# 「3장. Introduction to Physical Layer」

## Data의 종류

Data [ Analog : 연속적인 (continuous) Data
Digital : 이산적인 (Discrete) Data

데이터를 전송하기 위해서는 signal로 바꿔야 한다.

## Signal

Signal [ Analog : 무한대의 진폭 ($f(x)$ or Level)을 가진다.
Digital : 유한대의 진폭 ($f(x)$ or Level)을 가진다.

## Signal

Analog 나 Digital 이냐로 구분할수도 있고,
Periodic 인지 Nonperiodic 인지로도 구분할 수 있다.

## Periodic signal

패턴이 반복적으로 나타나는 signal
↳ 이 때, 패턴 1개를 cycle이라 한다.

## NonPeriodic signal

비주기적인 signal

## 조합

∴ 나올 수 있는 signal 조합

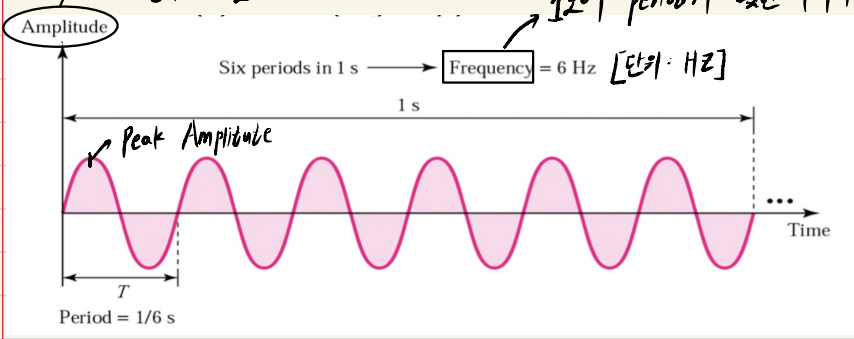
- periodic Analog
- periodic Digital
- Nonperiodic Analog
- Nonperiodic Digital

⇒ 이중, Data communication 에서는
periodic Analog
NonPeriodic Digital만 사용☆

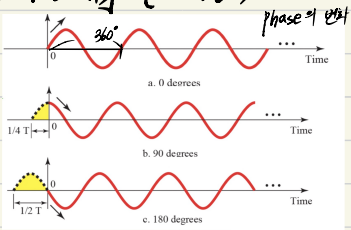
## Periodic analog Signal

### Sine wave

사인파는, Periodic Analog signal의 가장 기본적인 형태

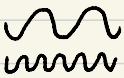



Amplitude : 진폭 (세기) [단위 : V (volt)]
Frequency : 1초에 period가 나타나는 횟수 [단위 : Hz]
phase : 0초일때 신호의 위치 [단위 : degrees or radians] (0 ~ 360°)
period : 한개의 피던이 나오는데 걸리는 시간 [단위 : s]
↳ $\frac{1}{\text{Frequency}}$




Wavelength ($\lambda$) : 1 period 동안 이동한 거리 [단위 : m]
↳ frequency와 통신매체에 의존한다.

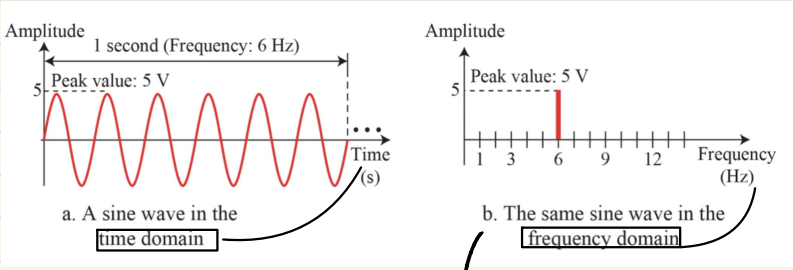
$\therefore f \propto \frac{1}{\lambda}$



↳ 왜? f가 커지면 → period가 줄음 → 거리 짧아짐 ($\lambda$감소)

