-WAIT-1 | 장비 A 혹은 두 장비의 FIN 송신 후 대기 상태 |
| CLOSE-WAIT | 장비 A ACK 송신 후 대기 상태 |
| FIN-WAIT-2 | 장비 A ACK 수신 후<br>장비 B FIN 수신 대기 상태 |
| LAST-ACK | 장비 B FIN 송신 후 대기 상태 |
| CLOSING | 두 장비가 서로 ACK 송신 후 대기 상태 |
| TIME-WAIT | 장비 B 혹은 두 장비가 서로 ACK 수신 후<br>최종 종료를 위한 대기 상태 |



# TCP 기본 동작

- TCP 연결 준비
  - 전송 제어 블록(TCB, Transmission Control Block)
    - 연결을 식별하기 위한 데이터 구조
    - 연결 정보 저장
      - 연결 식별을 위한 두 소켓 번호
      - 송·수신 데이터를 가진 버퍼를 가리키는 포인터
      - 승인하거나 승인하지 않은 바이트 수, 현재 윈도우 크기 등을 추적하는 변수
  - 클라이언트와 서버의 개방 동작
    - 능동 개방
      - 클라이언트는 서버에게 SYN 메시지를 보내 연결 시작
    - 수동 개방
      - 서버는 클라이언트의 연결 요청을 받아들일 준비 동작

# TCP 기본 동작

- TCP 연결 수립
  - 두 장비가 메시지를 교환하여 초기 접속 상태(CLOSED)에서 정상 동작 상태(ESTABLISHED)로 전이함
  - 연결 수립 기능(1/2)
    - 접촉과 통신
      - 클라이언트와 서버는 서로 접촉하여 메시지 전송 후 통신 시작
      - 접촉과 통신 과정 관리를 위한 제어 메시지
        - 연결 초기화에 사용하는 세그먼트임을 알리는 SYN 메시지
        - 세그먼트 전송 장비에게 메시지를 수신했음을 알리는 ACK 메시지
    - 인자 교환

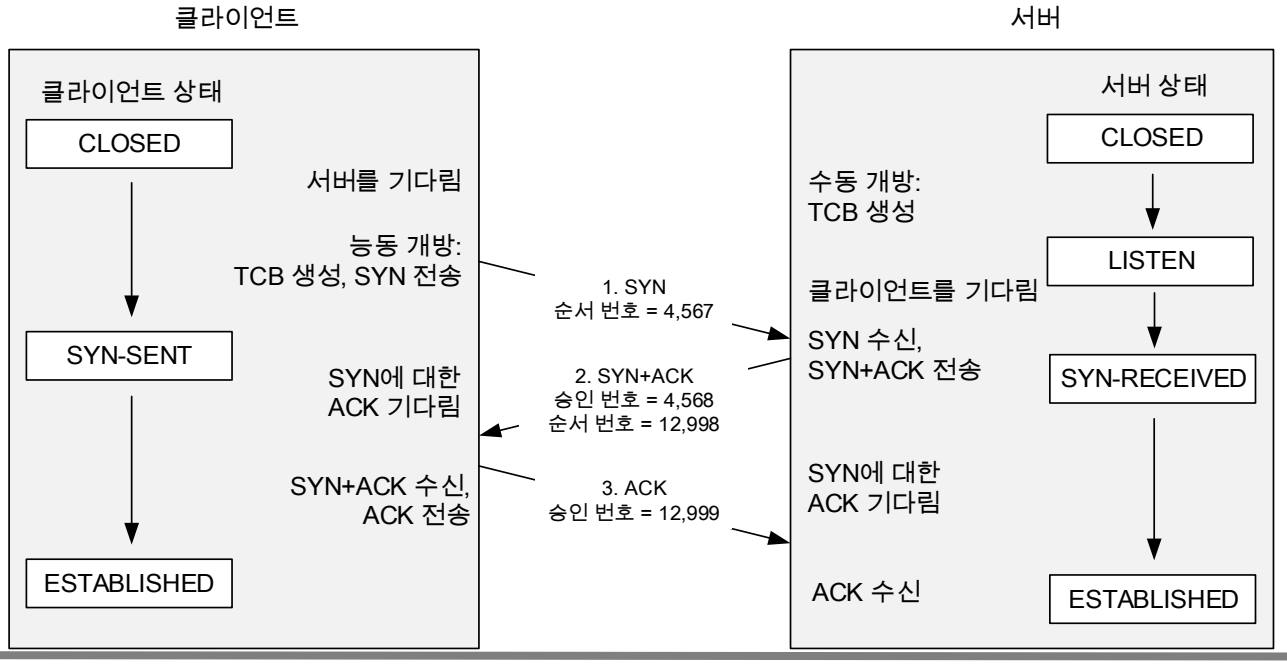
| 인자 교환 방법 | 설명 |
|---|---|
| 윈도우 크기 | 16비트인 TCP 윈도우 크기보다 더 큰 값 사용 가능 |
| 선택적 승인 허용 | 잃어버린 세그먼트만을 재전송할 수 있도록 선택적 승인 옵션 사용 가능 |
| 대체 체크섬 방식 | 표준 TCP 체크섬이 아닌 다른 체크섬 방법 사용 가능 |

# TCP 기본 동작

- TCP 연결 수립
  - 연결 수립 기능(2/2)
    - 순서 번호 동기화
      - 순서 번호는 전송하는 데이터의 순서
      - 승인 번호는 다음에 전송해야 하는 데이터의 시작 위치
        - 상대 장비가 보낸 순서 번호 + 1(또는 수신한 데이터 바이트)
      - 동작 과정
        1. 클라이언트의 연결 요청
           - 순서 번호 필드에 클라이언트의 초기 순서 번호(ISN, Initial Sequence Number)를 넣어 SYN 전송
        2. 서버의 승인과 연결 요청
           - 승인 번호필드에 클라이언트 순서 번호+1 값을 넣고, 순서 번호 필드에 서버의 ISN을 넣어 SYN+ACK 전송
        3. 클라이언트의 승인
           - 승인 번호 필드에 서버 순서 번호+1 값을 넣어 ACK 전송

