

# Chapter 4

## 디지털 전송



# 학습목표

---

## ■ 디지털 전송 (4장)

§ 1. 디지털 대 디지털 **변환** (Digital-to-Digital Encoding)

§ 2. 아날로그 대 디지털 **변환** (Analog-to-Digital Encoding)

## ■ 아날로그 전송 (5장)

§ 3. 디지털 대 아날로그 **변조** (Digital-to-Analog Modulation)

§ 4. 아날로그 대 아날로그 **변조**(Analog-to-Analog Modulation)





---

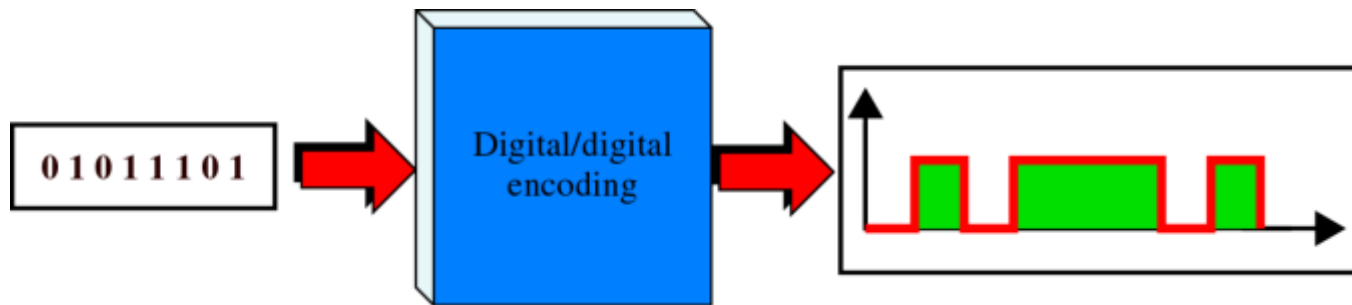
디지털 전송 :

**DIGITAL-TO-DIGITAL ENCODING**



# § 1. Digital-to-Digital Encoding

- 디지털 정보를 디지털 신호로 변환하여 전송
- “Digital Signaling”

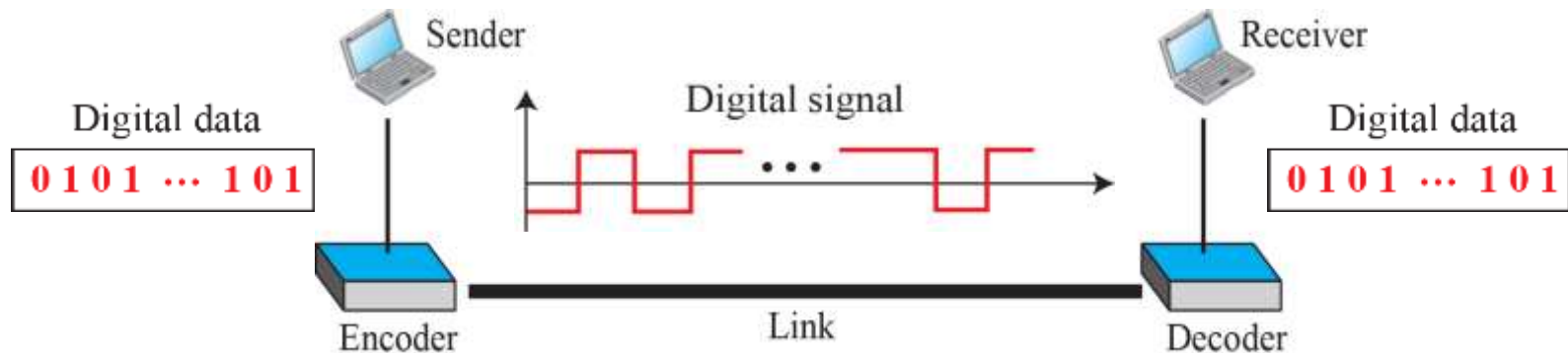


- 변환 방법
  - 1) Line Coding (회선 부호화)
    - 항상 필요
  - 2) Block Coding (블록 부호화)
  - 3) Scrambling (뒤섞기)



# 1-1. 회선 부호화(Line Coding)

- 디지털 정보를 디지털 신호로 바꾸는 작업
  - ✓ 직류 성분(DC component) 제거 필요
  - ✓ 자기 동기화 필요



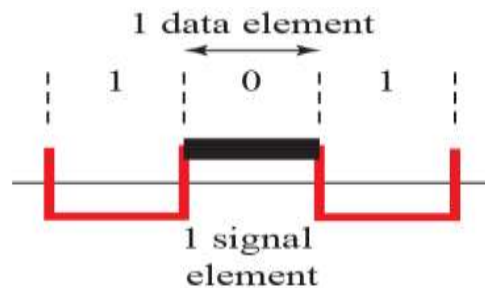
# 데이터 요소 vs. 신호 요소

## ■ 데이터 요소

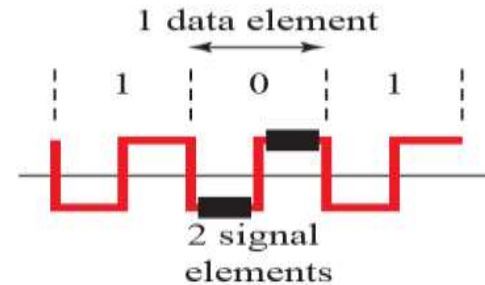
- ✓ 디지털 데이터를 나타내는 기본 단위(비트)

## ■ 신호 요소

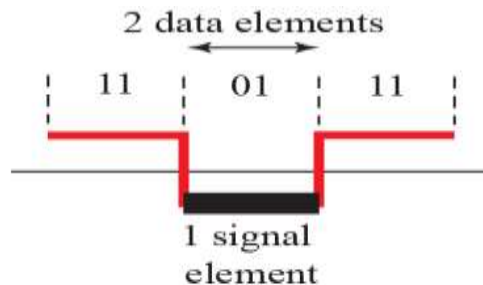
- ✓ 통신에 사용되는 디지털 신호의 기본 단위



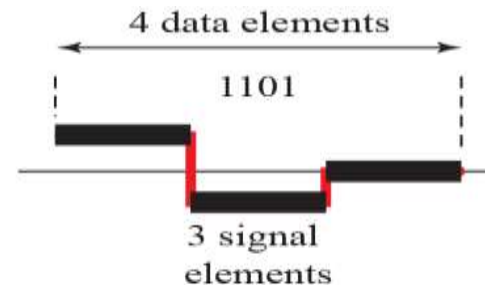
a. One data element per one signal element ( $r = 1$ )



b. One data element per two signal elements ( $r = \frac{1}{2}$ )



c. Two data elements per one signal element ( $r = 2$ )



d. Four data elements per three signal elements ( $r = \frac{4}{3}$ )



# 데이터 전송률 vs. 신호의 전송률

## ■ 데이터 전송률(Data Rate), $N$

- ✓ 1초당 전송된 데이터 비트수: 비트율
- ✓ 단위: bps(bit per second)

## ■ 신호 전송률(Signal Rate), $S$

(= 펄스율, 변조율, 보오율)

- ✓ 1초당 전송된 신호 요소의 수
- ✓ 단위: 보오(baud)

$$S = c \times N \times \frac{1}{r}$$

$c$  : 상수(0~1값),  $N$ : 데이터전송률,  $\frac{1}{r}$ : 비트당 신호수

- 회선 코딩시 신호 전송률( $S$ )은 낮추면서 데이터 전송률( $N$ )은 높은 것이 유리



# 대역폭(Bandwidth)

- 디지털 신호의 대역폭은 이론적으로는 무한  
그러나 유효 대역폭은 유한

- ✓ 많은 요소들의 진폭이 작아 무시 가능

- ✓ 최소 대역폭  $B_{\min} = c \times N \times \frac{1}{r}$

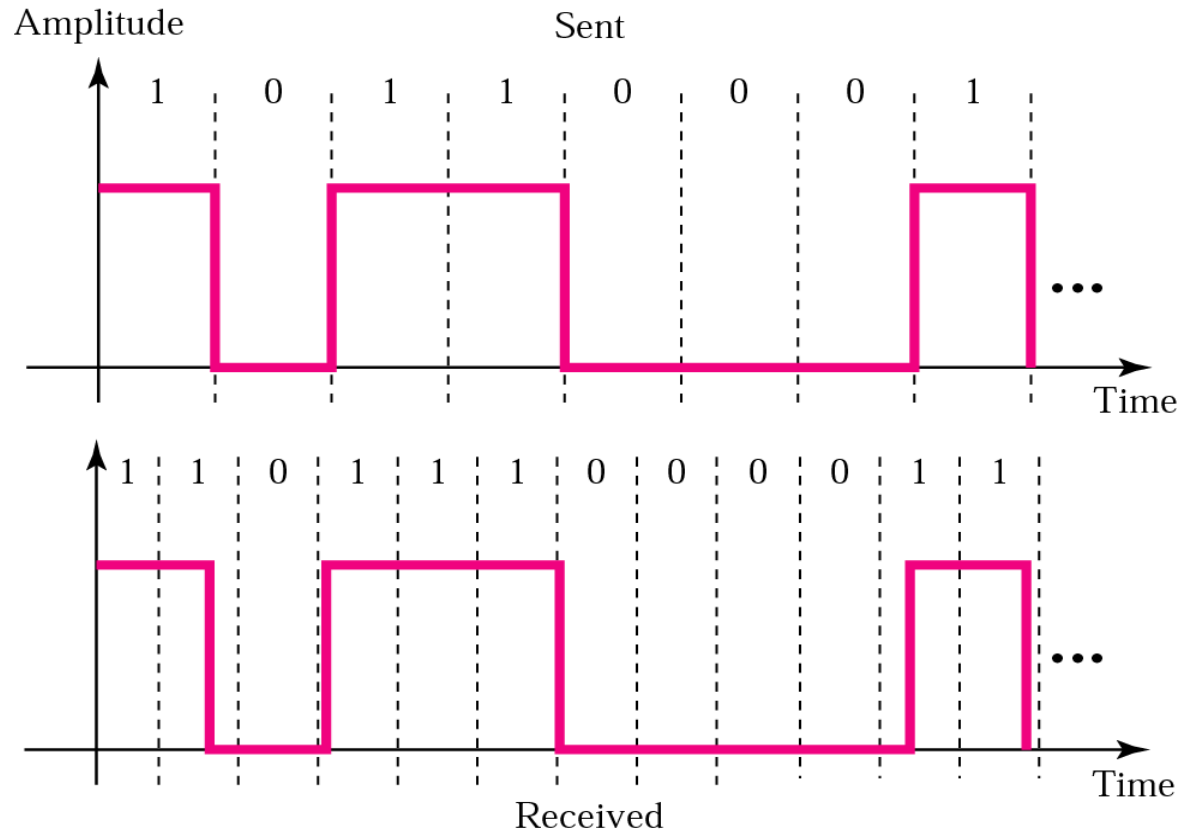
- ✓ 최대 데이터율  $N_{\max} = \frac{1}{c} \times B \times r$





# 자기 동기화(Self-Synchronization)

## ■ 송수신기 간에 비트 간격을 스스로 일치



# 예제

[문제] 디지털 전송에서, 수신자 클럭이 송신자 클럭보다 0.1% 빠르다고 하자. 데이터 전송율이 1 kbps일 때와 1 Mbps 일 때, 각각 매 초 얼마만큼의 추가 비트를 받게 되는가?

