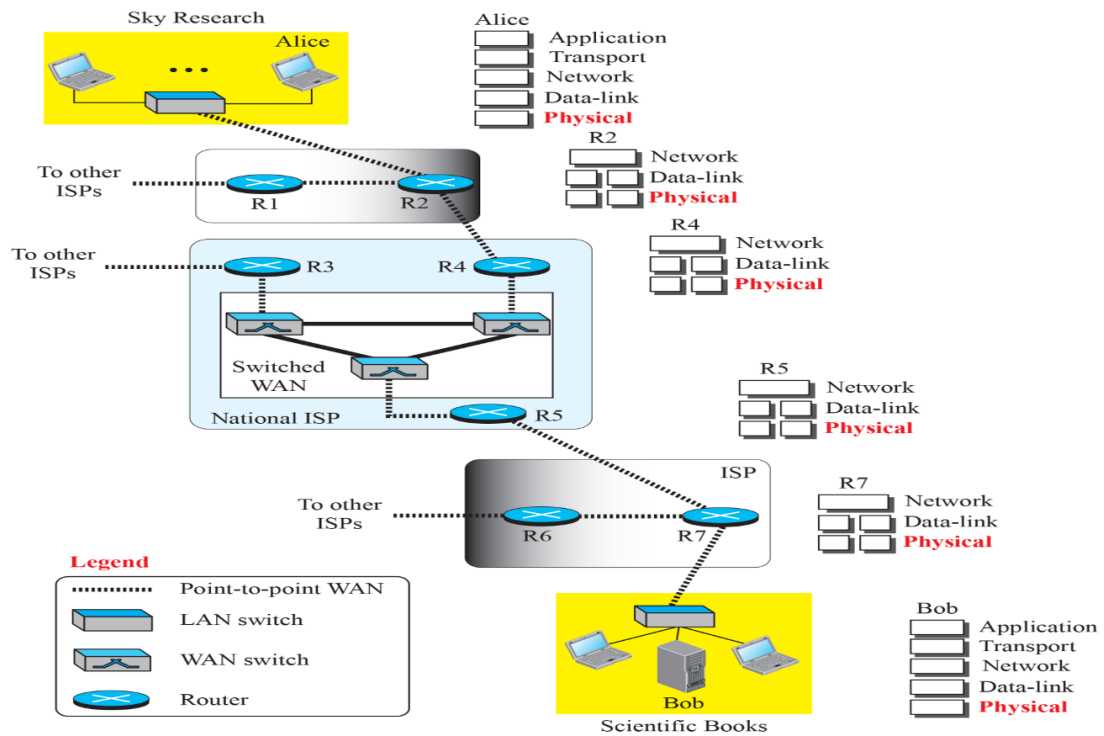




003 Introduction To Physical Layer

✓ 3.1 Data and Signals

- A scenario between Alice and Bob
 - Sky Research 에서 일하고 있는 Alice 는 과학 책을 출간하기 위한 그녀의 연구자료를 Bob 과 communication 해야한다.
 - Alice 와 Bob 사이의 Five level communication
 - Application, Transport, Network, Datalink Layer - Logical communication
 - Physical Layer - Physical communication
- Alice and Bob 은 data 를 교환한다.
 - signal 은 physical layer 에서 교환된다.
- Media 는 data → signal 로 변환해야한다.
 - Data → analog or digital
 - sinal → analog or digital

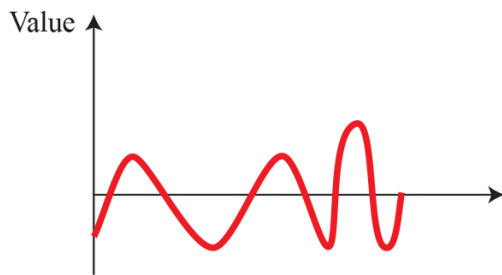


✓ 3.1.1 Analog and Digital Data

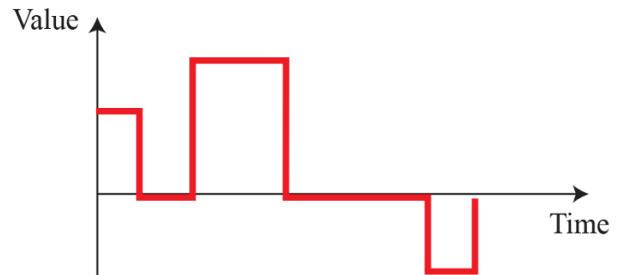
- Data 는 **analog or digital** 이 될 수 있다.
- Analog data 는 **continuo** 한 information 이다. [연속적인]
 - ex) Voice, Temperature, Wave of Earthquake
- Digital data 는 **discrete** 한 information 이다. [이산적인]
 - ex) 0 or 1, digital clock

✓ 3.1.2 Analog and Digital Signal

- Signals 는 analog 일 수도 있고 digital 일 수도 있다.
 - **analog** signal 은 시간이 흐름에 따라 **infinitely many levels of intensity** (무한히 많은 수준의 강도)를 가진다. (그래프에 찍히는 무수히 많은 점)
 - **digital** signal 은 **limited** number of defined values (값이 정의된 한정적인 수)를 가진다.
- Comparison of analog and digital signals



a. Analog signal



b. Digital signal

✓ 3.1.3 Periodic and Non-periodic Signal

- **Periodic signal** 는 **주기 Period** 라고 하는 시간 범위 (time frame) 안에서 **패턴**을 완료하고, 이후 동일한 기간에 거쳐 해당 패턴을 **반복**한다.
 - **One pattern 의 완료**를 **cycle** 이라고 부른다.
- **Nonperiodic signal** 은 **패턴이나 사이클이 나타나지 않고** 변화한다.



