

네트워크 개론 Part 17

: TCP(Transmission Control Protocol)의 이해 5

글. 조인준 KBS 미디어기술연구소 차장

지난 두 편을 통해 TCP에서 전송 속도를 높이기 위한 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 기법 및 슬라이딩 윈도우를 사용한 방식 중의 하나인 Go-Back-N ARQ에 대해 설명해 드렸습니다. 계속해서 이번 편에서는 Selective Repeat ARQ에 대한 설명을 이어가겠습니다. Selective Repeat ARQ에 관해 시작하기에 앞서 지난 편에서 설명한 내용 중 수정이 필요한 부분이 있어 사과의 말씀과 함께 수정된 내용을 안내드립니다.

지난 편의 Go-Back-N ARQ 특징 정리 중 슬라이딩 윈도우의 크기와 패킷의 시퀀스 넘버를 설명하는 부분에 오류가 있어 이를 [표 1]의 붉은색으로 표시된 부분과 같이 수정합니다. 최대한 많은 자료를 중복으로 체크하여 가장 정확한 내용을 전달해 드리려 노력하고 있으나, 인터넷에 공개된 다수의 자료에 공통된 오류가 있어 의도치 않게 정확하지 않은 내용이 전달되었던 점 양해 부탁드립니다.

수정 전

- Go-Back-N ARQ는 슬라이딩 윈도우를 사용하므로 수신 호스트의 ACK 메시지 없이 윈도우 사이즈에 해당하는 개수의 패킷을 미리 보낼 수 있음
- Go-Back-N ARQ는 설정된 타임아웃이 있어서 타임아웃 이내로 ACK 메시지가 도착하지 않으면 현재 슬라이딩 윈도우 안의 패킷들을 모두 다시 보냄
- 패킷의 시퀀스 넘버는 슬라이딩 윈도우 사이즈(N)로 제한되어 0 ~ N-1 사이의 값으로 계속 반복됨(TCP 헤더의 윈도우 사이즈가 M비트로 표시된다면 슬라이딩 윈도우의 사이즈 N은 2^M 보다 작아야 윈도우 안에서 같은 시퀀스 넘버가 반복되지 않음)

수정 후

- Go-Back-N ARQ는 슬라이딩 윈도우를 사용하므로 수신 호스트의 ACK 메시지 없이 윈도우 사이즈에 해당하는 개수의 패킷을 미리 보낼 수 있음
- Go-Back-N ARQ는 설정된 타임아웃이 있어서 타임아웃 이내로 ACK 메시지가 도착하지 않으면 현재 슬라이딩 윈도우 안의 패킷들을 모두 다시 보냄
- ACK 메시지 이외에도 NACK(Negative ACKnowledgment) 메시지를 사용할 수도 있음(타임아웃까지 기다리지 않음)
- 패킷의 시퀀스 넘버는 TCP 헤더의 해당 비트 수를 N이라 하면 0부터 2^N-1 까지의 값을 사용할 수 있으며, 슬라이딩 윈도우의 사이즈는 최대 2^N-1 이 될 수 있다.(TCP 헤더의 시퀀스 넘버 비트수가 2이면 시퀀스 넘버는 0~3까지 사용할 수 있으며, 윈도우 사이즈는 최대 3이 된다.)
- 수신 윈도우의 크기는 1을 사용함

표 1. Go-Back-N ARQ 관련 수정 내용



그림 1. Go-Back-N ARQ 윈도우 사이즈/시퀀스 넘버 수정 전/후

[그림 1]은 [표 1]의 붉은색 부분의 수정 내용을 2비트 시퀀스 넘버를 사용하는 경우의 예를 들어 표현한 것입니다. 이 경우 시퀀스 넘버는 0~3까지 사용할 수 있으며, 윈도우 사이즈는 최대 3이 될 수 있습니다. [그림 1]의 '수정 전'과 '수정 후' 내용이 어떤 부분에서 중요한지는 [그림 2] 및 [그림 3]과 같습니다.