## ■ 풀이

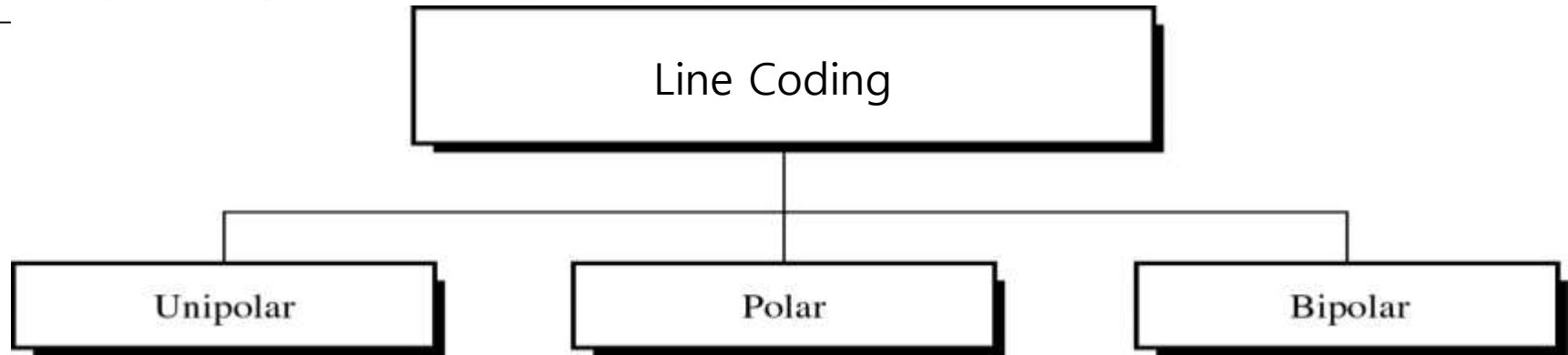
1) 1 kbps에서, 수신자는 1,000bps대신에 1,001bps를 받음

1,000 bits sent  $\rightarrow$  1,001 bits received  $\rightarrow$  1 extra bit

2) 1 Mbps에서, 수신자는 1,000,000bps대신에 1,001,000bps를 받음

1,000,000 bits sent  $\rightarrow$  1,001,000 bits received  $\rightarrow$  1,000 extra bits

# 회선 부호화 방식의 종류



## 1) 단극형 부호화(Unipolar Encoding)

- ▶ 비영복귀 (NRZ; NonReturn to Zero) 부호화

## 2) 극형 부호화(Polar Encoding)

- ▶ 비영복귀 (NRZ; NonReturn to Zero) 부호화
- ▶ 영복귀 (RZ; Return to Zero) 부호화
- ▶ 양위상 (biphase)
  - 맨체스터(Manchester)/ 차분(Differential)맨체스터

## 3) 양극형(Bipolar) 부호화

- ▶ 교대표시반전 (AMI; Alternate Mark Inversion)

# 1) 단극형 부호화(Unipolar Encoding)

- 2진 상태 중 하나만이 극으로 지정

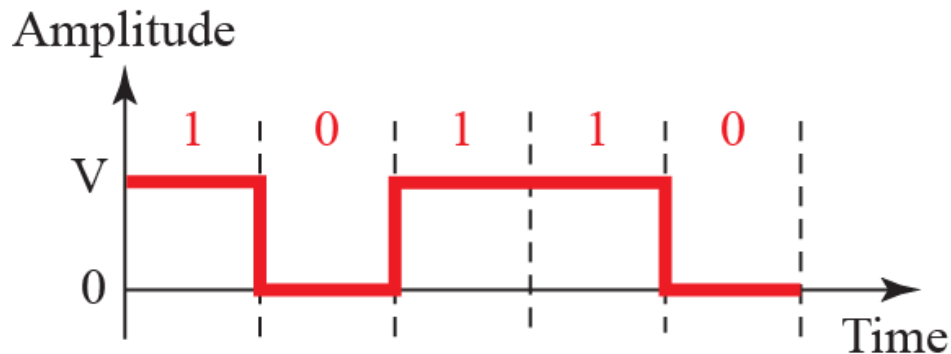
- ✓ 예) 비트 1 : +5V

- 비트 0 : 0V(아무것도 흐르지 않는 상태)

- 직류(DC) 성분 갖고 있으며,

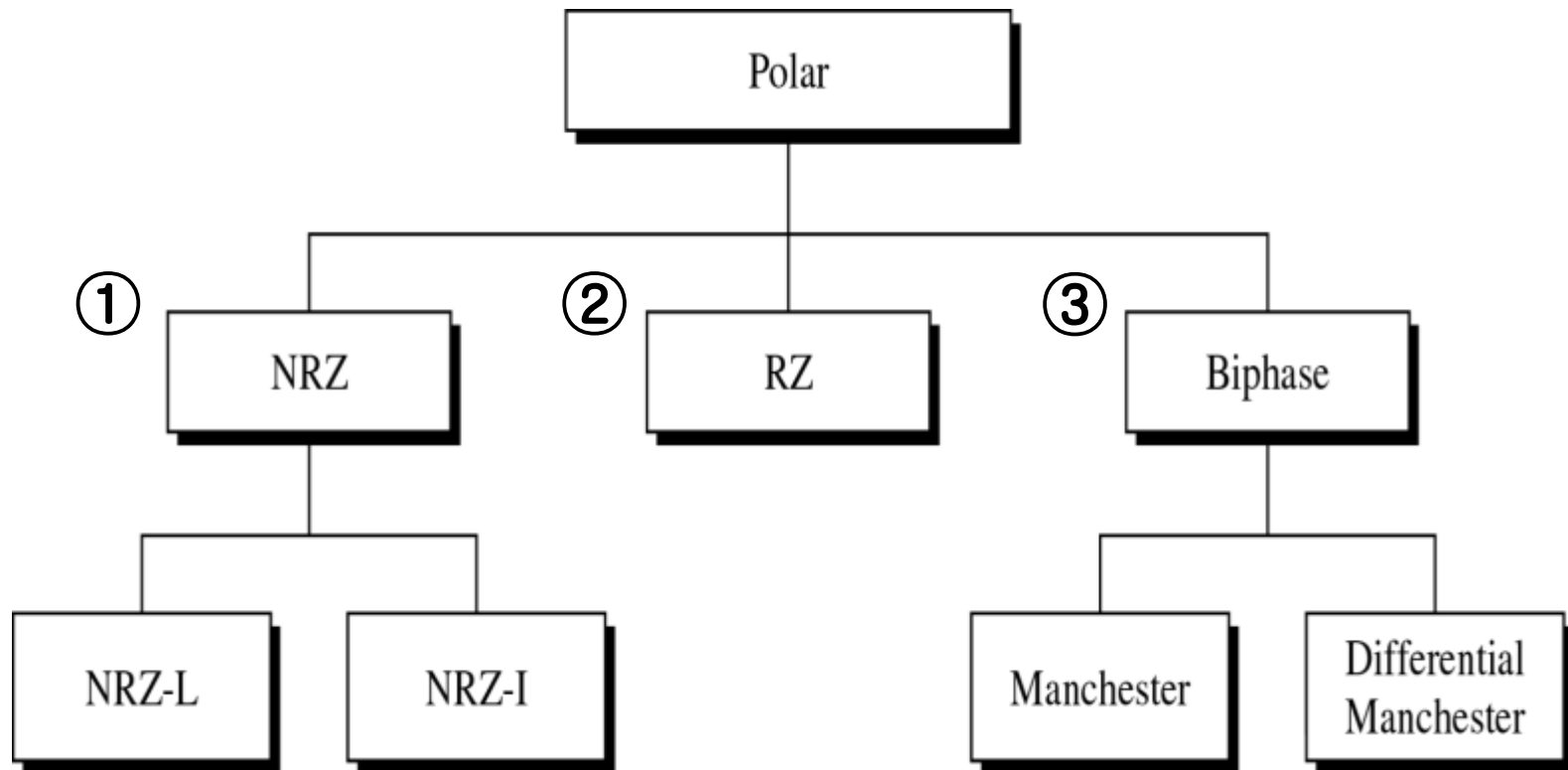
- 자기동기화 안됨 (클럭 동기화 정보가 없음)

- 단순, 구현 비용 적음



## 2) 극형 부호화(Polar Encoding)

- 두 가지 전압 준위(+, -)를 사용
  - ✓ 예) 양전압 (+5V), 음전압(-5V) 사용
  - ✓ 신호의 직류 성분 문제 완화  
(RZ, biphase는 DC 성분이 없음)



## 2)-① NRZ(NonReturn to Zero; 비영복귀) 부호화

■ 신호의 준위는 항상 + 아니면 -

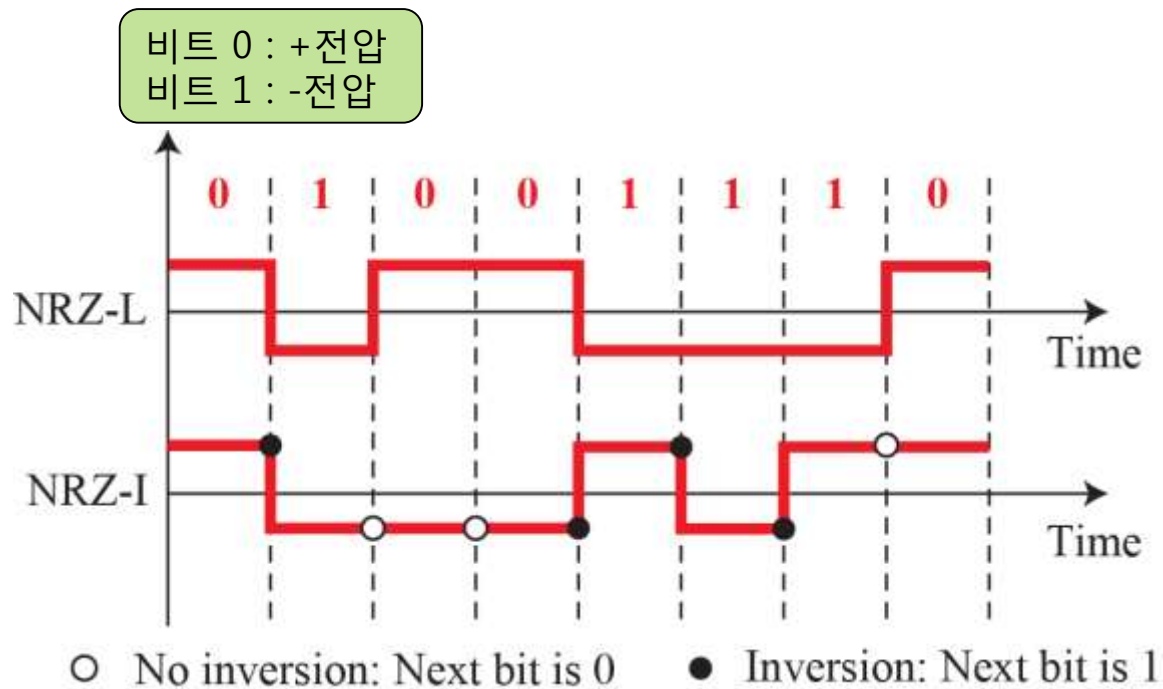
✓ **NRZ-L** (NonReturn to Zero, **L**evel)

- 표현하는 비트값에 따라 신호 준위가 달라짐
  - 비트 0 : +전압
  - 비트 1 : -전압
- 같은 비트들이 연속되는 경우 타이밍 왜곡 발생 가능

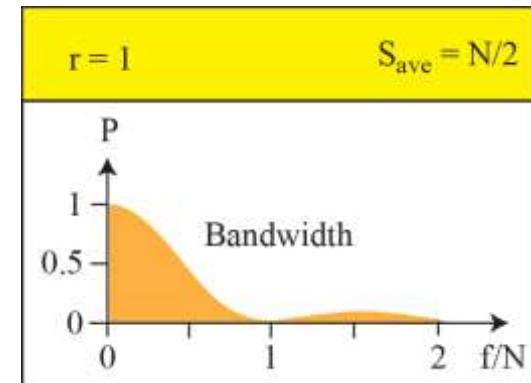
✓ **NRZ-I** (NonReturn to Zero, **I**nvert)