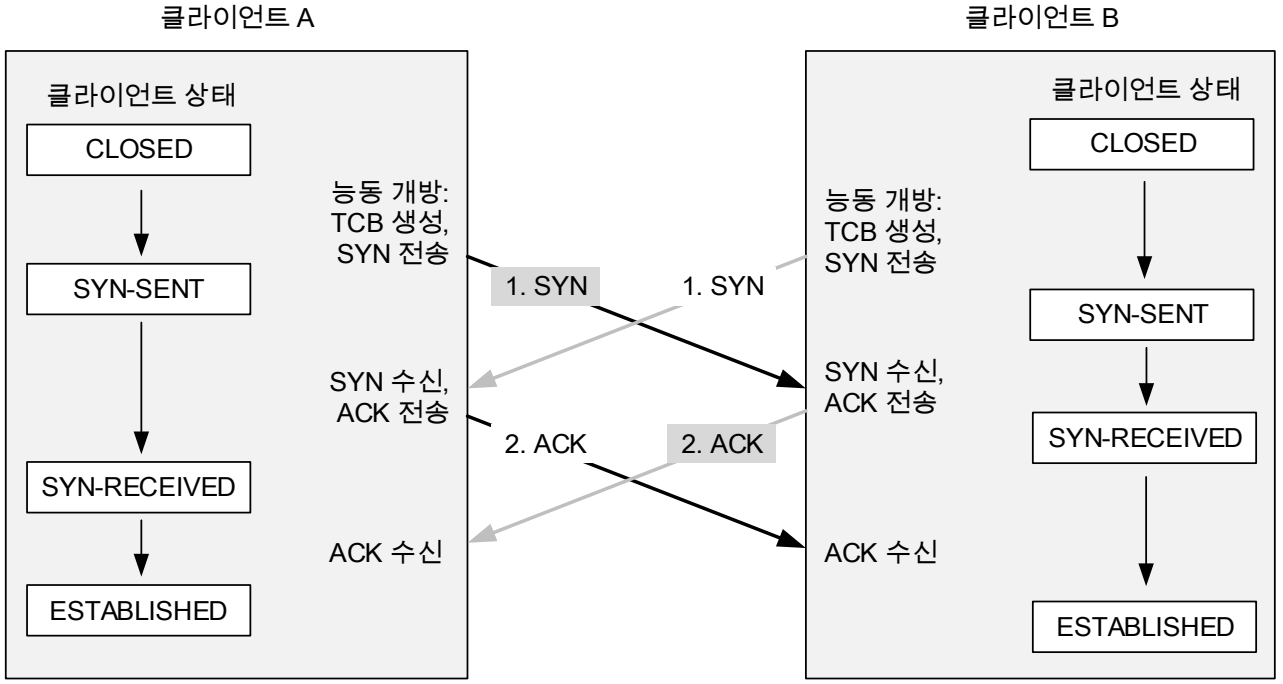
# TCP 기본 동작

- TCP 연결 수립
  - 연결 수립 방법(1/2)
    - 쓰리 웨이 핸드셰이크(Three-way Hand-shake)
      - 한 장비가 닫힌 상태에서 연결하는 메시지 교환 과정
        1. 클라이언트가 SYN 전송
        2. 서버는 1에 대한 ACK와 자신의 SYN를 합쳐서 전송
        3. 클라이언트는 서버의 SYN에 대한 ACK 전송



# TCP 기본 동작

- TCP 연결 수립
  - 연결 수립 방법(2/2)
    - 동시 개방
      - 두 장비가 상대 장비로 동시에 연결하는 메시지 교환 과정
      - 쓰리 웨이 핸드셰이크 방식과의 차이
        - 동시 개방은 SYN을 받고 ACK를 보내고, 쓰리웨이는 SYN와 ACK를 함께 보냄



# TCP 기본 동작

- TCP 연결 관리 문제
  - TCP 초기화
    - 초기화 세그먼트의 순서 번호가 유효한지 검사하는 것
      - 헤더의 RST(Reset) 플래그가 1로 설정된 세그먼트
    - 연결을 초기화해야 하는 상황
      - 세그먼트를 보낸 장비와 연결을 맺고 있지 않는 경우
      - 연결을 기다리는 프로세스가 없는 포트로 SYN을 수신한 경우
      - 부정확한 순서/승인 번호를 가지는 메시지를 수신한 경우
        - 메시지가 이전 연결에 속해있거나 조작된 것을 의미
      - 상대 장비에게 알리지 않은 채 연결을 닫거나 중지하는 경우
        - 반 개방 연결(Half-open Connection)
          - 한 장비는 ESTABLISHED 상태, 다른 장비는 CLOSED 상태

# TCP 기본 동작

- TCP 연결 관리 문제
  - TCP 초기화 세그먼트 처리 방식
    - LISTEN 상태로 초기화하는 경우
      - 장비가 LISTEN 상태인 경우
        - 초기화 세그먼트 무시하고 그 상태에 머무름
      - 장비가 SYN-RECEIVED 상태 이전에 LISTEN 상태에 있던 경우
        - LISTEN 상태로 돌아감
      - 이유
        - 순서 번호가 제대로 전달된 상태가 아니기에, 순서 번호를 다시 설정하고 전송할 수 있는 상태이기 때문
    - CLOSED 상태로 초기화하는 경우
      - 모든 나머지 경우
        - 연결을 종료하고 CLOSED 상태로 돌아감
      - 이유
        - 순서 번호가 다 전달된 후이기에, 처음부터 시작하는 것이 효율적이기 때문

# TCP 기본 동작

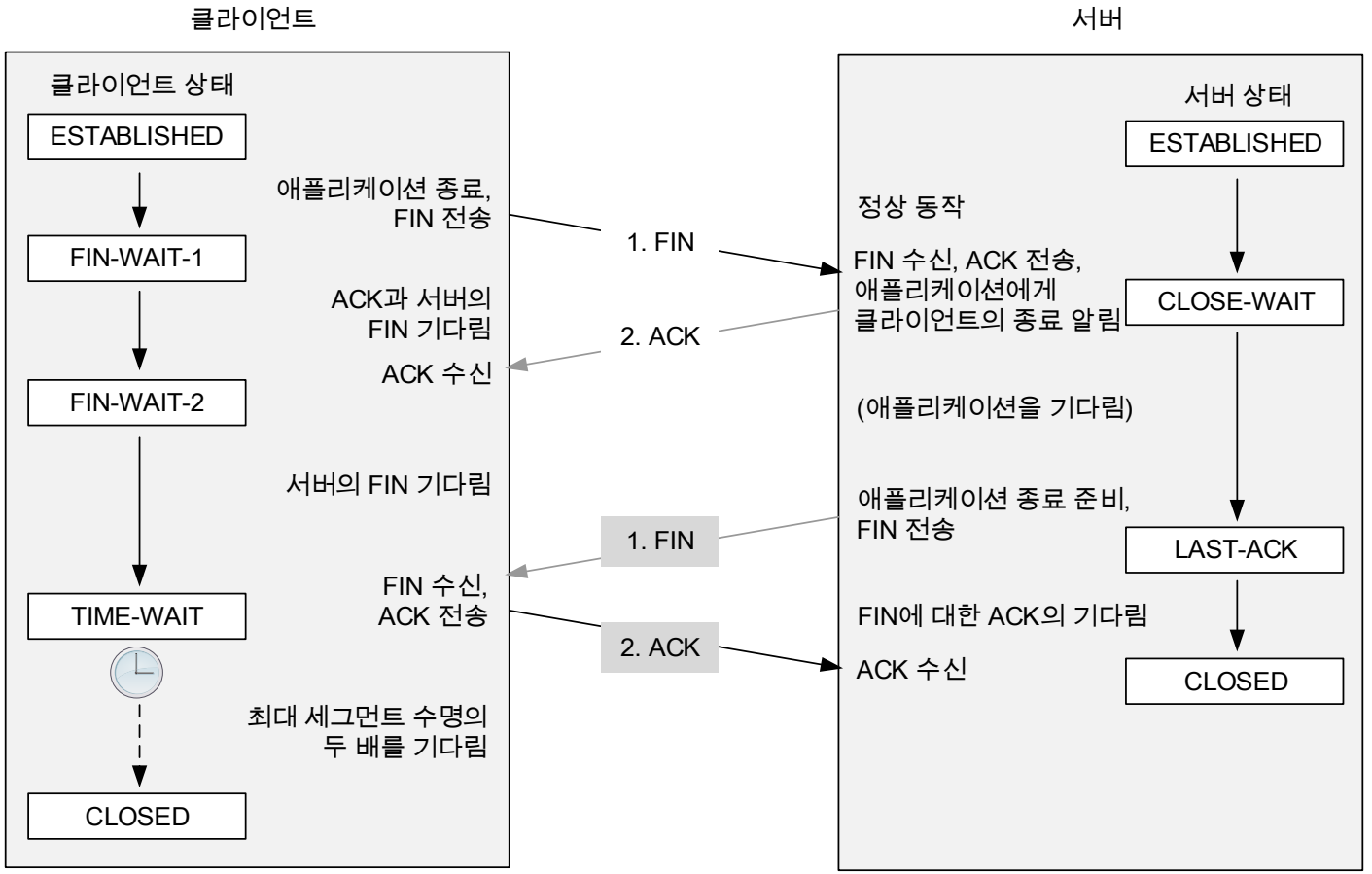
- TCP 연결 관리 문제
  - 유휴(Idle) 연결 처리
    - 유휴 연결
      - 연결이 오랜 기간 동안 정지 상태에 있는 것
    - 킵얼라이브(Keep-alive) 메시지
      - 유휴 연결을 처리하는 메시지
      - 다른 장비에게 연결이 수립된 상태임을 알려줌
        - 연결이 유효한 경우, 상대 장비는 승인을 포함하는 세그먼트 전송
        - 연결이 유효하지 않은 경우, 상대 장비는 초기화 세그먼트 전송

