

CHAPTER 01

디지털 신호 처리의 개요

Introduction of Digital Signal Processing

온성권
전자통신공학과

23-2학기

Contents

1.1 Introduction - 서론

1.2 Signal and System - 신호와 시스템

1.3 Digital Signal Processing - 디지털 신호 처리

1.4 Basis of Signals - 신호와 관련한 기초 개념

Digital Era - 디지털 시대

● 디지털 시대의 도래

- 디지털은 21세기의 시대적 아이콘
- 디지털 기술과 제품의 보편화 ← 다기능, 고성능, 편리성, 경제성
(예) 컴퓨터, 휴대전화, 디지털 카메라, MP3, PMP, DVD, HDTV 등
- 디지털 신호 처리의 필요성과 중요성은 더욱 커짐



[그림 1-1] 생활에서 사용되는 디지털 제품들

Digital Era - 디지털의 특징

- 모든 대상(신호)이 단순한 숫자의 나열(수열)로 변환

- 적용 대상을 가릴 필요 없이 여러 신호를 하나의 틀에서 통합적으로 다룰 수 있음

(예) 아날로그 : 문서=타자기, 음악=오디오, 동영상=TV
디지털 : 컴퓨터, 스마트폰

- 신호의 조작이 보다 단순하고 쉬우며 훨씬 다양한 처리가 가능함

- S/W의 힘을 빌어 H/W 단독으로는 불가능한 처리를 제공할 수 있음

Signal - 신호

● 물리량의 변화 형태를 담은 일련의 정보/자료의 집합

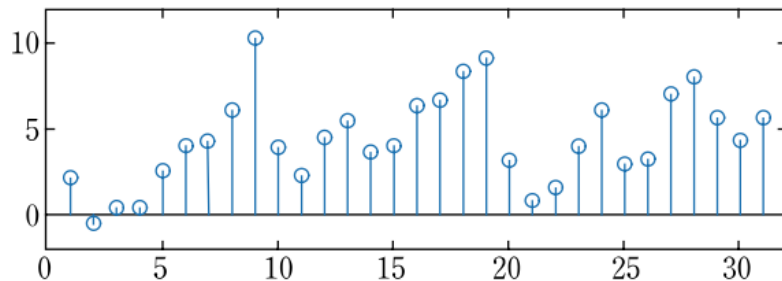
(예) 월별 평균 기온, 전압, 전류, 심전도(ECG), 뇌전도(EEG), 주식가격 등

- 신호는 다양한 형태 또는 표현 방식으로 나타낼 수 있음

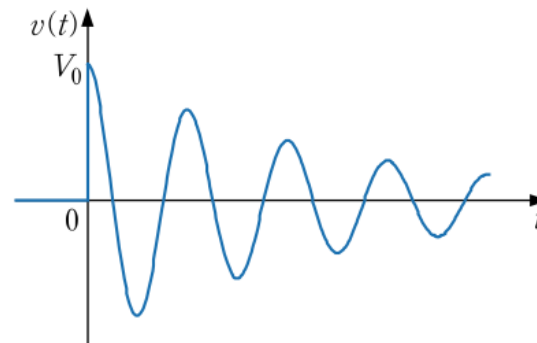
음성신호 → 마이크(전기신호), 테이프(자기신호), CD(숫자열)

- 신호는 수학적으로 한 개 이상의 독립 변수의 함수로 표현됨

- 정보는 신호가 변화하는 양상 속에 담겨 있음



(a) 춘천의 평균 기온(2013년 3월)



(b) RLC 병렬회로의 전압

[그림 1-2] 신호의 예

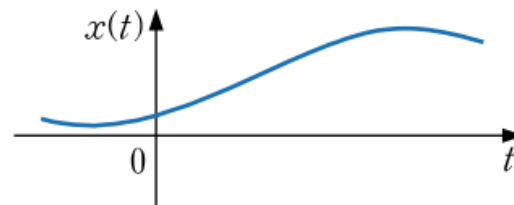
Analog and Digital Signals - 아날로그와 디지털 신호