## Time domain & frequency domain

signal을 시간에 대하여 표현 ⇒ Time domain
signal을 frequency에 대하여 표현 ⇒ Frequency domain




Phase 알 수 없음
정보 바뀌는데 왜 사용하는가?
⇒ composite signal 때문

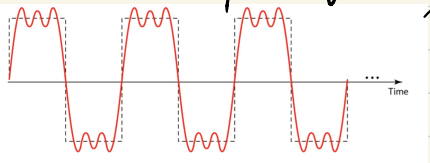
## Composite signal

Composite signal은 여러 sine wave의 합이다.
⇒ Analog 신호이다 ☆

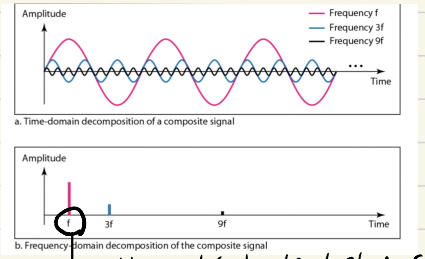
### Periodic Composite signal

↳ 유한개의 sine wave로 나눌 수 있다.
⇒ discrete frequency graph로 나타낼 수 있다.

Periodic Composite signal




유한개의 sine wave로 나눌 수 있다.

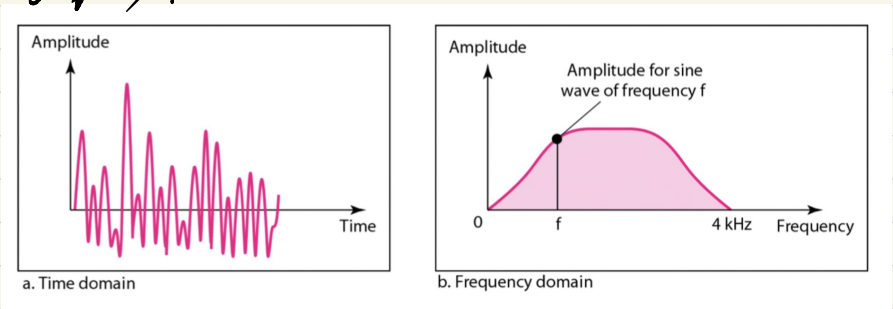



↳ 최소 주파수가 기준이 되어 f로 표현

## Non Periodic Composite Signal

↳ 무한개의 sine wave로 나누어진다.

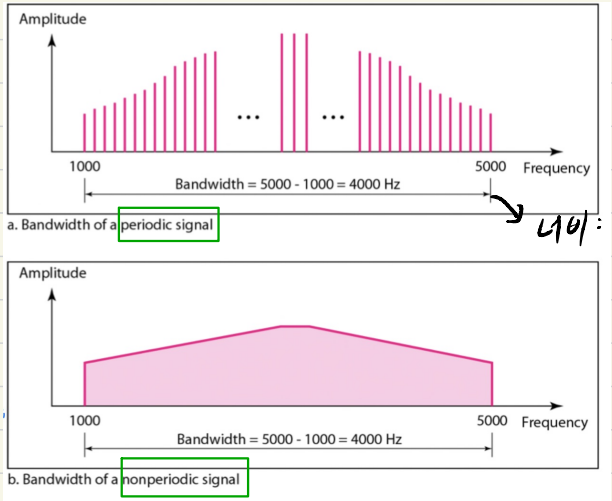
→ frequency가 연속적이다




## Band width

↳ 대역폭 [단위 : Hz]