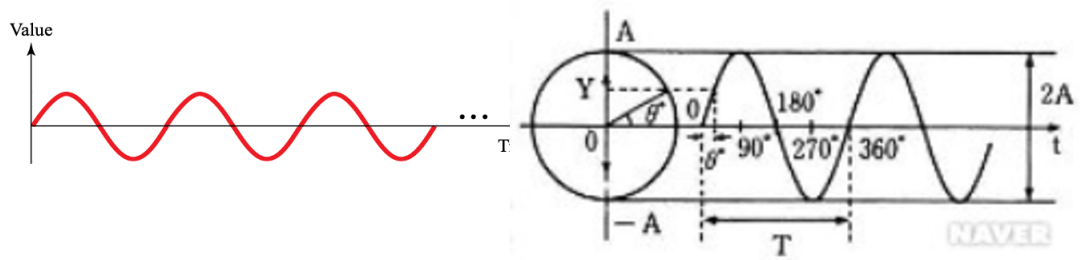
In **data communications** 에서 우리는 보통 **periodic analog signals** 와 **nonperiodic digital signals** 를 사용한다.

✓ 3.2 Periodic Analog Signals

- **Periodic analog signals** 는 simple signal 과 composite signal (단순 신호와 복잡 신호)로 분류 가능하다.
 - **단순** 주기 아날로그 신호는, a sine wave, 더 단순한 신호로 **cannot be decomposed** (분해할 수 없다)
 - **복잡** 주기 아날로그 신호는, **multiple sine** wave 들을 합성한 것이다.

✓ 3.2.1 Sine Wave

- sine wave 는 **periodic analog** signal 의 가장 기본적인 형태이다.
- sine wave 는 세가지 파라미터로 표현된다
 - **peak Amplitude, Frequency, Phase**

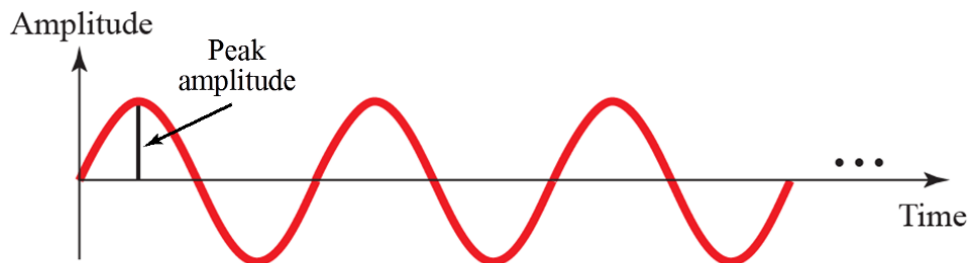


$$S(t) = A \sin(2\pi f t + \theta)$$

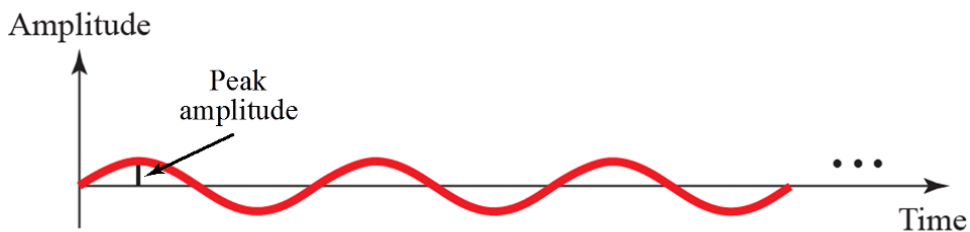
✓ f is frequency

✓ $\theta = 0 \sim 360$ degree

- Two signals with two **different amplitudes**



a. A signal with high peak amplitude

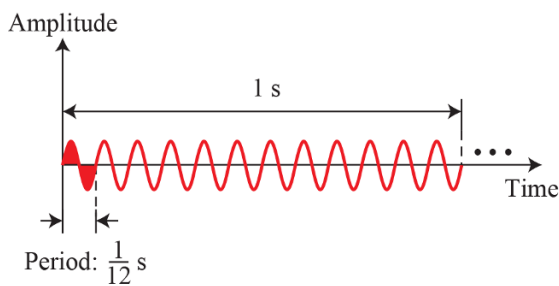


b. A signal with low peak amplitude

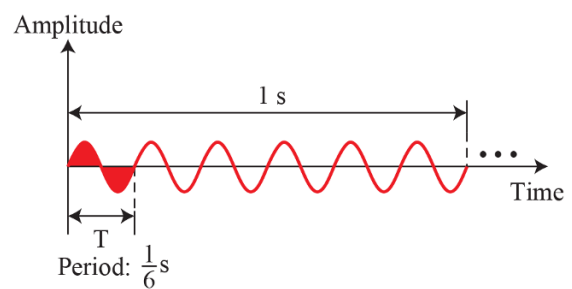
- 같은 phase 와 amplitude 를 가졌지만 **다른 frequency** 를 가진 Two signals