● Analog - 아날로그 신호 : Continuous - 연속 크기, 연속 시간

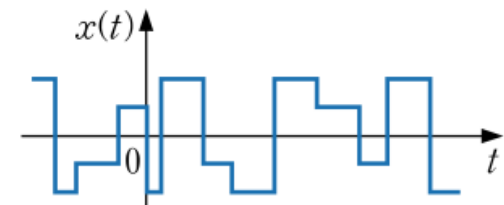
(예) 심전도(ECG), 뇌전도(EEG) 등

● Digital - 디지털 신호 : Discrete - 이산 크기, 이산 시간

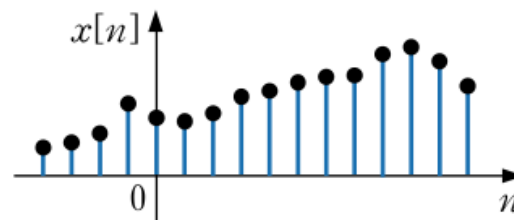
(예) 컴퓨터 이진 신호



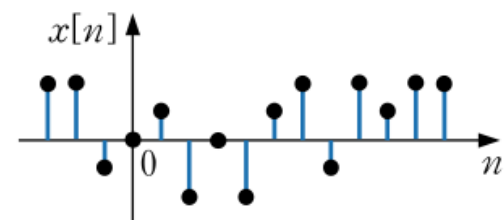
(a) 아날로그 신호



(b) 연속 시간 이산 크기 신호



(c) 이산 시간 연속 크기 신호



(d) 디지털 신호

[그림 1-3] 시간과 크기에 따른 신호의 분류

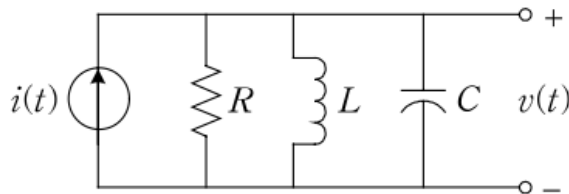
System - 시스템

- 일련의 신호를 처리(교환, 변환, 가공, 추출, 전송)해 다른 일련의 신호를 만드는 실체

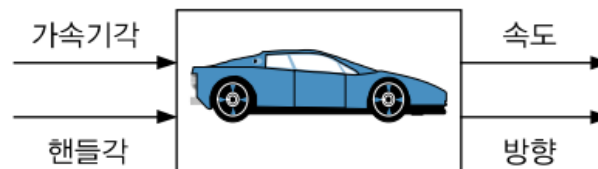
(예) 전기회로, 통신 시스템, 생체 시스템, 생산 시스템 등

- Input(입력), Output-response(출력-응답), 동작 규칙에 의해 기술됨
→ **System Modelling(시스템 모델링)**
- 수학적으로 일련의 방정식으로 표현됨
- 물리적 요소(hardware) 또는 알고리즘(software)으로 구성

(예) 오디오의 등화기(equalizer) : 전자회로 구현(H/W)
DSP chip + 알고리즘(S/W)



(a) RLC 병렬회로



(b) 자동차

[그림 1-4] 시스템의 예

Signal Processing - 신호 처리

- 원하는 목적에 알맞은 결과를 얻을 수 있도록, 신호에 대해 시스템을 이용하여 교환, 변환, 가공, 전송, 저장 등을 가하는 행위
 - ▶ Analysis(해석) : 신호로부터 원하는 특정 정보를 빼내어 적절한 방법으로 표현
 - ▶ Convolution(합성) : 조절 신호에 의해 원하는 출력 신호를 발생
 - ▶ Transform(변환) : 신호를 한 물리적인 형태로부터 다른 형태로 변환
 - ▶ Filtering(필터링) : 불필요한 성분을 제거하거나 바람직한 형태로 신호를 변형

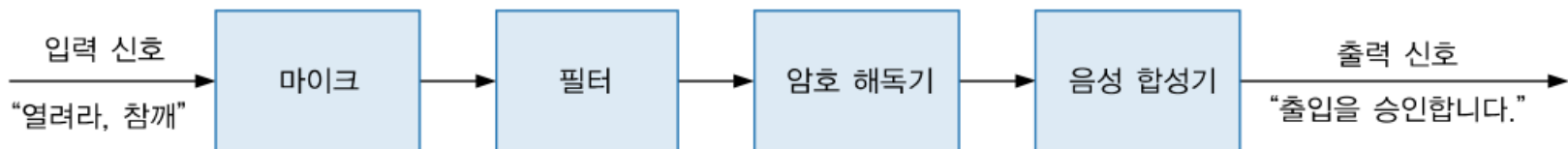
Signal Processing - 신호 처리

예제 1-1

‘알리바바와 40인의 도둑’ 이야기에서 “열려라, 참깨”라는 암호로 동굴 문을 여는 장면을 현대판 보안 시스템으로 바꾸어 설명하라.