composite signal에서, 최대 frequency − 최소 frequency == spectrum의 너비




너비 : Bandwidth

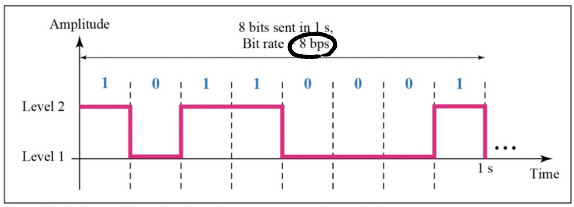
frequency spectrum : 1000 ~ 5000

spectrum의 너비 == Bandwidth == 4000 Hz

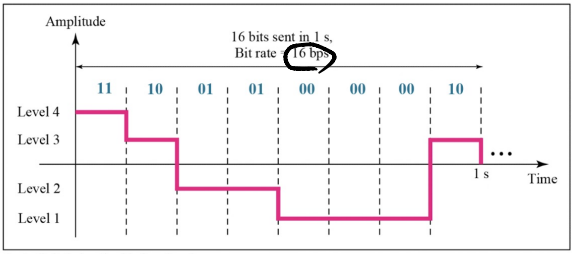
## Digital signal

### Levels

Digital signal의 level 수에 따라 Bit rate가 변한다.




a. A digital signal with two levels




b. A digital signal with four levels

Level 2 : 2개의 Amplitude 표현
⇒ 1 bit 표현 가능
↳ 0 or 1

Level 4 : 4개의 Amplitude 표현
⇒ 2 Bit 표현 가능
↳ 00
01
10
11

Level $2^n$ : n Bit 표현 가능

### Bit rate

1초에 보내지는 Bit의 수. 단위 : [bps (bits per second)]

### Bit length

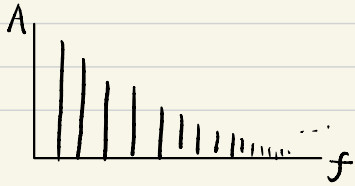
한 비트가 전송매체에서 차지하는 길이. 단위 [m (m/s * s)]

Bit length = propagation speed * bit duration

↳ $\frac{1}{\text{bit rate}}$

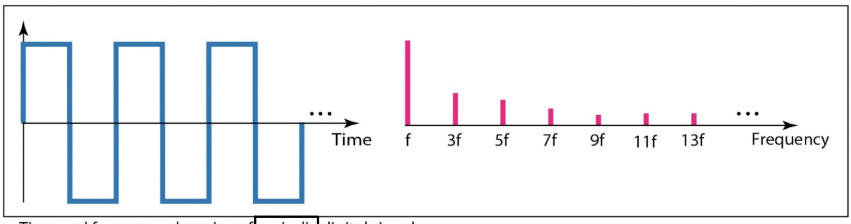
☆ Digital signal is a composite analog signal with an infinite bandwidth

⇒ Digital signal == spectrum이 0 ~ ∞인 composite analog signal

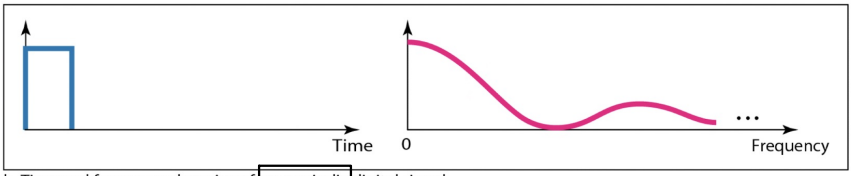


## Digital signal 종류

Digital signal < Periodic digital / NonPeriodic digital → 둘 다 spectrum은 0 ~ ∞ 내고




a. Time and frequency domains of periodic digital signal




b. Time and frequency domains of nonperiodic digital signal

## Digital signal Transmission

Digital signal의 전송방식 { Baseband : 변환없이 digital 그대로 전송
Broadband : digital → analog signal로 변환 후 전송

## Baseband

Baseband : digital signal을 변환 없이 그대로 전송

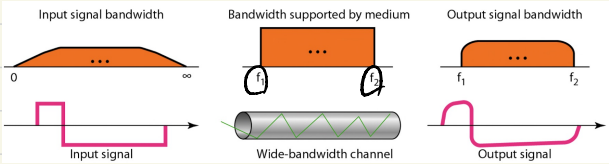
### Low-Pass channel

↳ Bandwidth가 0부터 시작하는 channel
↳ digital signal의 bandwidth를 충족

Bandwidth를 넓게 지원하는 low-pass channel일수록 좋다!
⇒ Digital의 Bandwidth가 ∞이기 때문.

But! 현실에서는 wide와 narrow한 경우 둘 다 존재한다.

