


Chapter 3

물리층(physical layer)

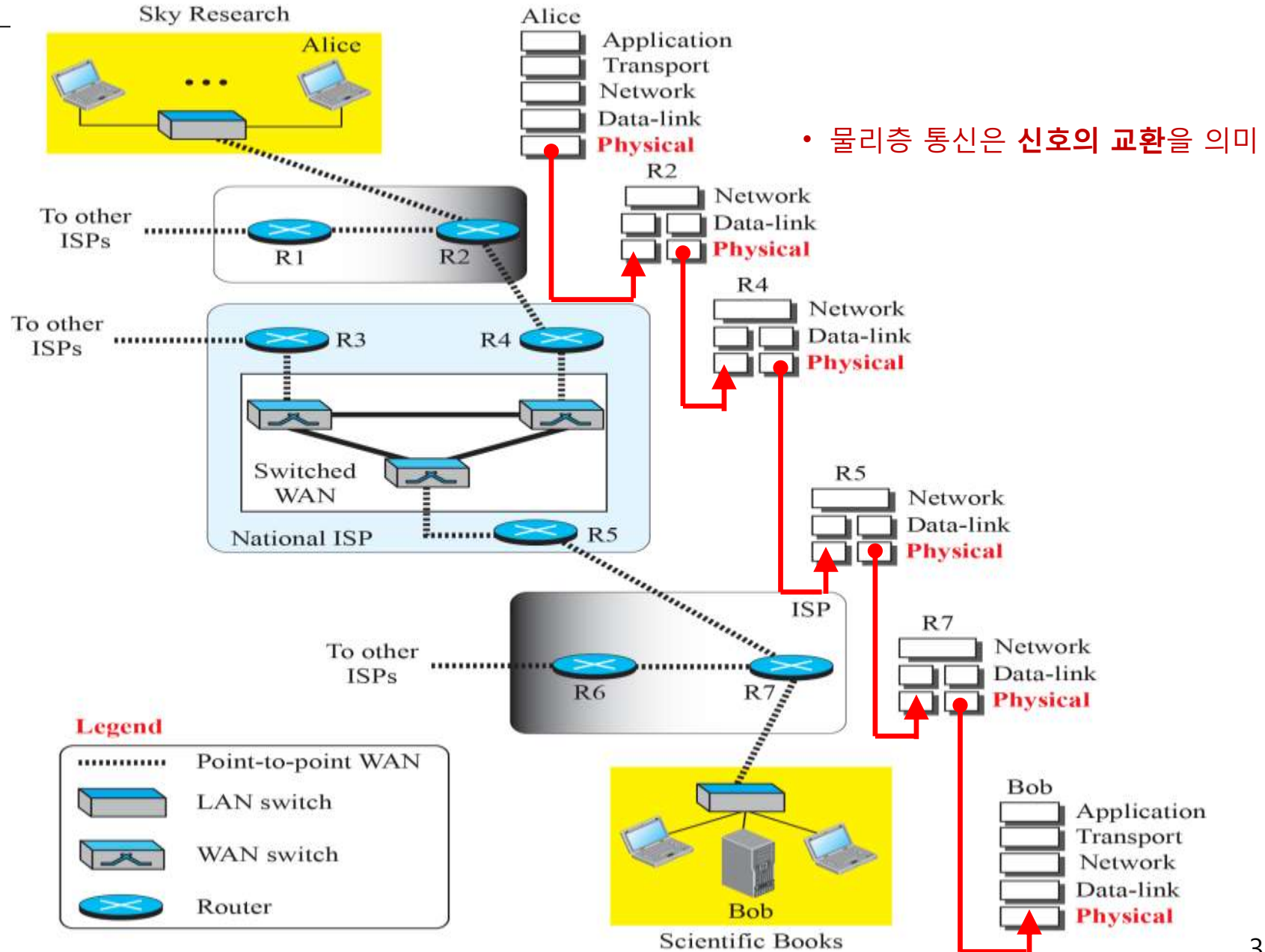
개요

The slide features two horizontal decorative bars at the bottom. The top bar is a solid dark green, and the bottom bar is a solid light green, both spanning the width of the slide.

물리층의 주요 기능

- 물리적 매체를 통해 비트 스트림을 전기 혹은 광학 신호로 전달하는 책임을 가짐
 - ✓ 물리적인 장치와 인터페이스가 전송을 위해 필요한 기능과 처리 절차를 규정

물리층에서의 통신 사례



신호(SIGNAL)

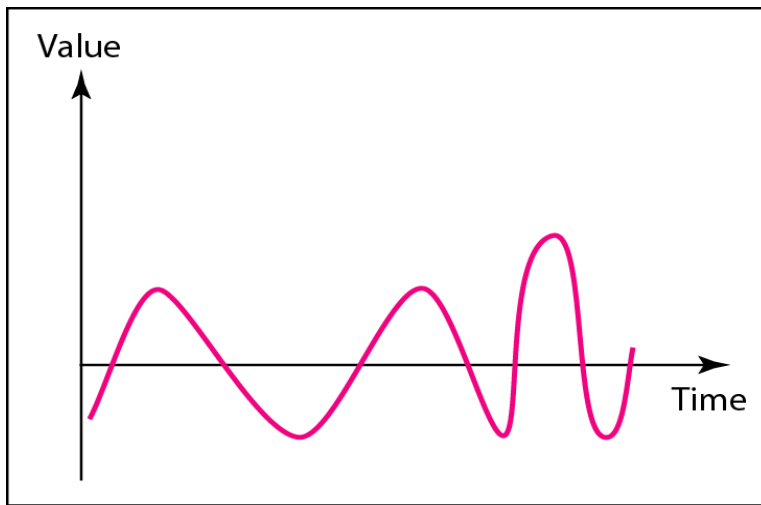
- 정보(데이터)가 전송되기 위해서는 전송매체를 통해 전달하기 적합한 형태의 전자기 신호로 변환되어야 함
 - ✓ 송신측
 - 데이터를 신호로 부호화
 - ✓ 수신측
 - 신호를 데이터로 복호화

§ 1. 아날로그(Analog)와 디지털(Digital)

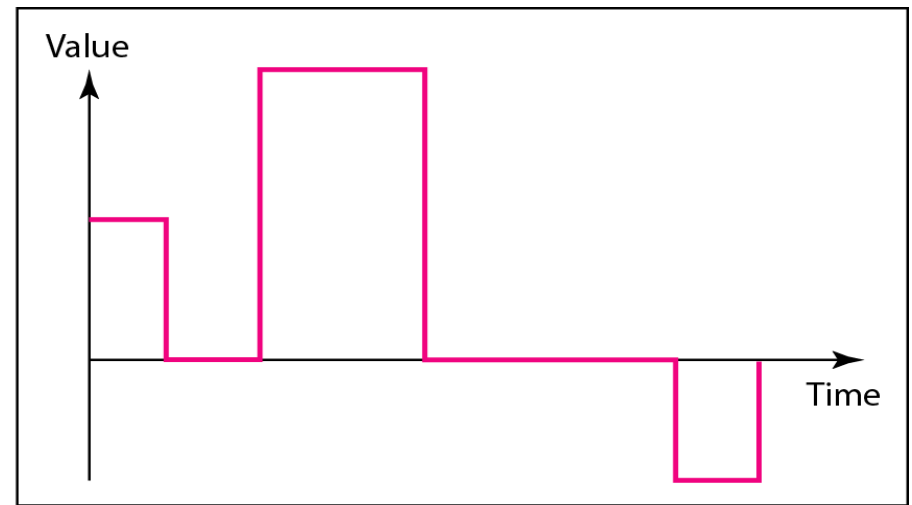
■ 데이터와 신호가 가질 수 있는 형태

- ✓ 아날로그 데이터와 디지털 데이터
- ✓ 아날로그 신호와 디지털 신호

■ 아날로그 정보는 연속적이고, 디지털 정보는 이산적이다



Analog signal



Digital signal

주기 신호(Periodic Signal)

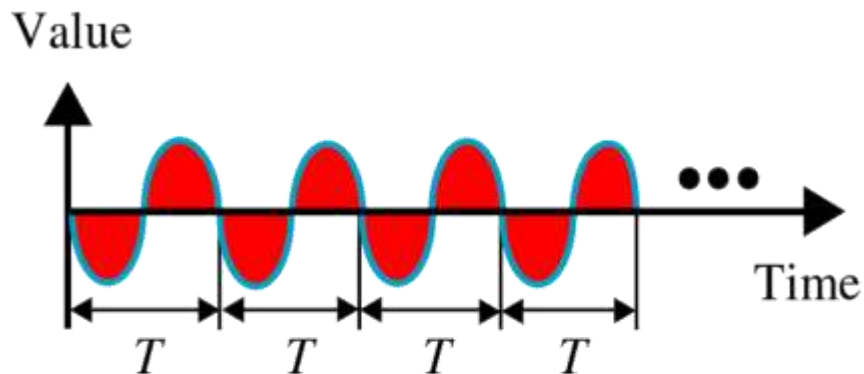
■ 정의 : ‘주기신호’

- ✓ 주기(period)라고 불리는 측정 가능한 시간 내에 특정 패턴(cycle)을 갖추며, 그 다음 주기에 동일한 패턴이 반복되는 경우

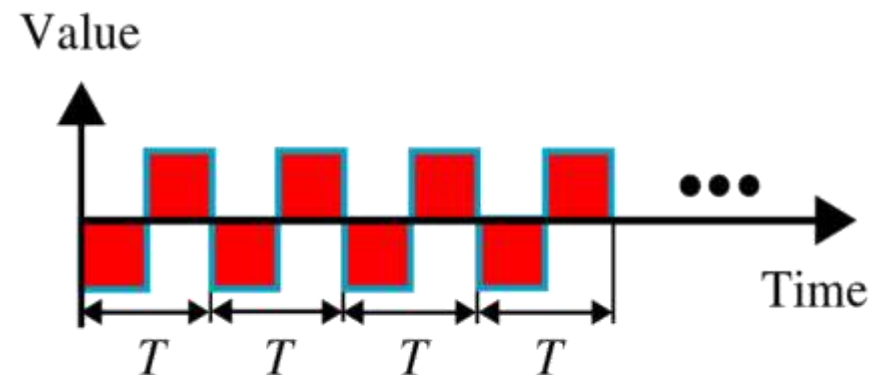
■ 주기(T)

- ✓ 한 사이클을 마치는데 요구되는 시간 (초 단위로 표현)

■ 주기 신호는 연속적인 반복 패턴(cycle)으로 구성



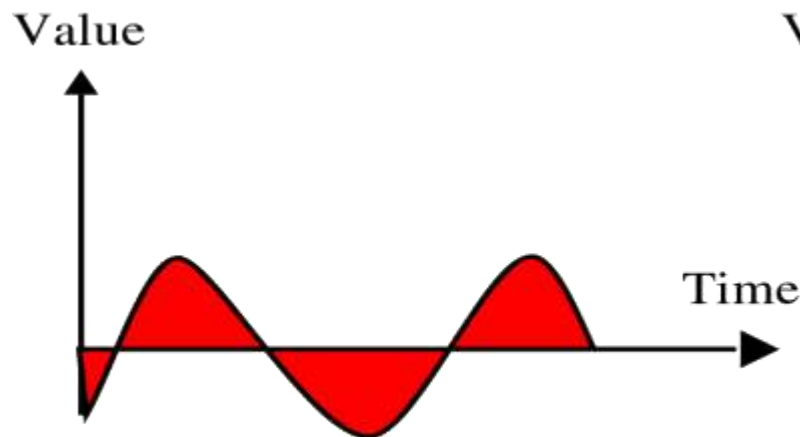
a. Analog



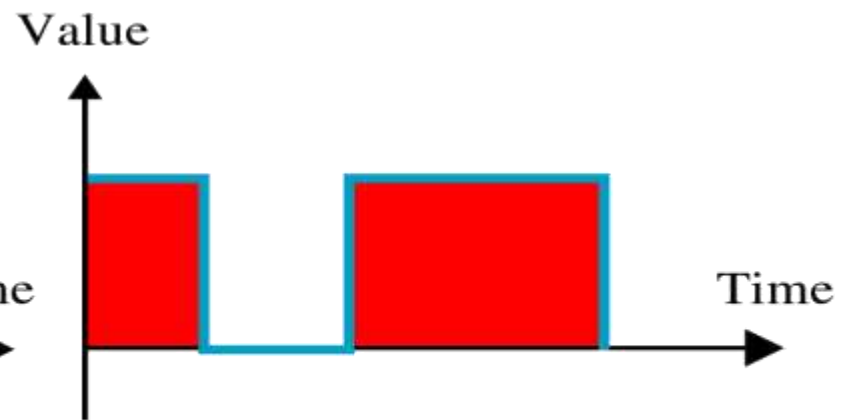
b. Digital

비주기 신호(Aperiodic/Nonperiodic Signal)

- 시간이 지나는 동안 반복되는 사이클이나 패턴 없이 항상 변화하는 신호
- 푸리에 변환(Fourier Transform)
 - ✓ 어떤 비주기 신호도 무한개의 주기신호로 나뉠수 있음을 증명
 - ➔ 주기 신호의 특징을 이해하면 비주기 신호에 대해서도 이해할 수 있다



a. Analog signal



b. Digital signal

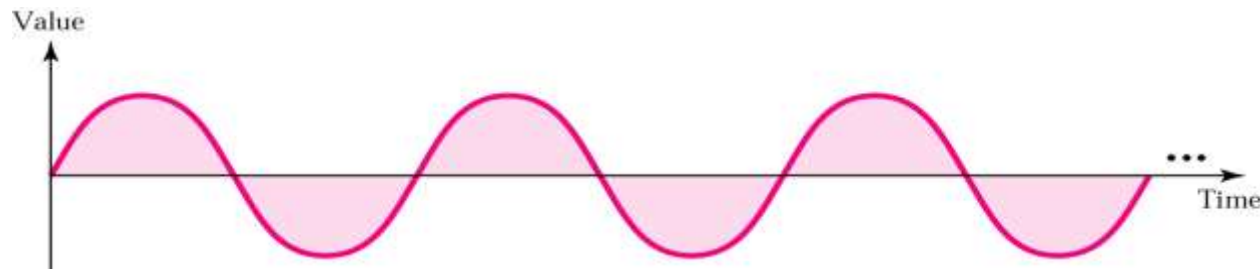
데이터 통신에서의 신호

- 보통 데이터 통신에서는,
 - ✓ 주기 아날로그 신호 혹은,
 - ✓ 비주기 디지털 신호를 사용

§ 2. 아날로그 신호(Analog Signal)

■ 단순 신호

- ✓ 더 이상 단순한 신호로 나눌 수 없음
- ✓ 진폭, 주기/주파수, 위상 3가지 특성으로 표현되는 정현파 (Sine wave)
- ✓ 정현파 : $s(t) = A \sin(2\pi ft + \varphi)$

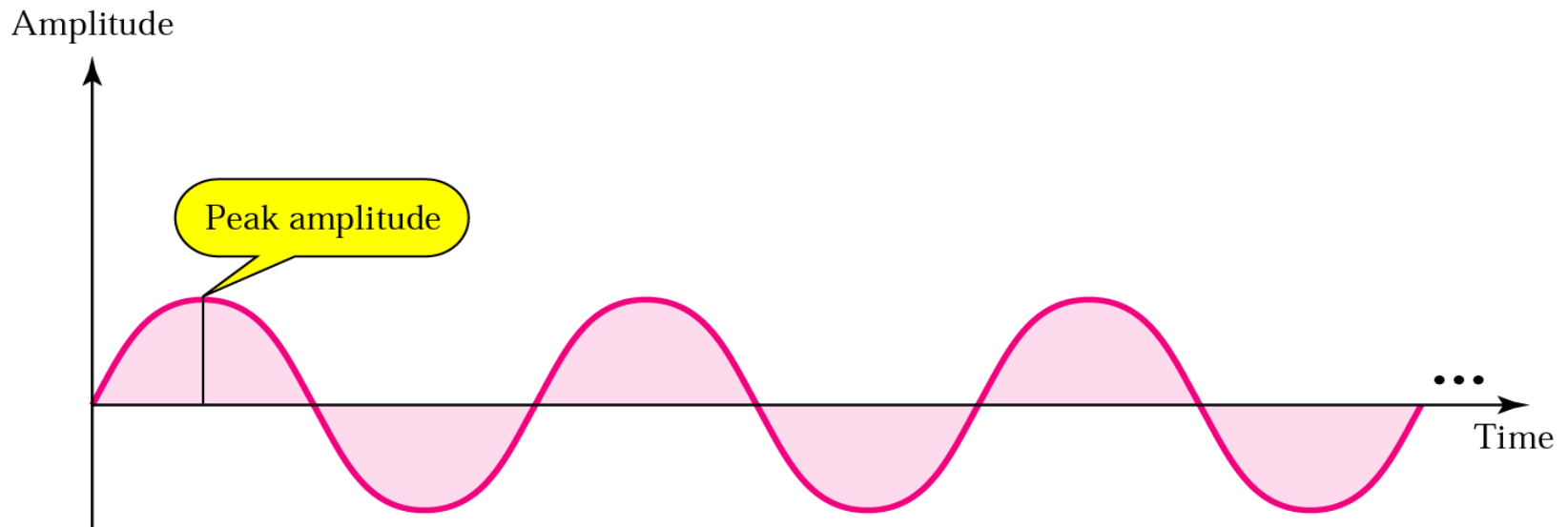


■ 복합 신호(Composite Signal)

- ✓ 여러 개의 정현파로 나눌 수 있음

최대 진폭(Amplitude)

- 전송하는 신호의 에너지에 비례하는 가장 큰 세기의 절대값
 - ✓ 전기 신호의 경우 최대 진폭은 전압(V)으로 측정



참고: 실효값(RMS, Root Mean Square)

■ DC 전원과 비교해 일량이 같은 전압/전류값

✓ 전압/전류가 일정한 DC(직류) 전원과 달리 AC(교류) 전원은 시간에 따라 극성과 크기가 변하기에

✓ 정현파의 경우 실효값 계산방법

■ 실효값(rms) = 최대치 / $\sqrt{2}$ * rms(root mean square)

예) 미국 가정용 전기의 경우 전압이 110~120V rms이다.