12 periods in 1 s → Frequency is 12 Hz

6 periods in 1 s → Frequency is 6 Hz



a. A signal with a frequency of 12 Hz



b. A signal with a frequency of 6 Hz



signal 이 전혀 변화하지 않으면, frequency 가 **zero** 인 것



signal 이 instantaneously (즉각적으로) 변하면, frequency 가 **infinite** 인 것

- **Period** 는 신호가 1 cycle 을 완료하는데 걸리는 시간의 양
- **Frequency** 는 1s 당 period 의 갯수

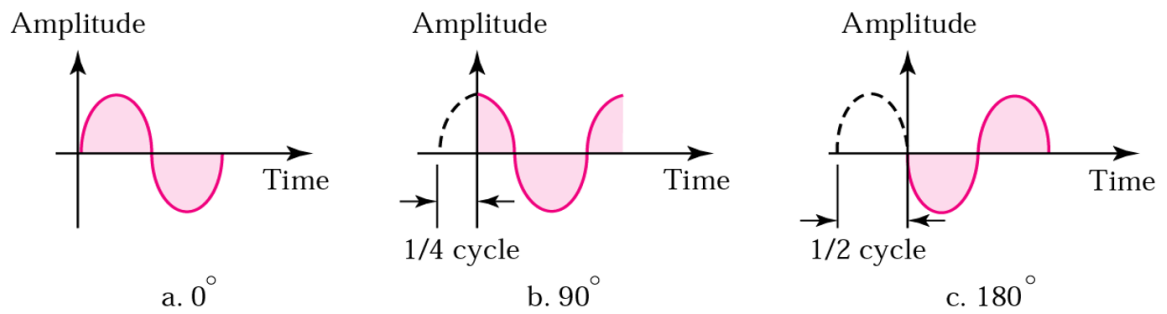
$$f = \frac{1}{T} \quad \text{and} \quad T = \frac{1}{f} \quad f \text{ is frequency and } T \text{ is period.}$$

- Units of period and frequency

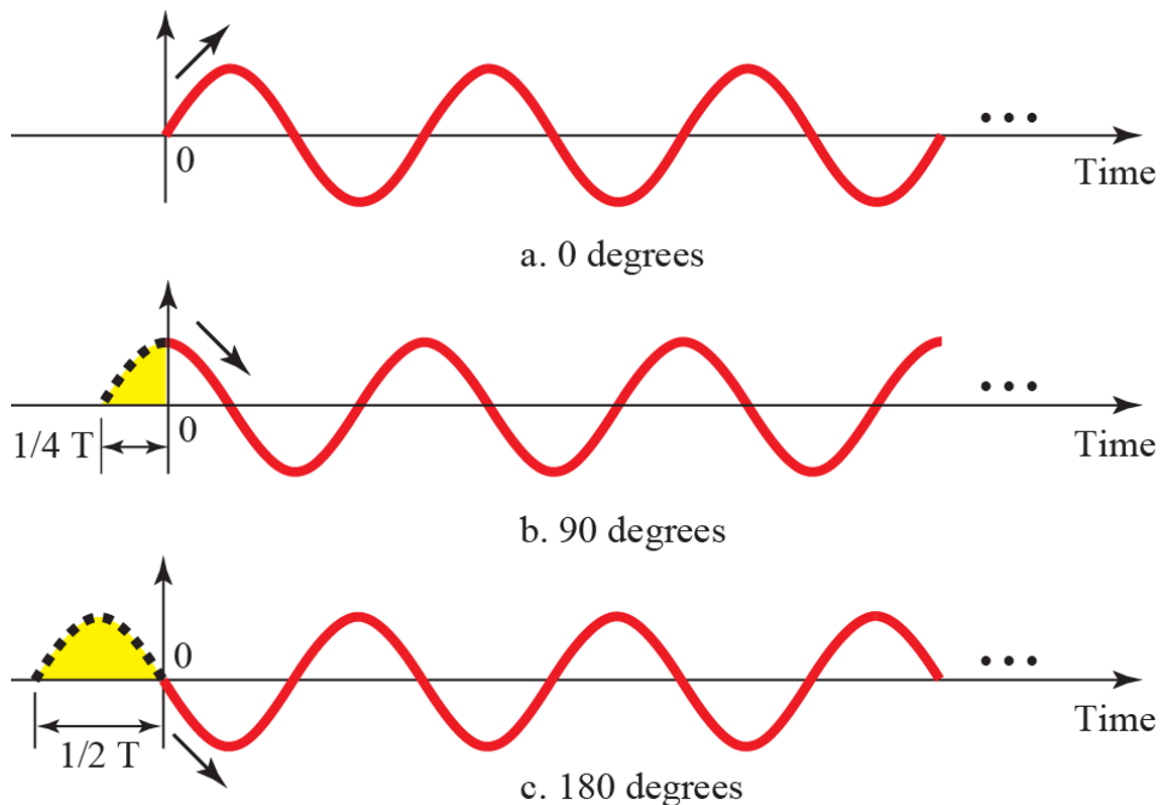
<i>Period</i>		<i>Frequency</i>	
<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>	<i>Unit</i>	<i>Equivalent</i>
Seconds (s)	1 s	Hertz (Hz)	1 Hz
Milliseconds (ms)	10^{-3} s	Kilohertz (kHz)	10^3 Hz
Microseconds (μ s)	10^{-6} s	Megahertz (MHz)	10^6 Hz
Nanoseconds (ns)	10^{-9} s	Gigahertz (GHz)	10^9 Hz
Picoseconds (ps)	10^{-12} s	Terahertz (THz)	10^{12} Hz

✓ 3.2.2 Phase

- **phase** 는 **time = 0 일 때를 기준**으로 waveform (파형)의 **position** 을 설명한다.
- 만약 파형이 시간 축(time axis)을 따라 backward 나 forward 로 이동하면, phase 는 이 변화의 **amount** 를 설명한다.
- 첫번째 사이클의 상태를 나타낸다.