- 비트값에 따라 신호 준위의 **변화 여부**를 결정
  - 비트 1 : 전압 준위를 **반전**시킴
  - 비트 0 : 전압 준위 불변

## ■ NRZ-L와 NRZ-I의 부호화 예



비트 1 : 전압준위를 반전  
비트 0 : 전압준위 불변



직류 성분 문제를 가짐

- ✓ 둘 다 직류성분 가짐
- ✓ 둘 다 자기동기화 안됨

## 2)-② RZ(Return to Zero; 영복귀) 부호화

### ■ 세 준위(-, 0, +)를 이용

- ✓ 비트 구분을 위해선 여전히 두 준위만이 이용됨

### ■ 매 비트 구간 동안 신호가 천이됨

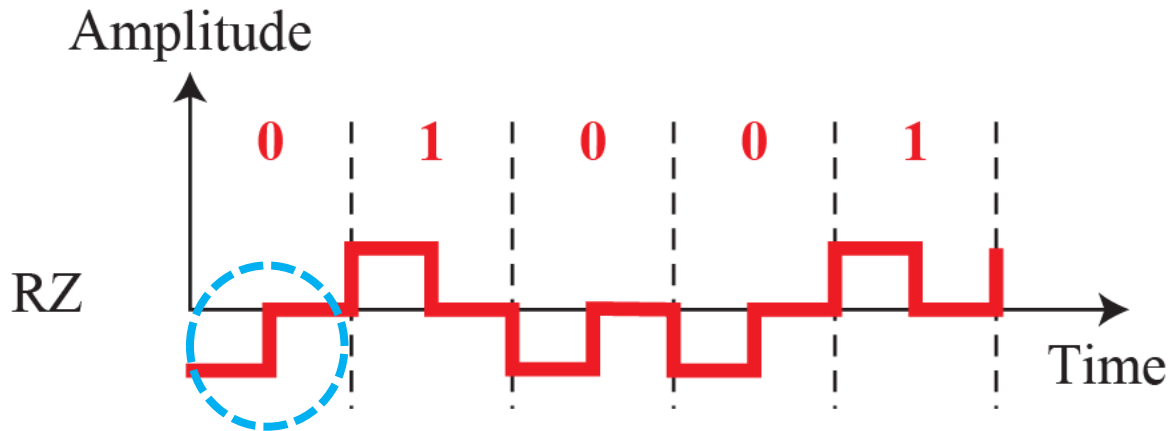
- ✓ 자기 동기화 위해
  - 0에서 전압이 +,- 할때 비트의 시작인지 알수 있기 때문



### ■ 부호화 방법

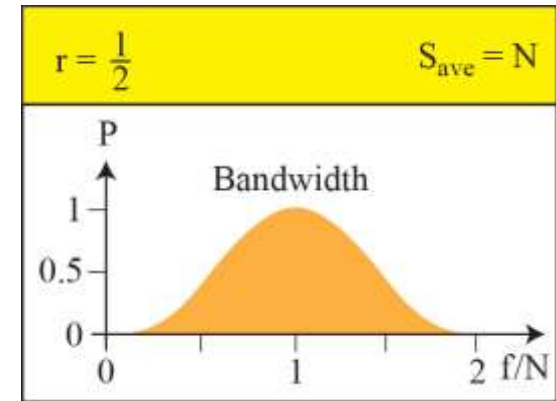
- ✓ 비트 간격의 반이 지나고 나면 신호는 0으로 천이
  - 비트 1 : +전압  $\rightarrow$  0
  - 비트 0 : -전압  $\rightarrow$  0
- ✓ 한 비트를 부호화하기 위해 두 번의 신호 변화 필요
  - $\rightarrow$  더 큰 대역폭 필요
  - $\rightarrow$  오늘날 사용하지 않음



## ■ RZ 부호화 예



비트 0 :  비트 1 : 

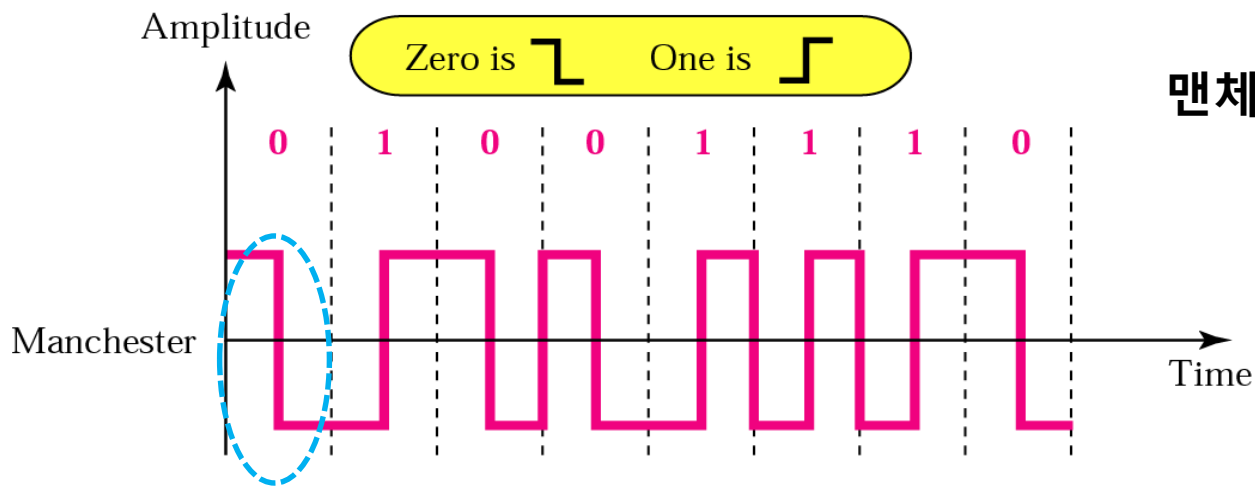


직류 성분 문제를 갖지 않음

- ✓ 직류성분 문제없음
- ✓ NRZ보다 요구대역폭 커짐
- ✓ 자기 동기화 됨

## 2)-③ 양위상(biphase) 부호화

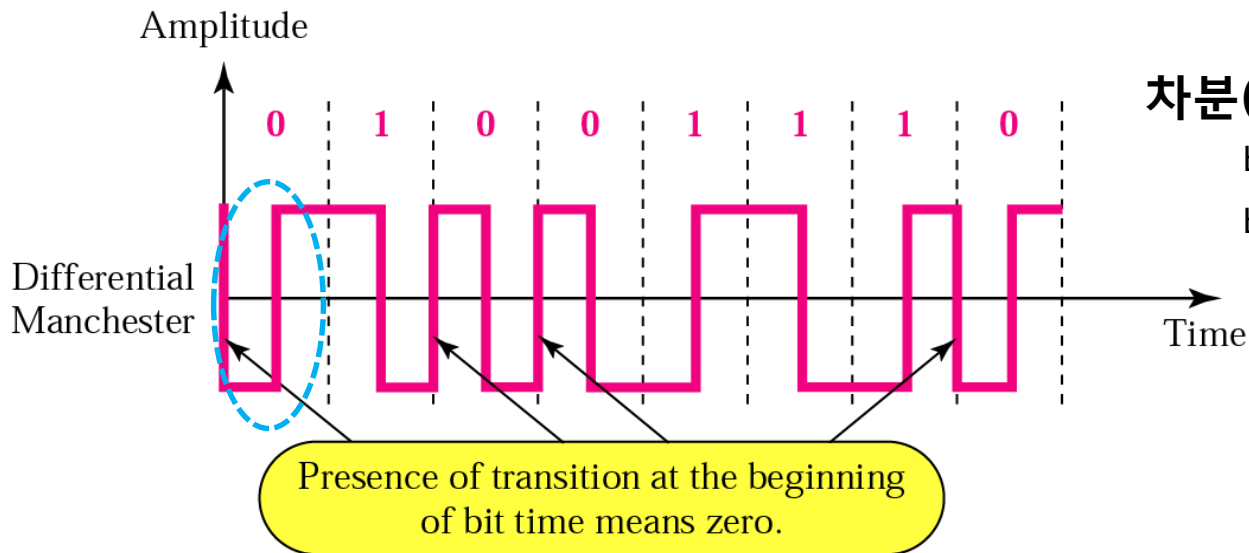
- 동기화 위해 비트 간격 중간에서 신호를 변화
  - ✓ NRZ의 일종
- 맨체스터(Manchester) 부호화
  - ✓ 비트 0 : +전압 → -전압
  - ✓ 비트 1 : -전압 → +전압
- 차분(Differential) 맨체스터 부호화
  - 비트 시작점에서의 **반전 여부**로 비트 식별
    - ✓ 비트 0 : 시작점에서 천이
    - ✓ 비트 1 : 시작점에서 천이 없음



## 맨체스터(Manchester)

비트 0 : +전압 → -전압

비트 1 : -전압 → +전압



## 차분(Differential) 맨체스터

비트 0 : 시작점에서 천이 있음

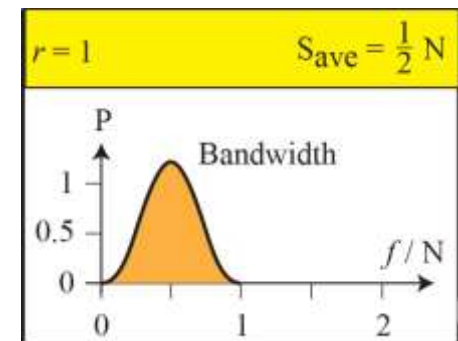
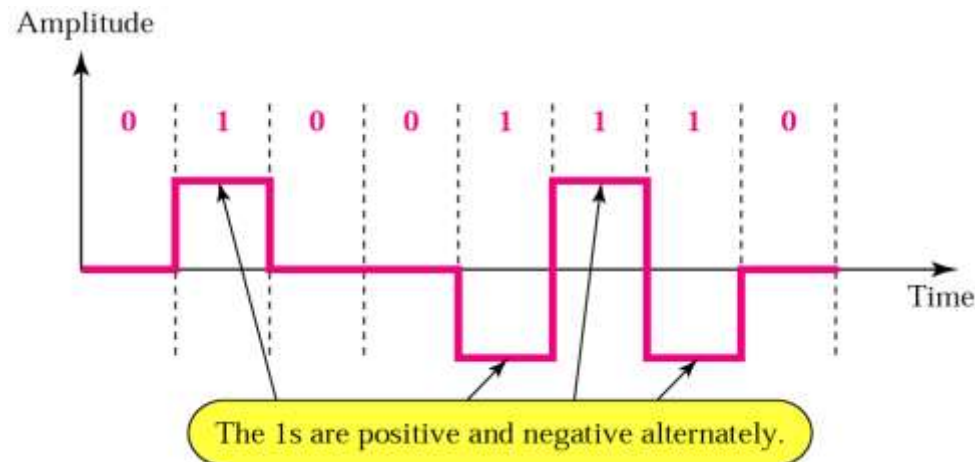
비트 1 : 시작점에서 천이 없음

- 둘 다 직류 성분 문제 없음
- 자기 동기화 됨

- 요구 대역폭 큼

### 3) Bipolar encoding(양극형 부호화)

- 세 준위(-, 0, +)를 이용
  - ✓ 비트 0 : 0 준위로 표현
  - ✓ 비트 1 : +전압 /-전압 교대
- Bipolar AMI (Alternate Mark Inversion AMI); 양극형 교대표시반전 부호화
  - ✓ 양극형 부호화의 가장 간단한 유형
    - 직류성분 없음 (→ 다음 슬라이드에서 설명)
    - 연속된 1의 비트열을 동기화 가능