피크전압은?

$110 * 1.4142 = \text{약 } 155$, $120 * 1.4142 = \text{약 } 170$

■ 최대전압은 155~170v

예) AA건전지의 최대전압은 1.5v이다. Rms 값은?

$1.5\text{v} / 1.4142$

주기(Period)와 주파수(Frequency)

■ 주기 (T)

✓ 신호가 한 사이클을 완성하는데 필요한 시간 (초)

■ 주파수 (f)

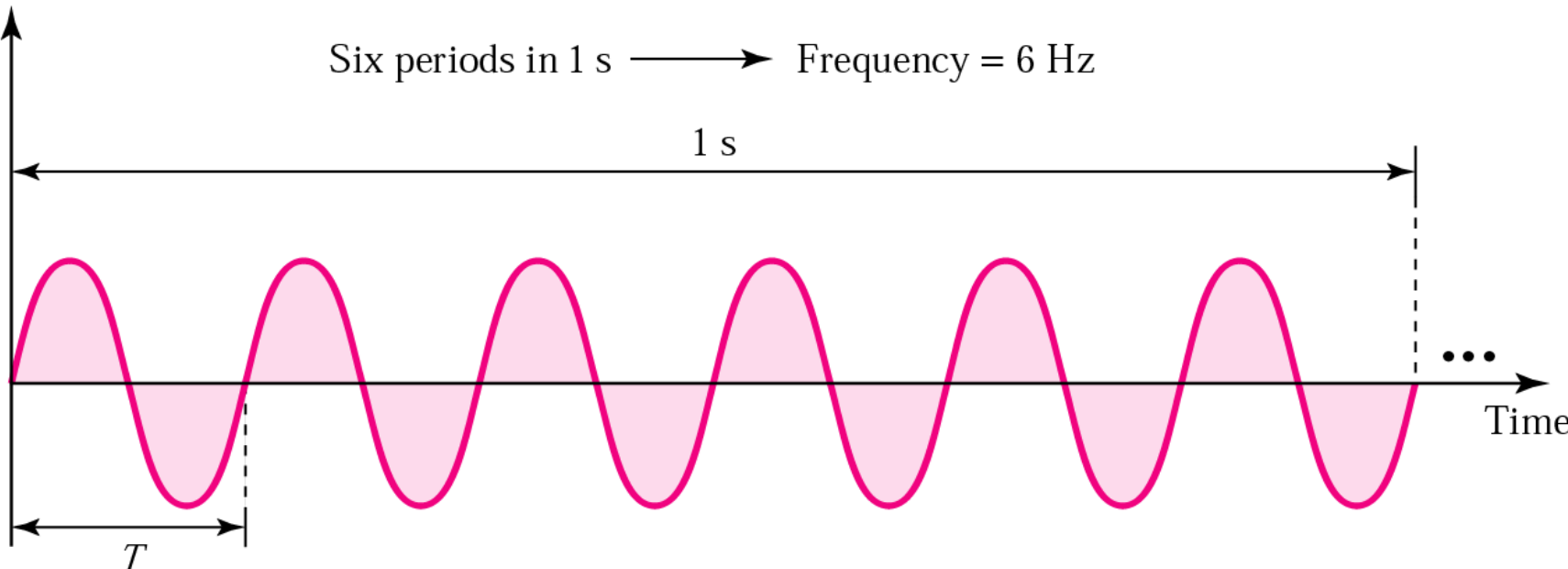
✓ 1초 동안 생성되는 신호 사이클의 수 (Hz)

■ 주기와 주파수는 역관계

✓ $f = 1 / T$ or $T = 1 / f$



Amplitude



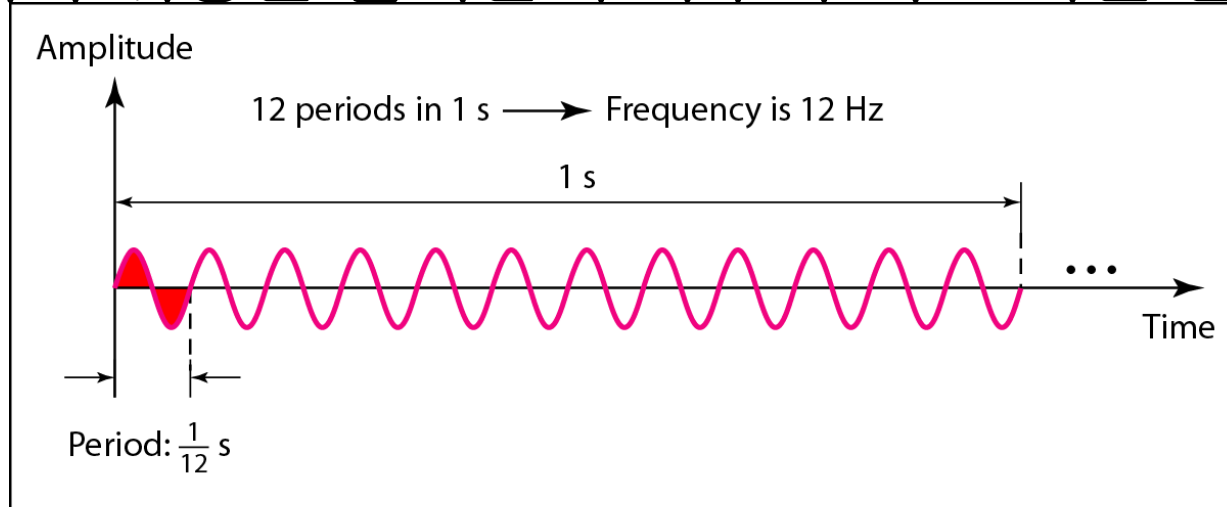
Period = $1/6 \text{ s}$

예) 가정에서 사용되는 전기의 주파수는 60Hz이다.
주기는?

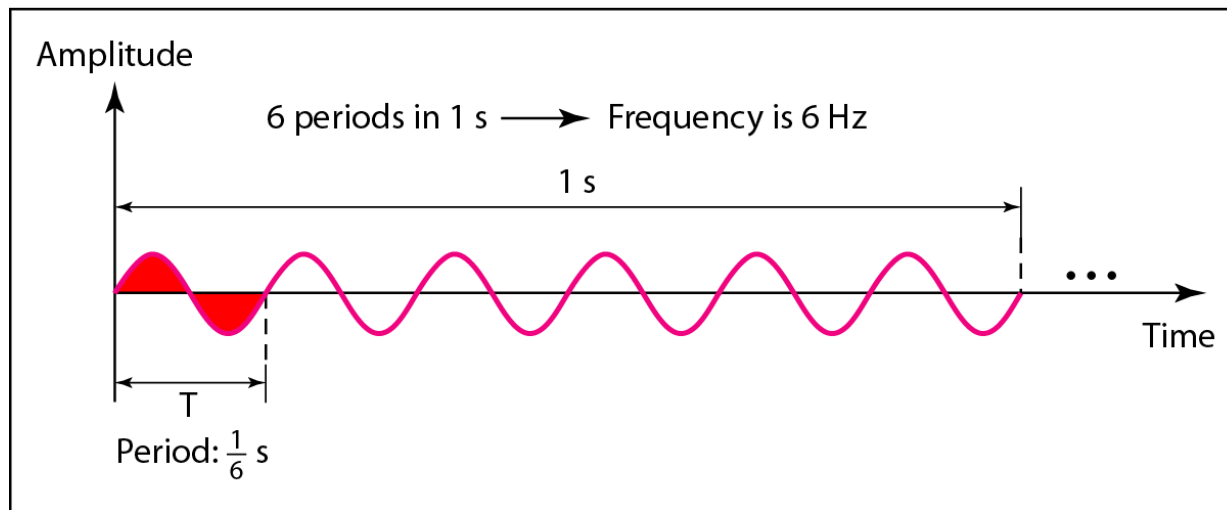
주기 $T = 1/60 = 0.0166\text{초} = 16.6 \text{ 밀리세컨드}$

주파수만 다른 정현파

- 진폭과 위상은 같지만 주파수가 서로 다른 신호.



a. A signal with a frequency of 12 Hz



b. A signal with a frequency of 6 Hz

주기와 주파수 단위

Unit	Equivalent	Unit	Equivalent
Seconds (s)	1 s	hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	kilohertz (KHz)	10^3 Hz
Microseconds (μ s)	10^{-6} s	megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	terahertz (THz)	10^{12} Hz



■ 100ms를 마이크로 초(μs)로 나타내면?

✓ $100\text{ms} = 100 \times 10^3 \mu\text{s} = 10^5 \mu\text{s}$

■ 주기가 100ms인 경우 주파수 몇 kHz인가?

✓ $100\text{ms} = 10^{-1} \text{ s}$

✓ $F = 1/T = 1/10^{-1} \text{ Hz} = 10\text{Hz} = 10 \times 10^{-3} = 10^{-2} \text{ kHz}$

주파수 심화연구

■ 시간에 대한 신호의 변화율

- ✓ 높은 주파수
 - 상대적으로 짧은 시간 내에 변화하는 경우
- ✓ 낮은 주파수
 - 상대적으로 긴 시간 동안 변화하는 경우

■ 신호가 전혀 변화하지 않는 경우

- ✓ 주파수 = 0Hz

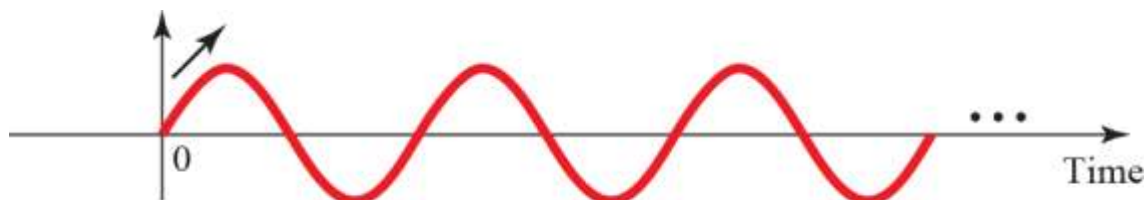
■ 신호가 순간적으로 변화하는 경우

- ✓ 주기 = 0
- ✓ 주파수 = $1/0 = \infty$

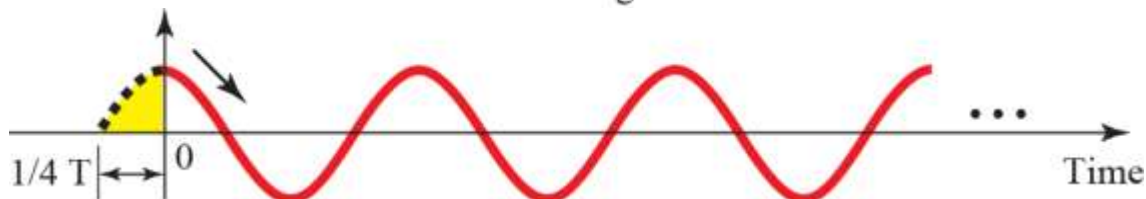
위상(Phase)

■ 시각 0에 대해 파형의 상대적인 위치

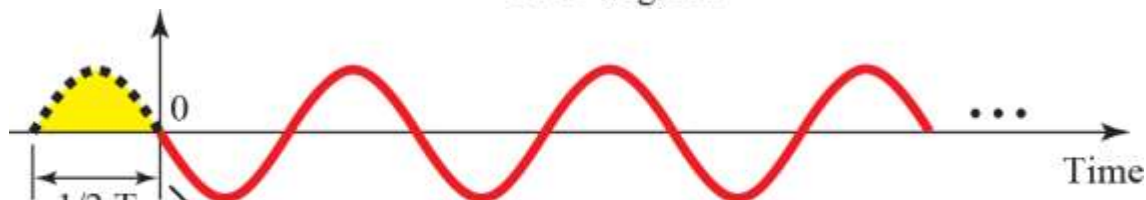
- ✓ 시간축을 따라 앞뒤로 이동될 수 있는 파형에서 그 이동량 (각도로 표시)



a. 0 degrees




b. 90 degrees



c. 180 degrees





예) 시각 0에서 1/6 사이클 앞서 시작된 정현파의 위상은?

✓ 하나의 사이클은 360도이므로, 1/6 사이클은 60도

■ $\frac{1}{6} \times 360 = 60^\circ = \pi/3 \text{ rad}$

정현파의 예

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$$

최대진폭

주파수

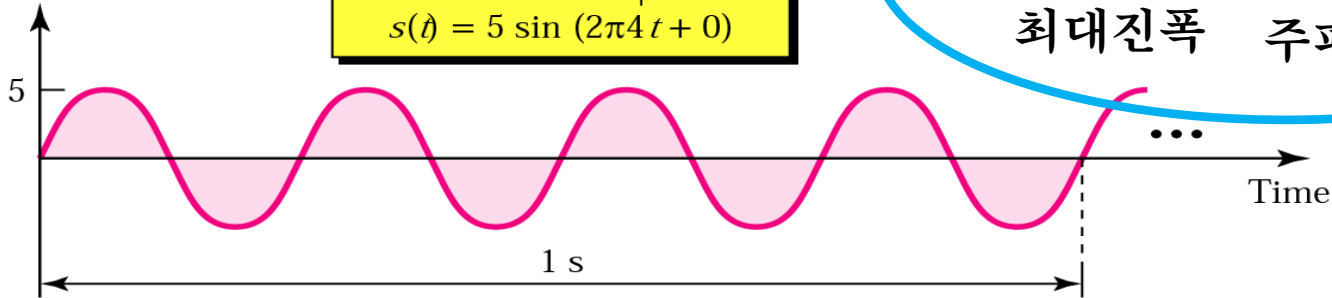
위상

1)

Amplitude

$$A = 5 \quad f = 4 \quad \phi = 0$$

$$s(t) = 5 \sin(2\pi 4 t + 0)$$

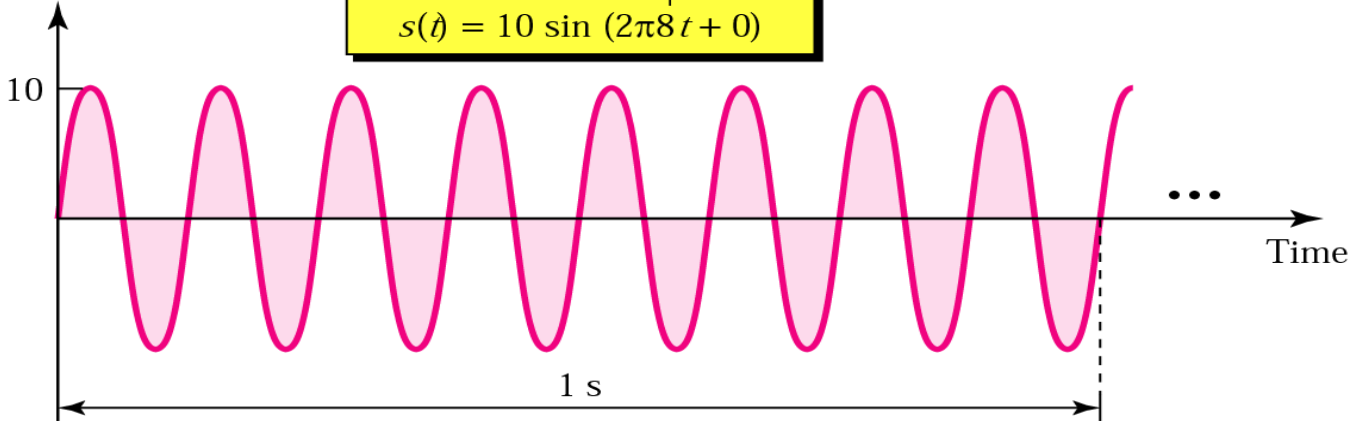


2)