- 다른 위상 (phase) 를 가지는 세 가지 sine waves

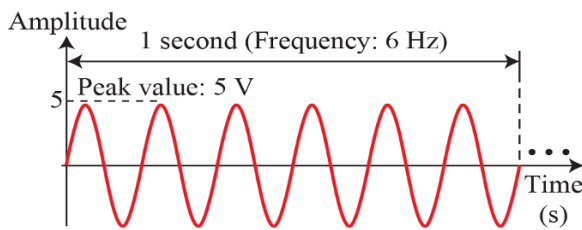


✓ 3.2.4 Time and Frequency Domains

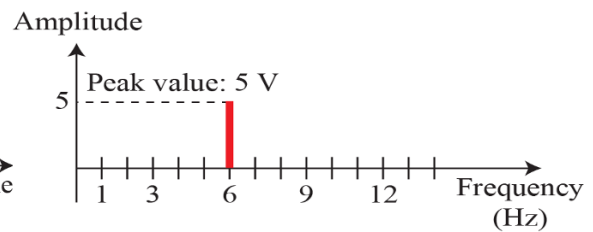
- Time Domain Plot
 - 시간에 대한 **signal amplitude** 의 **변화**를 보여준다. (amplitude-versus-time plot)
 - Phase 는 time-domain plot 에서는 명확히 드러나지 않는다.
- Frequency Domain Plot
 - **amplitude** 와 **frequency** 사이의 관계에 대해 보여준다.
 - 오직 peak value 와 frequency 에 대해서만 고려한다.

- amplitude 의 변화는 보이지 않는다.

- Single sine waves



a. A sine wave in the time domain

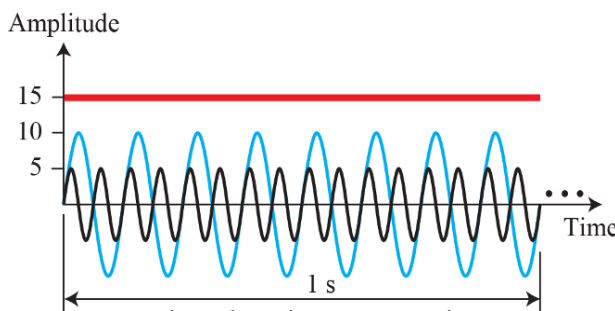


b. The same sine wave in the frequency domain

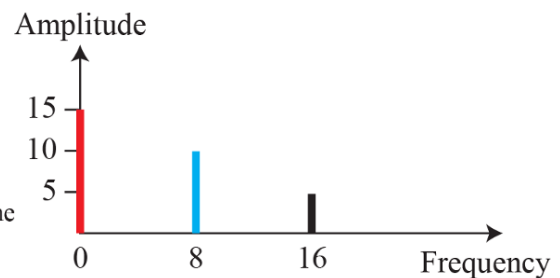


time domain 에서 **완벽한 sine wave** 는 frequency domain 에서 하나의 **single spike** 로 표현될 수 있다.

- Three sine waves



a. Time-domain representation

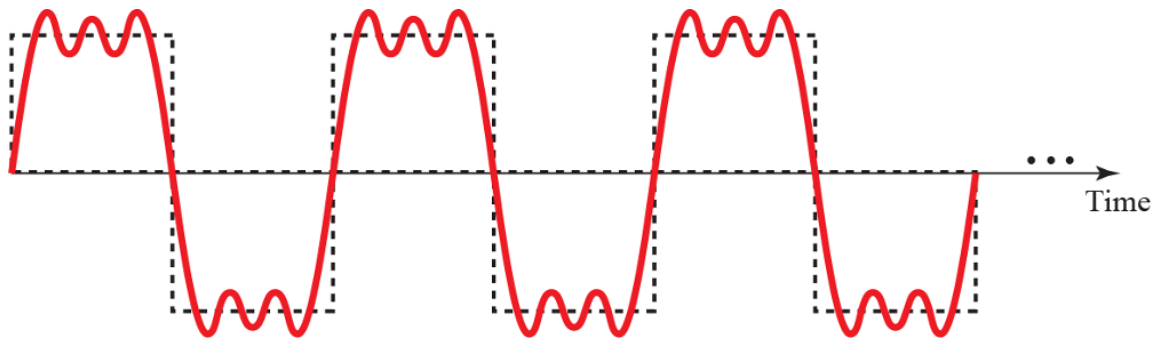


b. Frequency-domain representation

- A single-frequency sine wave 는 **data communication** 에서 유용하게 쓰이지 않는다.
- 우리는 **많은 simple sine waves** 로 만들어진 composite signal 을 전송할 필요가 있다.

✓ 3.2.5 Composite Signals

- A periodic composite signal with frequency f . (주기 복잡 신호)