Wide Bandwidth channel의 경우




$f_1 <<< f_2$ : 간격 큼
⇒ 거의 신호가 보존됨

narrow Bandwidth channel의 경우
Analog signal로 '변조'하여 보낼
Analog signal ⇒ odd infinite하게 겹쳐짐 ⇒ square wave ⇒ digital signal

**Baseband의 한계**
↳ channel의 Bandwidth가 거의 infinite해야 데이터 손실이 적다.

이 경우, **Bandwidth ∝ bit rate** 이다.

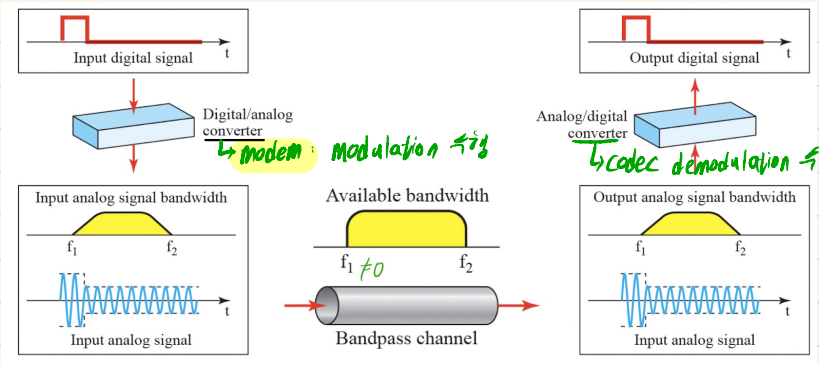
## Broadband

Broad band : Modulation을 사용하여 digital → Analog signal로 변환 뒤에 전송

## Band pass channel

↳ bandwidth가 0에서 시작하지 않는 channel

⇒ Digital은 0 ~ ∞ 대역이기 때문에 Analog로 바꿔서 보내야 함




ex) 전화선을 통해 Computer data 전송

↓ limited bandwidth ↓ digital

∴ digital $\xrightarrow[\text{modulation}]{\text{modem}}$ Analog 변환 필요

## Transmission impairment

Transmission impairment 발생 이유
- Attenuation : 감쇠
- Distortion : 왜곡
- Noise : 잡음

## Attenuation

신호가 전송되면서 에너지 손실 발생.

### Decibel (dB)

↳ 신호의 상대적인 세기

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

dB
- (+) : $P_1 < P_2$ : 신호 세짐
- (−) : $P_1 > P_2$ : 신호 약해짐

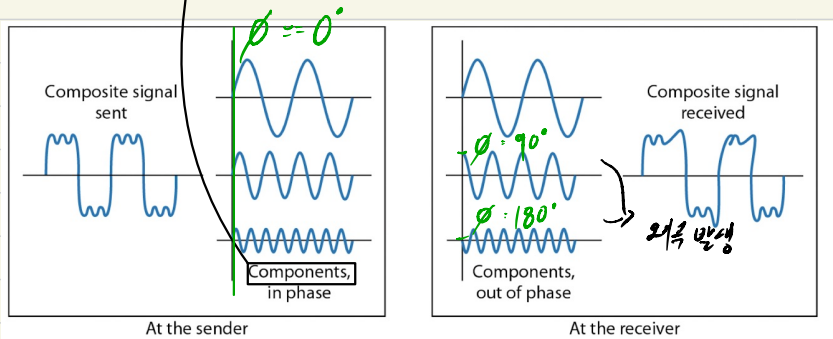
⇒ 양/음으로 상대적 세기 파악 용이하다.

## Distortion

신호의 모양이 바뀜

why? ⇒ Fourier components의 전송 속도가 다르기 때문이다.