Amplitude

$$A = 10 \quad f = 8 \quad \phi = 0$$

$$s(t) = 10 \sin(2\pi 8 t + 0)$$

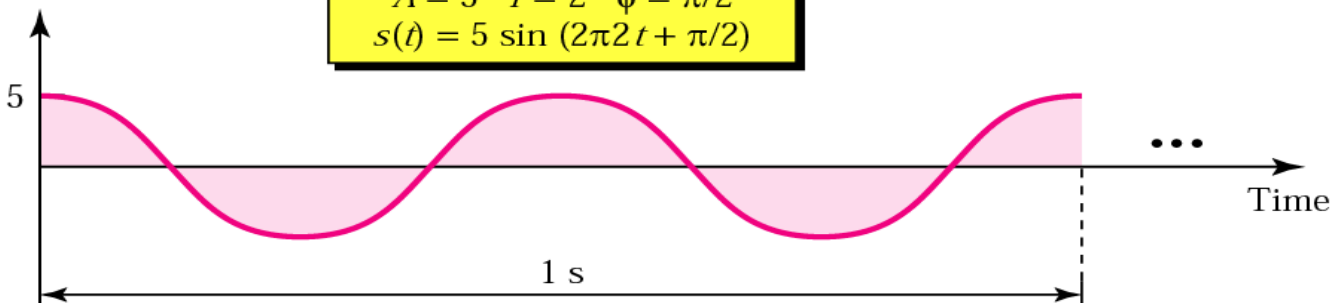


3)

Amplitude

$$A = 5 \quad f = 2 \quad \phi = \pi/2$$

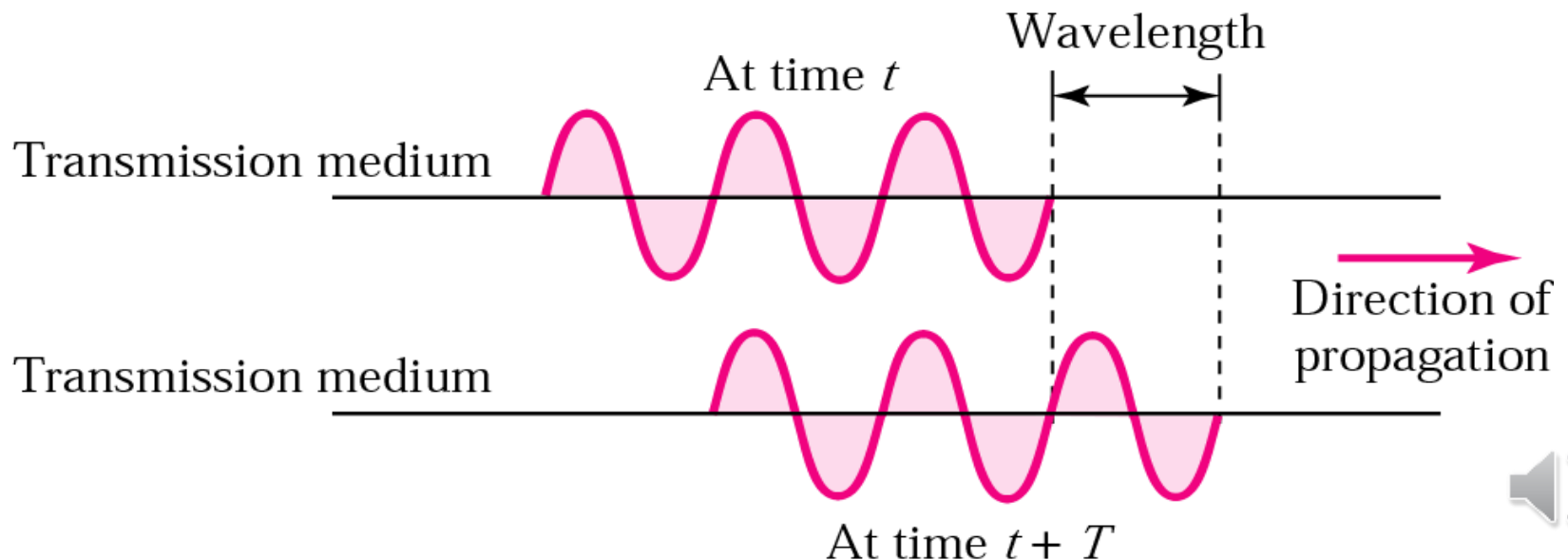
$$s(t) = 5 \sin(2\pi 2 t + \pi/2)$$



파장(Wavelength)

■ 파장: 단순신호가 한 주기 동안 진행할수 있는 거리

- ✓ 파장은 주파수와 전송매체에 좌우됨
- ✓ 파장 = 전파속도 * 신호주기
= 전파속도 / 주파수
- ✓ 전파속도
 - 빛의 속도 (진공) : $3 * 10^8 \text{m /sec}$



시간 영역 vs. 주파수 영역

■ 시간영역도면(Time-domain Plot)

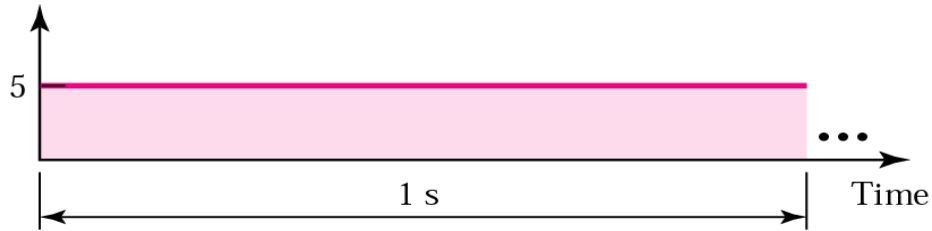
- ✓ 진폭 대 시간도표
 - 시간에 대한 신호 진폭의 변화를 보여줌
 - 위상과 주파수는 시간영역도표에서 명백히 측정되지 않음
- ✓ 둘 이상의 신호들의 영향을 이해하는데 유용

■ 주파수영역도면(Frequency-domain Plot)

- ✓ 합성된 정현파들의 상대적인 최대 진폭과 주파수 간의 관계를 보여줌
 - 단, 위상은 표현할 수 없음
- ✓ 아날로그 신호는 이 영역에서 가장 잘 표현됨

시간 영역과 주파수 영역

Time domain

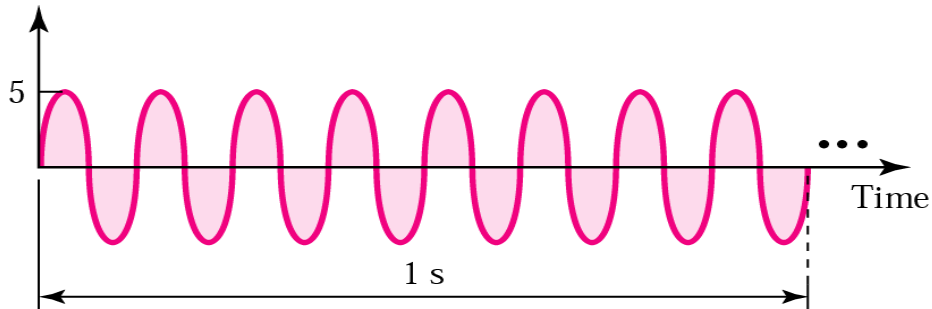


a. A signal with frequency 0

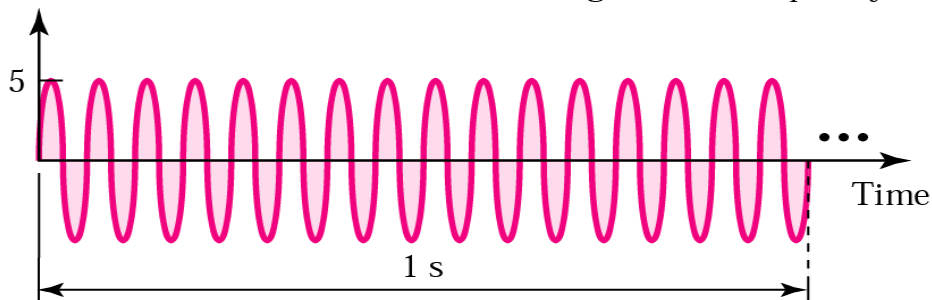
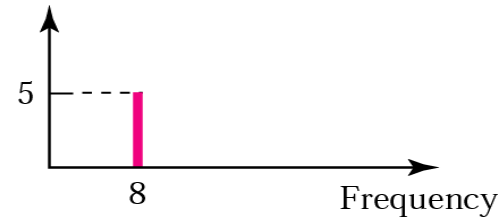
Frequency domain



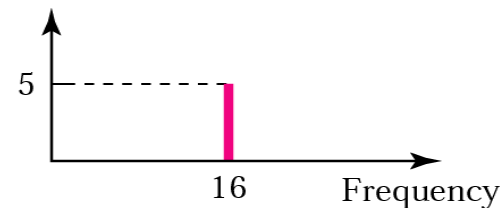
낮은주파수



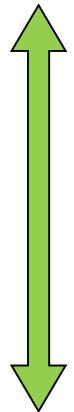
b. A signal with frequency 8



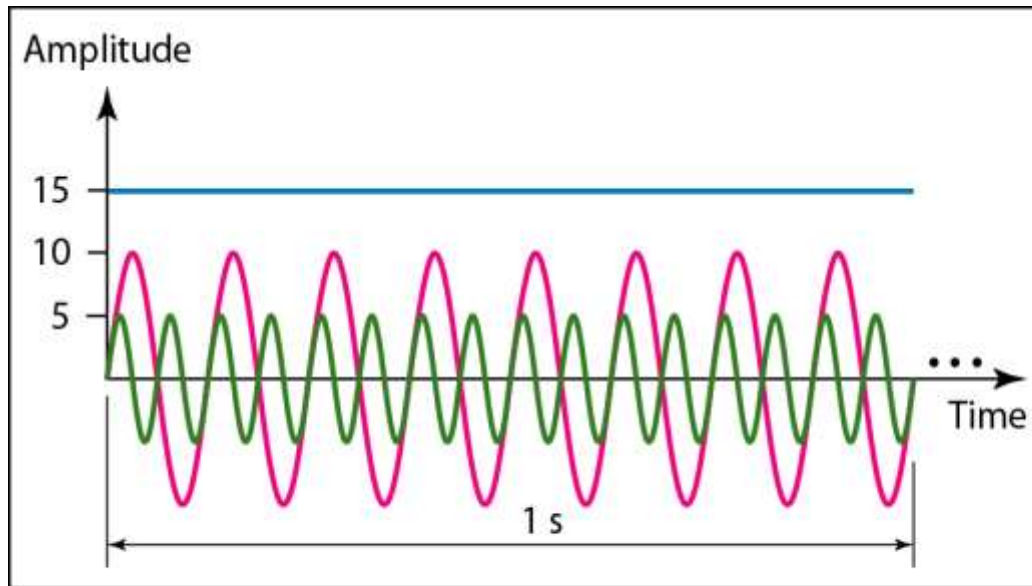
c. A signal with frequency 16



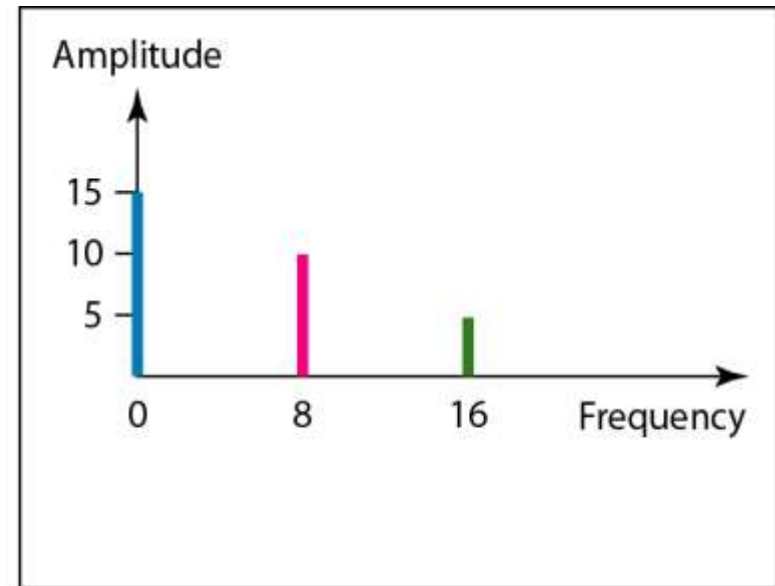
높은주파수



세 정현파의 시간 영역과 주파수 영역



a. Time-domain representation of three sine waves with frequencies 0, 8, and 16



b. Frequency-domain representation of the same three signals



통신에 적합한 아날로그 신호

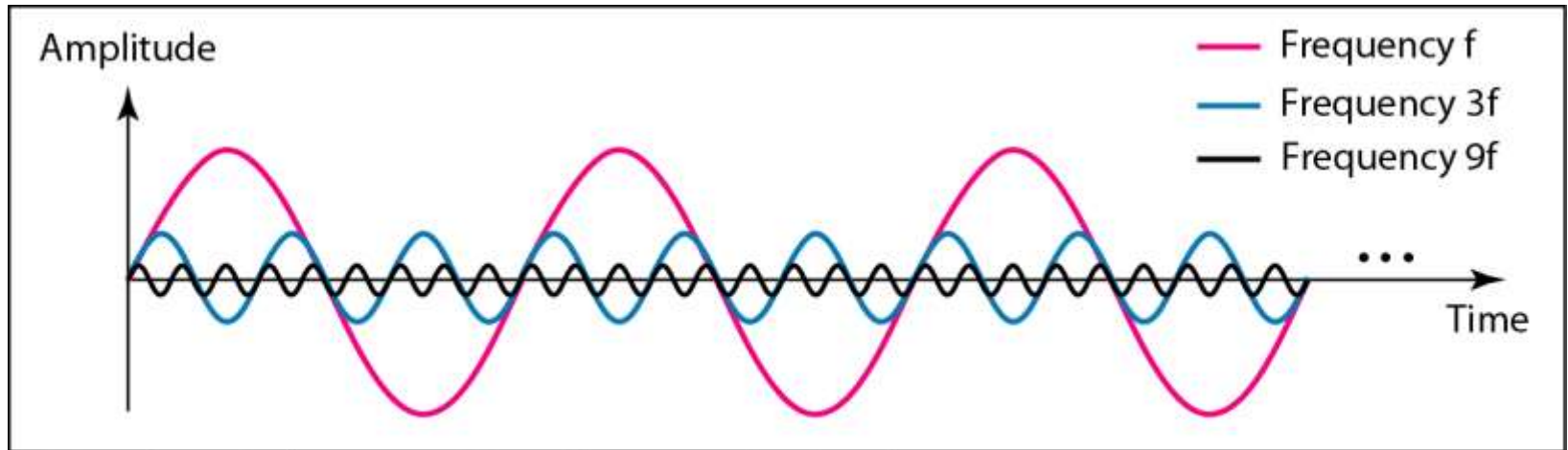
- 단일 주파수의 정현파는 데이터 통신에 부적합



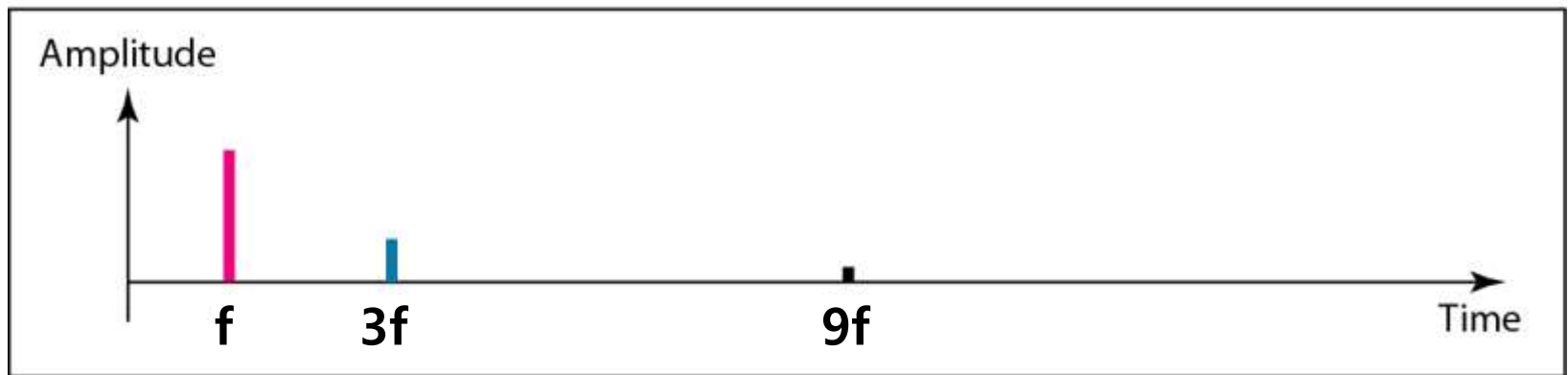
- 데이터 통신을 위해서는 여러 개의 단일 정현파로 만들어진 복합신호를 보내야 함