## Q.> Bipolar 방식이 왜 직류성분이 없나?

- ✓ 연속된 1의 경우, 음과 양 교대로 반복하므로 직류성분 안 생김
- ✓ 연속된 0의 경우, 전압은 일정하지만 0근처이다. → 일정하게 0전압인 일련의 신호는 직류성분 갖지 않음

- 먼거리에는 bipolar encoding 사용함
- Bipolar는 NRZ를 대신하기 위해 개발됨
- NRZ vs. Bipolar

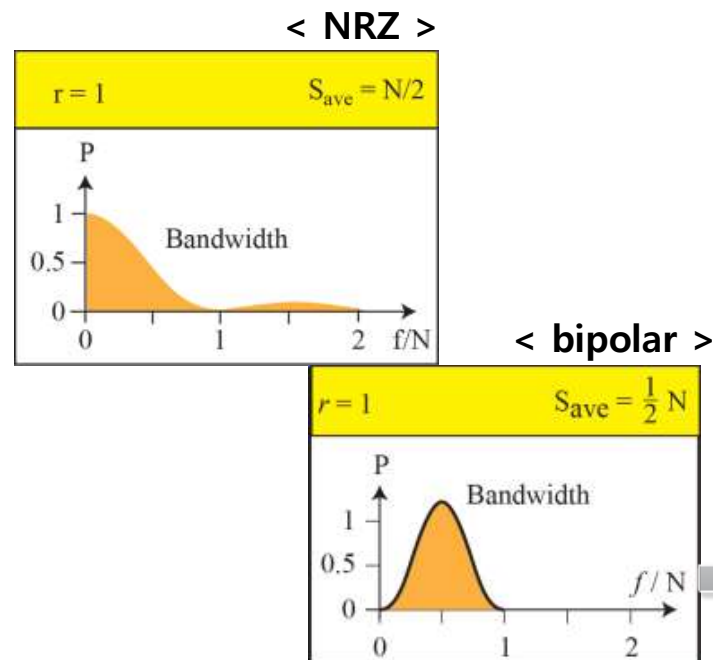
- 동일한 데이터 율

### ▪ NRZ

→ 주파수 0 주위에 집중 (주파수 0 근처의 전송이 적절하지 않는 채널에는 부적절함)

### ▪ Bipolar

→ 주파수가  $N/2$  부분에 집중됨



## 1-2. 블록 부호화 (Block coding)

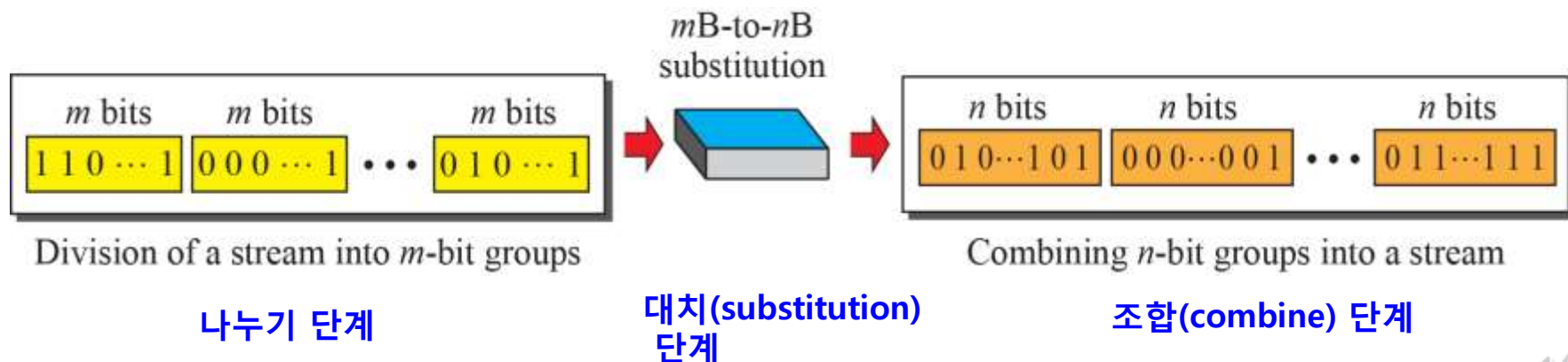
### ■ 회선 코딩의 효율을 증가시키기 위해

- ✓ 동기화 확보
- ✓ 오류 탐지

→ 여분의 비트가 필요함

### ■ $mB/nB$ 부호화

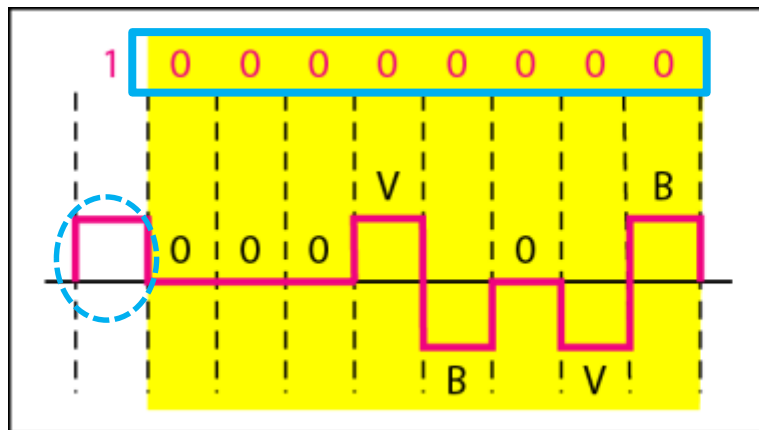
- ✓  $m$ 비트 블록을  $n$ 비트 블록으로 바꿈
- ✓  $m \leq n$



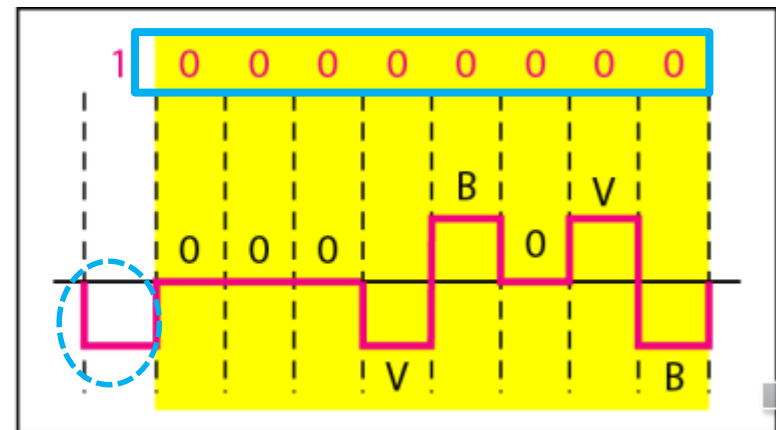
# 1-3. 뒤섞기(Scrambling)

- AMI (bipolar)에서 긴 연속된 0을 동기화하기 위한 방법
  - ✓ 블록 코딩과 달리 뒤섞기는 코딩과 동시에 이루어짐
- B8ZS (Bipolar with 8 Zero Substitution)
  - ✓ 8개의 연속된 0: 00000000 → 000VB0VB로 대체
  - ✓ 복미방식
  - ✓ 이전 극성이 + 혹은 -에 따라 결정

V (violation) : AMI규칙 위배하는 0 아닌 준위 → 즉, 0 아닌 바로 전의 극성과 같음  
B(bipolar) : AMI규칙 따르는 0 아닌 준위 → 즉, 0 아닌 바로 전의 극성의 반대



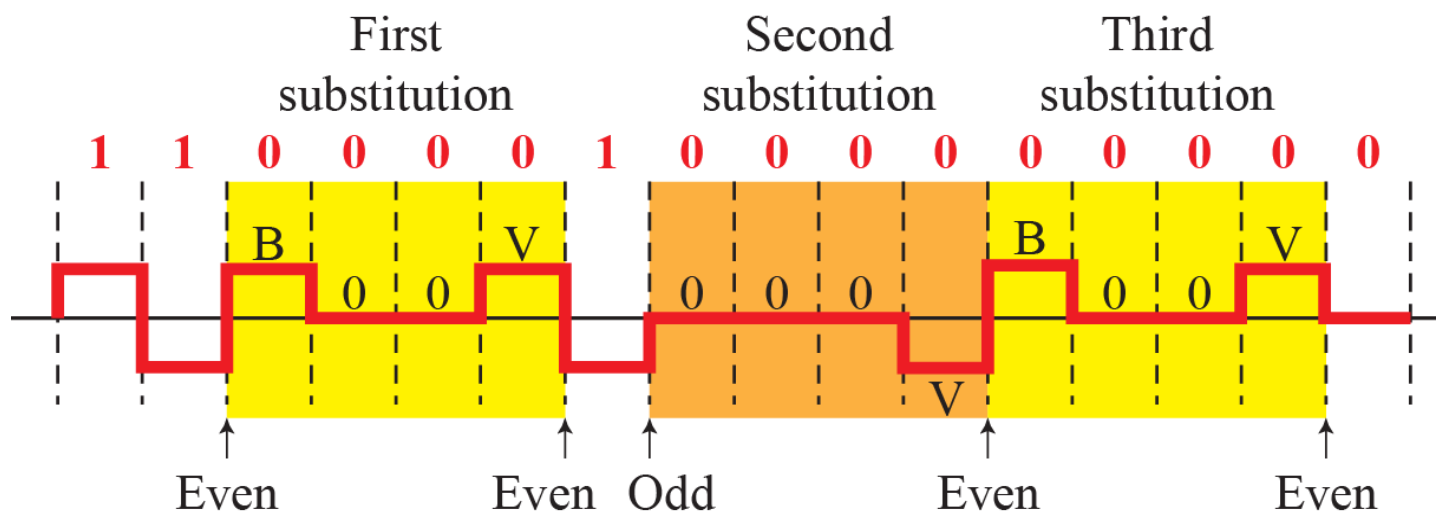
a. Previous level is positive.



b. Previous level is negative.

## ■ HDB3 (High-density Bipolar 3-Zero)

- ✓ 4개의 연속된 0: 0000 → 000V 나 B00V로 대체
  - 직전 대체 이후 0이 아닌 준위의 개수가 홀수인 경우 : 000V
  - 직전 대체 이후 0이 아닌 준위의 개수가 짝수인 경우 : B00V
- 대체 이후 0이 아닌 준위의 개수를 짝수로 유지하기 위함
- ✓ 북미 이외의 지역에서 사용







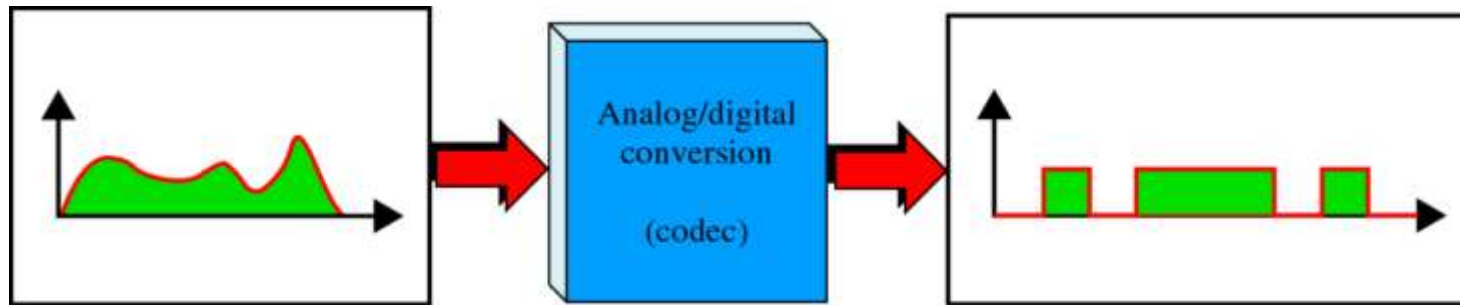
---

디지털 전송 :