풀이

- ▶ 마이크(변환) : 음성 신호를 전기 신호로 변환
- ▶ 필터(필터링) : 심한 바람소리를 걸러내고 사람 음성만 깨끗하게 뽑아냄
- ▶ 암호해독기(해석) : 입력 신호가 “열려라 참깨”가 맞는지를 판별
- ▶ 음성 합성(합성) : “출입을 승인합니다”라는 기계음을 발생



[그림 1-5] ‘알리바바와 40인의 도둑’의 보안 시스템 블록선도

Block Diagrams - 블록선도

● 신호 처리 시스템의 해석 및 설계

- ① 시스템을 우선 몇 개의 작은 시스템(sub-system, 부시스템)으로 분리
- ② 각 부시스템의 기능과 동작 특성을 파악
- ③ 각 부시스템 간의 관계를 파악
- ④ 전체 시스템 분석 및 설계

● 블록선도

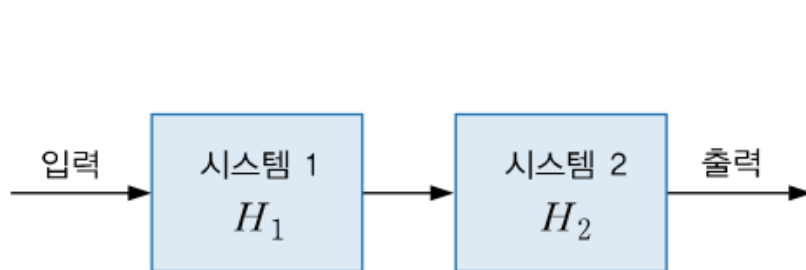
: 시스템의 구성과 기능을 알기 쉽게 시각적으로 나타낸 그림

- ① 시스템을 각 부시스템 또는 구성요소로 나누고 이를 블록으로 대체
- ② 블록 안에 시스템의 특성을 말해주는 수식, 그래프, 명칭 등을 표시
- ③ 신호의 흐름을 따라 각 부시스템 또는 구성 요소를 연결

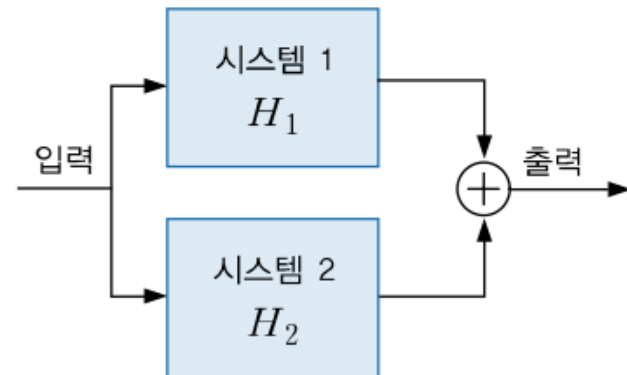
Block Diagrams - 블록선도

● 블록선도의 연결

- ▶ **종속(cascade) 연결** : 각 부시스템들을 직렬로 연결
- ▶ **병렬(parallel) 연결** : 각 부시스템들을 병렬로 연결



(a) 종속 연결



(b) 병렬 연결

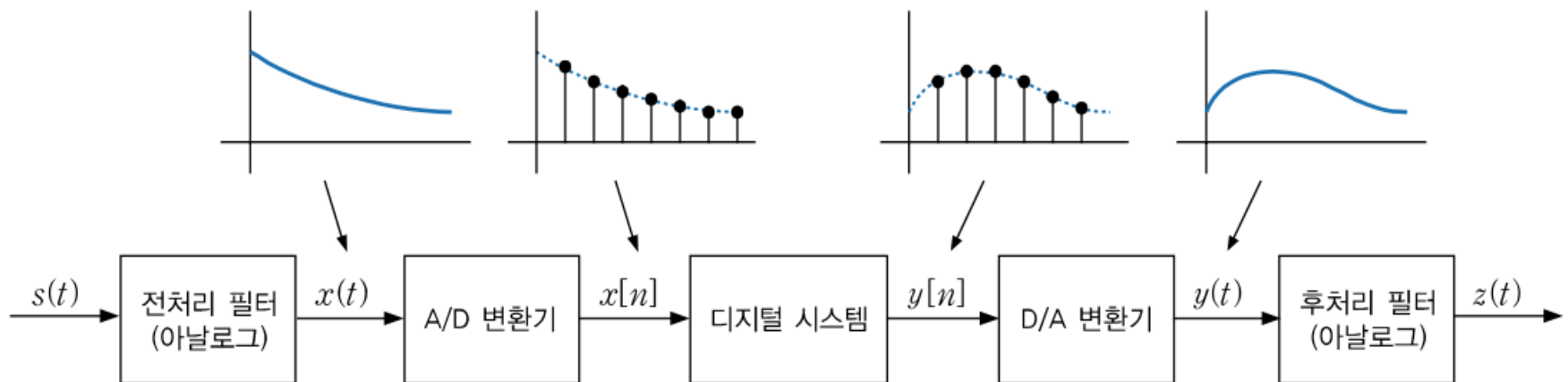
[그림 1-6] 시스템의 연결 방법

Digital Signal Processing - 디지털 신호 처리

- 디지털 시스템에 의한 이산 신호의 처리
- 수치적인 처리
 - 디지털 신호 = 수열(sequence of numbers)
- 하드웨어적 and/or 소프트웨어적 처리