- 대부분의 실제 신호
- 모든 신호는 정현파의 집합으로 분해 가능
 - ✓ 푸리에 분석(Fourier analysis) 이용
 - 복합신호는 각각 측정 가능한 진폭, 주파수, 위상을 가진 단순 정현파들의 집합으로 분해 가능
- 신호의 주파수 스펙트럼
 - ✓ 신호를 구성하는 모든 독립된 주파수 요소들의 조합으로 표현한 것
 - ✓ 주파수 영역 그래프를 통해 나타낼 수 있음

복합주기신호의 시간/주파수 영역



a. Time-domain decomposition of a composite signal

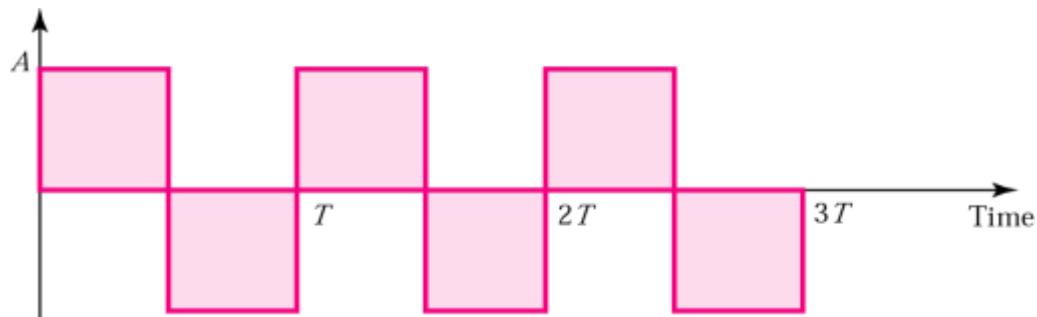


b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

직각파(Square wave)

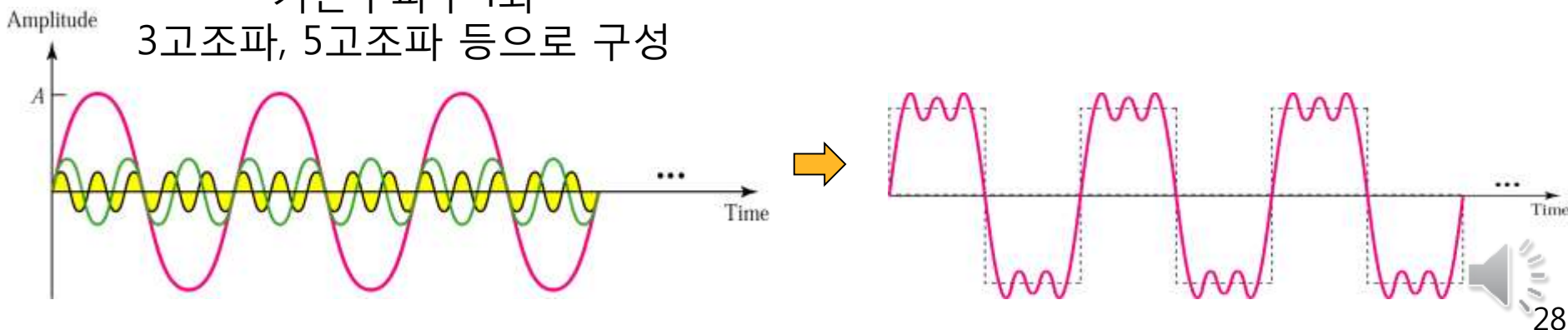
- 기본 주파수(fundamental frequency)를 f 로 하고, 홀수조파(harmonic)들을 무한히 합한 구성

✓ 푸리에 분석에 근거

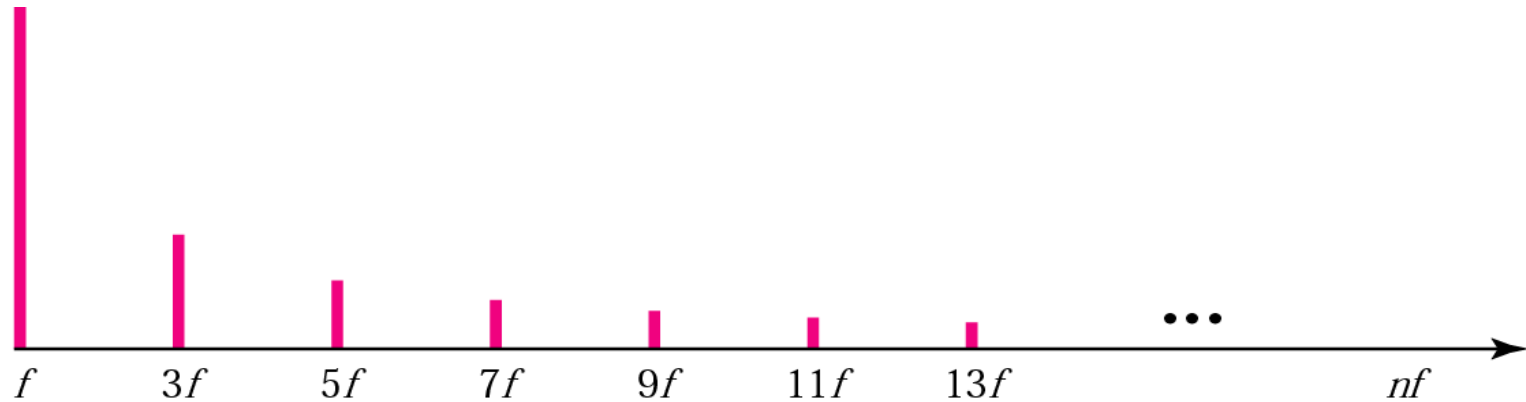


- 더 많은 홀수 조파들을 합칠수록 직각파와 더 비슷해짐

기본주파수 f 와
3고조파, 5고조파 등으로 구성



주파수 스펙트럼 비교



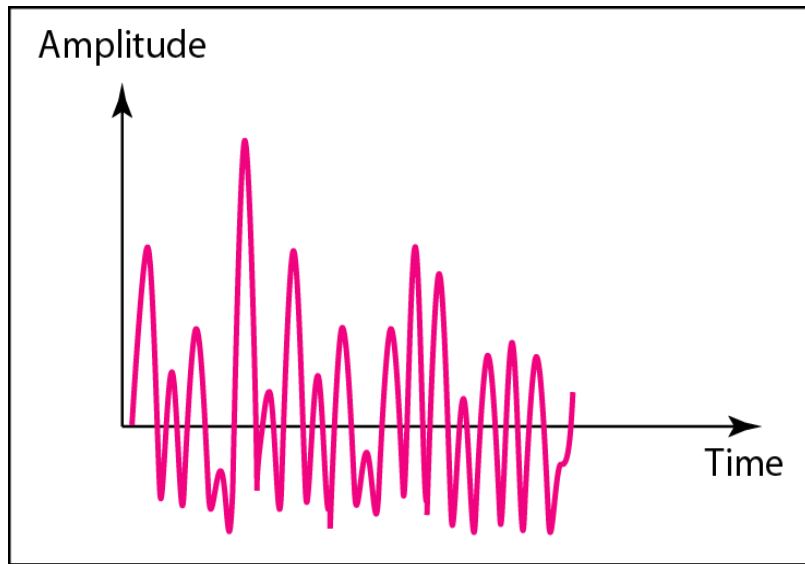
a. Frequency spectrum of a square wave



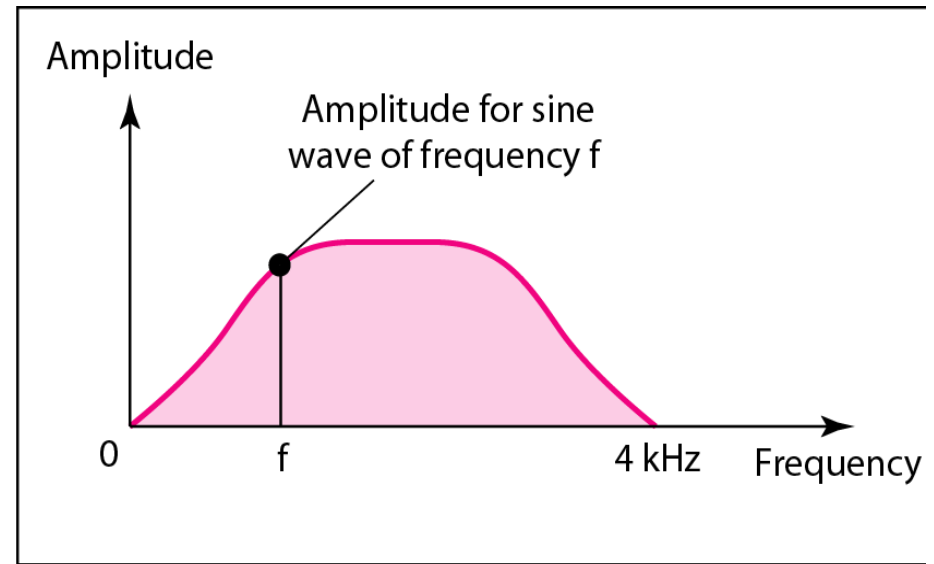
b. Frequency spectrum of an approximation with only three harmonics

비주기 신호의 시간/주파수 영역

비주기 복합신호



a. Time domain



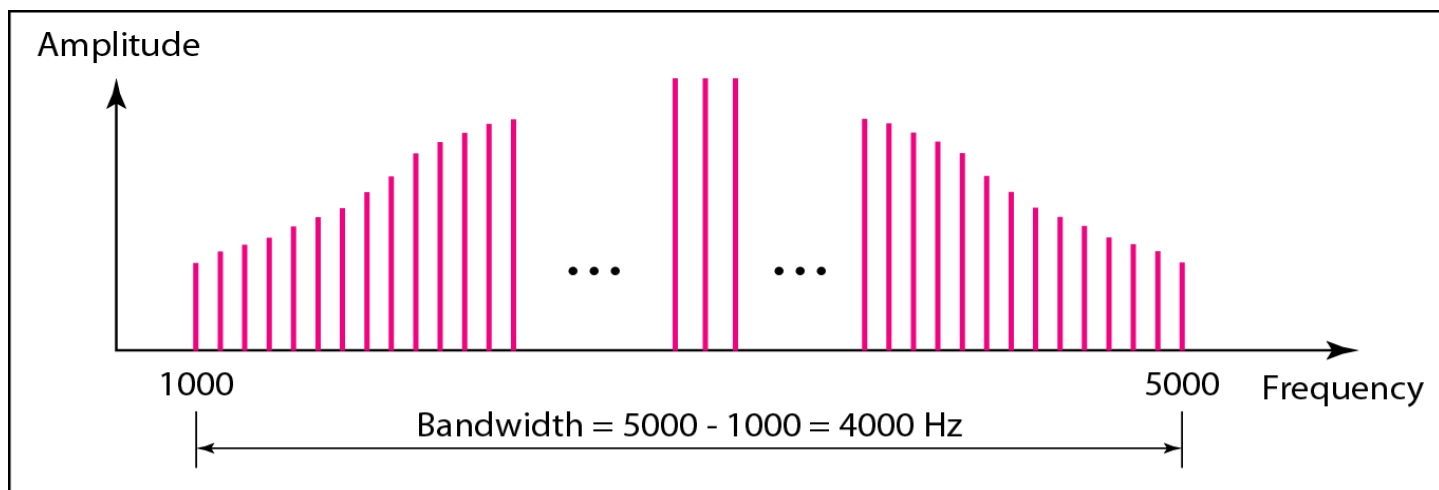
b. Frequency domain

대역폭(bandwidth)

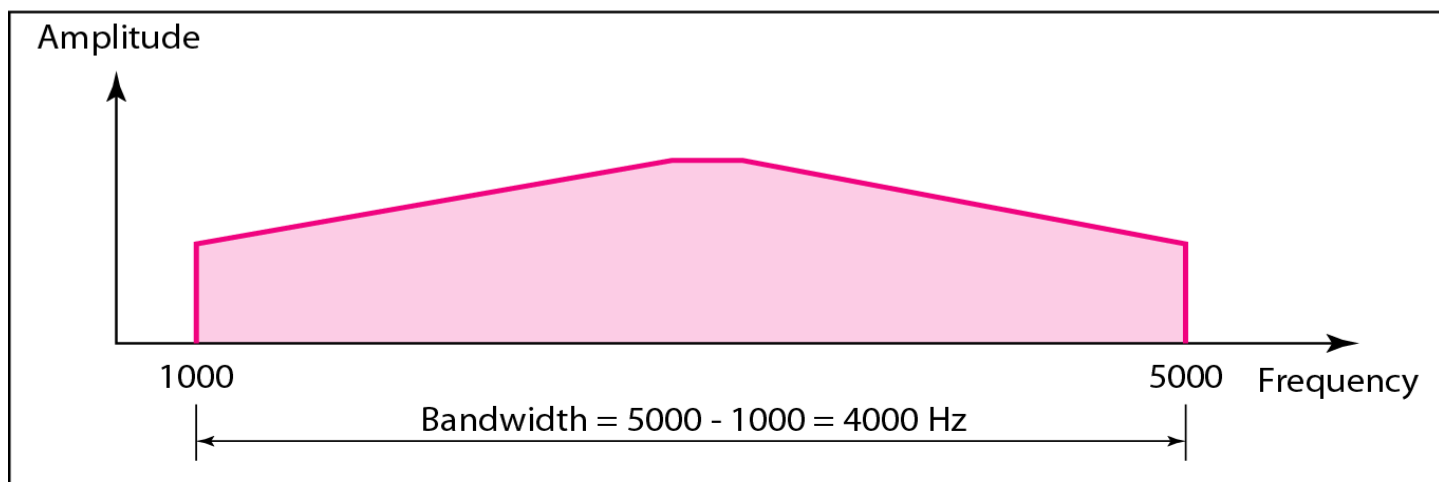
- 대역폭= 해당 범위의 최고주파수 - 최저주파수
- 전송매체의 대역폭
 - ✓ 전송매체가 통과시킬 수 있는 주파수 영역을 가리킴
- 신호의 대역폭
 - ✓ 주파수 스펙트럼의 폭
 - ✓ 주파수 구성요소들의 범위



대역폭(Bandwidth)



a. Bandwidth of a periodic signal



b. Bandwidth of a nonperiodic signal

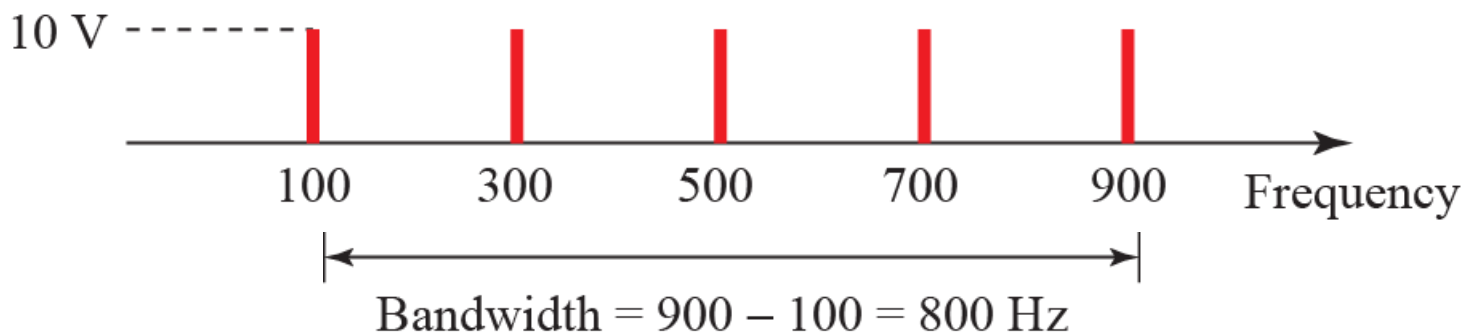


예제 3.10

- 어떤 주기 신호가 주파수 100, 300, 500, 700, 900Hz를 갖는 정현파로 분해된다면 대역폭은?
(단, 최대진폭은 10V라 가정)