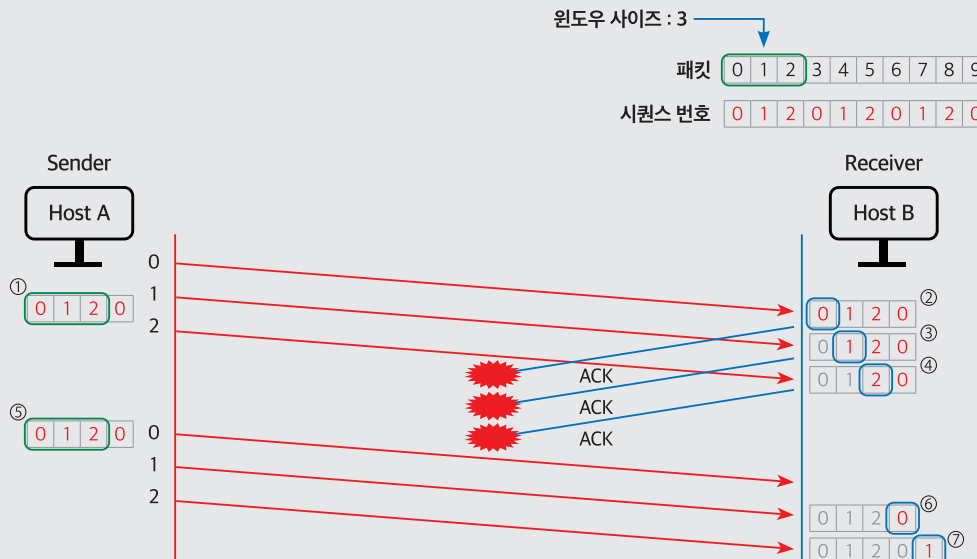


그림 2. 수정 전 방식의 시퀀스 넘버에 따른 문제

[그림 2]는 수정 전 잘못된 시퀀스 넘버 할당 방식으로 인해 윈도우 사이즈 3에 시퀀스 넘버 0~2가 사용된 경우입니다. [그림 2] ①과 같이 Host A는 녹색으로 표시한 슬라이딩 윈도우에 포함된 시퀀스 넘버 0, 1, 2의 처음 세 개 패킷을 전송하고 ②, ③, ④와 같이 이를 모두 정상적으로 수신한 Host B가 ACK 메시지를 Host A에게 보냅니다. 참고로 Go-Back-N ARQ 방식에서 수신 윈도우의 크기는 1이며 ②, ③, ④와 같이 정상적으로 수신된 패킷은 수신 버퍼에서 데이터 처리부로 옮겨지고(옮겨진 패킷은 회색으로 표시), 파란색으로 표시한 빈 수신 윈도우는 다음 시퀀스 넘버를 갖는 패킷의 수신을 기다립니다. 이때 패킷 유실로 ACK 메시지를 받지 못한 Host A는 타임아웃에 따라 슬라이딩 윈도우를 이동시키지 않고 ⑤와 같이 다시 시퀀스 넘버 0, 1, 2를 갖는 처음 세 개의 패킷을 차례로 보냅니다. 이 경우 처음 세 개의 패킷을 정상 수신한 Host B는 ACK 메시지의 유실 여부를 알 수 없으므로 Host A가 다시 보낸 처음의 0번~2번 시퀀스 넘버를 갖는 패킷을 두 번째 0번~2번 패킷들로 오인하여 ⑥, ⑦과 같이 계속 이 어받게 하는 오류를 발생시킵니다.