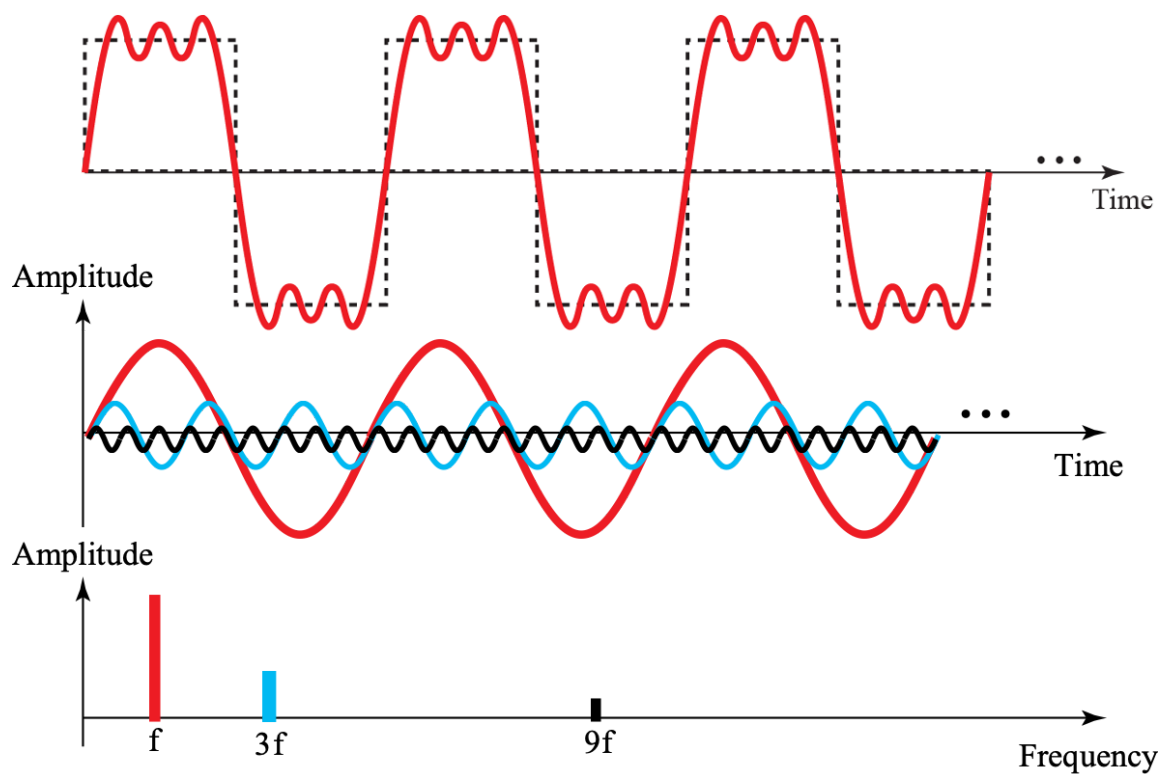
- simple sine waves 의 집합으로 신호를 (수동) decompose 하는 것은 아주 어렵다.
- Fourier Series



Fourier analysis 에 따르면, 어떤 **composite signal** == [다른 frequencies, amplitudes, phases 를 가지는 **simple sine waves** 의 **combination**] 이다.

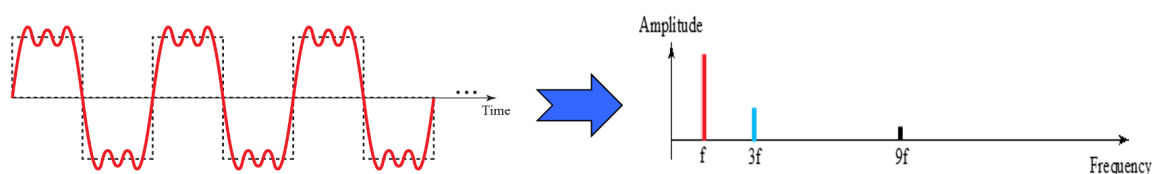
🔥 Example 3.8

- Decomposition of composite periodic signal

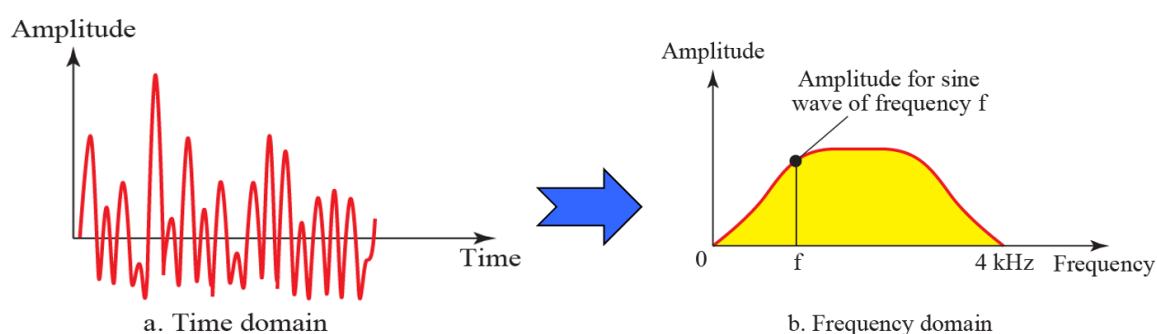


b. Frequency-domain decomposition of the composite signal

- Decomposition of **Periodic composite** signal
 \Rightarrow discrete frequencies 를 가지는 일련의 신호들



- Decomposition of **Nonperiodic composite** signal
 \Rightarrow continuous frequencies 를 가지는 일련의 신호들

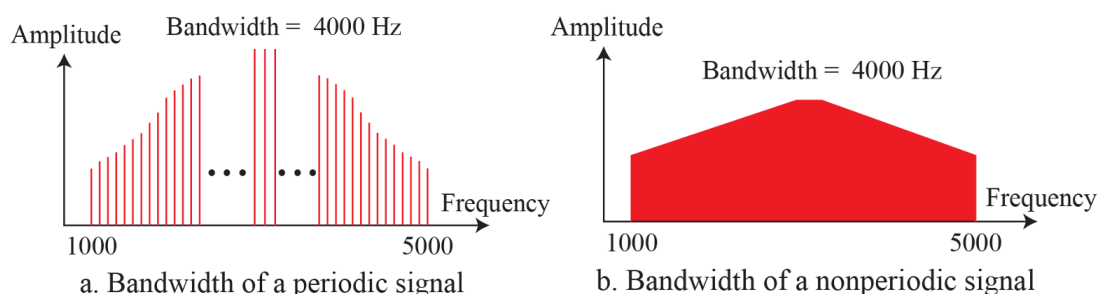


✓ 3.2.6 Bandwidth

- composite signal 에 포함된 **frequencies 의 범위 = bandwidth**
 - 만약 composite signal 이 1000 ~ 5000 사이의 frequencies 를 가진다면, 이 신호의 bandwidth 는 $5000 - 1000 = 4000$