디지털 신호 처리 시스템의 구성

- ▶ 전처리 필터 : 신호 주파수 범위를 제한, 반주파수 중첩(anti-aliasing)
- ▶ A/D 변환기 : 아날로그 신호 \rightarrow 디지털 신호
- ▶ 디지털 시스템 : 디지털 신호 처리
- ▶ D/A 변환기 : 디지털 신호 \rightarrow 아날로그 신호
- ▶ 후처리 필터 : D/A 과정에서 발생하는 불필요한 과도 응답 제거



[그림 1-7] 전형적인 디지털 신호 처리 시스템의 구성

디지털 신호 처리의 장점

- 데이터/음성/영상 등 다양한 형태의 신호를 통합적으로 취급할 수 있다.
- 처리가 오로지 덧셈, 곱셈, 시간 지연에 기초하므로 신호 조작이 쉽다.
- 컴퓨터와 상용 S/W를 이용하여 편리하게 개발 & 검증할 수 있다.
- H/W와 S/W의 결합으로 다양한 처리 방식의 구현이 가능하다.
- 특히 아날로그 방식으로는 불가능한 작업도 구현할 수 있다.
- 프로그램의 교체만으로 전혀 다른 형태와 성능의 처리를 해낼 수 있다.
- 프로그램 및 디지털 소자의 특성상 동작 안정성과 신뢰성이 매우 높다.
- 데이터의 손상 없이 동일한 동작을 무한히 반복/재현할 수 있다.
- 수치적 처리로 잡음과 외란의 영향이나 유동(drift)을 감소시킬 수 있다.
- 정확도 및 감도를 특정 수준으로 보장할 수 있고, 수준의 조절이 쉽다.
- 시분할, 다중화 등에 의해 동시에 여러 신호들을 처리할 수 있다.
- 반도체 발달로 시스템을 값싸고, 작고, 가볍고, 간결하게 만들 수 있다.

디지털 신호 처리의 단점

- ✓ A/D, D/A 변환 과정에서의 정보 소실
- ✓ 시간 지연 및 속도의 제한 → 초고주파 신호 분석에 취약하다
- ✓ 시스템 안정도 저하 가능
- ✓ 시스템 설계 시 수학적 해석이 어려움 → 더 많은 시간 소요
- ✓ 양자화 오차에 의한 유한 어장 효과(finite word length effect)

디지털 신호 처리의 목적

● 신호 해석

- 관측 신호로부터 그 신호의 특정한 성질을 해석
- 스펙트럼 해석과 상관(correlation) 해석 등

● 정보 추출

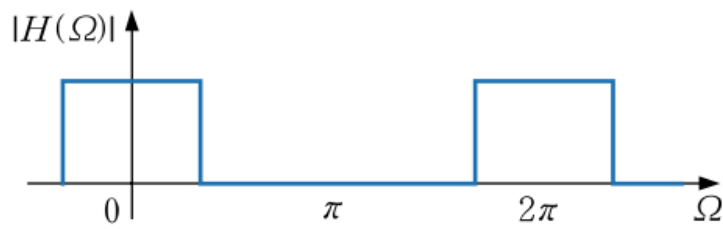
- (신호 해석/처리 편리하게) 관측 신호에 포함된 의미 있는 정보 추출
- 확률 통계적 방법과 같은 수학적 기법 사용

(예) 패턴 인식 특징 추출 : 지문의 주요 특징 추출
레이더 수집 신호의 특징 추출

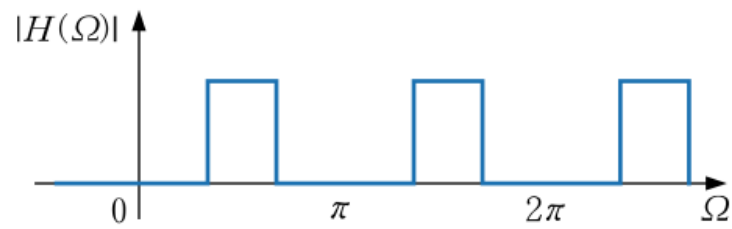
디지털 신호 처리의 목적

필터링

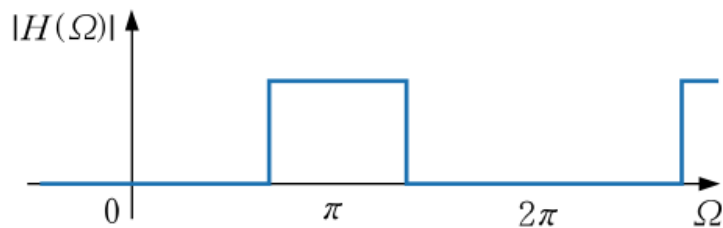
- 불필요한 성분을 제거하거나 바람직한 형태로 신호를 변형
- 주파수 선택 필터 : 주파수에 따라 원하는 성분만 통과 (불필요한 성분 제거)