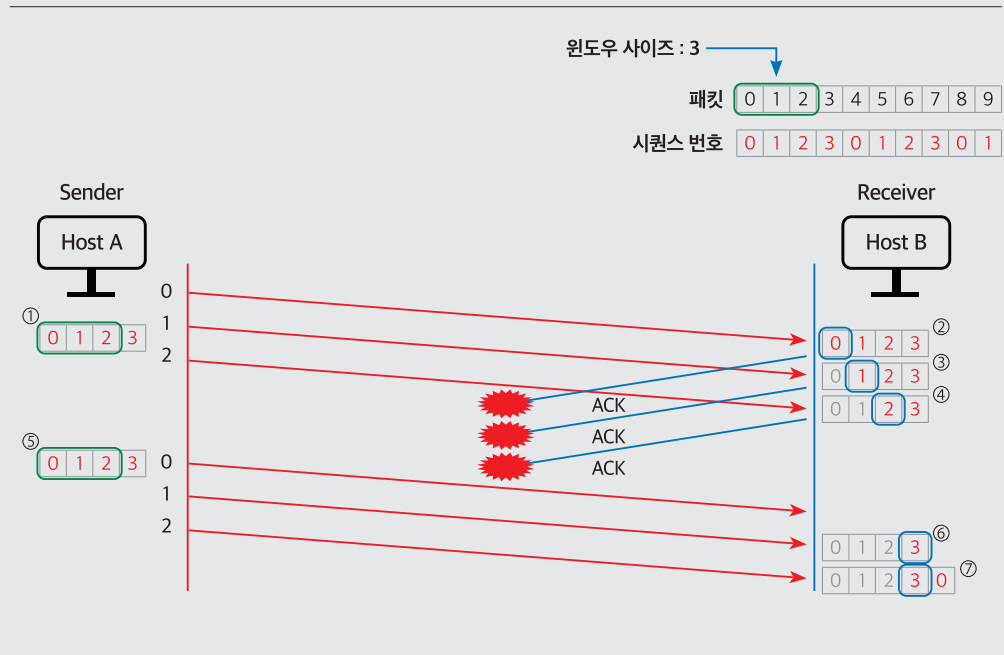


그림 3. 수정 후 방식의 정상적 시퀀스 번호

수정 후의 올바른 시퀀스 번호를 사용하면 [그림 3]의 ⑤와 같이 처음 0~2 시퀀스 번호를 갖는 패킷을 다시 보내더라도 ⑥, ⑦과 같이 시퀀스 번호 3을 기다리는 수신 윈도우는 시퀀스 번호 0~2를 갖는 패킷이 이전에 정상 수신된 패킷이 다시 전송된 것임을 알 수 있어 패킷을 처리부로 옮기지 않고 버리면서 3번 시퀀스 번호 패킷이 올 때까지 기다리는 방식으로 오류 없이 데이터 수신을 이어갈 수 있습니다. 그림에는 설명하지 않았으나 수신 데이터에 오류가 있음을 알리는 NACK(Negative ACKnowledgment) 메시지를 사용하여 타임아웃까지 재전송을 기다리지 않는 방법도 사용할 수 있다고 합니다.

지금부터는 Selective Repeat ARQ에 대해 설명 드리겠습니다. Selective Repeat ARQ의 특징은 아래와 같이 요약될 수 있습니다.

- Selective Repeat ARQ 또한 슬라이딩 윈도우를 사용하므로 수신 호스트의 ACK 메시지 없이 이 윈도우 사이즈에 해당하는 개수의 패킷을 미리 보낼 수 있음
- Selective Repeat ARQ는 수신 측의 ACK 메시지 이외에도 NACK(Negative ACKnowledgment) 메시지를 사용하여 타임아웃까지 기다리지 않음
- 수신 측으로부터 NACK 메시지를 받거나 타임아웃 이내에 ACK 메시지가 없는 경우 해당 패킷을 다시 전송
- 패킷의 시퀀스 번호는 TCP 헤더의 해당 비트 수를 N 이라 하면 0부터 2^N-1 까지의 값을 사용할 수 있으며, 송신 호스트와 수신 호스트의 슬라이딩 윈도우 사이즈는 각각 최대 2^{N-1} (시퀀스 번호 개수의 절반)이 될 수 있음(TCP 헤더의 시퀀스 번호 비트 수가 2이면 시퀀스 번호는 0~3까지 사용할 수 있으며, 윈도우 사이즈는 최대 2가 됨)