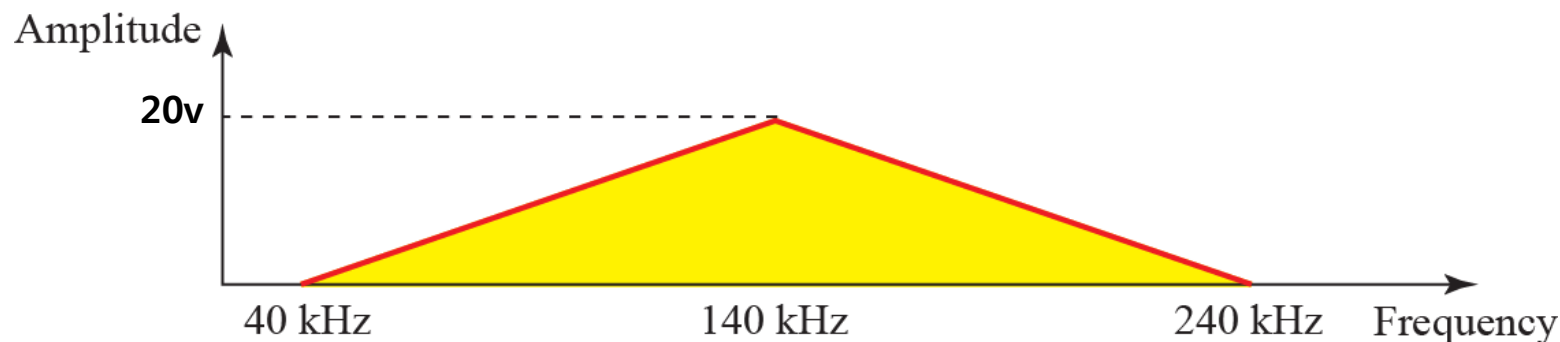
✓ 풀이:

- 신호의 대역폭 = 최고주파수 - 최저주파수



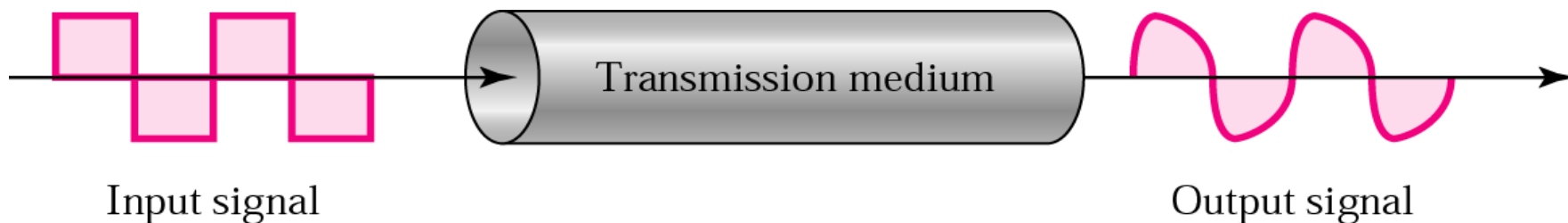
예제 3.12

- 어떤 비주기 복합신호의 대역폭이 200kHz이고, 중심 주파수가 140kHz 이며, 최대 진폭이 20V 일 때 신호의 주파수 영역을 그려라. (양 극단의 주파수의 진폭은 0이라 가정)

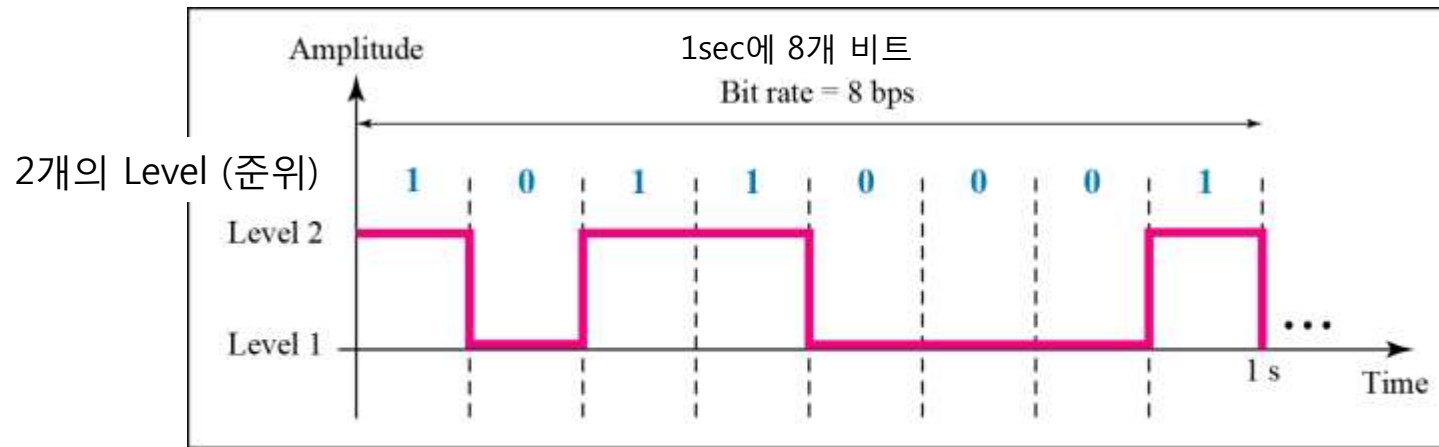


신호 장애

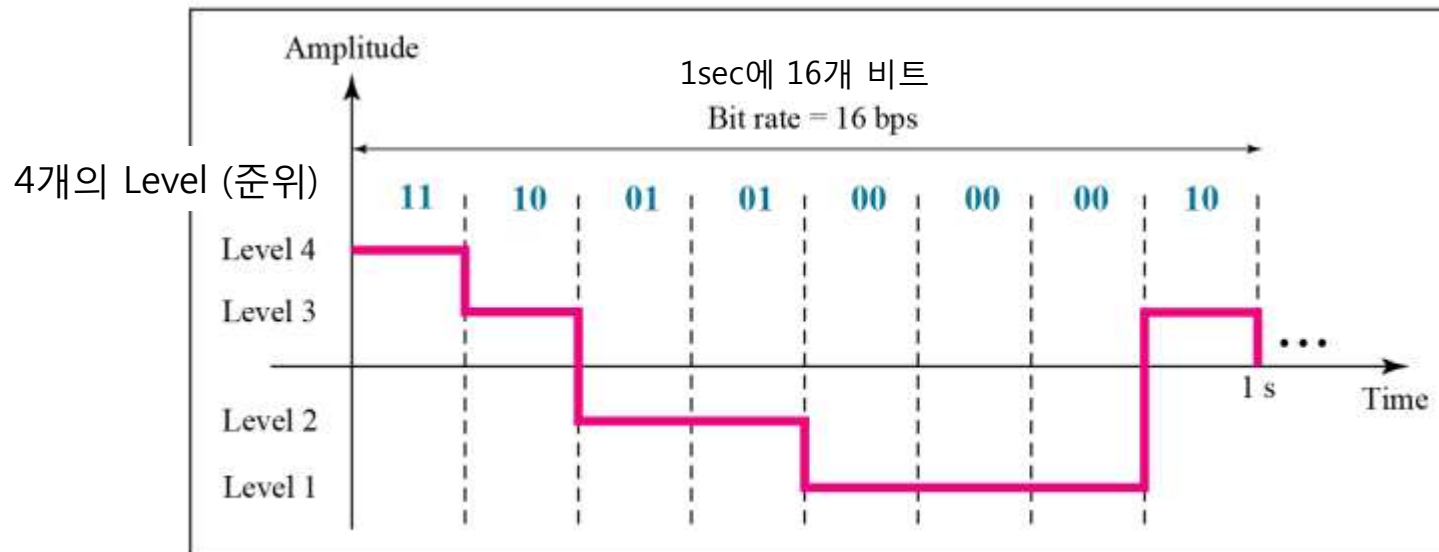
- 전송매체는 특성에 따라 모든 주파수를 통과시키지 못하거나 약화시킨다



§ 3. 디지털 신호(Digital Signals)



a. A digital signal with two levels



b. A digital signal with four levels

- 준위(레벨)의 수가 L 이라고 하면, 각 준위에 $\log_2 L$ 비트를 보낼 수 있다.
→ 즉, n 개의 비트를 어느 한 준위에 실어보내기위해 필요한 준위의 수(종류)는 2^n 개 이다.

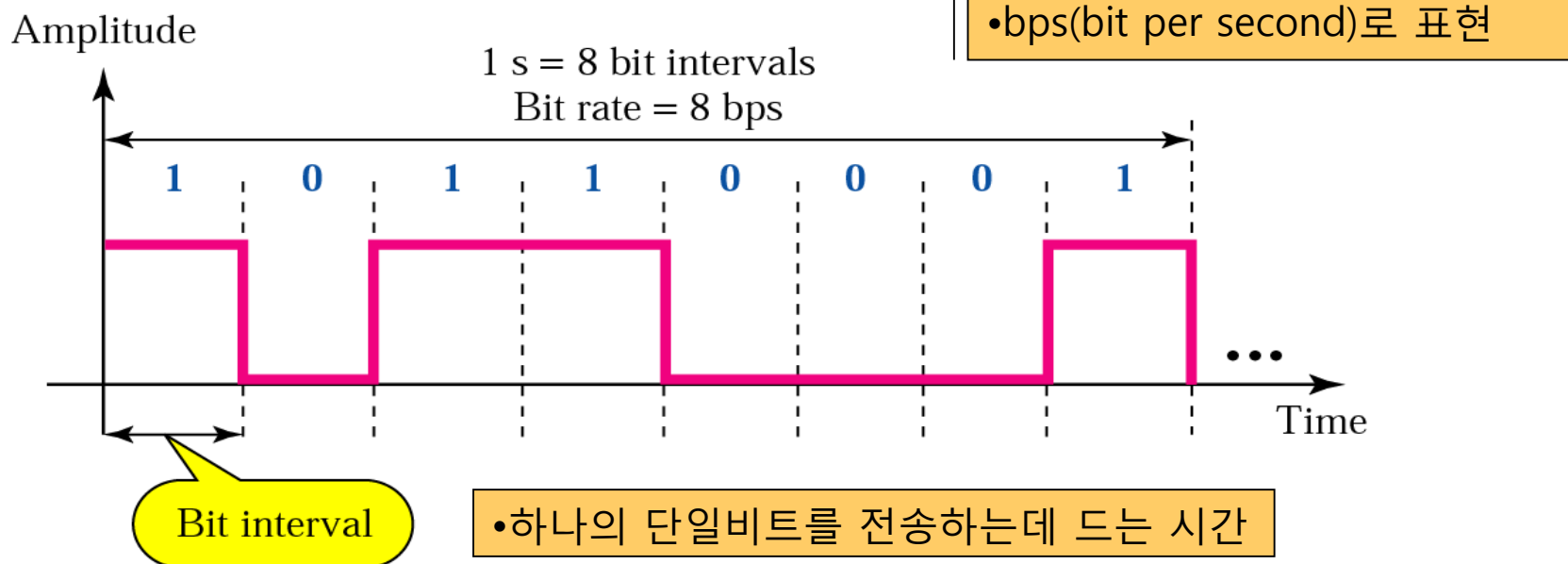
예제) 8개의 준위를 가지고 있는 디지털 신호가 있다.
각 준위당 몇 개의 비트를 보낼수 있나?

$$\log_2 L = \log_2 8 = 3\text{개 비트}$$

비트 간격과 비트율

■ 대부분 디지털 신호는 비주기적

- ✓ 주거나 주파수로 특성을 표현할 수 없음
- ✓ 대신 **비트간격**, **비트율** 사용



디지털 신호는...

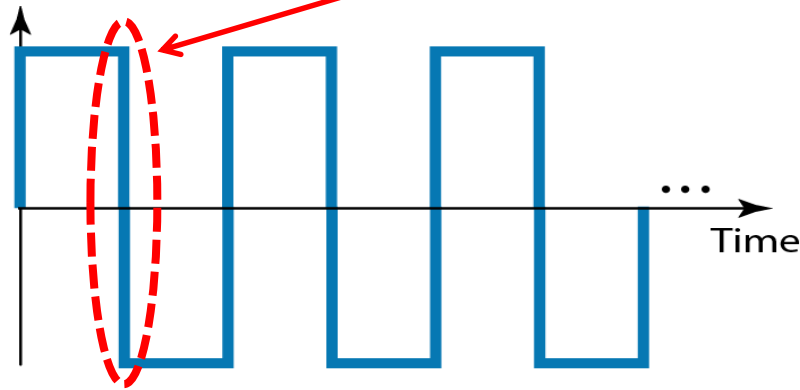
- 무한 대역폭을 갖는 복합신호
- 전송매체가 넓은 대역폭을 가질수록 전송시
덜 왜곡됨
- 제한 대역폭을 갖는 매체라 할지라도 디지털 신호의
전송은 가능
 - ✓ 매체의 최소 대역폭 확인 필요



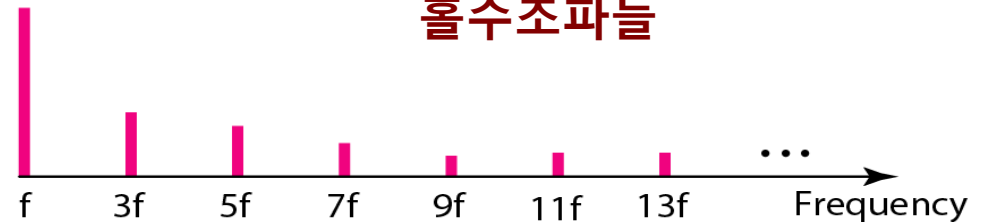
디지털 신호의 시간/ 주파수 영역

급격한 변화(Impulse)에서는 무한대 주파수

주기적 디지털 신호

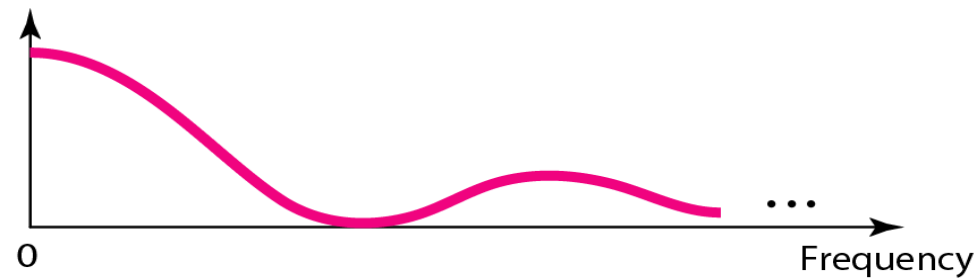


기본주파수 f 와 무한대 개수의
홀수조파들



a. Time and frequency domains of periodic digital signal

비주기적 디지털 신호



b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

디지털신호의 전송 방법

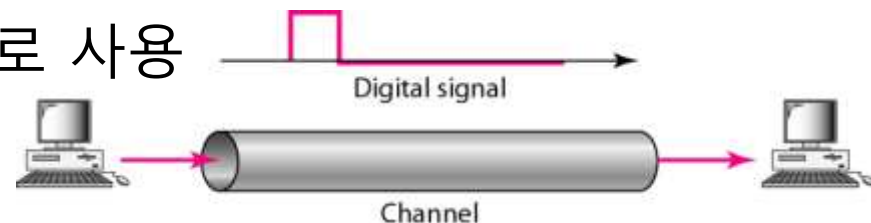
- 디지털 신호는 주기적이든 비주기적이든 주파수 $0 \sim \infty$ 까지 이르는 복합신호임
- 디지털 신호는 거의 비주기적이므로 이후 비주기적 신호만 다룸
- 디지털 신호의 두 가지 전송 방법
 - ✓ 기저대역(baseband) 전송
 - ✓ 광대역(broadband) 전송



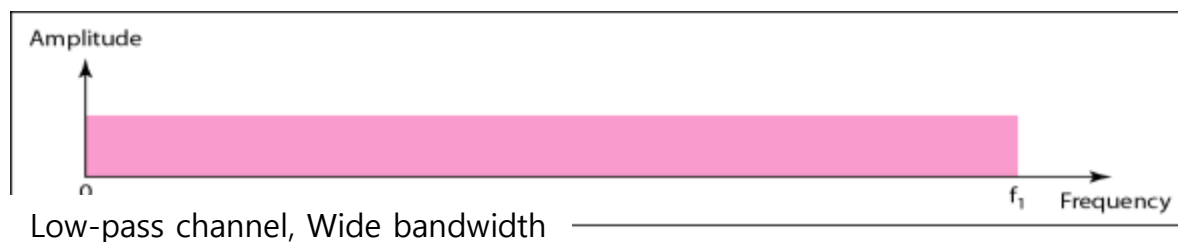
디지털신호의 전송 I. 기저대역(Baseband)