**ANALOG-TO-DIGITAL ENCODING**

## § 2. Analog-to-Digital Encoding

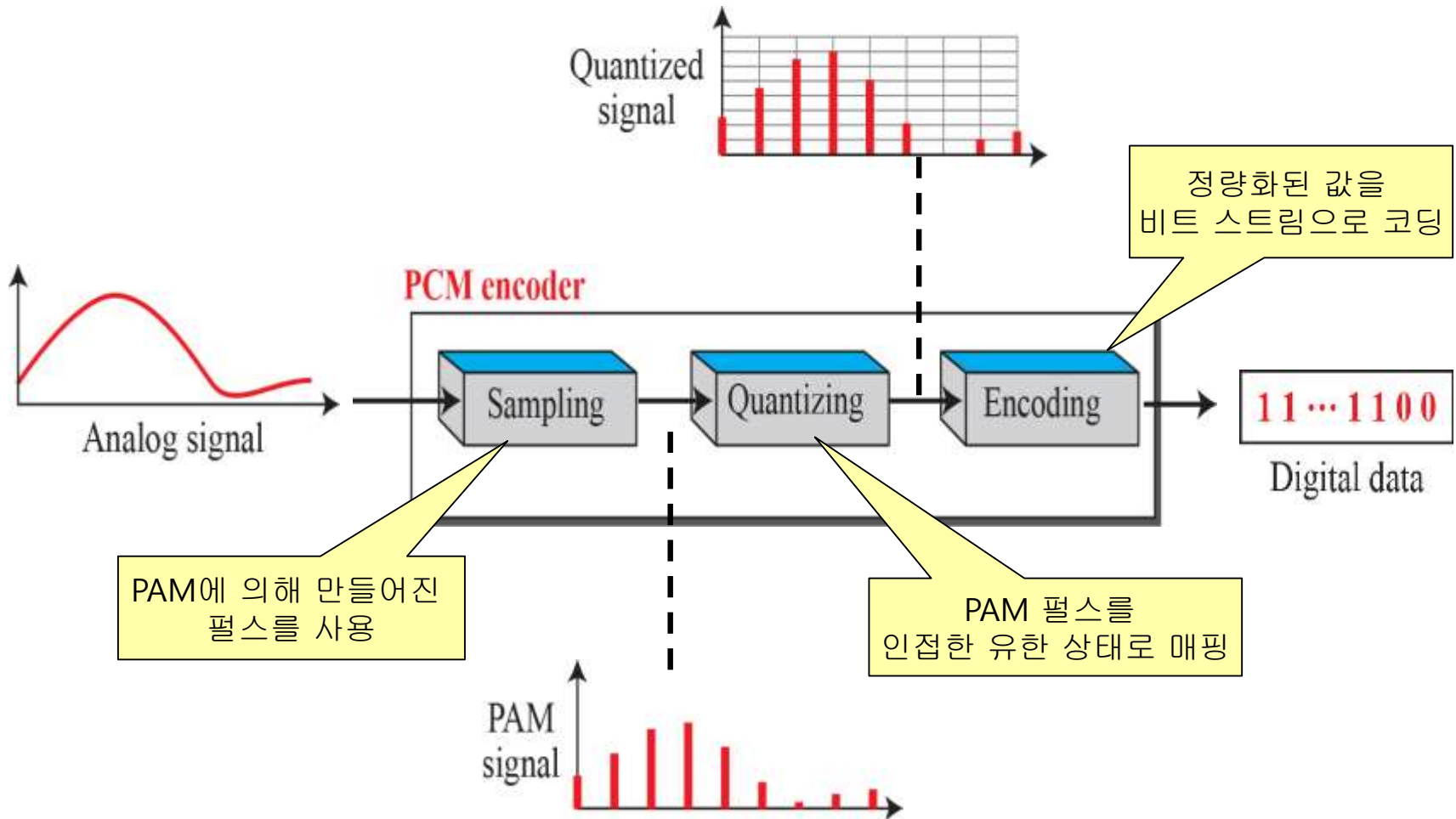
- 아날로그 정보를 디지털 신호로 변환하여 전송함
- "A/D Conversion"
- Codec을 이용: 송신(Encoding), 수신(Decoding)



# PCM(Pulse Code Modulation) 펄스코드변조

- 아날로그 정보를 디지털 신호로 바꾸기 위해 널리 사용되는 기법
- 송신측에서 아날로그 정보를 표본화하여, PAM신호로 만든 후, 양자화, 부호화 단계 거쳐 디지털형태(2진수)로 전송하는 방식
- Sampling → Quantizing → Binary coding → ...(직렬전송)  
(표본화, 채집화)      (양자화, 계수화)      (부호화)

'Encoding이라고도 함'

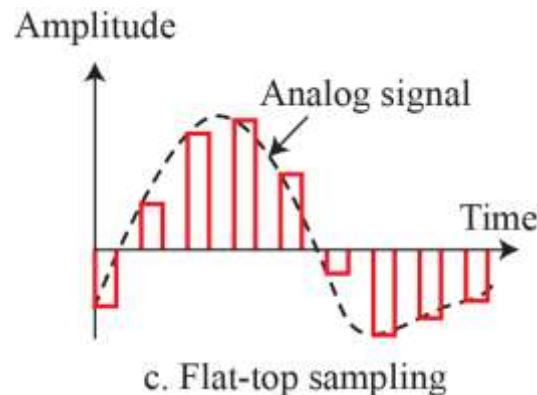
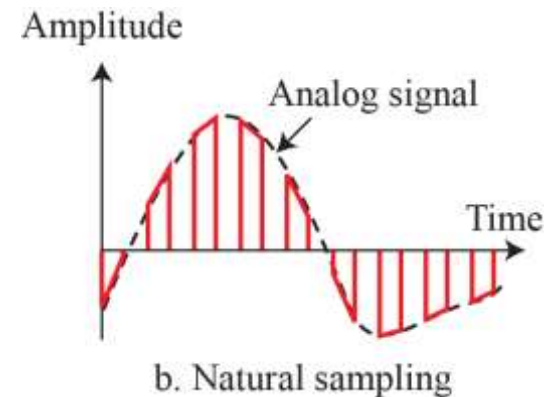
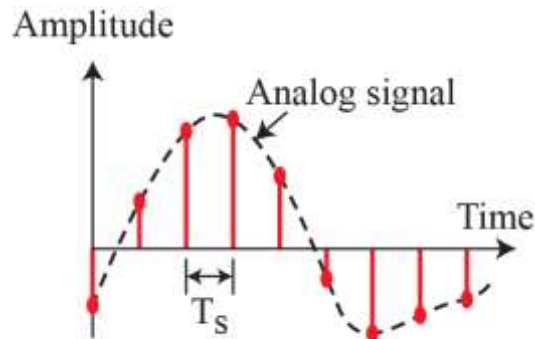


< PCM(Pulse Code Modulation) 펄스코드변조 >

# ① 채집화(표본화)

## ■ PCM의 첫 단계가 채집화

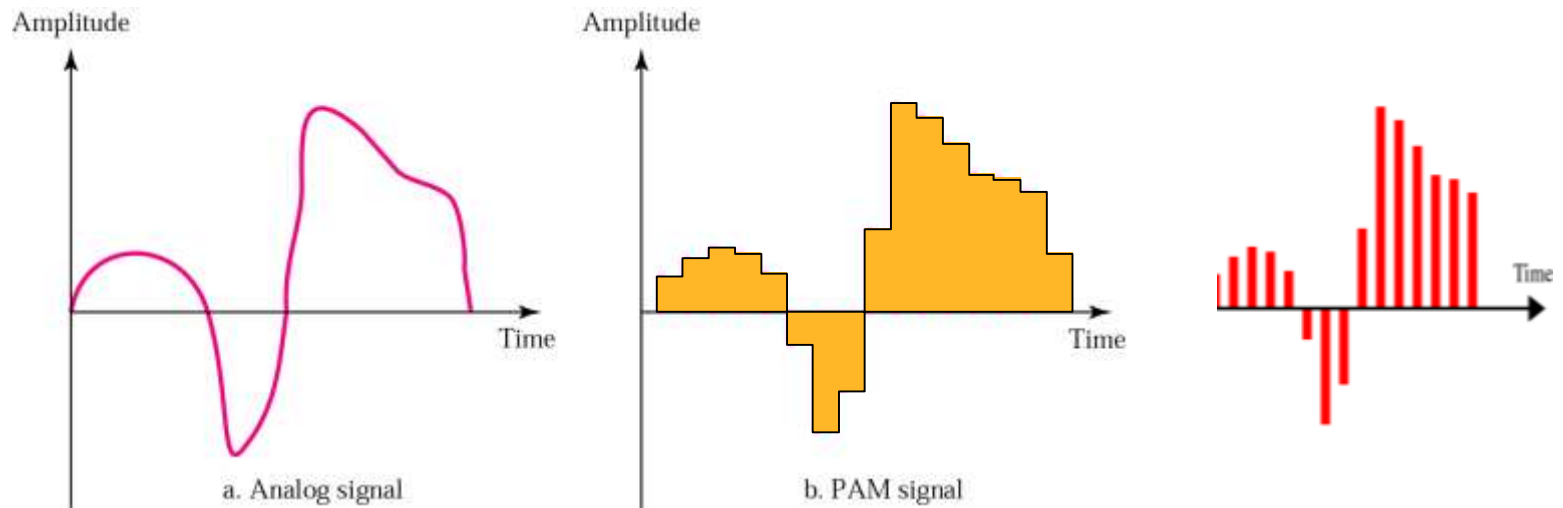
- ✓ 아날로그 신호를 매  $T_s$  초마다 채집
  - $T_s$  : 채집기간 또는 채집주기 ( $1/T_s$ 은 채집률)
- ✓ 3가지 서로 다른 채집 방법 [참고]



채집후 유지  
(sampling and hold)

## ■ 채집(표본화;Sampling)과 유지(Hold)

- ✓ 채집(표본화): 일정 간격마다 신호의 진폭을 측정  
(즉, 매 초마다... 등등)
- ✓ 아날로그 신호의 표본을 채집하고 그 결과에 근거하여 펄스를 제작



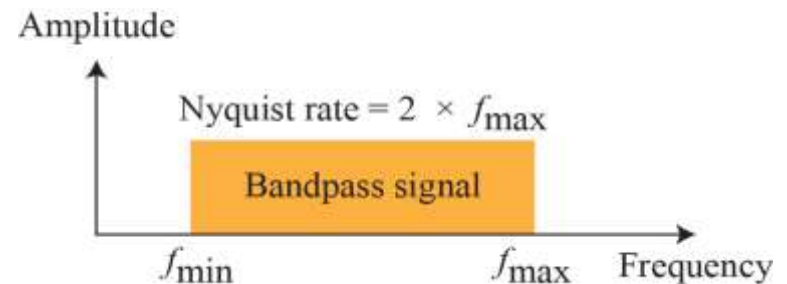
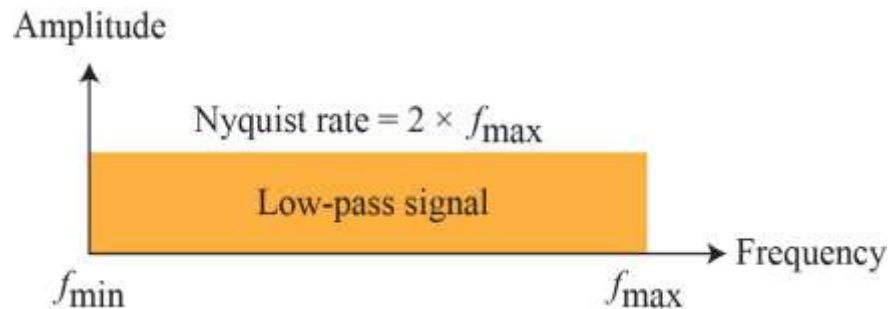
PAM(Pulse Amplitude Modulation) 펄스진폭변조