# TCP 기본 동작

- TCP 연결 종료
  - 두 장비 모두 데이터를 보내지 않는 상태
  - TIME-WAIT 상태 필요한 이유
    - 상대 장비의 ACK 수신을 확신하기 위한 대기 시간 필요
      - 일반적인 연결 종료 과정
    - 한 연결의 종료와 새로운 연결 사이의 일정 시간 필요
      - 동시 연결 종료 과정
      - 일정 시간이란 보통 최대 세그먼트 수명(MSL, Maximum Segment Lifetime)의 2배를 의미하고, 이는 120*2초로 정의

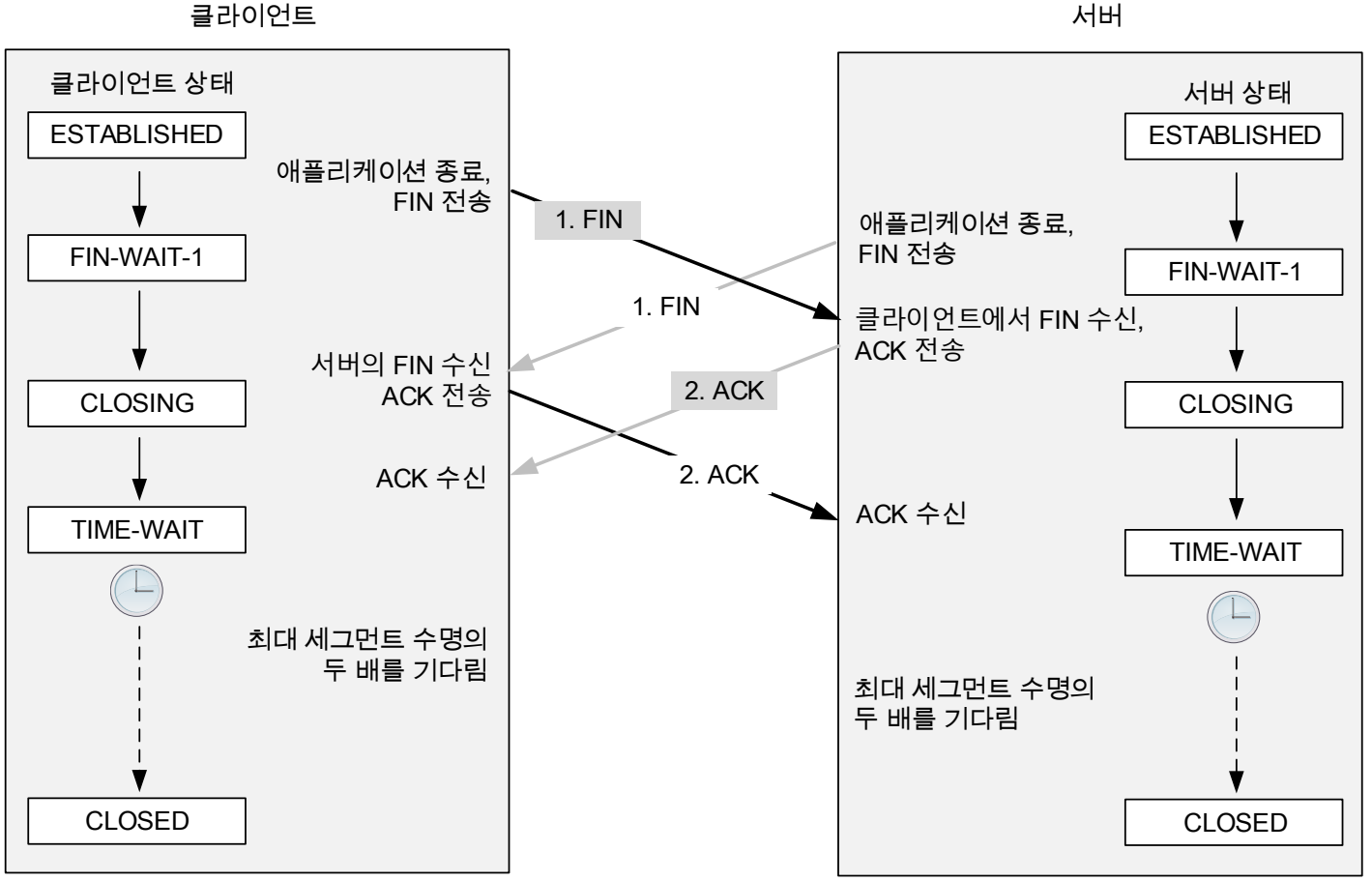
# TCP 기본 동작

- TCP 연결 종료
  - 연결 종료 방법(1/2)
    - 일반적인 연결 종료 과정



# TCP 기본 동작

- TCP 연결 종료
  - 연결 종료 방법(2/2)
    - 동시 종료 과정



# 목 차

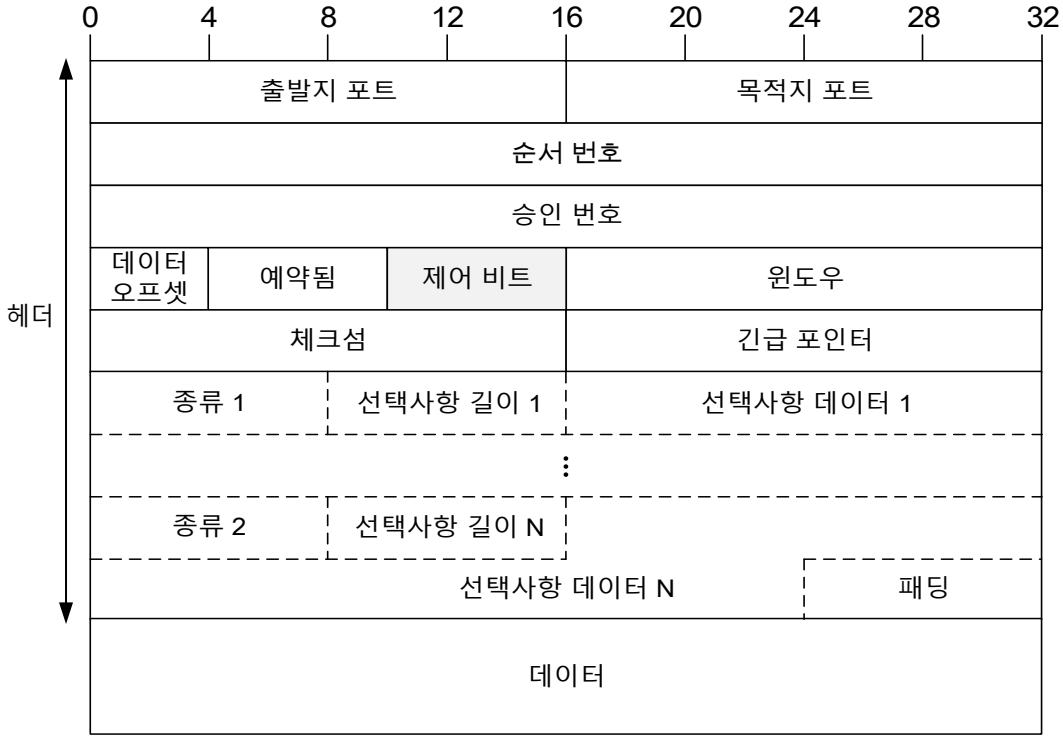
# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 세그먼트 포맷
  - 목적