- 기저대역 전송 : 디지털 신호 그대로(아날로그로 바꾸지 않고) 채널을 통해 전송

✓ LAN 등 단거리 구간에서 주로 사용



- 기저대역 전송을 위해서는 저대역 통과 채널(low-pass channel) 필요 (즉, 주파수 0부터 시작하는 대역폭을 갖는 채널)



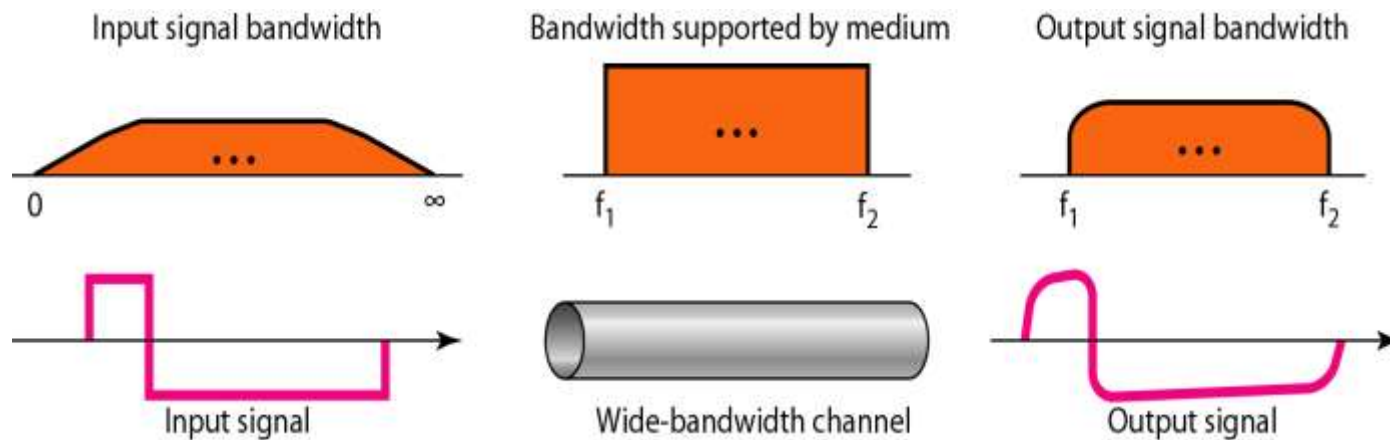
기저대역 디지털 전송

1) Wide bandwidth low-pass channel

✓ 무한대 혹은 매우 넓은 대역폭을 갖는 저대역 통과하는 전용의 전송 매체를 사용

→ 디지털 신호의 모양을 유지하는 기저대역 통신은 이러한 매체를 사용할때만 가능함

- 그러나, 약간의 오차는 추론으로 가능
- LAN에서 많이 사용 (유선 LAN의 두 지국간 통신에 매체 대역폭의 전체를 전용으로 사용)



< 전용매체를 사용하는 기저대역 전송 >

2) Narrow bandwidth low-pass channel

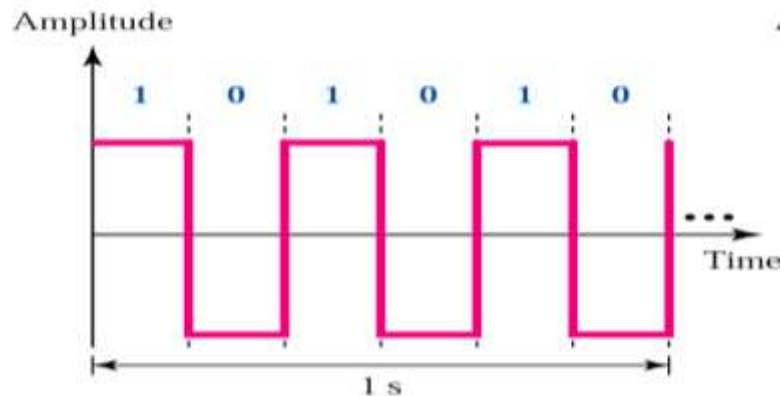
- ✓ 제한된 대역폭을 갖는 전송매체를 사용하는 경우,
- ✓ 원래의 디지털 신호와 근사한 모양의 아날로그 신호를 사용함
(아날로그 신호로 변환하는 것은 아님)
 - 근사 정도는 가용 대역폭에 좌우
 - 대략적 근사값 → 다음 페이지 볼것



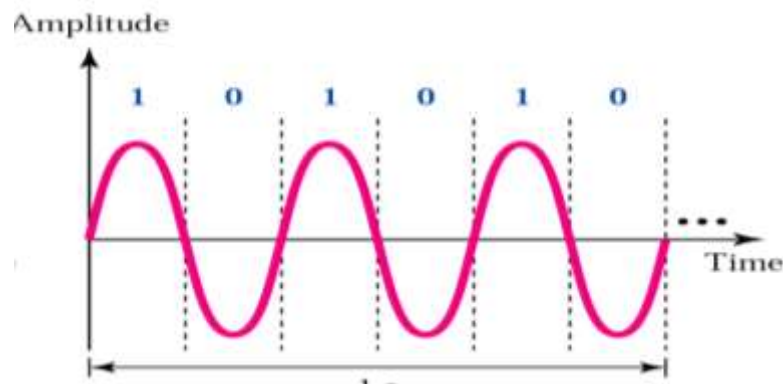
대략적 근사값(Rough Approximation)

■ 비트율 N의 디지털 신호의 경우

- ✓ Worst case는 010101 ... 등으로 디지털 신호 변화의 최대수를 갖는 경우를 고려함
- ✓ 주파수 f ($= N/2$)의 아날로그 신호가 필요 (N: 비트율)
→ 즉, 요구 대역폭은 $N/2$

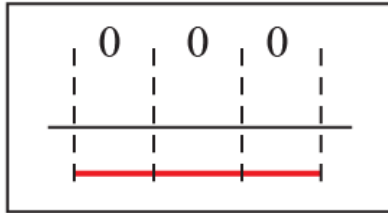


비트율 6 bps



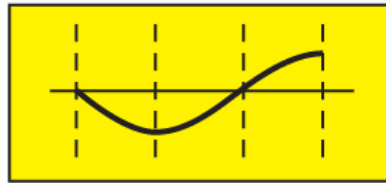
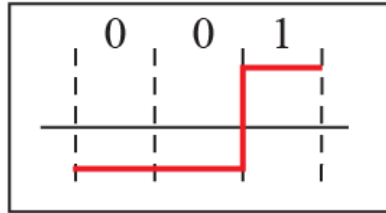
주파수 $f = 3$

Digital: bit rate N



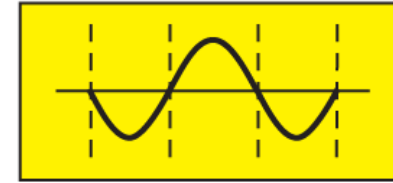
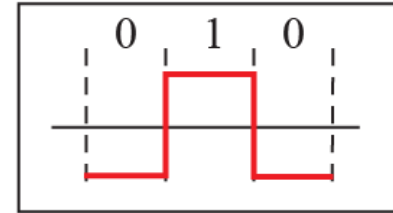
Analog: $f = 0$, $p = 180$

Digital: bit rate N



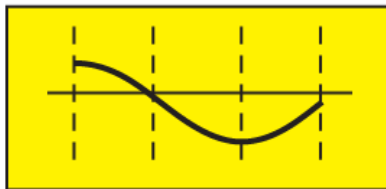
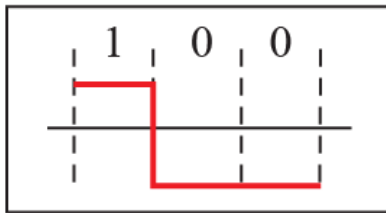
Analog: $f = N/4$, $p = 180$

Digital: bit rate N



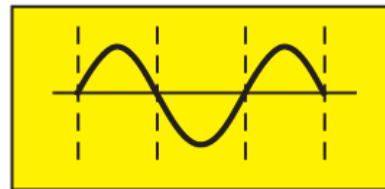
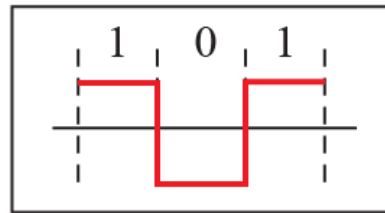
Analog: $f = N/2$, $p = 180$

Digital: bit rate N



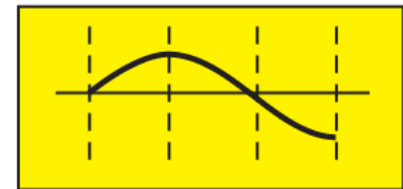
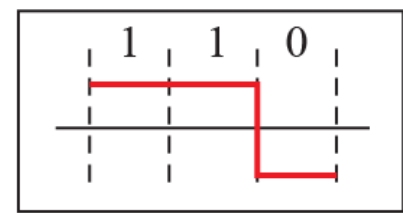
Analog: $f = N/4$, $p = 90$

Digital: bit rate N



Analog: $f = N/2$, $p = 0$

Digital: bit rate N



Analog: $f = N/4$, $p = 0$

■ 요구대역폭은 비트율에 비례함

✓ 더 빠르게 비트를 전송하려면 더 많은 대역폭 필요함

예제) 대역폭이 100 kHz인 저대역 통과 채널이 있다.
이 채널의 최대 비트율은?

✓ 비트율은 가용 대역폭의 2배이다. 즉, 200 kbps이다.
(단, 1차 조파만 사용하는 경우 ...)

➔ 더 많은 수의 조파를 사용하면 디지털 신호에 더
근접한 아날로그 신호를 만들수 있다. (다음 페이지
설명 참고)

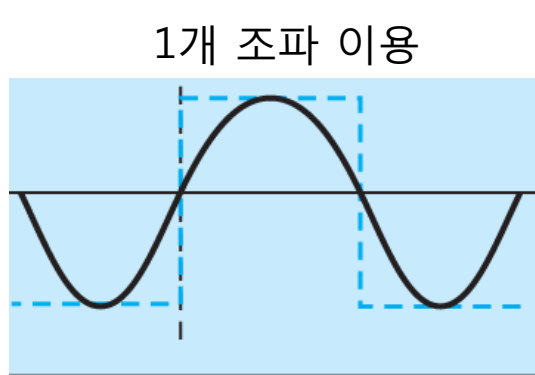
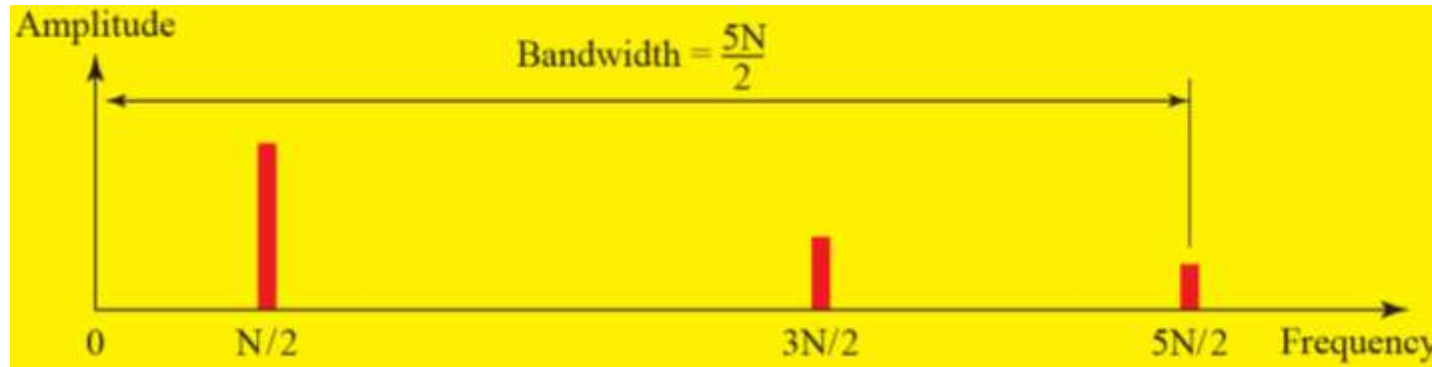
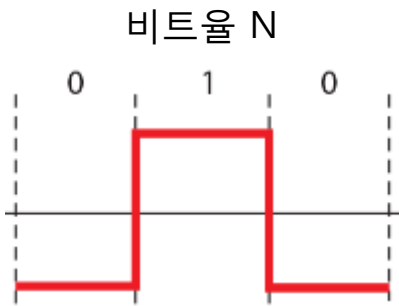
➔ 대역폭이 증가됨

(비트율이 n 일때, 더 많은 조파 사용하여 근접한 아날
로그 신호 만드면, 대역폭은 $n/2, 3n/2, 5n/2, \dots$ 증가시
켜야 함)

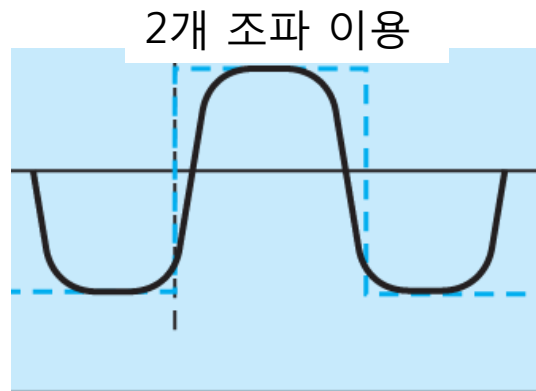


[참고] 보다 나은 근사값

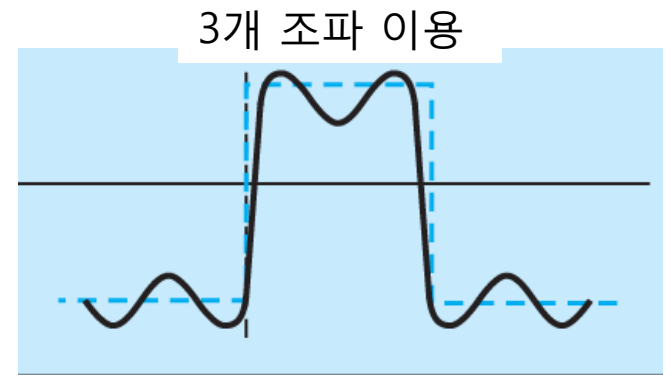
- 보다 많은 수의 조파(harmonics) 이용
 - ✓ 처음 3개의 조파를 이용한 디지털 신호의 예