# 표본 채집률(Sampling Rate)

- 아날로그 신호의 디지털 재현의 정확도는 채집된 표본의 수에 따라 좌우됨

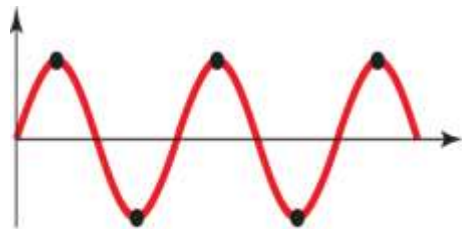
- 나이퀴스트 정리(Nyquist Theorem)

- ✓ 원래의 아날로그 신호를 재현하기 위한 표본채집률은 원래 신호에 포함된 **최고 주파수의 최소한 두 배**가 되어야 한다.
- ✓ 저대역 통과 신호와 띠대역 통과 신호의 나이퀴스트 채집율

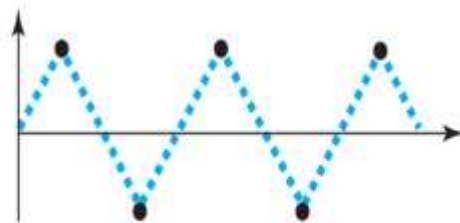


- 표본채집 전에 band-pass signal를 low-pass signal로 바꿀 수 있음. 이 때 표본채집률은 low-pass signal의 대역폭의 두 배가 되어야 함

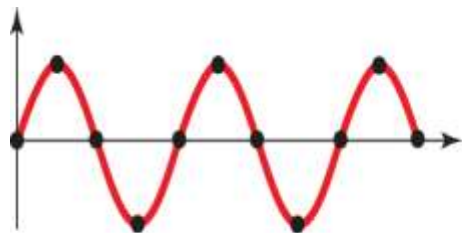
- 예제 : 나이퀴스트 정리를 직관적으로 이해하기 위해, 단순 정현파를 3가지 채집율  $f_s = 2f$  (나이퀴스율),  $f_s = 4f$  (나이퀴스트의 2배율), 그리고  $f_s = 3/2f$  로 채집해 보자.



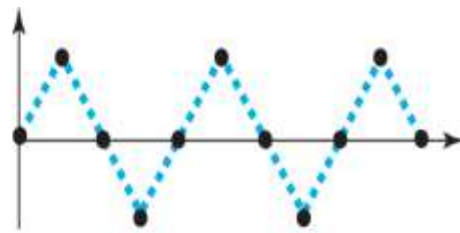
a. Nyquist rate sampling:  $f_s = 2f$



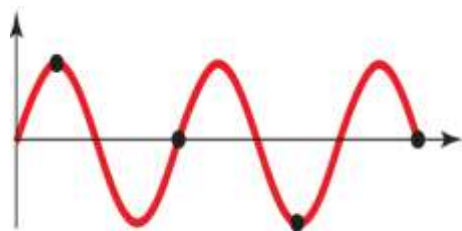
a) 원래의 정현파에 근사한 결과를 얻음



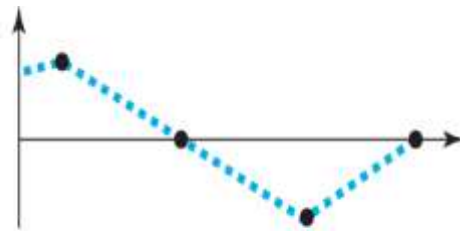
b. Oversampling:  $f_s = 4f$



b) 더 많이 채집을 해도 근사 결과를 얻지만 불필요함




c. Undersampling:  $f_s = f$

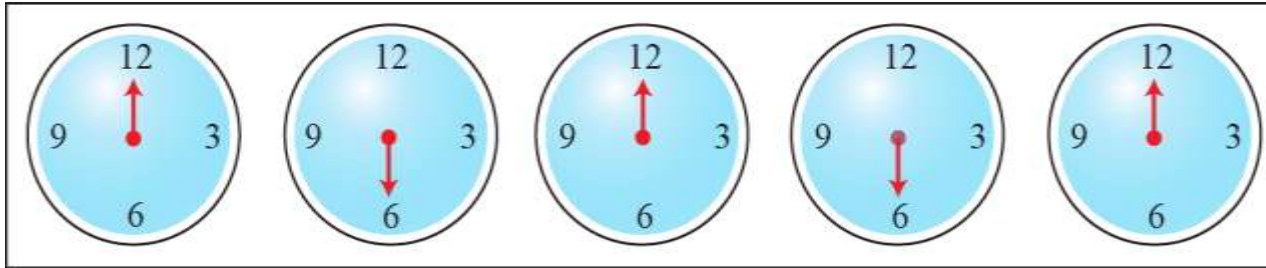


c) 낮은 채집율로는 원래의 신호를 바로 재생하지 못함



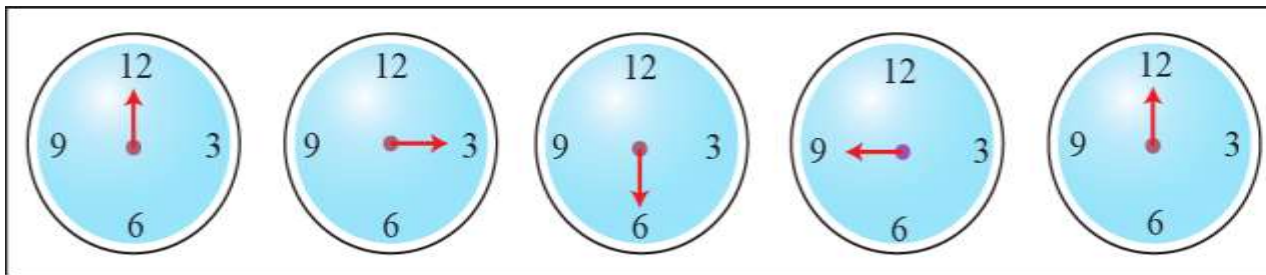
- 
- 
- **예제** : 시계 바늘을 생각해 보자. 시계의 분침은 60 초의 주기를 갖는다. 나이퀴스트 정리에 따르면, 매 30초마다 채집해야 한다.
  - ✓ 다음 페이지의 그림을 보자
  - ✓ 그림 a에서, 순서대로 채집된 값은 12, 6, 12, 6, 12, 6이다. → 이 값들을 수신한 쪽은 시계가 앞으로 가는지 뒤로 가는지 알 수 없다.
  - ✓ 그림 b에서, 나이퀴스트율보다 2배(매 15초)로 채집하였다. 채집된 값은 12, 3, 6, 9, 12이다. → 시계는 앞으로 가는것 안다
  - ✓ 그림 c에서, 나이퀴스트 율보다 낮게 채집하여 채집된 값은 12, 9, 6, 3, 12이다. → 시계가 앞으로 가고 있지만 수신자는 시계가 뒤로 가는 것으로 생각한다.

## 침이 하나만 있는 시계의 경우



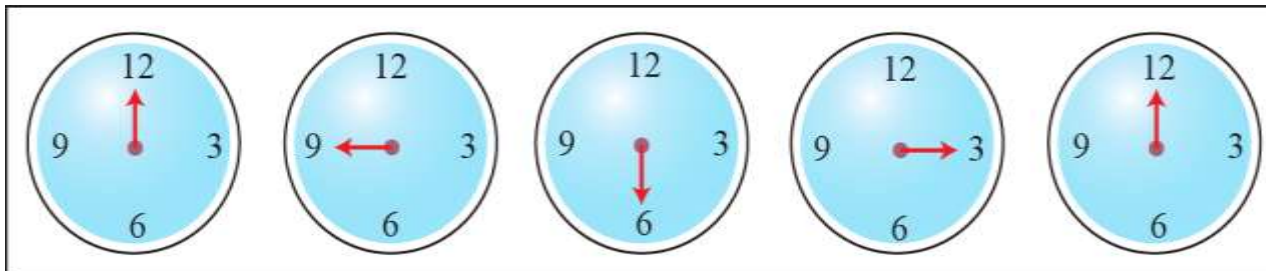
Samples can mean that the clock is moving either forward or backward.  
(12-6-12-6-12)

a. Sampling at Nyquist rate:  $T_s = T \frac{1}{2}$




Samples show clock is moving forward.  
(12-3-6-9-12)

b. Oversampling (above Nyquist rate):  $T_s = T \frac{1}{4}$



Samples show clock is moving backward.  
(12-9-6-3-12)

c. Undersampling (below Nyquist rate):  $T_s = T \frac{3}{4}$

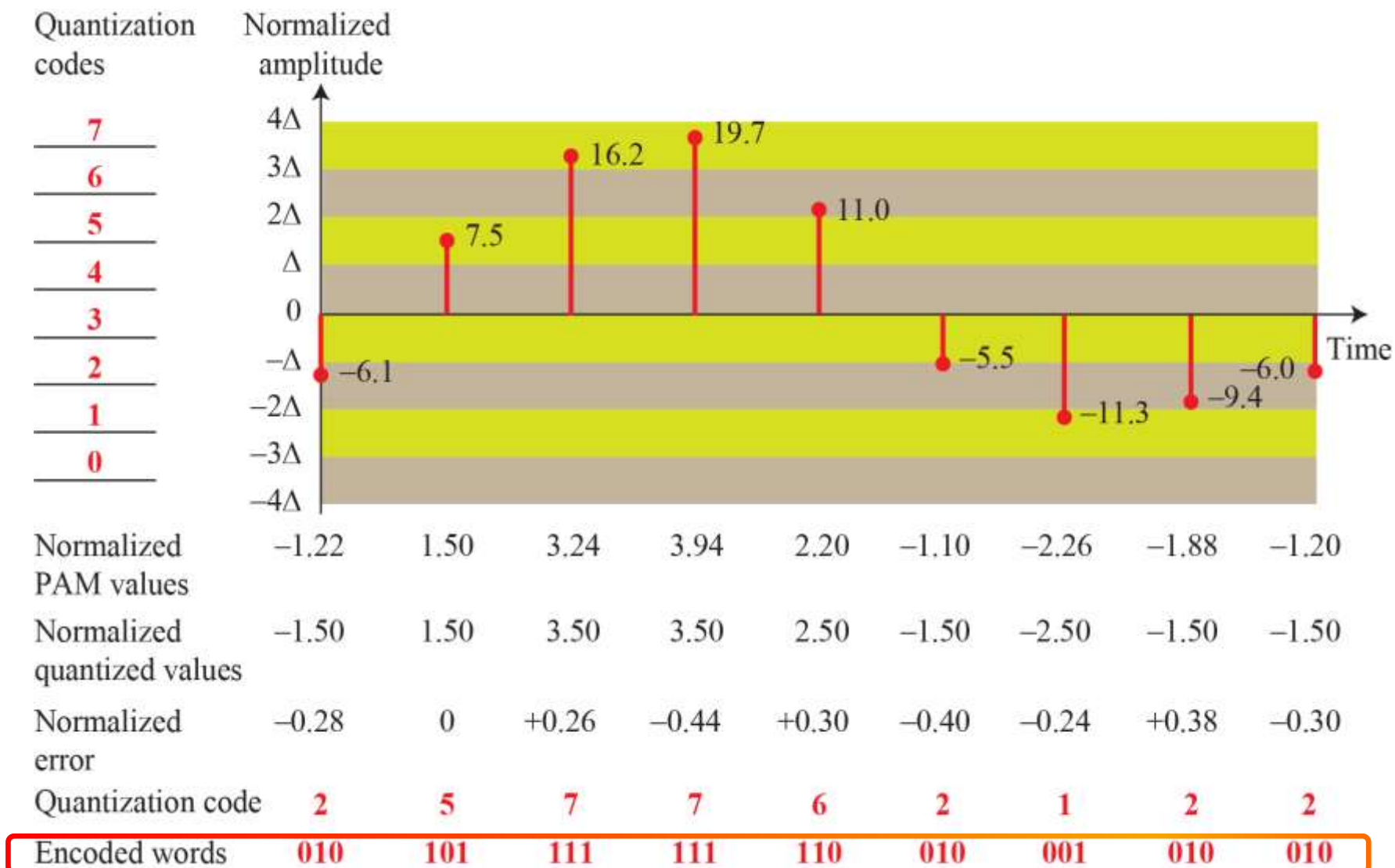
- 
- 
- 예제 : 복잡한 저-대역 통과 신호가 200 kHz의 대역폭을 갖는다. 이 신호의 최소 채집율은 얼마인가?