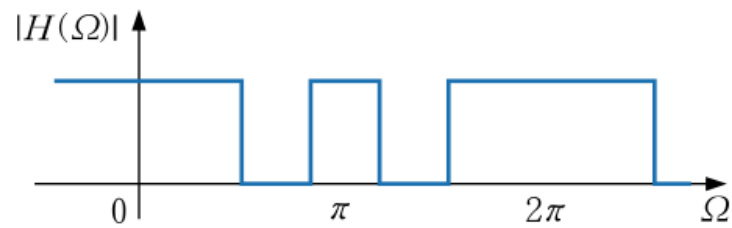
(a) 저역 통과(LP) 필터



(c) 대역 통과(BP) 필터



(b) 고역 통과(HP) 필터



(d) 대역 저지(BS) 필터

[그림 1-8] 주파수 선택 필터의 유형

디지털 신호 처리의 목적

- **신호의 압축과 복원 (코딩)**

- 품질을 저하시키지 않으면서 방대한 데이터의 양을 줄임

(예) 음악 : wav 파일 1,411.2[kbps] ($44.1[\text{kbps}] \times 16\text{비트} \times 2\text{채널}$)
MP3 파일은 192[kbps]

동영상 : 압축 않으면 700[MB] CD에 1분 전후 저장
avi나 divx는 CD에 60분 정도 저장

- **신호의 예측과 시스템 식별**

- 적절한 처리에 의해 신호 발생 시스템의 특성이나 구조를 알아냄

- **신호의 합성**

음성, 영상 신호 합성

디지털 신호 처리 연산

● 기본적인 디지털 신호 처리의 연산

- ▶ 컨벌루션(convolution) : 디지털 필터링의 기본 연산
→ 선형 & 원형(주기) 컨벌루션
- ▶ 상관(correlation) : 신호간 유사성 나타내는 지표
→ 자기 & 상호 상관
- ▶ 변조(modulation) : 효율적인 통신을 위해서 반드시 필요한 조작
- ▶ 변환(transform) : 수학적으로 신호 표현을 바꾸는 연산