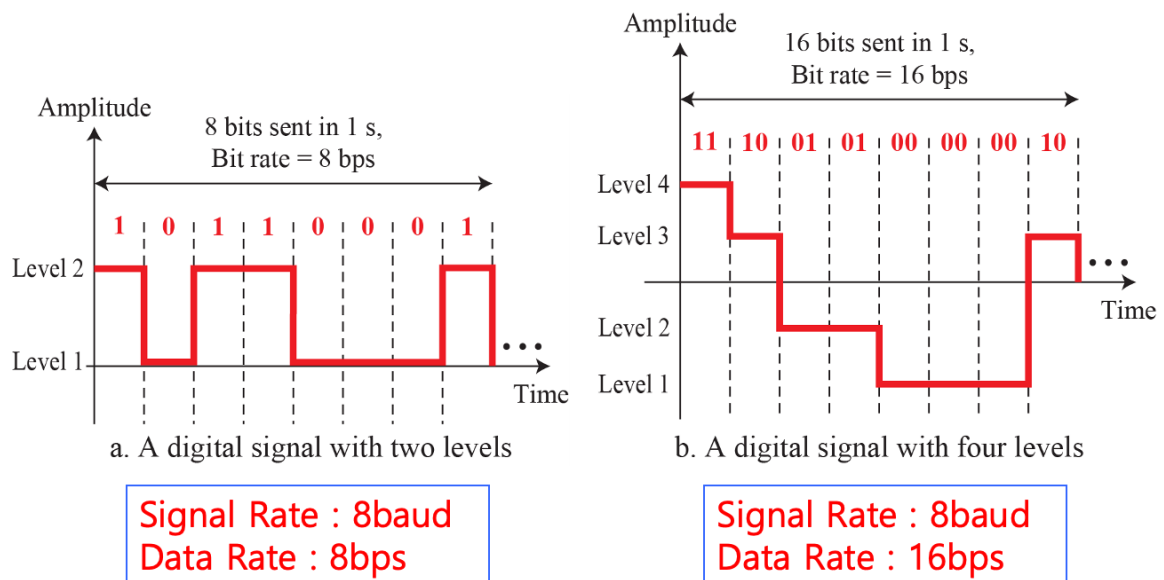
composite signal 의 **bandwidth** 는 이 신호의 **최고 frequencies - 최저 frequencies**



✓ 3.3 Digital Signals

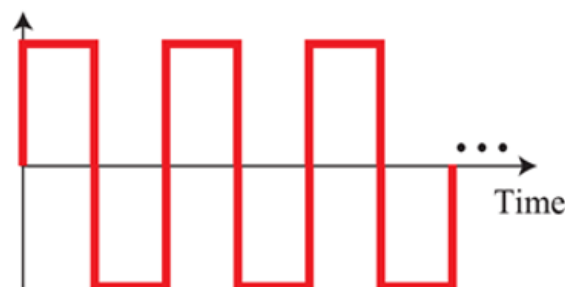
- Information 은 digital signals 로 표현될 수 있다.

- 예를 들어, 1 은 positive 전압으로, 0 은 zero 전압으로 encode 될 수 있다.
- digital signal 은 두 개의 level을 더 가지고 있다.
 - 이 경우, 우리는 각 level 을 위해 1 bit 이상을 전송할 수 있다.
- Two digital signals

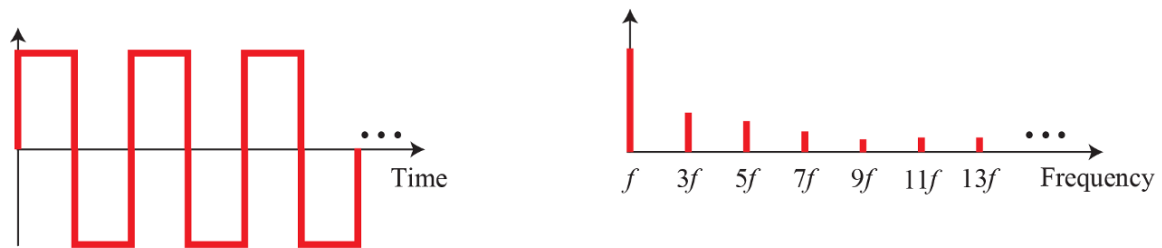


✓ 3.3.3 Digital as Composite Analog

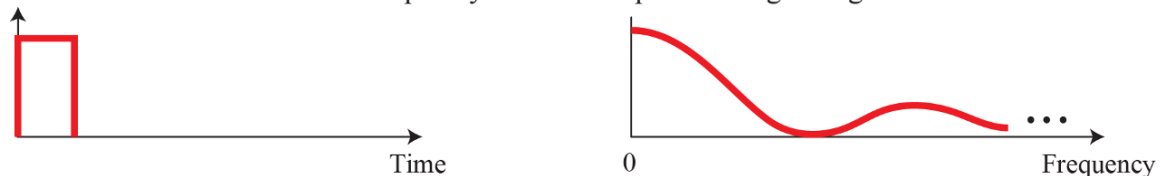
- **digital signal** 은 **bandwidth** 가 **무한한 composite analog signal** 이다.
- digital signal 은 **time domain**에서 vertical line segment 와 horizontal line segment 를 연결한다.
 - **Vertical line** 은 **무한의 주파수**를 의미한다.
 - **Horizontal line** 은 **0의 주파수**를 의미한다.
- 0 → 무한대로 가는 주파수는 **모든 주파수**들이 이 도메인의 일부분이 된다는 것을 의미한다.