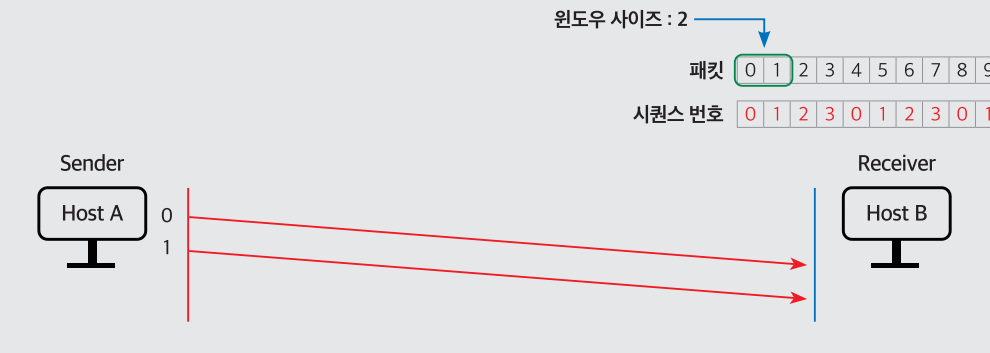


그림 4. 슬라이딩 윈도우 사이즈에 따른 최초 패킷 전송

[그림 4]~[그림 7]을 통해 Selective Repeat ARQ의 동작 방식을 살펴보겠습니다. [그림 4]~[그림 7]의 예에서 시퀀스 넘버는 0~3, 윈도우 사이즈는 2를 사용합니다. Host A 위의 검은색 패킷 번호는 송신 순서에 따라 붙인 것이고, 그 밑에 시퀀스 번호를 붉은색으로 표시하였습니다. 이후의 설명에서 패킷 간의 구분을 위해 시퀀스 번호 대신 검은색으로 표시된 0~9의 패킷 번호를 사용하겠습니다. 우선, [그림 1]과 같이 슬라이딩 윈도우를 적용하면 수신 측의 ACK 메시지가 없는 상황에서도 슬라이딩 윈도우의 사이즈만큼 패킷을 미리 보낼 수 있습니다. ACK 메시지 없이 윈도우 사이즈 2와 같은 수의 0번~1번 패킷이 전송되었으므로 더 이상의 패킷 전송은 이루어지지 않습니다.