디지털 신호 처리의 응용

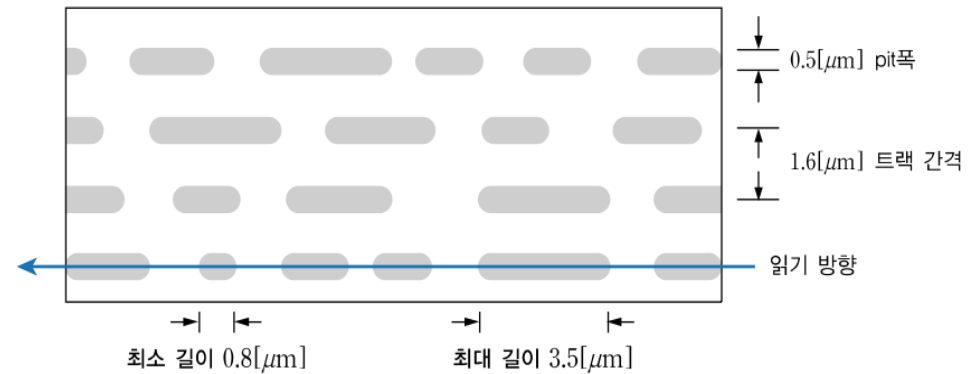


[그림 1-9] 디지털 신호 처리의 주요 응용

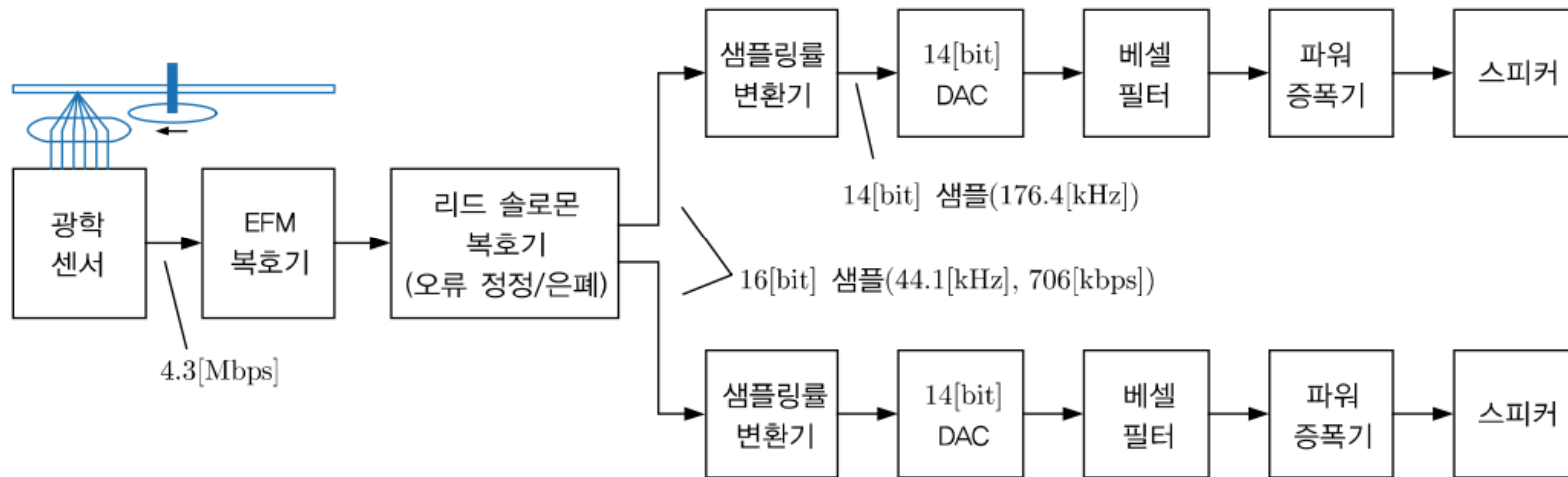
디지털 신호 처리의 응용

✓ 오디오 CD 재생 시스템

- CD 기록 : 이진화된 정보 패턴에 맞추어 레이저로 표면을 태워 저장
- CD 재생 : 광학 pickup이 1.2[m/s] (210~480[rpm], 430만[bps])로 움직이며 이진정보 판독



[그림 1-10] CD의 표면

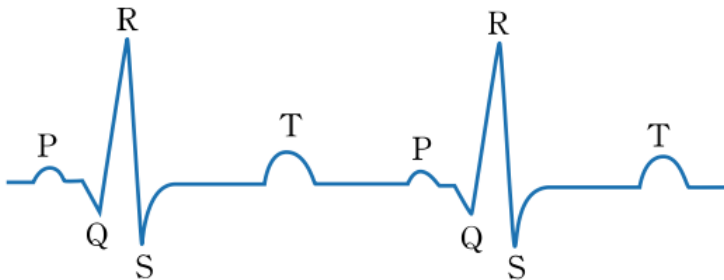


[그림 1-11] 오디오 CD 재생 시스템의 블록선도

디지털 신호 처리의 응용

✓ 심전도 신호의 처리

- P : 좌우 심방의 수축
- QRS : 심실의 수축이 일어나는 기간
- T : 심실의 이완기
- P와 QRS 사이 : 심실에 혈액을 채울 수 있도록 신경 자극 전달이 지연되는 기간
- S와 T 사이 : 심실의 수축이 지속되는 기간



[그림 1-12] 전형적인 ECG 신호

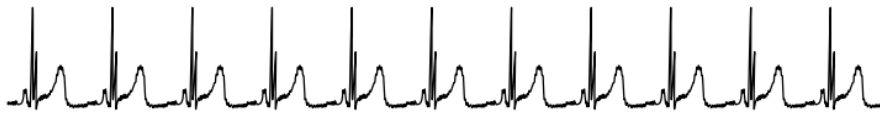
- 고주파 잡음과 기준선 유동, 전원 간섭이 혼재된 신호가 측정됨
- 고주파 잡음 : 저역 통과(LP) 필터를 이용하여 제거
- 기준선 유동 : 고역 통과(HP) 필터를 이용하여 제거
- 전원 간섭 : 노치(notch) 필터를 이용하여 제거