풀이 : 저-대역 통과 신호의 대역폭은 0과  $f$ 사이인데, 여기서  $f$ 는 신호에 있는 최대 주파수이다. 그러므로 이 신호를 가장 높은 주파수(200 kHz)의 두배로 채집할 수 있다. 그래서 채집율은 초당 400,000 번이 된다.

- 예제 : 복잡한 띠대역 통과 신호의 대역폭이 200 kHz이다. 이 신호의 최소 채집율은 얼마인가?

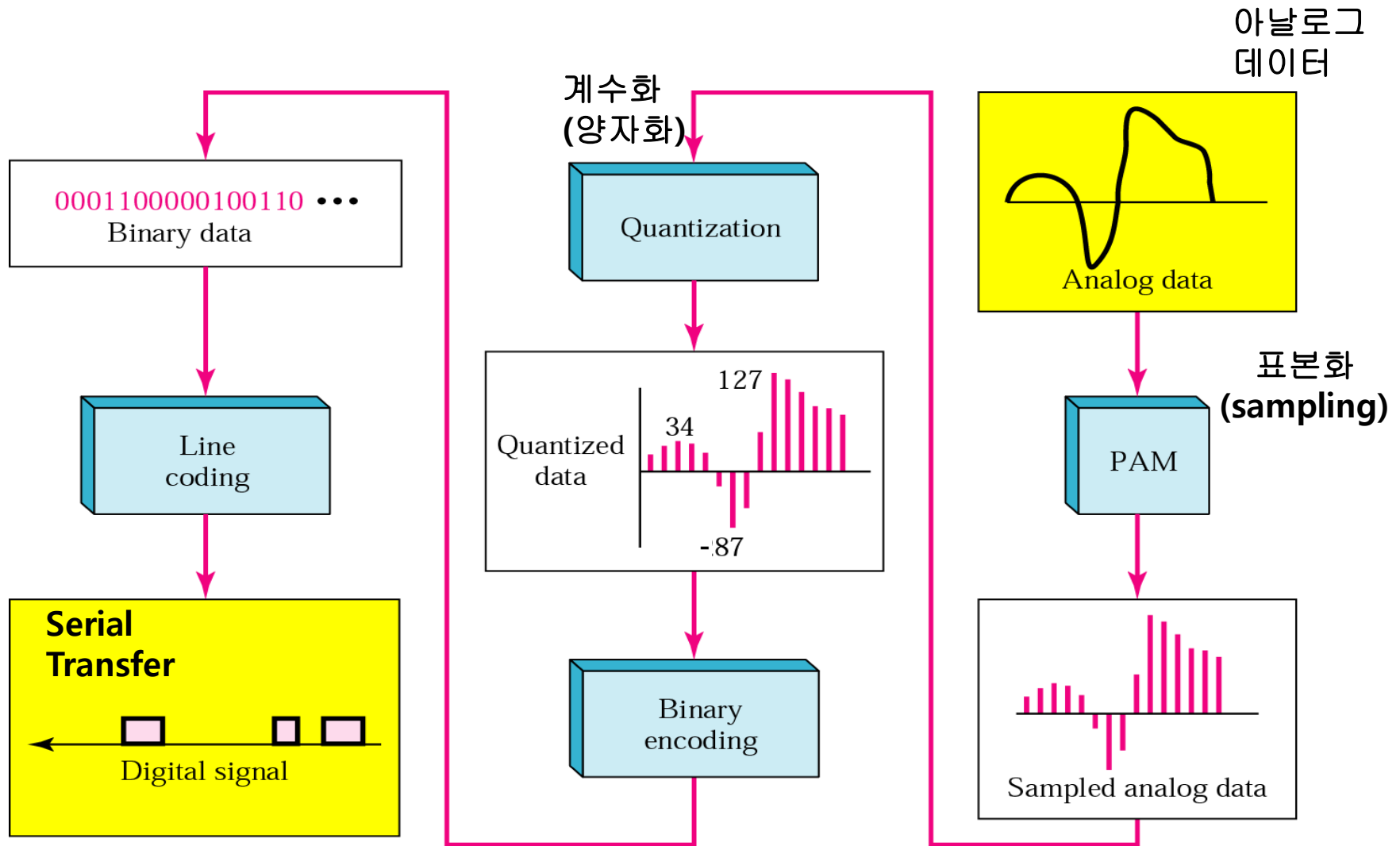
풀이 : 이 경우에는 대역폭이 어디서 시작하고 어디서 끝나는지 알 수 없어서 최소 채집율을 알 수 없다. 신호의 최대 주파수를 알 수 없다.

## ② 계수화(Quantizing) & ③ 부호화(Encoding)



부호화(Encoding) ←

# PCM(Pulse Code Modulation) 과정 요약



# 비트율(Bit Rate)

- 각 표본을 표현하는데 필요한 비트의 수
  - ✓ 필요로 하는 정밀도의 레벨에 의해 결정

- 비트율 = 표본채집률 x 표본당 비트수

예제) 사람의 목소리를 디지털화 하고자 할 때, 표본당 8비트라고 가정하면 비트율은 얼마인가? (사람목소리 주파수 0~4000Hz)

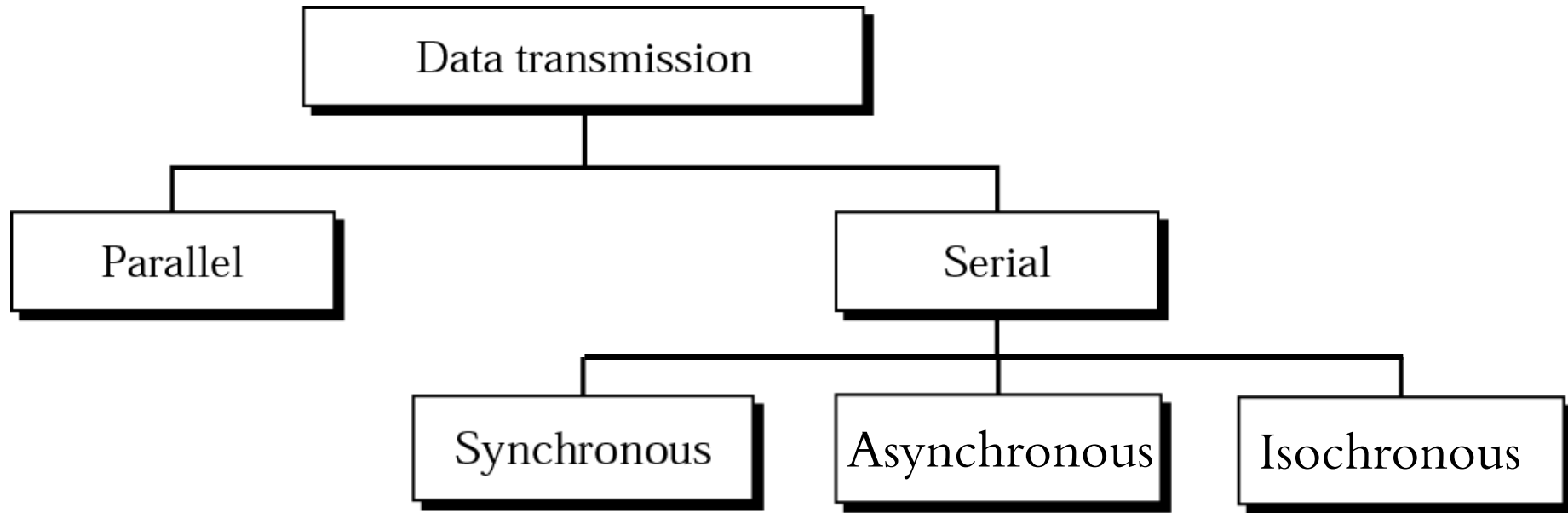
풀이:

$$\begin{aligned}\text{표본채집율} &= 4,000 \times 2 \\ &= 8,000 \text{ samples/second}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{비트율} &= \text{표본채집율} \times \text{표본당 비트수} \\ &= 8,000 \times 8 \\ &= 64,000 \text{ bits/s} = 64\text{Kbps}\end{aligned}$$

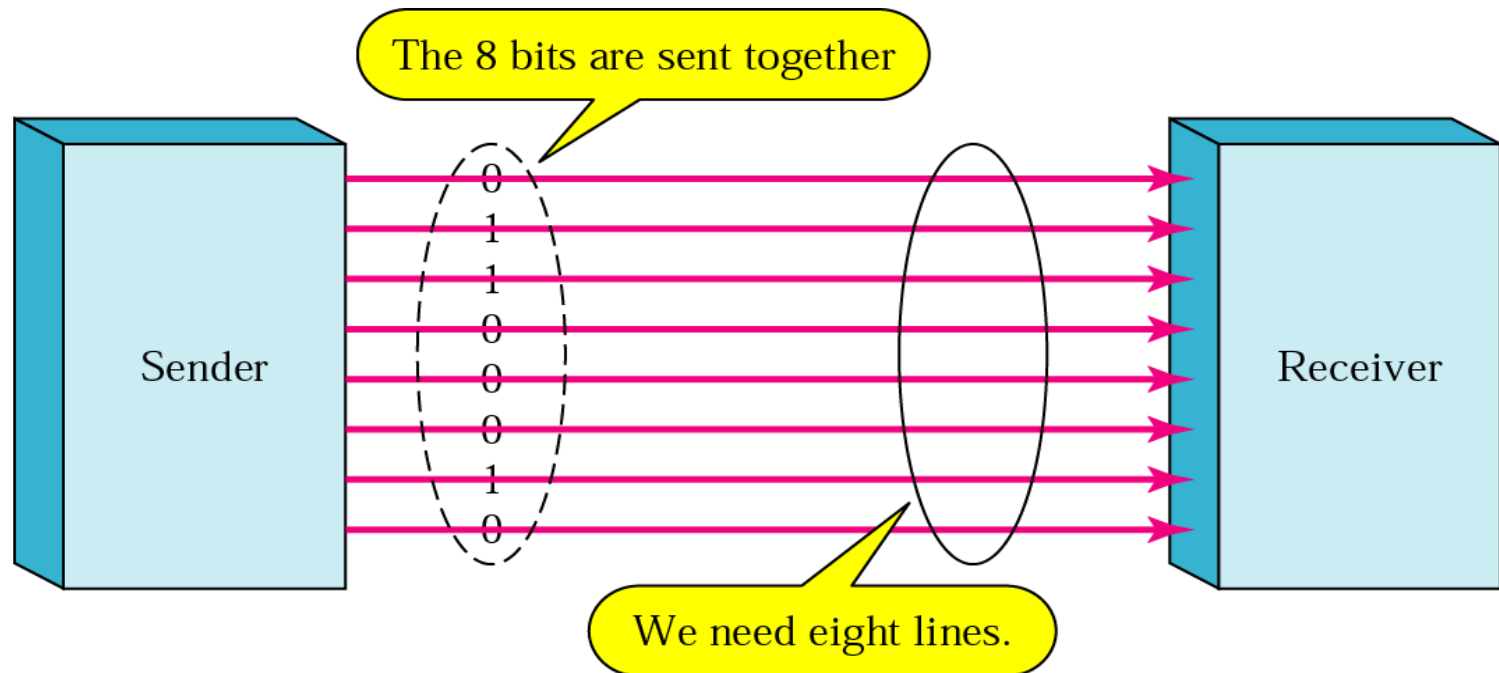
## § 3. 전송방식

---



# 병렬 전송(Parallel Transmission)

- 한 비트가 아닌 그룹으로  $n$ 비트 데이터 전송
  - ✓ 정보를 구성하는 각 비트들이 여러 개의 전송매체를 통하여 동시에 전송되는 형태 ( $n$ 개의 통신 채널 필요)
  - ✓ 여러 개의 전송매체를 사용하므로 전송속도는 빠르지만, 구성비용이 큼(고가)