Analog: $f = N/2$



Analog: $f = N/2$ and $3N/2$



Analog: $f = N/2, 3N/2,$ and $5N/2$

더 많은 조파 이용 ➡ 더 근접한 아날로그신호 ➡ 요구 대역폭 증가

디지털 대 아날로그 대역폭

■ 아날로그 대역폭

- ✓ 매체가 통과시키는 주파수 영역

■ 디지털 대역폭

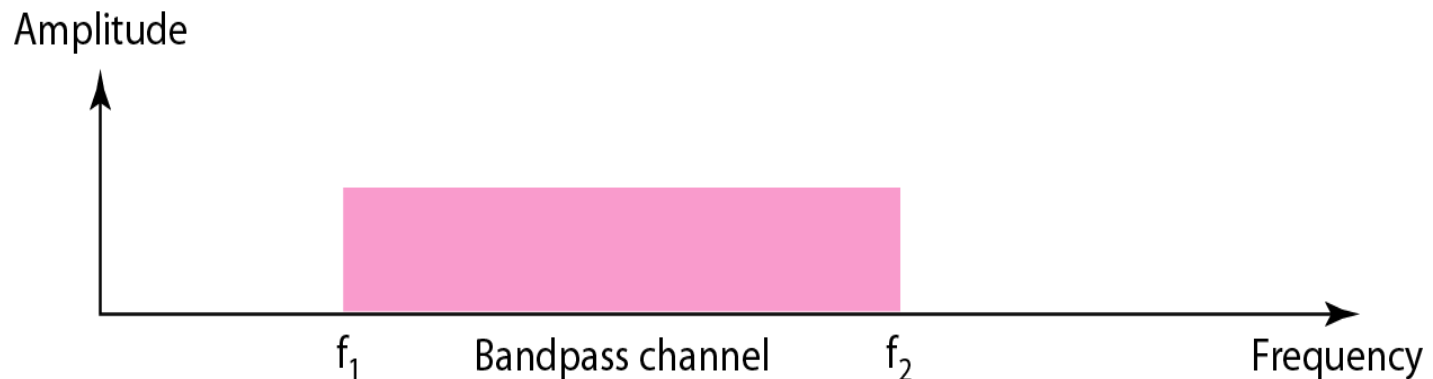
- ✓ 매체가 통과시킬 수 있는 최대 비트율

■ 매체의 아날로그 대역폭은 Hz로 나타내고, 디지털 대역폭은 bps로 나타냄

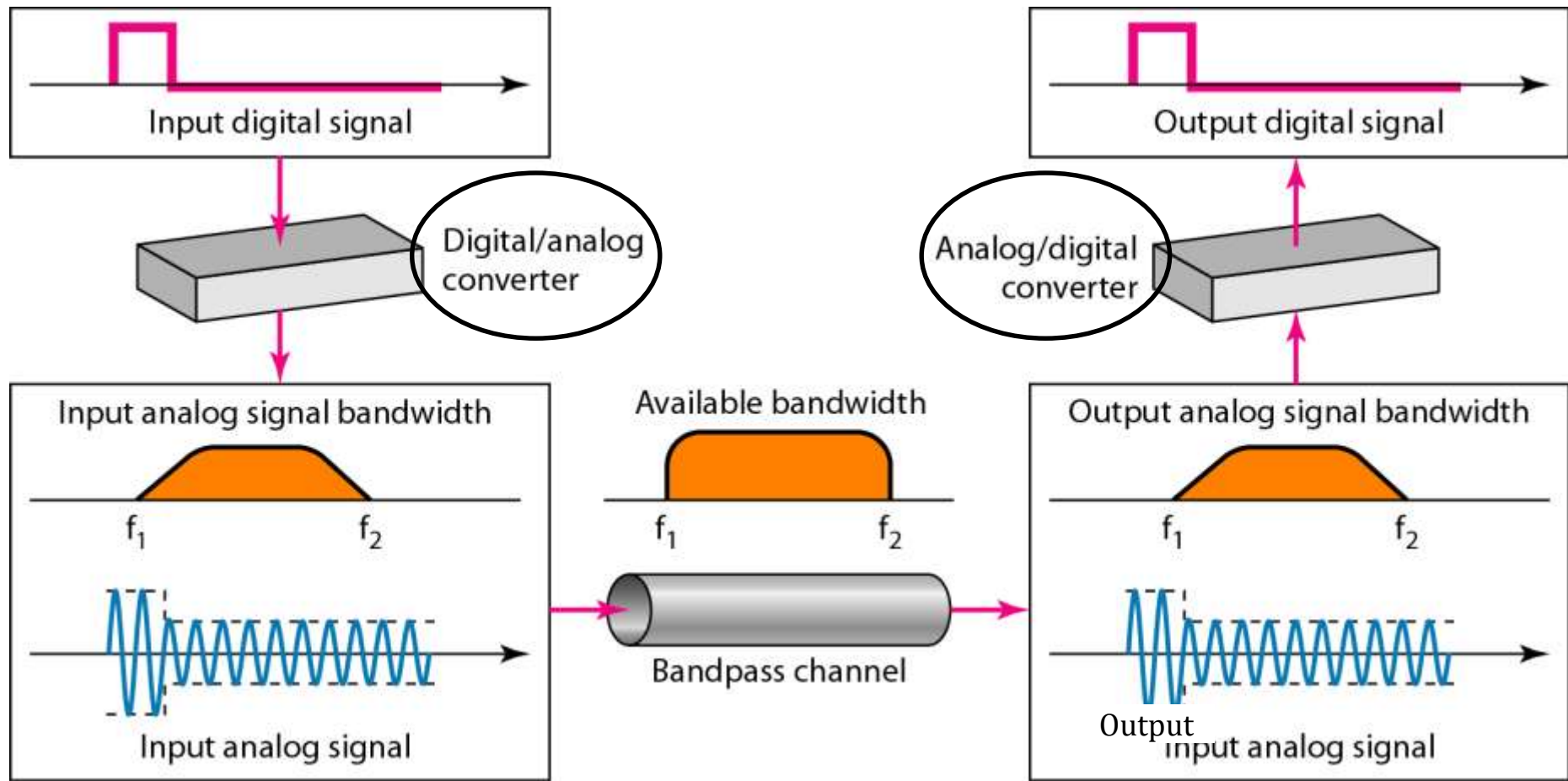


디지털신호의 전송 II. 광대역(Broadband)

- 광대역전송 : 디지털 신호를 전송하기 위해 아날로그 신호로 변환하여 전송하는 방법
- (이렇게 신호를 변환하여 주파수분할방식으로 다중화하여) 띠대역(bandpass) 통과 채널을 사용하여 전송 가능
→ 동시에 대량의 데이터를 고속으로 전송 가능함
 - ✓ 띠 대역 채널은 주파수 0부터 시작하지 않음



띠대역 채널전송을 위한 신호의 변조



■ 광대역 전송의 예 : 디지털 휴대전화

- ✓ 더 나은 수신을 위하여 디지털 휴대전화는 음성 신호를 디지털 신호로 바꿈.
- ✓ 디지털 휴대전화 서비스를 제공하는 회사에 할당된 대역은 매우 넓지만 디지털 신호를 변조하지 않고 전송할 수 없다.
(왜냐면, 전화거는 사람과 받는 사람 사이에 띠대역 통과 채널만을 사용하므로)
→ 만일 가용대역폭이 W 이고 1,000쌍이 동시에 통화할 수 있다면
각 통화에 사용하는 대역폭은 $W/1,000$ 이 됨
- ✓ 디지털 휴대전화는 아날로그 음성 신호를 디지털로 바꾸고, 다시 띠대역 통과 채널에 전송하기 위해 복합 아날로그 신호로 변조함.

아날로그 대 디지털

■ 디지털 전송

- ✓ $0 \sim f$ Hz → Low-pass channel
- ✓ 점 대 점이나, 시간을 돌아가며 매체를 공유하며 전송하는 경우

■ 아날로그 전송

- ✓ $f_1 \sim f_2$ Hz → Band-pass channel
- ✓ 주파수 분할하여 전송하는 경우



§ 4. 전송장애

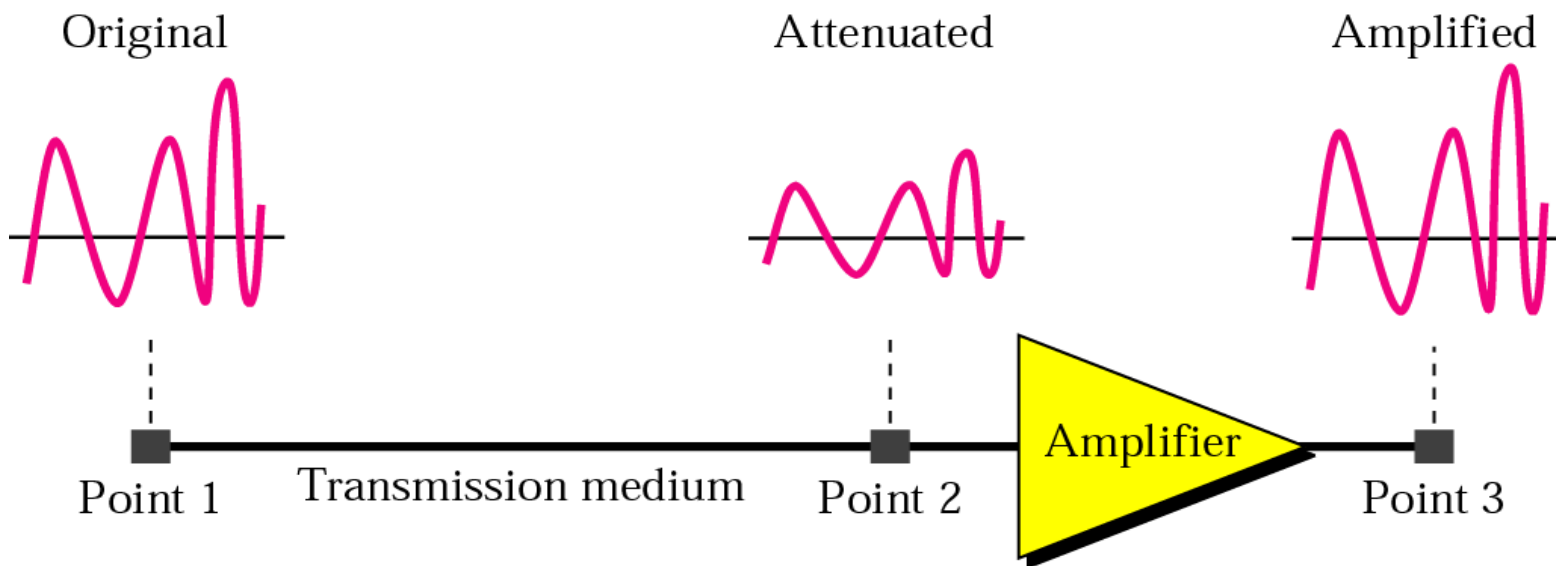
■ 신호가 매체를 통해 전송할 때 생기는 장애

- ✓ 감쇠(Attenuation)
- ✓ 왜곡, 일그러짐(Distortion)
- ✓ 잡음(Noise)



감쇠(Attenuation)

- 매체통해 이동시 저항 성분에 의한 에너지 손실
- 손실을 보상하기 위해 증폭기(amplifier)사용



데시벨(dB, Decibel)

- 신호가 손실된 정도 혹은 획득한 정도를 나타냄

- 2개의 다른 점에서 두 신호 또는 한 신호의 상대적 길이를 측정

 - ✓ 신호가 감소면 음수, 증폭이면 양수값을 가짐

- $\text{dB} = 10 * \log_{10}(P_2/P_1)$

 - ✓ P_1, P_2 : 각 각 점1과 점2에서의 신호의 전력

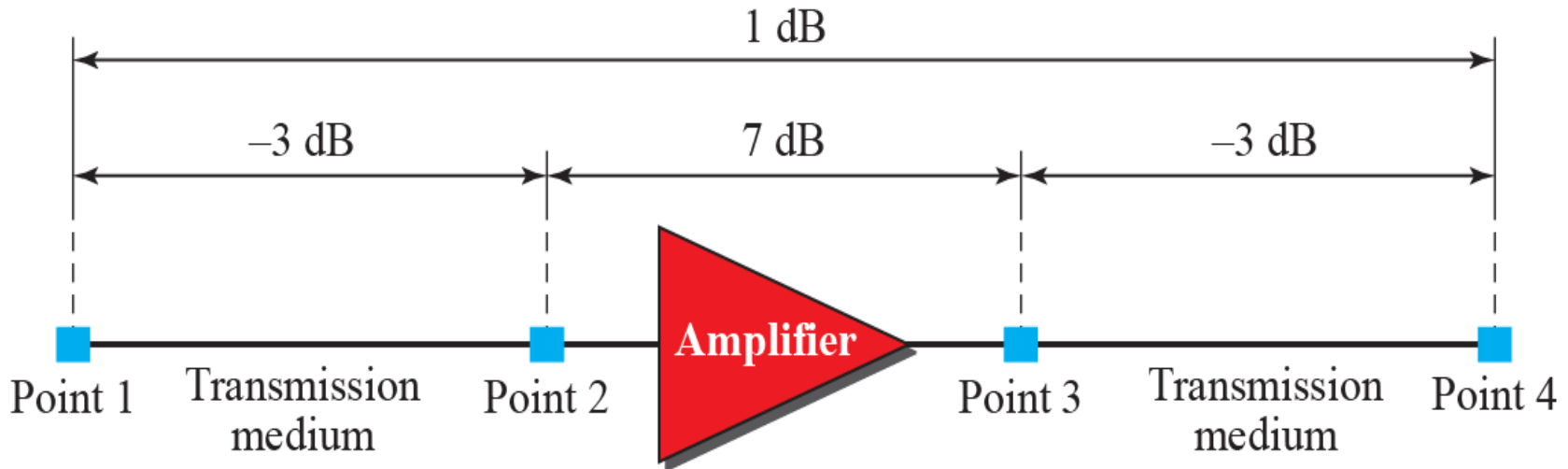
 - ✓ -3dB : 전력의 절반을 손실

$(\log_{10} 1/2 = \log_{10} 2^{-1} = -\log_{10} 2 = \text{약 } -0.3)$

[참고] 전압을 사용한 신호일 경우: $\text{dB} = 20 * \log_{10}(P_2/P_1)$

예제

예제) 점 1에서 점 4로 이동했을 때의 데시벨 값은?



- ✓ 여러 지점에 대해 단순 산술적 계산으로 구할 수 있음
각 지점 사이의 데시벨 값을 더하면 됨
감쇠-> 증폭-> 감쇠
즉, $-3 + 7 + (-3) = +1$ 으로 신호가 전력을 얻었다는 뜻

예제) 케이블에서의 손실은 보통 킬로미터 당 데시벨로 정의한다(dB/km). 만약 -0.3 dB/km 케이블의 시작점에서 전력이 2 mW 이었다면, 5 km 에서의 신호의 전력은 얼마인가?

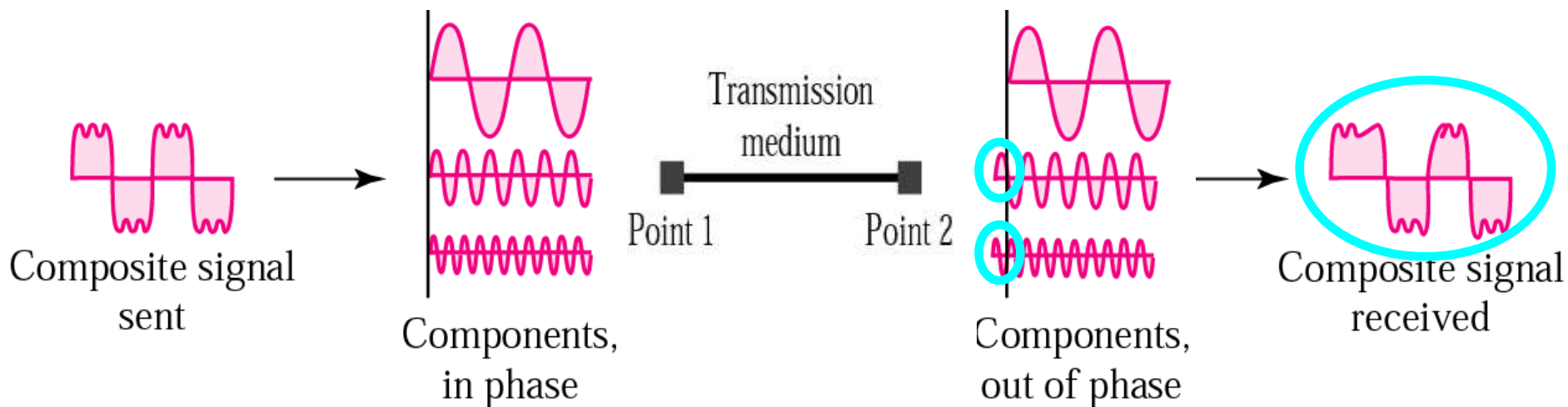
- ✓ 케이블에서의 손실은 $5 \times (-0.3) \text{ dB} = -1.5 \text{ dB}$ 이다. 전력은 다음과 같이 계산할 수 있다.
- ✓ $10 \log_{10} (P_2/P_1) = -1.5 \rightarrow \log_{10} (P_2/P_1) = -0.15$
 - $\rightarrow P_2/P_1 = 10^{-0.15}$
 - $\rightarrow P_2 = 10^{-0.15} \times P_1$
 - $\rightarrow P_2 = 0.71 \times 2 \text{ mW} = 1.4 \text{ mW}$



왜곡 또는 일그러짐(Distortion)

■ 신호의 모양이나 형태가 변하는 것을 의미

✓ 다른 주파수의 신호로 변경될 수 있음

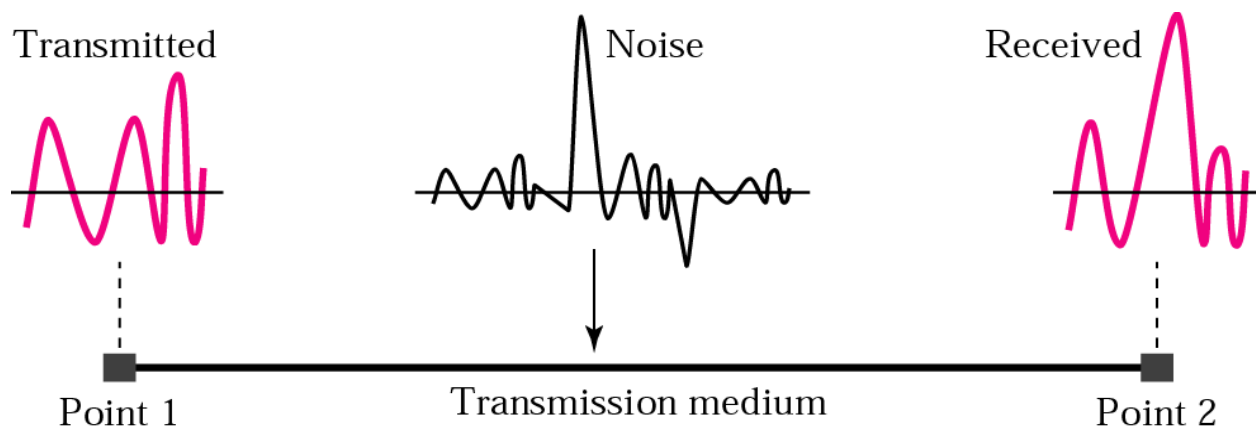


잡음(Noise)