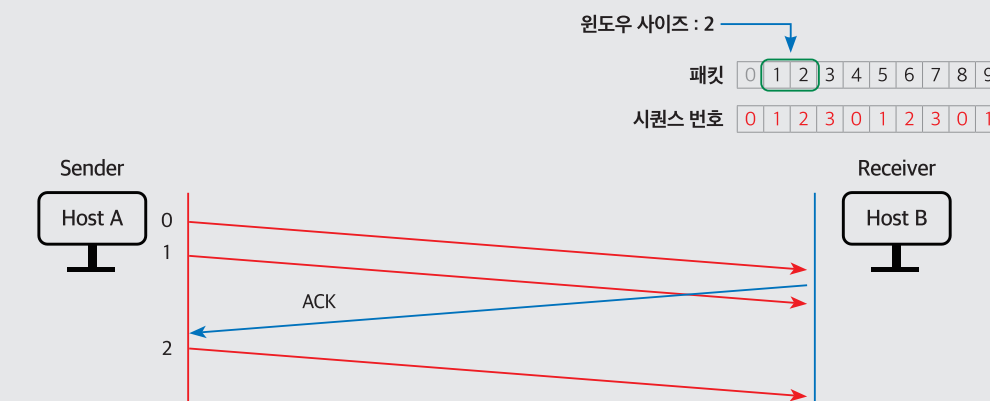


그림 5. ACK 메시지 수신 및 슬라이딩 윈도우에 의한 패킷 추가 전송

ACK 메시지가 없는 상태에서 이미 윈도우 사이즈와 같은 수의 패킷이 전송되어 일시적으로 대기 상태에 들어간 전송 프로세스가 다시 시작되려면 타임아웃이 지나기 전에 [그림 5]와 같이 수신 측에서 정상적 수신을 알리는 ACK 메시지를 받아야 합니다. [그림 5]의 파란 화살표로 표시된 ACK 메시지는 Host A가 보낸 0번 패킷의 시퀀스 넘버를 담은 Host B의 ACK 메시지이며, 0번 패킷 전송 이후 타임아웃 이전에 ACK 메시지를 받은 Host A는 2로 설정된 윈도우 사이즈에 따라 2번 패킷을 송신하고 슬라이딩 윈도우를 1번~2번 패킷을 커버하도록 이동합니다. [그림 5]에서 패킷 번호 0번을 회색으로 처리한 것은 ACK 메시지를 받았으므로 성공적으로 전송이 완료된 것을 표시한 것입니다.

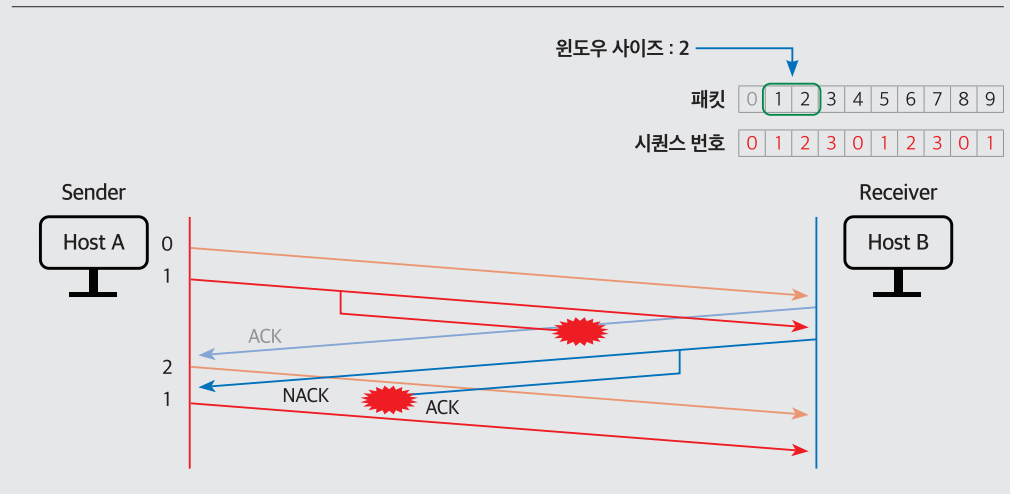


그림 6. 전송 실패 후 슬라이딩 윈도우 안의 패킷 재전송

이번에는 [그림 6]과 같이 전송에 문제가 발생한 경우 이를 Selective Repeat ARQ가 어떻게 처리하는 지 알아보겠습니다. [그림 6]과 같은 문제가 생길 수 있는 상황은 다음과 같습니다.

- ㉠ Host A가 보낸 1번 패킷이 중간에 유실되어 Host B에 도달하지 않음
- ㉡ Host A가 보낸 1번 패킷이 전달되었으나 데이터 손상이 있어 Host B가 NACK 메시지를 보냄
- ㉢ Host A가 보낸 1번 패킷이 정상적으로 전달되었고 Host B가 ACK를 보냈으나, ACK 메시지가 중간에 유실됨

㉠의 경우 Host B는 1번 패킷이 보내졌는지, 중간에 유실되었는지 알 수 없으므로 ACK 메시지를 보내지 않고, Host A는 ACK 메시지를 타임아웃 이내에 받지 못하게 되므로 타임아웃 이후에 1번 패킷을 다시 보냅니다.