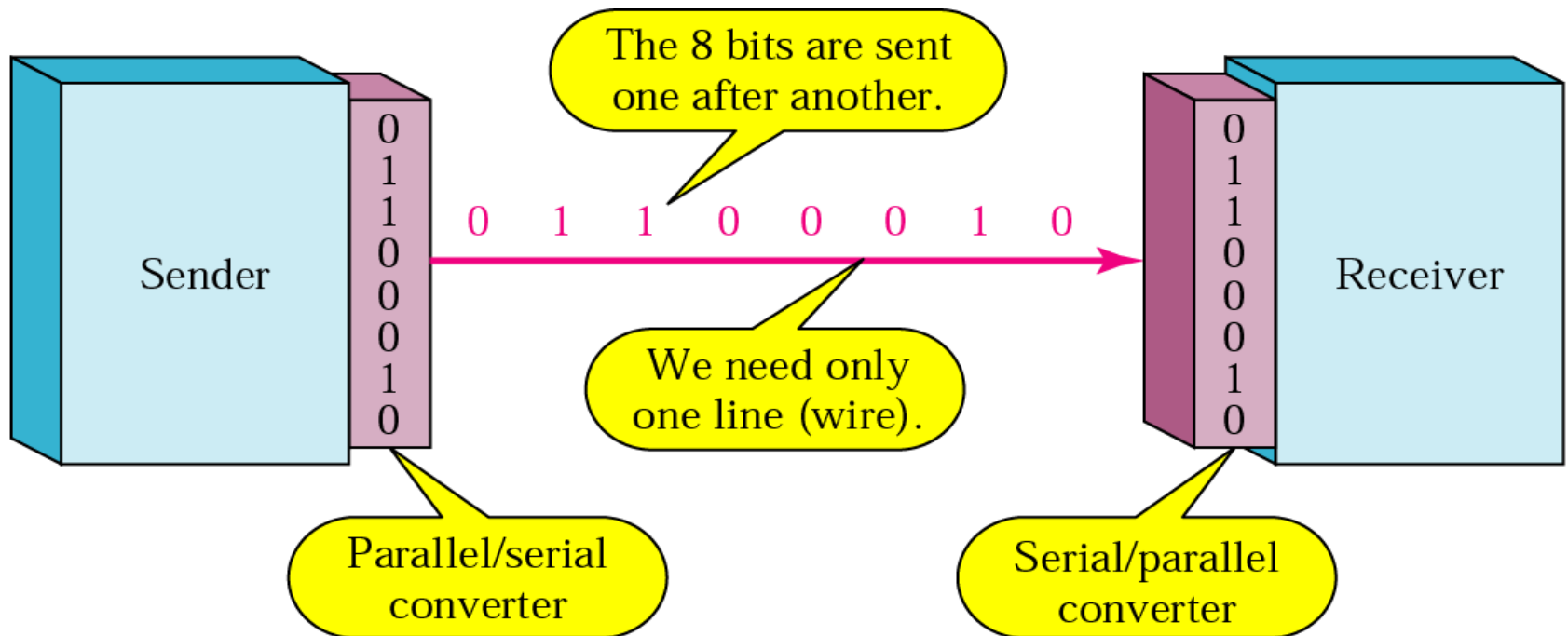




# 직렬 전송(Serial Transmission)

## ■ 하나의 채널에 한 비트씩 전송

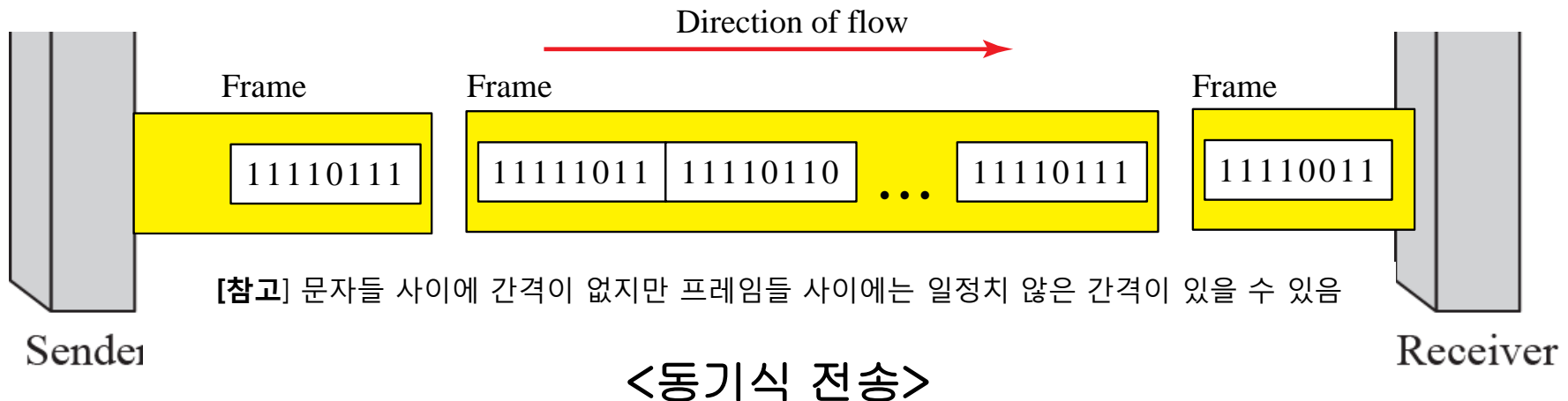
- ✓ 정보를 구성하는 각 비트들이 하나의 전송 매체를 통해 한 비트씩 순서적으로 전송되는 형태
- ✓ 하나의 전송매체만 사용하므로 전송속도가 느리지만, 구성 비용이 적음(단일 채널, 저가)
- ✓ 원거리 전송에 적합, 대부분의 데이터 통신에 사용



# ① 동기식 전송 (Synchronous transmission)

## ■ 시작/종료 비트 또는 gap없이 전송

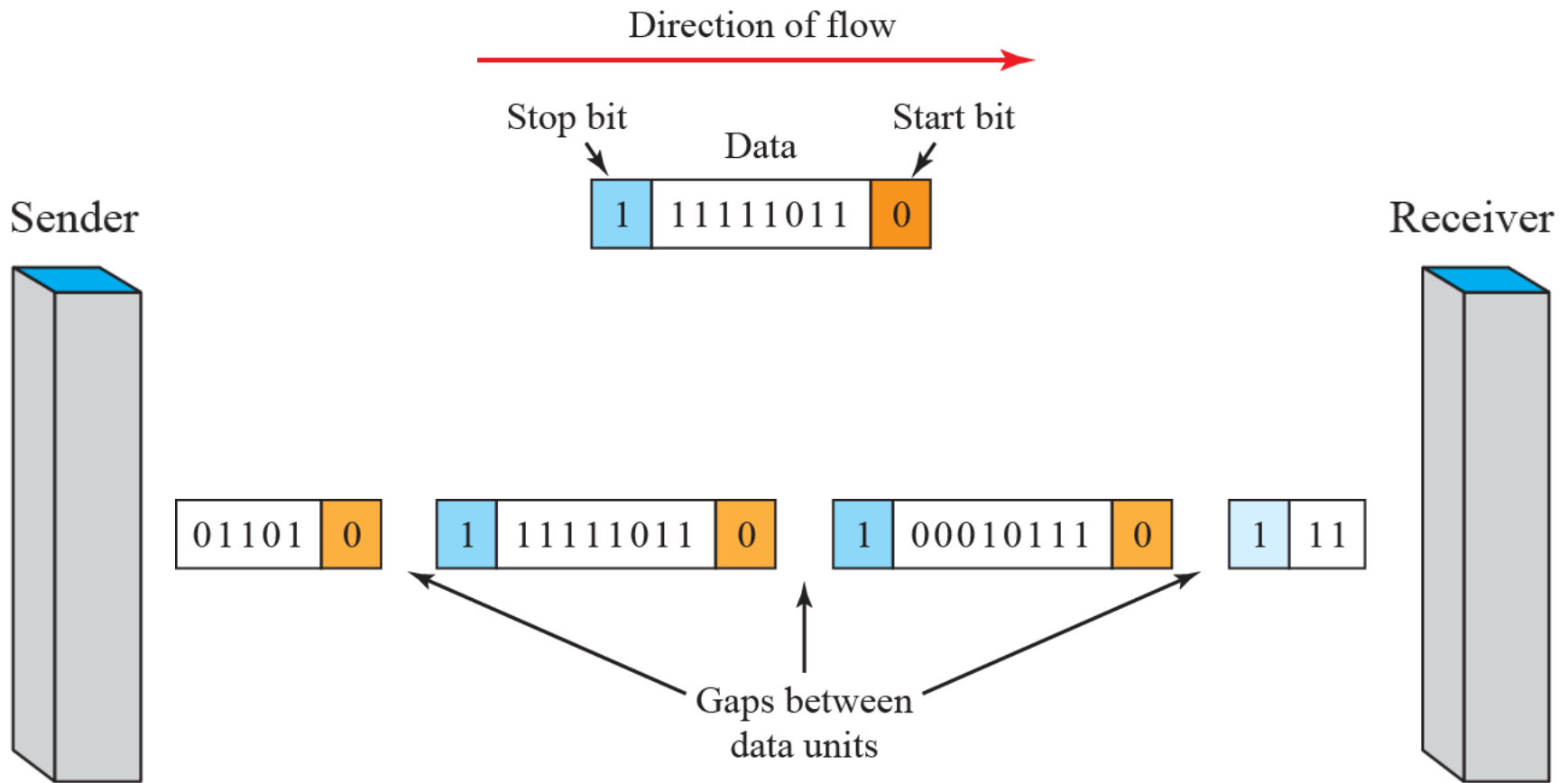
- ✓ 미리 정해진 수만큼의 문자열을 한 블록(프레임)으로 만들어 일시에 전송하는 방식
- ✓ 송·수신 양쪽의 동기를 유지하기 위해 타이밍 신호(클럭)를 계속적으로 공급하거나 동기 문자를 전송해야 함
- ✓ 프레임단위로 전송하므로 **전송속도가 빠름**
- ✓ 주로 원거리 전송에 사용



## ② 비동기식 전송(Asynchronous transmission)

- 신호의 타이밍을 고려하지 않고 합의된 패턴으로 정보를 송수신
  - ✓ 각 바이트의 시작에는 start bit(0) 와 끝부분에 stop bit(1)를 붙여서 Byte와 Byte를 구별하여 전송하는 방식
  - ✓ 오류검출을 위한 패리티 비트(parity bit)를 추가하기도 함
  - ✓ 문자와 문자사이의 휴지시간(idle time)이 불규칙
  - ✓ 한꺼번에 많은 데이터 보내면 Framing Error 가능성 높아짐
  - ✓ 값싸고 효율적이므로 약2Kbps이하 저속, 단거리통신에 유용  
예: 컴퓨터와 터미널 연결

[NOTE] 비동기식이란 ' 바이트 ' 수준에서의 비동기를 의미함. 비트들은 여전히 동기화되고 비트들의 지속시간은 동일하다.



<비동기식 전송>