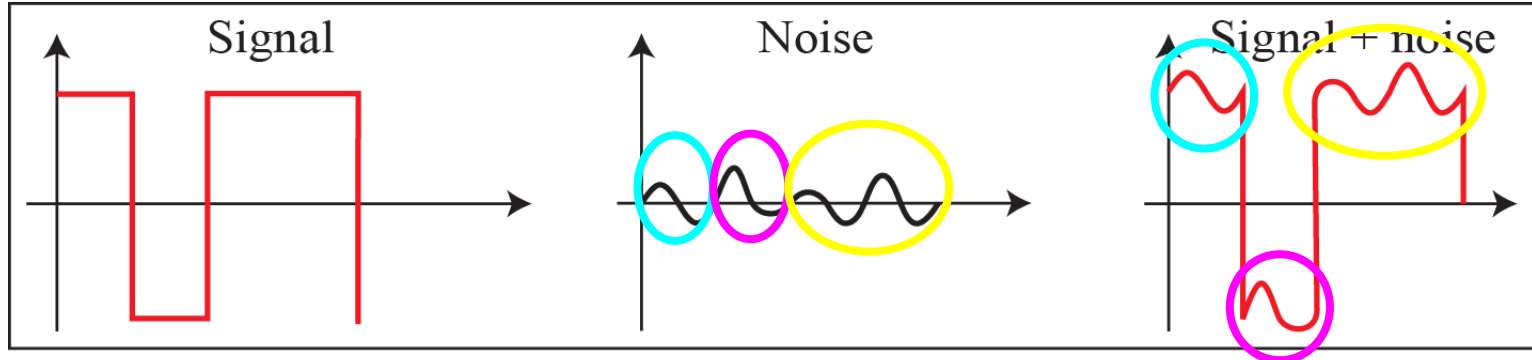
- 열잡음, 유도된 잡음, 혼선, 충격잡음 등
- 신호 대 잡음 비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)
 - ✓ 신호에 대한 잡음의 통계적 비율

$$SNR = \frac{\text{average signal power}}{\text{average noise power}}$$

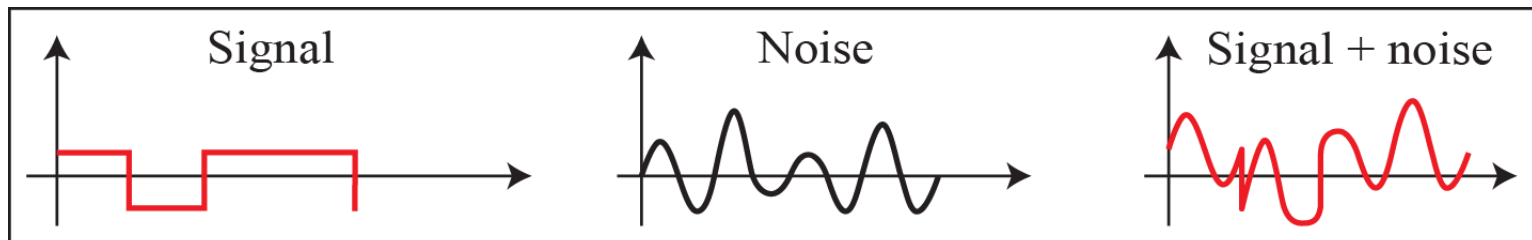
- ✓ 데시벨로 표시: $SNR_{dB} = 10 * \log_{10} SNR$



SNR의 차이 예



a. High SNR



b. Low SNR

§ 5. 데이터 전송률의 한계

■ 전송률을 결정짓는 주요 요소

- ✓ 가용 대역폭
- ✓ 사용 가능한 신호 준위
- ✓ 채널의 품질(잡음의 정도)

■ 전송률 계산

- ✓ 무잡음 채널: 나이퀴스트 수식 (Nyquist bit rate)
- ✓ 잡음 있는 채널: 샤논 수식 (Shannon capacity)

나이퀴스트 전송률(Nyquist Bit-rate)

■ 잡음이 없는 채널의 이론적인 최대 전송률을 정의

■ 전송률 = $2 \times \text{대역폭} \times \log_2 L$

- ✓ 전송률: 초당 비트수
- ✓ 대역폭: 채널의 대역폭
- ✓ L : 데이터를 나타내는데 사용한 신호 준위의 개수

예) 4개 신호준위, 대역폭 3000Hz

- ✓ 전송률 = $2 \times 3000 \times \log_2 4 = 12,000\text{bps}$



예) 잡음이 없는 20 kHz 대역폭을 갖는 채널을 사용하여 265 kbps 의 속도로 데이터를 전송해야 한다. 몇 개의 신호 준위가 필요한가?

✓ 나이퀴스트 공식을 다음과 같이 사용할 수 있다

✓ $265,000 = 2 \times 20,000 \times \log_2 L$

→ $\log_2 L = 6.625 \rightarrow L = 2^{6.625}$

✓ 2의 멍승이 아니므로 2^7 으로 (늘려서) 계산하면 128 개의 준위를 사용 → 비트율은 280 kbps 이 됨.

새논 용량(Shannon Capacity)

■ 잡음이 있는 채널에서의 최대 전송률 결정하는 수식

✓ 채널의 특성을 정의

■ 용량 = 대역폭 $\times \log_2(1+\text{SNR})$

✓ 용량: bps 단위의 채널 용량

✓ 대역폭: 채널의 대역폭

예) 대역폭 3000Hz, SNR=3162

✓ 용량 = $3000 \times \log_2(1+3162) = 34,860\text{bps}$



예) 신호 대 잡음비가 거의 0인, 거의 잡음에 가까운 채널을 생각해보자. 다시 말해, 잡음이 너무 강해서 신호가 아주 약해진 경우이다. 이 채널의 용량은?

샤논의 공식을 다음과 같이 사용할 수 있다

- ✓ 용량 = 대역폭 $\times \log_2(1+0) = \text{대역폭} \times 0 = 0$
- ✓ 채널의 용량이 0이다. 대역폭은 고려되지 않았다. 다른 말로 하자면, 이 채널로는 어떤 데이터도 보낼 수 없다는 뜻이다.

- 실제, 어떤 신호 준위와 어떤 대역폭이 필요한지 알기 위해 두 방법(나이퀴스트, 새넌) 모두 사용함

[문제] 대역폭=1MHz, SNR=63일 때 적절한 전송률과 신호준위?
풀이 :

- 새넌 수식으로 이론적인 채널용량의 상한값 확인
 - $C = 10^6 \log_2(1+63) = 10^6 \log_2 2^6 = 6\text{Mbps}$
- 적절한 값(<6)을 정함 (4Mbps로 정하자)
- 나이퀴스트 공식으로 신호 준위 구함
 - $4\text{Mbps} = 2 \times 1\text{M} \times \log_2 L$
 - $L = 4$ (즉, 필요한 신호준위는 4개)

- 새넌의 용량은 상한값을 알려주고, 나이퀴스트 공식은 몇 개의 신호 준위가 필요한 지 알려준다.

신호에 대한 추가 사항

■ 네트워크 성능 측정하는 특성들

- ✓ 대역폭(Bandwidth)
- ✓ 처리율(Throughput)
- ✓ 전파속도(Propagation Speed)
- ✓ 전파시간(Propagation Time)

■ 파장(Wavelength)

대역폭(Bandwidth)

■ 네트워크에서의 대역폭은 두 가지 의미로 사용

1) 헤르쯔 단위의 대역폭

- 복합 신호의 주파수 영역이나 채널이 통과시킬 수 있는 주파수 영역을 가리킴

2) 비트율 단위의 대역폭

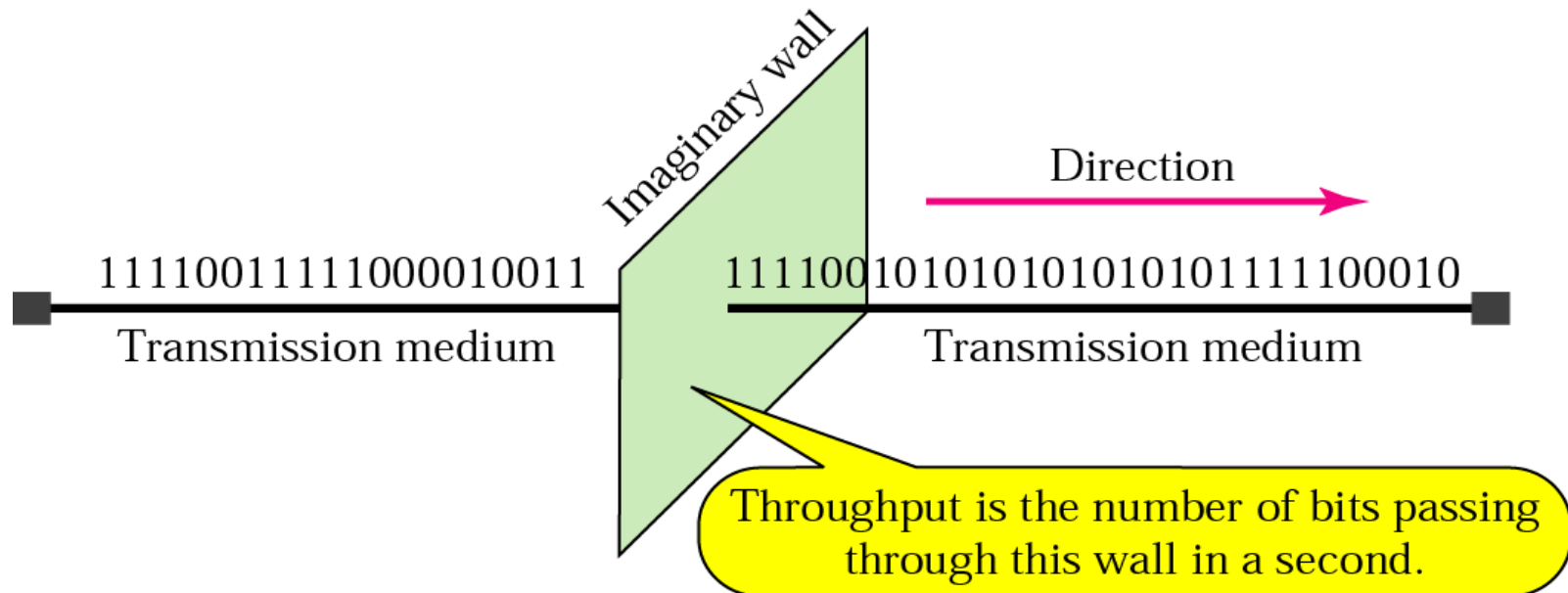
- 비트 전송 속도를 가리킴



처리율(Throughput)

■ 1초 동안 처리(전송)되는 비트수

- ✓ 어떤 지점을 데이터가 얼마나 빠르게 지나가는가 측정

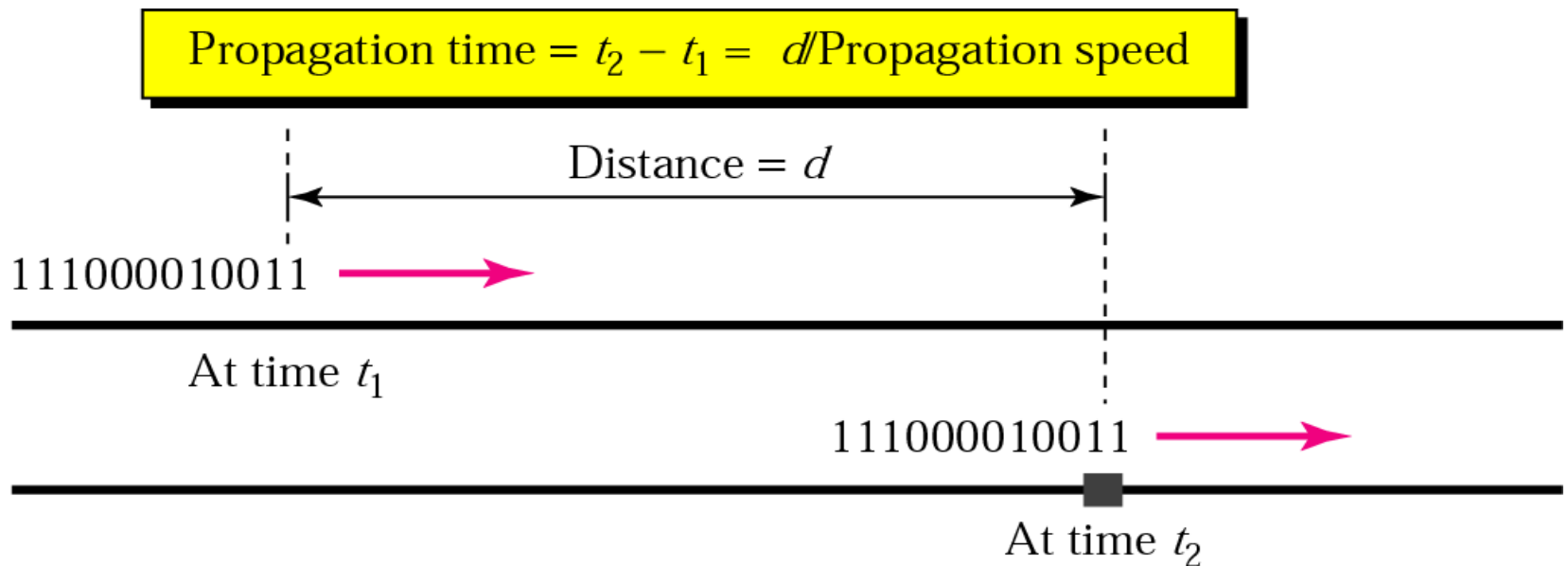


지연(Delay, Latency)

- 발신지에서 첫번째 비트를 보낸 시간부터 전체 메시지가 목적지에 도착할 때까지 걸린 시간
 - ✓ Latency(지연) =
 - propagation time(전파 시간)
 - + transmission time(전송 시간)
 - + queuing time(큐 시간)
 - + processing delay(처리 시간)

전파 시간(Propagation Time)

- 신호(or 비트)가 한 지점에서 다른 지점으로 이동하는데 요구되는 시간
- 전파시간 = 거리 / 전파속도



전파 속도(Propagation Speed)

- 신호가 매체를 통해 1초 동안 이동할 수 있는 거리 측정
- 전자기신호의 전파속도는 매체와 신호의 주파수에 의존
- 예)
 - ✓ 진공에서의 빛: $3 \times 10^8 \text{m/s}$
 - ✓ 광섬유 케이블: $2 \times 10^8 \text{m/s}$
 - MHz~GHz 범위의 주파수에 대해

전송 시간 및 큐 시간

■ 전송 시간(Transmission Time)

- ✓ 메시지를 전송하는데 걸리는 시간
 - 전송하는 메시지 크기와 채널의 대역폭에 좌우됨

$$\text{전송시간} = \frac{\text{메시지 크기}}{\text{대역폭}}$$

■ 큐 시간(Queuing Time)

- ✓ 중간 또는 종단 장치들이 메시지를 처리하기 전까지 메시지를 가지고 있는 시간
- ✓ 네트워크의 통신량에 따라 가변적임 (트래픽이 많으면 큐 시간 길어짐)

[review] 파장: 한 주기동안 단순 신호가 이동할 수 있는 거리

- ✓ 매체를 통해 이동하는 신호의 또다른 특성
- ✓ 주파수와 전송매체에 의존 (파장은 주기에 비례함)

$$\begin{aligned}\text{파장} &= \text{전파속도}(c) \times \text{신호의 주기}(T) \\ &= \text{전파속도}(c) \times 1/\text{주파수}(f)\end{aligned}$$

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$

■ 예: 진공에서 빨강색 빛의 파장

- ✓ 진공에서 빛의 전파속도: $3 \times 10^8 \text{m/s}$
- ✓ 빨강색 빛의 주파수: 4×10^{14}

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^{14}} = 0.75 \times 10^{-6} \text{m} = 0.75 \mu\text{m}$$

3장 - 끝 -

질의응답 & 출석

- ✓ 본 수업에 대한 질의응답은 수업커뮤니티를 활용함
- ✓ 출석 확인을 위한 간단한 문제풀이나 리포트(보고서)를 부여함
 - 학생들은 [과제물제출]에 파일 업로드할 것.