㉡의 경우 Checksum 등을 통한 수신 패킷의 검사결과 문제가 검출되면 Host B는 수신된 패킷의 시퀀스 넘버 정보를 담은 NACK 메시지를 보내어 Host A에 전송 문제가 발생한 것을 알리고, Host A는 1번 패킷을 다시 보냅니다. NACK을 사용하면 Host A가 타임아웃을 기다리지 않고 즉시 대응할 수 있어 전반적으로 시간을 단축하는 효과가 있습니다.

㉢의 경우는 ㉠과 유사하게 Host A는 ACK 메시지를 타임아웃 이내에 받지 못하게 되므로 타임아웃 이후에 1번 패킷을 다시 보내며, 참고로 이 경우 Host B는 이미 받은 시퀀스 넘버의 패킷이므로 사용하지 않고 버립니다.

[그림 6]에서 보았듯이 Selective Repeat ARQ는 Go-Back-N ARQ와 달리 전송 과정에 문제가 있는 패킷만을 개별적으로 재전송하기 때문에 더 효과적인 전송을 수행할 수 있습니다. 문제가 발생한 패킷의 재전송 후에는 [그림 7]과 같이 다시 슬라이딩 윈도우를 이동하며 전송을 이어갑니다.

그럼 마지막으로 Selective Repeat ARQ에서의 송신 호스트와 수신 호스트의 윈도우 사이즈 관련 이슈를 설명하겠습니다. TCP 헤더의 시퀀스 넘버 비트 수를 N 이라 하면 시퀀스 넘버는 0부터 2^N-1 까지의 값을 사용할 수 있으며, 송신 호스트와 수신 호스트의 슬라이딩 윈도우 사이즈는 각각 최대 2^{N-1} (시퀀스 넘버 개수의 절반)이 될 수 있다고 앞서 말씀드렸습니다. 왜 이런 조건이 필요한지 앞선 예와 동일한

TCP 헤더의 시퀀스 넘버 비트 수 2, 사용 가능 시퀀스 넘버는 0~3, 최대 송신/수신 윈도우 사이즈 2의 경우를 통해 설명 드리겠습니다.