| 목적 | 설명 |
|---|---|
| 프로세스 주소 지정 | • 출발지와 목적지 장비에 있는 프로세스를 포트 번호로 식별 |
| 슬라이딩 윈도우 시스템 구현 | • 순서 번호, 승인 번호, 윈도우 크기 필드 이용 |
| 제어 비트와 필드 설정 | • 제어 기능 구현을 위한 비트와, 포인터나 데이터를 저장하는 필드<br>• e.g, URG(Urgent), ACK(Acknowledge), PSH(Push), RST(Reset), SYN(Synchronize), FIN(Finish) |
| 데이터 송신 | • 장비 간 실제로 송신되는 바이트 단위의 데이터 |
| 다양한 기능 구현 | • 데이터 보호를 위한 체크섬과 연결 수립을 위한 선택 사항 필드 이용 |

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

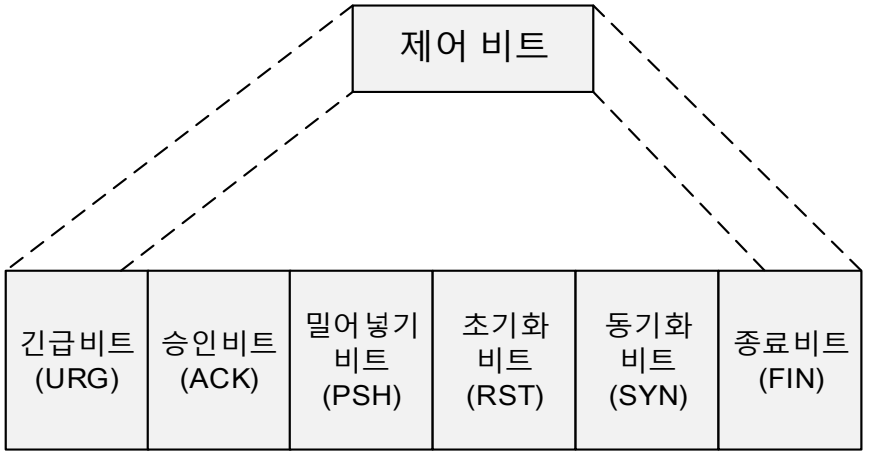
- TCP 세그먼트 포맷




| 필드명 | 크기(바이트) | 설명 |
|---|---|---|
| 데이터 오프셋 | ½(4비트) | • 헤더 길이 표현, 세그먼트 시작 위치 표현 |
| 윈도우 | 2 | • 한 번에 수신 가능한 바이트 수, 수신 윈도우 버퍼 크기 |
| 체크섬 | 2 | • 프로토콜 헤더와 데이터에 대한 오류 검사 |
| 긴급 포인터 | 2 | • URG 제어 비트가 1로 설정된 경우, 우선 순위 데이터 송신을 나타내는 URG 제어 비트의 마지막 바이트 순서 번호 |
| 선택사항 | 가변적 | • 최대 세그먼트 크기 값, 윈도우 크기, 대체 체크섬 |
| 패딩 | 가변적 | • 선택사항 필드가 32비트의 배수가 되도록 0으로 채움 |

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 세그먼트 포맷

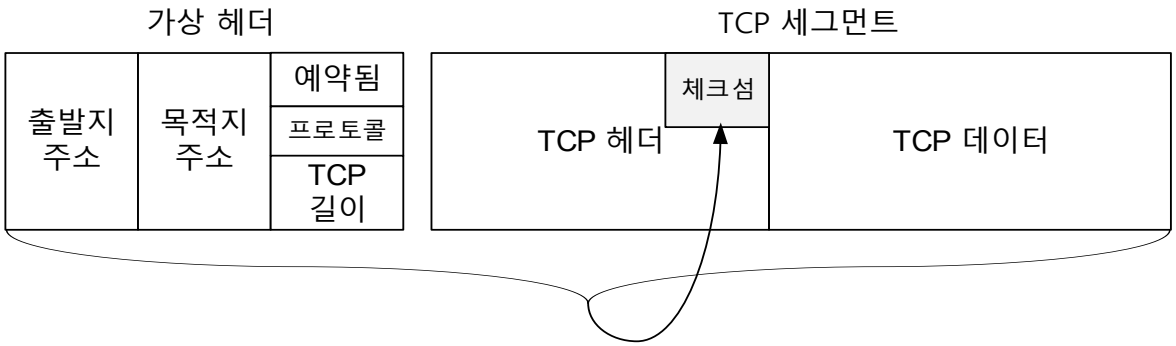



| 제어 비트 하위 필드명 | 크기(바이트) | 설명 |
|---|---|---|
| 긴급(URG) | 1 | • 우선 순위 높은 데이터가 있으므로 우선 처리해주어야 함을 알림 |
| 승인(ACK) | 1 | • 세그먼트가 승인을 포함함을 알림<br>• 승인 번호(상대 장비의 다음 순서 번호) 포함 |
| 밀어넣기(PSH) | 1 | • 송신 장비가 TCP 밀어넣기 기능을 사용함<br>• 송신 장비의 데이터를 수신한 즉시 처리해야 함 |
| 초기화(RST) | 1 | • 송신 장비의 문제 발생으로 연결을 초기화해야 함 |
| 동기화(SYN) | 1 | • 순서 번호(송신 장비의 ISN) 동기화 및 연결 수립을 요청함 |
| 연결 종료(FIN) | 1 | • 송신 장비가 연결 종료를 요청함 |

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 세그먼트 포맷
  - TCP 가상 헤더(Pseudo Header)
    - 체크섬 계산을 위해 생성되는 필드
      - 송신된 자료의 무결성을 보호하는 방식
        - 송신자는 데이터 바이트의 합을 데이터 스트림과 함께 송신
        - 수신자는 데이터 바이트의 합을 검사하여 오류 발생 여부 확인
  - 가상 헤더 포맷


  - 체크섬 계산 과정



# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 세그먼트 포맷
  - TCP 가상 헤더(Pseudo Header)
    - 가상 헤더 사용 장점
      - 잘못된 세그먼트 송신 문제 방지
        - 명시한 주소와 실제로 송수신한 주소가 다른 경우
      - 잘못된 프로토콜 문제 방지
        - 명시된 프로토콜이 아닌 프로토콜로 송신된 경우
      - 잘못된 세그먼트 길이 문제 방지
        - 세그먼트 일부가 유실된 경우, 출발지와 목적지가 사용하는 길이 값 불일치

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 세그먼트 포맷
  - TCP 최대 세그먼트 크기(MSS, Maximum Segment Size)
    - 정의
      - 세그먼트의 데이터 필드에서 사용 가능한 최대 바이트 수
      - TCP 데이터(페이로드) 길이만을 의미
    - MSS 선택 시 고려 사항
      - 과부하 관리
        - TCP 헤더와 IP 헤더는 각각 20바이트 이상씩 사용
        - MSS가 너무 작은 경우, 대역폭을 비효율적으로 사용하게 됨
      - IP 단편화
        - 세그먼트는 최대 송신 단위(MTU, Maximum Transmission Unit) 이상 송신 불가능
          - IP 헤더와 TCP 헤더, TCP 데이터를 모두 포함하는 길이
          - MTU 이상의 세그먼트를 송신하려면 단편화를 해야 하고, 이는 비효율적