↳ composite signal의 구성요소




equalizer로 약간 해결 가능

## Noise

Unwanted energy가 신호에 섞이는 것

why? ⇒ ① Thermal noise : medium과 신호가 부딪히면서 열 잡음 발생
② Induced noise : 모터 등에 의해 발생
③ Crosstalk : 혼선. ex) 선 교차로 옆집 전화 들림
④ Impurse noise : 번개 등으로 인한 충격 잡음 발생

## SNR

↳ Signal-to-Noise Ratio

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

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} SNR$$

| 상식 note | |
|---|---|
| Kilo : $10^3$ | mili [m] : $10^{-3}$ |
| Mega : $10^6$ | micro [μ] : $10^{-6}$ |
| Giga : $10^9$ | nano : $10^{-9}$ |
| Tera : $10^{12}$ | pico : $10^{-12}$ |

**SNR은 클수록 좋다!**

↳ 분모 (Noise)는 해결 못하므로, signal을 세져 해야한다.

Noise : 0 ⇒ SNR : ∞

현실에서는 불가능

## Data rate Limit

Data rate Limit : 데이터 전송 속도의 이론적 상한값
⇒ Link의 capacity에 대해 말하는 것

## Nyquist

Nyquist Bit Rate : Noise가 없는 (이론 상의) 상한 값

$$\text{Bit rate} = 2 \times \text{Bandwidth} \times \log_2 L \quad [\text{bps}]$$

Bit rate $\propto$ Bandwidth, Levels

## Shannon

Shannon Capacity : Noise가 있는 상한 값

$$\text{Capacity} = \text{Bandwidth} \times \log_2(1 + \text{SNR})$$

Capacity $\propto$ Bandwidth, SNR
∴ SNR이 0일 경우 ( Noise 아주 큼) Capacity = 0, regardless of Bandwidth

## Performance

네트워크 (데이터 통신)의 성능

성능은 2가지 척도로 표현된다.
- Throughput (처리량)
- Delay (지연)

## Throughput

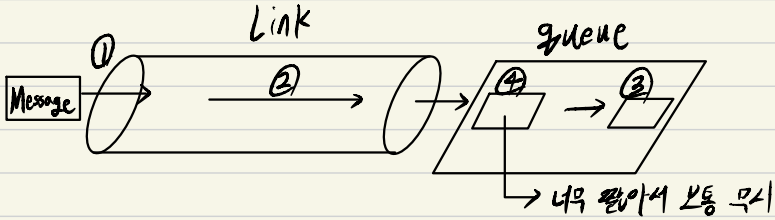
Throughput (처리량) : 얼마나 빠르게 데이터를 보내는가. [bps]

$$\text{Throughput} = \underbrace{[\text{bits/frame}]}_{\text{1 frame이 전달하는 bit 수}} \times \underbrace{[\text{frame/s}]}_{\text{1초에 전달되는 프레임 수}}$$

결과 : [bps]

## Latency

Latency (Delay)의 종류 — ① Transmission Time
② propagation delay
③ Queuing delay
④ processing time




### Transmission time

↳ 링크에 집어넣는데 걸리는 시간

$$\text{Transmission time} = \frac{\text{message size}}{\text{data rate}}$$

↳ 링크의 굵기에 영향 받음

### Propagation delay

↳ 링크 내에서 하나의 bit가 이동하는데 걸리는 지연/시간

$$\text{Propagation delay} = \frac{\text{distance}}{\text{propagation speed}}$$

## Queuing delay

↳ 패킷이 처리되기 전까지 대기 시간

Network의 상황 (load)에 따라 커질수도 있음

① + ② + ③ 에서 dominant factor는 달라질 수 있다.
ex) 패킷이 큰 경우, 거리가 너무 먼 경우 등

## Bandwidth-Delay product

Bandwidth → 교재에서는 Bandwidth로 명명했지만 사실은 data rate다.

data rate × Delay ⇒ link를 꽉 채웠을 때, 몇 비트가 들어가는가?
⇒ 즉 장거리 고속 링크 성능 분석에 사용한다.
장거리 ↓ propagation delay 큼
고속 ↳ data rate 큼

ex) Data rate = 5bps
Delay = 5s
Data rate * Delay = 5 [bits/s] * 5 [s] = 25 [bits]

∴ 링크의 bit 한계: 25 bit

⚠ In transit bit가 많을수록 고장에 유의해야 한다!

⇒ 고장나면 데이터 많이 유실