- **Periodic & Nonperiodic** 한 digital signals 의 시간과 주파수 domain



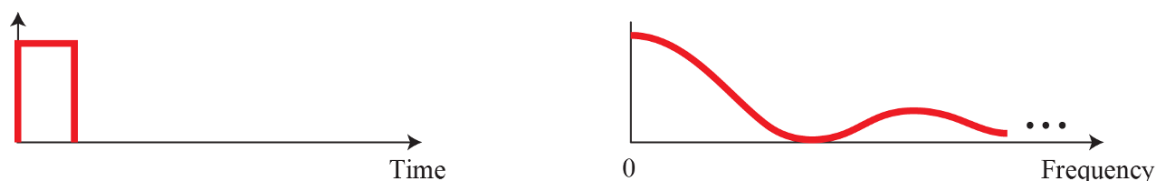
a. Time and frequency domains of periodic digital signal



b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

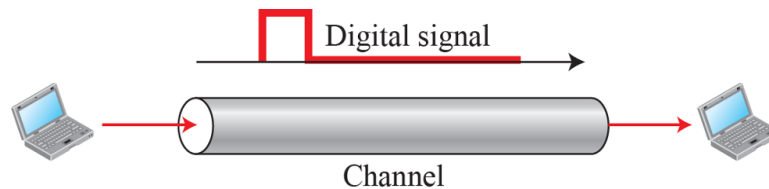
✓ 3.3.4 Transmission of Digital Signals

- **digital** signal 은 **무한한 bandwidth** 를 가지는 **composite analog signal** 이다.

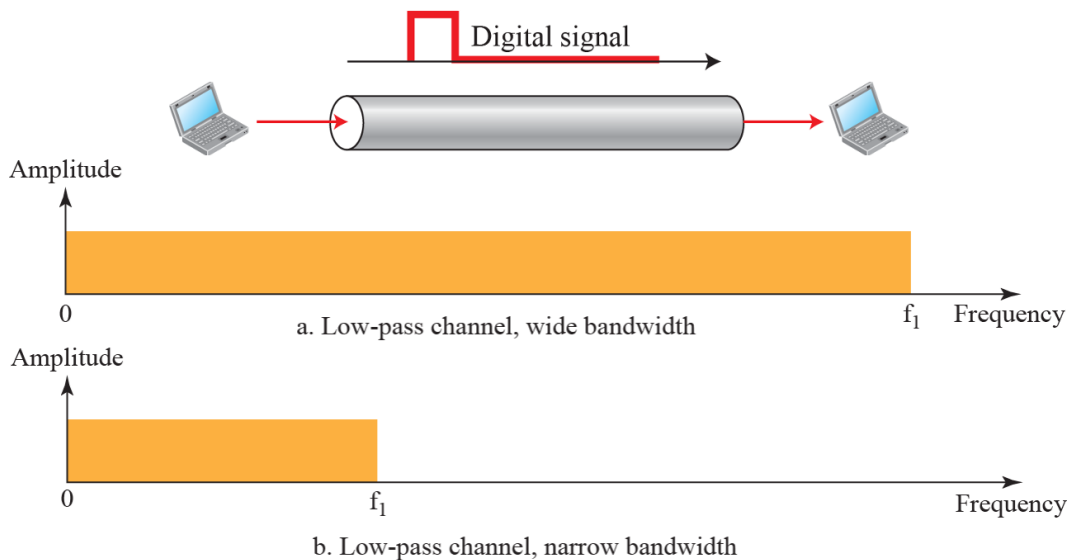


b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

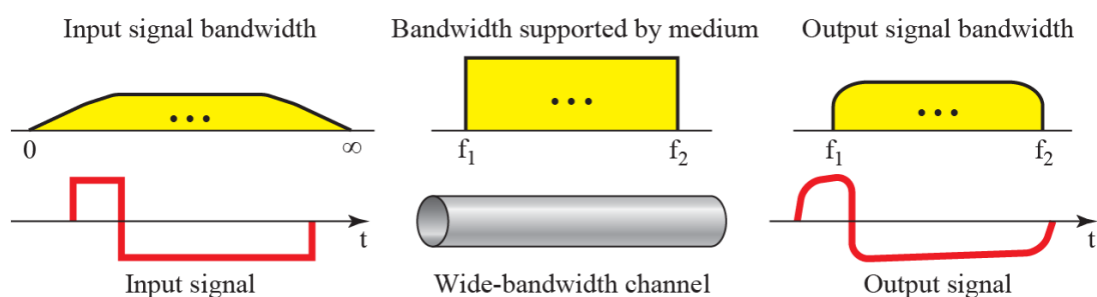
- Transmission of Digital Signals
 - Baseband Transmission
 - Broadband Transmission
- Baseband Transmission
 - **Modulation changing (digital signal → analog signal) 없이** 채널을 통해 **digital signal** 을 전송하는 것을 의미한다.
 - Baseband Transmission 은 **0부터 시작**하는 bandwidth 를 가지는 **전용 low-pass channel** 이 필요하다.
 - Baseband 는 'low-pass 나 non-modulated' 라고도 부른다.



- **Digital signal** 의 모양을 보존하는 digital signal 의 **Baseband** transmission 은 오직 ‘무한하거나 아주 넓은 bandwidth’를 가지는 **low-pass channel** 이 있을 때만 가능하다.