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 세그먼트 포맷
  - TCP 최대 세그먼트 크기(MSS)
    - 기본 MSS
      - 보통 세그먼트에서 단편화 없이 송신될 수 있는 최대 크기로 결정
      - TCP에서 사용하는 표준 MSS는 536바이트
        - TCP와 IP 헤더로 최소 40바이트를 사용
        - IP 네트워크의 최소 MTU는 576바이트에서 시작
    - MSS 값 명시
      - SYN 메시지의 최대 세그먼트 크기 필드 이용하여 명시
      - 표준 MSS보다 크거나 작은 MSS를 사용하는 경우에 MSS 값 명시
        - e.g., IPsec을 사용하는 경우, AH 헤더나 ESP 헤더 추가로 인해 헤더 크기가 커지기 때문에 더 작은 MSS를 사용할 것임

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 데이터 송신 방식: 슬라이딩 윈도우
  - 전송 카테고리

| 카테고리 | 설명 |
|---|---|
| 전송 카테고리 1 | 전송했고 승인 받음 |
| 전송 카테고리 2 | 전송했지만 아직 승인 받지 못함 |
| 전송 카테고리 3 | 수신자는 준비됐지만 아직 전송하지 못함 |
| 전송 카테고리 4 | 수신자가 준비되지 않았고 전송하지도 못함 |

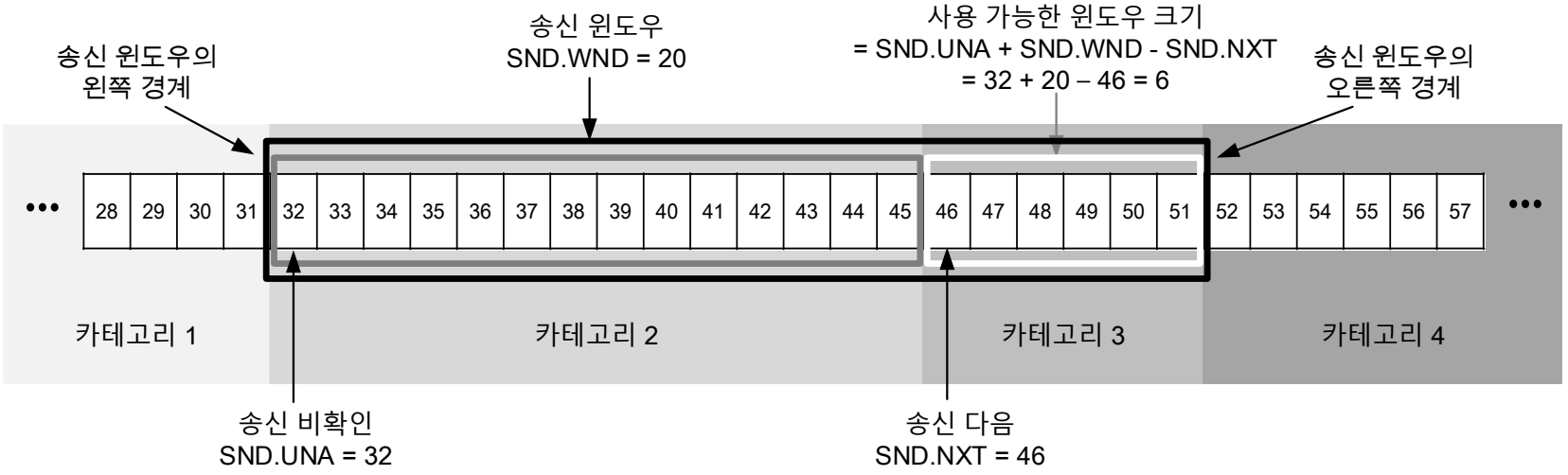
  - 수신 카테고리
    - 송신자는 승인을 기다려야 하지만 수신자는 받은 것에 대한 승인을 할 필요가 없음

| 카테고리 | 설명 |
|---|---|
| 수신 카테고리 1+2 | 수신했고 승인 받음 |
| 수신 카테고리 3 | 수신자는 준비됐지만 아직 수신하지 못함 |
| 수신 카테고리 4 | 수신자가 준비되지 않았고 수신하지도 못함 |

# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 데이터 송신 방식: 슬라이딩 윈도우
  - 송신(SND) 포인터

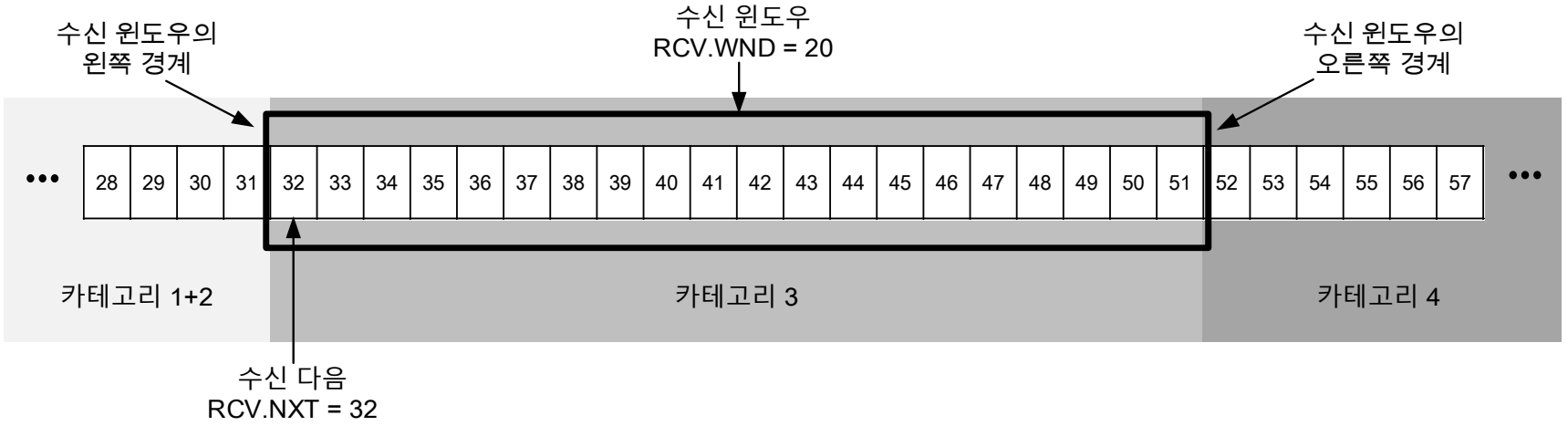
| 송신(SND) 포인터 | 설명 |
|---|---|
| 송신 비확인<br>(SND.UNA) | • 송신했지만 아직 승인되지 않은 첫 번째 데이터 순서 번호<br>• 전송 카테고리 2의 첫 바이트 가리킴<br>• 이전 순서 번호는 모두 전송 카테고리 1 |
| 송신 다음<br>(SND.NXT) | • 상대 장비에게 송신할 다음 바이트의 순서 번호<br>• 전송 카테고리 3의 첫 바이트 가리킴 |
| 송신 윈도우<br>(SND.WND) | • 송신 윈도우의 크기이자 승인 없이 보낼 수 있는 총 바이트 수<br>• 송신 비확인(SND.UNA)와 더하면, 전송 카테고리 4의 첫 바이트 표시 가능 |



# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

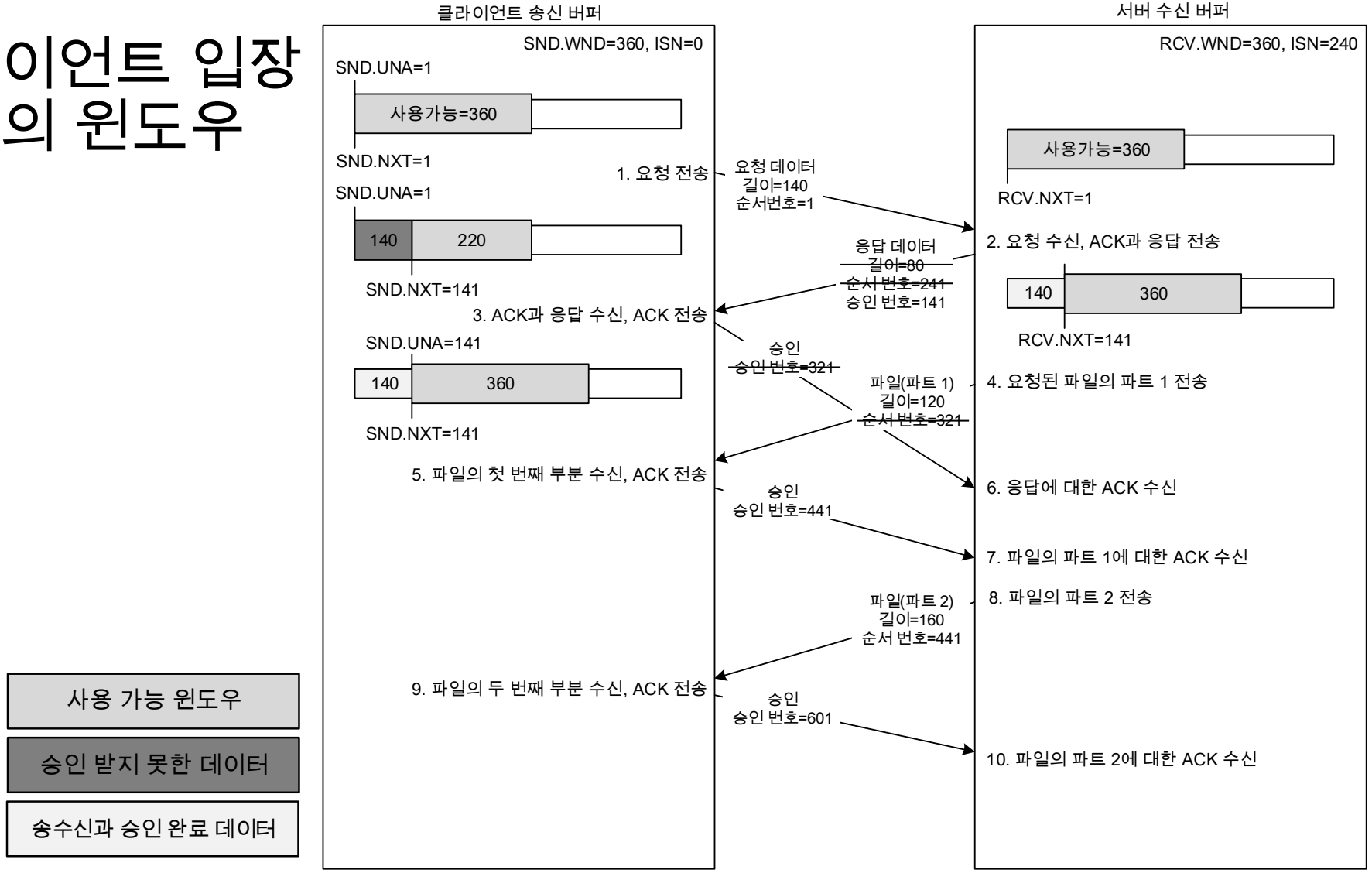
- TCP 데이터 송신 방식: 슬라이딩 윈도우
  - 수신(RCV) 포인터

| 수신(RCV) 포인터 | 설명 |
|---|---|
| 수신 다음<br>(RCV.NXT) | • 상대 장비에서 수신하려는 데이터의 다음 바이트 순서 번호<br>• 수신 카테고리 3의 첫 바이트를 가리킴<br>• 수신 카테고리 1+2는 이미 수신과 승인이 된 상태임 |
| 수신 윈도우<br>(RCV.WND) | • 수신 윈도우의 크기이자 장비가 한 번에 수신하길 원하는 바이트 수<br>• 수신 다음(RCV.NXT)와 더하면, 수신 카테고리 4의 첫 바이트 표시 가능 |



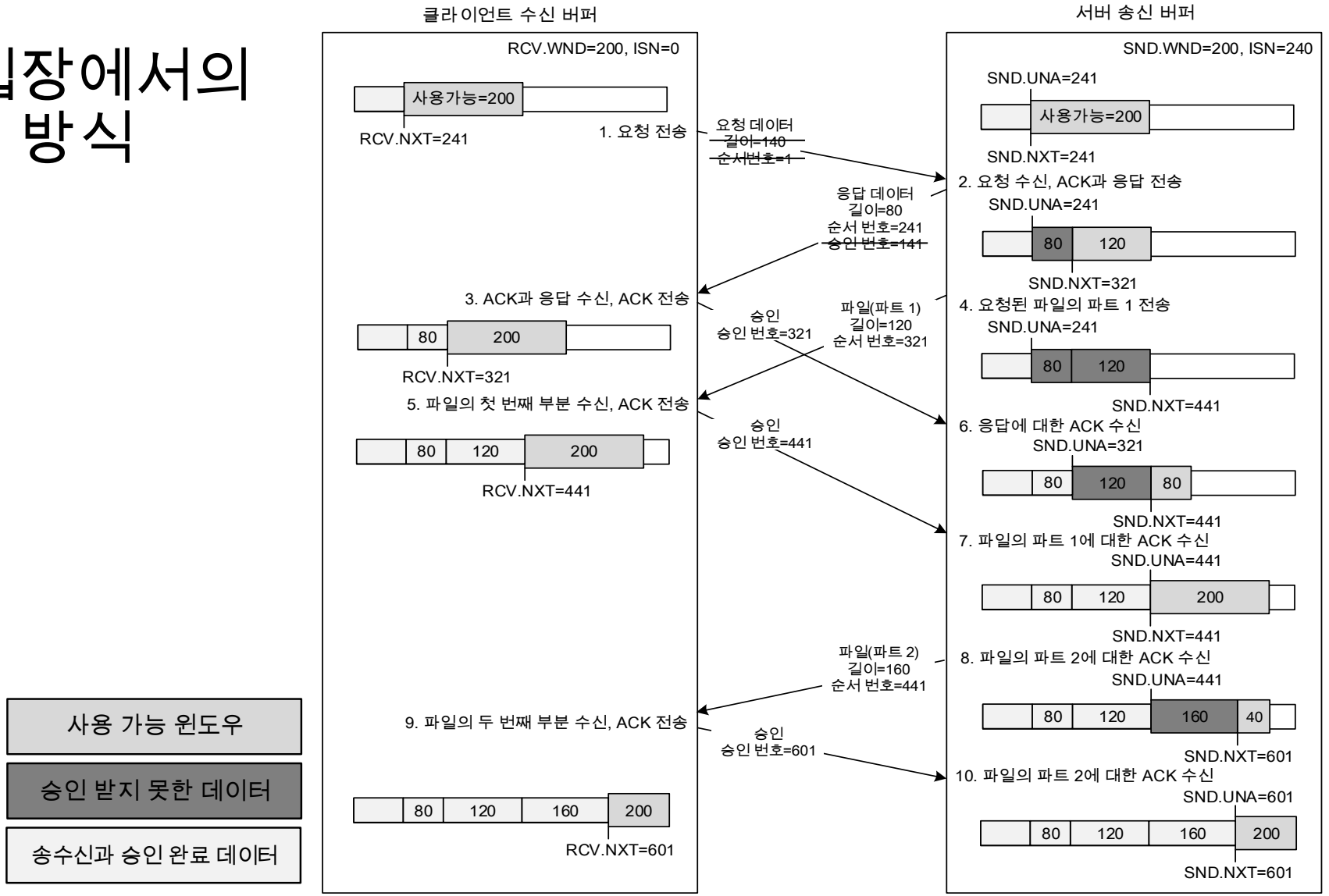
# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 데이터 송신 방식: 슬라이딩 윈도우
  - 클라이언트 입장에서의 윈도우



# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 데이터 송신 방식: 슬라이딩 윈도우
  - 서버 입장에서의 윈도우 방식



# TCP 세그먼트 포맷과 데이터 송신

- TCP 데이터 송신 방식: 밀어넣기(Push)
  - 세그먼트에 즉각 송신해야 할 데이터가 있음을 알리는 방식
  - PSH 제어 비트를 1로 설정
- TCP 데이터 송신 방식: 긴급(Urgent)
  - 세그먼트에 우선 순위가 높은 데이터가 있음을 알리는 방식
  - URG 제어 비트를 1로 설정
  - 긴급 포인터 필드 값은 긴급 데이터의 마지막 바이트 가리킴
    - 해당 세그먼트 순서 번호에 긴급 포인터 값을 더하면 긴급 데이터의 끝을 알 수 있음
    - e.g., 순서 번호=2000, 긴급 포인터=100으로 지정 패킷을 전송하는 경우,
      - 순서 번호 2000~2099번의 데이터는 긴급 데이터, 이후는 정상 데이터로 전송

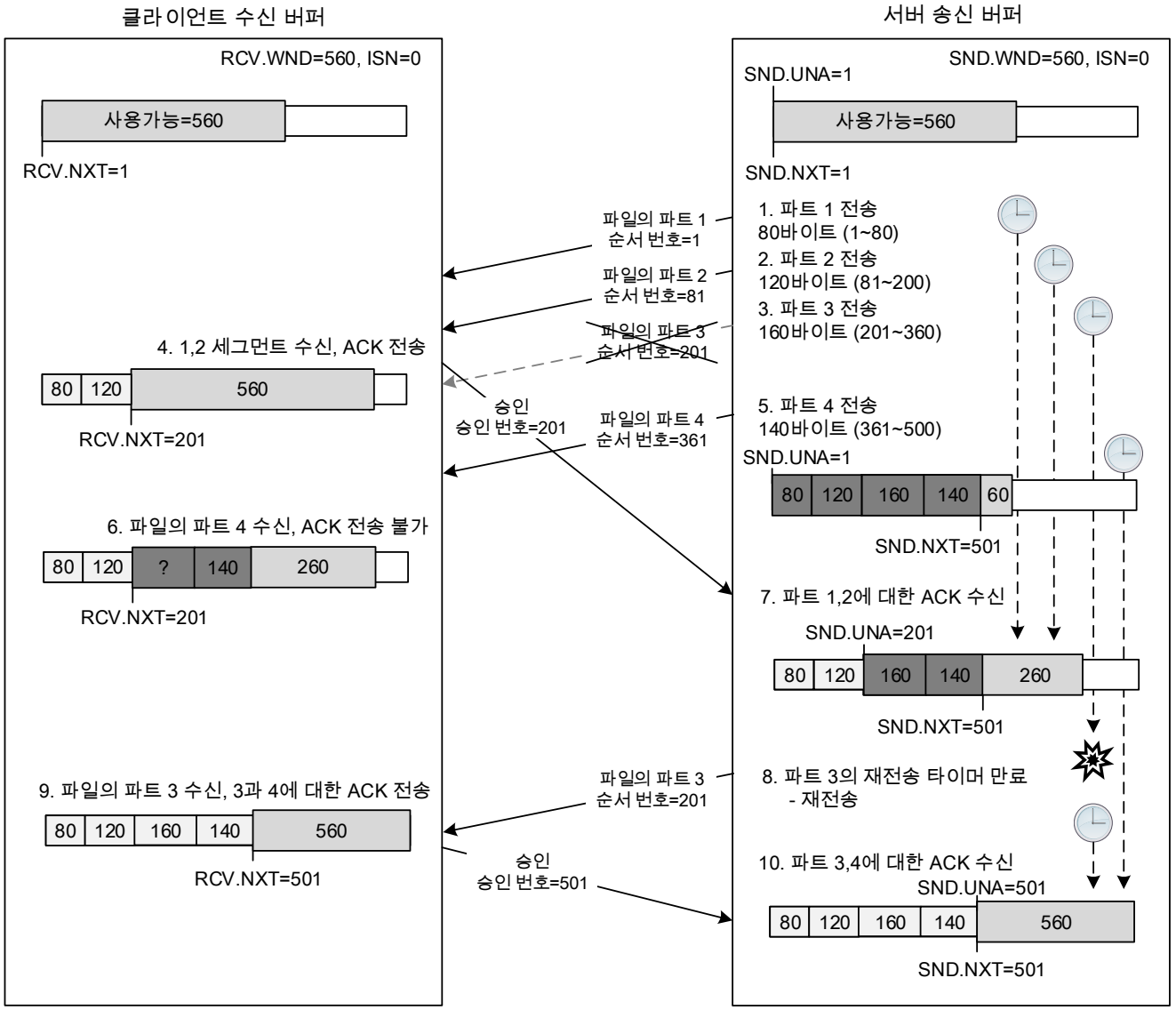
# 목 차

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 세그먼트 재전송
  - 재전송 과정
    1. 재전송 큐(Queue)에 배치, 타이머 시작
       - 세그먼트 전송 시, 복사본을 재전송 큐라는 데이터 구조에 삽입
         - FIFO(First In First Out) 구조로 데이터를 저장하는 형식의 스택 구조
       - 큐에 삽입 시 재전송 타이머 시작
    2. 승인 처리
       - 타이머 만료 전에 승인이 오는 경우, 큐에서 세그먼트 제거
         - 세그먼트가 지연되거나 버려지는 경우에 재전송 타이머가 만료되었다고 함
    3. 재전송 시간 만료
       - 타이머 만료 전에 승인이 오지 않는 경우, 재전송 시간 만료로 인해 세그먼트 자동 재전송

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 세그먼트 재전송
  - 재전송 과정
    - e.g., 서버가 연속해서 네 개의 세그먼트를 송신한 경우



# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 재전송 처리 방식
  - 비연속적 승인 처리
    - 시간 만료된 세그먼트만 재전송
      - 여러 개의 세그먼트가 사라진 경우, 대기 시간 증가
        - e.g., 세그먼트 20개가 모두 사라진 경우
          - 모든 세그먼트가 각각 시간이 만료되어 재전송될 때까지 대기해야 함
          - 세그먼트 1이 시간 만료되어 재전송되고, 이에 대한 ACK를 받아도 세그먼트 2가 시간 만료되어 재전송될 때까지 기다려야 함
    - 승인 받지 못한 모든 세그먼트 재전송
      - 시간 만료된 세그먼트와 승인 받지 못한 세그먼트 재전송
      - 필요하지 않은 경우에도 재전송하는 문제 존재
        - e.g., 세그먼트 20개가 모두 사라진 경우
          - 첫 번째 세그먼트만 사라지고 19개는 잘 도착했더라도 첫 번째 세그먼트 때문에 모든 세그먼트의 승인을 받지 못했기 때문에 전체적으로 재전송