디지털 신호 처리의 응용

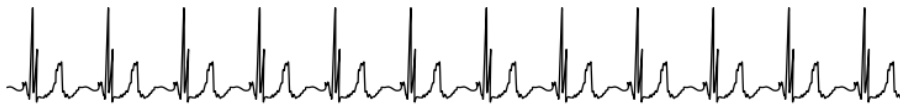
✓ 심전도 신호의 처리



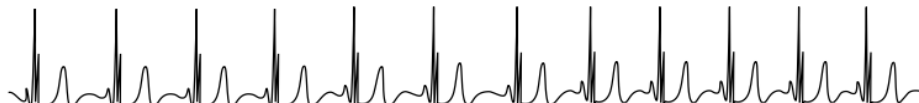
(a) 측정된 ECG 신호



(b) 잡음이 제거된 ECG 신호



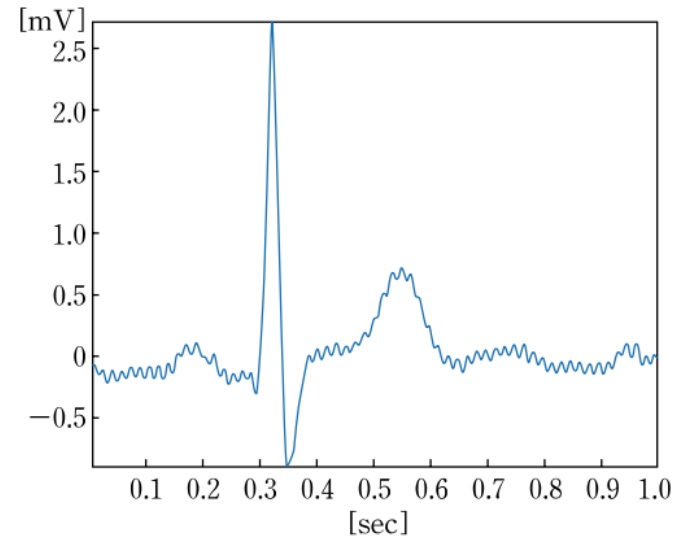
(c) 기준선 유동이 제거된 ECG 신호



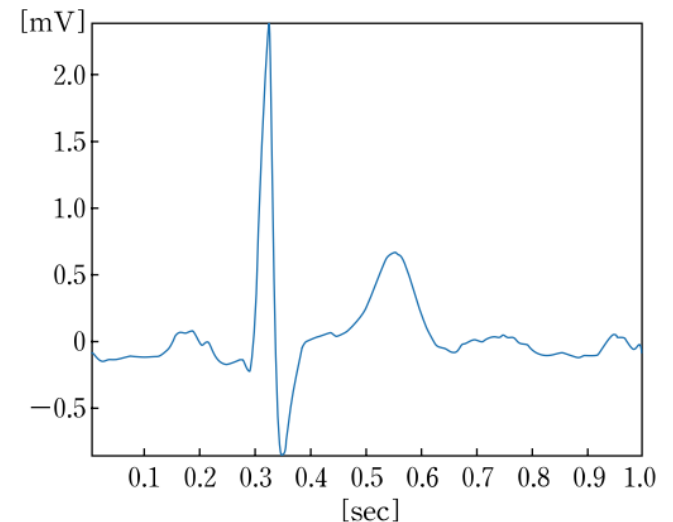
(d) 전원 간섭이 제거된 ECG 신호

[그림 1-13] ECG 신호의 처리

[그림 1-14] 노치 필터에 의한 ECG 신호의 전원 간섭 제거



(a) 전원 간섭이 있는 ECG 신호



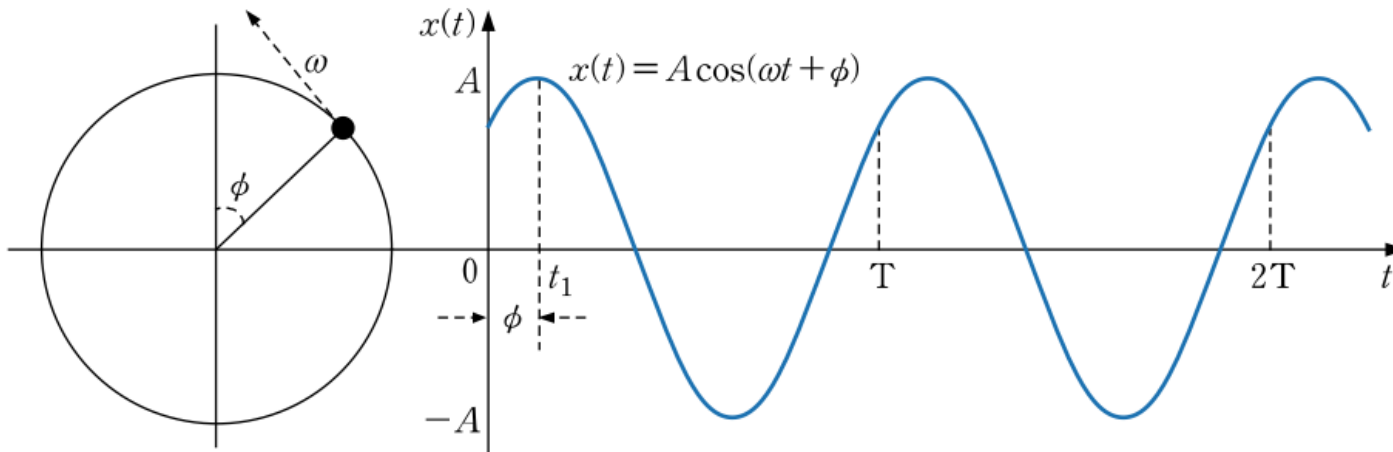
(b) 전원 간섭이 제거된 ECG 신호

진폭, 위상, 주기, 주파수

● Sinusoidal wave - 정현파

- 등속 회전운동체의 위치를 시간에 대해 그린 파형을 갖는 신호
- 진폭(A), 위상(ϕ), 주파수(ω/f)의 3가지 요소에 의해 정의됨

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$



[그림 1-15] 정현파의 발생

진폭, 위상, 주기, 주파수

- **Amplitude - 진폭** : 정현파가 진동하면서 변할 수 있는 값의 범위
- **Phase - 위상** : 각으로 표시된 원점에서 코사인파 꼭지점(사인파 영점)의 거리
파형의 시간 이동과 연관 → 지연 : 음(뒤진) 위상

$$\phi = -2\pi \frac{t_1}{T} = -2\pi f t_1$$

$$\cos(2\pi f(t - t_1)) = \cos(2\pi f t - 2\pi f t_1) = \cos(2\pi f t + \phi)$$