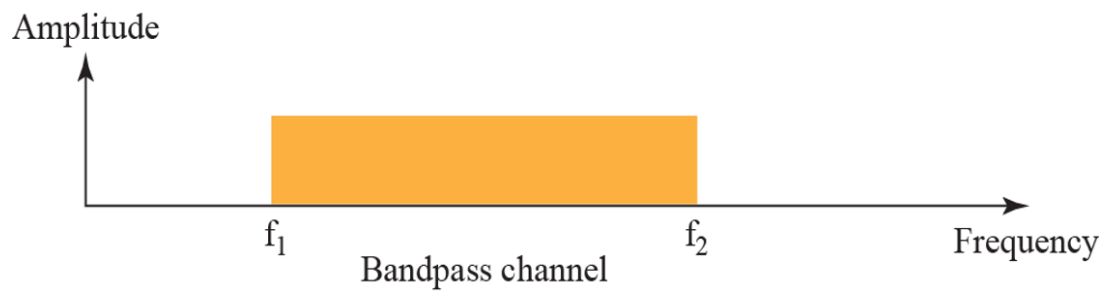


- Case 1 : Low-pass Channel with Wide Bandwidth
 - sender 와 receiver 사이의 무한한 대역폭을 가지는 전용 매체

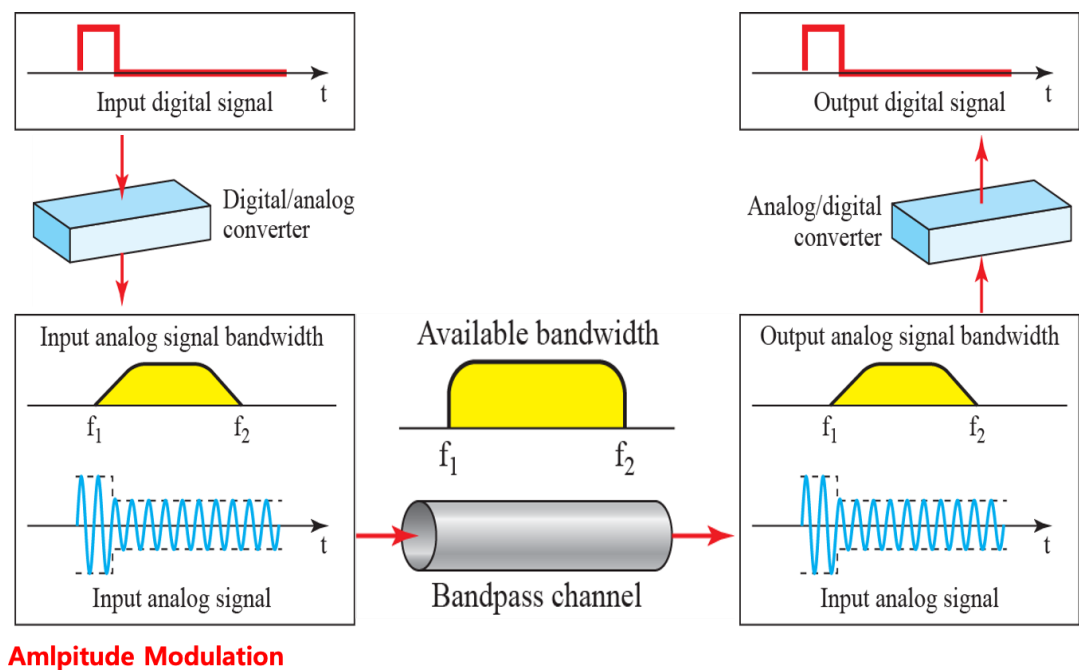


- f_1 은 ZERO에 가깝고, f_2 는 매우 높다.
 - 전체 대역폭이 하나의 채널로 사용되는 **전용 채널**의 예시로 **LAN** 이 있다.
- Broadband Transmission (Using Modulation)
 - 만약 사용 가능한 채널이 **bandpass channel** 이라면, 우리는 **digital signal** 을 채널로 **곧바로 전송할 수 없다**.

- 우리는 **digital** signal → **analog** signal 로 전송하기 전에 **convert** 해야한다. ⇒ Modulation



- band-pass channel 로 digital signal 을 전송하기 위한 Modulation



🔥 Example 3.25

- Example of Broadband Transmission
 - computer **data** 를 제한된 대역폭을 가진 **telephone** line 을 통해 보내기
 - Digital Cellular telephone
 - Digital **Cellular phones** 는 analog voice signal → digital signal 로 변환한다.
 - bandpass channel 은 caller 와 callee 사이에서 사용될 수 있다.
 - 우리는 전송하기 전에 **digitized voice** 와 **composite analog signal** 을 변환할 수 있다.

✓ 3.7 Summary

- Analog & Digital
 - Data 는 Analog & digital 모두 될 수 있다.
 - Signal 은 Analog & digital 모두 될 수 있다.
- data communication에서, 우리는 periodic analog signal 이나 nonperiodic digital signal 을 사용할 수 있다.
 - Sine Wave - Frequency, Amplitude, Phase
 - Composite Signal - Bandwidth
- Digital signal 은 무한한 대역폭을 가진 composite analog signal
 - Baseband Transmission 은 무한하거나 아주 넓은 대역폭을 가진 low-pass channel 에서 가능하다.
 - band-pass channel 에서, digital signal 은 analog signal 로 변환이 필요하다.
- Bit Rate
 - Nyquist bit rate formula 는 noiseless channel 의 최대 bit rate 를 정의한다.
 - Shannon capacity 는 noisy channel 의 최대 bit rate 을 찾는데 사용된다.
- Transmission Impairment
 - Attenuation, distortions, and noise 는 신호를 손상시킬 수 있다.