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 재전송 처리 방식
  - 선택적 승인(SACK, Selective Acknowledgment)
    - 비연속적 승인 처리의 문제를 개선한 방식
    - 연결 수립 시 선택적 승인 허용 선택 사항을 사용하여 협상
      - 수신했으나, 아직 승인하지 않은 세그먼트 범위에 대한 목록
    - 동작 과정
      1. 각 장비는 재전송 큐를 수정하여 세그먼트가 선택적으로 승인된 경우, SACK 비트를 1로 설정
         - e.g., 서버가 파트 1,2,3,4를 송신했으나, 파트 3이 전송 중 유실된 경우, 클라이언트는 파트 1,2에 대한 승인을 보내면서 파트 4에 대한 SACK 비트를 1로 설정하여 전송함으로써, 서버에게 파트 4는 재전송할 필요없음을 알림
      2. 특정 세그먼트 재전송 시, 세그먼트 중 SACK 비트가 1이 아닌 모든 세그먼트 재전송

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 재전송 처리 방식
  - RTT(Round-Trip Time) 계산에 기반한 적응형 재전송
    - 왕복 시간(RTT)
      - 송신된 세그먼트가 도착하여 승인을 되돌려 보내는데 걸리는 시간
      - 재전송 타이머 사용을 위해 예상 RTT 계산 필요
      - 각 데이터그램마다 RTT는 다르기 때문에 RTT 평균치 필요
    - RTT 평균 추정 계산
      - 새 RTT = a * 기존 RTT + ((1 – a) * 측정한 RTT)
        - a는 0에서 1까지의 값을 가지는 가중치, 보통 a는 0.125
        - a가 0에 가까운 경우, RTT 변화가 증가하여 새 RTT 값이 너무 자주 바뀔 수 있음
  - 모호한 승인(Acknowledgment Ambiguity)
    - 원래 세그먼트에 대한 승인인지 재전송 세그먼트에 대한 승인인지 알 수 없는 현상

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 재전송 처리 방식
  - 칸의 알고리즘
    - 재전송된 세그먼트에 적용되는 타이머 시간 계산과 평균 RTT 계산을 분리하는 알고리즘
      - 모호한 승인 문제 해결
    - 세그먼트 전송 실패 시, RTT 값을 두 배로 하여 사용하는 알고리즘
  - 타이머 백오프(Backoff) 방식 도입
    - 평균 RTT에 기반하는 새로운 세그먼트의 재전송 타이머 설정
    - 세그먼트 재전송 시 타이머를 백오프로 몇 배 증가시켜 재전송 시간을 여유롭게 설정
      - 통신할 때 일정 시간 대기 후, 다시 시도하는 방식
    - 타이머 값은 재전송 성공할 때까지 증가하지만 일정 한도 존재
    - 세그먼트가 빠르게 재전송되는 상황을 방지할 수 있음

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 흐름 제어
  - TCP 윈도우 크기 조절
    - 상대 장비에서 들어오는 데이터 흐름을 조절하는 방법
      - 윈도우 크기
        - 송신 전, 상대 장비로부터 받은 데이터를 저장할 수 있는 바이트 수
          - e.g., 서버 윈도우 크기가 360인 경우, 서버는 360바이트 이상 받지 않음
      - 윈도우 크기 감소
        - 송신 장비가 전달할 수 있는 데이터 양을 감소시킴
        - 송신 윈도우에서 사용 가능 윈도우 크기가 0이 될 때까지 데이터를 송신해줌

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 바보 윈도우 증후군(SWS, Silly Window Syndrome)
  - 정의
    - 세그먼트 크기가 헤더 크기보다 작은 경우, 전송 시 최소 40바이트의 헤더를 붙여주어야 하는 비효율적인 현상
  - 회피 알고리즘
    - 수신자 SWS 회피
      - 수신 윈도우 크기가 너무 작은 경우에는 송신 측에 알리지 않고 대기
      - 수신 장비는 윈도우 크기를 고정해두었다가, 공간이 생기는 경우에는 윈도우 크기를 최소 단위만큼 증가시켜야 함
        - 최소 단위는 MSS나 버퍼의 절반 중 작은 것으로 결정
    - 송신자 SWS 회피와 네이글(Nagle)의 알고리즘
      - 승인 받지 못한 데이터가 없는 경우, 데이터 즉각 전송
      - 승인 받지 못한 데이터가 있는 경우, 데이터가 모두 승인되거나 수신 윈도우 크기가 0이 되지 않는 한 후속 데이터 보내지 않음

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 혼잡과 제어 알고리즘
  - 혼잡(Congestion)
    - 세그먼트 송신 속도가 느려지거나 버려지는 경우를 의미
    - 계속적인 재전송에 의해 혼잡 붕괴(Congestion Collapse) 현상 발생 가능
      - 데이터 전송 과정에서 라우터 문제로 데이터 패킷이 유실될 때 발생
      - 이 때 UDP와 TCP를 혼용할 경우 생기는 충돌 현상
        - 데이터 유실이 생겨도 빠르게 많이 보내는 UDP와 순서대로 데이터를 보내며 데이터 유실시 속도 조절하는 TCP의 혼용
    - 세그먼트 송신 후 승인 받지 못한 비율로 장비 간 네트워크의 혼잡 정도를 알 수 있음

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 혼잡과 제어 알고리즘
  - 혼잡 제어 알고리즘 (1/2)
    - 느린 시작(Slow Start)
      - 혼잡 제어를 위해 윈도우 크기를 임계점에 도달할 때까지 지수적으로 증가시키는 알고리즘
        - 임계점에 도달하면 혼잡 회피 단계로 이동
      - 느리게 시작하지만 증가 속도는 점점 빨라짐
    - 혼잡 회피(Congestion Avoidance)
      - 혼잡 상태가 감지될 때까지 윈도우 크기를 1씩 증가시키는 알고리즘
      - 큰 값으로부터 시작하지만 증가 속도는 1로 일정함
    - 혼잡 상태 발생
      - 시간이 만료되어 발생한 혼잡 상태
        - 느린 시작 알고리즘으로 초기화
      - 3개의 ACK가 수신되어 발생한 혼잡 상태
        - 혼잡 회피 알고리즘으로 초기화

# TCP 신뢰성과 흐름 제어 기능

- TCP 혼잡과 제어 알고리즘
  - 혼잡 제어 알고리즘 (2/2)
    - 빠른 재송신(Fast Retransmit)
      - 재전송 큐 과정 생략 후 사라진 세그먼트 재전송하는 알고리즘
        - 타이머 만료와 관계 없이 재전송
      - 승인을 세 번 이상 받는 경우, 장비는 세그먼트가 손실되었다고 간주
        - 중간에 세그먼트 하나가 승인되지 않아도, 이후 세그먼트들은 전송될 수 있음
        - 이 때마다 사라진 세그먼트에 대한 재전송 요청이 이루어짐
      - 추가 지연 시간이 줄어들게 되므로 TCP 성능 높일 수 있음
    - 빠른 회복(Fast Recovery)
      - 승인을 세 번 이상 받는 경우, 혼잡 윈도우 크기를 절반으로 줄인 후 송신 속도를 빠르게 증가시키는 알고리즘
        - 혼잡 회피 알고리즘 이용

# Thanks!

김 지 혜 (jihye@pel.sejong.ac.kr)