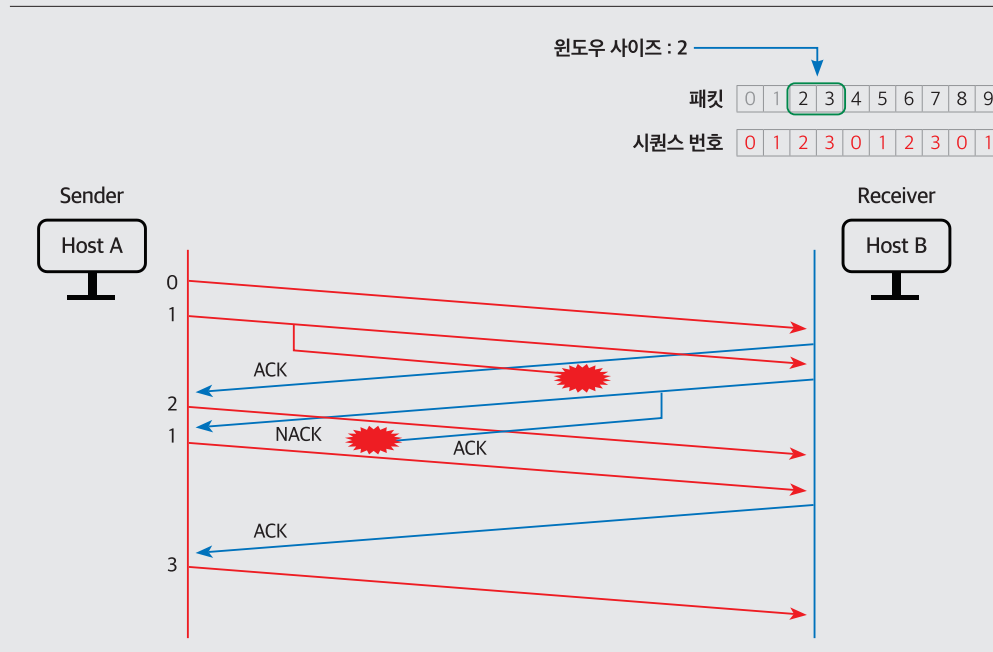


그림 7. 슬라이딩 윈도우 안의 패킷 재전송 후 정상 전송 진행

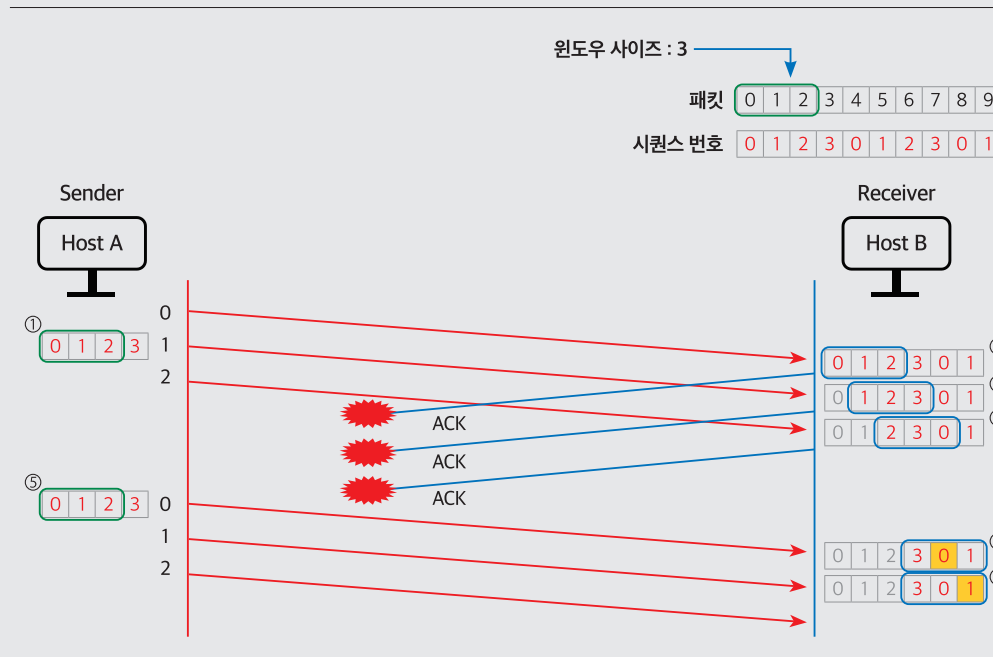


그림 8. 윈도우 사이즈 조건을 만족하지 않는 경우의 오류 발생

[그림 8]은 2비트의 시퀀스 넘버를 사용할 때 최대 윈도우 사이즈인 2를 초과하여 윈도우 사이즈 3을 사용한 경우입니다. Selective Repeat ARQ는 송신 측과 수신 측 모두 슬라이딩 윈도우를 사용하여 전

송대상 패킷들을 관리합니다. [그림 8] ①과 같이 Host A는 녹색으로 표시한 슬라이딩 윈도우에 포함된 0, 1, 2의 시퀀스 번호를 갖는 처음 세 개의 패킷을 전송하고 ②, ③, ④와 같이 이를 모두 정상적으로 수신한 Host B가 ACK 메시지를 Host A에게 보냅니다. ②는 시퀀스 번호 0, 1, 2 패킷을 기다리며 시퀀스 번호 0 패킷을 받은 상황, ③은 시퀀스 번호 1, 2, 3 패킷을 기다리며 시퀀스 번호 1 패킷을 받은 상황, ④는 시퀀스 번호 2, 3, 0 패킷을 기다리며 시퀀스 번호 2 패킷을 받은 상황을 나타내고 있습니다. 수신 후 버퍼에서 데이터 처리부로 옮겨진 패킷은 회색으로 표시하였습니다. 만약 Host B의 ACK 메시지가 제대로 전송되지 않아 Host A의 타임아웃이 지나고 Host A가 시퀀스 번호 0, 1, 2 패킷을 다시 보내게 되면 ⑤, ⑥과 같이 시퀀스 번호 3, 0, 1을 기다리는 Host B는 이미 수신한 시퀀스 번호 0, 1 패킷을 이어서 수신(오렌지색으로 표시)하게 되는 오류가 생길 수 있습니다.