- **Period - (기본)주기** : 정현파가 같은 파형을 반복하는 (최소) 시간 간격
- **Frequency - 주파수** : 정현파가 1초에 같은 파형을 반복하는 회수
주파수가 높아질수록 신호의 파형은 시간적으로 더 급격한 변화를 보임

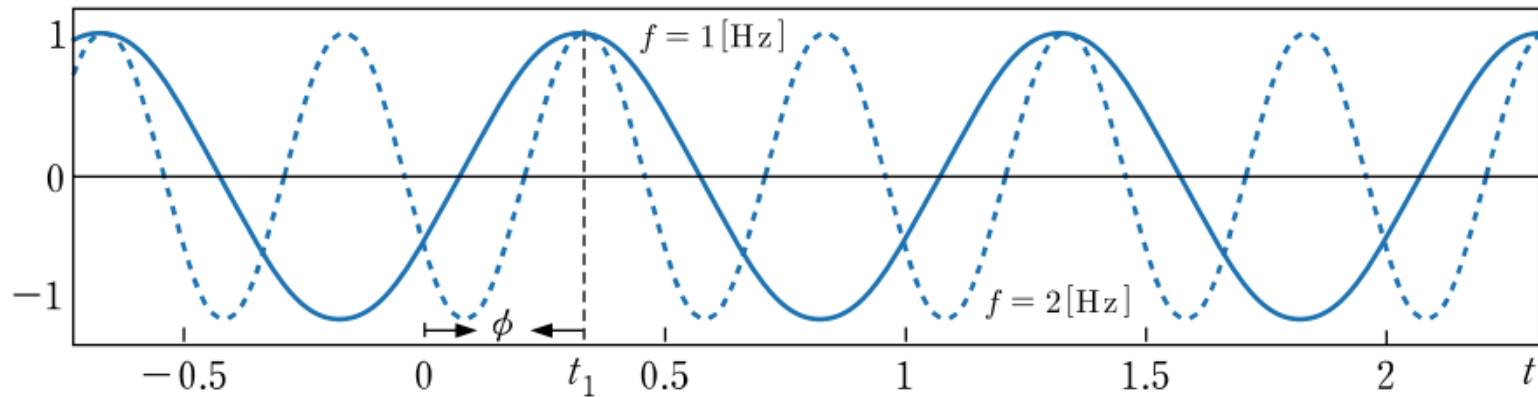
진폭, 위상, 주기, 주파수

- Angular Frequency - 각주파수 : 정현파가 1초에 이동할 수 있는 라디안 각

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$



[그림 1-16] 정현파에 의한 주파수와 위상의 개념

신호의 에너지와 전력

● Energy Signal - 신호의 에너지

- 실제 에너지와 다름
- 신호 특성의 정량적 표현 또는 신호들의 비교 시 유용한 기준

$$E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt$$

● Power Signal - 신호의 전력

- 신호의 평균 에너지

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt$$

신호의 에너지와 전력

● Root Mean Square value- 신호의 실효값

- 에너지 관점에서 실제 효과는 변함없도록 정의된 전 구간에 불변인 신호의 대푯값

$$x_{rms} = \sqrt{\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |x(t)|^2 dt}$$

● 데시벨(decibel)

- 신호의 상대적인 크기를 나타내는 데 사용되는 단위
- 전력비에 대해서는 $10\log$, 크기(이득)비에 대해서는 $20\log$ 를 취함