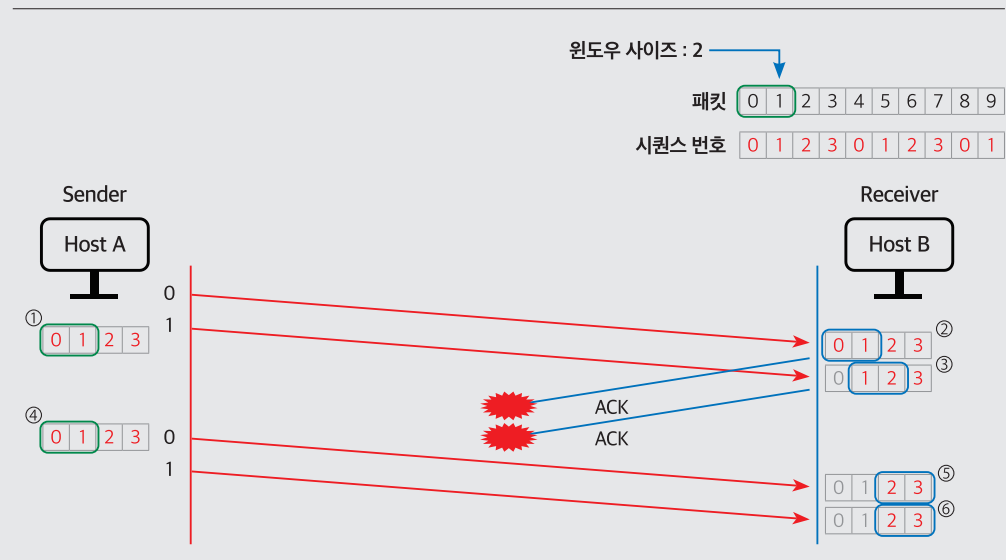


그림 9. 윈도우 사이즈 조건을 만족하는 경우의 정상 송수신 진행

[그림 9]는 슬라이딩 윈도우 사이즈의 조건에 맞춰 송신 윈도우와 수신 윈도우 사이즈를 2로 사용한 경우입니다. 시퀀스 번호 0, 1 패킷이 전송된 후 이를 정상 수신한 Host B는 슬라이딩 윈도우를 이동하여 ⑤, ⑥과 같이 시퀀스 번호 2, 3 패킷을 기다립니다. 만약 시퀀스 번호 0, 1 패킷에 대한 ACK 메시지를 못 받은 Host A가 ④와 같이 재전송을 하더라도 시퀀스 번호 2, 3을 기다리는 Host B는 이미 전송된 패킷으로 판단하여 사용하지 않고 버리므로 [그림 8]과 같은 오류가 발생하지 않습니다.

지금까지의 내용으로 슬라이딩 윈도우를 사용한 TCP 전송 방식들에 관한 설명을 마치겠습니다. 다음 편에서는 TCP 관련 제어 이슈들에 관한 설명으로 찾아뵙겠습니다. 📖

P.S.

C군이 여러분께 전하는 내용 중 전문적 성격이 짙은 것은 엄밀한 언어를 사용하여 설명하는 데는 한계가 있습니다. 본 내용은 설명하는 대상에 대한 전체적 맥락의 이해에만 이용하시고, 그 이상은 권위 있는 전문 자료를 참고하시기 바랍니다.